

KURAKLIK VE YEM BİTKİLERİ - II

EDİTÖRLER

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN

Prof. Dr. İlkay YAVAŞ



KURAKLIK VE YEM BİTKİLERİ-II

EDİTÖRLER

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN

Prof. Dr. İlkay YAVAŞ

YAZARLAR

Prof. Dr. İlkay YAVAŞ

Prof. Dr. Mustafa SÜRMEN

Prof. Dr. Yaşar KARADAĞ

Doç. Dr. Nizamettin TURAN

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Emre KARA

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN

Dr. Banu KADIOĞLU

Dr. Emre Süreyya DUMLU

Dr. Esra AKÇELİK

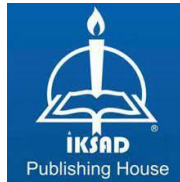
Dr. Sibel KADIOĞLU

Zir. Yük. Müh. Hatice CENGİZ

Zir. Yük. Müh. Mustafa UZUN

Zir. Yük. Müh. Oktay YELMEN

Zir. Müh. Şevval KAYA



Copyright © 2025 by iksad publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by

any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social

Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-365-5

Cover Design: İbrahim KAYA

October / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

Arpa (*Hordeum vulgare*)

Domuz ayrığı (*Dactylis glomerata*)

Zir. Yük. Müh. Hatice CENGİZ.....3

BÖLÜM 2

Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*)

Yulaf Otu (*Avena sativa*)

Kılçiksız Brom (*Bromus inermis*)

Dr. Emre Süreyya DUMLU 25

BÖLÜM 3

Sorghum (*Sorghum bicolor*)

İtalyan darısı (*Setaria italica*)

Rodos otu (*Chloris gayana*)

Agropyron cristatum

Prof. Dr. İlkay YAVAŞ 49

BÖLÜM 4

Çavdar (*Secale cereale*)

Andropogon gerardii

Çayır yumağı (*Festuca pratensis*)

Dallı darı (*Panicum virgatum*)

Doç. Dr. Nizamettin TURAN 81

BÖLÜM 5

Mısır (*Zea mays*)

Kırmızı Yumak (*Festuca rubra*)

Zir. Yük. Müh. Mustafa UZUN 105

BÖLÜM 6

Gine otu (*Panicum maximum*, syn: *Megathyrsus maximus*)

Thinopyrum intermedium

Çayır Kelp Kuyruğu (*Phleum pratense*)

Dr. Esra AKÇELİK 129

BÖLÜM 7

Tritikale (x *Triticosecale*)

Fil otu (*Pennisetum purpureum*)

Adi yalancıdarı (*Paspalum dilatatum*)

Panicum turgidum

Dr. Öğr. Üyesi Emre KARA, Zir. Müh. Şevval KAYA 149

BÖLÜM 8

BUĞDAY (*Triticum aestivum*)

Prof. Dr. Yaşar KARADAĞ 173

BÖLÜM 9

İnci darısı (*Pennisetum glaucum*)

Kanyaş (*Sorghum halepense*)

Reygras otu (*Lolium multiflorum*)

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU 201

BÖLÜM 10

Hintyağı bitkisi - Castor Oil Plant (*Ricinus communis* L.)

Havuç –Carrot (*Daucus carota* L.)

Annatto (*Bixa orellana* L.)

Dr. Sibel KADIOĞLU, Dr. Banu KADIOĞLU.....229

BÖLÜM 11

Ekmek ağacı (*Artocarpus altilis*) &

Yabani enginar (*Cynara cardunculus* var. *altilis*) &

Amerikan agave (*Agave americana*) &

Asystasia gangetica

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN 253

BÖLÜM 12

KURAKLIK BASKISINDA MERALAR

Prof. Dr. Mustafa SÜRMEN

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN 277

BÖLÜM 13

KURAK KOŞULLARDA YEM BİTKİSİ TARIMI: ERKEN YETİŞME DÖNEMİ

Prof. Dr. İlkay YAVAŞ.....301

BÖLÜM 14

KURAKLIKTA YEM BİTKİSİ AGRONOMİSİ: GÜBRELEME VE SULAMA

Zir. Yük. Müh. Oktay YELMEN.....339

BÖLÜM 15

KURAKLIKTAN ETKİLENMİŞ KOŞULLARDA YEM - HAYVAN BESLEME İLİŞKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN 365

BÖLÜM 16

YEM BİTKİSİ ISLAHINDA KURAKLIK VE KURAKLIĞA TOLERANSIN MODERN TEKNİKLERLE TARANMASI

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN 389

ÖNSÖZ

Sayın okuyucu,

Küresel ölçekte giderek şiddetlenen kuraklık olgusu, tarımsal üretim sistemlerini yeniden değerlendirmeyi zorunlu kılmaktadır. Özellikle yem üretimine dayalı hayvansal üretim zinciri, su kıtlığı ve artan çevresel stres faktörleri karşısında yapısal kırılganlıklar göstermekte; bu durum, mera ekosistemlerinden ıslah stratejilerine kadar geniş bir alanda bilimsel temelli çözüm arayışlarını gündeme taşımaktadır.

Bu eserin birinci cildinde, kuraklığın temel dinamikleri ve yem bitkileri ile ilişkisi kuramsal ve tür bazlı bir çerçevede ele alınmış, disiplinler arası bir zemin oluşturulmuştur. Sunulan bu ikinci cilt ise, aynı bütünlüğü koruyarak yaklaşımın uygulamalı ve yöntem odaklı boyutunu öne çıkarmaktadır. Kuraklık baskısı altındaki üretim koşullarında; mera yönetimi, yem–hayvan etkileşimi, ıslah tekniklerinin güncel yaklaşımı ve agronomik uygulamaların karar süreçlerine yansımaları, literatür ve saha birikimi ışığında değerlendirilmiştir. Böylece kuraklığın yalnızca ekolojik bir sorun değil, bütüncül bir tarımsal planlama konusu olduğu gerçeği, farklı alt disiplinler üzerinden ortaya konmuştur.

Bu cildin, kurak iklim kuşaklarında yem üretimine yönelik bilimsel birikimi derinleştirerek, birinci ciltle birlikte alan yazınına tamamlayıcı nitelikte bir katkı sunması amaçlanmıştır.

Saygılarımızla...

BÖLÜM 1

Arpa (*Hordeum vulgare*)

Domuz ayrığı (*Dactylis glomerata*)

Zir. Yük. Müh. Hatice CENGİZ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17477917>

¹ Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Çayır, Mera ve Yem Bitkileri Bölümü
Erzurum, Türkiye, hatice.cengiz@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0001-9614-9739

1. Arpa (*Hordeum vulgare*)

Günümüzde küresel arpa üretimin yaklaşık %75'i hayvan yemi olarak kullanılırken, %25'i malta dönüşmekte veya insan gıdası olarak tüketilmektedir (Blake ve ark., 2011). Tek yıllık bitkiler arasında arpa, abiyotik stres koşullarına karşı yüksek bir toleransa sahiptir (Wiegmann ve ark., 2019). İyi verim ve kalite potansiyeline sahip çeşitler su eksikliğine tolerans göstermemektedir (Bornare ve ark., 2012). Dünyada yaygın kullanımı nedeniyle arpa, stres toleransına tepkide yüksek genetik çeşitlilik göstermektedir ve bu da onu su eksikliği adaptasyonunun genetik düzenlenmesini incelemek için mükemmel bir model bitki haline getirmektedir (Elakhdar ve ark., 2022). Son yıllarda yapılan çalışmalar, arpanın stres toleransını artırma yönündeki genetik çeşitlilik potansiyeline ışık tutmuştur. Örneğin, Zhang ve ark. (2020), dünya çapında 237 kültür ve 190 yabani arpa genotipini değerlendirerek, kuraklık stresine dayanıklılığın genetik çeşitliliğe bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, Smith ve ark. (2021) tarafından yürütülen bir başka çalışma, farklı çevresel koşullarda arpa genotiplerinin performansını incelemiş ve bazı çeşitlerin kuraklık ve sıcaklık stresine karşı üstün dayanıklılık sergilediğini göstermiştir. Bunun yanı sıra, Wang ve ark. (2023) tarafından yapılan araştırmalar, CRISPR-Cas9 gibi genom düzenleme teknolojilerinin arpa bitkisinin kuraklık stresine dayanıklılık geliştirmesinde umut verici bir yöntem olduğunu vurgulamaktadır.

Kuraklık, arpa üretim alanlarının çoğunda büyük bir sorundur. Bu nedenle kuraklığa yüksek düzeyde toleransı olan çeşitleri bulmak için, birçok büyüme dönemi ve çeşitli ortamlarda test edilmesi gerekir. Arpa çeşitlerinin geliştirildiği ortamların çeşitliliği nedeniyle, hiçbir arpa germplazm kaynağı kuraklık toleransında yer alan yüksek frekanslı genlere sahip değildir. Arpadaki birçok metabolik ve genetik yol, su eksikliği stresine verdiği yanıtı düzenler ve bu da yeni kuraklığa dayanıklı arpa çeşitlerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirir. Periyodik nem stresi, arpa ıslahı sırasında dünya çapında karşılaşılan bir sorundur. Yabani arpanın Güneybatı Asya ve Kuzey Afrika'daki kuraklığa eğilimli alana adaptasyonu sırasında, kuraklıktan kaçışı ve toleransı destekleyen özellikler ve genler birikmiş olmalıdır. Birçok istenen genin küçük muhtemel etkileri olması ve karmaşık etkileşimler sergilemesine rağmen, bunları ıslah programlarında hedeflemek mümkündür. Bununla birlikte, abiyotik ve biyotik kısıtlamalara karşı yerel adaptasyonlar, çeşit geliştirmede

kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, yerel olarak uygulanan ıslah stratejileri bu kısıtlamalara uyum sağlamalıdır (Elakhdar ve ark., 2022).

Vejetatif aşamada su eksikliğinin en belirgin belirtileri yaprakların solması ve kıvrılması, bitki boyunun, yaprak alanının ve yaprak sayısının azalmasıdır (Farooq, 2009; Kaya ve ark., 2019). Kuraklık stresine maruz kalan arpa bitkilerinde bitki boyu, sürgün ve kök biyokütlesi önemli ölçüde azalma eğilimindedir (Askarnejad ve ark., 2021). Bitki yaprakları emilim ve terleme için başlıca organlardır ve su eksikliğinden çok fazla etkilenmektedir. Kuraklık stresi altında arpa yaprak alanı, kalınlığı ve fotosentezi azalmaktadır (Munns ve ark., 2010; Öztürk ve ark., 2021). Arpada kuraklık stresine karşı yüksek adaptasyon kabiliyetine sahip genotipler, strese toleransı artırmak için genetik kaynak görevi görebilir (Liaqat ve ark., 2021). Kuraklığa dayanıklılık için araştırmacılar, tane verimi (Mora ve ark., 2016), biyokütle verimi (Szira ve ark., 2008), kök morfolojisi (Hargreaves ve ark., 2008), nisbi nem içeriği (Szira ve ark., 2008), stoma iletkenliği (Munns ve ark., 2010), fotosentetik parametreler (Rapacz ve ark., 2019), klorofil floresansı (Jabbari ve ark., 2019) ve ozmotik ayarlama (Teulat ve ark., 2001) gibi tarımsal ve fizyolojik özelliklere yoğun bir şekilde odaklanmıştır. Yazlık arpada daha küçük bir kök sistemi, kurak koşullarda yetiştirildiğinde daha düşük tane verimiyle ilişkilidir (Chloupek ve ark., 2010). Kuraklık stresi altındaki arpada çözünür şeker ve prolin birikiminin yanı sıra yaprak ozmotik potansiyeli için QTL belirlenmiştir (Teulat ve ark., 2001).

Kültür ve yabani arpanın (*H. vulgare* ssp. *spontaneum*) kök mimarisindeki farklılıklara rağmen, her ikisinde de birincil köklerinden birincil, yanal ve ikincil kök tipleri gelişir. Modern çeşitlerle karşılaştırıldığında, yabani arpa maksimum seminal kök uzunluğunda daha fazla çeşitlilik gösterir. Ancak, Ürdün çöllerinden Tibet'in subarktik iklimlerine kadar çeşitli ekolojik adaptasyonları nedeniyle yabani arpadaki çeşitlilik daha fazladır (Liu ve ark., 2020). Optimal olmayan koşullar altında besin ve su etkinliğini, ayrıca bitki üretkenliğini artırmak için arpanın kök sistemlerini iyileştirmek gerekebilir. Arpada kuraklık stresi koşullarında potasyum, absisik asit (ABA) homeostazında ve karbonhidrat metabolizmasında, ayrıca yaprak su içeriğinde, nişasta konsantrasyonunda ve diğer birincil karbon metabolitlerinde rol oynamaktadır (Hosseini ve ark., 2016; Saeed ve ark., 2020). Ayrıca arpada daha yüksek kuraklık toleransı daha yüksek K^+ içeriğiyle ilişkilendirilmiştir (Feng

ve ark., 2016). Kuraklığa adapte olmuş arpa genotiplerinin, bayrak yaprağı karbon metabolit seviyelerinde daha dengeli olduğu kaydedilmiştir (Templer ve ark., 2017).

Arpa hücre duvarlarındaki çeşitli mekanizmalar, arpa bitkilerinin hücrelerinin, dokularının ve organlarının su eksikliğine ve ozmotik strese adaptasyonuna katkıda bulunur. Kuraklık stresi altındaki arpa genotiplerinin ozmotik ayarlama çalışmaları, yüksek ozmotik ayarlama kapasitesine sahip genotiplerin hücre turgor basıncını koruyabildiğini (Gonzalez ve ark., 2008), düşük ozmotik ayarlama kapasitesine sahip genotiplerin ise daha düşük verime, tane boyutuna ve tane protein içeriğine sahip olduğunu ortaya koymuştur (Vahamidis ve ark., 2017). Fotosentez aktivitesi, su durumu ve ozmotik ayarlama, su eksikliği koşullarında büyüyen arpa genotipleri arasında önemli ölçüde değişkendir. Bu özellikler, fidelerin terminal kuraklık stresi altındaki büyümesiyle ilişkilendirilmiş ve kuraklık toleransının seçiminde önemli bir kriter olarak ortaya çıkmıştır (Cai ve ark., 2020).

Arpada kuraklık stresi, bitki büyümesini, verimi, su ilişkilerini, klorofil içeriğini ve tane besin içeriğini azaltırken, lipid peroksidasyonu ve ozmolit birikimini artırır. Kuraklık stresi altında verim ve özellikle tohum primingi, biyoprime gibi ilgili özellikler, tane verimi, yaprak alanı, klorofil içeriği, prolin birikimi, fenolikler, toplam çözünür proteinler, glisin betain, nisbi nem içeriği, hücre zarı stabilitesi, basınç potansiyelleri ve tane Mn, Zn ve B içeriği iyileştirilirken, malondialdehit içeriği azalmıştır (Tahira ve ark., 2018; Rashid ve ark., 2019).

Arpanın fitohormon profiline göre, ozmotik stres altında ABA konsantrasyonu ortamda K^+ bulunması durumunda bir miktar, K^+ eksikliğinde ise daha fazla artmıştır (Hosseini ve ark., 2017). Hormon birikimi, tepkisi ve hormon oranı değerlendirmek, kuraklığa dayanıklı arpa genotiplerini seçmek için etkili bir araçtır. ABA biyosentezi ile ilgili genlerin, tohum dolumu sırasında hem arpa bayrak yapraklarında hem de gelişen tohumlarda kuraklık stresi altında farklı şekilde düzenlendiği belirlenmiştir (Seiler ve ark., 2011). Bu nedenle, su eksikliğinde hormon birikimini düzenleyen genler arpada kuraklığa toleransı artırmak için kullanılabilir (Elakhdar ve ark., 2022). Arpada, ksilem kaynaklı ABA, kuraklığa karşı bir savunmaya hizmet eden stoma açıklıklarında temel işleve sahiptir. Kurak koşullarda, arpa su içeriğini azaltmakta, yapraklarında ve köklerinde ABA ve prolin içeriklerini

artırmaktadır (Bandurska ve ark., 2017; Yılmaz ve ark., 2022).

Arpada gen ifadesinin incelenmesi bir dizi tekniği içerir, en son çalışmalarda cDNA kütüphaneleri, cDNA tabanlı mikrodizi (Sreenivasulu ve ark., 2006), mikrodiziler (Ozturk, 2002), oligonükleotid tabanlı Affymetrix dizileri (Druka vd., 2006), RNA-seq (Mascher vd., 2013) ve BSR-seq profillem Platformları (Qi ve ark., 2019) kullanılmıştır. Bu tekniklerin kullanımı, örneklenen doku türüne ve bitkinin örneklediği zamana bağlıdır. Arpa transkriptom verileri kuraklık toleransı ile ilgili özellikler de dahil olmak üzere farklı büyüme ile ilgili özellikleri kapsayacak şekilde toplanmıştır (Harb ve ark., 2020). Yabani arpa popülasyonlarında, TF, MYB ve NAC ailelerinin birkaç üyesi tespit edilmiştir ki bunların ifadesi genellikle su stresi altında kötüleşmektedir (Wang ve ark., 2018). Çoklu omik analizi, şeker metabolizmasının yabani arpanın kuru topraklara adaptasyonunu kolaylaştırdığını göstermiştir (Cai ve ark., 2021). Arpada çeşitli gelişim süreçlerinde ve strese verilen yanıtlarda birkaç NAC geninin bazıları ABA'ya bağlı sinyal yollarıyla kontrol edilmektedir (Christiansen ve ark., 2011). Arpada kuraklık stresine yanıt katılan birkaç miRNA ailesi bilinmektedir (Fard ve ark., 2017). Genom çapında yapılan bir tanımlama, Tibet yabani arpasında kuraklığa duyarlı 12 yeni miRNA'yı belirlemiştir (Qiu ve ark., 2020). Kuraklıkla ilişkili özellikler için QTL genetik haritaları birçok arpa haritalama popülasyonu için oluşturulmuştur (Abou-Elwafa, 2016; Jabbari ve ark., 2018). Kışlık arpalar üzerine yapılan bir GWAS çalışmasında biyokütle verimi ve fide kuraklık toleransı için birçok QTL bulunmuştur (Wehner ve ark., 2015). Yabani arpa introgresyon hatlarında, fide kuraklık toleransı bitki biyokütlesi ve yaprak yaşlanmasıyla ölçülmüştür (Honsdorf ve ark., 2014b).

Kültürü yapılan arpa, su stresi altında yüksek kaliteli yem ve/veya dane üretmek için birçok özelliğe ihtiyaç duyar. Bu bileşenler birim alandaki fertil kardeş sayısı, başakta tane sayısı ve 1000 tane ağırlığıdır. Yaprakların erken yaşlanması tüm verim bileşenlerini etkiler ve yaşlı bitkilerin hızla olgunlaşmasına ve sonrasında gövdelerin çökmesine neden olabilir (Cai ve ark., 2020). İki sıralı arpalar altı sıralı arpadan önce ortaya çıkmıştır ve geleneksel olarak altı sıralı arpalar kuraklığa daha dayanıklı kabul edilirler, ancak altı sıralı çeşitler sık kuraklığın meydana geldiği üretim alanlarında yetiştirilir. Yabani arpalarda ve sonbaharda ekilen birçok yazlık ve kışlık arpalarda bulunan baskın alel daha erken başaklanmaya neden olur. Azalmış tohum

tutumu, arpanın nem eksikliğine verdiği tepkilerden biridir. ABD'nin Yukarı Orta batısında yetiştirilen altı sıralı yazlık arpalarda, altı sıralı başak tipinin neden olduğu tane boyutundaki azalmayı telafi etmek için tane boyutunu ve çapını artırmaya yönelik birkaç gen birikmiştir (Druka ve ark., 2011).

Arpada en yaygın kullanılan yarı bodur gen, “sdw1” (Semidwarf 1 veya denso) mutantıdır. Bitki boyunu azaltmanın yanı sıra sdw1 mutantı, gecikmiş başaklanma dahil olmak üzere birçok agronomik özellik üzerinde pleiotropik etkilere sahiptir. Sdw1 mutantlarında Hv20ox2 geninin düşük ifade seviyeleri, gibberellin birikimini azaltarak apikal meristem büyümesini sınırlar ve daha fazla kardeşlenme oluşumunu teşvik eder (Jia ve ark., 2009). Arpada kullanılan diğer yarı bodur genler arasında Çin'den “sdw4” (Semidwarf 4) mutantı (Franckowiak ve Lundqvist, 2012) ve İsveç'ten ert-k mutantı yer almaktadır (Erectoides-k) (Skov Kristensen ve ark., 2016). Pedinkül uzunluğu kuraklık toleransında önemli bir özellik olabilir. Çünkü pedinkül çapı ve uzamasındaki fark yabani arpada gözlemlenmektedir. Daha kalın pedinkül dokuları daha az yatma ile ilişkilendirilmiştir (Zahn ve ark., 2020). Pedinkülün uzaması yabani arpada kültürü yapılan arpadan daha fazla olduğundan yarı cüce arpalarda bu özellik için seçim kuraklık toleransını iyileştirebilir (Mora ve ark., 2016).

Arpada kuraklık stresi ve/veya yağışa dayalı koşullarda birçok fizyolojik ve biyokimyasal özellik için QTL analizi gerçekleştirilmiştir. Bunlara prolin içeriği, yaprak solması (Sayed ve ark., 2012), yaprak alanı (Honsdorf ve ark., 2014a), ozmotik uyum (Teulat ve ark., 2001), nisbi nem içeriği, suda çözünür karbonhidrat (Diab ve ark., 2004), su kullanım etkinliği ve karbon izotop ayrımı (Chen ve ark., 2012) dahildir.

Kuraklığa dayanıklı arpa çeşitleri, çeşitli üretim alanlarındaki birçok abiyotik ve biyotik etkene tepki verir. Kuraklıktan kaçış, kuraklığa dayanıklılık mekanizmasının en önemlisi ve manipüle edilmesi en kolay olanı olabilir. Arpanın karşılaştığı birçok nem stresi, kuraklık ve ısı stresi ile karakterize edilen giderek artan nem kıtlığını içerir. Bu nedenle, yaşam döngüsünün hızlı bir şekilde tamamlanması genellikle hem yabani hem de kültür arpa için kritik önemdedir. Kışlık bir tek yıllık tür olan yabani arpanın çimlenmesi toprak kuruluğu nedeniyle gecikmektedir. Güçlü bir uzun gün tepkisi için “Eam1” genine sahiptir. Bu gen, sonbahar veya kış aylarında ekilen birçok yerel ırkta ve çeşitte korunur (Casas ve ark., 2021).

Arpada kuraklık toleransı birçok genin ifadesiyle ilişkili olduğundan,

görsel gözlemler, verim denemeleri, kalite testleri ve moleküler belirteçler kullanılarak tanımlanmalıdır. Moleküler belirteçler gen-spesifik veya haplotiplere dayalı olabilir (Abed ve Belzile, 2019). Bu belirteçler, yetiştiricilerin yerel olarak uyarlanmış yetiştirme materyallerinde halihazırda mevcut olan abiyotik ve biyotik ajanlara karşı direnci kontrol eden genleri belirlenmesine yardımcı olacaktır (Elakhdar ve ark., 2022). Kuraklık toleransında rol oynayan genlerin ve özelliklerin bir kısmı erken nesillerde ayrışan materyalde görsel olarak seçilebilir. Örnekler arasında başak tipi, erken başaklanma, kılçık dikenleri, bitki boyu, sap uzunluğu, parlak başak, gövde pigmentasyonu ve çekirdek boyutu ve şekli bulunur. Yılda bir çaprazlama ve seçim döngüsünü tamamlamak için görsel seçim ve sezon dışı fidanlıklar kullanılabilir (Hickey ve ark., 2017). Bu nedenle, nem stresi tepkilerinde rol oynayan birçok genin birikimi hızlı olmalıdır (Elakhdar ve ark., 2022).

Kısa bir sürede, iklim koşullarına dayanıklı ve yüksek verimli arpa çeşitleri geliştirmek için dünya çapındaki bilim insanları mevcut germplazmalarında ileri genetik ve genomik teknikler kullanmaktadırlar. Sonuç olarak, daha fazla gen ve QTL, stres toleransında potansiyel role sahip adaylar olarak tanımlanıyor. Şu anda MAS için doğrulanmış az sayıda işlevsel belirteç bulunmaktadır. MAS, geçmiş yıllarda arpa ıslahı üzerindeki etkisinde yetersiz kalmıştır; bunun başlıca nedeni yetersiz tip ve sayıda moleküler belirteç ve bu belirteçleri kullanmanın etkisiz bir yöntemi olmasıdır.

2. Domuz ayırığı (*Dactylis glomerata*)

Domuz ayırığı (*Dactylis glomerata* L.), Avrupa, Kuzey Afrika ve Asya'nın bazı bölgelerine özgü, serin mevsim, çok yıllık, çapraz tozlaşan bir buğdaygildir (Shaimi ve ark., 2009). *Dactylis* cinsi yalnızca tek bir tür ve en az 18 alt tür içerir (Sanada ve ark., 2010). Çok yıllık bir çim türü olan *Dactylis glomerata* (orchardgrass veya cocksfoot), dünyadaki dördüncü en önemli doğal yemlik buğdaygildir ve mera ve kuru ot yemi üretimi için yaygın olarak kullanılır (Stewart ve Ellison 2011; Jafari ve Naseri 2007). Aslen Avrasya'dan gelen ve çoğu sıcak iklime adapte olmuş yaygın bir tür olan *Dactylis glomerata* aynı zamanda gölgeye dayanıklı, orta düzeyde kış sertliğine sahip, kuraklığa oldukça dayanıklı, en verimli serin mevsim buğdaygillerinden biridir. Bu tür diploid ($2n = 2x = 14$), tetraploid ($2n = 4x = 28$) veya hekzaploid ($2n = 6x = 42$) olabilir ve kromozom sayısına göre alt türlere ayrılır. Çoğu popülasyon

diploiddir (Majidi ve ark., 2015).



Şekil 1. Domuz Ayrığı (*Dactylis glomerata* L.)

Kaynak: Fotoğraf: Cengiz, H., 2025

Dactylis glomerata, dünyanın ılıman bölgelerine iyi adapte olmuş, uzun ömürlü, çok yıllık bir tür olarak iyi düzeyde yeniden büyüme özelliklerine ve çeşitli çevre koşullarına uyum sağlama yeteneğine sahiptir. Çoğu Avrupa ülkesinde, ABD ve Kanada gibi Kuzey Amerika'da, Güney Amerika, Avustralya, Yeni Zelanda ve Asya'da yaygındır. Akdeniz iklim koşullarında sıcağa ve kuraklığa dayanıklıdır ancak su basmasına ve ıslak topraklara dayanıklı değildir ve kışa orta derecede dayanıklıdır. *Dactylis glomerata*, kuru ot, silaj ve otlatma için kullanılır ve kuru ot için yonca (*Medicago sativa*) veya çayır üçgülü (*Trifolium pratense*) veya otlatma için ak üçgül (*Trifolium repens*) ile karışık ekime uygundur (Sanada ve ark., 2010; Gürel ve ark., 2020).

Dactylis glomerata, Akdeniz havzası da dahil olmak üzere Avrasya'nın her yerine yayılmış yaygın bir türdür (Kyriazopoulos ve ark., 2014). Yüksek verimliliği ve besin değeri nedeniyle en önemli yem türlerinden biri olarak kabul edilir. Popülasyonları ve çeşitleri çok sayıda ortamda gelişir ve birçoğunun kuraklık stresi koşullarına iyi adapte olduğu bildirilmiştir (Stewart ve Ellison, 2011). Özellikle dağlık bölgelerde yem bitkisi ekiminin sınırlı olduğu alanlarda, kalıcı otlaklar birincil arazi türüdür ve hayvancılık için temel

bir kaynaktır. Ancak, kalıcı otlakların su talebi, ekimi yapılan yem bitkilerine kıyasla önemli ölçüde yüksektir, bu da otlakları kuraklıkta özellikle etkiler. Buğdaygiller genellikle verim ve yem kalitesi üzerinde en büyük etkiye sahip işlevsel gruptur. *Lolium*, *Festuca*, *Dactylis* ve *Phleum* ılıman bölgelerdeki en önemli cinslerdir (Tomic ve ark., 2007). Buğdaygiller arasında, *Dactylis glomerata* kuraklığa dayanıklı türler grubuna aittir. Genellikle çok yıllık çavdar otundan (*Lolium perenne*) daha düşük yem kalitesine sahiptir, ancak yaz aylarında bile yüksek verim sağlar ve abiyotik strese karşı daha dayanıklıdır (Robins ve ark., 2016).

Çok yıllık otlaklar toprak yapısının iyileştirilmesi, nitrat sızıntısının kontrolü ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi çok sayıda olumlu çevresel etki sağlamaktadır. Akdeniz bölgelerinde, çok yıllık otsu bitkilerin devamlılığı esas olarak ardışık yaz kuraklıkları boyunca bitkinin hayatta kalmasıyla belirlenir. Çok yıllık otların tek türe ait çimlerinde, *Dactylis glomerata* veya *Festuca arundinacea* çeşitlerinin kuraklıkla başa çıkma yeteneği, meristemlerdeki susuzluğu geciktirmek veya tolere etmek için eko-fizyolojik stratejilerle ve yaz dönemi uykuda kalmasıyla ilişkilendirilmiştir (Volaire, 2008). Çayır ekosistemlerinde bitki verimliliği ile yıllık yağış arasında pozitif bir korelasyon vardır (Dukes ve ark., 2005). Akdeniz iklimi altında, çok yıllık otsu bitkilerin kalıcılığı esas olarak bitkinin art arda gelen yaz kuraklıklarında hayatta kalmasına göre belirlenmektedir (Lelievre ve Volaire, 2009). *Dactylis glomerata* ve *Lolium arundinaceum* gibi çok yıllık otların uzun yıllar boyunca kalıcı olması gerekir. Bu otlar birçok durumda tarımsal sistemlerin sürdürülebilirliğini iyileştirmek için faydalıdır. Dahası, çok yıllık çayırın uzun yıllar ürün vermesi beklenir ve sürdürülebilirlikleri verim istikrarı ve uzun vadeli dayanıklılıkla birleştirilir (Volaire ve ark., 2014). Son çalışmalar hem *Dactylis glomerata* ve *Lolium arundinaceum* türlerinin Akdeniz iklimlerine adapte olduğunu doğrulamıştır (Pecetti ve ark., 2011). Bu yem türleri kış üretimi ve toleransları ile karakterize edilir. Ayrıca, bu türler verim kadar önemli olabilecek kuraklığa dayanım özelliğine sahiptir (Bolger ve ark., 2007). *Dactylis glomerata*, saf veya karışık ekimlerde iyi düzeyde verim ile karakterize edilen bir ototetraploid tür olarak tam yaz uykusu sayesinde aşırı kuraklık altında dahi hayatta kalabilir (Norton ve ark., 2008). Fas popülasyonlarının, en şiddetli kuraklık uygulamalarında bile daha uzun ve daha yüksek bir fotosentez oranını korudukları için şiddetli su eksikliği koşullarına

daha fazla adapte oldukları bulunmuştur (Salis ve ark., 2006). Yaz uykusu durumu, sulanmaya rağmen yaz döneminde büyümenin baskılanmasıdır. Uyku hali, kuraklıkta hayatta kalma özelliklerinden daha güçlüdür ve şiddetli kuraklıkta mera bitkilerinin kalıcılığını artırır. Ayrıca, uykuda kalma, şiddetli ve tekrarlayan yaz kuraklığından sonra üstün bir hayatta kalma ve sonbaharda yeniden büyüme ile ilişkilidir (Shaimi ve ark., 2009) tıpkı *Phalaris*'te olduğu gibi. Çok yıllık otsu bitkilerin kalıcılığı esas olarak tekrarlayan yaz kuraklıklarında hayatta kalmasıyla belirlenmektedir (Volaire, 2008).

Düşük bir uykuda kalma seviyesi, hafif yaz yağmurlarından sonra yeniden büyüme ve sonraki kurak dönemlerde sürgünlerin ölümüyle sonuçlanabilir. Bu durumda, iki grup tanımlanabilir; ilk grup, popülasyonlar yaz aylarında en az 4 hafta boyunca tamamen büyümeyi bıraktığında ve çoğu olgun hava biyokütlesi yaşlanma gösterdiğinde tam uykuda kalma sergiler. Bu grupta, hayatta kalan dokuların içsel olarak tetiklenen dehidratasyonu orta düzeyden (örn. *D. glomerata* 'Kasbah') tam hava kuruluşuna (örn. *P. bulbosa*) kadar değişebilir. İkinci grup, yaprakların kısmi yaşlanmasıyla ilişkili, ancak yaprak tabanlarında su kaybı olmayan, belirgin şekilde azalmış büyüme gösteren popülasyonlarda bulunan eksik uykuda kalma ile karakterize edilir. Yaz uykusunun başlatılması ve aktif büyümeden dinlenme aşamasına geçiş, sürgünlerin ve köklerin bazal kısımlarında artan asimilat depolaması, özel depolama organlarının (örn: soğanlar, yumrular veya yumrulu kökler) üretimi, uykuda rejenerasyon tomurcuklarının oluşumu, meristematik aktivitenin engellenmesi ve yaprak üretiminin sonlanmasına yol açması, ardından toprak üstü kısımların yaşlanması ve metabolitlerin depolama organlarına yeniden taşınması gibi önemli değişiklikleri içerir. Buna örnek olarak, çok yıllık buğdaygil olan *Hordeum bulbosum*'da uykuda kalma, düşük sıcaklık veya kısa günlerin ardından uzun günlere tepki olarak üreme gelişiminin erken aşamalarında başlatılır (Shaimi ve ark., 2009).

Ek olarak, yaz kuraklıklarında çok yıllık bitkilerin hayatta kalması en önemli adaptif tepkilerden biridir. Bir sonraki mevsimde kalıcılığı, uzun vadeli biyomas üretimini ve su kullanım etkinliğini belirlemektedir (Kallida ve ark., 2010). Bu nedenle en önemli strateji kuraklık sırasında üretimin korunması değil, sonbahar yağmurları sonrasına kadar hayatta kalma ve hızla iyileşme kapasitesidir. Fotosentetik yaprak alanı kaybolduğunda, karbonhidrat rezervleri *Dactylis glomerata*'nın hayatta kalması için kaynak sağlamaktadır. Ayrıca,

bitkinin hayatta kalması, hayatta kalan dokuların susuzluğa toleransı ve köklerin düşük toprak su potansiyellerinde su çekme yeteneği gibi bazı fizyolojik süreçlere bağlıdır. Gerçekten de uykuda olan genotipler, daha düşük toprak su içeriklerinde kuraklıktan sonra daha uzun sürede toparlanır (Volaire ve ark., 2008). *Dactylis glomerata* çeşitleri, ılıman iklim ortamlarında hem kalıcı hem de geçici çayırlarda yem otu karışımlarında, tohum ekildikten sonra sağlam bir büyüme, sonraki yıllarda diğer karışım bileşenlerine göre güçlü bir rekabet gücü ve gelişimin sonraki evrelerinde dikkate değer kuraklık toleransı göstermektedir (Borawska-Jarmułowicz ve ark., 2024).

Dactylis glomerata ıslah programları, kuru madde üretimi ve sindirilebilirlik gibi geliştirilmiş agronomik özelliklere odaklanmıştır (Boelt ve Studer 2010). Çok yıllık buğdaygil ot verimiyle ilgili literatürde önemli miktarda genetik bilgi olmasına rağmen, tohum verimiyle ilgili genetik bilgi nadirdir. Tohum verimi ve bileşenlerinin, düşük seçim baskısına atfedilebilecek büyük genetik çeşitliliğe sahip olduğu bulunmuştur. Çoğu çalışma, buğdaygillerde tohum verimi ve bileşenleri için yüksek kalıtımsallık bildirmiştir (Chugh, 2013). Bazı *Dactylis glomerata* genotiplerinin kuraklığa dayanıklılığını tohum ve yem verimi ve ilgili endekslere (tolerans endeksi, ortalama verimlilik, geometrik ortalama verimlilik, indirgeme yüzdesi endeksi, stres tolerans endeksi ve stres duyarlılık endeksi dahil) dayanarak tahmin etmek ve ölçülen özellikler arasındaki ilişkileri belirlemek için Majidi ve ark., (2017) tarafından bir deneme yürütülmüştür. 25 genotip, 2 yıl boyunca kontrol ve kuraklık stresi ortamlarında tarlada değerlendirilmiş, sonuçlar her iki nem koşulunda da tohum verimi, yem verimi ve ölçülen endeksler için yüksek bir varyasyon ortaya koymuştur. Kontrol uygulamasında tohum verimi ve yem verimi arasında bir korelasyon gözlenmemiştir, ancak bu korelasyon su stresi uygulamasında pozitif yönde anlamlı olmuştur. Kuraklığa dayanıklı ve duyarlı genotipler tohum ve yem verimi performansına göre tanımlanmıştır.

Dactylis glomerata Kuzey Afrika, Avrupa ve ılıman ve tropikal Asya'da esas olarak yıllık yağışın 300 mm'den fazla olduğu 2.900 m'ye kadar olan rakımlarda yetişmektedir (Sanada ve ark., 2010). Son çalışmalar, yetersiz sulama koşullarında önemli bir yem bitkisi olarak potansiyelini göstermiştir (Majidi ve ark., 2015). Yem bitkilerinin verimi ile ilgili olarak, Bahrani ve ark. (2010), İran'a özgü veya İran'a getirilen 10 yem bitkisi türünü su stresi altında değerlendirmiş ve artan su stresinin toplam kuru madde üretimini azalttığını,

türler arasında farklı derecelerde azalma olduğunu bildirmiştir. Çalışmalarında, *Dactylis glomerata* en duyarlı tür olmuştur. Piano ve ark. (2004), *Dactylis glomerata* çeşitlerinde, doğal popülasyonlarında ve üvey kardeş yavrularında kuraklığa toleransı ve yaz sulamaya duyarlılığını değerlendirmiştir. Akdeniz ortamlarında yazın hayatta kalmak için stres altında tam bir vejetatif uykunun ön koşul olduğunu bildirmişlerdir. Tohum verimi, yem otu türleri için de büyük ilgi gören bir özelliktir ve tohum çoğaltımı, yeni ot çeşitlerinin ticari olarak rekabet edebilmesi için ekonomik olarak önemli olduğundan giderek daha fazla ilgi görmektedir (Boelt ve Studer, 2010). Bu nedenle, yeni çeşitlerin tohum üretiminin beklenen talebi karşılamaya yeterli olduğundan emin olmak için yeni çeşitlerin seçimi ve değerlendirilmesi sırasında tohum verimine daha fazla dikkat edilmelidir (Vogel, 2000). Islahçılar arasında genel gözlem, otlarda hem yem verimi hem de kalitesi ile tohum verimi arasında negatif bir korelasyon olduğudur. Dolayısıyla artan vejetatif sürgün yoğunluğu veya artan ot verimi için yapılan seçim, daha düşük tohum verimine sahip bitkilerle sonuçlanma eğilimindedir (Boelt ve Studer, 2010).

Bakhtiari ve ark., (2018) tarafından, uzun süreli kuraklık uygulamalarının büyüme özellikleri, kuraklıkta hayatta kalma ve kuraklık sonrası toparlanma üzerindeki etkisi, farklı şekilde yönetilen iki grup *Dactylis glomerata* genotipinde araştırılmıştır. Toplamda 72 genotip (sırasıyla tohum ve yem bitkisi hasadı amacıyla 36'lık iki grup) 2013-15 yıllarında normal ve eksik sulama rejimleri altında tarlada agro-morfolojik özellikler açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar çiçeklenmeye kadar geçen gün sayısı ile kuraklıktan sonraki iyileşme arasında negatif bir korelasyon olduğunu göstermiş ve bu da erkencilik için yapılan seçimin bu bitkilerin hayatta kalmasını ve kalıcılığını artırabileceğini göstermiştir. Daha yüksek yem üretimi, daha çabuk toparlanma özelliği ve kuraklık toleransına sahip üstün genotipler, sentetik çeşitlerin geliştirilmesi açısından önerilebilir bulunmuştur.

KAYNAKÇA

- Abed, A., & Belzile, F. (2019). Comparing single-SNP, multi-SNP, and haplotype-based approaches in association studies for major traits in barley. *The Plant Genome*, 12(3), 190036.
- Abou-Elwafa, S. F. (2016). Association mapping for drought tolerance in barley at the reproductive stage. *Comptes rendus biologiques*, 339(2), 51-59.
- Askarnejad, M. R., Soleymani, A., & Javanmard, H. R. (2021). Barley (*Hordeum vulgare* L.) physiology including nutrient uptake affected by plant growth regulators under field drought conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 44(15), 2201-2217.
- Bahrani, M. J., Bahrami, H., & Haghighi, A. A. K. (2010). Effect of water stress on ten forage grasses native or introduced to Iran. *Grassland Science*, 56(1), 1-5.
- Bakhtiari, M. A., Saeidnia, F., Majidi, M. M., & Mirlohi, A. (2018). Growth traits associated with drought survival, recovery and persistence of cocksfoot (*Dactylis glomerata*) under prolonged drought treatments. *Crop and Pasture Science*, 70(1), 85-94.
- Bandurska, H., Niedziela, J., Pietrowska-Borek, M., Nuc, K., Chadzinikolau, T., & Radzikowska, D. (2017). Regulation of proline biosynthesis and resistance to drought stress in two barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes of different origin. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 427-437.
- Blake, T., Blake, V., Bowman, J.G.P. Abdel-Haleem, H., (2011). Barley Feed Uses and Qality Improvement, In book: Barley, 522-531.
- Boelt, B., & Studer, B. (2010). Breeding for grass seed yield. *Fodder crops and amenity grasses*, 161-174.
- Bolger, T. P., Garden, D. L., & Rivelli, A. R. (2007). Drought resistance of perennial grasses. In *Proceedings of the 22° Conference Grassland Society of NSW. "Pasture Systems: Managing for a Variable Climate* (Vol. 1, pp. 60-61).
- Borawska-Jarmułowicz, B., Mastalerczuk, G., Dąbrowski, P., Tuchowska, Ż., & Kalaji, H. (2024). Influence of induced drought on photosynthetic performance in *Dactylis glomerata* varieties during the early growth stage. *Journal of Water and Land Development*.

- Bornare, S. S., Prasad, L. C., Prasad, R., & Lal, J. P. (2012). Perspective of barley drought tolerance; methods and mechanisms comparable to other cereals. *Journal of Progressive Agriculture*, 3(2), 68-70.
- Cai, K., Chen, X., Han, Z., Wu, X., Zhang, S., Li, Q., ... & Zeng, F. (2020). Screening of worldwide barley collection for drought tolerance: the assessment of various physiological measures as the selection criteria. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1159.
- Cai, S., Shen, Q., Huang, Y., Han, Z., Wu, D., Chen, Z. H., ... & Zhang, G. (2021). Multi-omics analysis reveals the mechanism underlying the edaphic adaptation in wild barley at evolution slope (tabigha). *Advanced Science*, 8(20), 2101374.
- Casas, A. M., Gazulla, C. R., Monteagudo, A., Cantalapiedra, C. P., Moralejo, M., Gracia, M. P., ... & Igartua, E. (2021). Candidate genes underlying QTL for flowering time and their interactions in a wide spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cross. *The Crop Journal*, 9(4), 862-872.
- Chen, J., Chang, S. X., & Anyia, A. O. (2012). Quantitative trait loci for water-use efficiency in barley (*Hordeum vulgare* L.) measured by carbon isotope discrimination under rain-fed conditions on the Canadian Prairies. *Theoretical and applied genetics*, 125, 71-90.
- Chloupek, O., Dostál, V., Sřředa, T., Psota, V., & Dvořácková, O. J. P. B. (2010). Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant breeding*, 129(6), 630-636.
- Christiansen, M. W., Holm, P. B., & Gregersen, P. L. (2011). Characterization of barley (*Hordeum vulgare* L.) NAC transcription factors suggests conserved functions compared to both monocots and dicots. *BMC research notes*, 4, 1-13.
- Chugh, K. (2013). *Measuring phenotypic and genetic variances and narrow sense heritability in three populations of annual ryegrass (Lolium multiflorum Lam.)* (Doctoral dissertation, Auburn University).
- Diab, A. A., Teulat-Merah, B., This, D., Ozturk, N. Z., Benscher, D., & Sorrells, M. E. (2004). Identification of drought-inducible genes and differentially expressed sequence tags in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 1417-1425.
- Druka, A., Franckowiak, J., Lundqvist, U., Bonar, N., Alexander, J., Houston, K., ... & Waugh, R. (2011). Genetic dissection of barley morphology and

- development. *Plant physiology*, 155(2), 617-627.
- Druka, A., Muehlbauer, G., Druka, I., Caldo, R., Baumann, U., Rostoks, N., ... & Waugh, R. (2006). An atlas of gene expression from seed to seed through barley development. *Functional & integrative genomics*, 6, 202-211.
- Dukes, J. S., Chiariello, N. R., Cleland, E. E., Moore, L. A., Shaw, M. R., Thayer, S., ... & Field, C. B. (2005). Responses of grassland production to single and multiple global environmental changes. *PLoS biology*, 3(10), e319.
- Elakhdar, A., Solanki, S., Kubo, T., Abed, A., Elakhdar, I., Khedr, R., ... & Qualset, C. O. (2022). Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*, 201, 104965.
- Fard, E. M., Bakhshi, B., Keshavarznia, R., Nikpay, N., Shahbazi, M., & Salekdeh, G. H. (2017). Drought responsive microRNAs in two barley cultivars differing in their level of sensitivity to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 121-129.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185-212.
- Feng, X., Liu, W., Zeng, F., Chen, Z., Zhang, G., & Wu, F. (2016). K⁺ Uptake, H⁺-ATPase pumping activity and Ca²⁺ efflux mechanism are involved in drought tolerance of barley. *Environmental and Experimental Botany*, 129, 57-66.
- Franckowiak, J. D., & Lundqvist, U. (2012). Descriptions of barley genetic stocks for 2012. *Barley Genet Newsl*, 42(36), 792.
- Gonzalez, A., Martín, I., & Ayerbe, L. (2008). Yield and osmotic adjustment capacity of barley under terminal water-stress conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(2), 81-91.
- Gürel, E., Işık, A., & Demir, Z. (2020). Evaluation of *Dactylis glomerata* in Mixed Sowing Systems with Legumes for Hay, Silage, and Grazing. *Turkish Journal of Agricultural Sciences*, 12(4), 295-310.
- Harb, A., Simpson, C., Guo, W., Govindan, G., Kakani, V. G., & Sunkar, R. (2020). The effect of drought on transcriptome and hormonal profiles in barley genotypes with contrasting drought tolerance. *Frontiers in Plant*

- Science, 11, 618491.
- Hargreaves, C. E., Gregory, P. J., & Bengough, A. G. (2008). Measuring root traits in barley (*Hordeum vulgare* ssp. *vulgare* and ssp. *spontaneum*) seedlings using gel chambers, soil sacs and X-ray microtomography. *Plant and Soil*, 316, 285-297.
- Hickey, L. T., Germán, S. E., Pereyra, S. A., Diaz, J. E., Ziems, L. A., Fowler, R. A., ... & Dieters, M. J. (2017). Speed breeding for multiple disease resistance in barley. *Euphytica*, 213, 1-14.
- Honsdorf, N., March, T. J., Berger, B., Tester, M., & Pillen, K. (2014a). High-throughput phenotyping to detect drought tolerance QTL in wild barley introgression lines. *PloS one*, 9(5), e97047.
- Honsdorf, N., March, T. J., Hecht, A., Eglinton, J., & Pillen, K. (2014b). Evaluation of juvenile drought stress tolerance and genotyping by sequencing with wild barley introgression lines. *Molecular breeding*, 34, 1475-1495.
- Hosseini, S. A., Hajirezaei, M. R., Seiler, C., Sreenivasulu, N., & von Wirén, N. (2016). A potential role of flag leaf potassium in conferring tolerance to drought-induced leaf senescence in barley. *Frontiers in plant science*, 7, 206.
- Hosseini, S. A., Maillard, A., Hajirezaei, M. R., Ali, N., Schwarzenberg, A., Jamois, F., & Yvin, J. C. (2017). Induction of Barley Silicon Transporter HvLsi1 and HvLsi2, increased silicon concentration in the shoot and regulated Starch and ABA Homeostasis under Osmotic stress and Concomitant Potassium Deficiency. *Frontiers in plant science*, 8, 1359.
- Jabbari, M., Fakheri, B. A., Aghnoum, R., Mahdi Nezhad, N., & Ataei, R. (2018). GWAS analysis in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) for morphological traits exposed to drought. *PloS one*, 13(9), e0204952.
- Jabbari, M., Fakheri, B. A., Aghnoum, R., Nezhad, N. M., Ataei, R., & Koochakpour, Z. (2019). Association mapping of morphological and physiological traits of flag leaf related to drought tolerance in barley. *Revista de Agricultura Neotropical*, 6(2), 7-18.
- Jafari, A., & Naseri, H. (2007). Genetic variation and correlation among yield and quality traits in cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *The Journal of Agricultural Science*, 145(6), 599-610.
- Jia, Q., Zhang, J., Westcott, S., Zhang, X. Q., Bellgard, M., Lance, R., & Li, C.

- (2009). GA-20 oxidase as a candidate for the semidwarf gene *sdw1/denso* in barley. *Functional & integrative genomics*, 9, 255-262.
- Kallida, R., Shaimi, N., & Faiz, C. A. (2010). Drought survival of some perennial grasses in Moroccan rainfed conditions: agronomic traits. In *Sustainable Use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding* (pp. 113-118). Springer Netherlands.
- Kaya, H., Yaman, B., & Demir, M. (2019). Evaluation of water stress effects on vegetative growth and morphological responses in barley. *Journal of Crop Research*, 34, 123–134.
- Kyriazopoulos, A. P., Orfanoudakis, M., Abraham, E. M., Parissi, Z. M., & Serafidou, N. (2014). Effects of arbuscular mycorrhiza fungi on growth characteristics of *Dactylis glomerata* L. under drought stress conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(1), 132-137.
- Lelievre, F., & Volaire, F. (2009). Current and potential development of perennial grasses in rainfed Mediterranean farming systems. *Crop Science*, 49(6), 2371-2378.
- Liaqat, S., Saddique, M. A. B., Sher, M. A., & Ali, Z. (2021). Utilization of Wild Ancestors for Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Barley. In *Wild Germplasm for Genetic Improvement in Crop Plants* (pp. 101-114). Academic Press.
- Liu, M., Li, Y., Ma, Y., Zhao, Q., Stiller, J., Feng, Q., & Liu, C. (2020). The draft genome of a wild barley genotype reveals its enrichment in genes related to biotic and abiotic stresses compared to cultivated barley. *Plant biotechnology journal*, 18(2), 443-456.
- Majidi, M. M., Hoseini, B., Abtahi, M., Mirlohi, A., & Araghi, B. (2015). Genetic analysis of seed related traits in Orchardgrass (*Dactylis glomerata*) under normal and drought stress conditions. *Euphytica*, 203, 409-420.
- Majidi, M. M., Hoseini, B., Barati, M., Mirlohi, A., & Araghi, B. (2017). Simultaneous selection for seed and forage production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*): application of drought tolerance and susceptibility indices. *Grass and Forage Science*, 72(3), 441-453.
- Mascher, M., Richmond, T. A., Gerhardt, D. J., Himmelbach, A., Clissold, L., Sampath, D., & Stein, N. (2013). Barley whole exome capture: a tool for

- genomic research in the genus *Hordeum* and beyond. *The Plant Journal*, 76(3), 494-505.
- Mora, F., Quitral, Y. A., Matus, I., Russell, J., Waugh, R., & Del Pozo, A. (2016). SNP-based QTL mapping of 15 complex traits in barley under rain-fed and well-watered conditions by a mixed modeling approach. *Frontiers in plant science*, 7, 909.
- Munns, R., James, R. A., Sirault, X. R., Furbank, R. T., & Jones, H. G. (2010). New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. *Journal of experimental botany*, 61(13), 3499-3507.
- Norton, M. R., Lelièvre, F., & Fukai, S., Voltaire, F. (2008). Measurement of summer dormancy in temperate perennial pasture grasses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59 (6), pp. 498-509
- Ozturk, Z. N., Talamé, V., Deyholos, M., Michalowski, C. B., Galbraith, D. W., Gozukirmizi, N., ... & Bohnert, H. J. (2002). Monitoring large-scale changes in transcript abundance in drought-and salt-stressed barley. *Plant molecular biology*, 48, 551-573.
- Öztürk, B., Yılmaz, H., & Aksoy, K. (2021). Drought Stress Effects on Leaf Area, Leaf Thickness, and Photosynthesis in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Agricultural Science*, 59(4), 321–330.
- Pecetti, L., Annicchiarico, P., Abdelguerfi, A., Kallida, R., Mefti, M., Porqueddu, C., ... & Lelièvre, F. (2011). Response of Mediterranean tall fescue cultivars to contrasting agricultural environments and implications for selection. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(1), 12-20.
- Piano, E., Pecetti, L., Annicchiarico, P., Carroni, A. M., Fornasier, F., & Romani, M. (2004). Combining drought tolerance and responsiveness to summer moisture availability in cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) germplasm grown in Mediterranean environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(12), 1197-1204.
- Qi, J., Ni, F., Wang, X., Sun, M., Cui, Y., Wu, J., & Fu, D. (2019). The anther-specific CYP704B is potentially responsible for MSG26 male sterility in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 132, 2413-2423.
- Qiu, C. W., Liu, L., Feng, X., Hao, P. F., He, X., Cao, F., & Wu, F. (2020). Genome-wide identification and characterization of drought stress

- responsive microRNAs in Tibetan wild barley. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(8), 2795.
- Rapacz, M., Wójcik-Jagła, M., Fiust, A., Kalaji, H. M., & Kościelniak, J. (2019). Genome-wide associations of chlorophyll fluorescence OJIP transient parameters connected with soil drought response in barley. *Frontiers in plant science*, 10, 78.
- Rashid, M., Akhtar, S., & Abbas, S. (2019). Physiological, Biochemical and Yield Responses of Barley (*Hordeum vulgare* L.) to Drought Stress and the Mitigating Effect of Exogenous Application of Glycine Betaine. *Journal of Agronomy*, 58(3), 223–236.
- Robins, J. G., Bushman, B. S., Feuerstein, U., & Blaser, G. (2016). Variation and correlations among European and North American Orchardgrass germplasm for herbage yield and nutritive value. *Agronomy*, 6(4), 61.
- Saeed, U., Ali, R., Khan, M. A., & Farooq, R. (2020). Role of potassium in abscisic acid homeostasis and carbohydrate metabolism under drought stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*, 45(6), 123–139.
- Salis, M., Seddaiu, G., & Ledda, L. (2006). Drought resistance evaluation of perennial grasses. *Grassland Productivity*.
- Sanada, Y., Gras, M. C., & van Santen, E. (2010). Cocksfoot. *Fodder crops and amenity grasses*, 317–328.
- Sayed, M. A., Schumann, H., Pillen, K., Naz, A. A., & Léon, J. (2012). AB-QTL analysis reveals new alleles associated to proline accumulation and leaf wilting under drought stress conditions in barley (*Hordeum vulgare* L.). *BMC genetics*, 13, 1–12.
- Seiler, C., Harshavardhan, V. T., Rajesh, K., Reddy, P. S., Strickert, M., Rolletschek, H., & Sreenivasulu, N. (2011). ABA biosynthesis and degradation contributing to ABA homeostasis during barley seed development under control and terminal drought-stress conditions. *Journal of experimental botany*, 62(8), 2615–2632.
- Shaimi, N., Kallida, R., Volaire, F., Saidi, N., & Faiz, C. A. (2009). Summer dormancy and drought survival of Moroccan ecotypes of orchardgrass. *Crop Science*, 49(4), 1416–1424.
- Skov Kristensen, P., Dockter, C., Lundqvist, U., Lu, Q., Gregersen, P. L., Thordal-Christensen, H., & Hansson, M. (2016). Genetic mapping of the

- barley lodging resistance locus E rectoides-k. *Plant Breeding*, 135(4), 420-428.
- Smith, J., Walker, A., Martin, R., Thompson, L., O'Connor, B., & Evans, D. (2021). Environmental Stress Response in Barley: A Genotypic Perspective. *Plant Science Today*, 7(2), 85–96.
- Sreenivasulu, N., Radchuk, V., Strickert, M., Miersch, O., Weschke, W., & Wobus, U. (2006). Gene expression patterns reveal tissue-specific signaling networks controlling programmed cell death and ABA-regulated maturation in developing barley seeds. *The Plant Journal*, 47(2), 310-327.
- Stewart, A.V., Ellison, N.W. (2011). Dactylis, pp 73-87. In: Kole C (Ed.). *Wild crop relatives: genomic and breeding resources, millets and grasses*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Szira, F., Bálint, A. F., Börner, A., & Galiba, G. (2008). Evaluation of drought-Related traits and screening methods at different developmental stages in spring barley. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(5), 334-342.
- Tahira Tabassum, T. T., Riaz Ahmad, R. A., Muhammad Farooq, M. F., & Basra, S. M. A. (2018). Improving the drought tolerance in barley by osmopriming and biopriming.
- Templer, S. E., Ammon, A., Pscheidt, D., Ciobotea, O., Schuy, C., McCollum, C., & Voll, L. M. (2017). Metabolite profiling of barley flag leaves under drought and combined heat and drought stress reveals metabolic QTLs for metabolites associated with antioxidant defense. *Journal of experimental botany*, 68(7), 1697-1713.
- Teulat, B., Borries, C., & This, D. (2001). New QTLs identified for plant water status, water-soluble carbohydrate and osmotic adjustment in a barley population grown in a growth-chamber under two water regimes. *Theoretical and applied genetics*, 103, 161-170.
- Tomic, Z., Lugić, Z., Radović, J., Sokolović, D., Nešić, Z., & Krnjaja, V. (2007). Perennial legumes and grasses stable source of quality livestock fodder feed. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 23(5-6-1), 559-572.
- Vahamidis, P., Stefopoulou, A., Kotoulas, V., Lyra, D., Dercas, N., & Economou, G. (2017). Yield, grain size, protein content and water use efficiency of null-LOX malt barley in a semiarid Mediterranean

- agroecosystem. *Field Crops Research*, 206, 115-127.
- Vogel, K. P. (2000). Improving warm-season forage grasses using selection, breeding, and biotechnology. *Native warm-season grasses: Research trends and issues*, 30, 83-106.
- Volaire, F. (2008). Plant traits and functional types to characterise drought survival of pluri-specific perennial herbaceous swards in Mediterranean areas. *European Journal of Agronomy*, 29(2-3), 116-124.
- Volaire, F., Barkaoui, K., & Norton, M. (2014). Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. *European Journal of Agronomy*, 52, 81-89.
- Wang, X., Chen, Z. H., Yang, C., Zhang, X., Jin, G., Chen, G., ... & Dai, F. (2018). Genomic adaptation to drought in wild barley is driven by edaphic natural selection at the Tabigha Evolution Slope. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(20), 5223-5228.
- Wang, Q., Zhao, F., Sun, L., Zhou, Y., Guo, R., & Lin, M. (2023). Advancing Barley Drought Resilience with Genome Editing Technologies. *Trends in Plant Science*, 28(1), 18-30.
- Wehner, G. G., Balko, C. C., Enders, M. M., Humbeck, K. K., & Ordon, F. F. (2015). Identification of genomic regions involved in tolerance to drought stress and drought stress induced leaf senescence in juvenile barley. *BMC plant biology*, 15, 1-15.
- Wiegmann, M., Maurer, A., Pham, A., March, T. J., Al-Abdallat, A., Thomas, W. T., & Pillen, K. (2019). Barley yield formation under abiotic stress depends on the interplay between flowering time genes and environmental cues. *Scientific Reports*, 9(1), 6397.
- Yilmaz, Z. B., Uzun, E., Altinok, K., & Dogan, B. (2022). Hydraulic and biochemical responses of barley to drought stress: Role of xylem-derived abscisic acid in stomatal regulation and proline accumulation. *Agronomy Journal*, 114(2), 567-576.
- Zahn, S., Koblenz, B., Christen, O., Pillen, K., & Maurer, A. (2020). Evaluation of wild barley introgression lines for agronomic traits related to nitrogen fertilization. *Euphytica*, 216, 1-14.
- Zhang, X., Li, Y., Chen, H., Deng, W., Liu, S., & Zhao, J. (2020). Global Evaluation of Barley Genotypes for Drought Tolerance. *Crop Science*, 60(5), 2015-2028.

BÖLÜM 2

Kamışsı Yumak (*Festuca arundinacea*)

Yulaf Otu (*Avena sativa*)

Kılçiksız Brom (*Bromus inermis*)

Dr. Emre Süreyya DUMLU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17488139>

¹ Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Çayır, Mera ve Yem Bitkileri Bölümü
Erzurum, Türkiye. sureyyaemre.dumlu@tarimorman.gov.tr , Orcid ID: 0000-0003-
0154-8927

1. Kamışsı yumak (*Festuca arundinacea*)

Çok yıllık yem bitkisi türleri, hayvan tüketiminde sağlıklı yem üretimi, konfor ve ekolojide karbon salınımındaki önemli rolleri nedeniyle büyük öneme sahiptir (Sanada vd., 2010). Bu türlerin su eksikliğine tepkisi ve kuraklık stresi koşullarında ve sonrasında yem üretim yetenekleri çok çeşitlidir. Çoğu çok yıllık türlerin, tekrarlanan yaz kuraklığından sonra yüksek kalıcılık ve hızlı toparlanma gibi bazı özel avantajları vardır ve bu da meralarda kalıcılık ve diğer türlerle iyi rekabet sağlar. Kuraklık sonrası toparlanma ve hayatta kalma özellikleri, kuraklığa daha az dayanıklı türlerle daha iyi rekabete yol açar ve meralarda daha iyi kalıcılık sağlar. Yem türlerinde, uygun genotipler yalnızca yüksek kalıcılık ve tekrarlanan yaz kuraklıklarında hayatta kalma potansiyeline sahip olmakla kalmamalı, aynı zamanda uygun yem üretim düzeyine de sahip olmalıdır (Taleb vd., 2023). Tarımsal açıdan önemli olan *Festuca* cinsinden iki yem bitkisi, en yaygın kullanılan serin mevsim türlerinden biri olan hekzaploid kamışsı yumak (*Festuca arundinacea*) ($2n = 6x = 42$) ve diploid çayır yumağı (*Festuca pratensis*) dahil olmak üzere 80'den fazla tür içerir. Nispeten önemli diğer çayır otları *Festuca rubra* ve *Festuca ovina*'dır (Sarmast vd., 2015).

Festuca arundinacea büyük, gevşek, ancak bazen yoğun yumak oluşturan, normalde stolonları ve kısa rizomları bulunmayan, çok yıllık bir bitkidir. Avrupa florasında beş alt türü bildirilmektedir. “*Arundinacea* alt türü”, eski Rusya (SSCB)'nın güney yarısı hariç tüm yayılış alanlarında görülür. “*Uechtriziana* alt türü” Fransa'nın güneydoğusunda görülmekte ancak Orta Avrupa doğal florasında da bulunmaktadır. “*Atlantigena* alt türü” güneybatı Avrupa'da, “*Fenas* alt türü” Güney ve Güneydoğu Avrupa'da, “*Orientalis* alt türü” güneydoğu ve doğu Orta Avrupa'da görülmektedir (Gibson ve Newman, 2001). Mera bitkisi olarak önemi nedeniyle çok sayıda türü bulunan *Festuca arundinacea* çok çeşitli toprak şartlarında yetişmektedir. Bunlar genellikle kötü drenajlı, alüvyonlu topraklardır. Nemli meralar, nehir kıyıları, tuz bataklıkları, deniz kenarındaki uçurumlarda ve deniz kıyılarında görülen bir türdür (Clapham, 1992). Yaz sonu ve sonbaharda kışlayan yaprak üreten bir hemikriptofit bitkidir. İzole edilmiş sazlık alanlarda yeni sürgünlerin hızlı üretimi nedeniyle vejetatif üremede hızlı olmaktadır. Gelişmiş kök sistemiyle kuraklığa en dayanıklı türlerden biri olduğu düşünülmektedir. Su stresi bitkide yaprakların kıvrılmasına veya katlanmasına, stomaların kapanmasına ve transpirasyonda azalmaya yol açmaktadır. (Renard ve Francois, 1985). Ayrıca,

bu türün daha sonraki sulamadan sonra kuraklıktan nispeten hızlı bir şekilde kurtulup iyileştiği gözlemlenmiştir (Bacon, 1993; Elmi ve West, 1995; Wilman vd., 1998; Gibson ve Newman, 2001).

Festuca arundinacea çeşidi olan Kentucky 31, esasen ABD'nin güneydoğu bölgesinde olmak üzere ABD'de 20 milyon hektardan fazla alanı kaplamaktadır. Sonbaharda iyi büyüyen ve kış ayları için önemli miktarda yem üreten bir serin mevsim otudur. Çoğunlukla Kentucky 31 çeşidini içeren kamışsı yumak meralarının $>95\%$ 'inin endofitler tarafından enfekte olduğu tahmin edilmektedir (Blodgett, 2007). Bu otların otlatılmasıyla ilişkili rahatsızlığın nedeni, çıplak gözle görülmeyen, kamışsı yumak otunun gövdesi, yaprak kılıfları ve tohumları içinde büyüyen bir mantar endofiti olan *Neotyphodium coenophialum*'dur. Atlarda yaz durgunluğu veya yaz sendromu adı verilen bir durumun gelişimine yol açabilir. Bu bozukluk iştahsızlık, kilo kaybı, ateş ve aşırı tükürük salgılanması ile karakterizedir. Ek olarak, kısraklar gebelik ve üremeye ilgili çeşitli bozukluklar yaşayabilir. Ergopeptin alkaloidleri, kamışsı yumak otu toksikozuyla ilişkili anormalliklerin çoğundan sorumlu gibi görünmekte ve ergovalin ve ergosin en belirgin olanlardır (Talcott, 2018).

Festuca arundinacea, abiyotik streslere dayanıklı, çok çeşitli büyüme koşullarına adapte olmuş, *Lolium*'dan daha az sindirilebilir fakat genellikle daha kalıcı bir tür olarak bilinmektedir. *Lolium* ve *Festuca* cinsleri yakından ilişkili olup yaygın olarak *Festuca* -*Lolium* kompleksi olarak adlandırılır. Her iki tür de esas olarak mera için kullanılmaktadır (Elazreg vd., 2011). *Festuca arundinacea* kuraklığa dayanıklı bir tür, *Lolium multiflorum* daha iyi yem kalitesine sahip ancak abiyotik stres koşullarına daha düşük toleranslıdır (Perlikowski vd., 2014). *Festuca*'da kök yapısı kurak dönemlerde bile sürekli hücrelerin şişkin kalmasını ve aktif olarak büyümesini sağlamaktadır. Dahası, suyun tasarruflu kullanımı, terleme yoluyla kendini aktif olarak soğutmasını sağlamakta bu da sıcaklık ve kuraklık stresi koşullarında üstün performans sağlayan ana faktörlerden birisi olarak kabul edilmektedir (Cross vd., 2013). *Festuca arundinacea* kuraklık, metal kirliliği ve pestisit stresi dahil olmak üzere çeşitli olumsuz çevre koşullarına dayanabilmektedir (Shahrokhi vd., 2018; Lechowicz vd., 2020; Perliowski ve Kosmala, 2020; Peng vd., 2022).



Şekil 1. Sera ortamında iyi sulanan ve kurak koşullarda yetiştirilen *Festuca arundinacea* genotipleri

Kaynak: (Kirigwi ve Saha, 2022).

Yarı kurak ve kurak bölgelerde, yüksek verimli ve kuraklık stresine toleranslı çim türlerinin seçilmesinin özel bir önemi vardır. Serin mevsim bitkilerinde yapılan kapsamlı araştırmalarda, kuraklık sonrası iyileşme, devamlılık, hayatta kalma ve yazın dormant duruma geçen türler arasındaki farklılıklar ve bunların kuraklık toleransı ile ilişkisi önemlidir. *Festuca arundinacea*'nın hem sıcaklığa hem de kuraklık stresine, serin mevsim yem bitkisi türlerinin çoğundan daha iyi tolerans gösterdiği bilinmektedir (Taleb vd., 2023). Jiang ve Huang (2001) tarafından *Festuca arundinacea*, *Lolium perenne* ile karşılaştırılmış ve *Festuca arundinacea*'nın sıcaklık ve kuraklık stresi yaşarken daha yüksek yaprak su içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kamışsı yumağın terlemeyle kendini soğuttuğunu ve bunun sıcaklık ve kuraklık stresi sırasında üstün performansına yol açan ana faktörlerden birisi olduğunu vurgulamışlardır.

Bitkilerin hafif kuraklık stresine veya su stresine maruz bırakılmasıyla strese ön hazırlığın çeşitli bitki türlerinde ısı toleransını iyileştirmek için

uygulanabilir bir yöntem olduğu bildirilmiştir (Wang vd., 2014). Kuraklık ön uygulaması ile artırılan ısı toleransı, ozmotik ayarlama ve derin köklerin gelişimi ile ilişkilendirilmiş ayrıca strese duyarlı proteinlerin ve transkripsiyon faktörlerinin indüksiyonuyla da ilişkili bulunmuştur. Zhang vd. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, kuraklık ön uygulaması amacıyla kamışsı yumak bitkileri başlangıçta sulama yapılmadan 8 gün kuraklığa maruz bırakılıp ve daha sonra büyüme odalarında 25 gün sıcaklık stresine (38/33°C gündüz/gece) tabi tutulduğunda, ön uygulama yapılan bitkiler, ısı stresi altında diğer bitkilere kıyasla yaprak nisbi nem içeriğini, klorofil içeriğini, fotokimyasal etkinliği ve daha düşük elektrolit sızıntısını önemli ölçüde daha yüksek seviyede koruduğu belirtilmiştir. *Festuca arundinacea*, bitkilerde kuraklığa dayanıklılık mekanizmaları üzerinde çalışmak için model bir türdür. Bu dayanıklılığın önemli bileşenleri hala tam olarak tanımlanmamıştır. Bu türün genel kuraklık direncinin, iyi gelişmiş bir kök sistemine (kuraklıktan kaçınma) bağlı olabileceği, bunu da bu bitkinin bir özelliği olduğu ve ayrıca kısmen kuraklığın neden olduğu hasarın, daha sonraki rehidrasyondan sonra hızla yenilenme yeteneğine (kuraklık toleransı ve iyileşme stratejisi) bağlı olduğu kanıtlanmıştır (Kosmala vd., 2012).

Yedi farklı serin mevsim bitki türüne ait 28 farklı genotip, *Festuca arundinacea*, *Festuca pratensis*, *Festuca ovina*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum* ve *Lolium × hibridum* olmak üzere Taleb vd. (2023) tarafından 2016-2019 yılları arasında üç sulama rejimi (normal, hafif ve yoğun kuraklık stresi) altında değerlendirilmiştir. Ardından dördüncü yıl yazında (Ağustos 2019'da), tüm sulama rejimlerinde iki ay boyunca sulama durdurulmuş ve ardından türler, uzun süreli kuraklık koşullarının etkisini incelemek için yeniden sulanmıştır. Araştırmacılar farklı sulama seviyelerine tepki olarak türler arasında ve içinde ölçülen tüm özelliklerde geniş bir genetik çeşitlilik tespit etmişlerdir. Tekrarlayan kuraklık stresi tüm genotiplerde yem verimliliğini, kuraklık sonrası toparlanmayı ve hayatta kalmayı azaltmıştır. İncelenen türler arasında kamışsı yumak, daha yüksek yem üretimi, kuraklığa dayanıklılık, hayatta kalma, toparlanma oranı ve kalıcılığa sahip bulunmuştur. Kuraklık toleransı (stres tolerans puanına göre), hem hafif hem de yoğun kuraklık stresi koşullarında yem verimi ve kuraklık sonrası toparlanma ve kısmen yaz durgunluğu ile yüksek oranda ilişkili bulunmuştur.

2. Yulaf (*Avena sativa*)

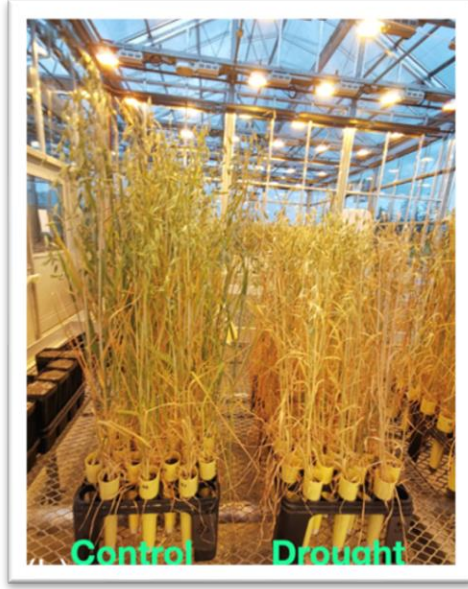
Yulafın çok fonksiyonel kullanımları arasında dünyanın bir çok yerinde hayvan yemi, yataklık samanı, kuru ot, silaj samanı, insan gıdası bulunur (Ahmad vd., 2014). Yulaf en önemli kışlık tahıl yemlerinden biridir ve hayvan diyeti olarak zengin bir enerji, protein, B1 vitamini, fosfor, demir ve diğer mineraller kaynağıdır (Jehangir vd., 2013). Avrupada, beyaz veya sarı kabuklu yulaf (*Avena sativa*) ve kültüre alınmış kırmızı yulaf (*Avena byzantine*) dahil olmak üzere hekzaploid formlar, geliştirilmiş çeşitlerin en yaygın kökenidir. Himalayalar bölgesi ve Güney Amerika gibi dünyanın bazı bölgelerinde ise diploid yulaf çeşitleri yaygın olarak yem bitkisi olarak yetiştirilmektedir (Kim vd., 2014). Yulaf, yem olarak birçok avantaj sunmaktadır (Ahmad vd., 2014). Normal büyüme mevsimleri kısalduğunda veya saman tedariki kesildiğinde acil yem bitkisi olarak yetiştirilebilir. Çeşitli topraklara uyum sağlayan ve diğer tahıllara kıyasla daha az verimli topraklarda bile hayatta kalma şansı yüksek olan bitkidir. Ancak yulaf, yüksek terleme oranı nedeniyle diğer tahıllardan kuraklık stresine karşı daha savunmasızdır (Shaheen vd., 2021). Yeşil yem için, bitki %50 çiçeklenmede veya daha sonraki devrede hasat edilir ve böylece kaliteden daha az bir kayıpla en yüksek yeşil yem verimi elde edilir. Ayrıca sağmal ineklerin vücut ağırlıklarının korunmasına yardımcı olur, sağlığını korur ve kışın yem kıtlığı dönemlerinde keskin bir şekilde düşen sağmal ineklerin süt verimini artırır (Favre vd., 2019).

İki amaçlı bir üretim sisteminde ürün, kardeşlenme devresine kadar otlatma için kullanılmakta ardından dane üretimi için hasat yapılmaktadır. Otlatma amaçlı üretim sisteminde, ürün sonbahardan ilkbahara kadar otlatılır ve dane için hasat edilmez. Bazı durumlarda, yulafta otlatmayı uzatmak için diğer küçük yem tahılları veya otlarla karışık bir alanda kullanılır. Üreticilerin iki amaçlı, otlatma veya tahıl üretim sistemiyle ilgili kararı büyük ölçüde kişisel tercihe, yemin bulunabilirliğine, çevresel faktörlere ve tahıl ile hayvansal ürün fiyatına dayanmaktadır (Edwards vd., 2011). Yulaf (*Avena sativa*), Akdeniz bölgesinde de önemli bir tahıl ve besleyici yem kaynağıdır. Hızlı büyüyen, besleyici, sulu ve lezzetli bir yem bitkisidir (Niazi vd., 2021). Ilıman ve serin subtropikal iklimlere iyi adapte olmuştur. Yem verimi, özellikle optimum büyüme süresini azaltan, erken yaşlanmaya neden olan ve sonuçta yem verimini ve büyüme süresini azaltan su ve sıcaklık stresi olmak üzere çeşitli abiyotik streslere bağımlıdır (Niazi vd., 2020).

Yulaf, değişken toprak tiplerine iyi uyum sağlamak ve asitli topraklarda diğer küçük taneli tahıl ürünlerinden daha iyi performans göstermektedir. Çoğunlukla serin ve nemli iklimlerde yetiştirilmekte ve başak çıkışından olgunluğa kadar sıcak ve kuru havaya karşı hassas olabilmektedirler. Bu nedenlerden dolayı, dünya yulaf üretimi genellikle Finlandiya ve Norveç dahil 35 ila 65°K enlemleri ile 20 ila 46°G enlemleri arasında yoğunlaşmıştır. Dünya yulaf üretiminin çoğu ilkbaharda ekilen çeşitlerden gelir, ancak sonbahar ekimi Himalaya Hindu Kush sıradağları ve yazların sıcak ve kuru olduğu bölgeler dahil olmak üzere daha yüksek rakımlı bölgelerde uygulanır. İskandinavya, ABD'nin kuzey eyaletleri, Kanada ve tropik bölgelerdeki yüksek rakımlı bölgeler gibi kışların sert geçtiği yerlerde, genellikle erkenci, orta olgunluktaki yulaf çeşitleri ekilmektedir. Ilıman iklime sahip bölgelerde, yulaf bölgesel iklim koşullarına, ürün rotasyonu ihtiyacına, son kullanıma ve diğer tarımsal uygulamalara bağlı olarak çeşitli şekillerde ilkbahar, kış ve/veya sonbaharda ekilmektedir. Daha sıcak bölgelerde ilkbahar tipi yulaf, yaz sıcaklığından ve kuraklıktan kaçınmak için sonbaharda ekilmektedir (Ahmad vd., 2014).

Güney ABD'de, yulafın çoğu tahıl üretimi veya hayvan yemi için ve bazı durumlarda iki amaçlı ürün olarak yetiştirilen kış tipleri oluşturmaktadır (Kim vd., 2014). Genel olarak, yem yulafı, özellikle soğuk ortamlarda otlatmadan ziyade biçmeye daha uygundur, ancak yulafın doğrudan otlatılması sıcak bölgelerde iyi sonuç verebilir (Suttie ve Reynolds, 2004). Güney ABD'de kış yulafı, besi sığırı (*Bos spp.*) üretimi, yaban hayatı yemi ve diğer kullanımlar için alternatif bir yem bitkisidir. Bu nedenle, o bölgede yulaf üretimi önemli bir yem bitkisidir ve yem buğdayına iyi bir alternatiftir (Kim vd., 2014). Güney ABD'de yulaf, diğer yüksek proteinli yemlerin kıt olduğu kış dönemlerinde mükemmel yem sağlamaktadır (Schrickel vd., 1992). Yem yulafının, çavdar (*Secale cereale*), buğday ve arpa gibi diğer küçük tahıllarla karşılaştırıldığında birkaç avantajı ve dezavantajı vardır. Çavdarla birlikte yulaf, sonbahar otlatması sağlayabilir. İlkbahar türleri sonbaharda geç sonbahar ve kış otlatması için ekilebilse de sıcaklıkların -2,8°C'nin altına düştüğü uzun sürelerde ölmektedir. Yulaf yüksek kaliteli yem üretmekte ve sınırlı nem koşullarında çimlenebilmektedir (Stichler, 1997). Ancak yulafın soğuğa ve kuraklığa dayanıklılığı zayıftır ve çeşitli yaprak ve taç hastalıklarına karşı hassastır (Kim vd., 2014). Yulafın kullanımını ve adaptasyonunu etkileyen dört ana fenotipik

kategorisi vardır. Bunlar ilkbahar ve kış tipleri ile kavuzlu ve kavuzsuz tiplerdir (Newell vd., 2011). Kavuzlu ve kavuzsuz tipler arasında net bir farklılık olsa da ilkbahar ve kış tipleri arasındaki farklılık net değildir çünkü yulaf vernalizasyona ve fotoperiyoda oldukça bağımlılık göstermektedir (Tinker vd., 2009). "Kış tipi" terimi, çeşidin sonbahar veya kış ekimi için yetiştirildiğini belirtmek amacıyla sıklıkla kullanılır ve yulaftaki kışa dayanıklılık ile karıştırılmamalıdır (Stevens vd., 2002). Birçok kış tipi çok az veya hiç vernalizasyon gerektirmez ve ayrıca ilkbaharda çiçek açar. Kuzey Amerika'da en yaygın yetiştiriciliği yapılan yulaf çeşitleri, ilkbaharda ekilen, yaz ortasında hasat edilen ve tahıl üretimi için yetiştirilen kabuklu tiplerdir. Kışlık tipler genellikle ABD'nin güney bölgelerinde yem ve otlatma amacıyla mera olarak kullanılır ve iyi drene edilmiş kil ve kumlu- tınlı topraklara iyi adapte olmuşlardır (Suttie ve Reynolds, 2004; Ditsch ve Bitzer, 1995). Kışlık yemlik yulaf sonbaharda ekilir ve sıcak mevsim çok yıllık yem bitkileri *Cynodon dactylon* ve *Paspalum notatum* gibi bitkilerin dormanrt durumunda kaldığı sonbahardan ilkbahara kadar yem sağlar (Anderson ve Wu, 2011; Ball vd., 2007; Interrante vd., 2009). Tüm ABD yem yulafları çeşitleri de kavuzlu tiptedir. Bunun son kullanımıyla pek ilgisi olmayıp daha çok germplazma kaynakları ile ilgili ve kaplanmış yulaf tohumunun kullanımının daha kolay olması ve kavuzsuz tohum tiplerine göre daha iyi çimlenmesiyle ilgilidir (Sinha, 1971). Yulaf üretiminin geleceği kullanılan üretim sistemine bağlıdır. Yulaf bazen otlatılır, ancak ana kullanımı saman ve silajdır ve Kaliforniya, Florida, Kuzey Dakota, Güney Dakota, Minnesota ve Montana'daki hayvancılık işletmelerinde değerli bir yem olarak önemli role sahiptir (Poland vd., 2002).



Şekil 2. Yulaf bitkisinin farklı sulama (kontrol ve kuraklık) uygulamalarındaki büyüme durumu

Kaynak: Wen vd., 2023

Pakistan'da yulaf başlıca kışlık yem olarak değerlendirilmektedir. Sulu ve yağışa dayalı yetiştirilen en önemli tahıl yem bitkilerinden biridir. Hızlı büyüyen, lezzetli, sulu ve besleyici bir üründür. Yulaf yemi yetiştiriciliğinde genellikle hektar başına 40-60 kg NPK besin maddesi gereksinimi bulunurken, su gereksinimi 4-6 sulamadır. Yulaf samanı yumuşaktır ve besin değeri buğday ve arpadan daha yüksektir. Yulaf tanesi ayrıca atlar, süt inekleri, kümes hayvanları ve genç damızlık hayvanlar için değerli bir yemdir (Lodhi vd., 2009).

Singh vd. (2018)'nin Hindistan'ın Orta Gujarat koşullarında 13 yulaf çeşidi ile yaptıkları araştırmada yeşil ot verimini ortalama $36,48 \text{ t ha}^{-1}$, tohum verimini $1,10 \text{ t ha}^{-1}$ ve ham protein oranını $0,97 \text{ t ha}^{-1}$ olarak tespit etmişlerdir. Yulaf için yüksek yem verimi, iyi yem kalitesi ve kışa dayanıklılık ıslah hedefleri arasında yer almaktadır. Kışlık yem için geliştirilmiş çeşitler, hızlı sonbahar ve ilkbahar büyümesi sağlamalı, bol kardeş üretmeli ve diğer tahıl türlerine göre geç başaklanmalı ve daha uzun süre vejetatif dönemde kalmalıdır. Tipik olarak yemlik tipler, diğer tahıl çeşitlerine göre daha fazla

kuru madde üretme eğilimindedir. Kışlık yemlik yulafta, sonbahar erken dönemde sağlanan yem üretimi önemli bir özelliktir. Sonbaharda erken dönemde yem üreten çeşitlerin kullanılmasıyla otlatma süresi uzatılabilir. Kışlık yemlik yulafta kışa dayanıklılık en önemli yetiştirme hedefidir. Kışa dayanıklılık birkaç gen tarafından kontrol edilen nicel bir özellik olduğundan (Thomashow, 1999), bitki ıslah çalışmalarında şimdiye kadar yulafın kışa dayanıklılığını iyileştirmede sınırlı bir başarı elde edilmiştir (Chawade vd., 2012).

Pas, yapraklara ciddi şekilde zarar verebilir, büyümeyi sınırlayabilir ve yem kalitesini düşürebilir. Son derece hassas çeşitlerde kök sistemi bodurlaşır ve sonuç olarak kuraklığa karşı zayıf tolerans gösterirler (Carson, 2008). Hastalığın görülmesi ve yayılması, otlatma ile aynı zamana denk geldiğinden yemlik yulaf çeşitlerinin pasa dayanıklı olması gerekmektedir (Suttie ve Reynolds, 2004). Kuraklık, en önemli ürün kısıtlamaları arasında olup kaliteyi, verimliliği azaltır ve dünya çapında ekonomik çıktıyı ve gıda güvenliğini tehlikeye atar (Faroog vd., 2009). Kurak ve yarı kurak bölgelerde kuraklık stresi, özellikle sulanmayan yulaf için yem ve tane verimi için ana sınırlamadır (Zhao vd., 2021). Tahıllar arasında yulaf kuraklık stresine en duyarlı bitki olup, suyun bulunduğu her türlü toprakta yetiştirilebilir. Yulafın (*Avena sativa*) kuraklığa en duyarlı olduğu dönem çimlenme dönemidir (Alam vd., 2020). Yulaf, kısa büyüme döngüsü, yüksek yem verimi ve besin değeri nedeniyle hem tahıl hem de yem üretimi için soğuk ve yüksek rakımlı alanlarda yetiştirilmeye uygun bir bitkidir (Zhang vd., 2010). Soğuk mevsimde yem sorununu çözmek için üstün bir türdür ve alpin çayır hayvancılığının sürdürülebilir gelişimini sağlar (Xu, 2012). Fide aşaması, yulaf büyümesi ve gelişimi için önemli bir dönemdir. Bu nedenle, kuraklığa dayanıklı çeşitlerin seçimi için erken ilkbahar kuraklığının yulaf büyümesi üzerindeki etkilerinin ve yulafın kuraklığa uyum mekanizmasının incelenmesi büyük önem taşımaktadır (Xie vd., 2021). Önceki çalışmalar, su kıtlığının fotosentez oranını, stoma iletkenliğini ve hücreler arası CO₂ içeriğini azalttığını göstermiştir (Xu ve Zhou, 2019; Chaves ve Oliveira, 2020; Liu vd., 2021; Zhao vd., 2021).

Yulafın kuraklık stresine adaptasyonu, stomaları aktif olarak kapatmak için absisik asit (ABA) sinyalleri almak, fotosentetik etkinliği ve büyümeyi azaltmak, yaşlanmayı hızlandırmak ve besin tüketimini azaltmak;

fitohormonlar aracılığıyla ilgili genleri düzenlemek ve kuraklık stresi sinyallerini iletmek; antioksidan enzim genlerinin seviyesini düzenlemek, antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırmak ve reaktif oksijen türlerini (ROS) temizleyerek veya düzenleyerek hücre zarlarındaki oksidatif hasarı hafifletmek veya önlemek dahil olmak üzere çeşitli faktörlerle ilişkilidir. Organik uyumlu çözünenler sentezlenir ve hücre ozmotik basıncını düzenleyerek kuraklık stresinin ilk aşamasında inorganik iyonların ozmotik düzenlenmesini iletir ve hücre ozmotik basıncını düzenlemek için inorganik iyonlarla birlikte çalışır (Liu vd., 2021; Choudhary vd., 2023; Hou vd., 2023).

Yulaf üretimi kuraklık stresi altında önemli ölçüde azalır. Yulaf, çiçeklenmeden 10 gün sonrasına kadar gövde uzamasından itibaren kuraklık stresine karşı daha savunmasızdır (Mahadevan vd., 2016). Yulaf, toprağı iyi kullanan güçlü kök sistemlerine ve toprak besin maddelerini kullanma etkinliğinin yüksek olmasına rağmen, terleme hızı ve su gereksinimi diğer küçük taneli tahıl türlerine göre daha yüksektir (Ehlers, 1989). Yulafta, kuraklığa dayanıklı ve hassas çeşitlerde, kuraklığa karşı kök morfolojisindeki değişiklikler, kuraklığa dayanıklı genotiplerde kök uzunluğunda, dallanma oranında, kök yüzey alanında ve ince köklerin uzunluğunda artış, hassas genotiplerde kaba/ince kök oranının ise azalma olarak ortaya çıkmaktadır (Canales vd., 2019). Yulaf kuraklık koşullarına ozmotik olarak uyum sağlamak için prolin ve glisin betain gibi organik bileşikler sentezlemektedir (Gong vd., 2010). Moleküler düzeyde yulaf genomik araştırmaları önemli ilerlemeler kaydetmiş ve bazı kuraklık toleransı ile ilişkili genler ve bazı transkripsiyon faktörleri incelenmiş ve tanımlanmıştır. Prolin, melatonin, salisilik asit ve potasyum gibi ekzojen büyüme düzenleyiciler yulafın kuraklık stresine dayanma yeteneğini artırabilir. Yulaf kurak ve yarı kurak ortamlarda hayatta kalabilir, bu da özel bir kuraklık toleransı mekanizması olduğunu göstermektedir. Kuraklık stresi altında yulaf, stoma iletkenliğini azaltmak için absisik asit (ABA) sentezlemekte ve su kaybını azaltmak için stomalarını kapatmaktadır. Bu, fotosentetik etkinliğin azalması, besin tüketiminin azalması, büyüme hızının düşmesi, yaşam döngüsünün kısalması ve yaşlanmanın hızlanmasına neden olmaktadır (Hou vd., 2023).

3. Kılçıksız brom (*Bromus inermis*)

Kılçıksız brom (*Bromus inermis* L.), giderek artan ekonomik öneme sahip çok yıllık yem bitkisi türüdür. Başlangıçta bu tür, hayvan yemi kaynağı olarak bir miktar ilgi çekmiş, yıllar geçtikçe avantajları hakkında artan bilgiler sayesinde bu ilgi önemli ölçüde artmıştır. Tür, Doğu Avrupa ve Çin'e özgüdür ve şu anda kuzey yarımküredeki ılıman ve serin iklim bölgelerinde yaygın olarak yetişmektedir. Önemi, 1930'lardaki büyük kuraklık olayları sırasında fark edilmiştir. *Bromus inermis* üzerine kapsamlı araştırmalar ancak 1970'lerde başlamıştır (Casler vd., 2000; Mackiewicz Walec vd., 2024). Kılçıksız brom, önemli ekotip çeşitliliği ile karakterize edilir ve genellikle kuzey, güney ve ara ekotipler ile birbirlerinden ayrılır. Kuzey Amerika'da, kılçıksız brom iki ana ekotipte sınıflandırılır: i) vadilerde, Doğu Avrupa'nın nemli iklimlerinde ve ılıman Asya iklimlerinde gelişen kuzey veya çayır ekotipi, ii) kuru ortamlara iyi adapte olmuş güney veya bozkır ekotipi. Ara bir ekotip ise, kuzey ve güney ekotiplerinin bir meleziidir (Ferdinandez ve Coulman, 2004).

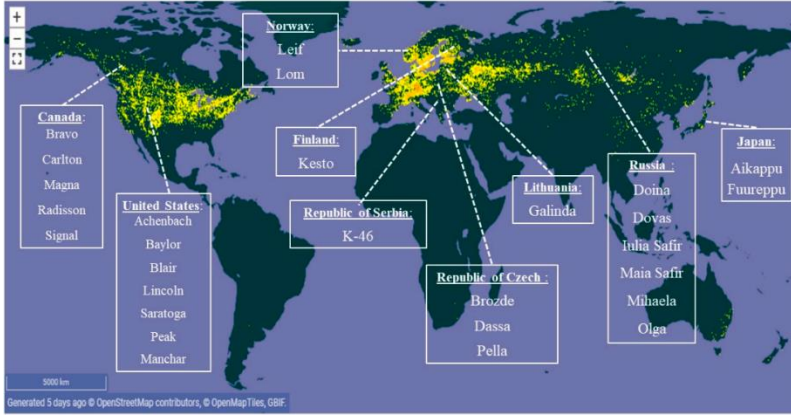
Bromus inermis'in çeşitli habitatlardaki geniş coğrafi dağılımı, esas olarak diğer çok yıllık türlere oranla bu türün olağanüstü soğuk direncine ve yeni ortamlara uyum sağlama yeteneğine atfedilebilir (Kostopoulou ve Karatassiou, 2016). *Bromus inermis* ayrıca hastalıklara karşı oldukça dirençlidir (Casler vd., 2000). Soğuk iklimlerde ortalamanın üzerinde büyüme göstermekte ve olumsuz çevre koşullarına, özellikle düşük sıcaklıklara tolerans ile karakterize edilmektedir (Kashevarov vd., 2015). Kılçıksız brom, kuraklığa en dayanıklı çim türlerinden biridir (Raave, 2004). Çok sayıda yan dalı ve geniş kök sistemi ile kurak alanlar, zayıf ve ıslak topraklar, suyla kaplı alanlar, setler ve yamaçlar dahil olmak üzere çeşitli toprak tiplerine ve ortamlara adaptasyon sağlar (Rogalski, 2004). Geniş kök sistemi sayesinde kılçıksız brom, diğer ot türlerinden daha fazla su ve besin alabilir. Raave, (2004) ve Pang vd. (2022)'ne göre, kılçıksız brom suyu esas olarak 10 cm'nin altındaki derin toprak katmanlarından çeker. Kılçıksız brom, olgun bitkilerden genç fidelerine temel besinleri etkili bir şekilde taşır ve bu da türün besin eksikliği olan toprakları etkili bir şekilde kolonize etmesini sağlar (Vasylenko vd., 2020). Bu süreç, türlerin hayatta kalmasında ve olumsuz çevre koşulları altında genç bitkilerin gelişmesinde önemli bir rol oynar.

Kılçıksız brom, allelopatic etkilere de sahiptir ve rekabeti azaltan mikotrofik maddeler salgılayarak diğer bitkilerin büyümesini engeller (Harkot

vd., 1997). Başlangıçta, *Bromus inermis* esas olarak bir hayvan yemi kaynağı olarak ilgi çekmişken günümüzde tür yalnızca bir yem kaynağı değil, aynı zamanda bir enerji bitkisi olarak, bozulmuş arazileri geri kazanmak veya nadasa bırakılmış arazileri korumak için kullanılmaktadır (Mackiewicz Walec vd., 2024). *Bromus inermis*, erozyonla aşınmış topraklarda öncü bir bitki ve yangından zarar görmüş alanlarda bir toprak dengeleyici olarak kabul edilir. Birçok hayvan türüne barınak sağlar ve ayrıca fitoremediasyonda, erozyonun kontrolünde ve önlenmesinde ve biyolojik çeşitliliğin artırılmasında kullanılır (Salesman ve Thomsen, 2011). Yoğun güneş ışığına dayanıklı ve geniş bir yükseklik (rakım) aralığında ekilebilir (Rogalski, 2004). *Bromus inermis*, yüksek yem değerine sahip bir rizomlu buğdaygil türüdür. Su ve rüzgar erozyonundan etkilenen yamaçlarda vazgeçilmezdir. Ayrıca, 45-50 gün boyunca su taşkınlarına dayanabilen bir bitki olduğundan, taşkın çayırları için değerli bir türdür (Ulrich ve Perkins, 2014).

Bromus inermis otunun besin değeri yüksektir; vejetatif sürgünlerin yüksek yapraklılığı nedeniyle her türlü hayvan tarafından rahatlıkla yenir. Mevsim başına birkaç kez biçilebilir ve hasattan sonra kolayca yeniden büyür, bu nedenle genellikle tarım arazilerinde yem bitkisi olarak üretilir (Ünal ve Mutlu, 2015). *Bromus inermis*'in üç biçim koşullarında yıllık kuru madde verimi 13 ton/hektar'a kadar ulaşabilmektedir (Vasylenko vd., 2020). Kanada'nın batı Manitoba bölgesindeki bir otlakta kuraklığın bitkilere etkisinin incinlediği çalışmada, bitkilerin toprak üstü biyokütlesi hasat edilmiş ve uzun süreli aşırı kuraklık deneyinde kılçıksız brom kök taçlarından üretilen rizomların oranı da dahil olmak üzere morfolojik ve yapısal özellikleri karşılaştırılmıştır. *Bromus inermis*, kuraklıktan sonra morfolojik kök özelliklerinde önemli farklılıklar göstermiş ve bu da fenotipik olarak esnek bir su edinme stratejisi olduğuna işaret etmiştir. Kılçıksız bromda kuraklık, rizom üreten taç tomurcuklarının sayısını ve köklerin toplam uzunluğunu ve yüzey alanını artırmıştır. Ayrıca kuraklık altında kök uzunluğunun ve yüzey alanının çok ince köklere iletimini artırmıştır (Kroeger ve Otfenowski, 2024). Armaki vd. (2013)'nin yaptıkları çalışmada, *Bromus inermis*'in dört genotipi üzerinde kuraklık stresinin etkisini laboratuvar ve sera koşullarında incelemişler, araştırma sonucunda, artan kuraklık stresinin prolin ve karbonhidrat miktarını artırdığını, klorofil içeriğini ise azalttığını tespit etmişlerdir. Saeidnia vd. (2019)'nin yaptıkları tarla çalışmasında, *Bromus*

inermis genotiplerini normal ve kısıtlı sulama rejimleri altında 4 yıl boyunca test edilmiş, denemede 2 ay boyunca sulama durdurulmuş, ardından tekrar sulama yapıldıktan sonra genotiplerin kuraklık sonrası toparlanması fenolojik, agronomik ve morfolojik özellikler açısından değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda, kuraklık sonrası iyileşme, daha önce ölçülen morfolojik özellikler, bitki yerleşme hızı ve ilkbahar büyümesiyle pozitif ilişkili bulunmuştur.



Şekil 3. *Bromus inermis*'in coğrafi dağılımı ve çeşitlerinin kökeni (Kaynak: The Global Biodiversity

Kaynak: Information Facility (GBIF, 2025).

Gansu Eyaletinin Hexi Koridoru, Çin'de yüksek kaliteli otların ana üretim alanıdır. Ancak, doğal otlak bozulması, sürekli kuraklıktan kaynaklanan düşük yem verimi ve toprak besin kaybı sorunları belirgindir (Ren ve Zhu, 1995). *Bromus inermis*, soğuğa ve kuraklığa dayanıklılığı, büyük yaprak boyutu, iyi lezzeti, zengin besin içeriği ve güçlü adaptasyonu nedeniyle Gansu Eyaletinin Hexi Koridoru'nda en iyi buğdaygil otu olarak kabul edilir (Tang vd., 2022). Şu anda, *Bromus inermis* üzerine yapılan çoğu çalışma, germplazm taramasına, genetik yapıya, baklagil ve buğdaygille bu meraların karışık ekiminin etkisine odaklanmıştır (Saeidnia vd., 2021).

Son yıllarda, yem bitkilerindeki ilişki analizi, *Lolium perenne* (Yu vd., 2013), *Festuca arundinacea* (Sun vd., 2015) ve *Dactylis glomerata* (Abtahi vd., 2018) gibi çeşitli türlerdeki farklı niceliksel özelliklerin genetik temellerini incelemek için yaygın olarak uygulanmıştır. Bu çalışmalar, GWAS'ın (Genom çapında ilişkilendirme çalışmaları, Genome-wide association studies) niceliksel özelliklerle bağlantılı genomik bölgeleri belirlemek için etkili bir

teknik olduğunu göstermiştir. Kılçıksız bromda kuraklıktan sonra kalıcılık ve iyileşme gibi karmaşık özelliklere sahip genler veya belirteçler arasındaki bağlantıları belirlemede ilişki analizinin kullanımı henüz başlangıç aşamasındadır. Saeidnia vd. (2022) tarafından iki farklı nem koşulu altında 36 kılçıksız brom genotipinde dizi ilişkili çoğaltılmış polimorfizm (SRAP) belirteçleriyle iyileşme, kalıcılık ve yaz uykusu arasındaki ilişkiyi belirlemek ve kararlı ilişkiler bulmak için bir çalışma yürütülmüştür. İlişki analiziyle, normal ve kısıtlı su rejimlerinde sırasıyla 69 ve 46 belirteç-özellik ilişkisini belirlemişlerdir. Bu belirteçlerden bazıları birden fazla özellik ile ilişkilendirilmiştir ki bu, pleyotropik etkilere (tek bir genin birden fazla fenotipik özelliği etkilemesi durumu) veya birkaç özelliği etkileyen sıkı bağlantılı genlere atfedilmiştir. Normal ve kısıtlı su rejimlerinde, bu belirteçler potansiyel olarak kılçıksız brom bitkisinin kuraklık toleransının iyileştirilmesi için kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Abtahi, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A. ve Saeidnia, F. (2018). Association analysis for seed yield, forage yield and traits related to drought tolerance in orchardgrass (*Dactylis glomerata*). *Crop and Pasture Science*, 69(11), 1150-1164.
- Ahmad, M., Dar, Z. A. ve Habib, M. (2014). A review on oat (*Avena sativa* L.) as a dual-purpose crop. *Scientific Research and Essays*, 9(4), 52-59.
- Alam, H., Khattak, J. Z., Ksiksi, T. S., Saleem, M. H., Fahad, S., Sohail, H. ve Saud, S. (2020). Negative impact of long-term exposure to salinity and drought stress on native *Tetraena mandavillei* L. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 1336-1351.
- Anderson, J. A. ve Wu, Y. Q. (2011). Freeze tolerance of forage bermudagrass. *Grass and Forage Sci.* 66(3), 449-452.
- Armaki, M. A., Azarnivand, H., Assareh, M. H., Jafari, A. A. ve Tavili, A. (2013). Physiological and morphological characteristics in seedlings of four *Bromus inermis* ecotypes under drought stress in germinator and greenhouse conditions. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(4), 669-678.
- Blodgett, D. J. (2007). Fescue toxicosis. *Veterinary Toxicology*, Kentucky USA, Toxicology Department , Murray State University, Academic Press is an imprint of Elsevier.
- Canales, F. J., Nagel, K. A., Müller, C., Rispail, N. ve Prats, E. (2019). Deciphering root architectural traits involved to cope with water deficit in oat. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1558.
- Casler, M. D., Vogel, K. P., Balasko, J. A., Berdahl, J. D., Miller, D. A., Hansen, J. L. ve Fritz, J. O. (2000). Genetic progress from 50 years of smooth brome grass breeding. *Crop Science*, 40(1), 13-22.
- Chaves, M. M. ve Oliveira, M. M. (2020). Mechanisms underlying plant resilience to water stress. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 435-456.
- Chawade, A., Lindén, P., Bräutigam, M., Jonsson, R., Jonsson, A. ve Moritz, T. (2012) Development of a model system to identify differences in spring and winter oat. *PLoS ONE* 7(1), e29792. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029792>.
- Choudhary, S., Wani, K. I., Naeem, M., Khan, M. M. A. ve Aftab, T. (2023).

- Cellular responses, osmotic adjustments, and role of osmolytes in providing salt stress resilience in higher plants: Polyamines and nitric oxide crosstalk. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(3), 539-553.
- Cross, J. W., Bonos, S. A., Huang, B. ve Meyer, W. A. (2013). Evaluation of heat and drought as components of summer stress on tall fescue genotypes. *HortScience*, 48(12), 1562-1567.
- Ditsch, D. C. and Bitzer, M. J. (1995). Managing small grains for livestock forage. University of Kentucky, College of Agriculture, Lexington. https://forages.ca.uky.edu/files/small_grains_for_forage_agr160.pdf (accessed: Eylül 2025).
- Edwards, J. T., Carver, B. F., Horn, G. W. ve Payton, M. E. (2011). Impact of dual-purpose management on wheat grain yield. *Crop Science*, 51(5), 2181-2185.
- Ehlers, W. 1989. Transpiration Efficiency of Oat. *Agronomy Journal*, 81(5), 810-817. <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100050023x>.
- Elazreg, H., Ghariani, S., Chtourou Ghorbel, N., Chakroun, M. Ve Trifi Farah, N. (2011). SSRs transferability and genetic diversity of Tunisian *Festuca arundinacea* and *Lolium perenne*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 39(2), 79-87.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212.
- Favre, J. R., Albrecht, K. A., Gutierrez, L. ve Picasso, V. D. (2019). Harvesting oat forage at late heading increases milk production per unit of area. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 5(1), 1-8.
- Ferdinandez, Y. S. ve Coulman, B. E. (2004). Genetic relationships among smooth brome grass cultivars of different ecotypes detected by AFLP markers. *Crop science*, 44(1), 241-247.
- Anonymous, (2025). The Global Biodiversity Information Facility (GBIF). www.gbif.org/species/2703670
- Gibson, D. J. Ve Newman, J. A. (2001). *Festuca arundinacea* Schreber (*F. elatior* L. ssp. *arundinacea* (Schreber) Hackel). *Journal of Ecology*, 89(2), 304-324.
- Gong, D. S., Xiong, Y. C., Ma, B. L., Wang, T. M., Ge, J. P., Qin, X. L. ve Li,

- F. M. (2010). Early activation of plasma membrane H⁺-ATPase and its relation to drought adaptation in two contrasting oat (*Avena sativa* L.) genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 69(1), 1-8.
- Harkot, W. ve Lipinska, H. (1997). Allelopathic effect of *Bromus inermis* Leyss. on germination, initial growth, and development of some grass and legume species. *Problem Issues of Progress in Agricultural Sciences, Baza Agro*, 452, 185-197.
- Hou, P., Qu, M., Yun, P., Li, A., Ahmed, H. A. I., Peng, Y. Ve Chen, L. (2023). *Avena sativa* under drought stress. *Medicinal Plant Responses to Stressful Conditions*, CRC Press.
- Jehangir, I. A., Khan, H. U., Khan, M. H., Ur-Rasool, F., Bhat, R. A., Mubarak, T. Ve Rasool, S. (2013). Effect of sowing dates, fertility levels and cutting managements on growth, yield and quality of oats (*Avena sativa* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 8(7), 648-651.
- Jiang, Y. Ve Huang, B. (2001). Physiological responses to heat stress alone or in combination with drought: A comparison between tall fescue and perennial ryegrass. *HortScience*, 36(4), 682-686.
- Kashevarov, N. I., Osipova, G. M., Tyuryukov, A. G. Ve Filippova, N. I. (2015). Investigation of the characteristics of smooth brome grass (*Bromus inermis* Leys) biological traits for cultivation under extreme environmental conditions. *Russian Agricultural Sciences*, 41(1), 14-17.
- Kim, K. S., Tinker, N. A. Ve Newell, M. A. (2014). Improvement of oat as a winter forage crop in the Southern United States. *Crop Science*, 54(4), 1336-1346.
- Kirigwi, F. M. Ve Saha, M. C. (2022). Screening of tall fescue genotypes for relative water content and osmotic potential under drought stress. *Grassland Research*, 1(2), 84-93.
- Kosmala, A., Perlikowski, D., Pawłowicz, I. Ve Rapacz, M. (2012). Changes in the chloroplast proteome following water deficit and subsequent watering in a high-and a low-drought-tolerant genotype of *Festuca arundinacea*. *Journal of experimental botany*, 63(17), 6161-6172.
- Kostopoulou, P. ve Karatassiou, M. (2016). Photosynthetic response of *Bromus inermis* in grasslands of different altitudes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(4), 642-653.
- Kroeger, N. E. Ve Otfinowski, R. (2024). Adaptive root morphology as a

- drought response in *Bromus inermis*. *Plant and Soil*, 1-14.
- Lechowicz, K., Pawłowicz, I., Perlikowski, D., Arasimowicz-Jelonek, M., Majka, J., Augustyniak, A., Rapacz, M. ve Kosmala, A. (2020). Two *Festuca* species *F. arundinacea* and *F. glaucescens* differ in the molecular response to drought, while their physiological response is similar. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(9), 3174.
- Liu, Y., Liu, H., Zhou, X., Li, Y., Liu, J. ve Wang, Q. (2021). Effects of drought stress on photosynthesis and water-use efficiency of plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 707143.
- Lodhi, M. Y., Marghazani, I. B., Hamayun, K. ve Marri, M. J. (2009). Comparative performance study of different oat varieties under agro-climatic conditions of Sibi. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 19(1), 34-36.
- Mackiewicz Walec, E., Żarczyński, P. J., Krzebietke, S. J. Ve Żarczyńska, K. (2024). Smooth Brome (*Bromus inermis* L.)-A Versatile Grass: A Review. *Agriculture*, 14(6), 854.
- Mahadevan, M., Calderini, D. F., Zwer, P. K. ve Sadras, V. O. (2016). The critical period for yield determination in oat (*Avena sativa* L.). *Field Crops Research*, 199, 109-116.
- Newell, M. A., Cook, D., Tinker, N. A. Ve Jannink, J. L. (2011). Population structure and linkage disequilibrium in oat (*Avena sativa* L.): implications for genome-wide association studies. *Theoretical and Applied Genetics*, 122, 623-632.
- Niazi, I. A. K. (2021). Description of new high yielding forage Avena Sativa L. cultivar ‘Super Green Oats’. *Journal of Agriculture and Food*, 2(1), 17-25.
- Niazi, I. A. K., Akhtar, S., Kohli, S., Naveed, A., Rauf, S. Ve Shehzad, M. (2020). Oat (*Avena sativa* L.) advanced lines outperform existing cultivars for forage yield and its components under terminal heat stress. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(2), 327-331.
- Pang, Z., Xu, H., Chen, C., Zhang, G., Fan, X., Wu, J. ve Kan, H. (2022). Comparing water use characteristics of *Bromus inermis* and *Medicago sativa* revegetating degraded land in agro-pasture ecotone in North China. *Water*, 15(1), 55.

- Peng, X., Li, J., Sun, L., Gao, Y., Cao, M. ve Luo, J. (2022). Impacts of water deficit and post-drought irrigation on transpiration rate, root activity, and biomass yield of *Festuca arundinacea* during phytoextraction. *Chemosphere*, 294, 133842.
- Perlikowski, D., Kosmala, A., Rapacz, M., Kościelniak, J., Pawłowicz, I. Ve Zwierzykowski, Z. (2014). Influence of short-term drought conditions and subsequent re-watering on the physiology and proteome of *Lolium multiflorum*/*Festuca arundinacea* introgression forms, with contrasting levels of tolerance to long-term drought. *Plant Biology*, 16(2), 385-394.
- Perlikowski, D. Ve Kosmala, A. (2020). Mechanisms of drought resistance in introgression forms of *Lolium multiflorum*/*Festuca arundinacea*. *Biologia Plantarum*, 64(1), 107-115
- Poland, W. W., Carr, P. M. ve Tisor, L. J. (2002). Grazing potential of barley or oat forage for yearling beef heifers in the northern Great Plains. Annual Report Beef Section Dickinson Research Extension Center.
- Raave, H. (2004). About grass and legume species suitability for recultivation of semi-coke dumps. *Agronomy*, 219, 154–156.
- Ren, J. Z. ve Zhu, X.Y. (1995). The basic pattern of grassland agriculture in Hexi Corridor of China is contrary to its system-the mechanism of grassland degradation. *Acta Prataculturae Sinica*, 4, 69-79.
- Rogalski, M. (2004). Meadowland. Poznań, Poland, KURPISZ Publishing House.
- Saeidnia, F., Majidi, M. M., Dehghani, M. R., Mirlohi, A. ve Araghi, B. (2021). Multi environmental evaluation of persistence and drought tolerance in smooth brome grass (*Bromus inermis*): genetic analysis for stability in combining ability. *Crop and Pasture Science*, 72(7), 565-574.
- Saeidnia, F., Majidi, M. M., Mirlohi, A., & Ahmadi, B. (2022). Association analysis revealed loci linked to post-drought recovery and traits related to persistence of smooth brome grass (*Bromus inermis*). *Plos one*, 17(12), e0278687.
- Saeidnia, F., Majidi, M. M., Mirlohi, A. ve Bahrami, S. (2019). Inheritance and combining ability of persistence and drought recovery in smooth brome grass (*Bromus inermis* L.). *Euphytica*, 215, 1-15.
- Schrckel, D. J., Burrows, V. D. and Ingemansen, J. A. (1992). Harvesting, storing and feeding of oat. Oat Science and Technology, Agronomy

Monograph.

- Salesman, J. B. ve Thomsen, M. (2011). Smooth brome (*Bromus inermis*) in tallgrass prairies: a review of control methods and future research directions. *Ecological Restoration*, 29(4), 374-381.
- Sarmast, M. K., Salehi, H., & Niazi, A. (2015). Biochemical differences underlie varying drought tolerance in four *Festuca arundinacea* Schreb. genotypes subjected to short water scarcity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 1-13.
- Shaheen, A., Bibi, A., Awais, M., Ahmad, N., Shoaib, F., Shahbaz, Z. ve Khan Niazi, I. A. (2021). Evaluation of oat (*Avena sativa* L.) accessions for fodder yield and quality under drought stress. *Journal of Agriculture and Food*, 2(2), 63-78.
- Shahrokh, M., Tehranifar, A., Hadizadeh, H. ve Selahvarzi, Y. (2018). Effect of drought stress and paclobutrazol-treated seeds on physiological response of *Festuca arundinacea* L. *Journal of Horticultural Science*, 50(3), 716-725.
- Sinha, R.N. (1971). Multiplication of some stored-product insects on varieties of wheat, oats, and barley. *Journal Economic Entomology*, 64, 98–102.
- Stevens, E.J., Armstrong, K. W., Bezar, H. J., Griffin, W. B. ve Hampton, J. G. (2002). Fodder oats: An overview www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/pasture/spectopics/fodderoats596.pdf. (accessed:20.09.2025).
- Stichler, C. (1997). Managing of annual winter forage in southwest Texas. Texas A&M University, College Station. <https://oaktrust.library.tamu.edu/server/api/core/bitstreams/8c04279a-3a08-4b23-85ca-796cf9e30cd4/content> ((accessed:20.09.2025).
- Sun, X., Du, Z., Ren, J., Amombo, E., Hu, T. ve Fu, J. (2015). Association of SSR markers with functional traits from heat stress in diverse tall fescue accessions. *BMC Plant Biology*, 15, 1-13.
- Suttie, J. M. ve Reynolds, S.G. 2004. Fodder oats: A world overview. Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome. <http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/pasture/newpub.htm> (accessed:20.09.2025).
- Talcott, P. (2018). Toxicologic problems. *Equine Internal Medicine* (Fourth Edition), Elsevier.

- Taleb, M. H., Majidi, M. M., Pirnajmedin, F. ve Maibody, S. A. M. M. (2023). Plant functional trait responses to cope with drought in seven cool-season grasses. *Scientific Reports*, 13(1), 5285.
- Tinker, N. A., Kilian, A., Wight, C. P., Heller-Uszynska, K., Wenzl, P., Rines, H. W. ve Langdon, T. (2009). New DArT markers for oat provide enhanced map coverage and global germplasm characterization. *BMC genomics*, 10, 1-22.
- Thomashow, M. F. (1999). Plant cold acclimation: Freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*. 50, 571-599. doi: 10.1146/annurev.arplant.50.1.571.
- Ulrich, E. ve Perkins, L. (2014). *Bromus inermis* and *Elymus canadensis* but not *Poa pratensis* demonstrate strong competitive effects and all benefit from priority. *Plant ecology*, 215, 1269-1275.
- Ünal, S. Ve Mutlu, Z. (2015). A study in smooth brome grass (*Bromus inermis* Leyss.) in the Semi-Arid of Türkiye. *Journal of the Field Crops Central Research Institute*, 24(1), 47-55.
- Vasylenko, N., Averchev, O., Lavrenko, S., Avercheva, N. ve Lavrenko, N. (2020). Growth, development and productivity of *Bromus inermis* depending on the elements of growing technology in non-irradiated conditions. *AgroLife Sci. J.*, 9(2), <https://agrolifejournal.usamv.ro/index.php/agrolife/article/view/714>.
- Wang, X., Vignjevic, M., Liu, F., Jacobsen, S., Jiang, D. ve Wollenweber, B. (2015). Drought priming at vegetative growth stages improves tolerance to drought and heat stresses occurring during grain filling in spring wheat. *Plant Growth Regulation*, 75, 677-687.
- Wen, G., Ma, B. L., Shi, Y., Liu, K. ve Chen, W. (2023). Selection of oat (*Avena sativa* L.) drought-tolerant genotypes based on multiple yield-associated traits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(9), 4380-4391.
- Xie, H., Li, M., Chen, Y., Zhou, Q., Liu, W., Liang, G. ve Jia, Z. (2021). Important physiological changes due to drought stress on oat. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 644726.
- Xu, C. L. (2012). A study on growth characteristics of different cultivars of oat (*Avena sativa*) in alpine region. *Acta Prataculturae Sinica*, 21(2), 280.
- Xu, Z. ve Zhou, G. (2019). Photosynthesis, plant productivity, and

- environmental stress: Past, present, and future. *Environmental and Experimental Botany*, 162, 184-191.
- Yu, X., Bai, G., Liu, S., Luo, N., Wang, Y., Richmond, D. S. ve Jiang, Y. (2013). Association of candidate genes with drought tolerance traits in diverse perennial ryegrass accessions. *Journal of Experimental Botany*, 64(6), 1537-1551.
- Zhang, X. Q., Liu, J. H., Ji, B. J., Guo, X. X. ve Jiao, W. G. (2010). Cluster diversity analysis of the main agronomic traits in oat germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 11(2), 168-174.
- Zhang, X., Xu, Y. ve Huang, B. (2019). Lipidomic reprogramming associated with drought stress priming-enhanced heat tolerance in tall fescue (*Festuca arundinacea*). *Plant Cell Environ.*, 42(3), 947-958. doi: 10.1111/pce.13405. Epub 2018 Aug 1. PMID: 29989186.
- Zhao, B., Ma, B. L., Hu, Y. ve Liu, J. (2021). Source-sink adjustment: a mechanistic understanding of the timing and severity of drought stress on photosynthesis and grain yields of two contrasting oat (*Avena sativa* L.) genotypes. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 263-276.

BÖLÜM 3

Sorghum (*Sorghum bicolor*)
İtalyan darısı (*Setaria italica*)
Rodos otu (*Chloris gayana*)
Agropyron cristatum

Prof. Dr. İlkay YAVAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17488163>

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Aydın, Türkiye. iyavas@adu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6863-9631

1. Sorghum (*Sorghum bicolor*)

Sorghum (*Sorghum bicolor* L.), Poaceae familyasından, Afrika'ya özgü ve tarım tarihinde büyük bir öneme sahip bir tahıl türüdür. Yaklaşık 3.000 ila 5.000 yıl önce ıslah edildiği bilinmektedir (de Morais Cardoso ve ark., 2017). Günümüzde sorgum, buğday, pirinç, mısır ve arpanın ardından dünyada en çok üretilen beşinci tahıl olarak dikkat çekmektedir. Dünya genelinde sorgumun 7.000'den fazla çeşidi bulunmaktadır (Kangama ve Rumei, 2005). Bu çeşitlilik, bitkinin hem yarı kurak iklimlere hem de farklı üretim amaçlarına uyum sağlama kapasitesini göstermektedir.

Sorghum Asya, Afrika ve dünyanın diğer yarı kurak bölgelerinde insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir (Dillon ve ark., 2007). Bu bölgelerde sorgum, ekmek, lapa ve fermente içecekler gibi birçok gıda ürününde kullanılmaktadır. Besleyici değerinin yanı sıra yüksek enerji içeriği, lif oranı ve belirli mikro besin öğeleri yer almaktadır. Ancak sorgum, Batı ülkelerinde farklı bir kullanım alanı bulmuş ve çoğunlukla hayvan yemi olarak değerlendirilmiştir (Taleon ve ark., 2012). Özellikle ABD, Avustralya ve Brezilya gibi ülkelerde sorgum, ekonomik ve pratik bir hayvan besleme ürünü olarak önem kazanmaktadır. Aynı zamanda, sorgumdan üretilen biyoyakıtlar, çevresel sürdürülebilirlik açısından potansiyel bir kullanım alanı sunmaktadır.

Son yıllarda sorgum ile ilgili araştırmalar, bitkinin genetik çeşitliliği, çevresel streslere dayanıklılığı ve gıda teknolojisindeki potansiyel uygulamalarına odaklanmıştır. Örneğin, sorgumun antinutrient bileşenlerinin giderilmesi ve biyolojik olarak daha erişilebilir hale getirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Awika ve Rooney, 2004). Ayrıca, sorgum bitkisinin iklim değişikliği bağlamında yarı kurak bölgelerde sürdürülebilir tarımın bir parçası olarak daha geniş çapta kullanılabilir hale gelmesi hedeflenmektedir (Chadalawada ve ark., 2021; Khalifa ve Eltahir, 2023; Liaqat ve ark., 2024). Sorgum, özellikle Afrika ve Asya'da 100'den fazla ülkede 500 milyondan fazla insanı besleyen önemli bir tahıldır. Kuraklık, sıcaklık, tuzluluk ve besin açısından zayıf topraklar gibi zorlu çevre koşullarında iyi yetişebilir. Sorgum farklı tarımsal ve çevresel koşullara uyum sağlayan, düşük yağışlı alanlarda iyi performans gösterebilen ve kurak alanlarda yemlik mısıra iyi bir alternatif olabilen bir bitkidir (Getachew ve ark., 2016; Somegowda ve ark., 2024).

Sorghum bitkisinin düşük verimliliği, genellikle marjinal topraklarda yetiştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu topraklar, sınırlı su tutma

kapasitesine ve düşük besin içeriğine sahip olduğu için bitki büyümesini ve verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Toprak neminin yetersizliği, sorgum üretiminde en önemli sınırlayıcı faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde, tarımsal üretim için büyük bir zorluk teşkil etmektedir. Ancak, sorgumun kuraklık ve diğer iklim streslerine dayanıklı özellikleri, bu tür zorlu çevre koşullarında bile üretimini mümkün kılmaktadır (Kuyyamudi Nanaiah ve Rakshit, 2020).

Kuraklık, sorgum üretiminde önemli bir itici güç olmuştur. Sorgum, C4 fotosentez mekanizmasına sahip bir bitki olarak, su kullanım etkinliği yüksek ve kurak koşullara dayanıklı bir türdür. Bu özellikleri sayesinde, kurak ve yarı kurak bölgelerde sürdürülebilir tarımın bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, sorgumun genetik çeşitliliğini artırmaya ve çevresel streslere karşı dayanıklılığını geliştirmeye odaklanmıştır. Özellikle, genetik mühendislik ve moleküler biyoloji teknikleri kullanılarak, kuraklık toleransını artıran yeni sorgum çeşitleri geliştirilmiştir (Mwamahonje ve ark., 2024; Liaqat ve ark., 2024).

Ayrıca, sorgumun marjinal topraklarda yetiştirilmesi, bu toprakların sürdürülebilir şekilde kullanılmasını sağlamak için önemli bir fırsat sunmaktadır. Toprak yönetim stratejileri, organik madde içeriğini artırarak ve su tutma kapasitesini iyileştirerek sorgum verimliliğini artırabilir (Malobane ve ark., 2024).

Sorgum hem tanesi hem de sapı açısından değerli bir bitkidir. Asya ve Afrika ülkelerinde ağırlıklı olarak insan beslenmesi için gıda amaçlı üretilirken, gelişmiş ülkelerde hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Bu farklı kullanım alanları, sorgumun çok yönlülüğünü ve farklı bölgesel ihtiyaçlara uygunluğunu göstermektedir. Dünyadaki en büyük sorgum üreticileri arasında Hindistan ve Çin bulunmaktadır. Hindistan'da sorgum, özellikle ülkenin güney ve güneybatı kurak bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir (Aruna ve ark., 2018).

Sorgum, düşük girdi koşulları altında dahi yüksek verim potansiyeline sahip bir ürün olarak dikkat çekmektedir. Özellikle, su ve besin kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde bu özelliği, bitkinin sürdürülebilir tarım için önemli bir seçenek olmasını sağlamaktadır (Ashok Kumar ve ark., 2011).

Asya'da, özellikle Hindistan'da, sorgum, yağmurlu ve yağmur sonrası olmak üzere iki farklı mevsimde yetiştirilmektedir. Yağmurlu mevsimde üretilen sorgum insan tüketimi, hayvan yemi ve endüstriyel amaçlarla çeşitli

kullanım alanlarına sahiptir. Öte yandan, yağmur mevsimi sonrasında yetiştirilen sorgum genellikle insan tüketimi amacıyla kullanılmaktadır. Sorgum, C4 fotosentez mekanizmasına sahip bir bitki olarak, karbon dioksiti daha verimli şekilde kullanabilmekte ve bu özellikleri sayesinde daha yüksek bir fotosentez kapasitesi sunmaktadır. Aynı zamanda, azot ve su kaynaklarını daha etkili bir biçimde kullanabilme yeteneği ile ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle, düşük yağış alan ve kurak koşullarda, çeltik ve buğday gibi diğer tarım ürünlerinin yetiştirilmesine uygun olmayan bölgelerde sorgum daha verimli bir üretim seçeneği olarak değerlendirilmektedir. Gıda amaçlı sorgum tüketimi, ekonomik statünün getirdiği gıda alışkanlıklarındaki ve tüketici tercihlerindeki değişiklik nedeniyle azalırken, hayvan yemi ve diğer endüstriyel amaçlar için kullanımı artmaktadır. Brezilya, Etiyopya, Sudan, Avustralya, Meksika, Nijerya ve Burkina Faso dahil olmak üzere bazı ülkelerde, esas olarak sorgum ekimine açılan yeni araziler veya ekili alanın bir kısmının mısır ve buğday gibi diğer ürünlere ayrılması nedeniyle genişlemektedir (Kuyyamudi Nanaiah ve Rakshit, 2020).

Kuraklık stresi, dünya genelinde sorgum (*Sorghum bicolor*) üretimini sınırlayan en önemli çevresel faktörlerden biri olarak görülmektedir. Bu stres faktörü, bitki büyümesi ve verimi üzerinde doğrudan olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ancak sorgum, kuraklığa dayanıklılığı ile bilinen tahıllardan birisidir ve bu özelliği onu yarı kurak ve kurak bölgelerde tarım için ideal bir seçenek haline getirmektedir (Kebede ve ark., 2001).

Araştırmalar, ekim sırasında meydana gelen su stresinin sorgumda tohumun endosperm ağırlığını, koleoptil, mezokotil, kök ve sürgün gibi temel organların büyümesini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur (Jafar ve ark., 2004). Su stresine bağlı olarak, tohumun erken gelişim dönemindeki zayıflığı, bitkinin büyümesini ve dayanıklılığını azaltmaktadır. Yürütülen bir diğer çalışma, fide aşamasında sorgum kök uzunluğunun kuraklığa dayanıklılıkla ilişkili önemli bir faktör olduğunu göstermiştir (Bibi ve ark., 2012). Uzun kök yapısına sahip bitkiler, derin toprak tabakalarından su alımını artırarak kurak koşullarda daha iyi performans gösterebilmektedir.

Mace ve ark. (2012) tarafından yapılan bir başka çalışma, kuraklığa adaptasyon ile nodal kök açısı arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgu, su stresi altında sorgum üretiminde toprak altı biyokütle özelliklerinin kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Çiçeklenme ve/veya tane

dolumu aşamasında suyun daha verimli kullanılması için, bitkide bu özelliklerin optimize edilmesi önemlidir. Bu aşamalarda bitki su kullanımı artırılarak tane dolumu sırasında daha yüksek verim elde edilebilir (van Oosterom ve ark., 2011).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, sorgumun kuraklık stresine karşı dayanıklılığını artırma ve su kullanım etkinliğini optimize etme üzerine yoğunlaşmıştır. Örneğin, sorgumda genetik iyileştirme çalışmaları sayesinde kuraklık toleransı artırılmış ve yarı kurak bölgelerde sürdürülebilir tarım için daha uygun hale getirilmiştir (Liaqat ve ark., 2024; Mwamahonje ve ark., 2024).



Şekil 1. Kuraklık stresi altındaki *Zea mays* ve *Sorghum bicolor* bitkileri

Kaynak: Marek ve Jager, 2011

Şiddetli su stresi, sorgumda düşük stoma iletkenliği ve düşük terleme oranlarıyla sonuçlanan stomaların kapanmasına neden olabilmektedir (Rama Reddy ve ark., 2014). Şiddetli kuraklık koşulları altında fotorespirasyon oranındaki artış, stomaların kapanmasına, iç oksijen konsantrasyonundaki artışa ve iç CO₂ konsantrasyonundaki azalmaya bağlanabilir. Hücrelerdeki reaktif oksijen miktarındaki artış, peroksidasyon nedeniyle sorgum hücrelerinde yaralanmaya neden olmaktadır. Yeşil kalan (stay-green) sorgum, kuraklığa karşı artan dayanıklılığa sahip melezler geliştirmek için ıslah programlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeşil kalan fenotipin birincil kaynağı Etiyopya'dan gelen bir “durra” sorgumudur ve bundan türetilmiştir (Harris ve ark., 2007). Kurak koşullar altında yeşil kalmanın, fenotipin tane verimine olan katkısının, çiçeklenme öncesi büyüme aşamalarında azalan

vejetatif biyokütle ile su alımının bir sonucu olduğu belirlenmiştir (Borrell ve ark., 2014).

Sorgum, ısı, kuraklık, tuzluluk ve su taşkını dahil olmak üzere birçok stres türüyle başa çıkma yeteneğine sahiptir (Ejeta ve Knoll, 2007). Ancak kurak ve yarı kurak bölgelerde, bu ürün genellikle generatif aşamada, özellikle çiçeklenme sonrası aşamada su stresinden etkilenmektedir. Sorgumda çiçeklenme öncesi meydana gelen kuraklık stresine tepki, bitkiler çiçeklenmeden önce, özellikle salkım farklılaşmasından veya hemen ardından çiçeklenme dönemine kadar önemli düzeyde nem stresi koşullarında ortaya çıkmaktadır. Bu stres türü, salkım boyutunu, tane sayısını ve tane verimini doğrudan etkilemektedir. Çiçeklenme sonrası kuraklık stresi ise, sorgumda sap yatmasına, sap çürümmesine ve önemli verim kayıplarına yol açan erken yaprak yaşlanmasına neden olmaktadır. Yeşil kalma özelliği, sorgumda çiçeklenme sonrası kuraklık stresine toleransın önemli bir mekanizması olarak kabul edilmiştir (Kebede ve ark., 2001).

Kuraklık stresinin meydana gelme zamanı, hasarın türünü ve kapsamını büyük ölçüde etkilemektedir. Kuraklık stresi, sorgum tohum veriminde üreme ve vejetatif büyüme aşamalarında sırasıyla %50 ve %30 azalmaya yol açmıştır (Ali ve ark., 2009). Sorgum genellikle suyun kısıtlı olduğu koşullarda yetiştirilmekte ve çoğunlukla verim ve kaliteyi düşmektedir. Bu durum, bitkilerin fotosentez kapasitesini ve karbon asimilasyonunu olumsuz etkileyerek tane dolumu sırasında ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. Sap yatması, kuraklığın neden olduğu başlıca yatma türüdür ve bu durum, bitkilerin mekanik dayanıklılığını azaltarak hasat kayıplarını artırmaktadır. Tane dolumu dönemi sırasında meydana gelen su stresi sonucu sorgum bitkileri solmakta ve daha sonra gövde çökmesi veya dip boğumlarındaki kırılma nedeniyle yatmaktadır. Bu süreç, bitkilerin hormonal dengesini bozarak, lignin sentezini ve hücre duvarı dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Daha yüksek verime sahip sorgumlar, daha düşük verimli sorgumlara göre son kuraklık stresine daha duyarlıdır (Wang ve ark., 2020). Bu durum, yüksek verimli çeşitlerin genellikle daha fazla suya ihtiyaç duymasından kaynaklanmaktadır. Yürütülen çalışmalar, kuraklık stresine dayanıklı sorgum çeşitlerinin geliştirilmesi için genetik ve fizyolojik mekanizmaların daha iyi anlaşılmasına odaklanmıştır.

Akdeniz koşullarında yapılan bir çalışmada, Habyarimana ve ark. (2004), 75 sorgum hattı ve iki melezi değerlendirmiş ve sorgumun sulama yapılan ve yağışa dayalı koşullarda sırasıyla 33-51 ton/ha ve 20-29 ton/ha arasında yem üretme kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Farklı genotipler arasında sulama ve yağışa dayalı koşullarda sürgün biyokütlesi önemli farklılıklar göstermesine rağmen, yüksek biyokütle üretimi genellikle yaprak yüzey alanı ve bitki boyu ile ilişkilendirilmiştir. Su stresi koşullarında kuru madde ve biyokütleyi artıran başlıca faktörler, yeşilliğin korunması, yüksek bitki boyu ve orta ila uzun büyüme dönemleridir. Sorgum genotiplerinin yaprak yüzey alanı, fotosentez etkinliği ve su kullanım etkinliği gibi özelliklerinin verim ve biyokütle üretimi üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır (Fracasso ve ark., 2016; Erol ve ark., 2023).

Yürütülen çalışma uzun boya sahip sorgum bitkilerinin genellikle kısa bitkilere göre daha yüksek verim sağladığını göstermiştir (Jordan ve ark., 2003). Sorgumda tane kayıpları, sıkışmış bitkilerin mekanik olarak hasat edilememesinden kaynaklanırken, sıkışmış salkımlardaki tane çimlenmesi veya küflenmesi gibi sorunlar nedeniyle tane kalitesinde düşüş yaşanabilir. Bu durum, özellikle kuraklık stresine maruz kalan bölgelerde tarımsal verim üzerinde olumsuz bir etki yaratmaktadır. Sapta meydana gelen yatma, sorgum bitkilerinde yaygın olarak çiçeklenme sonrası kuraklık stresi ile ilişkilendirilmektedir. Çiçeklenme sonrası dönemde su eksikliği, bitkilerin fizyolojik dengelerinde bozulmalara neden olarak yatma riskini artırmaktadır. Tane doldurma aşamasında meydana gelen şiddetli nem stresi ise genellikle erken yaprak ve sap yaşlanmasına ve sap ölümüne neden olmaktadır. Bu tür yatma problemleri, sap çürümesi ile ilişkilendirilmekte olup, en yaygın görülen nedenlerden biri kömür çürümesi olarak bilinen *Macrophomina phaseolina* enfeksiyonudur (Kebede ve ark., 2001). *Macrophomina phaseolina* tarafından neden olunan sap çürümesi, sorgum yetiştiriciliğinin yaygın olduğu bölgelerde ekonomik açıdan önemli bir hastalık olarak tanımlanmıştır. Bu mantar, özellikle tane doldurma sırasında yaşanan gövde ve kök dokularına saldırarak enfeksiyon oluşturmaktadır. Enfeksiyonun yoğunluğu ve zarar derecesi, tane doldurma aşamasındaki su stresine ve mantarın bitki dokularını enfekte etme durumuna bağlıdır. Bu enfeksiyonun sonucunda kuru yem kalitesi kaçınılmaz olarak olumsuz etkilenmekte ve bu durum hayvancılık sektöründe de sorunlara yol açmaktadır (Srinivasa Reddy ve ark., 2008). Mantarın salgıladığı hücre

duvarını parçalayan enzimler, bitkinin bazal boğumlarındaki öz ve kabuk dokularının bütünlüğünü bozmaktadır. Bu yapısal zayıflama, sapların mekanik dayanıklılığını önemli ölçüde azaltarak yatma problemlerini daha da şiddetlendirmektedir. Bunun sonucunda sorgum bitkilerinin hasat edilebilirliği düşmekte ve bu durum ciddi verim kayıplarına yol açabilmektedir (Bandara ve ark., 2018).

Çevresel stres koşulları altında yem bitkilerinde bazı anti-besin bileşiklerinin üretimi artış göstermekte ve bu durum, sulama sistemlerinin yem üretiminde daha dikkatli bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Sorgum, sudan otu ve bu familyanın diğer üyeleri, siyanogenez süreci sırasında siyanojenik glikozitler ailesine ait bileşikler üretebilmektedir. Bu bileşikler, özel bir enzimatik işlemle parçalanarak, daha yaygın olarak prusik asit olarak bilinen hidrosiyanik asit (HCN) üretimine yol açmaktadır. Bitkide üretilen prusik asit miktarı, bitkinin genotipi, yaşı, türü ve çevresel koşullar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Fardin ve ark., 2023).

Kuraklık stresi ve yüksek azot seviyelerine sahip gübrelerin kullanımı, prusik asit içeriğini önemli ölçüde artırabilmektedir. Özellikle genç bitkilerde ve hızlı büyüme dönemlerinde, siyanogenez sürecinin daha aktif olduğu ve bu nedenle HCN konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sher ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı sorgum genotiplerinin HCN içerikleri incelenmiş ve kurak koşullarda bu içeriklerin önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Ayrıca, bitkilerin büyüme dönemleri boyunca HCN konsantrasyonlarının 10 kata kadar farklılık gösterebildiği belirtilmiştir (Fardin ve ark., 2023; Sher ve ark., 2023). Prusik asit üretimi, bitkilerin çevresel streslere karşı bir savunma mekanizması olarak işlev görse de bu durum yem bitkilerinin besin değerini olumsuz etkileyebilir. Astuti ve ark. (2019) farklı gübreleme seviyelerinin ve ekim aralıklarının sorgumun HCN konsantrasyonu üzerindeki etkileri incelemiş ve yüksek azot seviyelerinin HCN içeriğini artırdığını tespit etmişlerdir.

Fardin ve ark. (2023) yürüttükleri çalışmalarında, kuraklık stresinin yemlik sorgum genotiplerinin bitki boyu, yaprak sayısı, biyokütle, yaprak-gövde oranı, tohum verimi, verim bileşenleri, ham protein içeriği ve hidrosiyanik asit (HCN) miktarı üzerinde olumsuz etkiler yarattığı gözlemlenmiştir. Araştırma bulgularına göre, yem verimi, hafif stres koşullarında Spidfid genotipinde 121.6 ton/ha ile en yüksek değere ulaşırken, aşırı stres

koşullarında Sugargraze genotipi için yalnızca 30.5 ton/ha olarak kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, genotiplerin stres koşullarına uyum kapasitelerinde önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Tohum verimi açısından, hafif ve aşırı stres koşullarında Spidfid genotipinin öne çıktığı görülmüştür; bu genotip sırasıyla 7861 kg/ha ve 4839 kg/ha tohum verimi sağlamıştır. Yem bitkilerinin besin değeri açısından, Spidfid genotipi önemli ölçüde üstün bir performans sergilemiştir. Bu genotip, yüksek ham protein içerikleri ile yem kalitesi açısından avantaj sağlamıştır. Ancak, ham protein içeriğindeki değişim şiddetli kuraklık stresinde genotipler arasında belirgin bir farklılık göstermemiştir. Bununla birlikte, hidrosiyanik asit (HCN) içeriğinin, genotip ve kuraklık stres seviyesine bağlı olarak önemli ölçüde değişim gösterdiği ifade edilmiştir. Yüksek HCN içeriği, bitkinin beslenme değeri üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir ve yem bitkisi olarak kullanımı konusunda dikkatli yönetim stratejileri gerektirir.

Ali ve ark. (2009), sorgumun kuraklık toleransını değerlendirmek amacıyla 10 farklı sorgum genotipi üzerinde morfo-fizyolojik kriterlere dayalı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırma, fide ve çiçeklenme sonrası büyüme aşamalarında genotiplerin kuraklık stresine verdiği tepkileri incelemiştir. Sonuçlar, kuraklığın spesifik bayrak yaprak alanı, spesifik bayrak yaprak ağırlığı, yaprak kuru maddesi, nispi nem içeriği ve hücre zarı stabilitesi üzerinde önemli ölçüde olumsuz etkiler yarattığını göstermiştir. Korelasyon analizleri, kök uzunluğu, koleoptil uzunluğu, kök: sürgün oranı, bayrak yaprak alanı, yaprak kuru maddesi, kesilen yaprak ağırlık kaybı, hücre zarı stabilitesi ve tane verimi gibi özelliklerin iyileştirilebileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca bu özelliklerin fide ve generatif büyüme dönemlerinde, sorgumda kuraklık toleransını artırmak için güvenilir morfo-fizyolojik belirteçler olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

2. İtalyan darısı (*Setaria italica*)

Setaria, Panicoideae alt familyasının bir üyesidir ve switchgrass, darı ve inci darısı da dahil olmak üzere diğer Paniceae türleri ile yakından ilişkilidir (Kellogg ve ark., 2009). *Setaria* cinsinin otları, tropikal yem bitkisi *Setaria sphacelata*'dan Kanada'nın en kuzey kesimlerinde bulunabilen istilacı *Setaria viridis* ve *Setaria verticillata* popülasyonlarına kadar dünya çapında doğal ve tarımsal ekosistemlerde bulunur. Beş *Setaria* türü, *Setaria faberii*, *Setaria*

viridis, *Setaria pumila*, *Setaria geniculata* ve *Setaria verticillata*, sorunlu yabancı otlardır (Dekker, 2003). *Setaria italica*, 8000 yıldan fazla bir süre önce kuzey Çin'de yabancı kardeş türü *Setaria viridis*'ten elde edilmiştir (Diao ve Jia, 2017). Genellikle Çin ve Hindistan'ın kurak ve yarı kurak bölgelerinde yetiştirilmekte, düşük su ortamlarına doğal toleransı ve yüksek su kullanım etkinliği bulunmaktadır (Lata ve ark., 2013).

İtalyan darısı (*Setaria italica*) tek yıllık bir sıcak mevsim otu ve biyoyakıtlarda potansiyel kullanımı olan önemli bir tahıldır. İtalyan darısı kurak ve yarı kurak iklimlere iyi adapte olmuştur: kalın hücre duvarları, toprak profiline derinlemesine büyüyen yoğun bir kök yapısı ve küçük yaprak alanı gibi morfolojik ve anatomik özellikleri darıya mükemmel kuraklık toleransı sağlamaktadır. Ayrıca darının mısır, sorgum ve buğdaydan daha yüksek su kullanım etkinliğine sahip olduğu bildirilmiştir (Qi ve ark., 2013).

Setaria italica, temel biyolojik süreçleri anlamak için kullanılan yeni ve önemli bir model bitki türü olarak tanımlanmaktadır. Bu bitki, küçük bir diploid genom yapısına, kısa bir yaşam döngüsüne, kompakt bir bitki morfolojisine ve kendi kendine tozlaşabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca, *Setaria italica*, C4 fotosentez mekanizmasına sahip olması nedeniyle fotosentez etkinliği açısından avantajlıdır (Diao ve ark., 2014). Uzun ıslah süreçleri boyunca *Setaria italica*, kurak ve yarı kurak bölgelere uyum sağlama kapasitesini geliştirmiştir. Bu uyum, buğday, mısır ve sorgum gibi diğer önemli tarımsal ürünlerle karşılaştırıldığında *Setaria italica*'nın daha yüksek su kullanım etkinliğine sahip olmasını sağlamıştır. Özellikle darı çeşitleri, kuraklığa karşı dayanıklılıkları ile dikkat çekmektedir. Farklı *Setaria italica* genotipleri, çeşitli kuraklık tolerans veya kuraklıktan kaçınma mekanizmaları geliştirmiş olup, bu mekanizmaların detaylarının daha fazla araştırılması gerektiği vurgulanmaktadır (Tang ve ark., 2017).



Şekil 2. *Setaria italica* bitkisinde salkım gelişiminin evreleri a) Salkım oluşumu b) Çiçeklenme c) Tane dolumu

Kaynak: Gawai ve ark., 2015

Setaria italica'nın kalın hücre duvarları, yoğun dağılmış kökler ve küçük yaprak alanları gibi morfolojik ve anatomik özellikleri, önemli derecede kuraklık toleransı sağlamaktadır (Yadav ve ark., 2016).

Tüm *Setaria italica* genomunun yayınlanması ve yeni nesil dizileme teknolojilerinin geliştirilmesiyle *Setaria italica*'nın kuraklık toleransında rol oynayan strese duyarlı genlerin ve mikroRNA'ların (miRNA'lar) tanımlanmasına ilişkin birkaç rapor artık mevcuttur (Bennetzen ve ark., 2014). Qi Xin ve ark. (2013), polietilen glikol (PEG) kaynaklı kuraklık koşulları altında darı transkriptomunu analiz etmiş ve 2.824 gen ve 215 miRNA tanımlamıştır. Yadav ve ark. (2016), iki İtalyan darısı çeşidini %20 PEG-6000 kaynaklı dehidratasyon stresine tabi tutmuş ve Illumina dizileme teknolojisini kullanarak 55 bilinen ve 136 yeni miRNA tanımlamıştır.

Setaria italica (İtalyan darısı), ağırlıklı olarak Sahra Altı Afrika'da gıda ve yem üretimi için yetiştirilen önemli bir tarımsal ürün olarak kabul edilmektedir. Darı taneleri, içerdiği fenolik bileşiklerin yüksek miktarıyla bağlantılı olarak sağlık açısından önemli yararlar sunmakta ve güçlü bir antioksidan kaynağı olarak dikkat çekmektedir (Hassan ve ark., 2021). Ancak, İtalyan darısı büyüme ve gelişme döngüleri sırasında sıklıkla susuzluk stresine maruz kalmakta ve bu durum metabolik değişikliklerin yanı sıra verimde önemli düşüslere yol açmaktadır (Rouamba ve ark., 2021).

Afrika ve Asya'da yetiştirilen *Setaria italica*, insan tüketimi için üretimin ana odak noktasıdır. Üretilen darının büyük bir kısmı doğrudan insan beslenmesinde kullanılırken, daha küçük bir yüzdesi hayvancılık, kuş yemi ve alkol/yakıt üretimi için değerlendirilmektedir (Hassan ve ark., 2021). Bununla

birlikte, İtalyan darısının, kümes hayvanı üretiminde etkili bir yem bileşeni olduğu kanıtlanmıştır. Darı tanesinin piliç diyetlerine %50 oranında eklenmesinin performans üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığı rapor edilmiştir (Cisse ve ark., 2017). Ayrıca, Mugula ve ark. (2003) yaptığı çalışmada, darı tanesinin sığır diyetlerinde mısırın tamamen yerini alabileceği ve yüksek besin takviyeli diyetlerde etkili bir alternatif sunabileceği belirtilmiştir.

Setaria italica (İtalyan darısı), kurak bölgelerde önemli bir gıda ve yem bitkisi olarak öne çıkmakta ve kurak koşullarda daha büyük bir kök kılıfı (rizo kılıf) oluşturma yeteneği ile dikkat çekmektedir. Kök kılıfı, kök tüyleri ve musilajın toprakla etkileşimi sonucu köklere sıkıca yapışan toprak olarak tanımlanmaktadır. Bu yapı, bitkinin su ve besin alımını optimize ederek kuraklık stresine karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Rizo kılıflar, ilk olarak Kuzey Afrika'nın kumlu çöllerine özgü bazı çok yıllık ot türlerinde tanımlanmış olup, daha sonra arpa, buğday ve diğer yarı kurak ot türlerinde de gözlemlenmiştir (Haling ve ark., 2010). Kök kılıfı oluşumuna katkıda bulunan faktörler arasında kök tüylerinin yoğunluğu ve uzunluğu, musilaj üretimi, topraktaki nem miktarı, toprak parçacık boyutu ve toprak hacim yoğunluğu yer almaktadır. Bu faktörler, kök kılıfının büyüklüğünü ve etkinliğini belirleyen temel unsurlardır. Rahim ve ark. (2024) kök tüyleri uzunluğunun ve musilaj üretiminin kök kılıfı oluşumunda kritik bir rol oynadığı belirtilmiştir. Ayrıca, toprak nemi ve parçacık boyutunun, kök kılıfının yapısal bütünlüğünü etkilediğini ifade etmişlerdir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, kök kılıfı oluşumunun bitkilerin kuraklık stresine adaptasyonunda genetik ve fizyolojik mekanizmalarını daha iyi anlamaya odaklanmıştır. Gao ve ark. (2023) tarafından yapılan bir proteomik analiz, *Setaria italica*'nın kök ve yaprak dokularında kuraklık stresine karşı farklı proteinlerin ifade edildiğini ve bu proteinlerin kök kılıfı oluşumunda önemli bir rol oynayabileceğini ortaya koymuştur.

3. Rodos otu (*Chloris gayana*)

Chloris cinsi içerisinde 50'den fazla tür bildirilmiş olup, bunlar içerisinde *Chloris gayana* şu ana kadar ekonomik açıdan önemli olan tek türdür. *Chloris gayana*, Afrika'dan gelen, ancak tropik ve subtropik bölgelerde yaygın olarak yetiştirilen başlıca tropikal yem otlarından biridir. Bu tür hem

morfolojik hem de tarımsal açıdan önemli özellikler açısından son derece değişken bir türdür. Ayrıca geniş adaptasyon kabiliyetiyle tanınan yoğun otlatmaya dayanıklı popüler bir ekili mera türüdür (Ponsens ve ark., 2010).

Rodos otu, açık ormanlık alanlarda ve çayırarda, yol kenarlarında, bozulmuş alanlarda ve nehir kıyılarında bulunan, ilkbahar ve yaz aylarında yetişen bir ottur. Sulama yapılan teraslarda ekili mera olarak yetiştirilir. *Chloris gayana*, yıllık sıcaklıkların 16.5°-26°C'nin üzerinde olduğu yerlerde gelişir ve maksimum büyüme 30°C/25°C'de (gündüz/gece sıcaklığı) gerçekleşir. Optimum yıllık yağış miktarı yaz yağış dönemiyle birlikte yaklaşık 600-750 mm'dir. Rodos otu, yıllık yağış miktarının 310 mm ile 4030 mm arasında değiştiği ve sıcaklık uçlarının 5°C ile 50°C olduğu alanlarda yaşayabilir. Derin kökleri sayesinde Rodos otu uzun kurak dönemlere (6 aydan fazla) ve 15 güne kadar su baskınlarına dayanabilir. 30 cm'den fazla mevsimsel su basması bitkiyi öldürür. Rodos otu, zayıf kumlu topraklardan ağır, killi, alkali ve tuzlu topraklara (10 dS/m'den fazla) kadar çok çeşitli topraklarda yetişir. Bu tuz toleransı, sorunsuz bir şekilde yetiştirilebildiği sulanan meralarda özellikle değerlidir. Rodos otu verimli, iyi yapılandırılmış topraklarda daha iyi büyümekte ve 5.5-7.5 arasındaki toprak pH'nı tercih etmektedir. Asidik topraklarda tesisi zordur (Cook ve ark., 2005).

Rodos otu çok yıllık veya yıllık tropikal bir ottur. 1-2 m yüksekliğindedir, sapları dik veya yatay, bazen boğumlardan köklenir. Mera ve saman için yararlı bir yemdir, kuraklığa dayanıklıdır ve gençken yüksek kalitededir. Saman formundaki Rodos otu, özellikle BAE, Katar, Umman ve KSA gibi körfez bölgelerinde çok popülerdir. Rodos otu yüksek protein değerine sahip (%9-12) olup, üretimi için ortalama su tüketimi yaklaşık 600-1200 mm'dir (Arshad ve ark., 2016). Mangan ve magnezyuma dayanıklı değildir. *Chloris gayana*, gölgede iyi büyümeyen tam güneş ışığı alan bir türdür. İnce ve tesviye edilmiş bir tohum yatağı elde etmek için toprak iki ila üç kez sürülmelidir. Rodos otu tohumu çok küçük olduğundan iyi hazırlanmış bir tohum yatağına ihtiyaç duyar. Tohum yatağı sürülmeli ve iyi hazırlanmalıdır. İyi hazırlanmış bir tohum yatağı, tohum çimlenmesini, fide çıkışını ve büyümesini desteklemektedir. Dikim, toprağın çimlenme ve yerleşmeyi destekleyecek yeterli nemi aldığı, yağmurlu mevsimin başlangıcında yapılmalıdır. Tohumlar ekimden sonra 7 gün içinde çimlenmektedir (Cook ve ark., 2005).



Şekil 3. Rodos otu (*Chloris gayana*)

Kaynak: Bilgin ve Tansı, 2020

Doğal yayılışında, *Chloris gayana*, yıllık yağışın yaklaşık 500-1500 mm olduğu bölgelerde, deniz seviyesinden 2000 m yüksekliğe kadar çayırliklar ve açık ormanlık alanlarda görülür. Derinlere (4.7 m) ulaşan güçlü bir kök sistemi, makul kuraklık direnci sağlamaktadır. *Chloris gayana*'nın farklı çeşitleri Japonya'da veya ABD'da geliştirilmiştir. Ancak, çoğunlukla Doğu Afrika'daki koleksiyonlardan elde edilen mevcut kultivarların tür içindeki mevcut çeşitliliği temsil etmesi olası değildir (Ponsens ve ark., 2010).

Rodos otu (*Chloris gayana*), C4 fotosentez mekanizması sayesinde çevresel stres koşullarına yüksek adaptasyon kapasitesi göstermektedir. Bu bitki, güçlü ilk büyüme özelliğiyle yabancı otlarla rekabeti azaltmakta ve erken ekimi desteklemektedir. Rodos otunun yayılma potansiyeli yüksek olup, bu yayılma hem stolonlar hem de tohumlar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Ayrıca, bu türün uzun süreli kalıcılık göstermesi, otlak yönetimi ve sürdürülebilir tarım açısından büyük bir avantaj sunmaktadır (Chiacchiera ve ark., 2016). Rodos otu, tuzlu ortamlar ve geçici kuraklık koşulları için oldukça uygundur. Bu uyum, özellikle halohidromorfik ortamlar gibi yüksek tuz içeriği barındıran topraklarda yetiştiriciliği mümkün kılmaktadır. Arjantin'de Cordoba eyaletinde yapılan araştırmalar, tuzlu topraklarda yetişen Rodos otunun biyokütle üretim kapasitesinin oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durum, Rodos otunun

stresli çevre koşullarında üretim performansı açısından önemli bir seçenek olduğunu kanıtlamaktadır (Chiacchiera ve ark., 2016).

Rodos otunun kuraklık toleransı ve tuzluluk direnci, bitkinin kök ve yaprak fizyolojisi ile ilişkilendirilmiştir. Yang ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, Rodos otunun stomatal düzenleme mekanizmasının su kaybını minimize ettiği ve fotosentez etkinliğini koruduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, bitkinin kök gelişimi ve kök hücre duvar yapısındaki adaptasyonlar, tuz stresi altında dahi besin alımını optimize etmesini sağlamaktadır (Zahedi ve ark., 2024). Bu özellikler, Rodos otunun düşük kaliteli topraklarda sürdürülebilir bir yem bitkisi olarak kullanılmasını destekleyen önemli faktörlerdir.

Chloris gayana, yaygın adıyla Rodos otu, Batı Avustralya buğday kuşağının karakteristik sıcak ve kurak yaz koşullarına uyum sağlama kapasitesiyle, bölgenin tarımsal sistemlerinde umut vadeden çok yıllık bir bitki türü olarak dikkat çekmektedir. Yapılan çeşitli araştırmalar bu bitkinin Nisan-Ekim aylarını kapsayan büyüme mevsimi dışında, hayvan yemi kaynaklarının kıt olduğu dönemlerde de sürdürülebilir miktarda biyokütle üretme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur (Lawes ve Robertson, 2008). Yaz ve sonbahar aylarında ortaya çıkan yem açığını gidermek amacıyla, besin açısından fakir toprak koşullarında yetiştirilebilecek dayanıklı bitkiler arayan veya sınırlı su toplama havzalarında tuzluluk sorunlarını en aza indirmek için alternatif çözümler geliştirme ihtiyacı duyan üreticiler, *Chloris gayana* türünü tarımsal sistemlerine etkili bir şekilde entegre etmişlerdir. Bu adaptasyon süreci, tarımsal verimliliğin artırılması ve çevresel sorunların hafifletilmesine yönelik önemli bir strateji olarak değerlendirilmiştir. Özellikle, düşük verimli topraklarda subtropikal otlarla yapılan toprak yönetimi çalışmalarına yönelik ilgi, Rodos otunun tercih edilmesini artırmıştır.

Rodos otunun (*Chloris gayana*) yaz aylarında aktif büyüme göstermesi ve kış döneminde, toprak neminin en yüksek seviyelerde olduğu süreçte dormansiye girme eğilimi, tarımsal sistemler açısından birçok önemli avantaj sunmaktadır. Bu fizyolojik adaptasyon, yaz aylarında toprak yüzeyinin koruyucu bir örtü ile kaplanmasını sağlayarak erozyon riskini azaltmakta ve toprak yüzeyinin fiziksel özelliklerini korumaktadır. Aynı zamanda, kış aylarında dormansi durumunda olması, toprak neminin daha etkili bir şekilde muhafaza edilmesine katkıda bulunarak toprağın su tutma kapasitesini

artırmakta ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını desteklemektedir. Bu özelliği, Rodos otunu özellikle düşük verimlilik gösteren fakir toprak koşullarında yetiştirilebilecek dayanıklı bir bitki olarak öne çıkarmaktadır. Subtropikal bölgelerde çiftçiler arasında geniş kabul gören bu bitki, besin açısından fakir topraklarda bile üretim ve verimlilik sağlayabilmesi sayesinde önemli bir ilgi odağı haline gelmiştir. Ayrıca, yerel tarım sistemlerine başarıyla entegre edilmesi, toprak verimliliğini artırma, biyolojik çeşitliliği destekleme ve çiftlik yönetiminde yenilikçi stratejiler geliştirme gibi katkılar sunarak, sürdürülebilir tarım uygulamalarına önemli bir potansiyel sağlamaktadır.

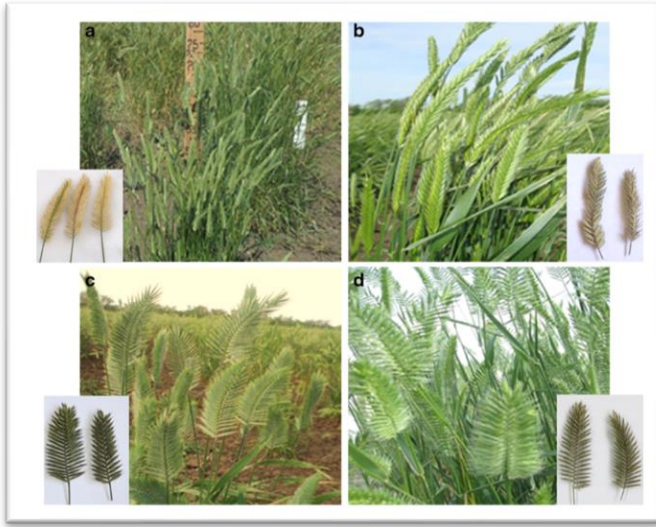
Lawes ve Robertson (2008), yılda 330-560 mm yağış alan dört farklı sahayı simüle ederek, kuzeybatı Avustralya'da *Chloris gayana*'nın (Rodos otu) üretim kapasitesini değerlendirmek amacıyla iki farklı toprak türünde (sığ çakıl ve koyu sarı kum) 20 kg/ha ve 100 kg/ha azot seviyelerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonuçları, yüksek biyokütle seviyelerinin derin sarı topraklarda, özellikle 100 kg N/ha azot uygulaması altında elde edildiğini göstermiştir. Buna karşın, sığ çakıl topraklarda üretim tüm parsellerde düşük kalmış ve azot uygulamasının bu topraklardaki üretim üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Ward ve ark. (2021), Rodos otunun fakir topraklarda yetiştirilmesinin, toprak stabilitesini artırarak erozyon riskini azalttığını ve aynı zamanda tuzluluk sorunlarını hafifletmede etkili olduğunu belirtmiştir.

Ponsens ve ark. (2010), 62 farklı *Chloris gayana* örneği kullanarak bu türün kuraklık stresi altında verimliliğini sürdürebilme kapasitesini değerlendirmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, kuru madde üretiminde önemli derecede değişkenlik gözlemlenmiştir. Bu değişkenlik yalnızca toplam kuru madde miktarı (400–2100 g/m²) ve toplam bitki kütlesine yaprak katkısı (%66–96 kuru madde) gibi parametreler açısından değil, aynı zamanda üç hasat dönemi boyunca izlenen büyüme desenleri bağlamında da kaydedilmiştir. Aynı morfolojik, agronomik veya kuraklığa tepki gruplarına ait örneklerin farklı ekolojik ortamlardan geldiği tespit edilmiştir. Çalışma, çeşitli kullanımlara ve çevresel koşullara uygunluk gösteren umut vaat eden genotiplerin belirlenmesini sağlamıştır.

4. *Agropyron cristatum*

Agropyron cristatum, *Agropyron* cinsinin yaygın şekilde bulunan çok yıllık türlerinden biridir. Geniş kök sistemleriyle dikkat çeken bu çapraz tozlaşmalı, uzun ömürlü, serin mevsim otu, özellikle dayanıklılığıyla öne çıkmaktadır (Iwaasa ve ark., 2014). Avrupa ve Asya'ya özgü olan bu tür, kurak koşullara ve aşırı kış sıcaklıklarına karşı yüksek tolerans göstermekte olup, abiyotik streslere karşı geniş bir adaptasyon yeteneğine sahiptir (Yu ve ark., 2012).

Agropyron cristatum, ilkbaharda en erken yeşeren çok yıllık otlardan biri olup, erken büyüme evrelerinde yüksek kaliteli yem sağlamasıyla dikkat çekmektedir. Bu özellikleri nedeniyle Batı Kanada'da ilkbahar otlatma amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Türün erken dönem otlatılması, kış besleme sürecini kısaltmakta ve yaz başında olgunlaşan yerel otların otlatmaya hazır hale gelmesine kadar geçici bir yem kaynağı sağlamaktadır. Kuzey Amerika'ya tanıtılmasının ardından, besin özellikleri ve lezzeti nedeniyle sığır, koyun, at ve diğer çiftlik hayvanları için üstün bir yem kaynağı haline gelmiştir (Asay ve ark., 2003). Bu tür, diploid ve tetraploid olabilen çeşitli alt türleri içeren polimorfik bir yapı sergilemektedir. Aşınmış alanlar ve terk edilmiş tarım arazilerinde yaklaşık 1.0-1.3 milyon hektarlık bir alana ekilmiş olduğu tahmin edilmektedir (Henderson, 2005). Batı Kanada'nın yarı kurak bölgelerinde *Agropyron cristatum*'un optimum kullanımı ve besin değerleri, Mayıs ve Haziran aylarında en yüksek seviyededir; ancak bu dönemden sonra olgunlaşmanın ilerlemesiyle besin değerinde azalma görülmektedir. Kalıcılığı, kuraklık ve soğuk hava koşullarına dayanıklılığı, kolay yerleşimi ve rekabet gücü ile dikkat çeken bu çok yıllık serin mevsim otu, otlatma sezonunun başında kullanılabilir ve mevcut diğer çok yıllık kültür ve yerel yem bitkilerini tamamlayıcı bir rol üstlenebilir (Iwaasa ve ark., 2014). Günümüzde, yaz otlatma sezonu boyunca besin değerini koruyabilen ve daha geç olgunlaşan *Agropyron cristatum* çeşitlerinin geliştirilmesi, Kanada'nın yarı kurak bölgeleri için önemli bir ıslah hedefi olarak öne çıkmaktadır (Baral ve ark., 2018).



Şekil 4. Dört alt türe sahip üç *Agropyron* türünün görüntüleri: a) *Agropyron desertorum*, b) *Agropyron fragile*, c) *Agropyron cristatum* ssp. *cristatum*, d) *Agropyron cristatum* ssp. *pectinatum*. Çiçek salkımları ekteki resimlerde gösterilmiştir

Kaynak: Absattar ve ark., 2018

Agropyron cristatum, kurak ve yarı kurak bölgelerde önemli bir potansiyel buğdaygil kaynağı olarak öne çıkmaktadır (Vakili Ramezan ve ark., 2018). Bu tür, Rusya'nın bozkır bölgelerine ve Güneybatı Sibirya'ya özgüdür. Akdeniz bölgesinde, alçak rakımlı meralar (800 metreye kadar), genellikle uzun süreli kuraklıklar ile sıcak ve kuru yazların yanı sıra nispeten ılıman kışlara adaptasyon ile karakterize edilmektedir. Bu ekosistemlerde, C4 ve C3 otları baskın türlerdir; ilkbaharda (C3 yıllık otlar) ve yaz-sonbahar dönemlerinde (C4 çok yıllık otlar) yüksek yem üretimi sağlamakta ve bu üretim hayvanlar tarafından etkin şekilde kullanılmaktadır. Ancak, kış yeminin sınırlı olması nedeniyle, bazı çok yıllık C3 ot türlerine bağımlılık ortaya çıkmaktadır.

Ekim ayından Şubat ayı sonuna kadar yem bulunabilirliğindeki boşluk, geliştirilmiş serin mevsim çok yıllık otların kullanımı ile doldurulabilir. Serin mevsim otlarının yem kalitesi, genellikle uykuda olan sıcak mevsim otlarına kıyasla daha yüksektir. Dahası, C3 çok yıllık otlar, hayvanların sonbahar sonu ve kış dönemindeki beslenme maliyetlerini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir. Toprak su eksikliği ve yaz aylarındaki yüksek sıcaklıklar, bu otların hayatta kalma oranını azaltabilir ve adapte olmuş türlerin

çeşitliliğini sınırlandırabilir; ancak, sonbahar döneminde suyun mevcut olması durumunda, bu serin mevsim çok yıllık otların hayatta kalma ve hızlı bir şekilde iyileşme yeteneği gözlemlenmiştir.

Çapraz tozlaşan bir tür olan *Agropyron cristatum*, yem ve mera için yüksek verimliliğe ve besin değerine sahip, kuraklığa adapte olmuş ve soğuğa dayanıklı çok yıllık bir serin mevsim otu olduğundan bu gereksinim duyulan kriterleri karşılamaktadır. Kuzey ve Orta Yunanistan'ın yarı kurak, kumlu topraklı çayırıklarının doğal bir otudur. İlk diploid çeşit olan 'Fairway', 1932'de Kanada'da piyasaya sürülmüştür (Abraham ve ark., 2010). Copete ve ark. (2018), *Agropyron cristatum*'un genetik çeşitliliğini incelemiş ve bu türün diploid, tetraploid ve hexaploid formlarının farklı coğrafi bölgelerde yaygın olduğunu belirtmiştir. Said ve ark. (2018) ise *Agropyron cristatum*'un kromozom yapısını ve buğday ile genetik homolojisini incelemiş ve bu türün buğday ıslahında yeni gen kaynakları sağlama potansiyeline sahip olduğunu bildirmişlerdir. Çalışma, bu türün genetik yapısının, kuraklık ve soğuk gibi çevresel stres faktörlerine karşı dayanıklılığını artırmada önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur.

Sheikh-Mohamadi ve ark., (2017) *Agropyron cristatum* genotiplerini farklı su uygulamaları altında (iyi sulanan kontrol, tuzluluk stresi ve su stresi) test ettikleri bir çalışma yürütmüşlerdir. Genotipler antioksidan enzimlerinde artış, azalış ve değişmeme şeklinde farklı tepkiler göstermiştir. 'ACSKI', 'ACAMI' ve 'ACDTI' genotipleri kuraklık ve tuzluluk koşullarında diğer genotiplerden daha iyi performans göstermiş, bunun başlıca nedeni ise süperoksit dismutaz, peroksidaz, katalaz, askorbat peroksidaz gibi antioksidan enzimlerin ve glutatyon gibi enzim olmayan antioksidanların daha yüksek aktivitelerini, ayrıca daha yüksek prolin ve toplam yapısal olmayan karbonhidrat içeriğini koruması olmuştur. Sonuçlar, bu bitki türünde diamin oksidaz ve poliamin oksidaz seviyelerinin artmasının kuraklık ve tuzluluk toleransının artmasıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Değerlendirilen biyokimyasal ve fizyolojik parametrelere dayanarak, 'ACSKI' genotipinin kuraklık ve tuzluluk toleransı açısından üstün olduğu sonucuna varmışlardır. Bu üstünlük, esas olarak daha iyi enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemi ve stres koşulları altında daha iyi ozmotik ayarlamaların bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Son yıllarda *Agropyron cristatum*'un kuraklık ve tuzluluk stresine karşı geliştirdiği tolerans mekanizmalarını inceleyen çeşitli araştırmalar yapılmıştır. 2022 yılında yapılan bir çalışma, *Agropyron elongatum*'un tuzluluk stresine karşı genetik ve fizyolojik tepkilerini inceleyerek, bu türün yaprak ve köklerinde Na^+ ve K^+ iyonlarının yanı sıra reaktif oksijen türlerinin (ROS) seviyelerinin stres koşullarında anlamlı değişiklikler gösterdiğini belirlemiştir (Naghdi ve ark., 2022).

Cen ve Liu (2017), yem bitkileri üzerinde çığın etkilerini araştırmak amacıyla, *Agropyron cristatum* ve *Leymus chinensis*'in kuraklık stresi altında artan çığe tepki olarak fizyolojik özelliklerini ve yaprak yapılarını belirlemek üzere deneme yürütmüşlerdir. Dört uygulama (çığsız, kuraklık stresi altında haftada üç kez çığ ve kuraklık stresi altında haftada beş kez çığ ve iyi sulama) koşullarında, kuraklık stresi altındaki iki bitki türü için çığ artışıyla göreceli su içeriğinde ve su potansiyelinde önemli bir artış olmuştur. *Agropyron cristatum*'da çığ artışı, kuraklık stresi altındaki bitkilerin net fotosentez oranını, stoma iletkenliğini ve terleme oranını önemli ölçüde iyileştirmiş, fakat *Leymus chinensis*'de stoma iletkenliği ve terleme hızı açısından uygulamalar arasında önemli bir fark görülmemiştir. İki tür için de çığ artışı sarı yaprakların toplam yapraklara oranını azaltmıştır. Çığ artışı ayrıca yaprak yapılarını kuraklık stresine karşı korumuştur.

Gao Yue ve ark. (2012), 15 günlük kuraklık stresinin ve 6 günlük tekrarlı sulamanın, *Agropyron cristatum* türünün kuraklık toleransı ile enzim aktiviteleri ve fizyolojik indeksler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonuçları, *Agropyron cristatum* yapraklarının kuraklık stresi altında nispeten yüksek bir su içeriğini koruyabildiğini ve tekrar sulama işlemi sırasında yapraklardaki nispi nem içeriğinin hızlı bir şekilde iyileştiğini ortaya koymuştur. Araştırma, fotokimyasal sistemde kuraklık nedeniyle ciddi bir hasar oluşmadığını, ancak uzun süreli kuraklık stresine bağlı olarak elektrolit sızıntısında belirgin bir artış görüldüğünü göstermiştir. Kuraklık stresi, antioksidan enzim aktivitelerini de önemli ölçüde etkilemiştir. Bu süreçte, süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) aktivitelerinin giderek azaldığı gözlemlenmiştir. Kuraklık stresine en duyarlı enzim katalaz (CAT) iken, peroksidaz (POD) aktivitesindeki azalma en yavaş gerçekleşen değişim olarak kaydedilmiştir. Bununla birlikte, üç antioksidan enzimin aktiviteleri tekrar sulamadan sonra artış göstermiş ve sulamanın ardından geçen

6 günlük süreçte, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

Cen ve Liu (2017), kuraklık stresi altında *Agropyron cristatum*'un yaprak yapısı ve ekofizyolojik özelliklerini incelemiş, özellikle yaprak yüzeyindeki çiğ oluşumunun bitkinin su kaybını azaltmada kritik bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Diğer bir araştırma, Sheikh-Mohamadi ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilmiş olup, *Agropyron cristatum* genotiplerinin kuraklık ve tuzluluk stresine karşı antioksidan enzim aktivitelerini ve fizyolojik tepkilerini değerlendirmiştir. Bu çalışmada, süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD), katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi antioksidan savunma sistemlerinin kuraklık ve tuzluluk koşullarında korunmasının, bitkilerin oksidatif hasara karşı dirençlerini artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca, genotipler arasında genetik çeşitliliğin, stres toleransında önemli bir belirleyici olduğu vurgulanmıştır. Bayat ve ark. (2016) ise farklı *Agropyron cristatum* türlerinin kuraklık stresine karşı dayanıklılığını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonuçları, kuraklık stresine toleranslı türlerin, prolin birikimi ve yapısal olmayan karbonhidrat içeriği gibi ozmotik ayarlama mekanizmalarını daha etkin bir şekilde kullandığını ortaya koymuştur.

Shan ve ark. (2011), Çin'in Löss Platosu'nda gerçekleştirdikleri çalışmalarında, *Agropyron cristatum*'un kuraklık tolerans mekanizmasını ve yapraklardaki glutatyon ile askorbatın biyosentetik ve geri dönüşüm metabolizmasının bu süreçteki etkisini araştırmışlardır. Saksı denemesinde, farklı seviyelerde yapay olarak uygulanan kuraklık stresinde *Agropyron cristatum* yapraklarında yapılan incelemeler, glutatyon ve askorbat düzeylerinin yanı sıra bu moleküllerin redoks durumlarının korunduğunu göstermiştir. Bu koruma, glutatyon ve askorbat metabolizmasında kilit bir role sahip olan GalLDH, γ -ECS, APX, GR, DHAR ve MDHAR enzimlerinin artan aktiviteleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu enzimlerin aktivitelerinin korunması, *Agropyron cristatum*'u kuraklık stresinin neden olduğu oksidatif hasardan önemli ölçüde korumuştur. Bununla birlikte, uzun süreli kuraklık stresi koşullarında, farklı kuraklık stresi seviyelerine bağlı olarak, 24 günlük stres uygulaması sonrasında GalLDH, γ -ECS, APX, GR, DHAR ve MDHAR enzim aktivitelerinin şiddetli kuraklık stresi altında önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalma, *Agropyron cristatum*'un daha şiddetli oksidatif hasara maruz kalması ile ilişkilendirilmiştir. Ancak, orta düzeyde kuraklık stresi

koşullarında, tüm stres süresi boyunca bu enzimlerin aktivitelerinin korunmaya devam ettiği gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Abraham, E. M., Kyriazopoulos, A., Parissi, Z. M., Sklavou, P., & Tsiouvaras, C. N. (2010). Defoliation frequency effects on winter forage production and nutritive value of different entries of *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn. *Spanish journal of agricultural research*, 8(3), 703-712.
- Absattar, T., Absattarova, A., Fillipova, N., Otemissova, A., & Shavrukov, Y. (2018). Diversity array technology (DArT) 56K analysis, confirmed by SNP markers, distinguishes one crested wheatgrass *Agropyron* species from two others found in Kazakhstan. *Molecular breeding*, 38(4), 37.
- Ali, M. A., Amjad Abbas, A. A., Shahid Niaz, S. N., Zulkiffal, M., & Shiraz Ali, S. A. (2009). Morpho-physiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis stages.
- Arshad, I., Ali, W., Khan, Z. A., & Bhayo, W. A. (2016). Effect of water stress on the growth and yield of Rhodes grass (*Chloris gayana*. L. Kunth.). *PSM Biological Research*, 1(2), 58-61.
- Aruna, C., Rao, B. D., Tonapi, V. A., & Rao, T. N. (2018). Improving production and utilization of sorghum in Asia Indian Institute of Millets Research, India. In *Achieving sustainable cultivation of sorghum Volume 2* (pp. 209-232). Burleigh Dodds Science Publishing.
- Asay, K. H., Chatterton, N. J., Jensen, K. B., Jones, T. A., Waldron, B. L., & Horton, W. H. (2003). Breeding improved grasses for semiarid rangelands. *Arid Land Research and Management*, 17(4), 469-478.
- Ashok Kumar, A., Reddy, B. V., Sharma, H. C., Hash, C. T., Srinivasa Rao, P., Ramaiah, B., & Reddy, P. S. (2011). Recent advances in sorghum genetic enhancement research at ICRISAT. *American Journal of Plant Sciences*, 2(4), 589-600.
- Astuti, D., Suhartanto, B., Umami, N., & Irawan, A. (2019). Productivity, nutrient composition, and hydrocyanic acid concentration of Super-2 forage sorghum at different NPK levels and planting spaces. *Tropical Animal Science Journal*, 42(3), 189-195.
- Awika, J. M., & Rooney, L.W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65(9), 1199-1221.
- Bandara, Y. M. A. Y., Weerasooriya, D. K., Liu, S., & Little, C. R. (2018). The necrotrophic fungus *Macrophomina phaseolina* promotes charcoal rot

- susceptibility in grain sorghum through induced host cell-wall-degrading enzymes. *Phytopathology*, 108(8), 948-956.
- Baral, K., Coulman, B., Biligetu, B., & Fu, Y. B. (2018). Genotyping-by-sequencing enhances genetic diversity analysis of crested wheatgrass [*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.]. *International journal of molecular sciences*, 19(9), 2587.
- Bayat, H., Nemati, H., Tehranifar, A., & Gazanchian, A. (2016). Screening different crested wheatgrass (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertner.) accessions for drought stress tolerance. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(6), 769-780.
- Bennetzen, J. L., Schmutz, J., Wang, H., Percifield, R., Hawkins, J., Pontaroli, A. C., ... & Devos, K. M. (2012). Reference genome sequence of the model plant *Setaria*. *Nature biotechnology*, 30(6), 555-561.
- Bibi, A., Sadaqat, H. A., Tahir, M. H. N., & Akram, H. M. (2012). Screening of sorghum (*Sorghum bicolor* var Moench) for drought tolerance at seedling stage in polyethylene glycol. *J Anim Plant Sci* 22 (3):671–678
- Bilgin, F. D., & Tansı, V. (2020). Perennial warm season grasses; Cultivation Of Rhodes Grass (*Chloris gayana* L.) and Dallisgrass (*Paspalum dilatatum* Poir.). *Innovative Approaches In Meadow-Rangeland And Forage Crops*, 177.
- Borrell, A. K., Mullet, J. E., George-Jaeggli, B., van Oosterom, E. J., Hammer, G. L., Klein, P. E., & Jordan, D. R. (2014). Drought adaptation of stay-green sorghum is associated with canopy development, leaf anatomy, root growth, and water uptake. *Journal of experimental botany*, 65(21), 6251-6263.
- Cen, Y., & Liu, M. Z. (2017). Effects of dew on eco-physiological traits and leaf structures of *Leymus chinensis* and *Agropyron cristatum* grown under drought stress. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 41(11), 1199-1207.
- Chadalavada, K., Kumari, B. R., & Kumar, T. S. (2021). Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality. *Planta*, 253(5), 113.
- Chiacchiera, S., Bertram, N., Taleisnik, E. and Jobbagy, E. (2016). Effect of watertable depth and salinity on growth dynamics of Rhodes grass (*Chloris gayana*). *Crop & Pasture Science*, 67, 881-887.

- Cisse, R. S., Hamburg, J. D., Freeman, M. E., & Davis, A. J. (2017). Using locally produced millet as a feed ingredient for poultry production in Sub-Saharan Africa. *Journal of Applied Poultry Research*, 26(1), 9-22.
- Cook, B. G., Pengelly, B. C., Brown, S. D., Donnelly, J. L., Eagles, D. A., Franco, M. A., ... & Schultze-Kraft, R. (2005). Tropical Forages: an interactive selection tool.
- Copete, A., Moreno, R., & Cabrera, A. (2018). Characterization of a world collection of *Agropyron cristatum* accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65, 1455-1469.
- de Morais Cardoso, L., Pinheiro, S. S., Martino, H. S. D., & Pinheiro-Sant'Ana, H. M. (2017). Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(2), 372-390.
- Dekker, J. (2003). The foxtail (*Setaria*) species-group. *Weed science*, 51(5), 641-656.
- Diao, X., & Jia, G. (2017). Origin and domestication of foxtail millet. *Genetics and genomics of Setaria*, 61-72.
- Diao, X., Schnable, J., Bennetzen, J. L., & Li, J. (2014). Initiation of *Setaria* as a model plant. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 1(1), 16-20.
- Dillon, S. L., Shapter, F. M., Henry, R. J., Cordeiro, G., Izquierdo, L., & Lee, L. S. (2007). Domestication to crop improvement: genetic resources for Sorghum and *S. accharum* (Andropogoneae). *Annals of botany*, 100(5), 975-989.
- Erol, S., Karabağ, T., & Çarpıcı, E. B. (2023). Bazı Şeker Sorgum (*Sorghum bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.) Çeşitlerinde Kuraklık Stresinin Çimlenme Özellikleri Üzerine Etkisi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(2), 425-437.
- Ejeta, G., & Knoll, J. E. (2007). Marker-assisted selection in sorghum. In *Genomics-assisted crop improvement: Vol 2: Genomics applications in crops* (pp. 187-205). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Fardin, F., Sani, B., Moaveni, P., Afsharmanesh, G., & Mozafari, H. (2023). Nutritional value and agronomic traits of forage sorghum under drought stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 48, 102624.

- Fracasso, A., Trindade, L., & Amaducci, S. (2016). Drought tolerance strategies highlighted by two Sorghum bicolor races in a dry-down experiment. *Journal of plant physiology*, 190, 1-14.
- Gao Yue, G. Y., Zhu YongZhu, Z. Y., Yang ZhiMing, Y. Z., & Du HongMei, D. H. (2012). Effects of drought stress and recovery on antioxidant enzyme activities of *Agropyron cristatum*.
- Gao, H., Ge, W., Bai, L., Zhang, T., Zhao, L., Li, J., ... & Lin, X. (2023). Proteomic analysis of leaves and roots during drought stress and recovery in *Setaria italica* L. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1240164.
- Gawai, D., Gahukar, S. J., Moharil, M. P., Jadhav, P. V., Suprasanna, P., & Dani, R. G. (2015). *Setaria italica* L.-A model genetic system for studying drought tolerance. *Indian Research Journal of Genetics and Biotechnology*, 7(03), 284-304.
- Getachew, G., Putnam, D. H., De Ben, C. M., & De Peters, E. J. (2016). Potential of sorghum as an alternative to corn forage. *American Journal of Plant Sciences*, 7(7), 1106-1121.
- Habyarimana, E., Laureti, D., De Ninno, M., & Lorenzoni, C. (2004). Performances of biomass sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under different water regimes in Mediterranean region. *Industrial Crops and Products*, 20(1), 23-28.
- Haling, R. E., Richardson, A. E., Culvenor, R. A., Lambers, H., & Simpson, R. J. (2010). Root morphology, root-hair development and rhizosheath formation on perennial grass seedlings is influenced by soil acidity. *Plant and Soil*, 335, 457-468.
- Harris, K., Subudhi, P. K., Borrell, A., Jordan, D., Rosenow, D., Nguyen, H., ... & Mullet, J. (2007). Sorghum stay-green QTL individually reduce post-flowering drought-induced leaf senescence. *Journal of experimental botany*, 58(2), 327-338.
- Hassan, Z. M., Sebola, N. A., & Mabelebele, M. (2021). The nutritional use of millet grain for food and feed: a review. *Agriculture & food security*, 10, 1-14.
- Henderson, D. C. (2005). Ecology and management of crested wheatgrass invasion. University of Alberta. Department of Renewable Resources. Doctor of Philosophy thesis.

- Iwaasa, A. D., Jefferson, P. G., & Birkedal, E. J. (2014). Beef cattle grazing behaviour differs among diploid and tetraploid crested wheatgrasses (*Agropyron cristatum* and *A. desertorum*). *Canadian Journal of Plant Science*, 94(5), 851-855.
- Jafar, M. S., Nourmohammadi, G., & Maleki, A. (2004). Effect of water deficit on seedling, plantlets and compatible solutes of forage Sorghum cv. Speedfeed. In *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress Brisbane, Australia*.
- Jordan, D., Tao, Y., Godwin, I., Henzell, R., Cooper, M., & McIntyre, C. (2003). Prediction of hybrid performance in grain sorghum using RFLP markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 106, 559-567.
- Kangama, C. O., & Rumei, X. (2005). Introduction of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) into China. *African Journal of Biotechnology*, 4(7).
- Kebede, H., Subudhi, P. K., Rosenow, D. T., & Nguyen, H. T. (2001). Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Theoretical and Applied Genetics*, 103, 266-276.
- Kellogg, E. A., Aliscioni, S. S., Morrone, O., Pensiero, J., & Zuloaga, F. (2009). A phylogeny of Setaria (Poaceae, Panicoideae, Paniceae) and related genera based on the chloroplast gene ndhF. *International Journal of Plant Sciences*, 170(1), 117-131.
- Khalifa, M., & Eltahir, E. A. (2023). Assessment of global sorghum production, tolerance, and climate risk. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1184373.
- Kuyyamudi Nanaiah, G., & Rakshit, S. (2020). Genomic designing for climate smart sorghum. *Genomic designing of climate-smart cereal crops*, 171-219.
- Lata, C., Gupta, S., & Prasad, M. (2013). Foxtail millet: a model crop for genetic and genomic studies in bioenergy grasses. *Critical reviews in biotechnology*, 33(3), 328-343.
- Lawes, R., & Robertson, M. (2008). Seasonal variability of Rhodes grass production in the northern West Australia wheatbelt. *Agronomy Conference, Adelaide, South Australia*.
- Liaqat, W., Altaf, M. T., Barutçular, C., Mohamed, H. I., Ahmad, H., Jan, M. F., & Khan, E. H. (2024). Sorghum: a star crop to combat abiotic stresses,

- food insecurity, and hunger under a changing climate: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1), 74-101.
- Mace, E. S., Singh, V., Van Oosterom, E. J., Hammer, G. L., Hunt, C. H., & Jordan, D. R. (2012). QTL for nodal root angle in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) co-locate with QTL for traits associated with drought adaptation. *Theoretical and Applied Genetics*, 124, 97-109.
- Malobane, M. E., Nciizah, A. D., & Wakindiki, I. I. C. (2024). Optimizing Sweet Sorghum Production in Marginal Lands Through Conservation Agriculture: A Case Study from Eastern Cape, South Africa. In *The Marginal Soils of Africa: Rethinking Uses, Management and Reclamation* (pp. 27-36). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Marek, B., & Jager, F. (2011). Sorghum as a source of renewable energy and new forage crop in Central Europe. [in: Use of biomass in power engineering. Economic and ecological aspects. Ed. Michał Jasiulewicz (monograph)]. Koszalin University of Technology. Publ. Intro-Druk Koszalin.
- Mugula, J. K., Nnko, S. A. M., Narvhus, J. A., & Sørhaug, T. (2003). Microbiological and fermentation characteristics of togwa, a Tanzanian fermented food. *International journal of food microbiology*, 80(3), 187-199.
- Mwamahonje, A., Mdindikasi, Z., Mchau, D., Mwenda, E., Sanga, D., Garcia-Oliveira, A. L., & Ojiewo, C. O. (2024). Advances in Sorghum Improvement for Climate Resilience in the Global Arid and Semi-Arid Tropics: A Review. *Agronomy*, 14(12), 3025.
- Naghdi, A. A., Piri, S., Khaligi, A., & Moradi, P. (2022). Enhancing the qualitative and quantitative traits of potato by biological, organic, and chemical fertilizers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(2), 87-92.
- Ponsens, J., Hanson, J., Schellberg, J., & Moeseler, B. M. (2010). Characterization of phenotypic diversity, yield and response to drought stress in a collection of Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth) accessions. *Field Crops Research*, 118(1), 57-72.
- Qi Xin, Q. X., Xie ShaoJun, X. S., Liu YuWei, L. Y., Yi Fei, Y. F., & Yu JingJuan, Y. J. (2013). Genome-wide annotation of genes and noncoding

- RNAs of foxtail millet in response to simulated drought stress by deep sequencing.
- Qi, X., Xie, S., Liu, Y., Yi, F., & Yu, J. (2013). Genome-wide annotation of genes and noncoding RNAs of foxtail millet in response to simulated drought stress by deep sequencing. *Plant Molecular Biology*, 83, 459-473.
- Rahim, R., Jahromi, O. E., Amelung, W., & Kroener, E. (2024). Rhizosheath formation depends on mucilage concentration and water content. *Plant and Soil*, 495(1), 649-661.
- Rama Reddy, N. R., Ragimasalawada, M., Sabbavarapu, M. M., Nadoor, S., & Patil, J. V. (2014). Detection and validation of stay-green QTL in post-rainy sorghum involving widely adapted cultivar, M35-1 and a popular stay-green genotype B35. *BMC genomics*, 15, 1-16.
- Rouamba, A., Shimelis, H., Drabo, I., Laing, M., Gangashetty, P., Mathew, I., ... & Shayanowako, A. I. T. (2021). Constraints to pearl millet (*Pennisetum glaucum*) production and farmers' approaches to striga hermonthica management in Burkina Faso. *Sustainability*, 13(15), 8460.
- Said, M., Hřibová, E., Danilova, T. V., Karafiátová, M., Čížková, J., Friebe, B., ... & Vrána, J. (2018). The *Agropyron cristatum* karyotype, chromosome structure and cross-genome homoeology as revealed by fluorescence in situ hybridization with tandem repeats and wheat single-gene probes. *Theoretical and Applied Genetics*, 131, 2213-2227.
- Shan, C. J., Han, R. L., & Liang, Z. S. (2011). Responses to drought stress of the biosynthetic and recycling metabolism of glutathione and ascorbate in *Agropyron cristatum* leaves on the Loess Plateau of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 35(6), 653.
- Sheikh-Mohamadi, M. H., Etemadi, N., Nikbakht, A., Arab, M., Majidi, M. M., & Pessarakli, M. (2017). Antioxidant defence system and physiological responses of Iranian crested wheatgrass (*Agropyron cristatum* L.) to drought and salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39, 1-16.
- Sher, A., Ul-Allah, S., Sattar, A., Barbanti, L., & Ijaz, M. (2023). Characterizing sorghum genotypes for forage yield, hydrocyanic acid and sugar contents under arid climate conditions. *Plant Genetic Resources*, 21(4), 377-383.

- Somegowda, V. K., Reddy, S. D., Gaddameedi, A., Kiranmayee, K. U., Naravula, J., Kishor, P. K., & Penna, S. (2024). Genomics breeding approaches for developing *Sorghum bicolor* lines with stress resilience and other agronomic traits. *Current Plant Biology*, 37, 100314.
- Srinivasa Reddy, P., Fakrudin, B., Rajkumar, Punhuri, S. M., Arun, S. S., Kuruvinashetti, M. S., ... & Seetharama, N. (2008). Molecular mapping of genomic regions harboring QTLs for stalk rot resistance in sorghum. *Euphytica*, 159, 191-198.
- Taleon, V., Dykes, L., Rooney, W. L., & Rooney, L. W. (2012). Effect of genotype and environment on flavonoid concentration and profile of black sorghum grains. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 470-475.
- Tang, S., Li, L., Wang, Y., Chen, Q., Zhang, W., Jia, G., ... & Diao, X. (2017). Genotype-specific physiological and transcriptomic responses to drought stress in *Setaria italica* (an emerging model for Panicoideae grasses). *Scientific Reports*, 7(1), 10009.
- Vakili Ramezan, H., Asadi-Gharneh, H. A., & Etemadi, N. (2018). Effect of Trinexapac-Ethyl Growth Inhibitor and Drought Stress on Some Morpho-Physiological Traits of Wheatgrass (*Agropyron cristatum* L.). *Research On Crop Ecophysiology*, 13(2), 53-63.
- van Oosterom, E. J., Borrell, A. K., Deifel, K. S., & Hammer, G. L. (2011). Does increased leaf appearance rate enhance adaptation to postanthesis drought stress in sorghum?. *Crop Science*, 51(6), 2728-2740.
- Wang, X., Mace, E., Tao, Y., Cruickshank, A., Hunt, C., Hammer, G., & Jordan, D. (2020). Large-scale genome-wide association study reveals that drought-induced lodging in grain sorghum is associated with plant height and traits linked to carbon remobilisation. *Theoretical and applied genetics*, 133(11), 3201-3215.
- Ward, P., Ferris, D., Lawes, R., Palmer, N., Micin, S., & Barrett-Lennard, P. (2012). Crop yield, pasture yield, and environmental impact of pasture cropping with sub-tropical perennials. Proceedings of the 16th ASA Conference, 14-18 October 2012, Armidale, Australia. <http://www.agronomy.org.au>
- Yadav, A., Khan, Y., & Prasad, M. (2016). Dehydration-responsive miRNAs in foxtail millet: genome-wide identification, characterization and expression profiling. *Planta*, 243, 749-766.

- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 50.
- Yu X, Li X, Ma Y, Yu Z, Li Z (2012) A genetic linkage map of crested wheatgrass based on AFLP and RAPD markers. *Genome* 55:327–335
- Zahedi, S. M., Karimi, M., Venditti, A., Zahra, N., Siddique, K. H., & Farooq, M. (2024). Plant Adaptation to Drought Stress: The Role of Anatomical and Morphological Characteristics in Maintaining the Water Status. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-19.

BÖLÜM 4

Çavdar (*Secale cereale*)

Andropogon gerardii

Çayır yumağı (*Festuca pratensis*)

Dallı darı (*Panicum virgatum*)

Doç. Dr. Nizamettin TURAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17488177>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Siirt, Türkiye.
nturan49@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-4026-6781

1. Çavdar (*Secale cereale*)

Çavdar (*Secale cereale* L.) diploid ($2n = 2x = 14$) tek yıllık, çapraz tozlaşan bir tahıl türüdür. Eski Dünya'nın birçok bitkisine benzer şekilde, çavdar da Yakın Doğu'nun Bereketli Hilal'inde evrimleşmiştir. Çeşitliliğin ana bölgeleri Türkiye, Lübnan, Suriye, İran, Irak ve Afganistan'dır. Çavdar bu çeşitlilik bölgesinde hiçbir zaman bir ürün olarak yetiştirilmemiştir, ancak arpa ve buğday tarlalarında yabancı ot olarak büyümüştür ve hala mevcuttur. Tüm Orta Çağ boyunca ve 1960'lara kadar çavdar Almanya'dan Doğu Sibirya'ya kadar ana tahıl ürünüydü. Çavdar esas olarak Avrupa tahılıdır ve küresel üretimin yaklaşık %75'i Rusya, Belarus, Polonya, Almanya ve Ukrayna'da yetişmektedir. Dünya çapında, çavdar ekim alanları son on yılda neredeyse yarı yarıya azalmıştır. Çavdar çoğunlukla kış tahılı olarak yetiştirilir. İlkbahar çavdarı ise aşırı soğuk bölgelerde veya kar örtüsünün 3 aydan uzun sürdüğü yerlerde üstündür. Tüm küçük taneli tahıllar arasında en iyi kışlama yeteneğine, kuraklığa, tuza veya alüminyum stresine karşı en yüksek toleransa sahiptir. Bitki ekmek yapımında, yemde ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak etanol ve biyometan üretimine olan talepleri karşılamak için kullanılmaktadır. Melez (hibrit) çavdar, daha iyi topraklarda tritikale ve buğdayla da rekabet edebilir ve Almanya'da toplam çavdar ekim alanının yaklaşık %70'i hibrit çavdardır. Ana yetiştirme hedefleri tane verimi, saman üretimi, yatma direnci, yüksek tane ağırlığı, hasat öncesi çimlenmeye ve abiyotik streslere toleranstır. Popülasyon çeşitleri açık tozlaşmalı ve sentetik çeşitlerden oluşmaktadır. Çavdar, sonbaharın sonlarında önemli ölçüde büyüme göstermekte ve ilkbaharın başlarında çok hızlı bir şekilde büyümeye devam etmektedir. Çavdar, verimsiz, kumlu veya asitli topraklarda ve kötü hazırlanmış arazilerde diğer tahıllardan daha verimlidir (Geiger ve Miedaner, 2009).

Çavdar küresel ölçekte buğday, pirinç, mısır, arpa ve sorgumdan sonra en yaygın olarak yetiştirilen altıncı tahıl olarak öne çıkmaktadır. FAOSTAT verilerine göre, 2022 yılında dünya genelindeki toplam çavdar üretimi yaklaşık 4.5 milyon hektarlık ekim alanında 14.3 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin büyük kısmı Rusya tarafından sağlanmış olup, Rusya'yı Polonya, Almanya, Belarus, Ukrayna ve Danimarka gibi ülkeler takip etmiştir. Çavdarın verimi ise ortalama 2.0 ila 5.8 t/ha arasında değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte, Almanya'da yapılan çok lokasyonlu resmi denemelerde verimin >10 t/ha'a kadar ulaştığı rapor edilmiştir (Miedaner & Laidig, 2019).

Çavdarın diğer ürünlere kıyasla nispeten kuraklığa dayanıklı olduğu bilinmektedir (Schittenhelm ve ark., 2014). Bu nedenle, çoğunlukla düşük su tutma kapasitesi ile karakterize edilen verimsiz ve kumlu topraklarda yetiştirilmektedir (Kottmann ve ark., 2016). Ayrıca, çavdar, fakir ve orta düzeyde kuraklık koşullarında buğday veya arpadan daha fazla verim sağlayabilmektedir (Kottmann ve ark., 2016).

ABD'deki otlatma sistemlerinde, çavdar (*Secale cereale*), Bermudagrass (*Cynodon dactylon*) gibi sıcak mevsim çok yıllık yem bitkileri aktif büyüme göstermeye başlayınca kadar, ilkbaharın sonlarına kadar yem olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bowman ve ark., 2008). Bunun yanı sıra, çavdar kardeşlenme aşamasına kadar otlatılabilir ve ardından dane üretimi ile hasadının yapıldığı sistemlerde de kullanılabilir. Ancak, bu uygulama genellikle öncelikli olarak buğday üretiminde tercih edilmektedir. ABD'deki çavdar üretiminin büyük bir kısmı güney eyaletlerinde gerçekleşmekle birlikte, çavdar ot olarak ülke genelinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Güney bölgesi, Teksas ve Oklahoma arasında kalan alan olarak tanımlanmakta ve doğuda Florida ile Georgia'ya kadar uzanmaktadır. Bu bölgede, çavdar yaz sonu ya da sonbahar başında ekilmekte ve Ekim'den Mayıs'a kadar kış yemi olarak yetiştirilmektedir (Newell & Butler, 2013). Bu sistem, özellikle Bermudagrass ve Bahiagrass (*Paspalum notatum*) gibi sıcak mevsim çok yıllık yem bitkilerinin uykuda olduğu dönemlerde, serin mevsim tek yıllıklarının kış yemi olarak kullanılmasıyla dikkat çekmektedir (Anderson & Wu, 2011).

Çavdar (*Secale cereale*), özellikle kış aylarında daha yüksek yem üretimi sağlaması ve Ca ile Mg konsantrasyonlarının yüksek olması nedeniyle, ot tetanisine neden olma riskinin düşük olmasıyla diğer küçük tahıllara kıyasla otlatma sistemlerinde daha uygun bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Çavdarın yem kalitesi, büyümekte olan sığırların gereksinimlerini karşılayabilecek düzeyde olup, yaklaşık 120 g/kg ham protein ve 700 g/kg in vitro kuru madde sindirilebilirliğine sahiptir (Islam ve ark., 2011). Bu özellikleri, çavdarı hayvancılıkta yem üretimi için ideal bir tür haline getirmektedir.

Çavdar, yüksek stres koşullarına ve düşük verimli ortamlara adaptasyon yeteneği ile dikkat çeken kışlık tek yıllık bir tahıldır. Ayrıca, hastalıklara karşı üstün direnç göstermesi nedeniyle tarımsal uygulamalar açısından oldukça değerli bir ürün olarak kabul edilmektedir (Zarco-Hernandez ve ark., 2005). Almanya'da ise, tahıl üretimini optimize etmek amacıyla melez çavdar çeşitleri

başarıyla geliştirilmiştir. Bu çeşitler, yüksek verimlilikleri ve dayanıklılıkları ile dikkat çekmekte ve tahıl üretiminde önemli bir yenilik olarak değerlendirilmektedir (Tomerius ve ark., 2008). Çavdarın biyotik ve abiyotik stres koşullarına adaptasyon yeteneği, buğday gibi diğer tahıllarla yapılan melezleme çalışmalarında da kullanılmaktadır. Çavdarın genetik özellikleri, düşük verimli topraklarda yetiştirilen tahılların verimliliğini artırmak için önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir (Kottmann ve ark., 2016).

Buğday ve arpa türlerinde olduğu gibi, çavdar (*Secale cereale*) da toprak üstü bitki aksamalarında bulunan mavimsi bir epikütiküler mum kaplaması ile dikkat çekmektedir (Laskos ve ark., 2022). Birçok bitki türünde kütiküler mumların bileşimi, aromatik ve alisiklik yapılar gibi çeşitli organik bileşikler içermektedir. Aromatik bileşikler, genellikle fenilpropanoidler ve alkilresorsinoller formunda bulunmakta olup, bu mum bileşenleri arasında önemli bir yer tutmaktadır (Ji & Jetter, 2008). Alkilresorsinoller, özellikle Poaceae familyasına ait çeşitli türlerde, bitki dokusunun yüzeyinde veya yüzeye yakın doğal ürünler olarak tespit edilmiştir (Landberg ve ark., 2008). *Secale cereale*'de ise yaprak alkilresorsinollerinin çoğunlukla dokunun iç bölgelerinden ziyade kütiküler mumda lokalize olduğu gözlenmiştir (Ji & Jetter, 2008). Kütikula ile kuraklık direnci arasındaki ilişki giderek artan bir ilgi konusu haline gelmiştir. Bu konuda, epikütiküler mumların stres koşulları altındaki rolü üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Guo ve ark., 2016). Kış çavdarında yapılan bir araştırma, mum biyosentezi ile bitkinin çevresel faktörlere ve kuraklık stresine verdiği tepki arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Yürütülen çalışma, yaprak mumu bileşenlerinin klorofil a, fotosentetik pigmentler ve tokoferoller gibi fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerle korelasyon gösterdiğini ve yakın-izogenik hatların (NIL'ler) kuraklık direnci açısından önemli olduğu vurgulanmıştır (Laskos ve ark., 2021).

Çavdar, diğer tahıllarla karşılaştırıldığında kuraklığa en dayanıklı bitkilerden biri olarak dikkat çekmektedir. Gelişmiş kök sistemi sayesinde suyu son derece verimli bir şekilde emmekte, kök kuru ağırlığı buğday ve tritikaleden daha yüksek seviyelerde ölçülmektedir. Bununla birlikte, çavdar buğdaya kıyasla birim kuru madde başına %20-30 oranında daha az su tüketmektedir. Çavdarın fizyolojik özelliklerinin kurak koşullar altında bile buğdaya göre önemli bir değişiklik göstermediği belirlenmiştir. Kuraklığın

çavdar üzerindeki etkilerinin moleküler düzeyden morfolojik düzeye kadar değişebileceği ifade edilmektedir. Fenolojik olarak incelendiğinde, kuraklık etkilerine karşı verilen ilk tepkilerden biri stomaların kapanmasıdır. Bu durum fotosentez oranında azalmaya ve dolayısıyla karbon asimilasyonunda göreceli bir düşüşe yol açmaktadır (Makhramova & Urokov, 2024).

Kış çavdarı, düşük verimli topraklarda yetiştirilmesi sebebiyle Avrupa’da kuraklık kaynaklı verim kaybına karşı özellikle hassasiyet göstermektedir. Almanya’nın Braunschweig bölgesi yakınlarında gerçekleştirilen tarla denemeleri, genotipler arasında azalan tane verimi, erken olgunlaşma ve kuraklık stresine verilen farklı tepkileri ortaya koymuştur (Kottmann ve ark., 2016). Kuzeybatı Rusya’da yürütülen bir araştırmada, on üç kışlık diploid çavdar çeşidi kuraklığa dayanıklılık ve adaptasyon yetenekleri açısından değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, Lota, Zubrovka, Talisman, Niva ve Yaselda gibi çeşitlerin kuraklığa dayanıklı olduğunu göstermiştir (Safonova ve Aniskov, 2023).



Şekil 1. Tahıl amaçlı çavdar üretiminden iki görüntü: Dane dolum dönemi ve hasattan önce olgun çavdar.

Kaynak: Fotoğraflar: Elzbieta Szuleta; Brzozowski ve ark., 2023

Schittenhelm ve ark., (2014) tarafından Almanya’da arpa (*Hordeum vulgare*), çavdar (*Secale cereale*), tritikale (*Triticosecale* Wittmack) ve buğdayın (*Triticum aestivum*) her birinden dört çeşitte su kıtlığının fenoloji, fizyoloji ve verim üzerindeki etkisini belirlemek için sulanan bir kontrol ile mobil bir yağmur koruma barınağında incelenmiştir. Yağmur koruma barınağı parselleri, kardeşlenmeden hasada kadar yağmurun tutulmasıyla şiddetli kuraklık stresine maruz bırakılmıştır. Su temininin kalıcı olarak engellenmesi, ortalama 2 gün daha erken başaklanma ve çiçeklenmeye, ayrıca 19 gün daha

erken yeşil yaprak kaybına neden olmuştur. Kanopi sıcaklığının aksine, spektral nem stres indeksi ve normalize edilmiş fark su indeksi kuru ortamı sulak ortamdan net bir şekilde ayırmamıştır. Kuraklıkla ilişkili verim kaybı, tane kuru madde için ortalama 5.9 t/ha (%63) ve toprak üstü kuru maddesi için 9.2 t/ha (%51) olmuştur. Dört tahıl türü karşılaştırıldığında, çavdar hem kuru hem de sulak koşullarda en yüksek tane verimi ve toprak üstü kuru madde üretimi sağlamış; ayrıca, en düşük kanopi sıcaklığına sahip olmuştur. Mevcut araştırmanın bulgularına dayanarak, çavdarın değişen iklim koşullarının neden olduğu daha kuru ortamlara en iyi şekilde uyum sağlaması beklenmektedir. Bununla birlikte, arpanın bu tür koşullarla başa çıkmada ikinci en etkili tahıl türü olarak öne çıktığı tahmin edilmektedir.

Far ve ark., (2017) kuraklık stresinin buğday (*Triticum aestivum*) ve çavdarın (*Secale cereale*) su kullanım etkinliği ve kök kuru ağırlığı üzerindeki etkilerini rekabet koşulları altında değerlendirmek için sera çalışmaları yürütmüşlerdir. Uygulamalar 4 buğday sıklığı (saksı başına 0, 8, 16 ve 24 bitki), 4 çavdar sıklığı (saksı başına 0, 2, 4 ve 6 bitki) ve 2 kuraklık stresi seviyesini (tarla kapasite neminin %20 ve %60'ının tükenmesinden sonra sulama) içermiştir. Sonuçlar kuraklık stresinin çavdarın kök kuru maddesini ve buğday ile çavdarın su kullanım etkinliğini azalttığını göstermiştir.

Kottmann, (2015) tarafından, 16 çavdar genotipinin iki seti farklı kuraklık koşullarında, yağmurdan korunma barınaklarında ve iyi sulanan koşullarda yetiştirilmiştir. Kuraklıktan kaynaklanan tane verimi düşüşleri %14-57 arasında değişirken, saman verimi genel olarak daha az etkilenmiştir. Kurak koşullarda optimum su teminine göre büyüme periyodunun 12 güne kadar kısaldığı görülmüştür. Su eksikliğinde tane verimi ile saman verimi, yaprak alan indeksi, birim alandaki başak sayısı ve tanede başak sayısı ile pozitif ilişkili olmuştur. Kuraklık dönemlerinde yüksek tahıl verimine ulaşabilmek için, birim alana düşen tane sayısının yüksek olması belirleyici bir faktör olarak görülmüştür. Araştırma bulguları, çavdarın kurak koşullar altında tane doldurma sürecini desteklemek amacıyla çiçeklenme öncesi dönemde biriktirilen asimilatların yeniden tahsisi açısından kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

2. *Andropogon gerardii*

ABD'nin Orta ve Büyük Ovalar bölgesindeki çayırların dikkate değer bir özelliği yüksek floristik zenginliğidir (Collins ve Calabrese, 2012). Kuzey Amerika uzun otlu çayırlarının çoğunun baskın bitki örtüsü C4 otlarından oluşur (Silletti ve Knapp, 2002). Yerel ve bölgesel arazi heterojenliğinin birleşimi, baskın türler içinde mevcut genotipler ve fenotiplerle çeşitliliğe katkıda bulunmaktadır (Olsen ve ark., 2013). Büyük Ovalar bölgesinde baskın ot türlerinin farklı genotiplerinden oluşan bir mozaığın varlığı gözlemlenmektedir. İşlevsel özelliklerdeki değişkenliğin, kuraklık gibi büyük stres olaylarının arazi genelindeki olumsuz etkilerini azaltmada kritik bir rol oynayabileceği öne sürülmektedir (Bachle ve ark., 2018).

Çayır ekosistemlerinde, yağışlardaki mekânsal ve zamansal değişkenlik, tür dağılımları ve popülasyon dinamiklerinin temel itici gücüdür. Kuzey Amerika'nın merkezi çayırılık bölgesindeki bitki topluluklarının kompozisyonundaki bölgesel çeşitlilik, büyük ölçüde yağış miktarı ile şekillenmektedir. Kısa otlu bozkırlar, Büyük Ovalar'ın batısındaki yarı kurak alanları kaplarken, en verimli bitki örtüsü türü olan uzun otlu çayırlar, bölgenin doğusundaki ılıman kesimlerde yayılım gösterir. Doğudaki uzun otlu çayır türlerinin, batıdaki kuraklığa dayanıklı kısa otlu türlerle karıştığı karışık otlu çayırlar ise konum, verimlilik ve yağış düzeyi açısından orta özellikler sergilemektedir. 1930'lardaki Büyük Kuraklık sürecinde, uzun ot türlerinin bolluğu kısa ot türlerine kıyasla daha hızlı azalmış ve toparlanmaları daha yavaş gerçekleşmiştir. Uzun ot türleri genellikle çukur alanlarda varlığını korurken, sırt tepelerinden tamamen kaybolmuştur. Bu süreçte, *Andropogon gerardii* türü, *Schizachyrium scoparium* türüne kıyasla daha belirgin bir azalma göstermiştir (Maricle & Adler, 2011).

Andropogon gerardii, Kuzey Amerika'nın uzun otlu çayır ekosistemlerinde baskın bir bitki türü olarak ön plana çıkmaktadır ve bu geniş coğrafya boyunca dikkate değer fenotipik ve genetik çeşitlilik sergilemektedir (Gustafson ve ark., 2004). Bu türün iki alt türü, Kuzey Amerika çayır ekosisteminin farklı bölgelerinde çeşitli fenotipik farklılıklar göstermektedir (Olsen ve ark., 2013). Bu farklılıklar, türün çevresel koşullara adaptasyon yeteneğini ve ekosistem içerisindeki rolünü önemli ölçüde etkilemektedir.

A. gerardii'nin ekotipleri arasında belirgin farklılıklar çeşitli özellikler bakımından gözlemlenmektedir. Bunlar arasında anatomik özellikler (Olsen ve

ark., 2013), morfolojik yapı (Gustafson ve ark., 2004), büyüme oranları (Mendola ve ark., 2015), fenolojik gelişim, üreme stratejileri (Gibson ve ark., 2013) ve fizyolojik özellikler (Johnson ve ark., 2015) yer almaktadır. Söz konusu özelliklerin büyük bir kısmının yağış miktarı ve dağılımı ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Maricle ve ark., 2017). Örneğin, yağış miktarı hem büyüme oranlarını hem de üreme başarısını doğrudan etkileyen bir faktör olarak dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra, farklı ekotiplerin yağış rejimlerine yönelik uyum mekanizmaları, türün geniş bir ekolojik yayılım göstermesine olanak sağlamaktadır.

Genel yaprak anatomisindeki çeşitlilik, birçok buğdaygil yem bitkisi için detaylı bir şekilde belgelenmiştir. Buğdaygil yem bitkileri arasında, tür içi yaprak anatomisi çeşitliliği net bir biçimde tanımlanmıştır. Bu özellikler arasında kloroplast yapısı, damar demeti alanı, mezofil alanı, epidermal hücre uzunluğu, demet kılıfı alanı, orta damar su durumu ve stoma yoğunluğu bulunmaktadır. Literatürde otların anatomik özelliklerinin, morfolojik özelliklerinden daha önemli olabileceği ifade edilmektedir (Olsen ve ark., 2013).

Birçok bilimsel çalışma, çevresel faktörlerin, bir tür içindeki popülasyonların yaprak anatomisini şekillendirmede birincil rol oynadığını ve bu durumun yaprak anatomisinin çevresel strese karşı esnekliğini yansıttığını göstermektedir (Carmo-Silva ve ark., 2009). Özellikle C4 bitkileri, ilgi çekici birçok anatomik özellik sunmaktadır. Bu bitkiler, geniş demet kılıfı hücreleri ve nişasta bakımından zengin kloroplastlar içeren Kranz anatomisi ile karakterize edilmektedir (Muhaidat ve ark., 2007). Bu anatomik özellikler, C4 bitkilerinin kurak ortamlara uyum sağlama yeteneklerini desteklemektedir.

Kuraklığa dayanıklı bitkiler arasında yaygın bir adaptasyon mekanizması olan yaprak kıvrılması dikkat çekmektedir. Yaprak kıvrılması, pirinç, mısır, buğday ve sorgum gibi birçok bitkide su eksikliğine karşı tipik bir tepki olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, bu mekanizma yalnızca su eksikliğine değil, aynı zamanda tuz, sıcaklık, ağır metaller ve UV radyasyonu gibi diğer abiyotik stres faktörlerine de bir yanıt olarak ortaya çıkmaktadır. Gecikmiş yaprak kıvrılması, su alımının artırılması veya ozmotik ayarlama gibi mekanizmalar yoluyla kuraklık stresine rağmen turgorun korunmasına yardımcı olabilir. Özellikle sezon ortası kuraklık durumlarında, yüksek düzeyde yaprak kıvrılması hem su kaybını önleme açısından hem de aşırı radyasyonun

etkilerinden koruma sağlama açısından avantajlı bir uyum mekanizması sunmaktadır (Kadioglu ve ark., 2012).

Bulliform hücreler olarak adlandırılan özelleşmiş epidermal hücreler, yaprakların kıvrılmasını veya katlanmasını sağlayarak bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır. Bitki su potansiyelinin azalmasıyla birlikte, bu hücrelerdeki turgor basıncı da düşmekte ve sonuç olarak yaprak kıvrılması artmaktadır. Dolayısıyla, kuraklık, yaprak yapısını etkileyen temel bir çevresel stres faktörü olarak dikkat çekmektedir (Maricle ve ark., 2009).



Şekil 2. *Andropogon gerardii*

Kaynak: Kulyk ve ark., 2022

Yağış zamanlaması, birçok ekosistemde ekosistem işlevini belirlemede, yağış miktarı kadar önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Özellikle toprak üstü net birincil verimin (NPP) belirlenmesinde kritik bir role sahiptir. Kuzey Amerika'nın Orta Ovalarındaki uzun otlu çayır ekosistemlerinde, baskın C4 bitki türlerinden biri olan *Andropogon gerardii*, bu süreçte önemli bir katkı sağlamaktadır. Araştırmalar, *A. gerardii*'nin çiçekli saplarının, toprak üstü net birincil verimin %70'inden fazlasını oluşturabileceği gibi, üretim miktarına bağlı olarak bu oranın %0'a kadar düşebileceğini ortaya koymuştur. Bu yüksek değişkenlik, üretilen çiçekli sap sayısının çevresel koşullara ve yağış düzenine bağlı olarak değişiklik göstermesinden kaynaklanmaktadır (Dietrich ve Smith, 2016).

Gallart ve ark. (2020), *Andropogon gerardii*'nin üç bölgesel ekotipinin

(kuru, nemli ve sulak) genetik ve çevresel uyum yeteneklerini incelemek amacıyla, Batı Kansas'tan Illinois'e kadar uzanan bir yağış gradyanında dört farklı yetiştirme alanına dikim gerçekleştirmişlerdir. Araştırma, bu ekotipler arasında tutarlı bir yerel adaptasyon tespit edememiş, ancak çoğu vejetatif tepki için belirgin varyasyonlar gözlemlemiştir. Sonuçlar, Batı Kansas'ta yetiştirilen tüm ekotiplerin bodur kaldığını; buna karşılık doğruya doğru gidildikçe sulak ekotipin diğerlerine göre daha dayanıklı olduğunu ortaya koymuştur. Yerel adaptasyona dair kanıtlar özellikle sulak ve kuru ekotiplerde uygunluk açısından görülmüş, ancak sulak ve nemli ekotipler Batı Kansas'ta düşük tohum üretimi sergilemiştir. Kuru ekotipin daha erken çiçeklenme zamanı, sezon sonu kuraklık koşullarına adaptasyonu işaret etmektedir. Ekotip özellikleri açısından, kuru ekotip, düşük gölgelik alanı, küçük çaplı yapılar, kısa boy ve düşük vejetatif biyokütle ile su kısıtlamasına uyum sağlayan bir profil sergilerken, sulak ekotip yüksek biyokütle, uzun boylu yapı ve geniş yapraklar ile dikkat çekmiştir. Bu adaptasyonlar, sulak ekotipin ışık rekabetinin yoğun olduğu Doğu Büyük Ovaları'na daha iyi uyum sağladığını düşündürmektedir.

Dietrich and Smith, (2016) kuraklık zamanlamasının *Andropogon gerardii*'nin çiçeklenmesine etkisini, büyüme mevsimi boyunca üç dönemde (Nisan ortası, Mayıs ortası ve Haziran ortası), yağış alımını engelleyerek test etmişlerdir. Yaz ortası kuraklığı (Haziran ortasında) *Andropogon gerardii*'nin çiçeklenme oranını (örneğin, yoğunluk ve biyokütle) önemli ölçüde azaltmış (kontrolle karşılaştırıldığında %94 kadar), bu da çiçeklenmenin bu zamanda yağışa karşı oldukça hassas olduğunu göstermiştir. Bu etki, karbon asimilasyonunun azalmasının dolaylı bir sonucu olmaktan ziyade, çiçeklenme sapının başlangıcındaki bitki su durumuyla ilişkili bulunmuştur.

1. Çayır Yumağı (*Festuca pratensis*)

Çim türlerinin su eksikliğine verdiği tepki ve kuraklık stresi koşulları sırasında ve sonrasında yem üretimi kabiliyetleri büyük çeşitlilik göstermektedir. Çok yıllık yem türleri, sonbahar yağmurlarının başlangıcında hızlı bir yeniden büyüme ile daha iyi su kullanım etkinliği, ilkbahar sonunda toprakta kalan nemi daha verimli kullanmaları ve yıllık yem türlerine kıyasla toprak erozyonu riskini azaltmaları nedeniyle tercih edilmekte ve ağırlıklı olarak kuraklığa duyarlı yıllık türler için değerli bir ikame olabilir (Lelievre & Voltaire, 2009). Çok yıllık yem otu türleri, kuraklık stresi koşullarında hayatta

kalmak için susuzluktan kaçınma, susuzluk toleransı ve yaz uykusu gibi farklı mekanizmalar ve özellikler kullanırlar. Bitki genotiplerinde susuzluktan kaçınma ve tolerans düzeyi, bitkinin büyüme aşamasına, kuraklık stresi düzeyine ve bunların etkileşimine bağlıdır (Salehi-Lisar & Bakhshayeshan-Agdam, 2016). Çoğu çok yıllık ot türü, tekrarlanan yaz kuraklığından sonra yüksek kalıcılık ve hızlı iyileşme gibi bazı özel avantajlara sahiptir, bu sayede meralarda kalabilir ve diğer türlerle iyi rekabet edebilirler (Voltaire ve ark., 2014).

Kuraklık stresinden sonra su mevcut olduğunda iyileşme ve yeni doku rejenerasyonu büyük ölçüde bitkilerin hızlı büyüme mekanizmasıyla biyokütle biriktirme yeteneğine bağlıdır (Annicchiarico ve ark., 2011). Uzun süreli kuraklık stresi sonrası yüksek oranda hayatta kalma ve iyileşme özelliklerine dayalı seçim, kuraklık sırasında yüksek büyüme seçiminden daha büyük ekonomik öneme sahip olabilir (Chai ve ark., 2010). Kuraklık sonrası iyileşme ve hayatta kalma özellikleri, kuraklığa daha az dayanıklı türlere sahip bitkilerle iyi bir rekabete yol açmakta ve meralarda daha yüksek kalıcılık sağlamaktadır (Kanapeckas ve ark., 2008). Yem bitkilerinde, elverişli genotipler sadece yüksek kalıcılık potansiyeline ve tekrarlanan yaz kuraklıklarına dayanabilmeye sahip olmakla kalmamalı, aynı zamanda elverişli yem üretimine de sahip olmalıdır (Annicchiarico ve ark., 2011). Yıllar boyunca üretilen yemdeki fark, bitki materyalinin kalıcılığı hakkında bir fikir verebilir (Saeidnia ve ark., 2017).

Festuca cinsi, Gramineae familyasında *Poa* cinsiyle birlikte Poaceae kabilesinin en büyük temsilcilerindendir. Bu cins ve yakın akrabası *Lolium* cinsi, ziraatçılar, evrimciler ve bitki yetiştiricilerinin ilgisini uzun süredir çekmektedir. *Festuca* türleri, ısı, kuraklık ve düşük sıcaklık gibi abiyotik stres koşullarına oldukça iyi adapte olmalarına rağmen, hayvan yemi üretimi açısından *Lolium* türleriyle karşılaştırıldığında daha düşük kalite özellikleri ve zayıf tesis performansı göstermektedirler.

Bazı *Festuca* türleri, donma, aşırı ısı ve kuraklık gibi zorlayıcı çevresel koşullara yüksek tolerans sergilemektedir. *Festuca* ve *Lolium* türleri arasında doğal melezler gözlenmekte ve bu melezler gen havuzunda genişleme sağlayarak, bitki yetiştiricilerine yüksek kaliteli özellikler ile çevresel streslere geniş adaptasyonlar arasında bir denge kurma imkânı sunmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen *Festulolium* çeşitleri, yüksek yem ve çim kalitesi ile çevresel streslere karşı direnç gösteren yeni ve ümit verici ot türleri olarak

değerlendirilmektedir. *Festulolium*, çayır verimliliğini, kalıcılığını, kazanç potansiyelini artırmanın yanı sıra, düşük bakım gerektiren çim uygulamalarında da başarılı sonuçlar vadetmektedir (Yamada, 2010).

Festuca pratensis, Norveç'te *Phleum pratense* ile birlikte ot tohumu üretiminde en önemli türlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Her yıl ülkenin güneydoğu kesiminde bu türün yaklaşık 600-800 hektarı tohum için hasat edilmektedir. *Festuca pratensis* tohumu, Norveç'in güney kıyılarında ve Oslo'nun kuzeyindeki kıtasal bölgelerde üretilmekte olup, en büyük üretim alanları Oslo fiyordunun her iki yakasında yer almaktadır. Çok yıllık otlardan tohum üretiminde, sonbaharda anız ve saman kalıntılarının kesilmesi ve kaldırılması sonrasında bitkilerin generatif kardeş sayısında artış gözlemlenmektedir. Bu durum, sonbaharda bitki tabanlarına daha iyi ışık nüfuz etmesi veya ilkbaharda ışık için daha az rekabet olması nedeniyle generatif kardeşlerin hayatta kalma oranının artmasıyla açıklanabilir. Eylül sonu ve Ekim ayında yapılan anız kesimi, Danimarka ve İngiltere'de olumlu sonuçlar verirken, İsveç'te benzer bir etki gözlemlenmemiştir. Finlandiya'da ise, kışların şiddetli olduğu durumlarda *Festuca pratensis*'in tohum veriminin sonbahar kesimiyle azalabileceği kaydedilmiştir (Havstad, 2011).

Festuca pratensis, Sırbistan'da ovalardan yüksek rakımlı alanlara kadar geniş bir yayılım gösteren otlaklarda önemli bir tür olarak öne çıkmaktadır. Engebeli bölgelerde özellikle saman üretimi, silajlama ve otlatma amaçlı kullanılan yüksek kaliteli ve dayanıklı yem karışımlarının bir bileşenidir. Bu tür, soğuk iklimlere karşı yüksek direnci ve dona karşı güçlü toleransı nedeniyle, Avrupa'nın geniş iklim koşullarına uyum sağlamasıyla dikkat çekmektedir. Uzun süreli kuraklıklar *Festuca pratensis*'in verimini olumsuz etkileyebilse de yaz kuraklıklarına dayanıklıdır ve sulama uygulamalarına olumlu yanıt vermektedir. Verimli ve kireçli topraklarda baskın bir tür olarak doğal otlaklarda yer almakta, ayrıca orman kenarlarında ve seyrek ormanlık alanlarda yayılım göstermektedir. Otlatmaya dayanıklılığı sayesinde bu türün baskın olduğu meralar uzun ömürlüdür. Monokültür olarak yetiştirilebilmesine rağmen, genellikle %20-30 oranında diğer ot ve baklagillerle karışımlarda kullanımı tercih edilmektedir. Kalite açısından iyi özelliklere sahip olan *Festuca pratensis*, Avrupa tarım ve otlak yönetiminde önemli bir yere sahiptir (Babic ve ark., 2010).

Festuca pratensis, değişken kullanım alanları, dayanıklılığı, canlılığı,

mütevazı toprak gereksinimleri ve kuraklık stresine karşı orta düzeyde dayanıklılığı ile dikkat çeken bir türdür. Bu özellikleri sayesinde büyük bir ekonomik öneme sahiptir (Sosnowski ve ark., 2015).

Staniak (2016), yemlik buğdaygil türlerinin ve çeşitlerinin optimum nem koşulları (%70 tarla su kapasitesi) ile uzun süreli kuraklık koşulları (%40 tarla su kapasitesi) altındaki verim ve besin değerlerini değerlendirmek amacıyla Polonya'da saksı deneyleri gerçekleştirmiştir. Araştırma, dört türe ait dokuz çeşidi (*Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Festulolium braunii*, *Lolium multiflorum*) incelemiştir. Sonuçlar, toprak nem eksikliğinin tüm türlerde verimi önemli ölçüde düşürdüğünü göstermiştir. Kuru madde veriminde en düşük azalma *Dactylis glomerata*'da gözlemlenmiş ve bu tür kuraklık stresine en dayanıklı olarak belirlenmiştir. *Festuca pratensis* ikinci sırada yer alırken, *Festulolium braunii* ve *Lolium multiflorum* düşük direnç göstermiştir. Ancak, su stresi altında sindirilebilirlik ve protein değerlerinde artış kaydedilmiştir. Besin değerleri açısından *Lolium multiflorum* ve *Festulolium braunii* üstün özellikler sergilerken, *Dactylis glomerata* en düşük besin değerine sahip olmuştur.

2018, Letonya'nın en kurak yılı olarak kaydedilmiş; yağışlar yaz aylarında uzun dönem ortalamasının %30 altında kalmıştır. Bu kuraklık, tüm vejetasyon dönemini etkileyerek kuru madde verimini düşürmüştür. 2017'de ortalama kuru madde verimi 7-8 t/ha iken, 2018'de 2-5 t/ha olarak gözlemlenmiştir. Berzins ve ark. (2019), buğdaygil yem türlerinin kuraklığa dayanıklılığını sıralamıştır: *Festuca arundinacea* > *Festuca rubra* > *Dactylis glomerata* > *Phleum pratense* > *Festuca pratensis* > *Festulolium* > *Lolium perenne*.

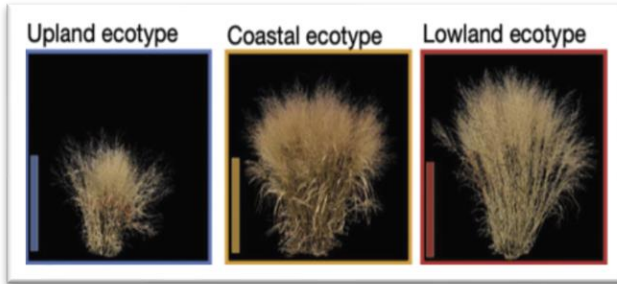
1. Dalı darı (*Panicum virgatum*)

Dalı darı (*Panicum virgatum* L.), Kuzey Amerika uzun otlu çayır ve savan habitatlarına özgü çok yıllık bir C4 bitkisidir ve genel olarak orta ve doğu Amerika Birleşik Devletleri'ne adapte olmuştur (Zhang vd., 2011). Doğal alanı Atlantik kıyısından Rocky Dağları'na ve kuzey Meksika'dan güney Kanada'ya kadar uzanmaktadır (Barney vd., 2009). Sıcak mevsim çok yıllık bir bitki olarak önemli miktarda toprak üstü biyokütlesi üretmekte ve çok çeşitli habitatlara adapte olmaktadır (Wright & Turhollow, 2010). *Panicum virgatum*, Büyük Ovalar ve orta batıda önemli miktarda saman ve otlatma imkanı sağlamaktadır

(Stroup ve ark., 2003). Genel olarak, dallı darı, düşük gübre ve pestisit kullanımıyla yüksek selüloz verimi gibi olumlu çevresel özellikleri nedeniyle selülozik etanol üretimi için de en iyi biyokütle türlerinden biridir (Powlson ve ark., 2005). Pratik olarak, dallı darı mera alanlarında önemli bir yem bitkisidir ve alternatif bir enerji kaynağı olarak potansiyel değeri açısından son yirmi yıldır kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Son yıllarda, dallı darı biyoyakıt üretimi için bir model tür haline gelmiştir (Hartman ve ark., 2011).

Dallı darının “upland” ve “ova” ekotipleri, farklı ancak örtüşen dağılımlara sahip olan dallı darının iki ana taksonunu temsil eder. *Panicum virgatum*, uzun otlu çayırın ve ilişkili ekosistemlerin baskın otlarından biridir. Bu ilişkili ekosistemler arasında meşe savanı, çam çoraklıkları, orman kenarları ve eski uzun otlu çayır ile doğu ormanı arasında geçiş habitatları oluşturan bazı sulak alanlar bulunur (Zhang ve ark., 2011). İki farklı dallı darı ekotipi genellikle morfolojik özelliklerine ve habitat tercihlerine göre tanımlanmaktadır. Ova ekotipleri çoğunlukla tetraploiddir ($2n = 4 \times = 36$), oysa yüksek arazi (upland) ekotipleri birkaç tetraploid istisna dışında oktaploid ($2n = 8 \times = 72$) olma eğilimi göstermektedir (Liu ve ark., 2015).

Dallı darının ova ekotipleri genellikle uzun ve yaprak dokusu kaba olup Kuzey Amerika'nın taşkın yatağı bölgesinde büyümeye adapte olmuşlardır. Alternatif olarak, yayla ekotipleri daha kısadır, daha ince yapraklara sahiptir ve ağırlıklı olarak kuzey Amerika Birleşik Devletleri'nin daha soğuk iklimlerinde bulunur (Zhang ve ark., 2011). Doğu ABD'den gelen tipte dallı darı otunun dahil edilmesi, daha önce tanınan yayla ve ova ekotiplerine ek olarak üçüncü bir 'kıyı' ekotipini ortaya çıkarmıştır (VanWallendael ve ark., 2022).



Şekil 3. Üç switchgrass ekotipinin temsili örnekleri (çubuklar 1 m'yi göstermektedir).

Kaynak: (Lovell ve ark., 2021).

Dallı darı üretiminde en kalıcı sorunlardan biri, özellikle ekim sırasında tekrarlayan kuraklığın yaşandığı yarı kurak bölgelerde, güçlü bitki topluluklarının hızla ve tutarlı bir şekilde tesisinin zorluğudur. Dallı darı, başlangıçta güçlü bir kök sistemi geliştirmek için büyük miktarda enerji harcayan küçük tohumlu bir türdür. Bu nedenle, genellikle birinci ve ikinci yıllarda maksimum üretim kapasitesinin yalnızca %33-66'sına ulaşır ve tam kapasitesine ekimden sonraki üçüncü yılda erişir (Aimar ve ark., 2014). Tesis olan dallı darı toplulukları çevresel dalgalanmalara karşı çok dayanıklıdır; ancak tohumunun uykuda kalması yanında zayıf fide canlılığı da tesisini zorlaştırır. Dallı darıda tohumun uykuda kalmasını kırmak, tesisteki başarısızlık riskini ve yeniden ekimle ilişkili maliyetleri azaltmak için atılan ilk adımdır (Kimura ve ark., 2015).

Ova ekotipleri taşkın yataklarında ve su baskınına maruz kalan diğer alanlarda bulunurken, yayla ekotipleri taşkınlara maruz kalmayan ancak sık kuraklık yaşayabilen yayla alanlarında bulunur. Ovada otu daha uzundur, daha uzun yaprak ayasına, bitki başına daha az sayıda kardeşe, daha büyük gövde çapına ve yayla otundan daha geç başaklanma ve çiçeklenmeye sahiptir (Cortese ve ark., 2010). Yüksek arazi genotipleri genellikle ova genotiplerine kıyasla kuraklığa daha dayanıklı olarak kabul edilir (Stroup ve ark., 2003). Ancak ova çeşitlerinin kuraklık stresi altında yüksek arazi çeşitlerinden daha iyi performans gösterdiği de olmuştur (Barney ve ark., 2009).

Jiang ve ark., (2012) yayla tipi dallı darı çeşidi olan “Cave-in-Rock”da kuraklık stresinin doku su içeriğini ve yaprak kuru ağırlığını azaltırken aynı anda toplam karotenoid konsantrasyonunu ve elektrolit sızıntısını artırdığını belirlemiştir. İlginç bir şekilde, bu parametrelerin değerleri tekrar sulama sonrasında kontrol bitkilerine (iyi sulanmış) benzer değerlere geri dönmüştür.

Marjinal topraklarda yetiştirilen *Panicum virgatum* sıklıkla su eksikliği koşullarına maruz kalır (Jiang ve ark., 2012). Sera koşullarında, Barney ve ark. (2009), kuraklık uygulamalarının (-4.0 ve -11.0 MPa) kuraklık stresi altındaki otun yüksekliğini ve kardeş sayısını ve genel yaprak alanını azaltabileceğini bildirmiştir.

Liu ve ark., (2015), 49 darı otu genotipinin kuraklığa dayanıklılığını değerlendirmişlerdir. SRAP belirteç analizi, seçilen 49 darı otu genotipinin çeşitli bir genetik havuzu temsil ettiğini belirlemiştir. Her bir fizyolojik parametrenin temel bileşen analizi (PCA) ve kuraklık stresi indeksleri (DSI),

49 genotip arasındaki kuraklık stresi toleransında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. Isı haritası ve PCA verileri, fizyolojik parametrelerin kontrol ve kuraklık uygulamalarını ayırt etmede morfolojik parametrelerden daha hassas olduğunu ortaya koymuştur. Metabolit profili verileri, kuraklık stresi altında kuraklığa en dayanıklı beş genotipin, kuraklığa en duyarlı beş genotipe kıyasla daha yüksek absisik asit (ABA), spermin, trehaloz ve fruktoz seviyelerine sahip olduğunu göstermiştir.

Aimar ve ark., (2014) ova çeşidi Kanlow ve yüksek arazi çeşidi Greenville'in, 55 günlük bitkilerinde orta dereceli kuraklığa ve tekrar sulamaya verdikleri tepkiyi incelemişlerdir. Bitkiler büyüme odasında yetiştirilmiş ve orta dereceli strese ulaşana kadar susuzlukla kuraklık uygulamasına tabi tutulmuştur. Optimum hasat zamanı, bitkilerdeki bağıl su içeriği (RWC) ortalama %60'a ulaştığında belirlenmiştir. Kuraklık ve ardından iyileşme süreçlerinin, büyüme (örneğin, bitki boyu ve yaprak sayısı), antioksidan enzimler (SOD ve CAT), absisik, salisilik ve jasmonik asit seviyeleri (ABA, SA, JA) ile su stresiyle ilişkili genler üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Araştırma, kuraklığın Greenville çeşidinde büyüme azalmasına neden olurken, Kanlow çeşidinde herhangi bir olumsuz etkiye yol açmadığını göstermiştir. Kanlow çeşidinin kuraklık toleransı hem stres hem de iyileşme dönemlerinde daha yüksek antioksidan aktivitelerle ilişkilendirilmiştir. Ayrıca ABA, stres altındaki ana hormon olarak belirlenmiş ve Kanlow çeşidinde, Greenville çeşidine kıyasla daha yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Bununla birlikte, SA ve JA bazal seviyelerinin, iyi sulanan Kanlow bitkilerinde daha yüksek olduğu bulunmuştur.

KAYNAKÇA

- Aimar, D., Calafat, M., Andrade, A. M., Carassay, L., Bouteau, F., Abdala, G., & Molas, M. L. (2014). Drought effects on the early development stages of *Panicum virgatum* L.: cultivar differences. *Biomass and Bioenergy*, 66, 49-59.
- Anderson, J. A., & Wu, Y. Q. (2011). Freeze tolerance of forage bermudagrasses. *Grass and Forage Science*, 66(3), 449-452.
- Annicchiarico, P., Pecetti, L., Bouzerzour, H., Kallida, R., Khedim, A., Porqueddu, C., ... & Lelièvre, F. (2011). Adaptation of contrasting cocksfoot plant types to agricultural environments across the Mediterranean basin. *Environmental and Experimental Botany*, 74, 82-89.
- Babic, S., Sokolović, D., Šurlan-Momirović, G., Vasić, T., & Simić, A. (2010). Variability of forage yield components of meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) populations and cultivars. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 26, 93-99.
- Bachle, S., Griffith, D. M., & Nippert, J. B. (2018). Intraspecific trait variability in *Andropogon gerardii*, a dominant grass species in the US Great Plains. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 217.
- Barney, J. N., Mann, J. J., Kyser, G. B., Blumwald, E., Van Deynze, A., & DiTomaso, J. M. (2009). Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture stress: ecological implications. *Plant Science*, 177(6), 724-732.
- Berzins, P., Rancāne, S., Stesele, V., Jansons, A., & Vēzis, I. (2019). The assesment of drought resistance of species and cultivars of perennial grasses.
- Bowman, M. T., Beck, P. A., Watkins, K. B., Anders, M. M., Gadberry, M. S., Lusby, K. S., ... & Hubbell, D. S. (2008). Tillage systems for production of small-grain pasture. *Agronomy journal*, 100(5), 1289-1295.
- Brzozowski, L. J., Szuleta, E., Phillips, T. D., Van Sanford, D. A., & Clark, A. J. (2023). Breeding cereal rye (*Secale cereale*) for quality traits. *Crop Science*, 63(4), 1964-1987.
- Carmo-Silva, A. E., Francisco, A., Powers, S. J., Keys, A. J., Ascensão, L., Parry, M. A., & Arrabaça, M. C. (2009). Grasses of different C4 subtypes reveal leaf traits related to drought tolerance in their natural habitats:

- changes in structure, water potential, and amino acid content. *American Journal of Botany*, 96(7), 1222-1235.
- Chai, Q., Jin, F., Merewitz, E., & Huang, B. (2010). Growth and physiological traits associated with drought survival and post-drought recovery in perennial turfgrass species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(2), 125-133.
- Collins, S. L., & Calabrese, L. B. (2012). Effects of fire, grazing and topographic variation on vegetation structure in tallgrass prairie. *Journal of Vegetation Science*, 23(3), 563-575.
- Cortese, L. M., Honig, J., Miller, C., & Bonos, S. A. (2010). Genetic diversity of twelve switchgrass populations using molecular and morphological markers. *Bioenergy Research*, 3, 262-271.
- Dietrich, J. D., & Smith, M. D. (2016). The effect of timing of growing season drought on flowering of a dominant C 4 grass. *Oecologia*, 181, 391-399.
- FAOSTAT. (2022). FAOSTAT: Crops and livestock products. www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.
- Far, F. G., Mahmoodi, S., Zamani, G. R., & Zahan, M. H. S. (2017). Effect of drought stress on water use efficiency and root dry weight of wheat (*Triticum aestivum* L.) and rye (*Secale cereale* L.) in competition conditions.
- Galliat, M., Sabates, S., Tetreault, H., DeLaCruz, A., Bryant, J., Alsdurf, J., ... & Johnson, L. (2020). Adaptive genetic potential and plasticity of trait variation in the foundation prairie grass *Andropogon gerardii* across the US Great Plains' climate gradient: Implications for climate change and restoration. *Evolutionary Applications*, 13(9), 2333-2356.
- Geiger, H. H., & Miedaner, T. (2009). Rye breeding. *Cereals*, 3, 157-181.
- Gibson, D. J., Sendor, G., Donatelli, J., & Baer, S. G. (2013). Fitness among population sources of a dominant species (*Andropogon gerardii* Vitman) used in prairie restoration1. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 140(3), 269-279.
- Guo, J., Xu, W., Yu, X., Shen, H., Li, H., Cheng, D., ... & Song, J. (2016). Cuticular wax accumulation is associated with drought tolerance in wheat near-isogenic lines. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1809.
- Gustafson, D. J., Gibson, D. J., & Nickrent, D. L. (2004). Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and

- restored native populations and select cultivated varieties. *Functional Ecology*, 18(3), 451-457.
- Gustafson, D. J., Gibson, D. J., & Nickrent, D. L. (2004). Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. *Functional Ecology*, 18(3), 451-457.
- Hartman, J. C., Nippert, J. B., Orozco, R. A., & Springer, C. J. (2011). Potential ecological impacts of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) biofuel cultivation in the Central Great Plains, USA. *biomass and bioenergy*, 35(8), 3415-3421.
- Havstad, L. T. (2011). Autumn and spring management in seed crops of meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 61(1), 50-59.
- Islam, M. A., Biermacher, J. T., Interrante, S. M., Reuter, R. R., Hopkins, A. A., Cook, B. J., ... & Butler, T. J. (2011). Production and economics of grazing rye–annual ryegrass and tall fescue systems. *Agronomy Journal*, 103(2), 558-564.
- Ji, X., & Jetter, R. (2008). Very long chain alkylresorcinols accumulate in the intracuticular wax of rye (*Secale cereale* L.) leaves near the tissue surface. *Phytochemistry*, 69(5), 1197-1207.
- Jiang, Y., Yao, Y., & Wang, Y. (2012). Physiological response, cell wall components, and gene expression of switchgrass under short-term drought stress and recovery. *Crop Science*, 52(6), 2718-2727.
- Johnson, L. C., Olsen, J. T., Tetreault, H., DeLaCruz, A., Bryant, J., Morgan, T. J., ... & Maricle, B. R. (2015). Intraspecific variation of a dominant grass and local adaptation in reciprocal garden communities along a US Great Plains' precipitation gradient: implications for grassland restoration with climate change. *Evolutionary Applications*, 8(7), 705-723.
- Kadioglu, A., Terzi, R., Saruhan, N., & Saglam, A. (2012). Current advances in the investigation of leaf rolling caused by biotic and abiotic stress factors. *Plant Science*, 182, 42-48.
- Kanapeckas, J., Lemežienė, N., Stukonis, V., & Tarakanovas, P. (2008). Drought tolerance of turfgrass genetic resources. *biologija*, 54(2).
- Kimura, E., Fransen, S. C., Collins, H. P., Guy, S. O., & Johnston, W. J. (2015).

- Breaking seed dormancy of switchgrass (*Panicum virgatum* L.): a review. *biomass and bioenergy*, 80, 94-101.
- Kottmann, L. (2015). Rye (*Secale cereale* L.): agronomic performance under drought and methods of crop physiology to determine the drought tolerance of winter rye.
- Kottmann, L., Wilde, P., & Schittenhelm, S. (2016). How do timing, duration, and intensity of drought stress affect the agronomic performance of winter rye?. *European Journal of Agronomy*, 75, 25-32.
- Kulyk, M. I., Taranenko, A. O., D'omin, D. G., & Rozhko, I. I. (2022). Agroecological aspects of rare energy crops growing in order to produce sustainable plant biomass. *Publishing House "Baltija Publishing"*.
- Landberg, R., Kamal-Eldin, A., Salmenkallio-Marttila, M., Rouau, X., & Åman, P. (2008). Localization of alkylresorcinols in wheat, rye and barley kernels. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 401-406.
- Laskos, K., Czyczyło-Mysza, I. M., Dziurka, M., Noga, A., Goralska, M., Bartyzel, J., & Myskow, B. (2021). Correlation between leaf epicuticular wax composition and structure, physio-biochemical traits and drought resistance in glaucous and non-glaucous near-isogenic lines of rye. *The Plant Journal*, 108(1), 93-119.
- Laskos, K., Myśków, B., Dziurka, M., Warchoń, M., Dziurka, K., Juzoń, K., & Czyczyło-Mysza, I. M. (2022). Variation between glaucous and non-glaucous near-isogenic lines of rye (*Secale cereale* L.) under drought stress. *Scientific Reports*, 12(1), 22486.
- Lelievre, F., & Volaire, F. (2009). Current and potential development of perennial grasses in rainfed Mediterranean farming systems. *Crop Science*, 49(6), 2371-2378.
- Liu, Y., Zhang, X., Tran, H., Shan, L., Kim, J., Childs, K., ... & Zhao, B. (2015). Assessment of drought tolerance of 49 switchgrass (*Panicum virgatum*) genotypes using physiological and morphological parameters. *Biotechnology for Biofuels*, 8, 1-18.
- Lovell, J. T., MacQueen, A. H., Mamidi, S., Bonnette, J., Jenkins, J., Napier, J. D., ... & Schmutz, J. (2021). Genomic mechanisms of climate adaptation in polyploid bioenergy switchgrass. *Nature*, 590(7846), 438-444.
- Makhranova, M. S., & Urokov, S. K. (2024). Changes in certain productivity indicators under the influence of water deficiency and drought of secale

- cereale I. Varieties. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 538, p. 03024). EDP Sciences.
- Maricle, B. R., & Adler, P. B. (2011). Effects of precipitation on photosynthesis and water potential in *Andropogon gerardii* and *Schizachyrium scoparium* in a southern mixed grass prairie. *Environmental and Experimental Botany*, 72(2), 223-231.
- Maricle, B. R., Caudle, K. L., Lindsey, K. J., Baer, S. G., & Johnson, L. C. (2017). Effects of extreme drought on photosynthesis and water potential of *Andropogon gerardii* (big bluestem) ecotypes in common gardens across Kansas. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 120(1–2), 1-16.
- Maricle, B. R., Koteyeva, N. K., Voznesenskaya, E. V., Thomasson, J. R., & Edwards, G. E. (2009). Diversity in leaf anatomy, and stomatal distribution and conductance, between salt marsh and freshwater species in the C4 genus *Spartina* (Poaceae). *New Phytologist*, 184(1), 216-233.
- Mendola, M. L., Baer, S. G., Johnson, L. C., & Maricle, B. R. (2015). The role of ecotypic variation and the environment on biomass and nitrogen in a dominant prairie grass. *Ecology*, 96(9), 2433-2445.
- Miedaner, T., & Laidig, F. (2019). Hybrid breeding in rye (*Secale cereale* L.). *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals: Volume 5*, 343-372.
- Muhaidat, R., Sage, R. F., & Dengler, N. G. (2007). Diversity of Kranz anatomy and biochemistry in C4 eudicots. *American journal of botany*, 94(3), 362-381.
- Newell, M. A., & Butler, T. J. (2013). Forage rye improvement in the southern United States: A review. *Crop Science*, 53(1), 38-47.
- Olsen, J. T., Caudle, K. L., Johnson, L. C., Baer, S. G., & Maricle, B. R. (2013). Environmental and genetic variation in leaf anatomy among populations of *Andropogon gerardii* (Poaceae) along a precipitation gradient. *American Journal of Botany*, 100(10), 1957-1968.
- Olsen, J. T., Caudle, K. L., Johnson, L. C., Baer, S. G., & Maricle, B. R. (2013). Environmental and genetic variation in leaf anatomy among populations of *Andropogon gerardii* (Poaceae) along a precipitation gradient. *American Journal of Botany*, 100(10), 1957-1968.
- Powlson, D. S., Riche, A. B., & Shield, I. (2005). Biofuels and other approaches for decreasing fossil fuel emissions from agriculture. *Annals of Applied*

- Biology*, 146(2), 193-201.
- Saeidnia, F., Majidi, M. M., Mirlohi, A., & Manafi, M. (2017). Productivity, persistence and traits related to drought tolerance in smooth brome grass. *Plant Breeding*, 136(2), 270-278.
- Safonova, I. V., & Aniskov, N. I. (2023). Index assessment of drought resistance of promising varieties of diploid winter rye in contrastive growing conditions. *Agrarian Bulletin* 43: 32–45.
- Salehi-Lisar, S. Y., & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. *Drought stress tolerance in plants, Vol 1: physiology and biochemistry*, 1-16.
- Schittenhelm, S., Kraft, M., & Wittich, K. P. (2014). Performance of winter cereals grown on field-stored soil moisture only. *European journal of agronomy*, 52, 247-258.
- Silletti, A., & Knapp, A. (2002). Long-term responses of the grassland co-dominants *Andropogon gerardii* and *Sorghastrum nutans* to changes in climate and management. *Plant Ecology*, 163, 15-22.
- Sosnowski, J., Jankowski, K., Domański, P., & Herda, D. (2015). Dry matter yield of different varieties of *Dactylis glomerata* and *Festuca pratensis*. *Journal of Ecological Engineering*, 16(3), 211-216.
- Staniak, M. (2016). The impact of drought stress on the yields and food value of selected forage grasses. *Acta Agrobotanica*, 69(2).
- Stroup, J. A., Sanderson, M. A., Muir, J. P., McFarland, M. J., & Reed, R. L. (2003). Comparison of growth and performance in upland and lowland switchgrass types to water and nitrogen stress. *Bioresource Technology*, 86(1), 65-72.
- Tomerius, A. M., Miedaner, T., & Geiger, H. H. (2008). A model calculation approach towards the optimization of a standard scheme of seed-parent line development in hybrid rye breeding. *Plant breeding*, 127(5), 433-440.
- VanWallendael, A., Lowry, D. B., & Hamilton, J. A. (2022). One hundred years into the study of ecotypes, new advances are being made through large-scale field experiments in perennial plant systems. *Current Opinion in Plant Biology*, 66, 102152.
- Voltaire, F., Barkaoui, K., & Norton, M. (2014). Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: adaptive strategies, functional

- traits and biotic interactions. *European Journal of Agronomy*, 52, 81-89.
- Wright, L., & Turhollow, A. (2010). Switchgrass selection as a “model” bioenergy crop: a history of the process. *Biomass and Bioenergy*, 34(6), 851-868.
- Yamada, T. (2010). Festuca. In *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources: Millets and Grasses* (pp. 153-164). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Zarco-Hernandez, J. A., Santiveri, F., Michelena, A., & Peña, R. J. (2005). Durum wheat (*Triticum turgidum*, L.) carrying the 1BL/1RS chromosomal translocation: agronomic performance and quality characteristics under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 22(1), 33-43.
- Zhang, Y., Zalapa, J., Jakubowski, A. R., Price, D. L., Acharya, A., Wei, Y., ... & Casler, M. D. (2011). Natural hybrids and gene flow between upland and lowland switchgrass. *Crop Science*, 51(6), 2626-2641.

BÖLÜM 5

Mısır (*Zea mays*)

Kırmızı Yumak (*Festuca rubra*)

Zir. Yük. Müh. Mustafa UZUN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17488314>

¹ Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Çayır, Mera ve Yem Bitkileri Bölümü
Erzurum, Türkiye. mustafauzun@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-9778-4117

1. Mısır (*Zea mays* L.)

Mısır (*Zea mays* L.), farklı tarımsal-iklim koşullarına geniş adaptasyon kabiliyetine sahip çok amaçlı bir üründür. Dünyanın birçok yerinde, deniz seviyesinden 3.000 m yüksekliğe kadar yetiştirilmektedir (Pandit ve ark., 2016). Bu ürün, tahıllar arasında tane üretim potansiyelinin en yüksek olması (Chakraborty ve ark., 2014), çift amaçlı kullanımı (tane ve yem); ticari ürün olarak kullanılması (koçan mısır, tatlı mısır ve patlamış mısır) ve endüstri için hammadde olması nedeniyle çiftçiler tarafından tercih edilmektedir (Sah ve ark., 2016). Tahılların kraliçesi olarak adlandırılan mısır, çeşitli tarımsal iklim koşullarına uyum sağlama yeteneği ve 58° K ile 55° G enlemleri arasında yetiştirilmesi bakımından diğer tüm tahılları ve gıda ürünlerini geride bırakmaktadır. Eş zamanlı iklimsel oynaklık, mısır verimi için bir tehdit haline gelen abiyotik ve biyotik stresleri ağırlaştırmıştır (Sandhu ve ark., 2023). Silajlık mısır da dünya çapında en önemli ürünlerden biridir. Yüksek besin ve kuru madde içeriği, düşük tamponlama kapasitesi ve laktik asit fermentasyonu için uygun karbonhidrat seviyeleri gibi çeşitli olumlu özellikleri nedeniyle hayvan yemi diyetinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gheysari ve ark., 2021).

Mısır, sıcak iklim bitkisidir. Mısır tohumunun çimlenebilmesi için sıcaklık 10 °C 'nin üzerinde olmalıdır. Çimlenme ve özellikle bitkinin toprak yüzeyine çıkışı, toprağın 10 cm derinliğindeki sıcaklık 16 - 18 °C olduğunda daha eşit ve daha hızlı olmaktadır. Toprak sıcaklığı 20 °C olduğunda ise bitki, ekim gününden 5 - 6 gün sonra toprak yüzeyine çıkabilmektedir. Mısır üretim sezonunda ortalama gece sıcaklığı 13 °C altına düşüyor ve gündüz ortalama sıcaklığı 45 °C nin üzerine çıkıyorsa bu bölgelerde mısır bitkisi yetiştiriciliği mümkün olmamaktadır. Sıcaklıkların 35 °C nin üzerinde olması verimi azaltır. Sıcaklık 38 °C'ye ulaştığında sulama şartlarında bile terleme ile kaybettiği suyu kökler vasıtasıyla karşılayamaz. Döllenme süresince yüksek sıcaklık ile düşük bağıl nem birleşirse polen verme ve döllenme üzerinde olumsuz bir etki meydana gelir. Buna ek olarak toprak nemi de düşük ise koçanda düşük tane oluşumu meydana gelerek koçan püskülü oluşumu gecikir ve verim azalır (Anonim 2025).

Mısırın fizyolojik özelliklerine göre, toplam sıcaklık gereksinimlerini karşılamaktadır, ancak verimi etkileyen ana faktör yağıştır ve bu nedenle meteorolojik kuraklık mısır veriminde büyük dalgalanmalara yol açmakta ve gıda güvenliği krizine yol açabilmektedir (Wang ve ark., 2019).

Dünyadaki en önemli ürünlerden biri olan mısır, kuraklık stresine karşı özellikle hassastır. Şiddetli kuraklık mısır verimini azaltabilir hatta hasat yapılamamasına neden olabilir (Webber ve ark., 2018). Mısır bitkilerinin suya olan talebi yüksektir ve bu nedenle mısır veriminin istikrarı su stresine karşı hassastır (Lobell ve ark., 2020). Mısırdaki şiddetli verim kayıpları esas olarak kuraklıktan kaynaklanır (Aslam ve ark., 2015). Mısır, nem eksikliğinden dolayı kuraklık stresine maruz kalır ve bu da fide çıkışı, erken vejetatif büyümeyi, fotosentez kapasitesini, büyümesini, döllenmeyi, tohum oluşumunu ve verimi etkiler (Khalili ve ark., 2013).

Mısır büyümesinin herhangi bir aşamasındaki su açığı tane üretimini etkilemesine rağmen, özellikle fide ve generatif aşamalarında meydana geldiğinde daha fazla hasara neden olur (Liu ve ark., 2023). Mısır genellikle uzun ve geniş yapraklara sahiptir. Fide veya büyüme döneminde yaşanan şiddetli kuraklık, yaprakların kıvrılmasına ve bodur büyümeye neden olur (Song ve ark., 2015). Çiçeklenme sonrasındaki su kıtlığı da mısır verimini etkiler. Bu nedenle, bu dönemde yeterli su temini gerekir (Khalili ve ark., 2013). Mısırdaki tozlaşma ve döllenme sırasında sıcak ve kuru hava, verim üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Özellikle, kuraklık stresi genel bitki boyutunu, koçan boyutunu ve tane sayısını azaltabilir. Kuraklık stresi, genellikle mısırın vejetatif büyüme aşamasında (V12'ye kadar) nihai verimi etkiler (Lauer, 2006). Mısır genellikle tozlaşma ve döllenme sırasında strese en duyarlıdır; özellikle, kuraklık stresi tozlaşmadan iki hafta önce devam ederse ve bitki solarsa, verimler çok düşebilir (Kim & Lee, 2023).

Kuraklık koşulları altında mısır bitkileri kıvrılmış, sararmış yapraklar, daha derin kökler, gövde solması, hatta ölüm gibi çarpıcı dehidratasyonla ilgili fenotipler ve püsküllerin ve başakların asenkron gelişimi sergiler. Buna göre, hayatta kalma oranı, kök mimarisi, ASI ve tane verimi dahil olmak üzere kuraklıkla ilgili fenotipik özellikler, kuraklığa dayanıklılıkla ilişkili kantitatif özellik lokuslarını (QTL'ler) tanımlamak için kullanılmıştır (Wang ve ark., 2016).

Tane kalitesi de kuraklık stresinden büyük ölçüde etkilenir. Mısır bitkileri erkek (tepe püskülü) ve dişi (koçan) çiçek salkımlarını farklı pozisyonlarda geliştirdiğinden, polen dökülmesi (antez) ve koçan püskülü çıkışı arasındaki senkronizasyon, tozlaşma ve tane üretiminin sağlanması için kritik öneme sahiptir (Bruce ve ark., 2002). Çiçeklenme aşamasında oluşan

kuraklık, koçan püskülü çıkışını geciktirir ancak tepe püskülü üzerinde çok az etkisi vardır veya hiç yoktur, böylece tepe püskülü-koçan püskülü aralığını (ASI, anthesis to silking interval) artırır. İyi sulanmış koşullar ve üç kuraklık uygulaması altında yetiştirilen bitkilerden elde edilen koçan dokularının transkriptom analizi, kuraklıkla tetiklenen ASI'nin altında yatan transkripsiyonel düzenleyici ağı ortaya çıkarmıştır (Liu ve ark., 2021).

Stresli koşullar altında, modern germplazmanın daha az gelişmiş ve eski muadillerine göre performans avantajı çok büyüktür ve son 30 yılda gözlemlenen verimdeki genetik kazanımın çoğu, verim potansiyelindeki artıştan ziyade daha fazla stres toleransına atfedilmiştir (Duvick ve ark., 2004). Mısır, koçan püskülü büyümesi, tozlaşma ve tohum setinin meydana geldiği çiçeklenme döneminde strese en duyarlıdır. Çiçeklenme sırasında stres altında verim, tropikal mısırdaki bitki başına tohum sayısına, kısırılığa ve ASI'ye güçlü bir bağımlılık gösterir. Modern strese dayanıklı ılıman melezler, eski mezelere kıyasla ASI'de daha az artış gösterir (Bruce ve ark., 2001).



Şekil 1. Kuraklıktan etkilenen mısır mahsulünün tepe püskül çıkışı aşamasını geçtikten sonraki durumu. Boğum aralarının uzamasında azalma görülmüştür

Kaynak: Ferreira & Brown, 2016

Tane dolum döneminde nem stresi oluşursa günlük verim azalma hızı %3-5,8 olurken, bu dönemde aşırı nem stresi oluşursa mısır verimi %20-30 azalabilmektedir. Mısırın her büyüme evresinde toprak nem yönetimi yöntemlerinin büyüme ve verime olan etkileri üzerine yapılan araştırma sonuçlarına göre; V8'den (vegetatif evre; sekizinci yaprak) önce yoğun toprak nem yönetimine, ihtiyaç duyulmaktadır (Nam ve ark., 2017). VT'den (püsküllenme evresi; püskülün en alt dalı görünür) sonra ek sulamaya gerek duyulmaz. Çiçeklenme dönemindeki sulamadan sonra, büyümenin sonraki evrelerinde ek sulama yapılmasa bile büyüme ve verimde önemli bir azalma görülmemektedir. Mısırdaki, V8 ile VT arasındaki kuraklık gibi nem stresi, başak oluşumu ve olgunluk dahil olmak üzere verimle doğrudan ilişkilidir ve stres derecesine bağlıdır (Kim ve Lee, 2023).

Mısır, küresel gıda güvenliği için olmazsa olmazdır. Örneğin, dünyanın ılıman mısır üretiminin %40'ından fazlasını sağlayan Kuzey Amerika orta batı ovaları gibi yağmurla beslenen ekim sistemleri, dünya mısır tanesi arzının kritik derecede önemli belirleyicileridir. Çoğu yıl, Amerika Birleşik Devletleri'nin Mısır Kuşağı'nda yetiştirilen mısırın önemli bir kısmı kuraklıktan kaynaklanan verim kayıpları yaşar. Sulama yapılmadığında, stresin şiddeti ve sıklığı, Mısır Kuşağı'nda ve Büyük Ovalar'da mısır bitkisi büyüdükçe daha da artar. Ancak, yıllık bazda, merkezi Mısır Kuşağı'nın bazı bölgelerinde verimi %5-15 oranında azaltabilecek geçici kuraklık dönemleri beklenebilir ve bunların etkileri kaba dokulu topraklarda daha da kötüleşir. Bu geçici stresler, karmaşık genotip x yıl etkileşimlerine ve bir sezon içinde genotip x stres etkileşimlerinin zamanlamasına yol açar, çünkü stres toleransı melezler arasında ve sezon boyunca değişir. Biçerdöver monteli verim monitörlerinin ortaya çıkmasıyla, tarla içi mekansal verim çeşitliliği çiftçiler için çok daha belirgin hale gelmiş ve genellikle toprak dokusundaki ve bitkinin erişebildiği sudaki çeşitlilikle ilişkili verimlerin tarlalar arasında 10 kata kadar değişebildiği belirlenmiştir (Campos ve ark., 2004).

Kuraklık stresi mısır verimi için ciddi tehditler oluşturmakta ve kuraklık stresi altında sulama suyu kullanım verimliliğinin artırılması çok önemli durumdadır. Birçok bilim insanı, kuraklık stresi altında organları, fotosentezi, ozmotik düzenlemeyi, reaktif oksijen türlerinin metabolizmasını, hormon düzenlemesini ve gen ifadesini inceleyerek mısırın kuraklığa dayanıklılığını nitel olarak analiz etmiştir (Waititu ve ark., 2021). Bazı çalışmalar, mısır

yapraklarının yaprak yansımasını ve stoma açıklığını ayarlayarak su kaybını azalttığını bulmuştur (Sun ve ark., 2018). Ek olarak, klorofil içeriği, gaz değişimi ve floresan parametrelerindeki koordineli değişiklikler, kuraklık koşulları altında mısır dayanıklılığının artmasına muhtemelen katkıda bulunmuştur (Qi ve ark., 2021). Absisik asit (ABA), mısır fotosentezinde, oksidatif fosforilasyonda ve diğer sinyal yollarında aktif bir rol oynar, transkripsiyon faktörlerini indükler ve strese duyarlı genlerin ifadesini düzenler. Transkripsiyon faktörleri hedef strese yanıt veren genlerin ifade seviyelerini bağımsız olarak düzenler veya diğer transkripsiyon faktörleriyle etkileşime girer. Dahası, mısırın büyümesine katılır ve mısırın çeşitli çevresel uyarılara karşı kapsamlı direncini artırır (Leng ve Zhao, 2020). Nikolaeva ve ark. (2017), mısır fidelerinin kuraklığa adaptasyonu sırasında fotosentez ve terleme oranında önemli bir azalma ile eş zamanlı olarak indirgeyici şekerler ve prolin içeriğinde keskin bir artış gözlemlemiştir.

Birçok ülkede mısır, iyi bir verim elde etmek için kritik seviyeye yakın veya altında olan 300-500 mm yağış alan alanlarda yetiştirilir. Kurak mevsim mısır mahsulleri, fide ile diz boyu aşama arasındaki erken ürün büyüme aşamasında uzun süren soğuk dönem nedeniyle geç olgunlaşır. Bu nedenle, kurak mevsimde dane üretiminin kaybı, sulama için kullanılan suyun kıtlığına bağlıdır (Pandit ve ark., 2017). Su eksikliği stresi altında fenotipik gelişim, kritik bir su eksikliği stresi seviyesinden sonra baskılanır. Etki belirgindir, örneğin yeşil yaprak süresinde (yeşil kalma), bitki performansında (Pandit ve ark., 2016), koçan uzunluğunda, tohum ağırlığında (Vazirimehr ve ark., 2014), bitki boyunda, koçan başına tane sayısında, yaprak sayısında, bitki başına koçan sayısında, koçan başına taneli sıra sayısında, sıra başına tane sayısında ve çiçeklenme döneminde erken yaprak kurumasında azalma ile sonuçlanır (Sah ve ark., 2020). Yeşil kalan genotipler, özellikle su eksikliği koşullarında, yeşil kalmayan genotiplerden genellikle üstündür ve genellikle tane verimi özellikleriyle (tane verimi, koçan uzunluğu ve sıra başına tane) ilişkilidir. Kök kütlesi ve köklenme derinliği gibi toprak altı özelliklerindeki artışlar, bitkinin kuraklık stresiyle başa çıkma yeteneğini artırır (Tollenaar ve Lee, 2006). Bu nedenle, bu tür özellikler melez gelişim için potansiyel ebeveynleri belirlemek için de önemli kabul edilir. Ancak, fenotipik ifade her zaman su eksikliği stresi altında baskılanmaz. Pratikte su açığı stresi ekim dönemi boyunca sabit değildir; ürün aşamasına, mevcut nem miktarına ve toprak tipine bağlı olarak

sürekli değişir (Şah ve ark., 2020).

Mısırın büyüme mekanizması büyüdüğü ortamla yakından etkileşime girmektedir (Ullah ve ark., 2021). Belirli bir kuraklık stresi altında, toprağın biyolojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri zamanla değişerek alan kapasitesini değiştirir ve mısır direncini dolaylı olarak etkiler (He ve ark., 2017). Toprak dokusu, mısır bitkileri tarafından su alımında önemli bir rol oynar. Farklı toprak tiplerinde, mısırın çeşitli su emme kapasiteleri ve direnci vardır. Aynı şekilde, toprak bakterileri mısırdaki direnci artırabilir. Örneğin, arbüsküler mantarlar toprak verimliliği proteinini zenginleştirebilir ve mısırın kuraklık direncini artırabilir (Samiappan ve ark., 2021). Uygun bir büyüme ortamının kuraklık stresi altında mısır direncini artırabileceği görülebilir. Direncin yanı sıra mısırın belirli bir dayanıklılığı da vardır ve bu da mısırın belirli bir kuraklık stresi derecesine uyum sağlama yeteneğini artırabilir (Jing ve ark., 2023).

Lu ve ark., (2011) küresel ıslah programlarından toplanan 550 saf mısır hattını hem iyi sulanmış hem de su stresi altındaki ortamlarda kuraklığa dayanıklılık açısından değerlendirmiştir. Değerlendirme, kuraklık stresi uygulanmadan önce ve sonra alınan biyokütlenin çoklu ölçümlerine, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) kullanılarak ve antes-koşan püskülü çıkarma aralığı, yaprak kuruması, klorofil içeriği, kök kapasitansı, son tane verimi ve tane verimi bileşenleri gibi seçim kriterlerine göre değerlendirmişlerdir. Tane ağırlığı kuraklık stresi altında en kararlı özellik olarak öne çıkmıştır. Birincil özellik (tane verimi) ile ikincil özellikler arasındaki korelasyonlar, kök kapasitansı ve su stresi altındaki ASI hariç, hepsi önemli olmuştur. Kök kapasitansı nispeten düşük kalıtım derecesine ve diğer kuraklık direnci kriterleriyle düşük genetik korelasyona sahip olmuş ve kuraklık direnci kriteri olarak önerilmemiştir. Yapraklar kıvrılmaya başladığında öğleden sonra ölçülen NDVI değerlerinin, yaprakların açık olduğu sabah ölçülen değerlere kıyasla önemli ölçüde azalması, yaprak kıvrılması için güvenilir bir endeks sağlamış, ancak bu, tane verimiyle önemli ölçüde ilişkili olmamıştır. Farklı gelişim aşamalarında ölçülen NDVI'ler, birbirleriyle ve çoğu ikincil özellik ile ve tane verimiyle yüksek oranda ilişkili olmuştur, bu da NDVI'nin büyük ölçekli kuraklık direnci taraması için ikincil bir özellik olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Mısır bitkilerinde kuraklık stresine bağlı olarak yaprak hareketinin yöneliminde meydana gelen değişiklikler, yaprak kıvrılması gibi, kolayca

gözlemlenebilen bitki tepkileridir. Kuraklık stresine bağlı yaprak kıvrılması durumunda, mısır yaprağının hücre turgoru veya su potansiyeli daha düşük olup, -1,5 ile -2,5 MPa arasında değişmektedir (Riboldi ve ark., 2016). Kuraklık stresi koşullarında yaprak hareketi geciken bitkiler, su alımını artırarak veya ozmotik düzenlemeyle yaprak turgorunu koruma yeteneğini göstermiştir (Kadioglu ve ark., 2022). Buna karşın yaprak kıvrılmasını daha erken yaşayan bitkiler, bitkilerin kuraklık stresine daha duyarlı olduğunu göstermektedir (Song ve ark., 2010). Birkaç çalışma, yaprak kıvrılmasının verimle negatif korelasyon gösterdiğini ve kuraklığa dayanıklı mısır melezinin karakteristik bir seleksiyonu olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Monneveux ve ark., 2008).

Mısırdaki kuraklığa dayanıklılık karmaşık ve kapsamlı bir niceliksel özelliktir ve mekanizması son derece karmaşıktır (Leng ve Zhao, 2020). Dayanıklı mısır genotiplerinin kuraklıktan sonra hassas olanlara kıyasla daha verimli bir şekilde iyileştiği gösterilmiştir. Bazı daha az dayanıklı mısır çeşitleri uyum mekanizmalarını aktive edememiş ve kuraklıktan sonra eski haline dönememektedir (Cruz de Carvalho ve ark. 2011).

Son yıllarda yaz mısırında kuraklığın etkileri üzerine yapılan çalışmalar bilimsel ilgi konusu olmuştur. Ancak, deneylerin çoğu farklı büyüme evrelerinde kısa süreli kuraklık stresi altında yürütülmüş ve bölgesel farklılıklar bulunurken, kısa süreli kuraklık ile uzun süreli kuraklık stresinin etkileri önemli ölçüde farklı olmuştur. Mısırın sürekli kuraklığa farklı büyüme evrelerinde ve hatta tüm büyüme periyodunda verdiği tepki üzerine yapılan deneyler hala nadirdir (Li ve ark., 2020). Fotosentetik özellikler, kök kanopisi ve mısır verimi kuraklıkla en doğrudan ilişkili olan konulardır; çok sayıda çalışma, stoma iletkenliği, net fotosentez hızı ve mısır yapraklarının klorofil floresansı ile kuraklık şiddeti ve büyüme periyodu arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur (Cai ve ark., 2017).

Mısırın kuraklık toleransı, bitki boyu, yaprak alanı, gövde çapı ve bitki biyokütlesi gibi diğer gelişimsel özelliklerle potansiyel olarak ilişkili olan karmaşık bir niceliksel özelliktir (Messina ve ark., 2011). Tarımsal önemleri nedeniyle, mısırdaki kuraklık stresine ilişkili mekanizmalar, genom çapında ilişki çalışmaları (GWAS) (Thirunavukkarasu ve ark., 2014) ve yeni nesil dizileme (NGS) dahil olmak üzere yüksek verimli deneysel teknikler kullanılarak araştırılmıştır (Shan ve ark., 2013). GWAS, mısırdaki kuraklık toleransı ile önemli ölçüde ilişkili olan DNA polimorfizmlerini tanımlamıştır.

Bununla birlikte, GWAS'taki zorluk, birden fazla genle ilişkili varyantların neden olduğu poligenik özellikler için nedensel varyantların tanımlanmasıdır. NGS, kuraklık stresine adaptasyon ve toleransla ilişkili karmaşık moleküler düzenleyici ağların anlaşılmasına katkıda bulunan omik verilerinin (transkriptomik, proteomik ve metabolomik) üretilmesine yol açmıştır. NGS'nin geliştirilmesiyle birlikte, RNA dizilimi (RNA-seq), kuraklık stresi altında doku ve bitki gelişimi sırasında mısır transkriptomunun dinamik yeniden programlanmasını yorumlamak için yaygın olarak kullanılmıştır (Zheng ve ark., 2010). Önceki çalışmaların çoğu, farklı dokularda ve farklı gelişim aşamalarında ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, mısırdaki kuraklık adaptasyonunun genetik olarak nasıl kontrol edildiği ve düzenlendiği ve stres sinyal yollarının gelişimsel sinyal yollarıyla nasıl çapraz iletişim kurduğu konusunda çok az şey bilinmektedir. Dahası, mısırdaki stres-tepki transkriptomik verileri kuraklık stresi kaynaklı alternatif birleştirme (AS, alternative splicing) (gen ekspresyonu sırasında tek bir genin farklı birleştirme varyantları üretmesine izin veren alternatif bir birleştirme işlemi) olaylarını tespit etmek için uygulanmış olsa da, mısır genom evrimi, yapay seçilim ve bilinen gen düzenleyici bilgileri büyük ölçüde eksik kalmaktadır (Thatcher ve ark., 2016). Bu teknolojinin ilk uygulanmasından bu yana çok ilerleme kaydedilmiş olsa da, mısırdaki kuraklık stresi tepkisinin mekanizmalarına ilişkin anlayışımızı ilerletmek için sistem biyolojisi alanında daha fazla uygulanma potansiyeli hala mevcuttur. Ayrıca, kamuya açık depolarda verilerin hızla birikmesiyle, mısırdaki kuraklık stresi toleransının biyolojik karmaşıklığını incelemek için birçok farklı omik veri setini etkili şekilde entegre etmede yeni zorluklar ortaya çıkmaktadır (Miao ZhenYan ve ark., 2017).

Zalud ve ark., (2017), mısır silajı verimlerini açıklamaya yardımcı olmak için 16 su bulunabilirliği göstergesini (tarımsal kuraklığın değerlendirilmesi için uygun) incelemiş, silajlık mısır melezlerinin su bulunabilirliği kıtlığına karşı en savunmasız olduğu dönemi belirlemiştir. 4 lokasyonda (Çek Cumhuriyeti genelinde) yürütülen yağmurla beslenen silajlık mısır tarla deneylerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. En yüksek korelasyon gerçek evapotranspirasyon için elde edilmiş, Temmuz ayındaki yağış toplamaları, gözlemlenen verim değişkenliğinin %64'ünü açıklamıştır.

Kuraklık ve ısı stresi gibi abiyotik stresler mısır silajı verimini ve

kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir, ancak etki ettikleri mekanizmalar farklıdır. Oluştugu ana bağılı olarak kuraklık stresinin farklı etkileri gelişebilir. Kuraklık stresi yalnızca vejetatif aşamalarda meydana gelirse, kuru madde verimleri tehlikeye girebilir ancak besin bileşimi mutlaka etkilenmez. Fakat, kuraklık stresi generatif aşamalarda (püskül çıkarma) meydana gelirse, hem kuru madde verimi hem de besin bileşimi etkilenebilir. Püskül çıkarma zamanı su stresi oluştuğunda yumurtalık atrofisi veya “düşük” meydana gelir ve bu da tohum gelişimini ve başak içindeki büyümeyi azaltır. Püskül çıkarma zamanı kuraklık stresi, özellikle apikal yumurtalıklardan gelen püsküllerin büyümesini ve çıkışını geciktirir (Ferreira & Brown, 2016).



Şekil 1. Koçanın apikal (uç) bölgesinde zayıf tane gelişimi gösteren kuraklık stresi altındaki mısır mahsulü

Kaynak: Ferreira & Brown, 2016

Yeterli toprak nemi, ekimden kısa bir süre sonra mısır fidelerinin çimlenmesini ve çıkmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Fide çıkışından sonra, nispeten düşük evapotranspirasyon, topraktaki su içeriği yeterli olduğu sürece bitkilerin minimum stresle büyümesine olanak tanır. Örneğin, vejetatif aşamalarda (yani altı yapraklı aşama) mısır parsellerinde sulamanın sınırlandırılması, vejetatif aşamada tamamlayıcı sulama alan mısır parselleriyle karşılaştırıldığında ne hektar başına tane verimini ne de koçan başına tane sayısını azaltmamıştır. Buna karşılık, püskül çıkarma döneminde sulamanın sınırlandırılması, hektar başına tane verimini ve tane ağırlığını azaltmıştır, ancak koçan başına tane sayısı, vejetatif aşamalarda tamamlayıcı sulama alan mısır parselleriyle karşılaştırıldığında etkilenmemiştir (Çakır, 2004). Bu veriler, kuraklık stresi vejetatif aşamalarda meydana geldiğinde, kuru madde verimlerinin tehlikeye girebileceğini ancak dane gelişiminin ve silajın

potansiyel besin bileşiminin mutlaka etkilenmediğini göstermektedir. Vejetatif aşamaların aksine, generatif aşamalarındaki kuraklık stresi tohum gelişimini önemli ölçüde etkileyebilir. Kuraklık stresi, genotip ve stres düzeylerine bağlı olarak çiçeklenme-püskül çıkarma aralığını 1,9 günden 4,8 güne kadar artırabilir (Oury ve ark., 2016).

Ferreira ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, iki sahada silaj için mısır melezleri hasat edilmiştir. 2012'de yağışlar her iki sahada da az ve benzer olsa da (sırasıyla Shenandoah Vadisi ve Güney Piedmont için 262 ve 227 mm), mısır bitkilerinin kuru madde verimleri ve besin bileşimi lokasyonlar arasında önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Kuru madde konsantrasyonu önemli ölçüde düşük olmuştur. En düşük kuru madde olan Güney Piedmont'taki %25,3 değeri muhtemelen tüm bitkideki dane bileşeninin oranının azalmasından kaynaklanıyordu. Düşük kuru madde konsantrasyonunu, nispeten yüksek ham protein konsantrasyonu (%10,9 ham protein) ve nispeten yüksek lif konsantrasyonu (%56,6 nötr deterjan lifi) izlemiştir. Buna karşılık, Shenandoah Vadisi'nde kuru madde %32,6 ve ham protein %7,1 konsantrasyonları, bu sahada yıllarda görülen tipik değerler içerisindeydi. Lif konsantrasyonları Shenandoah Vadisi'nde daha değişken olsa da 2012'de Güney Piedmont'ta gözlemlenen değerlerden düşüktü. Özetle, 2012 ilkbahar ve yaz kuraklığı sırasında, Güney Piedmont'taki mısır parsellerinin görsel değerlendirmesiyle belirgin bir stres fark edilmiştir. Bu stres, düşük kuru madde konsantrasyonları ve yüksek ham protein ve lif konsantrasyonlarıyla kendini göstermiştir.

2. Kırmızı yumak (*Festuca rubra*)

Festuca rubra, morfolojik olarak değişken bir tür kompleksi olarak melezleşme, poliploidi ve tohumla taşınan endofitik mantar *Epichloe festucae* mevcudiyeti açısından varyasyon gösterir (Dirihan ve ark., 2016). *Festuca rubra* kompleksine dahil taksonların tanımlanmaları büyük ölçüde morfolojik özelliklerine, özellikle yapraklarına ve çiçek salkımına dayanmaktadır. Kuzey Avrupa'da iki ana alt türü bulunur: tüysüz lemmaya sahip bitkileri olan “subsp. *Rubra*” ve tüylü lemmaya sahip bitkileri olan “subsp. *Arctica*”. *Festuca rothmaleri* türü ise tarihsel olarak ilk önce bir çeşit olarak tanımlanmıştır, ancak şu anda *Festuca rubra* kompleksine ait tam bir tür olarak kabul edilmekte ve genellikle İspanya'nın yüksek rakımlarında görülmektedir. *Festuca rubra*

kompleksinin diğer birçok alt türü, stolon uzunluğu (çok uzun stolonlu “subsp. *Arenaria*”), bitki boyu (45 cm'den kısa olan “subsp. *Litoralis*”) ve pürüzlü veya pullu bir yüzeye sahip yaprak yapısı (çok pürüzlü veya pullu olan “subsp. *Asperifolia*”) gibi diğer morfolojik özelliklerle tanımlanmıştır (Saikkonen ve ark., 2019). Yaşam boyu simbiyoz oluşturan “*epichloe*” endofitleri, toprak üstü bitki dokularında hücreler arası ve asemptomatik olarak büyür. Endofit mantarın gelişen tohumların içine doğru büyümesi, konakçının tüm yavrularına dikey olarak taşınmasına olanak tanır (Tripp ve ark., 2017).

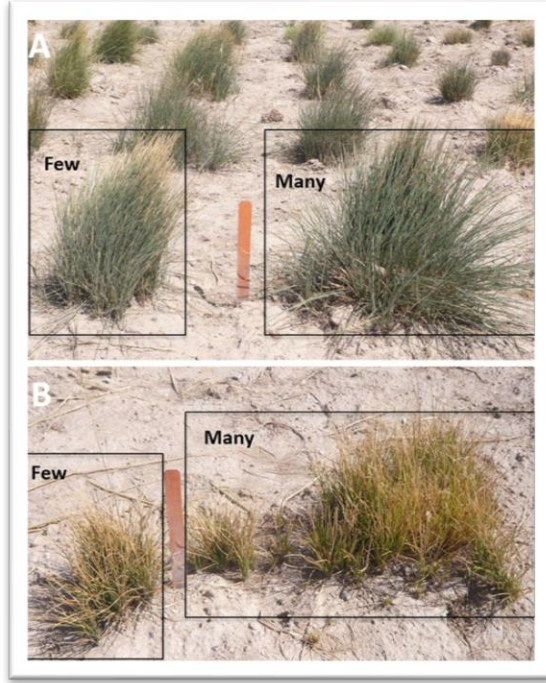
Geleneksel olarak, kırmızı yumak, asgari bakım gerektiren çim alanların oluşturulması ve kumulların, kıyı alanlarının veya yol kenarlarının yeşillendirilmesi ve problemli toprakların yeniden işlenmesi için yaygın olarak kullanılır (Bertin ve ark., 2009). Doğal hiperakümülatörlerin 400'den fazla türü fitoremediyatörler olarak tanımlanmıştır. Bunlardan biri olan *Festuca rubra*, kirlenmiş topraklardan metalleri alır, biriktirir ve potansiyel bir hiperakümülatör görevi görür. Fitoremediyatörlerde, biyokütle üretimi ve biyokonsantrasyon verimliliği başlıca parametrelerdir. Kirletici maddeleri değerli bitki metabolitlerine veya yüksek miktardaki biyokütleyle toplamak fitoremediyatörlerin önemli özelliklerinden biridir (Sonawane ve ark., 2022).

Kırmızı yumak derin otlatmaya tolerans ve iyi kuru ot kalitesi nedeniyle, aynı zamanda değerli bir kaba yem bitkisi olarak da kabul edilir (Stanisavljevic ve ark., 2014). *Festuca rubra*, Avrupa'daki ılıman çayırıkların yaygın çok yıllık bir ot türüdür ve birçok çayırık sisteminin baskın türüdür (Kosova ve ark., 2022). Almanya'da şu anda resmi olarak önerilen çayırık karışımlarının çoğu, *Festuca rubra*, *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Phleum pratense*, *Poa pratensis* ve *Trifolium repens* türlerden üç ila beş bitki türünden oluşur (Thielecke ve ark., 2024). Otu biçilmeye veya otlatılmaya dayanıklıdır bu nedenle yem bitkisi olarak yaygın olarak kullanılan ve çiftçilik sistemlerine değerli katkılarda bulunan önemli buğdaygillerden biridir. Tarlalarda biçilmeden bırakılırsa, alanı yoğun bir şekilde kaplar ve toprağı erozyona karşı korur. Ayrıca bitki bu şartlarda uzun süre besin eksikliği ve kuraklık gibi çeşitli çevresel streslere dayanma yeteneğine sahiptir (Dradrach ve ark., 2020). *Festuca rubra* çok çeşitli ekolojik koşullara dayanıklı çok yıllık bir çim olup ılıman bölgelerin en önemli çim türlerinden biridir (Vazquez-de-Aldana ve ark., 2013).

Kırmızı yumak, Avrupa'daki ılıman ve alpin çayırıklarda yaygın çok

yıllık çim türüdür. Batı Norveç'te çok çeşitli sıcaklık ve yağış gradyanları boyunca dağılmıştır. *Festuca rubra*, Avrupa dağılım aralığında üç ploidi seviyesinde (tetraploid, hekzaploid ve oktoploid) bulunduğu bilinen bir türdür (Dirihan ve ark., 2016). Münzbergova ve ark., (2017), bu popülasyonlar arasında çok çeşitli büyümeyle ilgili özelliklerde yüksek düzeyde genetik farklılaşma göstermiştir. Bu varyasyon, popülasyonlar arasındaki yağış ve sıcaklık farklılıklarıyla yakından ilişkilidir. Hem tohumlarla hem de vejetatif olarak çoğalır ve rizomları ile bol kardeşlenme göstererek yüksek vejetatif üretim sağlar (Münzbergova ve ark., 2017).

ABD'nin batı meralarının bozulmuş arazilerinde orman yangını kontrolünde kullanılmak üzere kuraklığa dayanıklı ot germplazmasına duyulan ihtiyaç 2006 yılında, çok uluslu bitki keşif gezileriyle sonuçlanmıştır. Robbins ve ark., (2017), Kırgızistan ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin sert yarı kurak meralarından, batı ABD meralarında kullanım potansiyeli olabilecek sekiz adet ince yapraklı *Festuca rubra* L. ($2n=6x-8x$) örneği toplamışlardır. Morfolojik ve belirteç tabanlı genetik analizler, bu koleksiyonları dokuz adet ticari çeşit ve daha önce tanımlanmış dört adet yüksek performanslı Kırgızistan kökenli *F. valesiaca* subsp. *valesiaca* bitkisiyle ABD Büyük Havzası'nın yüksek çölünde karşılaştırmıştır. Başlangıçta, örnek morfolojisi 3 yıl boyunca Blue Creek (Utah)'da göreceli canlılık, yükseklik, genişlik, toplam biyokütle, kalıcılık ve tohum verimi açısından değerlendirildi. Daha sonra, *Festuca rubra* örneklerinin ve kontrollerinin bir alt kümesi 2 yıl boyunca üç lokasyonda ("Malta", "Blue Creek, Utah" ve "North Logan, Utah") değerlendirilmiştir. Her iki denemede de tüm örnekler yıllar ve lokasyonlar boyunca tüm özellikler açısından farklılık göstermiş ve Çin'den "PI 659984" en iyi performans gösteren *Festuca rubra* örneği olmuştur. İşaretleyici tabanlı genetik karşılaştırmalar, *Festuca rubra*'yı incelenen *Festuca valesiaca* örneklerinden ve *Festuca* örneklerinden farklılaştırmıştır. Ayrıca *Festuca rubra* örneklerini ploidi ve coğrafi kökene dayanarak da farklılaştırmıştır. İncelenen *Festuca rubra* örnekleri dik (25.5–76.4 cm boyunda), yaz aylarında yeşil kalan ve sert yarı kurak yetiştirme koşulları altında önemli tohum verimliliğine sahip rizomatöz olduğundan, batı ABD meralarının sürdürülebilirliğini ve orman yangını kontrolünü artırmak için bitki iyileştirme programlarına dahil edilme potansiyeline sahip bulunmuştur.



Şekil 3. Malta'da gözleme alınan *Festuca rubra*'nın "PI 659984" genotipi (Çin kökenli), zorlu batı ABD yarı kurak yetiştirme koşulları altında yeşil renk ve rizomları göstermektedir. (A: Ağustos-2012; B: Eylül-2012) (Az: 30 cm'lik bitki kazığına göre daha az rizom; Çok: 30 cm'lik bitki kazığına göre birçok rizom)

Kaynak: (Robbins ve ark., 2017).

Bandurska & Jozwiak, (2010), toprak kuraklığının *Festuca rubra* ve *Lolium perenne* yapraklarının su içeriği, prolin içeriği ve guaiacol (GuPX) ve askorbat (APX) peroksidaz aktivitesi ile lipid peroksidasyon seviyesi üzerindeki etkisini sera koşullarında toprak saksı kültüründe araştırmışlardır. 26 günlük otlar 18 gün boyunca sulama yapılmadan kuraklığa maruz bırakılmıştır. *Lolium perenne* yapraklarındaki su içeriği deneme süresince *Festuca rubra*'ya göre daha fazla azalmıştır. Öte yandan prolin içeriği *Festuca rubra*'da daha yüksek bulunmuştur. APX ve GuPX aktivitesi *Festuca rubra* yapraklarında artarken, *Lolium perenne*'de değişmemiştir. Veriler, stres kaynaklı lipid peroksidasyonunun olmaması ve dolayısıyla oksidatif hasara dair bir kanıt olmamasıyla gösterildiği gibi, her iki türün de uygulanan kuraklığa dayanabildiğini göstermiştir. Gözlemlenen kuraklık stresi toleransının hücresel

düzeyde prolin biriktirme ve APX ve GuPX'in yüksek aktivitesini sürdürme yeteneğiyle ilişkili olduğunu ve bunun oksidatif hasara ve lipid peroksidasyonuna karşı koruma sağladığını bildirmişlerdir. Bu mekanizmanın *Festuca rubra*'dan daha iyi çalıştığı görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Anonim(2025).https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/Uretici_Bilgi_Kosesi/Dokumanlar/misir.pdf (Erişim tarihi 19.09..2025)
- Aslam, M., Maqbool, M. A., & Cengiz, R. (2015). Drought stress in maize (*zea maysl.*) Effects, resistance mechanisms, global achievements and biological strategies for improvement. Cham: Springer.
- Bandurska, H., & Jozwiak, W. (2010). A comparison of the effects of drought on proline accumulation and peroxidases activity in leaves of *Festuca rubra* L. and *Lolium perenne* L. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 79(2), 111-116.
- Bertin, C., Senesac, A. F., Rossi, F. S., DiTommaso, A., & Weston, L. A. (2009). Evaluation of selected fine-leaf fescue cultivars for their turfgrass quality and weed suppressive ability in field settings. *HortTechnology*, 19(3): 660-668.
- Bruce, W. B., Edmeades, G. O., & Barker, T. C. (2002). Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *Journal of experimental botany*, 53(366), 13-25.
- Bruce, W. B., Edmeades, G. O., & Barker, T. C. (2002). Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *Journal of experimental botany*, 53(366), 13-25.
- Cai, F., Mi, N., Ji, R. P., Ming, H. Q., Xie, Y. B., Yu, W. Y., ... & GAO, L. L. (2017). Effects of continuous drought stress during key growth phases on photosynthetic characteristics of spring maize in Northeast China. *Chinese Journal of Ecology*, 36(6), 1578.
- Campos, H., Cooper, M., Habben, J. E., Edmeades, G. O., & Schussler, J. R. (2004). Improving drought tolerance in maize: a view from industry. *Field crops research*, 90(1), 19-34.
- Chakraborty, M., Ghosh, J., & Sah, R. P. (2012). Combining ability studies for yield and other traits in maize (*Zea mays* L.). *Plant Arch*, 12, 235-238.
- Cruz de Carvalho, R., Cunha, A., & Marques da Silva, J. (2011). Photosynthesis by six Portuguese maize cultivars during drought stress and recovery. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 359-374.
- Çakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops*

- Research*, 89(1), 1-16.
- Dirihan, S., Helander, M., Väre, H., Gundel, P. E., Garibaldi, L. A., Irisarri, J. G. N., ... & Saikkonen, K. (2016). Geographic variation in *Festuca rubra* L. ploidy levels and systemic fungal endophyte frequencies. *PLoS One*, 11(11), e0166264.
- Dradrach, A., Karczewska, A., & Szopka, K. (2020). Arsenic accumulation by red fescue (*Festuca rubra*) growing in mine affected soils-Findings from the field and greenhouse studies. *Chemosphere*, 248, 126045.
- Duvick, D. N., Smith, J. S. C., & Cooper, M. (2004). Long-term selection in a commercial hybrid maize breeding program. *Plant breeding reviews*, 24(2), 109-152.
- Ferreira, G., & Brown, A. N. (2016). Environmental factors affecting corn quality for silage production. *Advances in silage production and utilization*, 39-51.
- Ferreira, G., Behl, H. D., Hokanson, E., Thomason, W. E., & Teutsch, C. D. (2015). The interaction of drought stress and heat stress as determinant of dry matter yield and nutritional composition of maize (*Zea mays* L) whole-plant for silage.
- Gheysari, M., Pirnajmedin, F., Movahedrad, H., Majidi, M. M., & Zareian, M. J. (2021). Crop yield and irrigation water productivity of silage maize under two water stress strategies in semi-arid environment: Two different pot and field experiments. *Agricultural Water Management*, 255, 106999.
- He, Y. B., Lin, L. R., & Chen, J. Z. (2017). Maize root morphology responses to soil penetration resistance related to tillage and drought in a clayey soil. *The Journal of Agricultural Science*, 155(7), 1137-1149.
- Jing, L., Weng, B., Yan, D., Yuan, F., Zhang, S., Bi, W., & Yan, S. (2023). Assessment of resilience in maize suitable planting areas under drought stress. *Agricultural Water Management*, 277, 108096.
- Kadioglu, A., Terzi, R., Saruhan, N., & Saglam, A. (2012). Current advances in the investigation of leaf rolling caused by biotic and abiotic stress factors. *Plant Science*, 182, 42-48.
- Khalili, M., Naghavi, M. R., Aboughadareh, A. P., & Rad, H. N. (2013). Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L.).

- Kim, K. H., & Lee, B. M. (2023). Effects of climate change and drought tolerance on maize growth. *Plants*, 12(20), 3548.
- Kosova, V., Hájek, T., Hadincová, V., & Münzbergová, Z. (2022). The importance of ecophysiological traits in response of *Festuca rubra* to changing climate. *Physiologia Plantarum*, 174(1), e13608.
- Lauer, J. (2006). Concerns about drought as corn pollination begins. *Field Crop*, 28, 493-542.
- Leng, P., & Zhao, J. (2020). Transcription factors as molecular switches to regulate drought adaptation in maize. *Theoretical and Applied Genetics*, 133, 1455-1465.
- Li, C., Wang, R., Ning, H., & Luo, Q. (2018). Characteristics of meteorological drought pattern and risk analysis for maize production in Xinjiang, Northwest China. *Theoretical and Applied Climatology*, 133, 1269-1278.
- Li, Y. B., Wang, X., Zhu, Y. N., Li, D. X., & Gao, Y. (2020). Effects of stage drought and re-watering on photosynthesis, root shoot ratio and water use efficiency of summer maize (*Zea mays* L.). *Applied Ecology & Environmental Research*, 18(6).
- Liu, B., Zhang, B., Yang, Z., Liu, Y., Yang, S., Shi, Y., ... & Qin, F. (2021). Manipulating ZmEXPA4 expression ameliorates the drought-induced prolonged anthesis and silking interval in maize. *The Plant Cell*, 33(6), 2058-2071.
- Liu, S., & Qin, F. (2021). Genetic dissection of maize drought tolerance for trait improvement. *Molecular Breeding*, 41(2), 8.
- Lobell, D. B., Deines, J. M., & Tommaso, S. D. (2020). Changes in the drought sensitivity of US maize yields. *Nature Food*, 1(11), 729-735.
- Lu, Y., Hao, Z., Xie, C., Crossa, J., Araus, J. L., Gao, S., ... & Xu, Y. (2011). Large-scale screening for maize drought resistance using multiple selection criteria evaluated under water-stressed and well-watered environments. *Field Crops Research*, 124(1), 37-45.
- Messina, C. D., Podlich, D., Dong, Z., Samples, M., & Cooper, M. (2011). Yield-trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance. *Journal of experimental botany*, 62(3), 855-868.
- Miao ZhenYan, M. Z., Han ZhaoXue, H. Z., Zhang Ting, Z. T., Chen SiYuan,

- C. S., & Ma Chuang, M. C. (2017). A systems approach to a spatio-temporal understanding of the drought stress response in maize.
- Monneveux, P., Sanchez, C., & Tiessen, A. (2008). Future progress in drought tolerance in maize needs new secondary traits and cross combinations. *The Journal of Agricultural Science*, 146(3), 287-300.
- Münzbergova, Z., Hadincová, V., Skálová, H., & Vandvik, V. (2017). Genetic differentiation and plasticity interact along temperature and precipitation gradients to determine plant performance under climate change. *Journal of Ecology*, 105(5), 1358-1373.
- Nam, H. H., Seo, M. C., Cho, H. S., Lee, Y. H., & Seo, Y. J. (2017). Growth and yield responses of corn (*Zea mays* L.) as affected by growth period and irrigation intensity. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 50(6), 674-683.
- Nikolaeva, M. K., Maevskaya, S. N., & Voronin, P. Y. (2017). Photosynthetic CO₂/H₂O gas exchange and dynamics of carbohydrates content in maize leaves under drought. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64, 536-542.
- Oury, V., Tardieu, F., & Turc, O. (2016). Ovary apical abortion under water deficit is caused by changes in sequential development of ovaries and in silk growth rate in maize. *Plant Physiology*, 171(2), 986-996.
- Pandit, M., Chakraborty, M., Haider, Z. A., Pande, A., Sah, R. P., & Sourav, K. (2016). Genetic diversity assay of maize (*Zea mays* L.) inbreds based on morphometric traits and SSR markers. *African Journal of Agricultural Research*, 11(24), 2118-2128.
- Pandit, M., Chakravarty, M. K., Chakraborty, M., Tudu, V. K., Sah, R. P., & Narayan, S. C. (2017). Identification of maize genotypes for moisture stress tolerance. *International Journal of Basic and Applied Biology*, 4(2), 74-81.
- Qi, M., Liu, X., Li, Y., Song, H., Yin, Z., Zhang, F., ... & Zhou, G. (2021). Photosynthetic resistance and resilience under drought, flooding and rewatering in maize plants. *Photosynthesis Research*, 148, 1-15.
- Riboldi, L. B., Oliveira, R. F., & Angelocci, L. R. (2016). Leaf turgor pressure in maize plants under water stress. *Australian Journal of Crop Science*, 10(6), 878-886.
- Robbins, M. D., Staub, J. E., Bushman, B. S., Ma, Y., & Johnson, P. G. (2017).

- Assessment of Asian *Festuca rubra* germplasm for potential to improve rangeland sustainability in the western United States. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64, 2127-2144.
- Sah, R. P., Ahmed, S., Malaviya, D. R., & Saxena, P. (2016). Identification of consistence performing dual purpose maize (*Zea mays* L.) genotypes under semi-arid condition. *Range Management and Agroforestry*, 37(2), 162-166.
- Sah, R. P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V. K., Chakravarty, M. K., ... & Moharana, D. (2020). Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific reports*, 10(1), 2944.
- Saikkonen, K., Dirihan, S., Väre, H., Saloniemi, I., Cräutlein, M., Leinonen, P. H., & Helander, M. (2019). Phenotypic and genetic variation in natural populations of *Festuca rubra* s.l. in Europe. *Plant Ecology & Diversity*, 12(5), 441-456.
- Samiappan, S. C., Mahalakshmi, P., & Pandiyan, R. (2021). Impact of mycorrhizal soil fertility proteins and arbuscular mycorrhizal application to combat drought stress in maize plants. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 30(4), 906-917.
- Sandhu, S., Ranjan, R., & Sharda, R. (2023). Root plasticity: an effective selection technique for identification of drought tolerant maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *Scientific Reports*, 13(1), 5501.
- Shan, X., Li, Y., Jiang, Y., Jiang, Z., Hao, W., & Yuan, Y. (2013). Transcriptome profile analysis of maize seedlings in response to high-salinity, drought and cold stresses by deep sequencing. *Plant molecular biology reporter*, 31, 1485-1491.
- Sonawane, H., Arya, S., Bedi, A., & Jaiswar, A. (2022). Targeted genetic modification technologies: Potential benefits of their future use in Phytoremediation. In *Phytoremediation* (pp. 203-226). Academic Press.
- Song, K., Kim, K. H., Kim, H. C., Moon, J. C., Kim, J. Y., Baek, S. B., ... & Lee, B. M. (2015). Evaluation of drought tolerance in maize seedling using leaf rolling. *Korean Journal of Crop Science*, 60(1), 8-16.
- Song, Y., Birch, C. J., & Hanan, J. (2010). Maize canopy production under contrasted water regimes. *Annals of Applied Biology*, 157(1), 111-123.
- Stanisavljevic, R., Đokić, D., Milenković, J., Terzić, D., Stevović, V., Tomić, D., & Dodig, D. (2014). Drying of forage grass seed harvested at

- different maturity and its utility value in autumn and spring sowing time. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101(2), 169-176.
- Sun, C. X., Li, C. C., Zhang, C. Y., Hao, L. Y., Song, M., Liu, W., & Zhang, Y. L. (2018). Reflectance and biochemical responses of maize plants to drought and re-watering cycles. *Annals of Applied Biology*, 172(3), 332-345.
- Thatcher, S. R., Danilevskaya, O. N., Meng, X., Beatty, M., Zastrow-Hayes, G., Harris, C., ... & Li, B. (2016). Genome-wide analysis of alternative splicing during development and drought stress in maize. *Plant physiology*, 170(1), 586-599.
- Thielecke, D., Isselstein, J., & Komainda, M. (2024). Multi-species for multifunctional grassland: Evaluation of minor and novel forage species for temperate humid grasslands. *Annals of Applied Biology*, 185(1), 91-107.
- Thirunavukkarasu, N., Hossain, F., Arora, K., Sharma, R., Shiriga, K., Mittal, S., ... & Gupta, H. S. (2014). Functional mechanisms of drought tolerance in subtropical maize (*Zea mays* L.) identified using genome-wide association mapping. *Bmc Genomics*, 15, 1-12.
- Tollenaar, M., & Lee, E. A. (2006). Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. *Maydica*, 51(2), 399.
- Tripp, E. A., Zhang, N., Schneider, H., Huang, Y., Mueller, G. M., Hu, Z., ... & Bhattacharya, D. (2017). Reshaping Darwin's tree: impact of the symbiome. *Trends in ecology & evolution*, 32(8), 552-555.
- Ullah, N., Ditta, A., Imtiaz, M., Li, X., Jan, A. U., Mehmood, S., ... & Rizwan, M. (2021). Appraisal for organic amendments and plant growth-promoting rhizobacteria to enhance crop productivity under drought stress: A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(5), 783-802.
- Vazirimehr, M. R., Ganjali, H. R., Keshtehgar, A., & Rigi, K. (2014). Seed priming effect on the number of rows per ear, grain weight and economic yield corn in Sistan region.
- Vazquez-de-Aldana, B. R., García-Ciudad, A., Garcia-Criado, B., Vicente-Tavera, S., & Zabalgoeazcoa, I. (2013). Fungal endophyte (*Epichloë festucae*) alters the nutrient content of *Festuca rubra* regardless of water

- availability. *PloS one*, 8(12), e84539.
- Waititu, J. K., Zhang, X., Chen, T., Zhang, C., Zhao, Y., & Wang, H. (2021). Transcriptome analysis of tolerant and susceptible maize genotypes reveals novel insights about the molecular mechanisms underlying drought responses in leaves. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 6980.
- Wang, X., Wang, H., Liu, S., Ferjani, A., Li, J., Yan, J., ... & Qin, F. (2016). Genetic variation in ZmVPP1 contributes to drought tolerance in maize seedlings. *Nature genetics*, 48(10), 1233-1241.
- Wang, Y., Zhao, W., Zhang, Q., & Yao, Y. B. (2019). Characteristics of drought vulnerability for maize in the eastern part of Northwest China. *Scientific reports*, 9(1), 964.
- Webber, H., Ewert, F., Olesen, J. E., Müller, C., Fronzek, S., Ruane, A. C., ... & Wallach, D. (2018). Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. *Nature communications*, 9(1), 4249.
- Zalud, Z., Hlavinka, P., Prokeš, K., Semerádová, D., Jan, B., & Trnka, M. (2017). Impacts of water availability and drought on maize yield—A comparison of 16 indicators. *Agricultural Water Management*, 188, 126-135.
- Zheng, J., Fu, J., Gou, M., Huai, J., Liu, Y., Jian, M., ... & Wang, G. (2010). Genome-wide transcriptome analysis of two maize inbred lines under drought stress. *Plant molecular biology*, 72, 407-421.

BÖLÜM 6

Gine otu (*Panicum maximum*, syn: *Megathyrsus maximus*)

Thinopyrum intermedium

Çayır Kelp Kuyruğu (*Phleum pratense*)

Dr. Esra AKÇELİK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17492659>

¹ Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Çayır Mera ve Yem Bitkileri Koordinatörlüğü, Ankara, Türkiye. esra.akcelik@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0003-2471-7607

1. Gine otu (*Megathyrsus maximus*, syn: *Panicum maximum*)

Gine otu (*Megathyrsus maximus*), daha önce *Panicum maximum* ve *Urochloa maxima* olarak adlandırılmış olan, tropikal ve subtropikal Afrika'ya özgü bir yem otudur (Sarkar ve ark., 2018). *Megathyrsus maximus*, derin köklü bir C4 çok yıllık demetsi buğdaygildir. 0.2-2,9 m arasında değişen bir küme yarıçapına sahip dik kümeler halinde büyür. Yüksekliği, toprak nemi, besin ve gölge gibi diğer habitat koşullarına bağlıdır. Gövdeleri, alt boğumlardan büyüyen yaprak kınları ve boğum ve boğum aralarında beyaz mumlu çizgilere sahiptir (Moore, 2010). Gine otu, kısmen C4 fotosentez yolu nedeniyle yüksek büyüme oranlarına ve biyokütle üretimine sahiptir (Batistoti ve ark., 2012).

Gine otu, mera, kes-taşı, silaj ve saman için uygun bir yem bitkisidir. “Kes-taşı” sisteminin en uygun sistem olduğu bildirilmiştir, ancak silaj ve saman olarak da kullanılabilir. Uzun vadeli olarak merada gine otu, 35 cm'nin altında otlatılırsa iyi yönetilebilir (Adeyemi ve Soetan, 2018). Silaj ve saman yönetimi ile ilgili olarak, en iyi kesim 60 ila 90 cm arasında olmalıdır, ancak daha kabul edilebilir bir kalite için 1.5 m'ye kadar boylandırılıp kesilebilir. En yüksek kalitedeki silaj, kesimin çiçeklenme öncesi veya çiçeklenme sırasında yapılması durumunda elde edilmektedir. Üç yapraklı aşamada ve 25 cm bitki boyunda gerçekleştirilen biçim, maksimum materyal verimi ile birlikte kabul edilebilir bir yaprak/gövde oranı sağlamaktadır (Silveira ve ark., 2010). 150-200 kg/ha azotla gübrelenen gine otunun verimi yılda 18-21 t/ha civarındadır (Fernandes ve ark., 2014).

Megathyrsus maximus, saman ve silaj üretimi için Asya, Avrupa, Kuzey Amerika ve Güney Amerika'ya götürülmüştür. Getirildiği bölgelerde, ekili olduğu meralardan yayılarak, bozulmuş alanları, yol kenarlarını, bakımsız bölgeleri ve otlatma meralarını kaygı verici düzeylerde istila etmiştir. *Megathyrsus maximus*, Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan, Avustralya ve Brezilya dahil olmak üzere tropikal bölgelerde ve sıcak ılıman bölgelerde istilacı bir tür haline gelmiştir (Sarkar ve ark., 2018).

Çok biçimli yapısı, kolay çoğaltılması, hızlı büyümesi, iyi verimi, düşük girdi gereksinimi ve farklı tarımsal iklim koşullarına geniş adaptasyon kabiliyeti nedeniyle bu ot, biyoetanol üretimi için sürdürülebilir ve ekonomik bir alternatif durumundadır (Tiwari ve ark., 2018).

Kök sistemi yoğun ve lifli bir yapıya sahip olup, yüzeye yakın geniş kök tüyleri bulundurmakta; bununla birlikte, 4.5 metre derinliğe kadar uzanarak

büyümeye devam etmektedir (Sumiyoshi, 2012). 1 metre derinliğe kadar büyüeyebilen yoğun rizomlar ve kökler, *Megathyrsus maximus*'un kuraklık koşullarına karşı direnç göstermesini sağlamaktadır (Aganga ve Tshwenyane, 2004). Ayrıca, *Megathyrsus maximus* tohumlarının çimlenme oranının nispeten düşük olduğu bildirilmiştir (Mishra ve ark., 2008). Bununla birlikte, tohum canlılığının, %10 neme kadar kademeli kurutma işlemi uygulandığında %80'in çok üzerine çıkabildiği belirtilmektedir (Muir ve Jank, 2004).

Doğal yaşam alanı olan subtropikal Güney Afrika olan *Megathyrsus maximus*, baklagiller familyasından bir bitki olan mesquite ağaçlarının altında büyümeye adapte olmuştur. Gölge koşullar altında, *Megathyrsus maximus*'un dokusunda daha yüksek bir azot konsantrasyonuna sahip olduğu bildirilmiştir (Paciullo ve ark., 2017). Yüksek sıcaklıklarda yetiştirilen *Megathyrsus maximus*'un ayrıca mikorizal mantarlarla güçlü bir ilişkiye sahip olduğu ve daha yüksek fosfor alımına yol açtığı bildirilmiştir (Rezacova ve ark., 2018). *Megathyrsus maximus* genellikle kuraklığa dayanıklı bir tür olarak bildirilmektedir. Ancak, toprak neminin bu bitkinin büyümesi için en önemli sınırlayıcı faktör olduğu bildirilmektedir. Yıllık toplam yağışın 87-100 cm olduğu alanlarda iyi büyür ve daha kuru topraklarda orta derecede büyür. Düşük toprak nemi koşullarında, yaprak biyokütlesi üretimi önemli ölçüde azalır (Viciedo ve ark., 2019).

Megathyrsus maximus, yüksek protein içeriği ile otlatma ve çevresel streslere karşı yüksek toleransı sayesinde, küresel çapta geniş adaptasyon kapasitesine sahip bir yem türü olarak tanıtılmıştır (Habermann ve ark., 2019). *Megathyrsus maximus*, en verimli yem bitkilerinden biri olarak değerlendirilmekte ve sığırlar için oldukça lezzetli olması nedeniyle çiftçiler tarafından yaygın bir şekilde ekilmektedir. Kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduğu bildirilmekle birlikte, toprak üstü biyokütlesinin artışının toprak nem seviyeleri tarafından sınırlandırıldığına dair kanıtlar bulunmaktadır (Viciedo ve ark., 2019). Artan sıcaklıklar ve kuraklık koşullarının, *Megathyrsus maximus*'un kurak ve yarı kurak bölgelerdeki doğal alanlardaki yayılımını azaltabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, kurak ve subtropikal bölgelerde habitat uygunluğunun azalması ve türün kuzeye doğru yayılma olasılığı üzerinde durulmaktadır. Bununla birlikte, toprak azotu açısından zengin olan sulu tarım alanlarının, yerel, subtropikal ve sıcak iklim bölgelerinde Gine otu istilasına

karşı risk taşıdığı ifade edilmektedir (Kariyawasam ve ark., 2021).



Şekil 1. *Megathyrsus maximum* cv. Tanzania.

Kaynak: Oliveira Filho, 2007

Borjas-Ventura ve ark., (2019) *Megathyrsus maximum* cv. Mombaça'nın antioksidan tepkisini incelemiştir. Isı (ortam sıcaklığının +2°C fazlası) (eT), su açığı (wS) ve eT+ wS kombinasyonuna maruz bırakılan Mombaça arazi koşullarında analiz edilmiştir. Isı tüm büyüme periyodu boyunca uygulanmıştır. Veriler, su stresi uygulamalarının başlamasından 13, 19 ve 37 gün sonra ve iki örneklem zamanında (6:00 ve 12:00 h) toplanmıştır. wS uygulamasında klorofilde önemli bir azalma gözlenmiştir, ancak eT+ wS'de özellikle 19 gün sonra toplam klorofilde bir artış ortaya çıkmıştır. Üçüncü örneklemenin öğle vakti wS uygulamasında H₂O₂ içeriğinde, malondialdehitte ve protein oksidasyonunda önemli bir artış saptanmıştır. Kombine wS+eT stres uygulamasında, enzimatik antioksidan sisteminin aktivitesi, özellikle süperoksit dismutaz (SOD) ve askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi artmıştır. Klorofil floresan görüntüleri, fotokimyasal performansın uygulamasından önemli ölçüde etkilenmediğini göstermiştir. Sonuç olarak, simüle edilmiş

ısınma ve su stresi koşulları altında, *Megathyrsus maximus*'un fotosistem II (PSII) aktivitesi, özellikle APX ve SOD enzimlerinin aktivitesinde, orta düzeydeki ısınmaya ve nispeten olumlu bir antioksidan tepkiyle ilişkilendirilen su stresi ortamına uyum sağlamıştır.

Gine otunun yetiştirilmeye başlandığı Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgeleri, Sahra gibi kurak ve yarı kurak iklim özelliklerine sahiptir. Bu bölgelerin tarımsal ekosistemleri, vaha tarımı ve sulanan meralardan oluşmaktadır. Kuzey Afrika'daki vaha tarımı, küçük ölçekli olması, yüksek yönetim maliyetleri, su açığı ve yüksek tuzluluk seviyeleri nedeniyle sürekli bir tehdit altındadır. Son on yılda, yem bitkisi olarak Gine otu bu tarımsal ekosistemlere tanıtılmış ve hem vaha içinde hem de dışında yetiştirilmiştir. 2018 yılında, Tunus'ta çiftçilere tanıtılarak farklı kıta ve kıyı vahalarına dağıtılmış; Libya, Mısır, Cezayir ve Fas'ta da yaygınlaştırılmıştır. Kuzey Afrika ülkelerindeki topluluklar, yoğun su stresi altında yaşamaktadır ve yeraltı suyu (derinlik > 500 m) çoğu için tek su kaynağını oluşturmaktadır (Hamed ve ark., 2017). *Megathyrsus maximus*, su stresi altındaki bölgelerde meraların sürdürülebilirliğini artırabilecek etkili bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Oliveira ve ark., 2022).

Su stresinin Gine otu üzerindeki etkisini göz önünde bulundurarak, birkaç çalışma su eksikliğinde yaprak uzaması, biyokütle üretimi, büyüme, yem kalitesi ve antioksidan tepkileri ve diğer özellikler üzerine odaklanmıştır. Su stresi, biyokütle üretimini *Megathyrsus maximum*'ta maksimum %16'ya kadar etkilemiştir (Viciedo ve ark., 2019). Su eksikliği ayrıca Gine otunun (cv. Mombaça) mevsimsel üretimini de azaltmaktadır (Souza ve ark., 2005). Gelişimi için gerekli kritik değerler ve yıllık üretim üzerinde su mevcudiyetinin etkisi hakkında sınırlı bilgi bulunmaktadır (Araujo ve ark., 2018). Gine otu, genellikle 900 mm'den fazla yıllık yağış alan tropikal ve subtropikal bölgelerde, çok çeşitli topraklarda veya sulanan alanlarda yetiştirilmektedir. Diğer yem bitkileri gibi mevsimsellikten etkilenmektedir ve sulama uygulandığında ilkbahar ve yaz aylarında yüksek üretim kapasitesine ulaşabilmektedir (de Jesus ve ark., 2021). Kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımı sürdürülebilir kılmak amacıyla yapılan bir çalışmada, Gine otunun kuraklığa dayanıklılık antioksidan sisteminin, *Bacillus* suşlarının makro-polimerik aşılayıcıları ile aşılınması yoluyla uyarılabileceği gösterilmiştir (Mendoza-Labrador ve ark., 2019).

Oliveira ve ark., (2022) bir serada farklı seviyelerde sulanan toprakta

Megathyrsus maximus genotiplerini değerlendirdikleri bir çalışma yürütmüşlerdir. Gine otunun beş genotipi (B55, C10 ve PM30, cv. Massai ve cv. BRS Tamani) ve beş seviyede toprak tarla kapasitesini (%20, %40, %60, %100 ve %140) test etmişlerdir. Genotipler arasında kardeşlenme sayısı, ölü materyal kuru kütlesi, kök ve toplam kuru kütlesi ile yaprak/gövde oranı açısından önemli farklılıklar tespit etmişlerdir. Yaprak/gövde ve toprak üstü/kök oranları üzerinde tarla kapasitesi yüzdesinin önemli bir etkisi olmuştur. Değerlendirilen tarla kapasitesi yüzdesinden bağımsız olarak, Massai çeşidi diğer genotiplere kıyasla en iyi yem üretimini göstermiştir.

Su stresi arttığında, Gine otunun çeşitli morfolojik ve fizyolojik özelliklerinde (örneğin, yaprak boyutu ve stoma iletkenliği) bir varyasyon görülmüştür (Silva Jr ve ark., 2018). Bir fizyolojik direnç mekanizması olarak, Gine otu, terleme oranını azaltmak için yaprak stoma direncini artırmıştır (Santiago-Hernandez ve ark., 2016).

2. *Thinopyrum intermedium*

Poaceae otları ekolojik olarak baskındır ve dünyadaki ekonomik olarak en önemli familyadır (Sanchez-Moreiras ve ark., 2003). Çok yıllık türlerin her yıl yeniden ekilmesine gerek yoktur. Bu da bol yağış alan bölgelere ekildiğinde, gübre ve toprak işleme kullanımının azalması ve sulama gereksiniminin olmaması nedeniyle yıllık ürünlere göre birçok avantaj sağlamaktadır (Crews ve ark., 2016). *Tinopyrum intermedium*, Gramineae familyasına ait serin mevsim, rizomatöz, çok yıllık bir ottur. Genellikle bitki 1-1,5 m yüksekliğe ulaşır (Pugliese, 2017). Buğdayın yabani akraba türlerinden biri olan *Tinopyrum intermedium* ($2n=6x=42$), Akdeniz ve Doğu Avrupa'da doğal olarak dağılmış çok yıllık bir yem bitkisidir. *Tinopyrum intermedium*, kuzey Amerika'da ise Büyük Ovalar ve Batı bölgelerindeki hayvanlar için mükemmel yem sağlayan, geniş çapta adapte olmuş, yüksek verimli, serin mevsim yem bitkisidir (Hendrickson ve ark., 2005). *Thinopyrum intermedium*, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki çeşitli ortamlarda hayatta kalabildiği gösterilen serin mevsim yem bitkisidir. Nemli ancak iyi drene edilmiş topraklarda verimli olduğu belirlenen *Megathyrsus maximus*, aynı zamanda kuraklığa, ara sıra meydana gelen su taşkınlarına ve zayıf toprak koşullarına karşı dayanıklıdır ve yabani ot ya da istilacı bir tür haline gelmez (James, 2013). Verimliliği ve dayanıklılığı, kök büyümesindeki olağanüstü kapasitesine atfedilmektedir

(DeHaan, 2005).

Bu bitki, tarımsal özelliklerine ve ürettiği tohumun besleyici ve oldukça lezzetli bir tahıl olması nedeniyle “çok yıllık bir tahıl” olarak kültüre alınmaya uygun bir adaydır (Culman ve ark., 2013). *Thinopyrum intermedium*, çizgili pas (sarı pas), kahverengi pas, gövde pası, arpa sarı cücelik virüsü, külleme gibi zararlılar ve hastalıklara karşı direnç genleri açısından değerli bir kaynak olmasının yanı sıra, kışa ve kuraklığa dayanıklı, tuzluluğa toleranslı bir bitkidir (Rahardjo ve ark., 2018). Bu bitkinin geniş, çok yıllık kök sistemi, tek yıllık buğdayın kök sisteminden iki kat daha derindir (DeHaan ve ark., 2020). Değerli özellikleri ve çeşitli *Triticum* türleriyle kolayca çaprazlanabilirliği nedeniyle, *Thinopyrum intermedium*, dona, kuraklığa, çeşitli hastalık ve zararlılara karşı hassas olan tek yıllık buğdayın geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bitki kullanılarak birçok yumuşak buğday çeşidi ıslah edilmiş olup (Rahardjo ve ark., 2018), *Thinopyrum intermedium* çeşidi olan Kernza, fırıncılık ve şekerleme ürünlerinde halihazırda kullanılmaktadır (Dick ve ark., 2018).

Kernza ikili kullanımlı üretimde nispeten yeni bir ürün olduğundan, çalışmalar yem verimi (Liebig ve ark., 2008), tane verimi (Lee ve ark., 2009), tane kalitesi (Zhang ve ark., 2015) ve yem kalitesine (Karn ve ark., 2006) odaklanmıştır.

Saha gözlemleri, Kernza'daki evapotranspirasyonun yaklaşık %80'inin büyüme mevsimi sırasında gerçekleştiğini göstermiştir (de Oliveira ve ark., 2018). Kernza'nın en yüksek evapotranspirasyon değerleri üreme aşamasında, genellikle erken büyüme mevsiminde meydana gelmektedir. Evapotranspirasyon oranları hasattan sonra azalma eğilimindedir. Tahminler, vejetatif durumda yaklaşık %30'luk bir evapotranspirasyon azalması göstermektedir (de Oliveira ve ark., 2020).



Şekil 2. Omsk Oblastı'nda (Sibirya, Rusya) 2020 yılında yapılan bir çalışmanın ikinci yılında *Thinopyrum intermedium*'un 'Sova' çeşidi.

Kaynak: Pototskaya ve ark., 2022

Thinopyrum intermedium, mısır ve buğday gibi tek yıllık bitkilerle karşılaştırıldığında daha yüksek buharlaşma değerine sahip olma eğilimindedir (Abraha ve ark., 2015). Çok yıllıkların tek yıllıklara göre daha yüksek buharlaşma oranları, büyük olasılıkla terleme yapan daha büyük biyokütleleriyle ve muhtemelen yağış boşluklarına karşı tampon görevi gören daha derin su depolarına erişimleriyle açıklanmaktadır. Derin kökler nedeniyle, çok yıllık bitkiler daha derin toprak katmanlarından su çekme yeteneğine sahiptir, böylece yağışlı geçmiş dönemlerde depolanan suya da erişebilmektedirler. Daha derin su depolarına erişim, aralıklı yağışlar durumunda avantaj sağlayarak dane verimini artırmakta ve sabitlemektedir; bu durum, bölge ve toprak koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Vico ve Brunsell, 2018). Ayrıca, *Thinopyrum intermedium*'un, kısmi sezon sulama eksikliklerine diğer çok yıllık bitkilerden daha iyi tolerans gösterdiği ve büyüme mevsimi boyunca nispeten yüksek bir su kullanım verimliliğini koruduğu belirlenmiştir (Orloff ve ark., 2016; Culman ve ark., 2013).

3. Çayır Kelp Kuyruğu (*Phleum pratense*)

Çayır kelp kuyruğu (*Phleum pratense*), Kuzey Amerika ve Avrupa'nın serin ve nemli bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilen Poaceae familyasından

çok yıllık bir yem bitkisidir. Doğu Kanada'daki en önemli yem bitkisi türüdür ve çoğunlukla kuru ot veya silaj üretimi için kullanılır. Çayır kelp kuyruğu, iyi lezzetlilik, serin ve nemli koşullarda yüksek verim ve yüksek kış dayanımı gibi birçok önemli tarımsal özelliğe sahiptir; bu da onu soğuk kışların görüldüğü bölgeler için ideal bir bitki haline getirmektedir (Belanger ve ark., 2006). Ancak, sığ ve lifli kök sistemine sahip olması, bitkinin kuru ve/veya sıcak koşullara adaptasyonunu sınırlamaktadır. Bu nedenle, Çayır kelp kuyruğu, yaz aylarında genellikle zayıf bir yeniden büyüme gösterir ve yıllık veriminin yaklaşık %60'ı ilk kesimde elde edilir (Lemeziene ve ark., 2004).

Phleum pratense, İskandinav ülkelerinde saman ve mera otu karışımlarında en yaygın kullanılan yem bitkilerinden biridir; ayrıca, özellikle boreal iklimlerde, yüksek verimle hasat edilen en iyi yem bitkilerinden biri olduğu bölgelerde de kullanılmaktadır (Issa, 2022). *Phleum pratense*, açık bir çim üreten demet tipi bir bitkidir. Serin ve nemli topraklara iyi şekilde uyum sağlamaktadır. Ekim yılında çevre koşullarına bağlı olarak kardeş üreten veya üretmeyen bir sürgün oluşturmaktadır. İkinci yılın ilkbaharında, *Phleum pratense*'de boğum araları uzar ve tohum başakları oluşur. Bu dönemde, alt boğumlar genişlemiş bir besin depolama organı olan yumruları oluşturur. Bu yumrular, sonraki kardeş sürgünlerin oluşumu için enerji sağlar. İkincil sürgünler geliştikçe, birincil sürgündeki yumrular bozulur ve ikincil yumrular oluşur. Ancak, çok az sayıda yumru kışı geçirir ve bitkinin tabanındaki tomurcuklardan yeni ilkbahar büyümeleri gelişir. Diğer serin mevsim otlarının aksine, *Phleum pratense* yaz boyunca çiçek açar ve tohum başakları üretir. Ancak sap uzaması sırasında, olatmaya karşı diğer türlerin çoğundan daha hassastır.

Phleum pratense, mükemmel bir kış dayanıklılığına sahiptir; ancak kuraklık ve sıcaklık stresine karşı toleransı düşüktür ve olatma koşullarında kalıcı değildir. Bitki, serin ve nemli koşullarda iyi bir şekilde büyürken, sıcaklık ve kuraklık stresleri altında stand üretimi ve kalıcılığı ciddi ölçüde azalır. Sığ kök sistemine sahip olması nedeniyle kumlu topraklar için uygun bir seçenek değildir (Casler ve ark., 2025). Çayır kelp kuyruğunun yeniden büyümesi, kuru ve sıcak koşullar altında engellenmektedir. Bununla birlikte, *Phleum pratense*'de daha derin kök büyümesi, ısı ve kuraklık stresine tolerans göstermek için potansiyel bir adaptasyon stratejisi olarak değerlendirilmektedir.

ve yeni germplazma taramaları sırasında bu özellik dikkate alınmalıdır (Claessens ve ark., 2019).



Şekil 3. İlk hasattan önce bir *Phleum pratense* tarlası.

Kaynak: Issa, 2022

Okamoto ve ark. (2011) tarafından yürütülen çalışmada, toprak nem açığının ve sonrasında yapılan sulamanın *Bromus inermis*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* ve *Phleum pratense*'nin ısı stresi içermeyen koşullardaki büyümesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Saksılarda yetiştirilen bitkiler, 10.3–20.2°C sıcaklık aralığında 38 gün boyunca kuru veya kontrol toprak koşullarına (toprak sırasıyla 30 ve 80 g/kg su içeriği ile sulanmıştır) maruz bırakılmış; ardından 27 gün boyunca kontrol toprak koşullarında toparlanma aşaması geçirmiştir.

Dactylis glomerata, kuraklık uygulaması sırasında büyüme ve fizyolojik özelliklerde (fotosentez ve terleme) en büyük düşüşle birlikte görel su içeriğini korumuş ve bu durum, bitkinin kuraklığa uyum mekanizması olarak nispeten yüksek bir susuzluğu erteleme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, *Bromus inermis*, görel su içeriğindeki azalmaya rağmen kuraklık uygulaması sırasında büyüme düşüşü en az olan bitki olarak öne çıkmış ve nispeten yüksek bir susuzluğa tolerans kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kuraklık uygulaması süresince, *Lolium perenne* ve *Phleum*

pratense, *Dactylis glomerata*'dakine kıyasla daha hafif büyüme depresyonu göstermiştir. Bununla birlikte, *Phleum pratense*'in büyümesi, toparlanma aşaması sırasında kontrol grubuna göre önemli ölçüde baskılanmış olarak kalmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, *Phleum pratense*'in nispeten düşük bir dehidratasyon iyileşme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, deneme *Lolium perenne*'in, *Phleum pratense* ve *Dactylis glomerata*'ya kıyasla daha yüksek genel kuraklık toleransına sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Gagne-Bourque ve ark. (2016), bakteriyel endofit *Bacillus subtilis* suşu B26'nın aşılmasının, kuraklık stresine maruz bırakılan *Phleum pratense*'nin büyümesi, su durumu, fotosentetik aktivitesi ve metabolizması üzerindeki etkisini kontrollü koşullar altında incelemişlerdir. Hem kuraklık stresi hem de stressiz koşullarda, B26 suşu Çayır kelp kuyruğunun dokularını başarıyla kolonize etmiş ve bitki büyümesi üzerinde olumlu etkiler göstermiştir. Aşılınmış bitkilerin 8 haftalık kuraklık stresine maruz kalması, benzer koşullarda yetiştirilen aşılınmamış bitkilere kıyasla sürgün ve kök biyokütlesinde sırasıyla %26.6 ve %63.8; fotosentez ve stoma iletkenliğinde ise sırasıyla %55.2 ve %214.9 oranında artışlara yol açmıştır. Endofitin bitki metabolizması üzerindeki etkileri, sürgünler ve köklerde özellikle sakaroz ve fruktanlar gibi şekerlerin ve asparajin, glutamik asit ve glutamin gibi temel amino asitlerin daha yüksek seviyelerde bulunması şeklinde gözlemlenmiştir. Stres altında kalan sürgünlerde ve köklerde, protein olmayan amino asit GABA birikiminin endofit varlığında arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, *Bacillus subtilis* B26'nın, kökler ve sürgünlerde ozmolit birikiminin modifikasyonu yoluyla kuraklık stresi altındaki *Phleum pratense*'nin büyümesini iyileştirdiğini göstermektedir.

Signarbieux ve Feller (2011), İsviçre ovalarında yükseklik ve yönetim açısından farklılık gösteren üç lokasyonda yürüttükleri kuraklık deneyinde, ilkbahar ve yaz aylarında doğal yağışı engelleyerek yapay bir kuraklık oluşturmak için yağmur barınakları kullanmışlardır. Çayırların temsili tepkisini değerlendirmek amacıyla fizyolojik ölçümler için her lokasyonda en bol bulunan türlerden bazılarını seçmişlerdir: Chamau lokasyonunda *Phleum pratense* (buğdaygil) ve *Trifolium repens* (baklagil); Früebüel lokasyonunda *Phleum pratense* ve *Rumex obtusifolius* (yabani ot); Alp Weissenstein lokasyonunda *Alopecurus pratensis* (buğdaygil) ve *Rumex alpinus* (yabani ot). Aynı çayır parselinde bulunan türler arasında yapay kuraklığın stoma dışı

sınırlamalar üzerindeki etkisi farklılıklar göstermiştir. Fotosentetik elektron taşınmasının bozulmamışlığının bir göstergesi olan fotosistem II'nin (Fv/Fm) maksimum verimliliği, kuraklık koşullarında yalnızca küçük farklılıklar göstermiştir. Buna karşılık, Rubisco'nun karboksilasyon hızı (V_c , max) için daha belirgin etkiler gözlemlenmiştir. *Phleum pratense*'deki V_c , max, kuraklık koşullarında kontrol bitkilerine göre yaklaşık %20 oranında daha düşük olmuş, aynı parseldeki diğer türler ise bu durumdan çok az etkilenmiştir. Rubisco'nun karboksilasyon hızının su eksikliğine karşı yüksek hassasiyet göstermesi nedeniyle, çayırların performansını değerlendirmek için farklı türlerin kuraklık tepkisinin ele alınabileceği bir araç olabileceği sonucuna varmışlardır.

KAYNAKÇA

- Abraha, M., Chen, J., Chu, H., Zenone, T., John, R., Su, Y. J., ...& Robertson, G. P. (2015). Evapotranspiration of annual and perennial biofuel crops in a variable climate. *Gcb Bioenergy*, 7(6), 1344-1356.
- Adeyemi, I. G., & Soetan, K. O. (2018). Preliminary Investigation of Some Serum Biochemical Parameters of Confined Nigerian Cattle Breeds in Ibadan, South-West Nigeria Fed with Some Conventional and Non-Conventional Feedstuffs. *Food Sci. Qual. Manag*, 77, 59-65.
- Aganga, A. A., & Tshwenyane, S. (2004). Potentials of guinea grass (*Panicum maximum*) as forage crop in livestock production. *Pakistan Journal of Nutrition* 3 (1): 1-4.
- Araujo, L. C. D., Santos, P. M., Rodriguez, D., & Pezzopane, J. R. M. (2018). Key factors that influence for seasonal production of Guinea grass. *Scientia Agricola*, 75, 191-196.
- Batistoti, C., Lempp, B., Jank, L., Morais, M. D. G., Cubas, A. C., Gomes, R. A., & Ferreira, M. V. B. (2012). Correlations among anatomical, morphological, chemical and agronomic characteristics of leaf blades in *Panicum maximum* genotypes. *Animal Feed Science and Technology*, 171(2-4), 173-180.
- Belanger, G., Castonguay, Y., Bertrand, A., Dhont, C., Rochette, P., Couture, L., ... & Michaud, R. (2006). Winter damage to perennial forage crops in eastern Canada: Causes, mitigation, and prediction. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(1), 33-47.
- Borjas-Ventura, R., Alves, L. R., de Oliveira, R., Martinez, C. A., & Gratao, P. L. (2019). Impacts of warming and water deficit on antioxidant responses in *Panicum maximum* Jacq. *Physiologia plantarum*, 165(2), 413-426.
- Burns, J. C., Chamblee, D. S., & Giesbrecht, F. G. (2002). Defoliation intensity effects on season-long dry matter distribution and nutritive value of tall fescue. *Crop Science*, 42(4), 1274-1284.
- Casler, M. D., Undersander, D. J., & Sharpe, P. (2025). Identification of temperate pasture grasses and legumes. In *Horse Pasture Management* (pp. 11-36). Academic Press.
- Claessens, A., Bertrand, A., Rocher, S., Langevin, F., Tremblay, G. F., & Charbonneau, E. (2019). Breeding timothy (*Phleum pratense* L.) in the

- context of climate change. *Grassland Science in Europe*, Vol. 24. p. 426.
- Crews, T. E., Blesh, J., Culman, S. W., Hayes, R. C., Jensen, E. S., Mack, M. C., ... & Schipanski, M. E. (2016). Going where no grains have gone before: From early to mid-succession. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 223, 223-238.
- Culman, S. W., Snapp, S. S., Ollenburger, M., Basso, B., & DeHaan, L. R. (2013). Soil and water quality rapidly responds to the perennial grain Kernza wheatgrass. *Agronomy Journal*, 105(3), 735-744.
- de Jesus, F. L. F., Sanches, A. C., de Souza, D. P., Mendonça, F. C., Gomes, E. P., Santos, R. C., ... & da Silva, J. L. B. (2021). Seasonality of biomass production of irrigated Mombaça ‘Guinea grass’. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 71(3), 156-164.
- De Oliveira, G., Brunsell, N. A., Crews, T. E., DeHaan, L. R., & Vico, G. (2020). Carbon and water relations in perennial Kernza (*Thinopyrum intermedium*): An overview. *Plant Science*, 295, 110279.
- de Oliveira, G., Brunsell, N. A., Sutherlin, C. E., Crews, T. E., & DeHaan, L. R. (2018). Energy, water and carbon exchange over a perennial Kernza wheatgrass crop. *Agricultural and Forest Meteorology*, 249, 120-137.
- DeHaan, L. R., Van Tassel, D. L., & Cox, T. S. (2005). Perennial grain crops: A synthesis of ecology and plant breeding. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20(1), 5-14.
- DeHaan, L., Larson, S., López-Marqués, R. L., Wenkel, S., Gao, C., & Palmgren, M. (2020). Roadmap for accelerated domestication of an emerging perennial grain crop. *Trends in Plant Science*, 25(6), 525-537.
- Dick, C., Cattani, D., & Entz, M. H. (2018). Kernza intermediate wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*) grain production as influenced by legume intercropping and residue management. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(6), 1376-1379.
- Ebrahimiyan, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A., & Gheysari, M. (2012). Drought-tolerance indices in a tall fescue population and its polycross progenies. *Crop and Pasture Science*, 63(4), 360-369.
- Ebrahimiyan, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A., & Noroozi, A. (2013). Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. *Euphytica*, 190, 401-414.
- Fernandes, F. D., Ramos, A. K. B., Jank, L., Carvalho, M. A., Martha Jr, G. B.,

- & Braga, G. J. (2014). Forage yield and nutritive value of *Panicum maximum* genotypes in the Brazilian savannah. *Scientia Agricola*, 71, 23-29.
- Gagne-Bourque, F., Bertrand, A., Claessens, A., Aliferis, K. A., & Jabaji, S. (2016). Alleviation of drought stress and metabolic changes in timothy (*Phleum pratense* L.) colonized with *Bacillus subtilis* B26. *Frontiers in plant science*, 7, 584.
- Gazanchian, A., Khosh Kholgh Sima, N. A., Malboobi, M. A., & Majidi Heravan, E. (2006). Relationships between emergence and soil water content for perennial cool-season grasses native to Iran. *Crop Science*, 46(2), 544-553.
- Habermann, E., San Martin, J. A. B., Contin, D. R., Bossan, V. P., Barboza, A., Braga, M. R., ... & Martinez, C. A. (2019). Increasing atmospheric CO₂ and canopy temperature induces anatomical and physiological changes in leaves of the C₄ forage species *Panicum maximum*. *PloS one*, 14(2), e0212506.
- Hamed, Y., Hadji, R., Redhaounia, B., Zighmi, K., Bâali, F., & El Gayar, A. (2018). Climate impact on surface and groundwater in North Africa: a global synthesis of findings and recommendations. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 3(1), 25.
- Hamilton, S. A., Kallenbach, R. L., Bishop-Hurley, G. J., & Roberts, C. A. (2013). Stubble height management changes the productivity of perennial ryegrass and tall fescue pastures. *Agronomy Journal*, 105(3), 557-562.
- Hannaway, D. B., Daly, C., Halbleib, M. D., James, D., West, C. P., Volenec, J. J., ... & Johnson, S. (2009). Development of suitability maps with examples for the United States and China. *Tall fescue for the twenty-first century*, 53, 31-47.
- Hendrickson, J. R., Berdahl, J. D., Liebig, M. A., & Karn, J. F. (2005). Tiller persistence of eight intermediate wheatgrass entries grazed at three morphological stages. *Agronomy Journal*, 97(5), 1390-1395.
- Hopkins, A. A., Saha, M. C., & Wang, Z. Y. (2009). Breeding, genetics, and cultivars. *Tall fescue for the twenty-first century*, 53, 337-366.
- Huang, B., & Gao, H. (2000). Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop science*, 40(1), 196-

203.

- Issa, I. (2022). Multi-environment Screening of Timothy (*Phleum pratense*) Breeding Material for Better Forage Yield in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Plant Breeding. Thesis.
- James, E. C. (2013). The Effects of Genotypic and Environmental Differences on Germination and Seed Yield in *Thinopyrum intermedium*. *Cantaurus*, 21, 16-21.
- Kariyawasam, C. S., Kumar, L., & Ratnayake, S. S. (2021). Potential risks of invasive alien plant species on agriculture under climate change scenarios in Sri Lanka. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, 100051.
- Karn, J. F., Berdahl, J. D., & Frank, A. B. (2006). Nutritive quality of four perennial grasses as affected by species, cultivar, maturity, and plant tissue. *Agronomy journal*, 98(6), 1400-1409.
- Lee, D., Owens, V. N., Boe, A., & KOO, B. C. (2009). Biomass and seed yields of big bluestem, switchgrass, and intermediate wheatgrass in response to manure and harvest timing at two topographic positions. *Gcb Bioenergy*, 1(2), 171-179.
- Lemeziene, N., Kanapeckas, J., Tarakanovas, P., & Nekrošas, S. (2004). Analysis of dry matter yield structure of forage grasses. *Plant soil environment*, 50(6), 277-282.
- Liebig, M. A., Hendrickson, J. R., Berdahl, J. D., & Karn, J. F. (2008). Soil resistance under grazed intermediate wheatgrass. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(5), 833-836.
- Mendoza-Labrador, J., Romero-Perdomo, F., Hernández, J. P., Uribe, D., & Buitrago, R. B. (2019). Enhancement of drought tolerance on guinea grass by dry alginate macrobeads as inoculant of *Bacillus* strains. *bioRxiv*, 761056.
- Minnee, E. M. K. (2011). *An evaluation of tall fescue (Lolium arundinaceum) as an alternative to perennial ryegrass (Lolium perenne) for use on dairy farms in the Waikato* (Doctoral dissertation, University of Waikato).
- Mishra, S., Sharma, S., & Vasudevan, P. (2008). Comparative effect of biofertilizers on fodder production and quality in guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(9),

1667-1673.

- Moore, S. F. (2010). *Effects of guineagrass on northern bobwhite habitat use*. Texas A&M University-Kingsville.
- Muir, J. P., & Jank, L. (2004). Guineagrass. *Warm-season (C4) grasses*, 45, 589-621.
- NortonA, M. R., VolaireB, F., & LelievreB, F. (2006). Summer dormancy in *Festuca arundinacea* Schreb.; the influence of season of sowing and a simulated mid-summer storm on two contrasting cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57, 1267-1277.
- Okamoto, H., Ishii, K., & An, P. (2011). Effects of soil moisture deficit and subsequent watering on the growth of four temperate grasses. *Grassland science*, 57(4), 192-197.
- Oliveira Filho, J. D. C. (2007). Produção de duas gramíneas tropicais submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio e potássio no estado do Tocantins. Agricultural Engineering. Doctoral Thesis. Minas Gerais, Brasil.
- Oliveira, E. M. D., Martuscello, J. A., Jank, L., Cunha, D. D. N. F. V. D., & Santos, M. F. (2022). Evaluation of *Megathyrsus maximus* genotypes under water stress conditions. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 44, e54975.
- Orloff, S. B., Brummer, E. C., Shrestha, A., & Putnam, D. H. (2016). Cool-season perennial grasses differ in tolerance to partial-season irrigation deficits. *Agronomy Journal*, 108(2), 692-700.
- Paciullo, D. S. C., Gomide, C. D. M., Castro, C. D., Maurício, R. M., Fernandes, P. B., & Morenz, M. J. F. (2017). Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass and forage Science*, 72(3), 590-600.
- Pototskaya, I. V., Shamanin, V. P., Aydarov, A. N., & Morgounov, A. I. (2022). The use of wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*) in breeding. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 26(5), 413.
- Pugliese, J. Y. (2017). *Above-and belowground response to managing Kernza (Thinopyrum intermedium) as a dual-use crop for forage and grain* (Master's thesis, The Ohio State University).
- Rahardjo, C. P., Gajadeera, C. S., Simsek, S., Annor, G., Schoenfuss, T. C., Marti, A., & Ismail, B. P. (2018). Chemical characterization,

- functionality, and baking quality of intermediate wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*). *Journal of Cereal Science*, 83, 266-274.
- Rezacova, V., Slavíková, R., Zemková, L., Konvalinková, T., Procházková, V., Šťovíček, V., ... & Jansa, J. (2018). Mycorrhizal symbiosis induces plant carbon reallocation differently in C 3 and C 4 *Panicum* grasses. *Plant and soil*, 425, 441-456.
- Sanchez-Moreiras, A. M., Weiss, O. A., & Reigosa-Roger, M. J. (2003). Allelopathic evidence in the Poaceae. *The Botanical Review*, 69(3), 300-319.
- Santiago-Hernandez, F., López-Ortiz, S., Ávila-Reséndiz, C., Jarillo-Rodríguez, J., Pérez-Hernández, P., & de Dios Guerrero-Rodríguez, J. (2016). Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. *Agroforestry systems*, 90, 339-349.
- Sarkar, D., Meitei, C. B., Das, A., Ghosh, P. K., & Mandal, B. (2018). Changes in soil organic carbon pools in a long-term trial with perennial fodder crops in acid soils of north-east India. *Grass and Forage Science*, 73(2), 473-481.
- Scheneiter, J. O., Camarasa, J., Carrete, J. R., & Amendola, C. (2016). Is the nutritive value of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) related to the accumulated forage mass?. *Grass and Forage Science*, 71(1), 102-111.
- Signarbieux, C., & Feller, U. (2011). Non-stomatal limitations of photosynthesis in grassland species under artificial drought in the field. *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 192-197.
- Silva Jr, A. C., Goncalves, C. G., Scarano, M. C., Pereira, M. R. R., & Martins, D. (2018). Effect of glyphosate on guineagrass submitted to different soil water potential. *Planta Daninha*, 36, e018180818.
- Silveira, M. D., Nascimento Júnior, D., Cunha, B. D., Difante, G. S., Pena, K. S., Silva, S. D., & Sbrissia, A. F. (2010). Effect of cutting interval and cutting height on morphogenesis and forage accumulation of guinea grass (*Panicum maximum*). *Tropical Grasslands*, 44(2), 103-108.
- Souza, É. M. D., Isepon, O. J., Alves, J. B., Bastos, J. F. P., & Lima, R. C. (2005). Effects of irrigation and nitrogen fertilization on dry matter yield of *Panicum maximum* cultivars. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34,

1146-1155.

- Sumiyoshi, Y. (2012). *Belowground impact of napier and Guinea grasses grown for biofuel feedstock production*. Doctoral dissertation. Honolulu. University of Hawaii at Manoa.
- Tiwari, G., Duraivadivel, P., Sharma, S., & P, H. (2018). 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase producing beneficial rhizobacteria ameliorate the biomass characters of *Panicum maximum* Jacq. by mitigating drought and salt stress. *Scientific Reports*, 8(1), 17513.
- Viciedo, D. O., de Mello Prado, R., Martínez, C. A., Habermann, E., & de Cássia Piccolo, M. (2019). Short-term warming and water stress affect *Panicum maximum* Jacq. stoichiometric homeostasis and biomass production. *Science of The Total Environment*, 681, 267-274.
- Vico, G., & Brunsell, N. A. (2018). Tradeoffs between water requirements and yield stability in annual vs. perennial crops. *Advances in water resources*, 112, 189-202.
- Zhang, X., Ohm, J. B., Haring, S., DeHaan, L. R., & Anderson, J. A. (2015). Towards the understanding of end-use quality in intermediate wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*): High-molecular-weight glutenin subunits, protein polymerization, and mixing characteristics. *Journal of Cereal Science*, 66, 81-88.

BÖLÜM 7

Tritikale (x *Triticosecale*)

Fil otu (*Pennisetum purpureum*)

Adi yalancıdarı (*Paspalum dilatatum*)

Panicum turgidum

Dr. Öğr. Üyesi Emre KARA¹

Zir. Müh. Şevval KAYA²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493071>

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Aydın, Türkiye. emre.kara@adu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-5535-8398

² Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Aydın, Türkiye. Sevval_kaya96@icloud.com, Orcid ID: 0009-0002-7729-2251

1. Triticale (x *Triticosecale*)

Tahıllar, dünya çapında insan beslenmesi ve hayvan yemi için birincil gıda kaynağıdır (Maiti & Satya, 2014). Ancak, kuraklık, düşük sıcaklıklar, tuzluluk, mineral toksisitesi ve eksikliği, su basması gibi çeşitli abiyotik stres faktörleri, tahıl üretiminde önemli verim kayıplarına yol açmaktadır (Blum, 2014). Bu stres faktörleri arasında kuraklık ve tuzluluk, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal ürünlerin üretimini ciddi şekilde tehdit eden en kritik faktörler olarak değerlendirilmektedir (Alori ve ark., 2020).

Tritikale (x *Triticosecale*), Poaceae familyasına ait, tek yıllık, serin mevsim C3 bitkisi ve kendi kendine tozlaşan bir tahıldır. Bu tahıl, erkek ebeveyn çavdar (*Secale* ssp.) ile dişi ebeveyn buğday (*Triticum* ssp.) arasında gerçekleştirilen cinsler arası bir melezlemenin sonucudur (Kavanagh ve ark., 2010). Tritikale, olatılan veya depolanan yem, silaj ve kesme yeşil yem gibi farklı biçimlerde hayvan yemi olarak kullanılmaktadır (Mergoum ve ark., 2009).

Tritikale, buğdayın yetiştiği koşullardan çok daha geniş bir çevresel uyum kapasitesine sahiptir ve stres koşulları altında daha üstün bir performans sergilemektedir. Küresel ölçekte öncelikli olarak tahıl ve yem üretimi için yetiştirilmekle birlikte, son yıllarda biyoenerji üretimi için de kullanılmaktadır. Tritikalenin tane kalitesi, buğday gibi diğer küçük taneli ürünlerle kıyaslandığında tatmin edici olmamasına rağmen, çok sayıda hastalığa ve zararlıya karşı yüksek direnç seviyelerine sahiptir. Dahası, birçok yararlı gen tritikaleden buğdaya başarıyla aktarılmıştır. Tritikalenin iyileştirilmesine yönelik başlıca ıslah hedefleri arasında; artan tane ve biyokütle verimi, daha kısa bitki boyu, azalmış kılçık boyutu, geliştirilmiş saman mukavemeti, daha erken olgunlaşma, artan tane hacim ağırlığı, iyileştirilmiş besin içeriği, artırılmış su kullanım verimliliği ve ergot, *Fusarium* başak yanıklığı, yaprak lekesi ve kuraklık gibi çeşitli biyotik ve abiyotik streslere karşı direnç veya tolerans bulunmaktadır (Mergoum ve ark., 2019).

Tritikale, tane dökmeye ve yatmaya karşı oldukça dirençli bir tahıldır. Ancak, ürünün yatmaya başlaması; aşırı yükseklik, yüksek nem, verimlilik koşulları altında meydana gelen gür büyüme ve yüksek ekim yoğunluğu oranlarından kaynaklanmaktadır. Kısa boylu ve güçlü sap yapısı, tritikalede yatmaya karşı direnci artıran önemli özelliklerdir (Arseniuk, 2015).

Tritikale, genel olarak arpa, buğday ve yulaf ile karşılaştırıldığında üstün kuraklık direncine sahiptir. Bununla birlikte, hasat olgunluğuna yakın dönemlerde ortaya çıkan nemli hava koşulları, tritikalede sıklıkla hasat öncesi filizlenme sorunlarına neden olmaktadır. Tritikalenin filizlenmeye karşı duyarlılığı, dünya genelinde serin ve ıslak hava koşullarından etkilenen pek çok bölgede, ekim alanı ve tane hacmi açısından üretimini genişletmeyi sınırlandıran faktörlerden biridir (Arseniuk, 2015).

Mohammadi Alagoz (2023), tritikalenin diğer tahıllara kıyasla olumsuz çevre koşullarına önemli ölçüde daha fazla uyum sağlama yeteneğine sahip olduğunu belirtmiştir. Alatrash ve ark. (2022)'nin yaptığı bir inceleme ise, tritikalede mısır, buğday ve diğer tahıllara kıyasla kuraklık koşullarına daha yüksek tolerans gösterildiğini ortaya koymuştur. Bu özellik, tritikalenin tarımsal sürdürülebilirlik için potansiyel olarak değerli bir ürün olmasını sağlamaktadır.

Arseniuk (2015), tritikalede kuraklığa karşı daha yüksek toleransın, daha erken başaklanma ve köklerin topraktan su çekme yeteneğinin daha fazla olmasıyla ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Öte yandan, Martyniak (2002), tritikalede kuraklıktan en fazla etkilenen dönemin başaklanma ve süt olgunluğu aşamaları olduğunu ve bu dönemde tane verimindeki düşüşün en yüksek seviyede olduğunu ifade etmiştir.

Fayaz ve Arzani (2011), beş tritikale çeşidi (Alamos 83, Lasko, Moreno, Prego ve Zorro), bir ekmeklik buğday çeşidi (Roshan) ve bir sert buğday çeşidi (Osta-Gata) üzerinde generatif büyüme aşamalarında nem stresine toleransı değerlendiren iki tarla denemesi yürütmüşlerdir. Çalışmalar, İran'ın Lavarak bölgesinde, Njafabad'da yer alan Isfahan Teknoloji Üniversitesi Araştırma Çiftliği'nde gerçekleştirilmiştir. Genotipler, gebeleşme döneminin ortasından itibaren nem stresine maruz bırakılmıştır. Denemede; bitki boyu, başak/m², tane/başak, tane ağırlığı/başak, 1.000 tane ağırlığı, tane verimi, biyolojik verim ve hasat indeksi gibi tarımsal-morfolojik özellikler ölçülüp kaydedilmiştir. Tane verimi ile tane ağırlığı/başak arasında hem normal hem de nem stresi koşullarında önemli ve pozitif bir korelasyon saptanmıştır. Tritikale çeşitleri, her iki nem koşulunda da buğday çeşitlerinden üstün performans sergilemiştir. Tane verimi potansiyeli açısından değerlendirildiğinde; Alamos 83, Lasko, Moreno ve Zorro çeşitleri, kuraklığa dayanıklı genotipler olarak öne çıkmıştır.

Özellikle Moreno çeşidi hem normal hem de nem stresi koşullarında yüksek tane verimi sağlayabilmesiyle dikkat çekmiştir.



Şekil 1. İzole mikrospor kültürü yoluyla üretilen iki kat haploid ilkbahar tritikalesinin damızlık tohum sıraları (Kanada, Lethbridge Araştırma Merkezi)

Kaynak: Eudes, 2015

Lonbani ve Arzani (2011), tritikale çeşitlerinin terminal kuraklık stresine karşı toleransını değerlendirmiş ve bu toleransı, kuraklık stresi ile normal tarla koşulları altında durum ve ekmek buğdayı çeşitleriyle karşılaştırmışlardır. Araştırmada beş tritikale çeşidi ('Zoro', 'Moreno', 'Lasko', 'Prego' ve 'Alamos 83'), bir ekmeklik buğday çeşidi ('Roshan') ve bir durum buğdayı çeşidi ('Osta-Gata') kullanılmıştır. Denemelerde, klorofil içeriği, bağıl su içeriği, kesilen yaprak su tutma oranı, su kaybı oranı, başlangıç su içeriği, yaprak alanı, yaprak açısı, stoma sayısı, polen canlılığı, kılçığın kuru ağırlığı ve kılçığın uzunluğu gibi morfo-fizyolojik özellikler değerlendirilmiştir. Birleştirilmiş varyans analizleri, tüm özellikler için genotipler arasında oldukça önemli farklılıklar olduğunu ve genotip $\times$ çevre etkileşiminin, yaprak genişliği, stoma sayısı ve kılçık uzunluğu hariç tüm özelliklerde anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Genel performans açısından, tritikale çeşitleri her iki çevre koşulunda da buğday çeşitlerinden üstün bulunmuştur. Tritikale genotipleri arasında 'Lasko' ve 'Moreno' çeşitleri kuraklığa en dayanıklı, 'Prego' çeşidi ise su stresine en duyarlı genotip olarak belirlenmiştir. Kuraklık stresi koşulları altında, “kesilen yaprak su tutma oranı” ile tane verimi arasında önemli ve negatif bir korelasyon tespit edilirken, stressiz koşullarda bu ilişki pozitif ve anlamlı olmuştur. Bu

bulgu, “kesilen yaprak su tutma oranının” hem kuraklık stresi hem de stres olmayan koşullarda tane verimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Kutlu ve Kınacı (2010), indeksler aracılığıyla üç tritikale genotipinde verim ve bileşenlerinin kuraklığa karşı geniş tepki gösterdiğini rapor etmişlerdir. Grzesiak ve ark. (2012), tritikale genotiplerinin kuraklığa karşı tepkisinin indeks değerleri aracılığıyla ölçülebildiğini ve bu yöntem sayesinde verimli genotip gruplarına odaklanma imkanı sağlandığını gözlemlemişlerdir.

Zhang ve ark. (2009), kuraklık koşulları altında tritikalenin büyümeye ilişkin özellikler açısından ciddi değişkenlik gösterdiğini araştırmıştır. Araştırmada, yem tritikalesi fidelerinde kuraklık direncinin tanımlama indeksi, farklı genotiplere sahip 30 tritikalede %20 PEG 6000 kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar, her genotipin su stresine verdiği tepkilerin nispeten belirgin olduğunu ve su içeriğinin azaldığını, buna karşın kök-sürgün oranının arttığını göstermiştir. Bununla birlikte, yaprak eğriliği ve kök hiperplazisinin gözlemlendiği belirtilmiştir. Genotipler arasında önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Üç genotip, su stresine karşı iyi tepkiler vermiştir. Araştırmada ayrıca, su içeriği ile kök hiperplazisinin değişim düzenliliği arasında yüksek ve anlamlı bir korelasyon saptanmıştır. Ancak kök-sürgün oranındaki değişimin nispeten karmaşık bir durum sergilediği ifade edilmiştir.

Kutlu ve Kınacı (2010), üç tritikale genotipinde verim ve bileşenlerinin kuraklığa karşı gösterdiği geniş tepkiyi indeksler aracılığıyla değerlendirmiştir. Aynı şekilde, Grzesiak ve ark. (2012), tritikale genotiplerinin kuraklık stresine yanıtlarının indeks değerleri aracılığıyla ölçülebildiğini, bu yaklaşımın verimli genotip gruplarına odaklanma imkanı sağladığını gözlemlemiştir.

Zhang ve ark. (2009), kuraklık koşulları altında tritikalenin büyümeye ilişkin özellikleri, özellikle bitki boyu, kökler ve yaprak kütlesi açısından ciddi değişkenlik gösterdiğini belirlemiştir. Araştırmada, yem tritikalesi fidelerinde kuraklık direncini tanımlamak için %20 PEG 6000 kullanılmış ve farklı genotiplerden oluşan 30 tritikale değerlendirilmiştir. Bulgular, genotiplerin su stresine verdiği tepkilerin belirgin olduğunu, su içeriğinin azaldığını ve kök-sürgün oranının arttığını göstermiştir. Ayrıca, yaprak eğriliği ve kök hiperplazisi gibi değişiklikler gözlemlenmiştir. Genotipler arasında önemli farklılıklar tespit edilmiş ve üç genotipin su stresine karşı iyi tepkiler verdiği saptanmıştır. Araştırmada su içeriği ile kök hiperplazisinin değişim düzenliliği

arasında güçlü ve anlamlı bir korelasyon bulunmuş, ancak kök-sürgün oranındaki değişim nispeten karmaşık bir tablo sergilemiştir.

Ramazani ve Izanloo (2019), kuraklık stresinin buğday, arpa ve altı farklı tritikale genotipinin morfolojik ve verim özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma, İran'da Birjand Üniversitesi'nde yürütülmüştür. Araştırma sonuçları, kuraklık stresinin araştırılan tüm genotiplerin tane verimi ve biyolojik verimi üzerinde önemli ve olumsuz etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Kuraklık stresi altında, tane verimi açısından tritikale, buğday ve arpa genotipleri arasında anlamlı farklar bulunmuştur. Hemen hemen tüm kuraklık tolerans indekslerine göre, tritikale Pazh genotipi en dayanıklı genotip olarak belirlenmiştir. Tahıl verimiyle en yüksek anlamlı korelasyon, biyolojik verim, hasat indeksi, başak/sürgün oranı, bitki boyu ve saman verimi ile ilişkilendirilmiştir. Tritikaleye ait dört genotipin, buğday ve arpa genotiplerinden kuraklık stresine karşı daha fazla tolerans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Gorji ve ark. (2011), kuraklık stresi altında tritikalenin antioksidan aktivitesini değerlendirmişlerdir. Araştırmada, daha önce yürütülen ıslah programlarından seçilen en iyi yedi hattın F1 tohumları ve ebeveynleri, iyi sulanan ve kuraklık koşullarında serada yetiştirilmiştir. Bitkiler kuraklık stresine maruz bırakıldıktan sonra katalaz, askorbat peroksidaz ve süperoksit dismutaz enzimlerinin aktiviteleri ölçülmüştür. Araştırmada, özelliklerin kontrolünde aşırı baskınlığın varlığı ve baskınlık etkilerinin önemi gözlenmiştir. Özelliklerin tamamının yüksek geniş kalıtım derecesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Stres koşullarında, askorbat peroksidaz en yüksek dar anlamlı kalıtım derecesine sahipken, katalaz için orta derecede, süperoksit dismutaz için ise düşük dar anlamlı kalıtım derecesi ölçülmüştür. Normal koşullarda, askorbat peroksidaz en yüksek dar anlamlı kalıtım derecesine sahipken, süperoksit dismutaz orta derecede ve katalaz düşük dar anlamlı kalıtım derecesine sahip olarak sıralanmıştır. Antioksidan enzimlerin yüksek kalıtım derecesi göz önüne alındığında, bu enzimlerin tritikalede kuraklığa dayanıklılığın seçilmesinde etkili ölçütler olarak kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Hura ve ark. (2007), tritikale çeşitlerinin kuraklığa dayanıklı ve duyarlı genotiplere ayrılmasında, sera koşullarında bazı fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerin ölçümlerinden elde edilen sonuçların ve mavi floresansın ana

kaynağı olan ferulik asidin kuraklık toleransına katkıda bulunup bulunmadığını araştırmışlardır. Denemeler, su talebi açısından bitkiler için kritik faz olan çiçeklenme döneminin, tritikalede kuraklığa tolerans taraması için uygun olduğunu doğrulamıştır. Kuraklığa duyarlı olanları dayanıklı olanlardan ayıran ve sıralayan en önemli kriterler, ozmoregülasyon gerçekleştirme yeteneği, fotosentetik aygıt tarafından uyarım enerjisinin kullanım etkinliği ve yaprak dokularındaki ferulik asit seviyesini içeren koruyucu mekanizmaların işleyişi olmuştur.

2. Fil otu (*Pennisetum purpureum*)

Pennisetum purpureum, uzun bitki yapısına, iyi gelişmiş kök sistemine, güçlü kardeşlenme kapasitesine ve büyük biyokütleyle sahip çok yıllık bir C₄ bitkisi olarak tanımlanmaktadır (Monçao ve ark., 2020). Bu bitki, zararlılara ve hastalıklara karşı yüksek direnç gösterir, hızlı büyür ve yüksek verim sağlar. Yüksek miktarda ham protein ve çözünen şeker içerdiği için yüksek kaliteli bir yem bitkisi olarak kabul edilmektedir (Li ve ark., 2022). Fil otu, kuraklığa dayanıklılığı, aylık sadece 5 mm yağışa dayanabilme kapasitesi (Gomide ve ark., 2011) ve yüksek biyokütle üretimi (Rusdy, 2016) nedeniyle biyoyağ üretiminde (Strezov ve ark., 2008) ve yem kıtlığını hafifletmede kullanılma potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda hızlı büyüyen, düşük besin maddesi ihtiyacı olan bir bitkidir.

Fil otu, Asya, Afrika ve Amerika Birleşik Devletleri'nin tropikal ve subtropikal bölgelerinde yaygın olarak yetişen, derin köklü demet tipi bir C₄ ot türüdür (Yan ve ark., 2021). Sahra altı tropikal Afrika kökenli olan bu bitki, 2500 metreye kadar yüksekliklere ve 600-1000 mm yağışa iyi adapte olmuştur. Tropikal Afrika'nın birçok yerinde ve özellikle Doğu Afrika'da doğal olarak yayılım göstermektedir (Getiso & Mijena, 2021). Fil otu, kuraklığa dayanıklılığı, çeşitli toprak koşullarına uyum sağlaması, yüksek fotosentez oranı ve su kullanım verimliliği gibi özellikleri sayesinde sadece tropikal bölgelerde değil, dünya çapında tercih edilen bir yem bitkisi haline gelmiştir (Mwendia ve ark., 2006).

Yapraklı yapısı, yüksek bitki boyu, güçlü kardeşlenme ve hızlı yeniden büyüme kapasitesi, fil otunu diğer çim türlerinden ayırarak birim alan başına yüksek verimli bir yem bitkisi haline getirmiştir (Anderson ve ark., 2008). Ekimden sonra 3-4 ay içinde hasada hazır hale gelir ve nem stresi veya

verimlilik sorunu olmayan bölgelerde beş yıldan uzun bir süre boyunca 6-8 haftalık aralıklarla hasat edilebilir. Fil otu, uygun tarım ve yönetim uygulamalarıyla hektar başına yılda 20 ila 30 ton kuru madde (KM) biyokütle verimi sağlayabilir (Farrell ve ark., 2002).



Şekil 1. *Pennisetum purpureum* bitkileri

Kaynak: Saruchera ve ark., 2018

Li ve ark. (2022), kuraklık stresi altında *Pennisetum purpureum*'un fotosentez özellikleri, büyüme performansı ve endojen absisik asidi üzerindeki farklı strigolakton konsantrasyonlarının (1, 3, 5 ve 7 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) hafifletici etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçları, strigolakton uygulamasının ardından *Pennisetum purpureum* yapraklarının net fotosentez hızı, stoma iletkenliği, terleme hızı ve su kullanım verimliliğinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Bu uygulamanın, kuraklık nedeniyle fotosistem II maksimum fotokimyasal verimliliğinde ve ışık emilimine dayalı performans endeksindeki azalma üzerinde önemli bir hafifletici etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, strigolaktonun ekzojen uygulanması, yaprakların ve köklerin taze ve kuru ağırlığını ve ana kök uzunluğunu etkili bir şekilde artırmıştır. Strigolakton uygulamasından sonra 120 saat içinde, absisik asit içeriğinin önemli ölçüde azaldığı ve fotosentezin anahtar enzimlerinin aktivitesinin, uygulamadan 48 saat sonra önemli ölçüde arttığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, strigolakton uygulamasının *Pennisetum purpureum*'un fotosentez performansını ve yaprakların antioksidan kapasitesini artırarak kuraklık stresinin olumsuz

etkilerini azaltabileceği, bitki büyümesini teşvik edebileceği ve kuraklığa dayanıklılığı etkili bir şekilde iyileştirebileceği sonucuna varmışlardır.

Mwendia ve ark. (2013), düşük (15-25°C) ve yüksek (25-35°C) sıcaklık rejimlerine sahip seralarda, üç yetiştirme döngüsü boyunca üç farklı toprak-su temin seviyesi (tarla kapasitesinin %100, %50 ve %25'i) altında iki Fil otu çeşidi (Bana ve Atherton) üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada dokuların su durumu, karbon asimilasyonu, biyokütle verimi ve yem kalitesi değerlendirilmiştir. %25'lik düşük toprak-su temini ve düşük sıcaklık rejiminde Bana çeşidinin, Atherton çeşidinden daha düşük bağıl su içeriğine sahip olduğu; ancak %50 ve %100 toprak-su temin seviyelerinde Bana çeşidinin daha yüksek doku su durumuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Her iki çeşidin de CO₂ asimilasyon oranı ve üç yetiştirme döngüsü boyunca toplam kuru madde verimleri benzer bulunmuştur. Toprak üstü biyokütle için su kullanım verimliliği her iki çeşit için de düşük sıcaklık rejiminde 28.5–35.1 kg/ha/mm, yüksek sıcaklık rejiminde ise 16.9–22.9 kg/ha/mm arasında benzer olmuştur. NDF (nötral deterjan fiber) değeri, düşük su temini ve düşük sıcaklıkta Bana çeşidinde genellikle Atherton çeşidinden daha yüksek bulunmuş; ancak yüksek sıcaklık rejiminde bu durum tersine dönmüştür. Yem sindirilebilirliğinin, su stresi koşullarında genellikle arttığı ve NDF ile bağıl su içeriği arasında pozitif bir korelasyon olduğu; ancak bu ilişkinin yalnızca düşük sıcaklık rejiminde görüldüğü belirtilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre bağıl su içeriği ve asimilasyon oranının, ayrı ayrı ya da birlikte kuru-sıcak ortamlara uygun çeşitlerin seçiminde yeterli bir kriter olmadığı sonucuna varılmıştır.

Pennisetum purpureum cv. Roxo, su ve organik çözünenleri depolama kapasitesine sahip rizomları ve yaprak kınlarındaki antosiyanin içeriği ile dikkat çekmektedir. Antosiyaninler, aşırı güneş radyasyonu ve su eksikliğinin karbon asimilasyonu üzerindeki zararlı etkilerini en aza indirerek bu bitkinin tarımsal performansını artırmaktadır. Bu özellikler, *Pennisetum purpureum*'un mevsimsel yağışlara karşı hassas tropikal tarım sistemleri için önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir (Maranhao ve ark., 2020). Tayland gibi ülkelerde bu yem bitkisi, süt sığırlarını beslemek için kullanılan kes-ve-taşı sisteminde küçük çiftçiler tarafından yaygın olarak yetiştirilmektedir. Bu çiftliklerde genellikle yetiştirilen ot türleri arasında *Brachiaria mutica*, *Brachiaria ruziziensis*, *Panicum maximum* ve *Pennisetum purpureum* bulunmaktadır. Ancak *Brachiaria mutica* ve *Brachiaria ruziziensis* otları uzun

sürekli kuraklık koşullarında zayıf kalıcılık sergilerken, *Panicum maximum* ve *Pennisetum purpureum*, kuraklığa dayanıklılıkları sayesinde yüksek kalıcılık göstermektedir (Tudsri ve ark., 2002).

Yanxian ve ark. (2008), taşınabilir fotosentez ölçüm sistemi kullanarak Çin'in Yunnan eyaletindeki Yuanmou'daki kurak-sıcak vadi eko-tarım ortamlarında üç kuraklığa dayanıklı yem bitkisi türünün, *Pennisetum purpureum*, *Stylosanthes guianensis* ve *Cajanus cajan*, fotosentez özelliklerini incelemişlerdir. *Pennisetum purpureum* ve *Stylosanthes guianensis*'in güneşi seven ve gölge toleranslı bitkiler olduğu, her ikisinin de zayıf ışık koşullarında ışık enerjisinden verimli şekilde yararlanabildiği ve nispeten güçlü bir CO₂ asimilasyon kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu özellikler, bu iki bitkiyi orman koşullarında ara ekim için uygun hale getirmektedir. *Cajanus cajan* ise yüksek ışık gereksinimine sahip, güçlü güneşi seven bir bitki olarak tanımlanmış; ancak nispeten daha zayıf bir CO₂ asimilasyon kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

3. Adi yalancıdarı (*Paspalum dilatatum*)

Paspalum dilatatum, Güney Amerika'ya özgü (Doğu Arjantin, Uruguay ve Güney Brezilya), nemli ve ılıman çayırlarda yetişen lezzetli bir C4 sıcak iklim bitkisi olarak tanımlanmaktadır. Bu bitki, Arjantin'de geniş bir alanda kuraklık ve sel bölgeleri boyunca yayılım göstermektedir (Couso ve ark., 2010). *Paspalum dilatatum*, ılıman bölgelerde yazlık yem bitkisi olarak yüksek potansiyel taşıyan çok yıllık bir sıcak mevsim otudur. Ancak mera bitkisi olarak benimsenmesi, düşük tohum çimlenmesi ve yavaş fide tesis süreci nedeniyle sınırlıdır. *Paspalum* türleri için kuru depolama ve nemli soğuk veya sıcak ön koşullandırma işlemlerinin, tohum uykuda kalmasını gidermek veya sonlandırmak açısından etkili olduğu bildirilmiştir (Glison ve ark., 2015). *Paspalum dilatatum*'un ılıman meralara entegre edilmesi, yaz dönemi yem verimini ve ağır ya da killi topraklarda sindirilebilir kuru madde üretimini artırmaktadır. Nemli ve çok nemli alanlarda daha yaygın olarak bulunması, su baskınına karşı toleransı ile açıklanabilir. Su stresinin yaşandığı bölgelerdeki düşük yayılım sıklığı ise fide tesisindeki zorluklara ve fide büyümesinin yavaşlığına, özellikle kök sisteminin geç gelişmesine dayandırılmaktadır (Cornaglia ve ark., 2005).

Paspalum dilatatum'un doğal genetik çeşitliliği, yaygın apomiktik pentaploid biyotipi, eşeyli tetraploidler, apomiktik hekzaploidler ve diğer coğrafi olarak sınırlı formlar dahil olmak üzere Güneydoğu Güney Amerika'daki doğal yayılım alanında görülmektedir (Speranza, 2009). Biyotipler arasında morfolojik ve fizyolojik çeşitlilik de bildirilmektedir. Bu çeşitlilik; kardeş ve salkım uzunluğu (Garcia ve ark., 2007), yem verimi ve otlatma toleransı (Venuto ve ark., 2003) ve su stresine yanıt (Couso ve ark., 2010) gibi özellikleri içermektedir. Ayrıca bazı biyotipler arasında karyoplu başakçık oranı ve çimlenme yüzdelerinde farklılıklar gözlemlenmiştir (Pitman ve ark., 2005).

Paspalum dilatatum, ABD'nin güneyi de dahil olmak üzere dünyanın birçok sıcak bölgesinde önemli bir yem bitkisi olarak öne çıkmaktadır. Bu türün kökeni ve korunmasında apomiksis önemli bir rol oynamıştır. Pentaploid zorunlu apomiktik olması sebebiyle, bitki ıslahçıları bu türü geliştirmede başarılı olamamışlardır. Apomiktik bariyerin radyasyon veya türler arası melezleme ile değiştirilemediği rapor edilmiştir (Burson, 2019). Çok yıllık ot olan *Paspalum dilatatum*, bir dizi farklı sitotip gösteren yakından ilişkili bir takson grubunu kapsamaktadır. Örneğin, *Paspalum dilatatum* subsp. *dilatatum*, Arjantin'deki Pampa çayırlarının periyodik olarak sular altında kalan ovaları ile sular altında kalmayan yüksek kesimlerinde yetişirken; *Paspalum dilatatum* subsp. *flavescens* yalnızca yüksek kesimlerde yaşamaktadır (Mollard ve ark., 2008).

Dünyadaki birçok çayırdaki büyüme ve üretkenlik kuraklık tarafından sınırlandırılmaktadır. Kuraklık koşulları altında yetiştirilen otlar genellikle kısa boy, yatık morfoloji, nispeten istikrarlı kardeşlenme ve azalmış kardeş biyokütlesi göstermektedir. Benzer morfolojik değişiklikler otlatmaya yanıt olarak lezzetli ot türlerinde de gözlemlenmiştir. Yaprak dökülmesi ve kuraklık, bitkinin karbon girdisini azaltmakta; ancak karbon tahsisi önceliklerinde çelişkili bir durum ortaya çıkmaktadır. Kuraklık, köklere tahsis edilen karbonhidratlarda artışa neden olurken; yaprak dökülmesi sürgünlere doğru bir karbon tahsisi ile sonuçlanmaktadır (Gastal ve Durand, 2000).

Huang LiJuan ve ark. (2019), güçlü kuraklık direncine sahip *Paspalum dilatatum* germplazmalarını taramak ve kuraklık direnci için teorik bir temel sağlamak amacıyla altı farklı *Paspalum dilatatum* germplazmı üzerinde saksı denemeleri gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, kuraklık stresi altında altı

germplazmın tamamında malondialdehit içeriğinin başlangıçtan 21. güne kadar kademeli olarak arttığı, 21-28. günler arasında ise daha keskin bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Peroksidaz aktivitesi, katalaz aktivitesi ve çözünür protein içeriği başlangıçta artış göstermiş ancak daha sonra azalmıştır. Toplam çözünür şeker içeriği önemli bir artış eğilimi gösterirken, klorofil içeriği önemli bir düşüş eğilimi sergilemiştir. Çalışma, ABD'den gelen *Paspalum dilatatum* germplazmasının kuraklık toleransının en güçlü olduğunu, Vietnam'dan gelen germplazmanın ise nispeten daha zayıf bir kuraklık direncine sahip olduğunu tespit etmiştir.



Şekil 1. *Paspalum dilatatum*

Kaynak: Bilgin & Tansı, 2020

Carmo-Silva ve ark. (2009), farklı C₄ fotosentez alt tiplerini temsil eden üç Poaceae türü üzerinde araştırma yapmışlardır: *Paspalum dilatatum* (NADP-malik enzimi), *Cynodon dactylon* (NAD-malik enzimi) ve *Zoysia japonica* (fosfoenolpiruvat karboksikinas). Bitkiler, kuraklığa dayanıklılıkla ilgili özelliklerin belirlenmesi amacıyla saksılarda yetiştirilmiş ve su açığı kademeli olarak oluşturulmuştur. Araştırma sonucunda, *Zoysia japonica* yapraklarının en yüksek, *Paspalum dilatatum*'un ise en düşük göreceli kuru madde içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Su eksikliği sırasında gelişen yaprakların enine kesitleri, kontrol yapraklarıyla karşılaştırıldığında çok az değişiklik göstermiştir; bu durum, düşük fenotipik plastisiteye işaret etmektedir.

Anatomik özellikler, üç türü birbirinden ayırmış ve kseromorfik (kurakçıl) özelliklerin en güçlü şekilde *Zoysia japonica*'da ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Yaprak göreceli su içeriği, her üç Poaceae türü için de toprak su içeriğiyle benzer şekilde azalmıştır. Ancak, %80 bağıl su içeriği seviyesinde yaprak su potansiyeli *Zoysia japonica* için -3,1 MPa; *Paspalum dilatatum* ve *Cynodon dactylon* için ise -1,3 MPa olarak ölçülmüştür. Çözünebilir amino asitler, özellikle prolin, *Cynodon dactylon* ve *Zoysia japonica* yapraklarında bağıl su içeriği azaldıkça artış göstermiştir. Bunun yanı sıra, fenilalanin, valin, lösin ve izölösün seviyeleri *Zoysia japonica*'da diğer iki türe kıyasla daha fazla artmıştır. Araştırma sonuçları, *Cynodon dactylon* ve özellikle *Zoysia japonica*'nın, kurak habitatlara daha uygun yaprak özellikleri geliştirdiğine dair güçlü kanıtlar sağlamıştır.

4. *Panicum turgidum*

Panicum turgidum, Sahra'nın Atlantik kıyısından Orta Hindistan'a, Kıbrıs ve Tunus'tan Somali ve Çad Gölü'nün güneyindeki bölgeye kadar uzanan geniş bir yayılım alanına sahip bir türdür. Genişleyen ve derinlere nüfuz eden kök sistemi sayesinde, *Panicum turgidum* kum bağlayıcı bir kserofit olarak kullanılmaktadır. İlkbahar sonu ve yaz aylarında yüksek büyüme oranı sergileyen bu tür, kuraklığa dayanıklı bir C4 bitkisidir (Batanouny ve ark., 2006). Bitki, 1.5 m yüksekliğe ve 1 m çapına ulaşan, sert saplı, boğum yerleri tüysüz ve kalınlaşmış yapıya sahip, çok sayıda dal demeti barındıran büyük ve karmaşık kümeler oluşturur. Çiçek salkımları, iki tür başakçık taşıyan kısa salkımlardan oluşmaktadır (Abdoun & Zenchi, 2015).

Panicum turgidum, Mısır çölünde yaygın olarak bulunan bir türdür ve çok amaçlı bir bitki için gereken tüm kriterleri karşılamaktadır. Bozulmuş ekosistemlerin rehabilitasyonunda kullanılabilecek bir tür olan *Panicum turgidum*, Mısır'ın iç çöllerinde baskın türler arasında yer almakta ve sert çöl koşullarında yaşamaktadır. Kuraklığa dikkat çekici derecede dayanıklı olan bu bitki, yağmur olmadan birkaç yıl yaşayabilmektedir (Heneidy & Waseem, 2007).

Bitki mavimsi-yeşil renkte olmakla birlikte, kavuzlarından dışa doğru çıkan turuncu renkli anterler, türün karakteristik özelliklerindendir. Uzun süreli kuraklık dönemlerinde tutam kırmızımsı bir renk alabilmekte ve yağmurdan sonra tekrar yeşile dönmektedir. *Panicum turgidum*, küçük memeliler,

sürüngeçenler ve böcekler için doğal bir yaşam alanıdır. Tohumları, küçük çöl faresi, çalıkuşu, Bedevi keçisi ve devekuşu gibi evcil hayvanlar tarafından tüketilirken; *Addax nasomaculatus* ve *Oryx dammah* gibi büyük yabani memelilerin diyetinin bir bileşenini oluşturmaktadır (Anthelme ve ark., 2007). Kendiliğinden yetişen, çok yıllık ve bol miktarda bulunan bir bitki olması nedeniyle, *Panicum turgidum* tohumları yakın geçmişe kadar Sahra göçebelerinin temel yiyecekleri arasında yer almıştır (Abdoun & Zenchi, 2015).

Panicum turgidum, Kuveyt çölünde yaygın olarak bulunan bir türdür. Daha kaba dokulu kumlu ve çakıllı topraklara sahip çukurluklar ve sık vadilerde yetişmekte olan bu bitki, yüksek besin değerleri nedeniyle develer ve koyunlar için önemli bir yem kaynağıdır (Bhatt ve ark., 2020). *Panicum turgidum*, Sahra, Pakistan, Arabistan ve diğer çöl iklimlerinde sıklıkla bulunmakta olup, Suudi Arabistan'da deniz kıyısı, iç çöl ovaları, kumullar ve dağ sıraları boyunca yayılım göstermektedir. Stresi yüksek büyüme koşullarına dayanma potansiyeline sahip olmasıyla dikkat çekmektedir (Abd_Allah ve ark., 2019).

Bhatt ve ark. (2020), dört yerel buğdaygil türü (*Panicum acuminatum*, *Panicum turgidum*, *Pennisetum divisum* ve *Polypogon monspeliensis*) üzerinde polietilen glikol-6000 kullanılarak beş ozmotik potansiyelde (0, -0,3, -0,6, -0,9 ve -1,2 MPa) tohum çimlenmesini ve iki farklı ışık uygulaması (günde 0 ve 12 saat ışık) altında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, tüm türler *Panicum turgidum* (%42) hariç, 0 MPa ozmotik potansiyelde yüksek çimlenme oranı (%77'den fazla) göstermiştir. *Polypogon monspeliensis* tohumları, 0 ila -0,3 MPa ozmotik potansiyeller arasında çimlenmede önemli bir azalma göstermemiş (%90-83), ancak diğer türlerde çimlenme oranı %75.8 ile %60.5 arasında azalmıştır. -0,6 MPa ozmotik potansiyelde tohum çimlenmesi yaklaşık %20'ye düşmüştür. Çoğu türün çimlenmesi ışık etkisinden bağımsız bulunmuş; ancak karanlıkta çimlenen *Pennisetum divisum* tohumlarının su eksikliğine daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

Su potansiyelinin -0,3 MPa'ya düşürülmesi, *Panicum acuminatum* (%50 çimlenme oranıyla yaklaşık 1.7 günlük gecikme), *Pennisetum divisum* (%50 çimlenme ile yaklaşık 1.6 gün gecikme) ve *Polypogon monspeliensis* (%50 çimlenme ile yaklaşık 1.1 günlük gecikme) türlerinde çimlenmeyi engellemiştir. *Panicum acuminatum* ve *Polypogon monspeliensis* türlerinin çimlenme oranı, tüm ozmotik potansiyellere stresli maruziyetten sonra benzer bulunurken; *Pennisetum divisum* için çimlenme oranı azalmıştır.



Şekil 1. Kuraklık ve otçullukla karşı karşıya kalmış bir *Panicum turgidum* demeti genç bir *Acacia tortilis* ssp. *raddiana* ile beraber

Kaynak: Fotoğraf: F. Anthelme, 2004; Anthelme ve ark., 2006

Abd_Allah ve ark. (2019), *Panicum turgidum*'un kuraklık stresine dayanıklılığını artırmada arbusküler mikorizal mantarların yeteneğini değerlendirmek amacıyla bir saksı denemesi gerçekleştirmiştir. Araştırma sonuçları, kuraklık stresinin *Panicum turgidum*'un büyümesini azalttığını, spor, arbuskül, vezikül ve misel sayısını düşürerek arbusküler mikorizal mantar kolonizasyonunu olumsuz etkilediğini göstermiştir. Bununla birlikte, arbusküler mikorizal mantarlarla toprağın aşılama kök büyümesini önemli ölçüde artırmış ve kuraklık stresinin olumsuz etkilerini hafifletmiştir. Arbusküler mikorizal mantarlar, *Panicum turgidum*'daki antioksidan sistemi artırarak hidrojen peroksit birikimini önlemiş ve lipid peroksidasyon oranını azaltmıştır. Ayrıca, bu mantarların indol asetik asit sentezini artırdığı ve hem normal hem de kuraklık stresi koşullarında bitki büyümesini teşvik ettiği saptanmıştır. Sonuç olarak, arbusküler mikorizal mantarlarla yapılan aşılama, konukçu dokulardaki antioksidan sistemi güçlendirmiş ve *Panicum turgidum*'un kuraklık stresine dayanıklılığını etkili bir şekilde iyileştirmiştir.

Kuru biyotoplar, “iyonlaştırıcı radyasyona” dirençli yeni prokaryotları keşfetmek için umut verici ortamlar sağlamaktadır. İyonlaştırıcı radyasyona

direnç, kırk yılı aşkın süredir kurumaya karşı toleransla ilişkilendirilmiş bir özelliktir (Arocha-Garza ve ark., 2017) ve bu durum genellikle çöl organizmalarında yaygın olarak görülmektedir (Dion ve Nautiyal, 2008). Guesmi ve ark. (2022), kurak koşullara maruz kalan *Panicum turgidum* kökleriyle ilişkili bakteri topluluklarını kültürel ve metataksonomik yaklaşımların kombinasyonu ile araştırmıştır. Geleneksel kültür tabanlı teknikler kullanılarak ışınlanmış köklerden elde edilen 32 izolat, Actinobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes ve Proteobacteria filumlarına ait olarak tanımlanmıştır. Araştırmada dört aktinobakteriyel suşun iyonlaştırıcı radyasyona dirençli olduğu gösterilmiştir: “*Microbacterium* sp. PT8” (4.8 kGy), “*Micrococcus* sp. PT11” (4.4 kGy), “*Kocuria rhizophila* PT10” (2.9 kGy) ve “*Promicromonospora paniki* PT9T” (2.6 kGy). Bu bulgular, kurak ekosistemlerde yaşayan mikroorganizmaların yalnızca su stresi gibi çevresel zorluklara değil, aynı zamanda iyonlaştırıcı radyasyon gibi ekstrem koşullara karşı da güçlü adaptasyon mekanizmaları geliştirdiğini göstermekte ve kuru biyotopları yeni mikrobiyal kaynakların keşfi açısından son derece önemli bir araştırma alanı haline getirmektedir.

KAYNAKÇA

- Abd_Allah, E. F., Tabassum, B., Alqarawi, A. A., Safar, T., Alshahrani, J. A., & Hashem, A. (2019). Physiological markers mitigate drought stress in *Panicum turgidum* Forssk. By arbuscular mycorrhizal fungi. *Pak. J. Bot*, 51(6), 2003-2011.
- Abdoun, F., & Zenchi, H. (2015). *Panicum turgidum*. *Encyclopédie berbère*, (37), 6087-6091.
- Alatrash, H., Tawaha, A. R. M., Jabbour, Y., Al-Tawaha, A. R., Abusalem, M., Khanum, S., ... & Khalid, S. (2022). Abiotic stress response and adoption of triticale. In *Omics approach to manage abiotic stress in cereals* (pp. 599-615). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Alori, E. T., Emmanuel, O. C., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2020). Plant–archaea relationships: a potential means to improve crop production in arid and semi-arid regions. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(9), 133.
- Anderson, W. F., Dien, B. S., Brandon, S. K., & Peterson, J. D. (2008). Assessment of bermudagrass and bunch grasses as feedstock for conversion to ethanol. In *Biotechnology for Fuels and Chemicals: Proceedings of the Twenty-Ninth Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals Held April 29–May 2, 2007, in Denver, Colorado* (pp. 13-21). Humana Press.
- Anthelme, F., Mato, M. W., Boissieu, D. D., & Giazzi, F. (2006). Dégradation des ressources végétales au contact des activités humaines et perspectives de conservation dans le massif de l'Aïr (Sahara, Niger). *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 7(2).
- Anthelme, F., Michalet, R., & Saadou, M. (2007). Positive associations involving the tussock grass *Panicum turgidum* Forssk. in the Aïr-Ténéré Reserve, Niger. *Journal of Arid Environments*, 68(3), 348-362.
- Arocha-Garza, H. F., Canales-Del Castillo, R., Eguiarte, L. E., Souza, V., & De la Torre-Zavala, S. (2017). High diversity and suggested endemism of culturable Actinobacteria in an extremely oligotrophic desert oasis. *PeerJ*, 5, e3247.
- Arseniuk, E. (2015). Triticale abiotic stresses—An overview. *Triticale*, 69-81.

- Barary, M., Warwick, N. W. M., Jessop, R. S., & Taji, A. M. (2003, February). Variation for osmotic adjustment in Australian triticale cultivars. In *Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference* (pp. 2-6).
- Batanouny, K., Zayed, K., & Kabieli, H. (2006). Reproductive ecology of *Panicum turgidum* Forssk. *Taeckholmia*, 26(1), 63-88.
- Bhatt, A., Bhat, N. R., Al-Nasser, A., Carón, M. M., & Santo, A. (2020). Inter-population variabilities in seed mass and germination of *Panicum turgidum* and *Pennisetum divisum* on the desert of Kuwait. *Journal of Arid Land*, 12, 144-153.
- Bhatt, A., de Moura Souza-Filho, P. R., & Gallacher, D. (2020). Germination response of four Arabian desert grasses to low water potential. *Nordic Journal of Botany*, 38(12).
- Bilgin, F. D., & Tansı, V. (2020). Rhodes Grass (*Chloris gayana* L. Kunth). In: Grasses. *Iksad publishing house*. p:47-62. ISBN: 978-625-8377-79-8.
- Blum, A. (2014). The abiotic stress response and adaptation of triticale—A review. *Cereal research communications*, 42(3), 359-375.
- Burson, B. L. (2019). Phylogenetic investigations of *Paspalum dilatatum* and related species. In *Proceedings of the XIV International Grassland Congress* (pp. 170-173). CRC Press.
- Carmo-Silva, A. E., Francisco, A., Powers, S. J., Keys, A. J., Ascensão, L., Parry, M. A., & Arrabaça, M. C. (2009). Grasses of different C₄ subtypes reveal leaf traits related to drought tolerance in their natural habitats: changes in structure, water potential, and amino acid content. *American Journal of Botany*, 96(7), 1222-1235.
- Cornaglia, P. S., Schrauf, G. E., Nardi, M., & Deregibus, V. A. (2005). Emergence of dallisgrass as affected by soil water availability. *Rangeland Ecology & Management*, 58(1), 35-40.
- Couso, L. L., Gatti, M. L., Cornaglia, P. S., Schrauf, G. E., & Fernández, R. J. (2010). Are more productive varieties of *Paspalum dilatatum* less tolerant to drought?. *Grass and Forage Science*, 65(3), 296-303.
- Dion, P., Nautiyal, C. S., & Dion, P. (2008). Microbiology of extreme soils. Soil Biology. Volume 13. Editors: Patrice Dion & Chandra Shekhar Nautiyal. Springer. ISBN 978-3-540-74230-2.
- Eudes, F. (2015). Triticale (No. 11764). Cham: Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-22551-7. ISBN 978-3-319-22550-0

- Farrell, G., Simons, S. A., & Hillocks, R. J. (2002). Pests, diseases and weeds of Napier grass, *Pennisetum purpureum*: A review. *International Journal of Pest Management*, 48(1), 39-48.
- Fayaz, N., & Arzani, A. (2011). Moisture stress tolerance in reproductive growth stages in triticale (X *Triticosecale* Wittmack) cultivars under field conditions. *Crop Breeding Journal*, 1(1)
- García, M. V., Balatti, P. A., & Arturi, M. J. (2007). Genetic variability in natural populations of *Paspalum dilatatum* Poir. analyzed by means of morphological traits and molecular markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54, 935-946.
- Gastal, F., & Durand, J. L. (2000). Effects of nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. In *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 15-39). Wallingford UK: CABI Publishing.
- Getiso, A., & Mijena, D. (2021). Performance evaluation of napier grass (*Penisetum purpureum* (L.) *schumacher*) accessions under rain fed and irrigation system at wondo genet. *Glob J Ecol*, 6(1), 028-033.
- Glison, N., Viega, L., Cornaglia, P., Gutiérrez, L., & Speranza, P. (2015). Variability in germination behaviour of *Paspalum dilatatum* Poir. seeds is genotype dependent. *Grass and Forage Science*, 70(1), 144-153.
- Gomide, C. A. D. M., Paciullo, D. S. C., Costa, I. D. A., Lima, A. M., Castro, C. R. T. D., & Léo, F. J. D. S. (2011). Morphogenesis of dwarf elephant grass clones in response to intensity and frequency of defoliation in dry and rainy seasons. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 1445-1451.
- Gorji, A. H., Zonoori, Z., Zolnoori, M., & Jamasbi, A. (2011). Inheritance of antioxidant activity of triticale under drought stress. *Asian Journal of Plant Sciences*, Vol. 10, No. 3, 220-226.
- Grzesiak, M. T., Marcińska, I., Janowiak, F., Rzepka, A., & Hura, T. (2012). The relationship between seedling growth and grain yield under drought conditions in maize and triticale genotypes. *Acta physiologiae plantarum*, 34, 1757-1764.
- Grzesiak, S., Grzesiak, M. T., Filek, W., & Stabryła, J. (2003). Evaluation of physiological screening tests for breeding drought resistant triticale (x *Triticosecale* Wittmack). *Acta physiologiae plantarum*, 25, 29-37.

- Guesmi, S., Najjari, A., Pujic, P., Ghedira, K., Ouertani, R., Jabberi, M., ... & Sghaier, H. (2022). Roots of the xerophyte *Panicum turgidum* host a cohort of ionizing-radiation-resistant biotechnologically-valuable bacteria. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(2), 1260-1268.
- Heneidy, S. Z., & Waseem, M. (2007). Rehabilitation of degraded coastal Mediterranean rangelands using *Panicum turgidum* Forssk. *Acta Botanica Croatica*, 66(2), 161-176.
- Huang LiJuan, H. L., Zhao LiLi, Z. L., Tang HuaJiang, T. H., Sun XiaoFu, S. X., Wang PuChang, W. P., & Chen Chao, C. C. (2019). Drought stress responses of six *Paspalum dilatatum* germplasms and drought resistance evaluation.
- Hura, T., Grzesiak, S., Hura, K., Thiemt, E., Tokarz, K., & Dzony, M. W. (2007). Physiological and Biochemical Tools Useful in Drought-Tolerance Detection in Genotypes of Winter Triticale: Accumulation of Ferulic Acid Correlates with Drought Tolerance. *Annals of Botany*, 100, 767-775.
- Kavanagh, V. B., Hall, L. M., & Hall, J. C. (2010). Potential hybridization of genetically engineered triticale with wild and weedy relatives in Canada. *Crop science*, 50(4), 1128-1140.
- Kutlu, I., & Kinaci, G. (2010). Evaluation of drought resistance indicates for yield and its components in three Triticale cultivars. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 7(2).
- Li, Y., Li, S., Feng, Q., Zhang, J., Han, X., Zhang, L., ... & Zhou, J. (2022). Effects of exogenous Strigolactone on the physiological and ecological characteristics of *Pennisetum purpureum* Schum. Seedlings under drought stress. *BMC Plant Biology*, 22(1), 578.
- Lonbani, M., & Arzani, A. (2011). Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. *Agronomy research*, 9(1-2), 315-329.
- Maiti, R. K., & Satya, P. (2014). Research advances in major cereal crops for adaptation to abiotic stresses. *GM crops & food*, 5(4), 259-279.
- Maranhao, T. D., Lopes, M. N., Alves, F. G. D. S., Silva, R. R. D., Pompeu, R. C. F. F., Sousa, W. D. N., ... & Cândido, M. J. D. (2020). Growth indexes of *Pennisetum purpureum* cv. Roxo cultivated in different seasons under

- rained conditions. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 21, e210122020.
- Martyniak, L. (2002). Grain yield and yield components of spring triticale as affected by simulated drought stress applied at different growth stages.
- Mergoum, M., Sapkota, S., ElDoliefy, A. E. A., Naraghi, S. M., Pirseyedi, S., Alamri, M. S., & AbuHammad, W. (2019). Triticale (x *Triticosecale* Wittmack) breeding. *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals: Volume 5*, 405-451.
- Mergoum, M., Singh, P. K., Pena, R. J., Lozano-del Río, A. J., Cooper, K. V., Salmon, D. F., & Gómez Macpherson, H. (2009). Triticale: a “new” crop with old challenges. *Cereals*, 267-287.
- Mohammadi Alagoz, S., Hadi, H., Toorchi, M., Pawłowski, T. A., Asgari Lajayer, B., Price, G. W., ... & Astatkie, T. (2023). Morpho-physiological responses and growth indices of triticale to drought and salt stresses. *Scientific Reports*, 13(1), 8896.
- Mollard, F. P., Striker, G. G., Ploschuk, E. L., Vega, A. S., & Insausti, P. (2008). Flooding tolerance of *Paspalum dilatatum* (Poaceae: Paniceae) from upland and lowland positions in a natural grassland. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 203(7), 548-556.
- Monção, F. P., Costa, M. A. M. S., Rigueira, J. P. S., de Sales, E. C. J., Leal, D. B., da Silva, M. F. P., ... & Júnior, V. R. R. (2020). Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 235-241.
- Motzo, R., Pruneddu, G., & Giunta, F. (2013). The role of stomatal conductance for water and radiation use efficiency of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, 44, 87-97.
- Mwendia, S. W., Wanyoike, M., JGM, N., Wahome, R. G., & Mwangi, D. M. (2006). Evaluation of napier grass cultivars for resistance to napier head smut. Proceedings of the 10th KARI Biennial Scientific Conference, KARI, Nairobi, Kenya 85-97.
- Mwendia, S. W., Yunusa, I. A. M., Whalley, R. D. B., Sindel, B. M., Kenney, D., & Kariuki, I. W. (2013). Use of plant water relations to assess forage quality and growth for two cultivars of Napier grass (*Pennisetum*

- purpureum*) subjected to different levels of soil water supply and temperature regimes. *Crop and Pasture Science*, 64(10), 1008-1019.
- Pitman, W. D., Croughan, S. S., Nash, J. L., & Venuto, B. C. (2005). Somaclonal variation in seed germination of dallisgrass biotypes. *Plant Genetic Resources*, 3(3), 414-420.
- Ramazani, S. H. R., & Izanloo, A. (2019). Evaluation of drought tolerance of triticale (x**Triticosecale** Wittm. ex A. Camus) genotypes along with bread wheat and barley genotypes. *Acta Agriculturae Slovenica*, 113(2), 337-348.
- Royo, C., & Blanco, R. (1998). Use of potassium iodide to mimic drought stress in triticale. *Field Crops Research*, 59(3), 201-212.
- Rusdy, M. (2016). Elephant grass as forage for ruminant animals. *Livestock Research for Rural Development*, 28(4), 1-6.
- Saruchera, L., Mupa, M., Muchanyereyi-Mukuratirwa, N., & Witzleben, S. (2018). A study on the pozzolanic properties of *Pennisetum Purpureum* ash. *Journal of Interdisciplinary Academic Research*, 1(1), 1-10.
- Speranza, P. R. (2009). Evolutionary patterns in the Dilatata group (*Paspalum*, Poaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 282, 43-56.
- Strezov, V., Evans, T. J., & Hayman, C. (2008). Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum* Schum) to bio-gas, bio-oil and charcoal. *Bioresource technology*, 99(17), 8394-8399.
- Tudsri, S., Jorgensen, S. T., Riddach, P., & Pookpakdi, A. (2002). Effect of cutting height and dry season closing date on yield and quality of five napier grass cultivars in Thailand. *Tropical Grasslands*, 36(4), 248-252.
- Venuto, B. C., Burson, B. L., Hussey, M. A., Redfearn, D. D., Wyatt, W. E., & Brown, L. P. (2003). Forage yield, nutritive value, and grazing tolerance of dallisgrass biotypes. *Crop Science*, 43(1), 295-301.
- Yan, Q., Wu, F., Xu, P., Sun, Z., Li, J., Gao, L., ... & Zhang, J. (2021). The elephant grass (*Cenchrus purpureus*) genome provides insights into anthocyanidin accumulation and fast growth. *Molecular ecology resources*, 21(2), 526-542.
- Yang, D., Zhang, S., Tian, X., & Du, W. (2023). Morphological and physiological traits of triticale as affected by drought stress. *Chilean journal of agricultural research*, 83(2), 203-216.

- Yang, Y., Liao, C., Sha, Y., Pan, Z., Feng, G., & Ji, Z. (2008). Photosynthesis characteristics of three species of forages in the arid-hot valleys. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 13(3), 309-316.
- Zhang, W., Li, C., Qian, C., & Cao, L. (2009). Studies on the responses of root, shoot and drought resistance in the seedlings of forage triticale to water stress. *Journal of Agricultural Science*, 1(2), 50.

BÖLÜM 8

BUĞDAY (*Triticum aestivum*)

Prof. Dr. Yaşar KARADAĞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493095>

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ereğli Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü
Konya, Türkiye. yasar.karadag@erbakan.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0523-9470

1. BUĞDAY (*Triticum aestivum*)

Buğday (*Triticum aestivum*), ılıman iklimlerde insan tüketimi ve hayvan yemi olarak kullanılan en önemli üründür. Bu başarının temelinde, yüksek uyum yeteneği ve verim potansiyeli yatmaktadır. Buğday, İskandinavya ve Rusya'nın 67°K enlemlerinden başlayarak, tropik ve subtropik bölgelerdeki yüksek alanlar da dahil olmak üzere Arjantin'in 45°G enlemlerine kadar uzanan yetiştirme alanıyla benzersizdir. Ayrıca, genetik çeşitlilik yelpazesi açısından da rakipsizdir (Shewry, 2009).

Beş kıtada ve diğer tüm bitkilerden daha geniş çevresel koşullarda yetiştirilen buğday, çeşitli sınır ötesi hastalıklara ve abiyotik stres faktörlerine, özellikle yüksek sıcaklık ve kuraklık gibi koşullara maruz kalmaktadır. Bu stres faktörlerine karşı direnç, verim istikrarını sağlama çabalarının önemli bir unsuru olup, dünya genelindeki buğday üreticileri tarafından en çok talep edilen özelliklerden biridir (Dirik ve ark., 2019; Soylu ve ark., 2021; Çobanoğlu, 2022; Reynolds & Braun, 2022).

Buğdayın ilk yetiştirilmesi, avcılık ve toplayıcılıktan yerleşik tarıma geçişi temsil eden "Neolitik Devrim" sürecinin bir parçası olarak yaklaşık 10.000 yıl önce gerçekleşmiştir. İlk yetiştirilen formlar arasında diploid (genom AA) einkorn ve tetraploid (genom AABB) emmer buğdayları yer almakta olup, genetik analizler bu formların Türkiye'nin güneydoğu bölgesinden köken aldığını göstermektedir (Dubcovsky ve Dvorak, 2007). Yetiştirme faaliyetleri, yaklaşık 9.000 yıl önce hekzaploid ekmek buğdayının ilk kez ortaya çıkışıyla Yakın Doğu'ya kadar yayılmıştır. 2020 ve 2021 yılları arasında dünya genelindeki yıllık buğday üretimi, Çin ve Hindistan gibi en büyük iki üreticinin katkılarıyla 770 milyon ton ile rekor seviyeye ulaşmıştır (Levy ve Feldman, 2022).

Triticum aestivum, temel bir tarım ürünü olup dünya genelinde en çok tüketilen tahıl türüdür. Dünya çapında yetiştirilen buğdayın %90'ından fazlası *Triticum aestivum* türüne aittir. Buğday, ekmek, kek, pasta, bisküvi, kıvam arttırıcılar ve erişte gibi çeşitli gıda ürünlerinin üretiminde kullanılmaktadır (Uthayakumaran & Wrigley, 2010).

Buğday tanesi, bütün halde veya öğütülerek, ayrıca işleme sürecinde ortaya çıkan yan ürünlerle birlikte, çiftlik hayvanlarının beslenmesinde değerli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra, buğdayın bir kısmı ot olarak biçilmektedir. Kışlık buğday, çift amaçlı bir ürün olarak yetiştirilir;

hem sonbahar ve ilkbahar başında otlak olarak kullanılabilir hem de yaz aylarında tahıl ürünü olarak hasat edilebilir (Edde, 2022).

Tahıl yemleri, entegre ürün-hayvancılık faaliyetlerinde yer alan üreticiler için büyük önem taşımaktadır. Kurak koşullarda yetiştirilen kışlık buğday, ilkbahar buğdayı ve arpa genellikle acil durum yemi olarak hasat edilmektedir. Bu uygulama, yıl boyunca değişken beslenme ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yaz ürünleri arasındaki boşlukları doldurma potansiyeline sahiptir ve hayvancılık sınıflarında yüksek kaliteli yem sağlanmasını mümkün kılmaktadır (Marsalis ve ark., 2020).

Buğday ve yulaf, at ve inek samanı pazarlarında popüler seçenekler olarak öne çıkmaktadır. Yerel mandıralara satış amacıyla silaj üretimi için küçük taneli ürünlerin yetiştirilmesi, çiftçiler için karlı bir alternatif sağlayabilir. Buğday, çift amaçlı kullanım potansiyeliyle küçük taneli ürünler arasında belki de en esnek olanıdır ve yetiştiricilere pazarlama ve hasat konusunda çeşitli seçenekler sunmaktadır. Tahıl piyasası fiyatlarının düşük olduğu dönemlerde, yetiştiriciler buğday ürünlerini ot veya silaj olarak satmanın avantajlarını değerlendirebilirler. Ayrıca, yem için erken hasat yapılarak dolu, kuraklık ve sert rüzgarlar gibi olumsuz hava koşulları önlenabilir ve çift ürün elde etme fırsatı doğabilir. Buğday, soğuğa yüksek derecede dayanıklılığı sayesinde sonbaharda geniş bir zaman aralığında ekilebilmektedir (Marsalis ve ark., 2020).

Dane veya yem için hasat edilen tahıllar, kurak alanlarda sürekli yeniden ekime kıyasla yaz nadasından sonra daha yüksek verim sağlamaktadır. Kış tahılları, genellikle daha etkin su kullanım etkinliği sayesinde, ilkbahar tahıllarına kıyasla daha yüksek yem üretim potansiyeline sahiptir. Tahıldan yem üretiminin önemli bir avantajı, özel ekipman gerektirmemesi olarak öne çıkmaktadır. Nem koşullarından en iyi şekilde faydalanabilmek için tohum ekimi mümkün olduğunca erken yapılmalı ve tohum işlemleri önerilmektedir. Erken ekim, rekabetçi bir ürün yetiştirilmesine olanak tanımakta ve çoğu bitki tohumu üretiminden önce zamanında hasat yapılmasını sağlamaktadır (Gill & Tuteja, 2010; Marsalis ve ark., 2020).

Tahıl yemleri, tahıl gelişiminin süt olum aşamasına geçişi sırasında hasat edilerek optimum yem verimi ve kalitesine ulaşılabilir. Silaj, yemi koruma ve daha verimli yem kullanımı sağlama açısından ideal bir seçenektir; ancak bu, kurak arazi çiftliklerinde sınırlı bir uygulama alanına sahiptir. Kışlık tahıllar,

genellikle ilkbahar tahıllarına kıyasla daha fazla verim sağlamaktadır ve aynı alanda ilkbaharda ekilen tahıllardan yaklaşık 10-20 gün önce ideal hasat aşamasına ulaşmaktadır (Gill & Tuteja, 2010; McCartney ve Fraser, 2010).

Tahıl yemlerinin önemli bir dezavantajı ise toksik nitrat birikimi riskidir. Kuraklık veya don gibi stresli yetiştirme koşulları altında yetişen birçok bitkide nitrat seviyeleri, sığır ve koyunlarda düşük yapma ve ölüme yol açabilecek düzeylere ulaşabilmektedir. Nitrat konsantrasyonları, genellikle erken vejetatif büyüme döneminde bitkilerde veya yabani otlarda yüksektir ve normal olgunlaşma koşullarında genellikle azalır (Cash ve ark., 2007; Reynolds & Drewnoski, 2022).

Sıcak hava dalgaları ve kuraklık, buğday için en zararlı iklim stres faktörleri arasında yer almaktadır (Zampieri ve ark., 2017). Sınırlı yağış ve artan sıcaklık, genellikle buğday yetiştiriciliği yapılan bölgelerde tane dolum aşamasında ortaya çıkmaktadır (Plaut ve ark., 2004). Kuraklık stresi, çimlenme döneminden olgunlaşmaya kadar buğday büyümesinin tüm yönlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum, tohum çimlenmesi, fide büyümesi, kuru madde bölünmesi, kök büyümesi, kök derinliği ve kök uzaması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Lonbani ve Arzani, 2011).

Su eksikliğinin etkilediği buğdayın morfolojik özellikleri, yaprak şekli, alanı, genişlemesi, boyutu, mumsuluk, tüylenme, yaşlanma ve kütikül dayanıklılığı gibi çeşitli yaprak karakteristiklerini içermektedir. Kök özellikleri ise uzunluk, yoğunluk, taze ve kuru ağırlık gibi kriterlerle değerlendirilmektedir (Nezhadahmadi ve ark., 2013). Kurak koşullar, fotosistem II'nin elektron taşınımını yavaşlatmakta ve buğday yapraklarının nisbi nem içeriğini azaltmaktadır (Zivcak ve ark., 2013). Kuraklık, çözünen maddelerin birikmesine neden olarak yaprak su potansiyelini düşürmekte; bu özellik ise genotipler arasında farklılık gösterebilmektedir (Nawaz ve ark., 2014). Blum (2017), kuraklık stresine adaptasyonda osmotik ayarlamaların kritik bir mekanizma olduğunu belirtmektedir. Bu mekanizma, bitkilerin kuraklık koşullarında büyümeye devam etmesine olanak sağlar. Farooq ve ark. (2012), su eksikliği durumunda stomaların kapanmasının buğdaydaki fotosentez oranı üzerindeki olumsuz etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Araştırmalar, stomal düzenlemelerin buğdayın karbon asimilasyonu ve su kullanım verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Yaprak su potansiyeli, stoma iletkenliği, net fotosentez oranı ve terleme oranı gibi gaz değişim özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İlkbahar buğdayında, yaprak su potansiyelinin azalması, stoma iletkenliği ve terleme oranında düşüşe neden olmaktadır (Liang ve ark., 2002). Yaprak mumsuluğu ve trikom yoğunluğu, su kaybını azaltarak uzun süreli kuraklık koşullarına karşı koruma sağlamaktadır (Bowne ve ark., 2012).

Nispi su içeriği (RWC), su açığı bulunan buğday bitkilerinde yaprak su potansiyeline kıyasla su durumunu değerlendiren önemli bir göstergedir (Lugojan ve Ciulca, 2011). Bu özellik, kuraklığa dayanıklı buğday çeşitlerinin seçimi için kullanılmıştır (Bayoumi ve ark., 2008). Bitki büyümesinin geç evresinde (çıkıştan altı hafta sonra) uygulanan kuraklık, erken dönemde (fide çıkışından üç hafta sonra) uygulanan kuraklığa kıyasla su ilişkileri, besin alımı, büyüme ve verim üzerinde daha olumsuz etkilere neden olmaktadır (Nawaz ve ark., 2014). Kuraklık, çiçeklenme aşamasında buğday çeşitlerinin klorofil içeriğini, membran stabilitesini ve nispi su içeriğini önemli ölçüde azaltmaktadır (Moayedi ve ark., 2010).

Siddique ve ark. (2000), dört ekmeklik buğday genotipinde kuraklık stresinin nispi su içeriğini %43 oranında (88'den 45'e) azalttığını gözlemlemiştir. RWC'nin azalması stomaların kapanmasına neden olur, bu da fotosentez oranını olumsuz etkiler. Su kıtlığı ozmotik düzenlemeyi engellerken, dönüşümlü kuruma ve tekrar sulama uygulamaları kuraklık koşullarında bitkinin su kullanım verimliliğini artırarak ozmotik düzenlemeyi teşvik etmektedir (Keyvan, 2010).

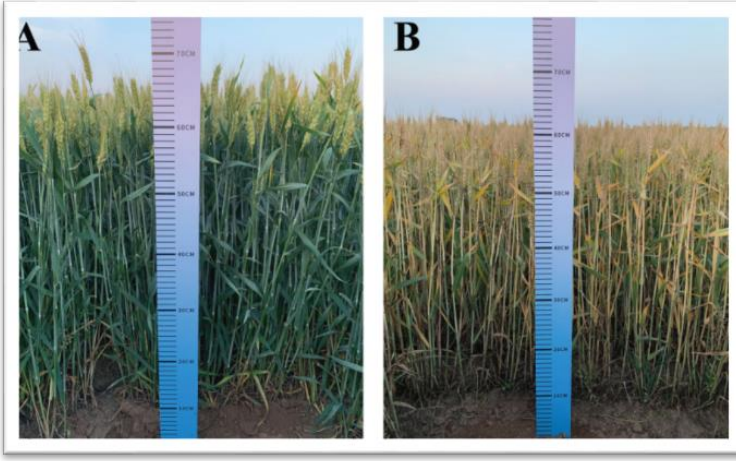
Kuraklığa dayanıklı genotipler, sınırlı suyun protoplazmik yapılar üzerinde daha az etki yapmasını sağlayarak yüksek turgor potansiyeli ve bağlı su içeriğini koruyabilmektedir. Buna karşın, hassas genotiplerde nispi su içeriği ile fotosentez hızı arasında pozitif bir korelasyon gözlenmektedir (Moayedi ve ark., 2010). Şiddetli kuraklık stresi, buğdayda yaprak klorofil içeriğini (Fotovat ve ark., 2007) ve yaprak fotosentezini (Prasad ve ark., 2011) önemli ölçüde azaltmaktadır. Klorofil içeriğinin azalması, yaprak yaşı ile bağlantılı olup; genç yapraklarda klorofil sentezi enzim aktivasyonu ile artarken, yaşlı yapraklarda su eksikliğine bağlı olarak klorofilaz aktivasyonu ve enzim inaktivasyonu nedeniyle %13-15 oranında azalma görülmektedir (Nikolaeva ve ark., 2010).

Dokuz farklı buğday genotipinin fizyolojik performansı, yağışa dayalı koşullarda değerlendirilmiş hem vejetatif hem de çiçeklenme dönemlerinde

duyarlı ve toleranslı genotipler arasında klorofil içeriğinde önemli bir fark bulunmamış, ancak çiçeklenme evresi en düşük klorofil içeriği ile sonuçlanmıştır (Almeselmani ve ark., 2011). Klorofil içeriğindeki farklılıklar, yalnızca kuraklık stresinden değil, aynı zamanda genotipler arasındaki değişikliklerden de kaynaklanmaktadır. Yüksek klorofil içeriği, su eksikliği koşullarında daha yüksek tohum verimi ile ilişkilendirilmiştir (Arjenaki ve ark., 2012). Kılıç ve Tacettin (2010), kuraklık stresinin 14 makarnalık buğday çeşidi üzerindeki etkisini değerlendirmiş; tane verimi ile klorofil içeriği, tane doldurma süresi ve başak başına tane sayısı arasında pozitif bir korelasyon tespit etmiştir.

Tilakoid zar proteinlerinin yüksek fonksiyonel kararlılığı ve artan antioksidan kapasitesi, stay green buğday mutanti olan tasgl'de su eksikliği toleransını artırmaktadır (Tian ve ark., 2013). Bitkilerin savunma mekanizmalarından biri olan ozmotik ayarlama, kuraklık toleransını geliştirerek hücre genişlemesi ve bitki büyümesine olanak tanımaktadır. Ayrıca stomaların kısmen açık kalmasına ve su eksikliği sırasında CO₂ fiksasyonunun devam etmesine izin vermektedir. Ozmolit birikimi, hücrelerin susuzluk koşullarını yönetmesine ve zarın yapısal bütünlüğünü koruyarak kuraklık ile hücresel susuzluğa karşı dayanıklılığı artırmasına katkı sağlar (Loutfy ve ark., 2012).

Su eksikliği koşullarında kökler, su arayışında büyümeye devam ederken, yapraklar ve sürgünler gibi toprak üstü organların büyümesi kısıtlanmaktadır. Yüzey tabakasının gübre ile zenginleştirilmesi, derin kök gelişimi ve yüksek su emilimi sağlayarak buğdayın iyi tane verimi elde etmesine olanak tanıyabilir. Ancak gübrenin eşit olmayan şekilde uygulanması, kök büyümesi ve su emiliminde değişikliklere neden olabilir (Jin ve ark., 2015).



Şekil 1. Normal sulama (A) ve kuraklık stresi (B) altında tarlada kışlık buğdayın büyümesi.

Kaynak: Bao ve ark., 2023

Kökler, su eksikliği koşullarında derinlere, iyi sulanan koşullarda ise yüzeye yakın bölgelere hareket etmektedir (Pinto ve Reynolds, 2015). Kök-sürgün iletişiminin anlaşılması, kuraklığa dayanıklı buğday çeşitlerinin geliştirilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Su eksikliği altında, sürgün nem içeriğinin sabit kaldığı bitkilerde stoma iletkenliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Hidrolik olmayan kök kaynaklı sinyaller, köklerdeki su eksikliğini algılayarak bitkilerin bu durumu yaprak büyümesinde veya stoma iletkenliğinde değişiklik olarak ifade etmesine olanak tanır. Hidrolik olmayan sinyallerin daha erken başlamasını sağlayan çeşitlerin seçilmesi, buğdayda verim ve kuraklığa dayanıklılıkta ilerlemeler kaydedilmesini sağlayabilir (Liu ve ark., 2014).

Kök-sürgün oranı, ozmotik stres altında kök ve sürgünlerdeki absisik asit (ABA) konsantrasyonunun artmasıyla su emilimini destekler (Mahdid ve ark., 2011). ABA, kök gelişimini iyileştirirken su eksikliği koşullarında yaprak uzamasını ve genişlemesini değiştirerek bitki büyümesini düzenlemektedir (Farooq ve ark., 2014). Kök-sürgün yapısının genetik olarak iyileştirilmesi, su eksikliği altında buğdayda su ve mineral emilimini artırarak hasat endeksi ve verimi olumlu yönde etkileyebilir (Hendriks ve ark., 2016).

Düşük ışık ve düşük toprak nemi, kuraklık koşullarında buğday bitkisinin kök ve sürgün tepki mekanizmalarını artırmaktadır. Düşük ışık, fotosentezi desteklemek amacıyla yaprak sayısında artışa neden olurken, düşük

toprak nemi kök gelişimini teşvik ederek daha derin toprak katmanlarından su emilimini sağlayarak yüksek verimin korunmasına katkıda bulunur (Nagel ve ark., 2015).

Su stresi koşulları altında, kök büyümesi su arayışını sürdürürken sürgün büyümesi azalır. Buğdayda çift halka (double ridge) aşaması, başakçık oluşumunun başladığı dönemdir ve su eksikliğine karşı en hassas büyüme evresi olarak kabul edilir. Bu dönem, başakçık sayısını ve dolayısıyla başak başına düşen tohum sayısını etkileyerek verim kayıplarına yol açar. Su eksikliği ayrıca çiçeklenme ve tane doldurma dönemlerini etkileyerek tane veriminde azalmaya neden olur. Bitki boyu, biyokütle ve verim; başak sayısı ve 1000 tane ağırlığına kıyasla su eksikliğine daha hassas özellikler olarak belgelenmiştir (Ahmad ve ark., 2018).

Kışlık buğday merası, yaz aylarının başında serin mevsim yerel meralarında otlatma baskısını azaltmanın yanı sıra laktasyondaki hayvanlara yüksek kaliteli yem sağlayarak değerli bir yönetim aracı sunabilir. Sınırlı nem koşullarında yemin değeri genellikle tahılın ekonomik değerinden daha fazladır, bu nedenle mahsulün otlatılması ekonomik riskleri azaltabilir. Üretim sistemlerinin çeşitlendirilmesi, risklerin azaltılmasına ve kârın artırılmasına katkı sağlayabilir (Carr ve ark., 2021). Kuzey Amerika Büyük Ovaları, bu durum için örnek teşkil etmektedir. Kışlık buğday, yaklaşık 144 milyon hektarlık yarı kurak bir alanı kapsayan Büyük Ovalar bölgesinde kurak arazi mahsulü üretiminde baskındır (Rossum ve Lavin, 2000). 2017 yılında bu bölgede 7 milyon hektardan fazla sert kırmızı kışlık buğday (*Triticum aestivum*) ile 2 milyon hektar durum buğdayı (*T. turgidum*) ve sert kırmızı ilkbahar buğdayı yetiştirilmiştir (Carr ve ark., 2021).

Büyük Ovalar bölgesindeki iklim, soğuk kışlar ve ılık-yaz sıcaklıklarıyla karasal özelliklere sahiptir (Padbury ve ark., 2002). Kışlık buğday, ılıman sıcaklık rejimine sahip güney bölgelerde ekilirken, ilkbahar buğdayı çok soğuk iklime sahip kuzey bölgelerde yetiştirilmektedir (Hansen ve ark., 2012). Güney Büyük Ovalar'da kışlık buğday genellikle sap uzamasından önce ilkbahar aylarında otlatılmaktadır. Orta Büyük Ovalar'da ise tahıl hasadından sonra sığır otlatma ve tahıl mahsulleriyle dönüşümlü kullanılan örtü yem mahsulleri uygulamalarına ilgi artmıştır (Titlow ve ark., 2014).

Yulaf, çavdar, tritikale ve buğday gibi küçük taneli ürünler, Orta Büyük Ovalar'daki yem hayvancılığı sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu tahıllar,

kurak arazi yönetimi altında yetiştirildiğinde yüksek miktarda kaliteli yem sağlayabilir (Carr ve ark., 2021). Örneğin, Wyoming'de üç yıllık bir otlatma çalışmasında çavdar, tritikale ve buğday, hektar başına 5 Mg'dan daha yüksek yem verimi sağlamıştır (Islam ve ark., 2013). Güney Büyük Ovalar'da kışlık buğdayın çift amaçlı kullanımı (yem için otlatılan ve tahıl için hasat edilen) yaygın bir uygulamadır. Aynı uygulama, Orta Büyük Ovalar'ın güney bölgelerinde de popülerdir (Holman ve ark., 2010).

Örtü yem bitkileri, büyüme sezonu boyunca otlatılabilir. Örneğin, kışlık buğday veya tritikale gibi bir yıllık bitkilerle başlatılan süreç, arpa veya yulaf gibi ilkbahar ürünlerine, ardından sorgum, sudan otu ya da darı gibi yazlık ürünlere geçiş yaparak devam edebilir (Obour ve ark., 2019). Otlatma yemleri, silajlama veya balyalama maliyetlerini ortadan kaldırırsa da, sınırlı yemleme operasyonlarına (ör. besihane ve süt üretimi) bağlı olarak depolanmış yemlerin korunması genellikle gereklidir. Güney Büyük Ovalar'da kışlık buğday, genellikle çift amaçlı yem-tahıl ürünü olarak yetiştirilir. Bu bölgede kışlık buğdayın %30 ila %80'i, yemin yüksek besin değeri nedeniyle farklı oranlarda otlatılmaktadır (True ve ark., 2001). Çift amaçlı buğday, yalnızca tahıl yetiştiriciliğine kıyasla daha uzun bir büyüme dönemine olanak tanır. Bu sistemde genellikle buğday ekiminden 15-30 gün önce ekim yapılır (Zhang ve ark., 2008). Daha erken ekim, sığır otlatmasının Kasım ayı başında başlamasına ve Mart ayına kadar uzamasına olanak tanır. Ancak optimum stoklama oranı, çevresel ve yönetim faktörlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Carr ve ark., 2021). Ayrıca, çift kullanımlı yem-tahıl sisteminde kışlık buğday, yalnızca tahıl üretimine yönelik sistemlere kıyasla daha yüksek bir yoğunlukta ekilmektedir.

20. yüzyıl boyunca Büyük Ovalar bölgesinde buğdayı nadasla değiştirmek baskın kurak arazi tahıl üretim stratejisiydi (Tanaka ve ark., 2010). Bu sistemde, toprağın su almasını sağlamak için 14 ila 21 ay arasında değişen bir nadas dönemi sürdürülmüştür (Hansen ve ark., 2012). Kısmen, buğday-nadas sistemi yarı kurak bölgelerde düşük ve düzensiz yağış nedeniyle devam etmektedir ki bu da kurak yıllarda ürün kaybına neden olabilmektedir (Schillinger ve ark., 2003). Yarı kurak bölgelerde, buharlaşmanın büyüme mevsimi yağışını %400'e kadar aşabildiği kurak buğday verimini korumak için depolanmış toprak suyuna ihtiyaç vardır (Robinson ve Nielsen, 2015). Yabani

otlar kontrol edildiği sürece nadas döneminde toprak suyu geri kazanılabilir (Nielsen ve Calderón, 2011).

Güvenilir bir üretim için ekim ve otlatma döngülerinin iklim koşullarıyla uyumlu hale getirilmesi esastır (Franzluebbbers, 2007). Tahıl ve yem verimleriyle ilişkili riskler, değişken çevresel koşullara bağlı olarak dalgalanmaktadır (Clapham ve ark., 2008). Güney Büyük Ovalar'daki buğday meraları, her yıl bölgeye gelen sonbahar buzağıları için önemli bir yem kaynağıdır ve bu buzağılar, bölgenin merkezi besihanelerine gönderilmeden önce bu meralarda beslenmektedir (MacKown ve Carver, 2005). Kışlık tahıllar, otlayan sığırlar için oldukça lezzetli ve besleyici bir yem kaynağıdır. Mera olarak kullanılan kışlık buğday, hayvanlar üzerinde düşük maliyetli kilo artışı sağlarken, tahıl veriminden de ekonomik kazanç elde edilmesine olanak tanır (Iftikhar, 2002).

Çift amaçlı kullanım hedeflendiğinde kışlık buğday genellikle daha erken ekilmektedir. Daha erken ekim, yem üretimini ve otlatma süresini artırarak üreticilere avantaj sağlamaktadır (Iftikhar ve ark., 2002). Araştırmalar, otlatmanın (sonbahar, kış veya ilkbahar) yarı bodur çeşitlere kıyasla uzun boylu çeşitlerde sonraki tane verimine daha az zarar verdiğini göstermektedir. Otlatma sırasındaki büyüme aşaması ve yaprak dökülmesinin şiddeti, sonraki tane verimi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Üreticiler, otlatmayı erken kardeşlenme aşamasından önce sonlandırmalıdır. Otlatmadan sonra tane verimindeki artış genellikle yatma yüzdesinin azalmasıyla ilişkilendirilmektedir. Uzun boylu tahıl çeşitleri, aşırı kardeşlenme nedeniyle yatmaya daha yatkındır ve bu durum yarı bodur çeşitlere göre daha fazla sorun yaratabilmektedir (Hafla, 2008).

Buğdayda genetik verim potansiyelindeki artış, büyük ölçüde hasat endeksindeki yükselme, yani tahıllara bölünen toprak üstü asimilatlarının oranının artmasıyla ilişkilidir. Ürün büyümesinin tüm aşamalarında, kaynak organların fotosentetik aktivitesi, depo organlarının taleplerini doğrudan etkilemektedir (Evans & Wardlaw, 2017). Tane sayısı, buğday gibi önemli tahıl ürünlerinde doğrudan verimi artıran bir bileşendir. Tarihsel verim araştırmaları, tane verimindeki artışların, tane sayısındaki artışlarla paralel olduğunu göstermektedir. Polen gelişiminin genç mikrospor aşaması, buğdayda abiyotik streslere karşı son derece hassas bir dönemdir. Bu aşamadaki soğuk ve kuraklık stresi, polen sterilitesine yol açarak tane sayısını önemli ölçüde azaltmaktadır.

Terminal kuraklık, esas olarak tane sayısında azalmaya neden olmakta ve bu durum buğday veriminde ciddi kayıplara yol açmaktadır (Dolferus ve ark., 2011).

Kuraklık stresi, tane ağırlığı, biyolojik verim ve metrekare başına başak sayısı gibi verim bileşenleri üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Farnia ve Tork, 2015). Çiçeklenme aşamasından önce yaşanan su stresi, başak sayısında ve başak başına düşen tane sayısında azalmaya yol açmaktadır (Guttieri ve ark., 2001). Su stresi, özellikle çiçeklenme öncesi dönemde başak ve tane sayısını düşürmekte, daha sonraki aşamalarda ise başak başına düşen tane sayısında ve tane ağırlığında ek azalmalara neden olabilmektedir (Saeedipour, 2011).

Buğday, stomalar (boyut, sayı, açıklık); yaprak (alan, şekil, genişleme, yönelim, yaşlanma, tüylenme, mumsuluk, kütiküler dayanıklılık); kök (uzunluk, yoğunluk, kuru ağırlık); su kullanım verimliliği; bağıl su içeriği; evapotranspirasyon verimliliği; absisik asit seviyeleri; hücre zarı stabilitesi; ısı şoku proteinleri ve karbon izotop ayrımı gibi morfolojik ve fizyolojik karakterler açısından kuraklık toleransına özel ilgi görmektedir. Tane verimi ve verim bileşenleri gibi agronomik özellikler de kuraklığa toleransı değerlendirmek için kriter olarak kullanılmaktadır. Kuraklık stresine karşı tane verimi açısından en hassas büyüme dönemi, çift halka (double ridge) aşamasından çiçeklenme evresine kadar olan süreçtir. Bu dönem, başakçık sayısı ve başak başına tohum sayısı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle buğdayda önemli verim kayıplarına yol açmaktadır. Ek olarak, çiçeklenmeden olgunlaşmaya kadar geçen süreçte kuraklık stresi, tane dolum hızını ve süresini azaltarak tane veriminde düşüşlere neden olmaktadır. Başak başına tohum sayısı, kuraklığa dayanıklılık için kritik bir seçim kriteridir ve en çok etkilenen verim bileşenidir (Dencic ve ark., 2000).

Tohumların büyümesi, su stresi derecesi ve stresin gelişim hızına bağlı olarak sınırlandırılır. Stres kademeli değil, ani ve tane dolumunun erken aşamalarında meydana geldiğinde, bu düşüş daha şiddetli görülmektedir. Tane dolum aşamasındaki kuraklık stresi, erken yaşlanmaya neden olarak tane dolum süresini kısaltabilir (Plaut ve ark., 2004). Tane dolumu sırasında buğday sapı, suda çözünebilir aktarılabılır karbonhidratların geçici bir deposu olarak işlev görür. Normal koşullarda sap karbonhidrat içeriğinin nihai buğday veriminin %10 ila %12'sini; kuraklık ve ısı stresinde ise %40'tan fazlasını oluşturduğu

tahmin edilmektedir. Bu nedenle, sap uzunluğu, stres altında genotip seçimi için önemli bir kriterdir (Li ve ark., 2011).

Bitki başına kardeş sayısı, bitki başına tohum, 1000 tane ağırlığı, kılçık uzunluğu ve çiçek sapı uzunluğu gibi faktörler, buğdayın kuraklığa dayanıklılığını etkileyen önemli özelliklerdir (Nouri-Ganbalani ve ark., 2009). Prolin birikimi, kuraklık altındaki tahılların çoğunda ortak bir özellik olarak görülmektedir (Marcinška ve ark., 2013). Kuraklık stresi, buğday bitkilerinde yüksek prolin içeriği, düşük bağıl nem ve azalmış kuru madde üretimine neden olmaktadır (Tatar ve Gevrek, 2008). Buğday, özellikle yapraklarda diğer ozmoregülatörlerden daha fazla prolin biriktirir (Farshadfar ve ark., 2008). Prolin, ozmotik aktifliği sayesinde yararlı azotu depolar ve hücre zarı stabilitesini destekler (Bandurska ve ark., 2008). Aynı zamanda serbest radikalleri temizleyerek hücresel redoks potansiyelini dengeler ve buğday bitkilerinin abiyotik streslere karşı adaptasyonunu destekleyen mekanizmaları başlatır (Marcinška ve ark., 2013).

Buğday genotipleri, kuraklık stresine maruz kaldıklarında ön-çiçeklenme aşamasında çözünür şekerleri daha fazla biriktirir. Bu nedenle, kuraklığa dayanıklı çeşitlerin taranması için en uygun aşamalar, tane doldurma ve çiçeklenme sonrası dönemlerdir (Farshadfar ve ark., 2008). Yüksek ozmotik stres, buğdayda çözünür şekerlerin endojen seviyesini gram yaprak başına 1.49 mg'dan, -8 bar ozmotik stres altında 2.65 mg'a kadar artırabilmektedir (Qayyum ve ark., 2011). Yağışa dayalı koşullar altında buğdayda toplam proteinler ve tane verimi arasında önemli bir ilişki saptanmıştır (Farshadfar ve ark., 2008).

Silisyum, kuraklık koşullarında buğday bitkilerinde su durumu, yapraklardaki inorganik fosfat konsantrasyonu ve fosfoenolpiruvat (PEP) karboksilaz aktivitesini iyileştirerek fotosentetik gaz değişimini artırmaktadır. Silisyum, ayrıca antioksidan savunma mekanizmalarını destekleyerek kuraklık stresinin etkilerini hafifletmeye yardımcı olmaktadır (Gong ve Chen, 2012). Salisilik asit, bir fitohormon olarak bitki büyümesi ve gelişimi, etilen biyosentezi, stoma davranışı, çiçek indüksiyonu ve solunum üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Salisilik asitin dışarıdan uygulanması, kuraklık stresine karşı bitki toleransını artırabilir (Kang ve ark., 2013). Salisilik asit, ısı şoku proteinleri, osmotin ve patojenezle ilişkili proteinleri kodlayan genlerin ifadelerini değiştirerek abiyotik stresin etkilerinin azaltılmasında rol

oynayabilir. Fide aşamasında salisilik asit uygulamasının, su eksikliği altındaki buğday genotiplerinde ekonomik verimler sağlayabileceği bildirilmiştir (Loutfy ve ark., 2012). Ayrıca salisilik asit, buğday fidelerinin stresli ortam koşullarında büyümesini iyileştirme yeteneğine sahiptir.

Katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon peroksidaz (GPx) gibi antioksidan enzimlerin su stresine yanıt olarak üretimi, bitkilerde iyi bilinen bir adaptif mekanizmadır. Bitkiler, su stresi kaynaklı oksidatif hasara karşı peroksidaz ve glutatyonun aktivitesini artırarak savunma sağlamaktadır. APX, su eksikliği koşullarında kloroplasttaki süperoksit radikallerini ve H_2O_2 'yi temizleyen su-su ve askorbat-glutatyon (ASH-GSH) döngülerinin en önemli antioksidan enzimidir (Gill ve Tuteja, 2010). Kuraklık stresi, buğdayın antioksidan savunma sistemini düzenleyerek APX sentezini artırır ve bitki-su ilişkilerini etkiler (Selote ve ark., 2004). APX aktivitesi, buğday çeşitlerinde yaprak gelişim aşaması ve kuraklık süresine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Hafif kuraklığa maruz kalan bitkilerde yaprak APX aktivitesi artarken, uzun süreli su eksikliği malonik dialdehit (MDA) üretiminin artması nedeniyle bu aktiviteyi azaltmaktadır (Nikolaeva ve ark., 2010).

CAT ve POD gibi antioksidan enzimlerin eş zamanlı ve ardışık etkileri, değişen çevre koşullarında bitkilerin hayatta kalmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu enzimler, H_2O_2 'nin parçalanmasını sağlayarak reaktif oksijen türlerinin (ROS) düzenlenmesinde hayati öneme sahiptir (Sairam ve ark., 2005). Hidrojen peroksit temizleyicileri olan CAT ve POD, toksik seviyelerdeki H_2O_2 'yi suya ve oksijene dönüştürmektedir. Şiddetli kuraklık altında hassas buğday çeşitlerinde CAT aktivitesinde artış gözlemlenmiştir (Simova-Stoilova ve ark., 2010).

Askorbik asit, antioksidan özellikleriyle hücre bölünmesi, farklılaşma ve bitki büyümesi üzerinde önemli etkilere sahiptir (Athar ve ark., 2009). Yapraklara uygulanan askorbik asit, mineralleri çiçeklere taşıyarak ve CAT ile APX aktivitesini artırarak buğday verimini ve klorofil içeriğini iyileştirmiştir (Hafez ve Gharib, 2016). Ozmoprotektanlarla tohum aşılama, nükleik asitlerin korunması, protein sentezinin artırılması ve hücre zarlarının onarılması yoluyla buğdayda kuraklık etkilerini azaltmada başarılı olmuştur (Hameed ve Iqbal, 2014; Malik ve ark., 2015).

Bakteriyel aşılama, su eksikliğinin etkilerini hafifletmek için etkili bir yaklaşımdır. *Azospirillum brasilense* NO40 ve *Bacillus amyloliquefaciens* ile aşılana buğday, kuraklık stresi sırasında aktive olan enzimlerin transkript seviyelerini azaltmıştır. Bu, söz konusu bakterilerin bitkiler üzerindeki morfolojik, fizyolojik ve metabolik etkileriyle ilişkilendirilmiştir (Kasim ve ark., 2013). Endofitik aktinobakterilerle yapılan aşılama, bitki hormonları üreterek ve toprak mineralizasyonunu artırarak buğday veriminde artış sağlamıştır (Yandigeri ve ark., 2012). *Burkholderia phytofirmans* PsJN suşu ile yapılan aşılama, kuraklığın bağıl su içeriği (RWC) ve CO₂ asimilasyon oranı üzerindeki şiddetli etkilerini azaltarak fotosentez, su kullanım verimliliği (WUE) ve klorofil içeriğinde iyileşme sağlamıştır (Naveed ve ark., 2014).

Kuraklık ön uygulaması, bitkilerin hafif su eksikliğine maruz bırakılması ile şiddetli kuraklık koşullarına adaptasyonu teşvik etmektedir. Bu uygulama, protein ekspresyonunu ve askorbat peroksidaz aktivitesini artırarak kuraklık altında tane doldurma dönemindeki verimi artırmıştır (Wang ve ark., 2014). Hormonal astarlama da kuraklığın olumsuz etkilerini hafifletmek için kullanılmakta; spermidin (SPD) ve spermin (SPM) gibi poliaminler, su eksikliği altında endojen etilen (ETH), absisik asit (ABA) ve Zeatin (Z) + Zeatin ribozidi (ZR) ile bağlantılı olarak olumlu etkiler göstermektedir (Liu ve ark., 2016).

Son olarak, magnezyum, potasyum, kalsiyum gibi minerallerin uygulanması, şiddetli kuraklık koşullarında buğdayda üretilen ROS'un temizlenmesine yardımcı olmaktadır. Yapraktan uygulanan potasyumun, kuraklığa dayanıklılık artırmada etkili olduğu bildirilmiştir (Aown ve ark., 2012).

Malik ve ark. (2015), buğdayda askorbik asit uygulama yöntemlerinin etkinliğini incelemiş ve askorbik asidin köklendirme ortamına uygulanmasının en etkili yöntem olduğunu, bunu yaprak uygulaması ve tohum ön uygulamasının takip ettiğini bildirmiştir. Bunun yanı sıra, buğday tohumunun organik bir ozmolit olan Glisinobetain ile muamele edilmesi (Mahmood ve ark., 2009) ve yaprak uygulamasının (Ma ve ark., 2006) da kuraklık stresinin etkilerini azaltmada etkili olduğu rapor edilmiştir.

Su kullanımı (WU), su kullanım verimliliği (WUE) ve hasat indeksi (HI), su eksikliği koşullarında yüksek buğday verimi elde etmek için temel parametreler olarak kabul edilmektedir (Lopes ve ark., 2014). Kuraklık

koşullarında terleme verimliliğindeki artış, buğdayın WUE'sini artırarak daha yüksek HI'ye ve dolayısıyla daha yüksek verime yol açmaktadır (Siahpoosh ve ark., 2011). Xue ve ark. (2014), su eksikliği koşullarında buğdayın verimi ve WUE'sini incelemiş ve yeni buğday genotiplerinin yüksek WUE, biyokütle ve verim özellikleri sergilediğini bildirmiştir. Bu genotiplerin, daha fazla başak/m² ve daha yüksek 1000 tane ağırlığına sahip oldukları gözlemlenmiştir. Varga ve ark. (2015), kısa vejetasyon dönemine sahip buğday genotiplerinin (düşük WUE ve daha az verim), uzun vejetasyon dönemine sahip genotiplere (yüksek WUE ve daha fazla verim) kıyasla su eksikliğinden daha ciddi şekilde etkilendiklerini belirtmiştir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, Z., Waraich, E. A., Akhtar, S., Anjum, S., Ahmad, T., Mahboob, W., ... & Rizwan, M. (2018). Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 1-13.
- Almeselmani, M., Abdullah, F., Hareri, F., Naaesan, M., Ammar, M. A., ZuherKanbar, O., & Saud, A. A. (2011). Effect of drought on different physiological characters and yield component in different varieties of Syrian durum wheat. *Journal of Agricultural Science*, 3(3), 127.
- Aown, M., Raza, S., Saleem, M. F., Anjum, S. A., Khaliq, T., & Wahid, M. A. (2012). Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *J Anim Plant Sci* 22:431–437.
- Arjenaki, F. G., Jabbari, R., & Morshedi, A. (2012). Evaluation of drought stress on relative water content, chlorophyll content and mineral elements of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Int J Agric Crop Sci* 4:726–729.
- Athar, H. U. R., Khan, A., & Ashraf, M. (2009). Inducing salt tolerance in wheat by exogenously applied ascorbic acid through different modes. *Journal of plant nutrition*, 32(11), 1799-1817.
- Bandurska, H., Gorny, A., & Zielezinska, M. (2008). Effects of water deficit on the relative water content, proline accumulation and injury of cell membranes in leaves of old and modern cultivars of winter wheat. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 524.
- Bao, X., Hou, X., Duan, W., Yin, B., Ren, J., Wang, Y., ... & Zhen, W. (2023). Screening and evaluation of drought resistance traits of winter wheat in the North China Plain. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1194759.
- Bayoumi, T. Y., Eid, M. H., & Metwali, E. M. (2008). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 7(14).
- Bowne, J. B., Erwin, T. A., Juttner, J., Schnurbusch, T., Langridge, P., Bacic, A., & Roessner, U. (2012). Drought responses of leaf tissues from wheat

- cultivars of differing drought tolerance at the metabolite level. *Molecular plant*, 5(2), 418-429.
- Blum, A. (2017). Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. *Plant, cell & environment*, 40(1), 4-10.
- Carr, P. M., Bell, J. M., Boss, D. L., DeLaune, P., Eberly, J. O., Edwards, L., ... & Xue, Q. (2021). Annual forage impacts on dryland wheat farming in the Great Plains. *Agronomy Journal*, 113(1), 1-25.
- Cash, S. D., Surber, L. M., & Wichman, D. M. (2007). Annual forage production in drought. In *Proc. Idaho Alfalfa and Forage Conf., Twin Falls, ID* (pp. 26-27).
- Clapham, W. M., Fedders, J. M., Abaye, A. O., & Rayburn, E. B. (2008). Forage pasture production, risk analysis, and the buffering capacity of triticale. *Agronomy Journal*, 100(1), 128-135.
- Çobanoğlu, M. S. (2022). Bazı buğday çeşitlerinde kuraklık stresinin önlenmesinde kullanılabilecek farklı yöntemler. *Muş Alparslan University Journal of Agriculture and Nature*, 2(2), 83-91.
- Dencic, S., Kastori, R., Kobiljski, B., & Duggan, B. (2000). Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica*, 113, 43-52.
- Dirik, K.Ö., Saygılı, İ., Özkurt M., & Sakin, M.A. (2018). Bazı yerel ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotiplerinin ozmotik stres altında erken gelişme dönemindeki kuraklık toleransının belirlenmesi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(2), 95-101.
- Dolferus, R., Ji, X., & Richards, R. A. (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant science*, 181(4), 331-341.
- Dubcovsky, J., & Dvorak, J. (2007). Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science*, 316(5833), 1862-1866.
- Edde, P. A. (2022). Arthropod Pests of Small Grains: Wheat (*Triticum Aestivum* L.) and Barley (*Hordeum Vulgare* L.). *Field Crop Arthropod Pests of Economic Importance; Elsevier: London, UK*, 536-611.
- Evans, L. T., & Wardlaw, I. F. (2017). Wheat. In *Photoassimilate Distribution Plants and Crops Source-Sink Relationships* (pp. 501-518). Routledge.

- Farnia, A., & Tork, A. (2015). Changes in yield and yield components of wheat cultivars under water stress condition. *International Journal of Life Sciences*, 9(5), 103-107. <https://doi.org/10.3126/ijls.v9i5.12707>.
- Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Drought stress in plants: an overview. *Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features*, 1-33.
- Farooq, M., Hussain, M., & Siddique, K. H. (2014). Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical reviews in plant sciences*, 33(4), 331-349.
- Farshadfar, E., Ghasempour, H., & Vaezi, H. (2008). Molecular aspects of drought tolerance in bread wheat (*T. aestivum*). *Pakistan journal of biological sciences: PJBS*, 11(1), 118-122.
- Fotovat, R., Valizadeh, M., & Toorchi, M. (2007). Association between water-use efficiency components and total chlorophyll content (SPAD) in wheat (*Triticum aestivum* L.) under well-watered and drought stress conditions. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 5(3/4), 225.
- Franzluebbers, A. J. (2007). Integrated crop–livestock systems in the southeastern USA. *Agron. J.* 99:361-372.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, 48(12), 909-930.
- Gong, H., & Chen, K. (2012). The regulatory role of silicon on water relations, photosynthetic gas exchange, and carboxylation activities of wheat leaves in field drought conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34, 1589-1594.
- Guttieri, M. J., Stark, J. C., O'Brien, K., & Souza, E. (2001). Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop science*, 41(2), 327-335.
- Hafez, E. M., & Gharib, H. S. (2016). Effect of exogenous application of ascorbic acid on physiological and biochemical characteristics of wheat under water stress. *International Journal of plant production*, 10(4), 579-596.
- Hafla, A. N. (2008). *Winter cereals as a pasture-hay system in Montana* (Doctoral dissertation, Montana State University-Bozeman, College of Agriculture).

- Hameed, A., & Iqbal, N. (2014). Chemo-priming with mannose, mannitol and H₂O₂ mitigate drought stress in wheat. *Cereal Research Communications*, 42(3), 450-462.
- Hansen, N. C., Allen, B. L., Baumhardt, R. L., & Lyon, D. J. (2012). Research achievements and adoption of no-till, dryland cropping in the semi-arid US Great Plains. *Field Crops Research*, 132, 196-203.
- Hatfield, J. L., & Sauer, T. J. (2020). *Soil management: building a stable base for agriculture*. John Wiley & Sons.
- Hendriks, P. W., Kirkegaard, J. A., Lilley, J. M., Gregory, P. J., & Rebetzke, G. (2016). A tillering inhibition gene influences root-shoot carbon partitioning and pattern of water use to improve wheat productivity in rainfed environments. *Journal of experimental botany*, 67(1), 327-340.
- Holman, J. D., Thompson, C. R., Hale, R. L., & Schlegel, A. J. (2010). Forage yield and nutritive value of hard red and hard white winter wheat. *Agronomy journal*, 102(2), 759-773.
- Islam, M. A., Obour, A. K., Nachtman, J. J., Baumgartner, R. E., & Saha, M. C. (2013). Small grains have forage production potential and nutritive value in Central High Plains of Wyoming. *Forage & Grazinglands*, 11(1), 1-10.
- Jin, K., Shen, J., Ashton, R. W., White, R. P., Dodd, I. C., Parry, M. A., & Whalley, W. R. (2015). Wheat root growth responses to horizontal stratification of fertiliser in a water-limited environment. *Plant and Soil*, 386, 77-88.
- Kang, G. Z., Li, G. Z., Liu, G. Q., Xu, W., Peng, X. Q., Wang, C. Y., ... & Guo, T. C. (2013). Exogenous salicylic acid enhances wheat drought tolerance by influence on the expression of genes related to ascorbate-glutathione cycle. *Biologia plantarum*, 57(4), 718-724.
- Kasim, W. A., Osman, M. E., Omar, M. N., Abd El-Daim, I. A., Bejai, S., & Meijer, J. (2013). Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. *Journal of plant growth regulation*, 32, 122-130.
- Keyvan, S. (2010). The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *J. Anim. Plant Sci*, 8(3), 1051-1060.
- Khalil, I. H., Carver, B. F., Krenzer, E. G., MacKown, C. T., & Horn, G. W. (2002). Genetic trends in winter wheat yield and test weight under dual-

- purpose and grain-only management systems. *Crop Science*, 42(3), 710-715.
- Kilic, H., & Yağbasanlar, T. (2010). The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), 164-170.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated.
- Levy, A. A., & Feldman, M. (2022). Evolution and origin of bread wheat. *The Plant Cell*, 34(7), 2549-2567.
- Li, P., Chen, J., & Wu, P. (2011). Agronomic characteristics and grain yield of 30 spring wheat genotypes under drought stress and nonstress conditions. *Agronomy Journal*, 103(6), 1619-1628.
- Liang, Z., Zhang, F., Shao, M., & Zhang, J. (2002). The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum*). *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 43.
- Liu, X. E., Jiang, H. M., Kong, H. Y., Sun, G. J., Cheng, Z. G., Batool, A., ... & Li, X. (2014). Eco-physiological role of root-sourced signal in three genotypes of spring wheat cultivars: a cue of evolution. *Pak J Bot*, 46, 1217-1224.
- Liu, Y., Liang, H., Lv, X., Liu, D., Wen, X., & Liao, Y. (2016). Effect of polyamines on the grain filling of wheat under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 100, 113-129.
- Lonbani, M., & Arzani, A. (2011). Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. *Agronomy research*, 9(1-2), 315-329.
- Lopes, M. S., Rebetzke, G. J., & Reynolds, M. (2014). Integration of phenotyping and genetic platforms for a better understanding of wheat performance under drought. *Journal of experimental botany*, 65(21), 6167-6177.
- Loutfy, N., El-Tayeb, M. A., Hassanen, A. M., Moustafa, M. F., Sakuma, Y., & Inouhe, M. (2012). Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four

- different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of plant research*, 125, 173-184.
- Lugoian, C., & Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 15(2), 173-177.
- Ma, Q. Q., Wang, W., Li, Y. H., Li, D. Q., & Zou, Q. (2006). Alleviation of photoinhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliar-applied glycinebetaine. *Journal of plant physiology*, 163(2), 165-175.
- MacKown, C. T., & Carver, B. F. (2005). Fall forage biomass and nitrogen composition of winter wheat populations selected from grain-only and dual-purpose environments. *Crop Science*, 45(1), 322-328.
- Mahdid, M., Kameli, A., Ehlert, C., & Simonneau, T. (2011). Rapid changes in leaf elongation, ABA and water status during the recovery phase following application of water stress in two durum wheat varieties differing in drought tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(10), 1077-1083.
- Mahmood, T., Ashraf, M., & Shahbaz, M. (2009). Does exogenous application of glycinebetaine as a pre-sowing seed treatment improve growth and regulate some key physiological attributes in wheat plants grown under water deficit conditions. *Pak J Bot*, 41(3), 1291-1302.
- Malik, S. M., Muhammad Ashraf, M. A., Muhammad Arshad, M. A., & Malik, T. A. (2015). Effect of ascorbic acid application on physiology of wheat under drought stress. *Pak J Agric Sci* 52:209–217.
- Marcińska, I., Czyczyło-Mysza, I., Skrzypek, E., Filek, M., Grzesiak, S., Grzesiak, M. T., ... & Quarrie, S. A. (2013). Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in drought-susceptible and drought-resistant wheat genotypes. *Acta physiologiae plantarum*, 35, 451-461.
- Marsalis, M. A., Lauriault, L. M., & Gifford, C. (2020). *Forage selection and establishment for irrigated pastures and hay in New Mexico*. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences.
- McCartney, D., & Fraser, J. (2010). The potential role of annual forage legumes in Canada: A review. *Canadian Journal of Plant Science*, 90(4), 403-420.

- Moayedi, A. A., Boyce, A. N., & Barakbah, S. S. (2010). The performance of durum and bread wheat genotypes associated with yield and yield component under different water deficit conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(1), 106-113.
- Nagel, K. A., Bonnett, D., Furbank, R., Walter, A., Schurr, U., & Watt, M. (2015). Simultaneous effects of leaf irradiance and soil moisture on growth and root system architecture of novel wheat genotypes: implications for phenotyping. *Journal of experimental botany*, 66(18), 5441-5452.
- Naveed, M., Hussain, M. B., Zahir, Z. A., Mitter, B., & Sessitsch, A. (2014). Drought stress amelioration in wheat through inoculation with Burkholderia phytofirmans strain PsJN. *Plant Growth Regulation*, 73, 121-131.
- Nawaz, F., Ashraf, M. Y., Ahmad, R., Waraich, E. A., & Shabbir, R. N. (2014). Selenium (Se) regulates seedling growth in wheat under drought stress. *Advances in Chemistry*, 2014(1), 143567.
- Nezhadahmadi, A., Prodhan, Z. H., & Faruq, G. (2013). Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*, 2013(1), 610721.
- Nikolaeva, M. K., Maevskaya, S. N., Shugaev, A. G., & Bukhov, N. G. (2010). Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57, 87-95.
- Nouri-Ganbalani, A., Nouri-Ganbalani, G., & Hassanpanah, D. (2009). Effects of drought stress condition on the yield and yield components of advanced wheat genotypes in Ardabil, Iran. *J Food Agric Environ* 77:228–234.
- Obour, A. K., Holman, J. D., & Schlegel, A. J. (2019). Seeding rate and nitrogen application effects on oat forage yield and nutritive value. *Journal of plant nutrition*, 42(13), 1452-1460.
- Padbury, G., Waltman, S., Caprio, J., Coen, G., McGinn, S., Mortensen, D., ... & Sinclair, R. (2002). Agroecosystems and land resources of the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 94(2), 251-261.
- Pinto, R. S., Reynolds, M. P., Mathews, K. L., McIntyre, C. L., Olivares-Villegas, J. J., & Chapman, S. C. (2010). Heat and drought adaptive QTL

- in a wheat population designed to minimize confounding agronomic effects. *Theoretical and applied genetics*, 121, 1001-1021.
- Plaut, Z., Butow, B. J., Blumenthal, C. S., & Wrigley, C. W. (2004). Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research*, 86(2-3), 185-198.
- Prasad, P. V. V., Pisipati, S. R., Momčilović, I., & Ristic, Z. (2011). Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(6), 430-441.
- Qayyum, A., Razzaq, A., Ahmad, M., & Jenks, M. A. (2011). Water stress causes differential effects on germination indices, total soluble sugar and proline content in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 10(64), 14038-14045.
- Reynolds, M. P., & Braun, H. J. (2022). *Wheat improvement: food security in a changing climate* (p. 629). Springer Nature.
- Reynolds, M. B., & Drewnoski, M. E. (2022). Is it time to rethink our one-size-fits-all approach to nitrate toxicity thresholds in forages?. *Translational Animal Science*, 6(1), txac023.
- Robinson, C., & Nielsen, D. (2015). The water conundrum of planting cover crops in the Great Plains: When is an inch not an inch?. *Crops & Soils*, 48(1), 24-31.
- Rossum, S., & Lavin, S. (2000). Where are the Great Plains? A cartographic analysis. *The Professional Geographer*, 52(3), 543-552.
- Saeedipour, S. (2011). Effect of drought at the post-anthesis stage on remobilization of carbon reserves in two wheat cultivars differing in senescence properties. *African Journal of Biotechnology*, 10(18), 3549.
- Sairam, R. K., Srivastava, G. C., Agarwal, S., & Meena, R. C. (2005). Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biologia plantarum*, 49, 85-91.
- Schillinger, W. F., Papendick, R. I., Guy, S. O., Rasmussen, P. E., & Van Kessel, C. (2006). Dryland cropping in the western United States. *Dryland agriculture*, 23, 365-393.

- Selote, D. S., Bharti, S., & Khanna-Chopra, R. (2004). Drought acclimation reduces O₂⁻ accumulation and lipid peroxidation in wheat seedlings. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 314(3), 724-729.
- Shao, H. B., Liang, Z. S., Shao, M. A., & Sun, Q. (2005). Dynamic changes of anti-oxidative enzymes of 10 wheat genotypes at soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 42(3-4), 187-195.
- Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of experimental botany*, 60(6), 1537-1553.
- Siahpoosh MR, Dehghanian E, Kamgar A (2011) Drought tolerance evaluation of bread wheat genotypes using water use efficiency, evapotranspiration efficiency, and drought susceptibility index. *Crop Sci* 51:1198–1204
- Siddique MRB, Hamid A, Islam MS (2000) Drought stress effects on water relations of wheat. *Bot Bull Acad Sin* 41:35–39
- Simova-Stoilova, L., Demirevska, K., Petrova, T., Tsenov, N., & Feller, U. (2009). Antioxidative protection and proteolytic activity in tolerant and sensitive wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties subjected to long-term field drought. *Plant Growth Regulation*, 58, 107-117.
- Simova-Stoilova, L., Vaseva, I., Grigorova, B., Demirevska, K., & Feller, U. (2010). Proteolytic activity and cysteine protease expression in wheat leaves under severe soil drought and recovery. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(2-3), 200-206.
- Soylu, O., Ergün, N., Çalıcı, B., & Toraman, P. Ş. (2022). Kuraklık stresinde hidrojen peroksit (H₂O₂) ön uygulamasının buğday fidelerinde, büyüme ve katalaz üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(2), 477-485.
- Tanaka, D. L., Lyon, D. J., Miller, P. R., Merrill, S. D., & McConkey, B. G. (2010). Soil and water conservation advances in the semiarid northern Great Plains. *Soil and water conservation advances in the United States*, 60, 81-102.
- Tatar, Ö., & Gevrek, M. N. (2008). Lipid peroxidation and water content of wheat. *Asian J Plant Sci*, 7, 409-412.
- Tian, F., Gong, J., Zhang, J., Zhang, M., Wang, G., Li, A., & Wang, W. (2013). Enhanced stability of thylakoid membrane proteins and antioxidant

- competence contribute to drought stress resistance in the tasg1 wheat stay-green mutant. *Journal of experimental botany*, 64(6), 1509-1520.
- Titlow, A., Luebbe, M. K., Lyon, D. J., Klopfenstein, T. J., & Jenkins, K. (2014). Using dryland annual forage mixtures as a forage option for grazing beef cattle. *Forage & Grazinglands*, 12(1), 1-6.
- True, R. R., Epplin, F. M., Krenzer Jr, E. G., & Horn, G. (2001). Oklahoma Agricultural Experiment Station, Bulletin no. 815, January 2001: A survey of wheat production and wheat forage use practices in Oklahoma. Oklahoma Agric. Exp. Sta. B-815. Oklahoma State Univ., Stillwater.
- Uthayakumaran, S., & Wrigley, C. W. (2010). Wheat: Characteristics and quality requirements. In *Cereal grains* (pp. 59-111). Woodhead Publishing.
- Varga, B., Vida, G., Varga-László, E., Bencze, S., & Veisz, O. (2015). Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(1), 1-9.
- Wang, X., Vignjevic, M., Jiang, D., Jacobsen, S., & Wollenweber, B. (2014). Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Vinjett. *Journal of experimental botany*, 65(22), 6441-6456.
- Xue, Q., Rudd, J. C., Liu, S., Jessup, K. E., Devkota, R. N., & Mahan, J. R. (2014). Yield determination and water-use efficiency of wheat under water-limited conditions in the US Southern High Plains. *Crop Science*, 54(1), 34-47.
- Yandigeri, M. S., Meena, K. K., Singh, D., Malviya, N., Singh, D. P., Solanki, M. K., ... & Arora, D. K. (2012). Drought-tolerant endophytic actinobacteria promote growth of wheat (*Triticum aestivum*) under water stress conditions. *Plant Growth Regulation*, 68, 411-420.
- Zampieri, M., Ceglar, A., Dentener, F., & Toreti, A. (2017). Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064008.
- Zhang, X. C., Phillips, W. A., Garbrecht, J. D., Steiner, J. L., & Hunt, L. A. (2008). A wheat grazing model for simulating grain and beef production: Part I—Model development. *Agronomy Journal*, 100(5), 1242-1247.

Zivcak, M., Brestic, M., Balatova, Z., Drevenakova, P., Olsovska, K., Kalaji, H. M., ... & Allakhverdiev, S. I. (2013). Photosynthetic electron transport and specific photoprotective responses in wheat leaves under drought stress. *Photosynthesis research*, 117, 529-546.

BÖLÜM 9

İnci darısı (*Pennisetum glaucum*)

Kanyaş (*Sorghum halepense*)

Reygras otu (*Lolium multiflorum*)

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493125>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Siirt, Türkiye.
seyithanseydosoglu@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-3711-3733

1. İnci darısı (*Pennisetum glaucum*)

Darı terimi, çeşitli cinslere ait birçok türü kapsamakta olup, en belirgin türler arasında inci darısı (*Pennisetum glaucum*), parmak darısı (*Eleusine coracana*), tilki kuyruğu darısı (*Setaria italica*) ve *Panicum miliaceum* yer almaktadır (Jukanti ve ark., 2016). Bu bitkinin doğal olarak ortaya çıktığı bölge, Senegal'den Sudan'ın ortasına kadar uzanan Sahel kuşağıdır. Darılar, yüksek yaprak-sap oranına sahip, uzun ve kalın yapraklı bitkiler olup, sağlam gövdeleri genellikle yoğun tüylerle kaplıdır (Passot ve ark., 2016). Bitki, maksimum dört metreye kadar ulaşabilmektedir (Bani Hani ve ark., 2022).

Darı türleri, özellikle iklim değişikliğinin etkilerine karşı yüksek dayanıklılık göstermeleri ve kabul edilebilir seviyede verimlilik ile besin değerine sahip olmaları nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir (Jukanti ve ark., 2016). Bu türlerden biri olan inci darısı (syn. *Pennisetum americanum*, *Pennisetum typhoides*, *Pennisetum typhoideum*, *Pennisetum spicatum*, *Setaria glauca*), Poaceae familyasına ait, sıcak mevsimde yetişen, tek yıllık bir otsu bitkidir (Hassan ve ark., 2014). Kısa bir yaşam döngüsüne sahip olup, yabancı döllenme özelliği taşıyan çapraz tozlaşmalı bir türdür (Shivhare & Lata, 2017).

İnci darı, kuraklık, düşük toprak verimliliği ve yüksek tuzluluk gibi zorlu çevre koşullarına başarılı bir şekilde adapte olmuş olup, mısır, buğday veya pirinç gibi diğer tahılların yetişemediği alanlarda tarımı yapılabilmektedir (Animasaun ve ark., 2018). Tarih öncesi çağlardan itibaren Afrika'nın yarı kurak bölgeleri ve Hindistan alt kıtasında yetiştirilen bu bitki, çok yönlü kullanımıyla dikkat çeken, C4 fotosentezine sahip bir türdür (Cozari ve ark., 2022).

Bitkinin uzun boylu çeşitleri yem bitkisi olarak değerlendirilirken, bodur çeşitleri tahıl üretimi amacıyla yetiştirilmektedir. Besleyici ve iri taneli bir tahıl yapısına sahip olan inci darı, insanların en eski ekili gıda kaynaklarından biri olarak bilinmektedir. Ayrıca saman, otlak, silaj, tohum, gıda, yapı malzemesi ve yakıt olarak çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Yeşil yemi prusik asit içermediğinden, hayvancılık için değerli bir yem kaynağı olarak görülmektedir (Yusuf ve ark., 2012).

İnci darı, besin açısından fakir ve kumlu topraklarda dahi istikrarlı tane ve yem üretimi sağlayabilen, kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı bir bitkidir. Zorlu ekolojik koşullara rağmen, monokültür olarak veya ara ve karışık ekim sistemleri içinde yetiştirilmektedir. Özellikle sorgum ve mısırla birlikte,

Sahra Altı Afrika ve Asya'daki en yoksul kesimlerin temel besin kaynağı olarak kabul edilmekte ve milyonlarca insanın kalori ihtiyacını karşılamaktadır (Jukanti ve ark., 2016). İnci darısının kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık toleransı, diğer darı türlerine kıyasla daha fazla bilimsel araştırmaya konu olmuştur (Bollam ve ark., 2018).

Küçük ölçekli çiftçiler tarafından sıklıkla saman, silaj ve kıyılmış yeşil yem olarak kullanılan inci darı, düşük siyanür asidi ve tanen içeriği nedeniyle güvenli bir yem alternatifi sunmaktadır (Newman ve ark., 2010). Çift amaçlı olarak yetiştirilen bu bitki, biyokütlesi sayesinde birçok hayvana uygun yağ bazlı yem olarak değerlendirilmekte olup, tohumları hem kümes hayvancılığı sektöründe hem de insan beslenmesinde kullanılmaktadır (Baltensperger, 2002). Son yıllarda, inci darısının yeşil biyokütlesinin etanol üretiminde potansiyel bir kaynak olarak incelendiği bildirilmektedir (Rose & Santra, 2013).

Sıcak mevsim tahılları içerisinde inci darı, kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara en dayanıklı türlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Gupta ve ark., 2015a). C4 fotosentezi ve hızlı büyüme yeteneği sayesinde, genellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilmektedir (Gupta ve ark., 2015b; Toderich ve ark., 2018).

İnci darısı (*Pennisetum glaucum*), dip ve nodal kardeşlenme yeteneğine sahip, güçlü ve sağlam kardeşlenme gösteren otsu bir bitkidir. 1.2-3.5 m derinliğe ulaşabilen geniş ve yoğun bir kök sistemine sahiptir. Bazı durumlarda, toprak seviyesine yakın boğumlarından kalın ve güçlü destek kökleri üretebilir. Kurak ve sıcak iklim koşullarında, ayrıca fakir, kumlu ve tuzlu topraklarda büyüme ve verim sağlama kapasitesi sayesinde, bu ekolojik bölgelerde yetişen diğer popüler yem bitkileri olan sorgum ve Sudan otuna kıyasla daha yüksek uyumsal ve besinsel üstünlük sunmaktadır (Hassan ve ark., 2014).

İnci darısının sert ve kurak ortamlarda yetişme kapasitesi, çeşitli fizyolojik ve morfolojik özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler arasında:

- Hızlı ve derin kök penetrasyonu
- Kök sisteminde iyi gelişmiş ve uzmanlaşmış hücre duvarları sayesinde bitkinin kurumasını önleme mekanizması
- Bol kardeşlenme kapasitesi ile azalan verimi telafi edebilme yeteneği
- Kısa gün bitkisi ve sıcak iklim mahsulü olması yer almaktadır (Djanaguiraman ve ark., 2024).

Bani Hani ve ark. (2022), kurak ve su kıtlığı yaşanan iklim koşullarında 11 farklı inci darı ırkının kuraklığa dayanıklılığını araştırmıştır. Ürdün Vadisi'ndeki Orta Ghor bölgesinde yürütülen arazi denemelerinde, mahsulün su ihtiyacının %80'i kısıtlı sulama ile karşılanmıştır. Araştırmada, bitki morfolojisi, yem üretimi, tohum oluşumu ve su kullanım etkinliği (WUE) değerlendirilmiş; iki farklı tarımsal senaryo (tohum ve yem üretimi) kapsamında on yıl boyunca izleme çalışmaları yürütülmüştür. Yağış, sıcaklık ve bitki örtüsüne ilişkin bireysel ve birleşik kuraklık endeksleri hesaplanarak, darının morfolojik ve verim parametreleriyle ilişkisi incelenmiştir. Zamanla kuraklık yoğunluğunun artmasıyla birlikte, inci darı ırkları sistemlerini tuz, ısı ve su stresine uyum sağlayacak şekilde düzenlemiş ve kuraklığa eğilimli koşullar altında önemli ölçüde kuraklık toleransı göstermiştir. Tohum üretim senaryosunda, su kullanım etkinliği taze ve kuru koşullar için sırasıyla 27.0-57.3 kg/ha·mm ve 7.1-14.9 kg/ha·mm arasında değişkenlik göstermiştir. IP13150 darı cinsi, Ürdün bölgesindeki kuraklık koşullarına karşı en yüksek adaptasyon kapasitesine sahip olmuş ve ortalama 17.7 ton/ha tohum verimiyle su kıtlığı yaşanan ortamlarda yüksek performans sergilemiştir. Vejetatif üretim senaryosunda ise su kullanım etkinliği taze biyokütle için 32.0-64.8 kg/ha·mm, kuru biyokütle verimi ise 10.8-24.6 kg/ha·mm aralığında kaydedilmiştir.

İnci darı (*Pennisetum glaucum*), aşırı kuru bölgelerde fide aşamasında orta ila şiddetli kuraklık stresine maruz kalarak ölüm ve zayıf bitki örtüsü ile sonuçlanabilmektedir (Kapoor ve ark., 2024). Küresel inci darı üretimi, özellikle kurak ekolojilerde, yetiştirme dönemi boyunca düşük nem stresinin ekonomik verimi önemli ölçüde azaltması nedeniyle ciddi şekilde sınırlanmaktadır.

Son yıllarda yayımlanan darı taslak genom dizisi, kuraklık toleransını artırmayı amaçlayan ıslah çalışmalarını hızlandırabilecek geniş bir genomik veri ve kaynak sağlamaktadır. Yeni nesil ıslah teknikleri, kuraklık gibi genetik açıdan karmaşık özelliklerin geliştirilmesinde önemli ilerlemeler sağlamıştır.

Verimli bir strateji olarak, inci darının kritik büyüme aşamalarında kuraklık toleransını artıran genlerin hızlı bir şekilde tanımlanması ve aktarılması amacıyla geleneksel ıslah metodolojilerinin *OMICS* teknikleri ile entegre edilmesi önerilmektedir (Kapoor ve ark., 2022).

Zhapayev ve ark. (2023), Güneydoğu Kazakistan'ın kurak koşulları altında 14 farklı inci darı genotipini yeşil biyokütle verimi açısından değerlendirdikleri çalışmalarında, *Bair Bajsa*, *HHVBC Tall* ve *J-6* genotiplerinin daha iyi performans sergilediğini bildirmiştir. Bu genotipler 39.1 ila 39.9 t/ha arasında değişen yüksek biyokütle verimi göstermiştir. Kuru biyokütle birikimi (saman üretimi) ise 3.17 ila 17.36 t/ha arasında büyük farklılıklar göstermiştir. Çalışmada kuraklık yem ve tahıl üretimini olumsuz etkilemiş olmakla birlikte, *HHVBC Tall* genotipi, kurak koşullar altında istikrarlı bitki biyokütlesi ve tohum üretimi sağlamayı başarmıştır.

İnci darı, sorgumdan sonra dünyada en fazla yetiştirilen ikinci darı türü olup, bu durum kısmen düşük su gereksinimi ve evcilleştirilmiş tahıllar arasında kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara karşı sağladığı üstün dayanıklılıkla açıklanmaktadır (Stevens & Fuller, 2018). Düşük su ihtiyacı, sıcaklık toleransı ve iklim değişikliğine karşı yüksek direnç gibi özellikleri nedeniyle inci darı, yağışa bağlı koşullar altında marjinal tarım sistemleri içerisinde sürdürülebilir gıda üretimi için uygulanabilir bir seçenek olarak değerlendirilmektedir. Özellikle yıllık yağış miktarının <250 mm olduğu ciddi su kısıtlı alanlarda bile önemli tahıl verimleri üretebilme kapasitesine sahiptir (Nambiar ve ark., 2011).

Kapoor ve ark. (2024), inci darısı *minicore* koleksiyonuna ait 207 genotipi, fidelerin susuzluk stresine fenotipik tepkileri açısından taradıkları çalışmada değerlendirmiştir. Çalışmada fidelerin taze sürgün ağırlıkları ölçülerek, genotipler kuraklık stresi altındaki tepkilerine göre dört gruba ayrılmıştır. Toplamda 32 genotip, fide aşamasında kuraklık stresine karşı tolerans göstermiştir. Hidroponik ortamda belirlenen hem toleranslı hem de duyarlı genotipler, toprak-saksı koşullarında benzer performans sergilemiştir.

Bunun yanı sıra, 11 genotip hızlı susuzlaştırma altında ve saksı koşullarında kademeli toprak kurutma testlerinde daha iyi fide büyüme parametreleri göstermiştir.

İnci darı (*Pennisetum glaucum*), geniş bir gelişimsel esnekliğe sahip olup, çeşitli ekolojik koşullar altında yetişebilmektedir. Genellikle yıllık yağış miktarının 350 ila 500 mm arasında değiştiği bölgelerde yetiştirilmesi, düşük su gereksinimi ve yağmurla beslenen tarımsal sistemlere geniş adaptasyon sağladığını göstermektedir. Optimum yağış gereksinimi 35-50 cm olup, yıllık yağış miktarının 35 cm'nin altında, ortalama yıllık yağışın yalnızca 150-200 mm olduğu kumlu topraklara sahip bölgelerde de başarılı bir şekilde yetiştirilebilmektedir. İnci darı, nem koruma uygulamaları ile verimli bir şekilde yetiştirilebilmekte olup, uzun süreli kuraklık ve yüksek sıcaklıklar önemli verim kayıplarına neden olabilmektedir. Hasat döneminde kuru ve sıcak hava koşulları en uygun ortamı sağlamaktadır. Strese en dayanıklı tahıllardan biri olmasına rağmen, büyüme sürecinde yeterli suya olumlu tepki vermektedir. Yetiştirme sezonu boyunca düzenli ve hafif yağışlar ile az sayıda bulutlu gün, inci darının büyüme ve gelişmesi için ideal koşulları oluşturmaktadır. Ancak çiçeklenme ve tane oluşumu aşamalarında yağış görülmemesi gerekmektedir. Çiçeklenme döneminde yüksek nem ve düşük sıcaklık, ergot hastalığı görülme sıklığını artırarak verimde düşüşe yol açmaktadır (Djanaguiraman ve ark., 2024).

Çimlenme ve erken fide gelişim aşamalarında inci darı germplazmasının taranması için *polyethylene glycol* (PEG 6000) kullanımı, basit, hızlı ve maliyet açısından etkili bir yöntem olarak belirlenmiştir. Çiçeklenme sonrası kuraklık stresi veya geç dönem kuraklık stresi, inci darısının tane verimi ve sap verimi istikrarı üzerinde belirleyici etkilere sahiptir (Kholová & Vadez, 2013). Nem stresinin etkisi, PEG 6000'in değişen konsantrasyonları kullanılarak analiz edildiğinde, çimlenme yüzdesi, kök ve sürgün uzunluğu ile kök/sürgün oranı

gibi çeşitli fide parametreleri üzerinde önemli değişimlere neden olduğu görülmüştür (Govindaraj ve ark., 2010).

Az sayıda dipten gelen ancak etkili kardeşlenme gösteren, düşük biyokütleyle sahip ve yüksek hasat indeksine (salkım hasat indeksi dahil) ulaşan erken çiçeklenen inci darı çeşitlerinin, diğer genotiplere kıyasla geç dönem kuraklık stresinin etkilerini daha başarılı bir şekilde tolere edebildiği bildirilmiştir (Yadav ve ark., 2003). Batı Afrika, Gana ve Kuzey Batı Hindistan'ın farklı bölgelerinde yapılan çalışmalar sonucunda, inci darısı içerisinde abiyotik stres toleransı açısından önemli genetik çeşitlilik gösteren yerel ırklar tespit edilmiştir. Bu yerel genotipler, geleneksel hatlara kıyasla yüksek tane ve sap verimi sağlamaları nedeniyle, kuraklığın yaygın olduğu bölgelerde yetiştirilmeye daha uygun bulunmuştur (Bidinge ve ark., 2009).

Kholová ve Vadez (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, terminal kuraklık toleransı açısından farklılık gösteren dört inci darı genotipi, tarla koşullarını simüle eden lizimetrik bir sistemde su stresi ve iyi sulanmış koşullar altında değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, fotosentetik pigmentler (klorofil a ve b ile karotenoidler), antioksidatif izoenzimatik spektrum (süperoksit dismutaz, askorbat peroksidaz ve katalaz), fizyolojik özellikler (mevcut toprak nemi, normalize edilmiş terleme, yeşil kalma puanı ve su ekstraksiyonu) ile biyokütle ve verim arasındaki genotipsel çeşitlilik ve ilişkileri incelemiştir.

Araştırmada değerlendirilen biyokimyasal özelliklerin, iyi sulanmış koşullarda birbirleriyle ilişkili olmadığı, ancak su stresi altında güçlü korelasyon gösterdiği bulunmuştur. Terminal kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde verim ve biyokimyasal özellikler, bitki-toprak su durumu ile (toprak nemi, normalize edilmiş terleme, yeşil kalma puanı ve su çıkarımı) yakın ilişki göstermiştir. Bununla birlikte, biyokimyasal göstergelerden biri hariç, verim parametreleri ile doğrudan bağlantılı olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, biyokimyasal özelliklerin doğrudan verim parametreleri üzerinde etkili olmadığı belirlenmiştir.

Ghatak ve ark. (2016), inci darısının kuraklık stresine karşı proteomik yanıtını karakterize etmek amacıyla shotgun proteomik yöntemini kullanmıştır. Çalışmada, kuraklık koşullarına adaptasyon sırasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde dokuya özgü proteinler tespit edilmiştir. Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde, kontrol bitkilerine kıyasla stomal iletkenlikte belirgin değişiklikler ve kök büyümesinde artış gözlemlenmiştir.

Kök, yaprak ve tohum dokularından yapılan analizler sonucunda toplamda 2281 protein tanımlanmış ve miktarları belirlenmiştir. Yaprak dokusu en fazla anlamlı değişiklik göstermiş olup, 120 farklı protein farklılaşırken, köklerde 25 ve tohumlarda 10 protein değişimi gözlemlenmiştir. Hücre duvarı, lipid, sekonder metabolizma ve sinyal iletim süreçlerinde rol oynayan kök proteinlerinin artan seviyeleri ile eş zamanlı olarak gözlenen kök uzunluğu artışı, kuraklık stresi altında sürgün-kök iletişiminin bozulduğunu göstermektedir. Ayrıca, kuraklık stresi altında hasat indeksinin anlamlı bir şekilde azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 1. *Pennisetum glaucum*'a kuraklık stresi uygulanması. Bitkiler yüksek sıcaklık tüplerinde (polipropilen boru) kontrollü sera koşullarında yetiştirilmiş ve su içeriği tüpün üst ve alt kısmındaki sensörlerle izlenmiştir

Kaynak: Ghatak ve ark., 2016

Choudhary ve ark. (2015), kuraklık stresi sırasında inci darıda (*Pennisetum glaucum*) eksprese edilen dört önemli enzim olan askorbat peroksidaz (APX), peroksidaz (POX), katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD)'ın rolünü incelemiştir. Çalışmada, *Pennisetum* çeşidinin 12 ve 22 günlük fideleri, sırasıyla 30 dakika (T1), 2 saat (T2), 4 saat (T3), 8 saat (T4), 16 saat (T5), 24 saat (T6) ve 48 saat (T7) süreyle %30 polietilen glikol (PEG) uygulamasıyla kuraklık stresine maruz bırakılmış ve fidelerin göreceli su içeriği takip edilmiştir. Kuraklık stresine tabi tutulan fideler, 22 günlük uzun süreli susuzluk periyotları sonrasında enzim aktivitesi seviyelerinin incelenmesi için kullanılmıştır. Çalışmada, POX, APX, CAT ve SOD enzimlerinin aktiviteleri değerlendirilmiş olup, kuraklık stresinin POX, APX ve SOD enzim aktivitelerinde belirgin bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın, CAT enziminin aktivitesi, su eksikliği süresi arttıkça azalma göstermiştir. Uzun süreli su eksikliği koşullarında *Pennisetum glaucum*, reaktif oksijen türlerinin (ROS) temizlenmesi ve kuraklık stresinin yönetilmesinde önemli rol oynayan çeşitli enzimlerin ekspresyonunda belirgin değişiklikler göstermektedir.

1. Kanyaş (*Sorghum halepense*)

Sorghum halepense, Poaceae familyasına ait bir C4 bitki türü olup, Akdeniz bölgesinin bazı kısımları ve Batı Asya'ya özgü çok yıllık bir ot türüdür (Chirita ve ark., 2007). Yaklaşık 55°K ile 45°G enlemleri arasında yetişmekte olup, Kuzey Amerika, Orta Amerika, Karayipler, Güney Amerika, Afrika, Asya, Avrupa ve Okyanusya'da doğal olarak yayılım göstermektedir (Velez-Gavilan, 2024). Küresel ölçekte, özellikle ılıman, subtropikal ve tropikal bölgelerde hayvan yemi ve kuru ot üretimi amacıyla yetiştirilmiştir (Velez-Gavilan, 2024). Otu, sığırlar için besleyici ve lezzetli olup, Bermuda otu ile benzer besin değerine sahiptir (Dillard ve ark., 2012). Ancak, kalın sap yapısı (çapı 0.5-2.0 cm) nedeniyle kurutma süresinin uzun olması veya saman üretimi

için sapın ezilmesi ya da kesilmesi gibi ek işlemleri gerektirmektedir (Da Silva ve ark., 2022).

Kanyaş olarak da bilinen *Sorghum halepense*, tohumlarının kuşlar ve çiftlik hayvanları aracılığıyla dağıtılmasıyla geniş bir yayılım göstermektedir. Hayvanlar tarafından tüketildikten sonra canlılığını koruyabilen tohumları, hayvanların kürkü, rüzgâr, yağmur suyu akışı, sulama suyu, rizomlar, saman, hasat edilmiş diğer tarla bitkileri veya ticari tohumlar vasıtasıyla taşınarak yayılabilir (Velez-Gavilan, 2024). Dünyanın en kalıcı otları arasında yer almakta olup, toplam küresel toprak alanının üçte birine yayılmış ve Asya, Afrika, Amerika ve Avrupa'da tarımsal üretim ile doğal biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olmuştur (Chirita ve ark., 2007). *Sorghum halepense*, 53 ülkede 30 farklı bitkiyi istila etmekte olup, küresel ölçekte milyonlarca hektarlık alanda yayılım göstermektedir. Başlangıçta yem bitkisi olarak ekildiği bölgelerde, istilacı ve kalıcı yapısı nedeniyle tarımsal üretim için tehdit oluşturmaktadır (Peerzada ve ark., 2017).

Sorghum halepense, güçlü rekabet yetenekleri ve allelopatik potansiyeli sayesinde komşu bitkilerin büyümesi ve gelişimi üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Huang ve ark., 2015). Buğday, soya, mısır, pamuk, sebzeler ve meyveler gibi ekonomik açıdan önemli bitkilerde ciddi verim kayıplarına yol açarak ekili alanlarda yaygın olarak bulunmaktadır (Uremis ve ark., 2009). Hızlı büyüme özelliği, geniş yayılma biçimleri ve aşırı iklim değişkenliklerine adaptasyon yeteneği, kanyaşın farklı ekolojik nişlerde gelişmesini sağlamaktadır (Vila-Aiub ve ark., 2013).

Gen merkezi Doğu Akdeniz olan *Sorghum halepense*, kurak ve açık habitatlarda doğal olarak bulunmaktadır. Günümüzde dünyanın tropikal ve ılıman bölgelerinin çoğunda yayılım gösterse de kesinlikle tropikal bölgeler yerine nemli yaz yağışlı subtropikal bölgelerde daha iyi uyum sağlamaktadır. Yağışlı mevsimde toprağın nemlendiği veya su altında kaldığı alanları ve bozulmuş bölgeleri tercih etmektedir. Yıllık yağış miktarı 450 ila 1500 mm

arasında değişmekle birlikte, özellikle 500-700 mm arasındaki yağış koşullarında daha iyi gelişim göstermektedir. Ayrıca, *Sorghum halepense*, birçok tarımsal ürüne zarar veren böcek, nematod, mantar ve virüsler için alternatif bir konak görevi görmektedir (Velez-Gavilan, 2024).

Bir asır önce Arjantin'e yem bitkisi olarak getirilen kanyaş, kontrol altına alınması için gösterilen yoğun çabalara rağmen, günümüzde geniş tarımsal ekosistemleri istila etmeye devam etmektedir (Leguizamón ve ark., 2011). 1800'lerde Türkiye'den Güney Karolina ve Arjantin'e potansiyel bir yem bitkisi ve mera otu olarak getirilmiştir. Ancak yetiştirildiği alanlardan kaçması sonucu, Güneydoğu Amerika, Orta Kaliforniya ve New Mexico'da en istilacı bitki türlerinden biri haline gelmiştir. 1900 yılı itibarıyla, giderek artan istilacı özellikleri ve yayılma kapasitesi nedeniyle tarımsal üretimde kullanımı kısıtlanmıştır. Genetik analizler, 200 yıldan daha kısa bir sürede ABD'ye yayılan farklı genotiplerin, coğrafi olarak birbirinden uzak iki farklı tip oluşturduğuna işaret etmektedir (Sezen ve ark., 2016).

Avustralya'da, *Sorghum halepense*, ekinlerde ve meralarda istilacı bir ot haline gelmiş olup, çoğunlukla ılıman ve tropikal bölgelerde yayılım göstermektedir (Jacobs ve ark., 2008). İlk olarak 1871 yılında Güney Avustralya'daki Adelaide Botanik Bahçeleri'nde potansiyel bir yem bitkisi olarak yetiştirilmiş ve 1883 yılında Yeni Güney Galler'de yerleşik hale gelmiştir. Son çeyrek yüzyıl boyunca, yazlık ekim sistemleri ve artan yaz yağışlarıyla ilişkilendirildiği bazı bölgelerde ciddi bir çevresel tehdit oluşturmuştur. Yüksek yağış alan bölgelerde, ekilebilir arazileri istilaya uğratmış olup, Yeni Güney Galler, Victoria, Queensland, Batı ve Güney Avustralya'nın kurak ve sulanabilir alanlarında geniş bir yayılım göstermiştir. Avustralya ve ABD'de, *Sorghum halepense* ile beslenen sığırlarda siyanür zehirlenmesi vakaları bildirilmiştir (Parsons & Cuthbertson, 2001). Kuraklık ve don dönemlerinde yaygın olarak yem bitkisi olarak kullanılsa da yüksek siyanür içeriği nedeniyle hayvanlarda zehirlenmeye yol açabilmektedir.

Sorghum halepense'nin bitki hücreleri çiğneme, don veya solma gibi fiziksel etkilere maruz kaldığında, dhurrini parçalayarak hidrosiyanik asitler (örneğin, prusik asit) üreten enzimleri serbest bırakmaktadır. Otlayan hayvanlar tarafından tüketildiğinde, bu bileşikler kandan hücresel oksijen alımını engelleyerek zehirlenmeye neden olmaktadır (Peerzada ve ark., 2017). Bu nedenle, bitkiler 15 ila 18 inç uzunluğa ulaşana kadar otlatılması önerilmemektedir. Ek olarak, *Sorghum halepense*, stres koşulları altında veya yüksek nitrat konsantrasyonuna sahip topraklarda toksik seviyelerde nitrat biriktirebilmektedir. Kesilmiş kanyaş bitkileri kurutulduğunda, siyanür veya yüksek nitrat seviyeleri içerebileceğinden tamamen güvenli olmadığı belirtilmektedir. Ancak, iyi kurutulmuş samanın hayvancılık açısından güvenli olduğu ifade edilmektedir (Ceseski ve ark., 2017).



Şekil 1. Köksaplardan *Sorghum halepense* filizlerinin çıkışı

Kaynak: Fotoğraf: Usharani Pedireddi, Texas A&M Üniversitesi; Pedireddi ve ark., 2022

Sorgum bitkisinde, dhurrin özellikle erken büyüme evrelerinde üretilmekte olup, bu glikozit sayesinde sorgum türleri, böcekler dahil olmak üzere otçullara karşı yüksek direnç göstermektedir. Olgun bitkiler genellikle

daha düşük dhurrin içeriğine sahip olup, bu nedenle hayvan yemi olarak güvenli kabul edilmektedir. Ancak dhurrin seviyelerinin aşağıdaki koşullar altında arttığı bildirilmektedir (Ouma ve ark., 2023):

- Uzun süreli kuraklık, don, solma, çiğneme veya bitki hücrelerine zarar veren diğer çevresel koşullar
- Yoğun herbisit uygulamaları
- Azot bazlı gübrelerin yaygın kullanımı

Sorgum yem olarak kullanıldığında, doğrudan otlatılabileceği gibi yeşil yem, silaj veya saman üretimi amacıyla da hasat edilebilmektedir. Genellikle silolama süreci, bitki dokularında bulunan siyanür iyonlarının (CN^-) dağılmasına yol açmaktadır. Ancak bazı durumlarda, hızlı kurutulmuş ve ardından büyük balyalarda muhafaza edilmiş bitkilerde yüksek CN^- konsantrasyonları kalabilmektedir (Giantin ve ark., 2024).

Da Silva ve ark. (2022), dört farklı olgunluk evresinde silolanmış *Sorghum halepense*'in verim ve kalite özelliklerini değerlendirmek amacıyla iki deney yürütmüştür. Her üç haftada bir yapılan hasatlarda (gebeleşme, çiçeklenme ve hamur olum aşamaları) 1 Temmuz'a en yakın iki biçimden silaj hazırlığı gerçekleştirilmiş ve 10 hafta sonra silolar açılmıştır. Sonuçlar, üç haftalık aşamadan hamur aşamasına kadar kuru madde veriminde artış olduğunu göstermiştir. *Sorghum halepense* yoğunluğu, büyüme sezonunun sonunda azalırken, çiçek aşamasında artış göstermiştir. Üç haftalık aşamada üretilen silajlar, en yüksek ham protein ve toplam sindirilebilir besin konsantrasyonlarına sahip olup, en düşük lif (NDF ve ADF) içeriğine sahip olmuştur. Çalışma sonuçları, *Sorghum halepense*'in başarılı bir şekilde silolanabileceğini, ancak besin değerini ve yem miktarını optimize etmek amacıyla çiçeklenme aşamasına ulaşmadan önce silolanmasının daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır. CN^- zehirlenme riski nedeniyle, sorgum hasadı ve kullanımı özellikle geniş getiren hayvanların beslenmesi açısından dikkatli yönetilmelidir. Genç yapraklar ve filizler, yüksek dhurrin içeriği nedeniyle en toksik kısımlar olarak kabul edilmektedir (Panter, 2018).

Sorgum toksisitesi uzun süredir bilinmesine rağmen, Avrupa’da son yıllarda sığırlarda zehirlenme vakası bildirilmemiştir (Nagy ve ark., 2023). Ancak, bitki zehirlenmesi üzerine yapılan bir incelemede İspanya’da iki vaka raporlanmıştır (Garcia-Arroyo ve ark., 2017). *Sorghum* zehirlenmelerine ilişkin bazı veriler, yem amaçlı sorgum yetiştiriciliğinin yaygın olduğu Güney Amerika’nın yarı kurak bölgelerinde (Riet-Correa ve ark., 2023) ve Hindistan’da bildirilmiştir (Rajasokkappan ve ark., 2020).

Kuzey İtalya’da, özellikle yaz aylarında, sığırlara hem yabancı *Sorghum halepense* hem de kültür sorgumu (*Sorghum bicolor*) ile yeşil yem sağlanması yaygın bir uygulamadır. Ancak, dhurri sentezinin ve depolanmasının arttığı bilinen şiddetli kuraklık ve tropikal sıcaklık gibi olumsuz iklim koşullarında dikkatli olunmalıdır. Ağustos 2022’de, kuraklık ve tropikal sıcaklıkların etkisiyle *Sorghum halepense* ve *Sorghum bicolor* bitkilerinin dhurri içeriğinin arttığı ve Kuzeybatı İtalya’daki bazı çiftliklerde bu bitkilerle beslenen 66 sığırın ölümüne neden olduğu bildirilmiştir. Klinikopatolojik bulgular açık bir şekilde siyanür zehirlenmesine işaret etmiş ve kimyasal analizler, bitki materyallerinde yüksek dhurri konsantrasyonlarını ortaya koymuştur. Bu tür toksikozun başarılı bir şekilde yönetilmesi için kirlenmiş yemin derhal uzaklaştırılması ve antidot olarak sodyum tiyosülfat uygulanması önerilmektedir (Giantin ve ark., 2024).

ABD’deki Güney Büyük Ovalar’ın otlak ekobölgeleri, *Sorghum halepense*’in kıtasal iklim koşullarında iyi büyümesi ve azalan hayvan otlatma ile ilişkili olarak kolayca kolonize etme yeteneği nedeniyle istilasına karşı özellikle hassastır. *Sorghum halepense*’i kimyasal veya mekanik uygulamalarla kontrol etmek, popülasyonunu geçici olarak azaltabilse de genellikle bitki yeniden yayılım göstererek alanı kaplamaktadır. Bununla birlikte, *Sorghum halepense* yüksek kaliteli yem sağlamakta olup, Güney Büyük Ovalar ekosistemlerinde iklim değişikliğiyle ilişkilendirilen sık kuraklık ve su baskını olaylarına karşı dirençli görünmektedir (Schantz ve ark., 2025).

Sorghum halepense, kurak koşullarda hayatta kalma yeteneğine sahip olmasına rağmen, yağmurlu mevsimde daha yüksek üretkenlik göstermektedir. Optimum büyüme için yıllık 500-700 mm yağış ve 27-32°C gündüz sıcaklığı gerektirdiği bildirilmektedir (Peerzada ve ark., 2017).

Leguizamon ve ark. (2011), Güney Amerika'daki Pampa ovalarının nemli ve yarı nemli bölgelerinden toplanan *Sorghum halepense* popülasyonlarının nispi büyüme hızı, kök uzunluğu oranı, gaz değişimi ve rekabet yeteneği üzerindeki su eksikliğinin etkilerini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Yarı kontrollü koşullarda, üç hafta boyunca üç farklı toprak suyu seviyesi (tarla kapasitesi, %75 tarla kapasitesi ve kuraklık) altında yetiştirilen yedi *Sorghum halepense* popülasyonu karşılaştırılmıştır. Ayrıca, rekabet halinde birlikte yetiştirilen *Sorghum halepense* ve *Zea mays* bitkilerinin toplam toprak üstü biyokütlesi analiz edilmiştir. Nemli ve yarı nemli bölgelerden toplanan *Sorghum halepense* bireylerinin sırasıyla tarla kapasitesi ve kuraklık koşulları altında daha yüksek nispi büyüme oranına, gaz değişimine ve kök uzunluğu oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Mısır (*Zea mays*), tarla kapasitesi altında *Sorghum halepense*'e kıyasla daha yüksek rekabet yeteneği gösterirken, nemli bölgelerden toplanan *Sorghum halepense* bireyleri %75 tarla kapasitesi koşullarında mısırla rekabette zayıf kalmıştır. Yarı nemli bölgelerden toplanan *Sorghum halepense* bitkileri ise kuraklık koşulları altında baskın olmuştur. Kök uzunluğu oranının yüksek gaz değişimi seviyelerini ve nispi büyüme oranını koruyarak, su stresine maruz kalan topraklarda rekabetçiliğe katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

2. Reygras otu (*Lolium multiflorum*)

Reygras otu (*Lolium multiflorum*), ikinci yılında da büyüme gösterebilmesine rağmen, yeni ekimle kıyaslandığında çok daha düşük verim sağlayan bir C3 bitki olup, "iki yıllık" ile "kısa ömürlü çok yıllık" türler arasında sınıflandırılmaktadır. En yüksek verimlilik, her yıl yeniden ekilmesiyle elde edilmektedir. Tetraploid reygras çeşitleri, diploid çeşitlere kıyasla daha yüksek

şeker içeriğine, daha yüksek sindirilebilirliğe, daha büyük yaprak ve tohum boyutuna sahip olup, daha az ancak daha büyük kardeşler geliştirmektedir. Ayrıca, otlatılan hayvanlar tarafından daha fazla tercih edilmektedir. Bununla birlikte, diploid çeşitler genellikle daha hızlı büyüyerek otlatmaya daha dayanıklı olma, hızlı yeniden büyüme gösterme ve daha fazla otlatma sağlama özellikleriyle öne çıkmaktadır (Havilah, 2011).

Lolium multiflorum, dünya genelinde en yaygın yetiştirilen serin mevsim yem bitkilerinden biridir ve genellikle mera kalitesini iyileştirmek amacıyla diğer çim ve baklagil türleriyle karışım halinde ekilmektedir (Han ve ark., 2013). Akdeniz bölgesinde doğal olarak ortaya çıkmış olup, ağırlıklı olarak saman ve silaj üretimi için yetiştirilmektedir. Yüksek lezzetliliği ve hayvancılık tarafından kolay sindirilebilmesi nedeniyle Avrupa ve Asya'daki en önemli yem otlarından biri olarak kabul edilmektedir. Tek yıllık olarak yetiştirilen reygras otu, dünya genelinde ticari açıdan önemli bir yem bitkisi olup, saman ve silaj üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Liu ve ark., 2024). Yüksek verim ve enerji içeriği nedeniyle en iyi yem otlarından biri olarak kabul edilmekte olup, silaj üretiminde sıklıkla bileşen olarak tercih edilmektedir (Worku ve ark., 2021). Yoğun tarım sistemleri altında oldukça üretken olup, yüksek lezzetliliğe sahiptir (Bernard ve ark., 2022).

Meralara baklagiller ve diğer monokotil bitki türleriyle birlikte reygras otunun dahil edilmesi hem daha yüksek yem kalitesi hem de daha yüksek ve istikrarlı üretim sağlamaktadır (Burns ve ark., 2015).

Kısa otlatma süreli çayırların en üretken bileşenlerinden biri olan, yüksek verim, mükemmel yem değeri ve hayvanlar için yüksek lezzetlilik sunan reygras otu (*Lolium multiflorum* subsp. *italicum*), abiyotik stres koşullarına karşı düşük tolerans göstermektedir (Kemesyte ve ark., 2023). Soğuk kış koşullarına dayanıklılık gösteremediği için genellikle kısa ömürlü bir tür olarak yetiştirilmekle birlikte, Kanadalı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar, daha ılıman kış koşulları altında veya yeterli kar izolasyonu sağlandığında

karışımlarda dört yıl süreyle kalabildiğini göstermektedir (Humphreys ve ark., 2009).

Litvanya ve diğer Baltık ülkelerinde, reygras otu tek yıllık veya iki yıllık olarak yetiştirilmekte olup, yetiştirme süresinin uzunluğu çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir (Kemesyte ve ark., 2013). Tekrarlanan donma-çözülme döngüleri, su basması, düşük kar izolasyonu seviyeleri gibi abiyotik stres faktörleri, *Lolium multiflorum*'un yetiştirilmesini zorlaştıran ve coğrafi dağılımını sınırlayan temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Berziņš ve ark., 2019).



Şekil 1. *Lolium multiflorum* ile kaplı doğal bir çayırılık

Kaynak: Perez ve ark., 2014

Reygras otu (*Lolium multiflorum*), belirli seviyelerde kuraklığa dayanıklılık gösterebilmesine rağmen, su eksikliği durumunda verimi önemli ölçüde azalabilmektedir (Lechowicz ve ark., 2020). Kuraklık, özellikle fide aşamasında *Lolium multiflorum*'un verimliliğinin düşmesine neden olan en önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir (Pan ve ark., 2017).

Güney Çin'de, *Lolium multiflorum* en yaygın tek yıllık yem bitkisi olarak yetiştirilmektedir. Bu bölgede belirli seviyelerde kuraklığa dayanıklılık

göstermesine rağmen, kuraklık koşulları altında ciddi verim düşüşleri yaşamakta olup, tolerans potansiyeli açısından *Festuca arundinacea* ile rekabet edememektedir (Pan ve ark., 2017). *Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*'ya kıyasla yüksek verim kapasitesine sahip olmakla birlikte, kuraklık gibi çevresel stres koşullarına karşı önemli ölçüde daha düşük tolerans seviyelerine sahiptir (Perlikowski ve ark., 2016). Ancak, *Festuca arundinacea*, uygun çevre koşullarında (optimum hava sıcaklığı ve yeterli toprak nemi) yem kalitesi ve verimlilik açısından *Lolium multiflorum* kadar yüksek performans sergileyememektedir (Kosmala ve ark., 2012). İlginç bir şekilde, *Lolium multiflorum* ($2n = 4x = 28$) ve *Festuca arundinacea* ($2n = 6x = 42$), kısmen verimli F1 pentaploid ($2n = 5x = 35$) *Festuca arundinacea* $\times$ *Lolium multiflorum* melezleri oluşturmak için birbirleriyle çaprazlanabilmektedir (Perlikowski & Kosmala, 2020).

Kemesyte ve ark. (2023), Litvanya kökenli bir *Lolium multiflorum* çeşidi olan 'Ugnė'yi verimlilik ve verim istikrarı açısından değerlendirmek amacıyla 14 yıllık bir süre boyunca iklim faktörleri ile ilişkisini incelemiştir. Çalışmada, ortalama kış sıcaklıkları ve toplam ilkbahar yağışı, ilk kesimde kuru madde verimi varyansının %51'ini açıklamıştır. İkinci ve üçüncü kesimde ise kuru madde verimi yalnızca ortalama sıcaklıkla ilişkilendirilmiştir. Reygras otu çeşidi 'Ugnė', Litvanya koşullarında sıcak kışların ardından yüksek kuru madde verimi üretme ve yaz kuraklık dönemlerine dayanma potansiyeli göstermiştir. Ancak yaz ortasından sonlarına doğru ortaya çıkan sıcak hava dalgaları, verimliliğinde belirgin düşüşe neden olmuştur.

Fariaszewska ve ark. (2020), yarı kontrollü tarla denemesinde *Festuca*, *Lolium* ve *Festulolium* türlerine ait dokuz yem otu çeşidinin hafif kuraklık stresi koşulları altındaki fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerini incelemiştir. Çalışmada, yağmurlama sulama sistemleriyle donatılmış üç büyük mobil yağmur barınağı kullanılarak, ikinci ve üçüncü kesimler arasındaki dönemde

hafif kuraklık stresi uygulanmıştır. Deneme, iki farklı toprak nemi seviyesi üzerinden yürütülmüştür:

- Yaklaşık %20 v/v toprak nem seviyesinin korunduğu kontrol koşulu
- Toprak nem seviyesinin %7.5 v/v'ye düştüğü kuraklık stresi uygulaması

Denemeler, ilk yıl beş kez, ikinci yıl ise dört kez biçim yapılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, toplam beş yem otu türüne ait dokuz çeşit değerlendirilmiştir: *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Festuca pratensis*, *Festuca arundinacea* ve *Festuca braunii*. Kuru madde verimi, gaz değişim parametreleri ve klorofil floresansı kuraklık stresi altında kontrol koşullarına kıyasla önemli ölçüde düşüş göstermiştir. Fizyolojik parametreler, tüm türlerde kuraklık uygulamasının başlangıcından itibaren iki hafta içinde değişkenlik göstermiştir. Buna karşılık, kuraklık stresi su kullanım verimliliğini, prolin içeriğini, fenolik asitleri, flavonoidleri ve suda çözünür karbonhidratları önemli ölçüde artırmış olup, her iki yılda da nötr deterjan lif (NDF) ve asit deterjan lif (ADF) seviyelerinde azalmaya neden olmuştur. Toplam kuru madde verimi ve tolerans endeksleri açısından yapılan değerlendirmede, kuraklığa en dayanıklı türler birinci yılda *Lolium multiflorum*, ikinci yılda ise *Festuca arundinacea* olarak belirlenmiştir.

Staniak (2016), Polonya'da yürüttüğü saksı denemesinde bazı yem bitkisi tür ve çeşitlerinin optimum nem koşulları ve uzun vadeli kuraklık stresi altındaki verimlerini, besin değerlerini ve susuzluk sonrası rejeneratif kapasitelerini değerlendirmiştir. Çalışmada dört türe ait toplam dokuz çeşit incelenmiştir: *Dactylis glomerata* ('Amera', 'Minora'), *Festuca pratensis* ('Skra', 'Fantazja'), *Festulolium braunii* ('Felopa', 'Agula', 'Sulino') ve *Lolium multiflorum* ('Gisel', 'Lotos'). Denemede, bitkiler iki farklı sulama rejimi altında değerlendirilmiştir: iyi sulanmış koşullar (%70 tarla su kapasitesi) ve uzun vadeli kuraklık stresi (%40 tarla su kapasitesi). Toprak nem eksikliğinin *D. glomerata*, *F. pratensis*, *F. braunii* ve *Lolium multiflorum* üzerinde verim kaybına neden olduğu belirlenmiştir. Stres koşullarında toplam

kuru madde verimi, optimum nem uygulamasına kıyasla %31 oranında azalmıştır. Su eksikliği altında en düşük verim kaybı, strese en dayanıklı tür olarak belirlenen *D. glomerata*'da gözlemlenmiş olup, onu *F. pratensis* takip etmiştir. *F. braunii* ve *Lolium multiflorum* ise benzer ve önemli ölçüde düşük kuraklık toleransı göstermiştir.

Pan ve ark. (2017), *Lolium multiflorum*'un kuraklık toleransını iTRAQ tabanlı kantitatif proteomik yaklaşımı (*isobaric tags for relative and absolute quantitation*, iTRAQ) kullanarak incelemiş ve kuraklığa toleranslı ve hassas hatlarda meydana gelen proteomik değişimleri belirlemiştir. Çalışmada toplam 950 farklı şekilde birikmiş proteinin karbonhidrat ve aminoasit metabolizması, sekonder metabolitlerin biyosentezi ile β -D-ksilozidaz, β -D-glukan glukohidrolaz, gliserat dehidrogenaz, kobalamin-bağımsız metiyonin sentaz, glutamin sentaz 1a, farnesil pirofosfat sentaz, diasilgliserol ve inozitol 1,4,5-trisfosfat gibi sinyal iletim yollarında görev aldığı tespit edilmiştir. Özellikle, farklı şekilde birikmiş proteinleri içeren iki metabolik yolun (*araşidonik asit* ve *inositol fosfat* metabolizması) yalnızca kuraklığa toleranslı hatlarda gözlemlendiği bildirilmiştir. Sistein proteaz katepsin B, sistein proteinaz, lipid transfer proteini ve aquaporin, hidroliz ve transmembran taşımaya katılan kuraklık düzenlemeli proteinler olarak tanımlanmıştır. Fosfolipid hidroperoksit glutatyon peroksidaz, peroksiredoksin, dehidroaskorbat redüktaz, peroksisomal askorbat peroksidaz ve monodehidroaskorbat redüktazın aktiviteleri, stres oluşturan çevresel koşullarda reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimini azaltma ile ilişkilendirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Animasaun, D. A., Rathod, H. P., & Krishnamurthy, R. (2018). Analysis of Forage Yield and Nutritional Contents of *Pennisetum glaucum* (pearl millet) and *Pennisetum purpureum* (Napier grass) accessions. *Análisis del rendimiento del forraje y los contenidos nutricionales de accesiones de Pennisetum glaucum* (mijo perla) y de *Pennisetum*. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(4), 447.
- Baltensperger, D. D. (2002). Progress with proso, pearl and other millets. *Trends in new crops and new uses*, 100-103.
- Bani Hani, N., Aukour, F. J., & Al-Qinna, M. I. (2022). Investigating the Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) as a Climate-Smart Drought-Tolerant Crop under Jordanian Arid Environments. *Sustainability*, 14(19), 12249.
- Bernard, J. K., West, J. W., & Trammell, D. S. (2002). Effect of replacing corn silage with annual ryegrass silage on nutrient digestibility, intake, and milk yield for lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 85(9), 2277-2282.
- Berziņš, P., Ruņģis, D. E., Rancāne, S., Stesele, V., Vēzis, I., & Jansons, A. (2019). Genetic and agronomic analysis of Latvian fescue (*Festuca* spp.), ryegrass (*Lolium* spp.) accessions and their hybrids. In *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences* (Vol. 73, No. 6, pp. 487-493). De Gruyter Poland.
- Bidinger, F. R., Yadav, O. P., & Rattunde, E. W. (2009). Genetic improvement of pearl millet for the arid zone of northwestern India: lessons from two decades of collaborative ICRISAT-ICAR research. *Experimental agriculture*, 45(1), 107-115.
- Bollam, S., Pujarula, V., Srivastava, R. K., & Gupta, R. (2018). Genomic approaches to enhance stress tolerance for productivity improvements in pearl millet. *Biotechnologies of Crop Improvement, Volume 3: Genomic Approaches*, 239-264.
- Burns, G. A., O'Kiely, P., Grogan, D., Watson, S., & Gilliland, T. J. (2015). Comparison of herbage yield, nutritive value and ensilability traits of three ryegrass species evaluated for the Irish Recommended List. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 54(1), 31-40.
- Ceseski, A., Al-Khatib, K., & Dahlberg, J. A. (2017). Biology and management of Johnsongrass (*Sorghum halepense*). University of California Agriculture and Natural Resources. ANR Publication 8569.
- Chirița, R., Grozea, I., Sarpe, N. I. C. O. L. A. E., & Lauer, K. F. (2008). Control of *Sorghum halepense* (L.) species in western part of

- Romania. *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 73(4), 959-964.
- Choudhary, M., Manjhi, J., & Sinha, A. (2015). Effect of drought stress in various enzymes of *Pennisetum glaucum*. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 3(1), 134-138.
- Cozari, S., Țiței, V., Ababii, A., Doroftei, V., Guțu, A., Coshman, S., ... & Armaș, A. (2022). The prospects of cultivation and use of the species pearl millet, *Pennisetum glaucum*, in Moldova. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 65(2), 359-368.
- Da Silva, C. S., Tucker, J. J., Maia, F. J., Lourenço, J. M., Bass, M. L., Seidel, D. S., ... & Stewart Jr, R. L. (2022). The impact of maturity stages on yield, quality, and nutritive value of ensiled Johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers]. *Translational Animal Science*, 6(4), txac118.
- Dillard, S. L., Sturgeon, L. E., Owsley, W. F., Wood, C. W., Holliman, J. L., & Muntifer, R. B. (2012). Productivity and nutritive quality of Johnsongrass (*Sorghum halepense*) as influenced by commercial fertilizer, broiler litter, and interseeded white clover (*Trifolium repens*). *Applied and Environmental Soil Science*, 2012(1), 234103.
- Djanaguiraman, M., Priyanka, A. S., Vaishnavi, S. J., Perumal, R., Ciampitti, I. A., & Prasad, P. V. (2024). Impact of Drought and High-temperature Stresses on Growth and Development Stages, Physiological, Reproductive, and Yield Traits on Pearl Millet. *Pearl Millet: A Resilient Cereal Crop for Food, Nutrition, and Climate Security*, 249-276.
- Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J., De Swaef, T., Baert, J., & Pecio, Ł. (2020). Physiological and biochemical responses of forage grass varieties to mild drought stress under field conditions. *International Journal of Plant Production*, 14(2), 335-353.
- Garcia-Arroyo, R., Quiles, A., Hevia, M. L., & Míguez, M. P. (2017). Agentes causales de intoxicaciones mortales en ganado bovino en España. *Inf. Tec. Econ. Agrar*, 113, 228-243.
- Ghatak, A., Chaturvedi, P., Nagler, M., Roustan, V., Lyon, D., Bachmann, G., ... & Weckwerth, W. (2016). Comprehensive tissue-specific proteome analysis of drought stress responses in *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (Pearl millet). *Journal of Proteomics*, 143, 122-135.
- Giantin, S., Franzin, A., Brusa, F., Montemurro, V., Bozzetta, E., Caprai, E., ... & Nebbia, C. (2024). Overview of cyanide poisoning in cattle from *Sorghum halepense* and *S. bicolor* cultivars in Northwest Italy. *Animals*, 14(5), 743.
- Govindaraj, M., Shanmugasundaram, P., Sumathi, P., & Muthiah, A. R. (2010). Simple, rapid and cost effective screening method for drought resistant

- breeding in pearl millet. *Electronic journal of plant breeding*, 1(4), 590-599.
- Gupta, S. K., Rai, K. N., Singh, P., Ameta, V. L., Gupta, S. K., Jayalekha, A. K., ... & Verma, Y. S. (2015a). Seed set variability under high temperatures during flowering period in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.(R.) Br.). *Field Crops Research*, 171, 41-53.
- Han, K. J., Alison, M. W., Pitman, W. D., & McCormick, M. E. (2013). Contribution of field pea to winter forage production and nutritive value in the south-central United States. *Crop Science*, 53(1), 315-321.
- Hassan, M. U., Zamir, S. I., Haq, I., Khalid, F., Rasool, T., & Hussain, A. (2014). Growth, yield and quality performance of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 2014.
- Havilah, E. J. (2011). Forages and pastures| annual forage and pasture crops—species and varieties. Editor(s): John W. Fuquay, *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Second Edition), Academic Press, Pages 552-562, ISBN 9780123744074, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00193-X>.
- Huang, H., Ling, T., Wei, S., & Zhang, C. (2015). A new 4-oxazolidinone from *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Records of Natural Products*, 9(2), 247.
- Humphreys, M., Feuerstein, U., Vandewalle, M., & Baert, J. (2009). Ryegrasses. In *Fodder crops and amenity grasses* (pp. 211-260). New York, NY: Springer New York.
- Jacobs, S. W., Whalley, R. D. B., & Wheeler, D. J. (2008). *Grasses of New South Wales*. Armidale: University of New England.
- Jukanti, A. K., Gowda, C. L., Rai, K. N., Manga, V. K., & Bhatt, R. K. (2016). Crops that feed the world 11. Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.): an important source of food security, nutrition and health in the arid and semi-arid tropics. *Food Security*, 8, 307-329.
- Kapoor, C., Anamika, Singh, S. P., Kumar, S., Sankar, S. M., Singh, N., & Singhal, T. (2024). Hydroponics mediated seedling dehydration stress revealed variable tolerance in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) minicore collection. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1-14.
- Kapoor, C., Singh, S. P., Sankar, S. M., & Singh, N. (2022). Enhancing drought tolerance in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.): integrating traditional and omics approaches. *Euphytica*, 218(7), 104.
- Kemesyte, V., Lemeziene, N., Stukonis, V., & Kanapeckas, J. (2013). Morphological and anatomical traits of short-lived ryegrass. In *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences* (Vol. 67, No. 3, p. 281). De Gruyter Poland.

- Kemesyte, V., Statkevičiūtė, G., Norkevičienė, E., & Jaškūnė, K. (2023). Italian ryegrass as a forage crop for the baltics: opportunities and challenges in light of climate change. *Plants*, 12(22), 3841.
- Kholová, J., & Vadez, V. (2012). Water extraction under terminal drought explains the genotypic differences in yield, not the anti-oxidant changes in leaves of pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *Functional Plant Biology*, 40(1), 44-53.
- Kosmala, A., Perlikowski, D., Pawłowicz, I., & Rapacz, M. (2012). Changes in the chloroplast proteome following water deficit and subsequent watering in a high-and a low-drought-tolerant genotype of *Festuca arundinacea*. *Journal of experimental botany*, 63(17), 6161-6172.
- Lechowicz, K., Pawłowicz, I., Perlikowski, D., Arasimowicz-Jelonek, M., Blicharz, S., Skirycz, A., ... & Kosmala, A. (2020). Adjustment of photosynthetic and antioxidant activities to water deficit is crucial in the drought tolerance of *Lolium multiflorum*/*Festuca arundinacea* introgression forms. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), 5639.
- Leguizamon, E., Yannicari, M., Guiamet, J., & Acciaresi, H. (2011). Growth, gas exchange and competitive ability of *Sorghum halepense* populations under different soil water availability. *Canadian Journal of Plant Science*, 91(6), 1011-1025.
- Liu, Q., Sangzhu, T., Luo, Y., Deng, P., Zhao, Y., Zhang, G., ... & Yang, M. (2024). Dynamic Response of Ryegrass (*Lolium multiflorum*) to Drought Stress—A Case Study of Natural Drought Modeling.
- Nagy, A. L., Ardelean, S., Chapuis, R. J., Bouillon, J., Pivariu, D., Dreanca, A. I., & Caloni, F. (2023). Emerging plant intoxications in domestic animals: A European perspective. *Toxins*, 15(7), 442.
- Nambiar, V. S., Dhaduk, J. J., Sareen, N., Shahu, T., & Desai, R. (2011). Potential functional implications of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in health and disease. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, (Issue), 62-67.
- Newman, Y., Jennings, E. D., Vendramini, J., & Blount, A. (2010). Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*): Overview and Management: SS-AGR-337/AG347.
- Ouma, L. A., Cheruiyot, E. K., & Ogendo, J. O. (2023). Biosynthesis and Role of Dhurrin in Forage Sorghum. *Reviews in Agricultural Science*, 11, 259-270.
- Pan, L., Yang, Z., Wang, J., Wang, P., Ma, X., Zhou, M., ... & Zhang, X. (2017). Comparative proteomic analyses reveal the proteome response to short-

- term drought in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). PLoS One, 12(9), e0184289.
- Panther, K.E. (2018). Cyanogenic Glycoside-Containing Plants. In Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles, 3rd ed.; Gupta, R.C., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands; Academic Press: Cambridge, MA, USA; pp. 935–940.
- Parsons, W. T., & Cuthbertson, E. G. (2001). *Noxious weeds of Australia*. CSIRO publishing.
- Passot, S., Gnacko, F., Moukouanga, D., Lucas, M., Guyomarc'h, S., Ortega, B. M., ... & Laplace, L. (2016). Characterization of pearl millet root architecture and anatomy reveals three types of lateral roots. *Frontiers in plant science*, 7, 829.
- Pedireddi, U., Sias, C., & Bagavathiannan, M. (2022). *Sorghum halepense* (L.) Pers. Getting Rid of Weeds Through Integrated Weed Management. Johnsongrass bulletin #9.
- Peerzada, A. M., Ali, H. H., Hanif, Z., Bajwa, A. A., Kebaso, L., Frimpong, D., ... & Chauhan, B. S. (2017). Eco-biology, impact, and management of *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Biological Invasions*, 1-19.
- Perez, L.I., Gundel, P.E., Omacini, M. (2014). Symbiosis between Grasses and Endophytes. In Encyclopedia of Pest Management. Taylor and Francis: New York; 1-4.
- Perlikowski, D., & Kosmala, A. (2020). Mechanisms of drought resistance in introgression forms of *Lolium multiflorum*/*Festuca arundinacea*. *Festulolium: From the nature to modern breeding*, 146.
- Perlikowski, D., Czyżniewski, M., Marczak, Ł., Augustyniak, A., & Kosmala, A. (2016). Water deficit affects primary metabolism differently in two *Lolium multiflorum*/*Festuca arundinacea* introgression forms with a distinct capacity for photosynthesis and membrane regeneration. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1063.
- Rajasokkappan, S., Rajan, T., & Raghavendran, V. B. (2020). Sorghum poisoning in a cow and it's successful management. *The Pharma Innovation Journal*, 9(7), 164-165.
- Riet-Correa, F., Machado, M., & Micheloud, J. F. (2023). Plants causing poisoning outbreaks of livestock in South America: A review. *Toxicon: X*, 17, 100150.
- Rose, D. J., & Santra, D. K. (2013). Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) fermentation for fuel ethanol production. *Industrial Crops and Products*, 43, 602-605.

- Schantz, M. C. *Sorghum halepense* (Johnsongrass): A review of the invasion, management, and spread in the changing climate of the Southern Great Plains. *Weed Science*, 1-22.
- Sezen, U. U., Barney, J. N., Atwater, D. Z., Pederson, G. A., Pederson, J. F., Chandler, J. M., ... & Paterson, A. H. (2016). Multi-phase US spread and habitat switching of a post-Columbian invasive, *Sorghum halepense*. *PLoS One*, 11(10), e0164584.
- Shivhare, R., & Lata, C. (2017). Exploration of genetic and genomic resources for abiotic and biotic stress tolerance in pearl millet. *Frontiers in plant science*, 7, 2069.
- Staniak, M. (2016). The impact of drought stress on the yields and food value of selected forage grasses. *Acta Agrobotanica*, 69(2).
- Stevens, C. J., & Fuller, D. Q. (2018). Sorghum and pearl millet. *The encyclopedia of Archaeological sciences*, 1-4.
- Toderich, K., Shuyskaya, E., Rakhmankulova, Z., Bukarev, R., Khujanazarov, T., Zhapaev, R., ... & Boboev, F. (2018). Threshold tolerance of new genotypes of *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. to salinity and drought. *Agronomy*, 8(10), 230.
- Uremis, I., Arslan, M., Uludag, A., & Sangun, M. (2009). Allelopathic potentials of residues of 6 brassica species on johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers.]. *African Journal of Biotechnology*, 8(15).
- Velez-Gavilan, J. (2024). *Sorghum halepense* (Johnson Grass). *CABI Compendium*.
- Vila-Aiub, M. M., Gundel, P. E., Yu, Q., & Powles, S. B. (2013). Glyphosate resistance in *Sorghum halepense* and *Lolium rigidum* is reduced at suboptimal growing temperatures. *Pest management science*, 69(2), 228-232.
- Worku, A., Tóthi, R., Orosz, S., Fébel, H., Kacsala, L., Vermeire, D., & Tóth, T. (2021). Novel mixtures of Italian ryegrass and winter cereals: influence of ensiling on nutritional composition, fermentation characteristics, microbial counts and ruminal degradability. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 749-761.
- Yadav, R., Bidinger, F., Hash, C., Yadav, Y., Yadav, O., Bhatnagar, S., & Howarth, C. (2003). Mapping and characterisation of QTL× E interactions for traits determining grain and stover yield in pearl millet. *Theoretical and Applied Genetics*, 106, 512-520.
- Yusuf, M. J., Nabi, G., Basit, A., Husnain, S. K., & Akhtar, L. H. (2012). Development of high yielding millet variety “Sargodha Bajra-2011” released for general cultivation in Punjab Province of Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 49(3), 299-305.

Zhapayev, R. K., Kunypiyaeva, G. T., Mustafaev, F. M., & Bekzhanov SZh, N. A. (2023). Comparative assessment of pearl millet genotypes under arid conditions of Southeast Kazakhstan. *SABRAO J. Breed. Genet*, 55(5), 1678-1689.

BÖLÜM 10

Hintyağı bitkisi - Castor Oil Plant (*Ricinus communis* L.)

Havuç –Carrot (*Daucus carota* L.)

Annatto (*Bixa orellana* L.)

Dr. Sibel KADIOĞLU¹, Dr. Banu KADIOĞLU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493151>

¹ Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Erzurum, Türkiye.
sibel.kadioglu@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-9121-1705,

¹ Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Erzurum, Türkiye.
banu.kadioglu@tarimorman.gov.tr, Orcid ID: 0000-0002-9041-5992

1. Hintyağı bitkisi (*Ricinus communius*)

Hintyağı (Family: *Euphorbiaceae*) hızlı büyüyen, sürgünlü, çok yıllık bir çalı veya ara sıra 6 metreye veya daha fazla uzunluğa ulaşan yumuşak odunlu bir ağaççıktır. Bu bitki Hindistan'daki ormanlarda yaygın olarak bulunur ve Hindistan genelinde yetiştirilmektedir. Yaprak ve çiçekleri iyi bir renk bitkisidir. Türk Kırmızısı olarak bilinen Sulforasinalat elde edilmektedir ve tohumları yağ üretimi için yetiştirilir. Hintyağının sanayi, tıp, tekstil ve hayvancılık gibi kullanıldığı birçok alan vardır. Yapraklar yeşil veya kırmızımsı renktedir ve yaklaşık 30-60 cm çapındadır (Jena & Gupta, 2012). Hintyağı muhtemelen Afrika'dan gelmektedir ve eski Mısırlılar, Romalılar ve Yunanlılar tarafından kullanılmıştır. Günümüzde bitki birçok tropikal ve subtropikal bölgede yabani olarak yetişmektedir ve neredeyse tüm dünyada süs bitkisi olarak kullanılmaktadır. Tarihsel olarak bitkinin tohumları ve özellikle yağı çeşitli tıbbi amaçlar için kullanılmıştır (Worbs ve ark., 2011).

Bitki Hindistan'a özgüdür ve ülke genelinde bahçelerde ve tarlalarda yetiştirilir ve ayrıca boş alanlarda yabani olarak yetişir. Hintyağı Güney Afrika, Hindistan, Brezilya ve Rusya'da bulunan küçük bir ağaçtır. Çok yıllık türlerinden elde edilen yağ aydınlatma ve yağlama için kullanılırken, tek yıllık türlerinden elde edilen yağ tıbbi kullanım için tercih edilir. Yağı olduğu gibi veya değiştirildikten sonra endüstride, özellikle ABD'de geniş uygulama alanları bulur (Rana ve ark., 2012). Hintyağı, Hindistan, Çin ve Rusya'nın yarı kurak ve kurak bölgelerinde yetiştirilen başlıca ticari yenmeyen yağlı tohum ürünlerinden biridir. Doğal çok yıllık bir üründür, ancak tropikal ve subtropikal bölgelerde yıllık ürün olarak yetiştirilebilir. Hintyağı fasulyesi uzun süreli su eksikliğine ve yüksek sıcaklıklara dayanabilir ve bu nedenle kuraklığa dayanıklı bir tür olarak kabul edilmiştir (Babita ve ark., 2010).

Hintyağı için 700'den fazla endüstriyel uygulama vardır ve küresel talebi yıllık %3-5 oranında artmaktadır. Bu yağı tedarik etmek için, tane verimi ve yağ içeriği artırılmalı, zararlılara, hastalıklara ve kuraklığa dayanıklı çeşitler geliştirilmelidir (Anjani, 2012). Hintyağı tohumu, biyoyakıt üretimi için umut vadeden bir aday olarak kabul edilir. Hintyağı tohumlarındaki yağ içeriği %40-60'a ulaşabilir (Barnes ve ark., 2009). Hintyağı tohumu, ağır metallerin neden olduğu toprak bozulmasını azaltmak için de kullanılabilir (Baudh ve Singh, 2012). Günümüzde, hintyağı üretimi için yılda yaklaşık 1 milyon ton hintyağı fasulyesi hasat edilmektedir. Başlıca üreticileri Hindistan, Çin ve Brezilya'dır

(Mutlu & Meier, 2010). Bitki ve özellikle yağ çıkarıldıktan sonra tohumlar zengin bir protein kaynağıdır ve örneğin koyun, sığır, tavuk ve balık rasyonları için amaçlanan detoksifikasyondan sonra yem takviyesi olarak kullanılmaktadır (Diniz ve ark., 2011).



Şekil 1. A) Otlak alanında *Ricinus communis* ağacı; B) *Ricinus communis*'in yapraklarını ve meyvelerini otlayan bir sığır

Kaynak: Albuquerque ve ark., 2014

Yağ çıkarma ve detoksifikasyondan sonra, yağdan arındırılmış pres keki organik gübre ve düşük değerli yem olarak kullanılır. Ancak farklı ülkelerden hayvan zehirlenmelerini tanımlayan raporlar olmuştur. Hintyağının çok sayıda farklı tipi bilinmektedir ve tiplerin yüksek değişkenliği, bitkide ve ayrıca fenotipik olarak oldukça çeşitli olan tohumlarda güzel bir şekilde görülebilir. *R. communis* tipleri, farklı tohum şekilleri, renkleri ve ayrıca biyokimyasal özelliklere dayanarak birbirinden açıkça ayırt edilebilir (Thullier & Griffiths, 2009). %35-40 ham protein içeren hintyağı fasulyesi küspesi, hayvan beslenmesinde bitkisel protein açısından zengin bir yem bileşeni olarak potansiyele sahiptir. Ancak hintyağı fasulyesi küspesinin kümes hayvanı rasyonlarında yem bileşeni olarak kullanımı, fitotoksinlerin, özellikle risin ve risininin varlığı, son derece belirgin alerjen ve kabuksuz tohumlarda yüksek lif seviyeleri nedeniyle sınırlıdır. Ayrıca, hintyağı fasulyesi proteininin lizin ve kükürt içeren amino asit açısından eksik olduğu bilinmektedir (Ani, 2007). Risin, tohumların içerisinde %5'e kadar varan oranlarda bulunmaktadır (Bradberry ve ark., 2003).

Genel olarak, hintyağı üretiminin protein kaynağı olarak hintyağı fasulyesi unu, pres keki veya diğer kalıntılarının kullanımı, esas olarak son derece toksik protein risin ve daha az toksik alkaloid risinin nedeniyle oluşan tohumların toksisitesiyle sınırlı kullanıma sahiptir. Risin suda çözünen bir proteindir ve bu nedenle hintyağına ekstrakte edilmez, bu nedenle endüstriyel sınıf hintyağının güvenli olduğu tespit edilmiştir (Johnson, 2007). Endüstriyel hintyağı üretiminin kalıntıları detoksifiye etmek için fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma dahil olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılmış olup bunlar yem veya diğer amaçlar için kullanılmıştır (De Oliveira ve ark., 2010). Toksisite sorununu aşmak için araştırmacılar, şu ana kadar sınırlı bir başarıya ulaşmış olsalar da toksik olmayan bir hint yağı çeşidi elde etmeye çalışmışlardır (Auld ve ark., 2003).

Öte yandan hintyağı bitkisi, risin üretiminden dolayı ve ondan elde edilen çok sayıda endüstriyel, tıbbi ve kozmetik ürünün üretimi nedeniyle ekonomik ilgi görmektedir. Yağ, benzersiz kimyasal özellikleri nedeniyle değer verilen sıra dışı yağ asidi risinoleik asidin yüksek seviyelerini içerir. İnsanlarda ve hayvanlarda kazara ve kasıtlı *Ricinus communis* zehirlenmeleri yüzyıllardır bilinmektedir (Worbs ve ark., 2011).

Çok toksik risin ve daha az toksik *R. communis* aglutininin yanı sıra bitki, düşük molekül ağırlıklı alkaloid risin gibi başka bir toksik bileşik de içerir. Risin bitkinin tüm kısımlarında bulunur ve oldukça kuvvetli bir insektisittir. Hint yağı tohumları yaklaşık %0,2 oranında alkaloid içerir. Risinin aksine risin yüksek sıcaklığa dayanıklılığı nedeniyle geleneksel ısıl işlemle inaktive edilemez. Bu nedenle hint yağı üretiminden elde edilen kalıntı ancak çözücü ekstraksiyonu ile risininin giderilmesinden sonra hayvan yemi olarak kullanılmaya uygundur. Kabızlığı tedavi etmek amacıyla beş adet hint yağı tohumu yiyen Koreli bir kadın şiddetli mide bulantısı, kusma, karın ağrısı ve başlangıçta hipotermiye yakın semptomlarla hastaneye kaldırılmış; bu vakada idrar örneklerinde risin tespit edilmiş, semptomlar tedavi edilmiş (sıvılar ve kömürle) ve 2 gün sonra taburcu edilmiştir (Lim ve ark., 2009).

Hayvanlar, risin zehirlenmesinden sonra insanlara benzer semptomlar gösterir, yani halsizlik, aşırı sulu ishal, çökük gözlerle birlikte dehidratasyon, göz bebeklerinin genişlemesi, depresyon, taşikardi, dispne ve kolik. İnsanlarda risin zehirlenmesi vakaları çoğunlukla işlenmemiş tohumların yutulmasından sonra meydana gelirken, hayvan vakaları da işlenmiş hintyağı tohumu

ürünlerinin alınmasından sonra tanımlanmıştır. Yağ çıkarıldıktan sonra, tohumların pres keki zengin bir protein kaynağıdır ve detoksifikasyondan sonra organik gübre, toprak düzenleyici veya hayvan yeminde ucuz katkı maddesi olarak kullanılır (Lima ve ark., 2011). Ancak Avrupa, Amerika ve Asya'dan gelen vaka raporları, hintyağı keki içeren organik gübrenin yutulmasından sonra evcil hayvanların, özellikle köpeklerin zehirlenmesini açıklamaktadır ve bu da detoksifikasyon sürecinin kendisinin sorunlu olduğu ve pres keki içinde kalan aktif risin bırakabileceği hipotezine yol açmaktadır (Worbs ve ark., 2011).

Yapraklar zaman zaman sığırlara yedirilir. Süt verimini artırdığı bildirilmektedir (Rana ve ark., 2012). Otoklavlanarak detoksifiye edilen hint unu, koyun rasyonlarındaki soya fasulyesi ununun %67'sine kadarını değiştirebilir (Pompeu, 2009). Kabuk, geviş getirenler için kaba yem olarak kullanılabilen düşük değerli bir yan üründür. Önemli miktarda tohum parçası içeren (60 g kg-1) bir hint unu kabuğu süt keçilerinin beslenmesi için değerlendirilmiş ve saman tamamen hint unu kabuğuyla değiştirildiğinde, sütte azalma (%27) ancak lipid konsantrasyonunda artış (%28) görülmüştür (Santoz ve ark., 2001). Daha yakın bir zamanda, İran'da, hintyağı tohumu içeren bahçe atıklarının yenmesi sonucu koyun ve keçiler zehirlenmiştir (Aslani ve ark., 2007). Ancak, günümüzde hintyağı bitkisiyle kirlenmiş yem nedeniyle hayvanların kazara zehirlenmesi nadirdir; bunun en büyük nedeni, hayvan yemlerindeki *R. communis* miktarını sınırlayan farklı ulusal ve uluslararası düzenlemelerdir. Örneğin, Avrupa Birliği'nde 2009/141/EC sayılı Komisyon Direktifi, *R. communis*'i hayvan yemlerinde istenmeyen bir madde olarak belirtmekte ve bitkinin tohum ve kabuklarında izin verilen maksimum içeriğin, %12 nem içeriğine sahip hayvan yemine kıyasla 10 mg/kg olması gerektiğini belirtmektedir (AB, 2009). Hayvanlarda zehirlenmeler, işlenmemiş bitki tohumları veya organik gübrede yan ürün olarak kullanılan işlenmiş hint yağı keki nedeniyle meydana gelmiş olup, gübredeki risin miktarını açıkça sınırlayan uluslararası düzenlemelerin getirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır (Worbs ve ark., 2011).

Hintyağı bitkisi (*Ricinus communis* L.), Brezilya'nın yarı kurak bölgesinde en geleneksel olarak yetiştirilen ürünlerden biridir ve ekonomik ve sosyal açıdan önemlidir; yağışın yaklaşık 500 mm olduğu yerlerdeki insanlar için çok önemlidir. Ayrıca, Brezilya'da 150.000 hektar ekili alan ve 85.000 ton

üretim vardır ve hint yağı bitkisi için çeşitli endüstriyel uygulamalar vardır: yağı kozmetik endüstrisinde, otomotiv endüstrisinde yüksek hızlı motorlar için yağlayıcı olarak kullanılır ve biyodizel üretimi için kullanılabilir. Bu nedenle, bu ürünün beklenen genişlemesi, bu ürünün en önemli yan ürünlerinden biri olan hint yağı bitkisi keki ve unu potansiyel tedariki yoluyla geniş getiren üreticiler için büyük bir fırsat yaratmaktadır. Birkaç ülkede gerçekleştirilen araştırmalar literatürde hint yağı bitkisi unu, risin ve detoksifikasyon yöntemleri hakkında bazı bilgiler sağlamış olsa da, bu ürünleri hayvan beslemede kullanmak için besin özelliklerini anlamak ve içgörü kazanmak için hala ihtiyaç duyulmaktadır (Anandan ve ark., 2005).

Hintyağı, çoğunlukla Brezilya'nın kuzeydoğu yarı kurak bölgesindeki aile çiftçileri tarafından yetiştirilen önemli bir yağ tohumu bitkisi türüdür. Bu türün kuraklık stresi gibi abiyotik streslere dayanıklı olduğu düşünülmektedir. Ekonomik önemi nedeniyle bu tür, özellikle kuzeydoğu yarı kurak bölgede sürdürülebilir yetiştiriciliğini ve sosyal kapsayıcılığını genişletmeyi amaçlayan bir hükümet programının parçası olarak seçilmiştir (Crepaldi ve ark., 2015). Kuzeydoğu Brezilya'nın yarı kurak bölgesi, yetersiz yağışlar ve su emme kapasitesi azalmış sığ topraklar nedeniyle oluşan uzun kuraklık dönemleriyle karakterize edilir ve bu durum yerel halkın hayatını zorlaştırır, çünkü aile çiftçiliği onların ana gelir kaynağıdır. Yağının değerli özelliklerinin yanı sıra, bu ürün düşük üretim maliyetleri ve düşük kaliteli topraklarda yetiştirme kabiliyeti sunar, bu da gıda bitkileriyle doğrudan rekabet etmesini önler (Vasconcelos ve ark., 2017).

Hint yağı bitkisi kuraklığa karşı yüksek toleransa sahiptir; ancak, kullanılabilir su azaldıkça tane verimi de azalır. Hint yağı bitkisi kuraklığa maruz kaldıktan sonra, yaprak gelişimi hızla değişir. Daha fazla hücreye sahip olan yaşlı yapraklar hücre uzamasında azalma gösterir; gelişimin daha erken bir aşamasında olan genç yapraklar hücre bölünme oranında azalma gösterir (Tadayyon ve ark., 2018).

Hint yağı bitkisinin kuraklığa dayanıklı veya yarı kuraklığa dayanıklı olduğu da bildirilmiştir. Hint yağı bitkisinin verim ve verim bileşenlerinin kuraklık stresine verdiği tepkiler çevresel ve genetik özelliklere bağlıdır. Ayrıca, determinant ve indeterminant bitkiler arasındaki kuraklık stresine verilen tepki çok farklıdır. Determinant bitkilerdeki çiçeklenme aşaması, vejetatif ile generatif evreler arasında net bir ayrım sağlar. Bitki, çiçeklenmeden

önce kuraklık stresi oluştursa tohum sayısının azalmasıyla veya çiçeklenmeden sonra tohum ağırlığının azalmasıyla (özellikle tohum dolumu sırasında) tepki verir. Hint yağı bitkisinde kuraklık stresine verilen tepki karmaşıktır çünkü bitki farklı zamanlarda çiçek salkımları üretmeye başlar. Her salkım, tohum sayısını ve ağırlığını çevresel koşullara ve bitki kaynak-depo durumuna göre ayarlayabilir. Verim bileşenlerinin anlaşılması, farklı ekim sistemlerine (mekanik hasat gibi) ve yetiştirme bölgelerine uyarlanmış hint yağı çeşitlerinin başarılı bir şekilde geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir (Severino ve Auld, 2018).

Babita ve ark. (2010), hintyağı bitkisinde ozmotik ayarlamamanın kuraklık toleransı ve verimle ilişkisini analiz etmek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Üç melez ve ilgili altı ebeveyni, birincil çiçeklenme aşamasında nem stresine yanıt olarak değerlendirmişlerdir. Yüksek ozmotik ayarlamaya sahip genotipler, su açığına yanıt olarak düşük ozmotik ayarlamaya sahip olanlara kıyasla daha yüksek seviyelerde prolin, toplam çözünür şekerler, toplam serbest amino asitler ve potasyum biriktirmiştir. Şekerlerin, hintyağı yapraklarında ozmotik ayarlamaya en büyük katkıyı sağladığı belirlenmiştir. Melezler, ozmotik ayarlama açısından üstün ebeveynlerini takip etmiştir. Hint yağının yüksek ozmotik ayarlama genotipleri, düşük ozmotik ayarlama genotiplerine göre önemli ölçüde daha yüksek tohum verimi üretmiştir. Toplam çözünür şekerlerin birikimi, hint yağındaki ozmotik ayarlamaya büyük ölçüde katkıda bulunmuştur.

Silva Dalberto ve ark., (2017) serada yetiştirilen ve 35 gün boyunca sulaması durdurulan hintyağı çeşitleri olan BRS Gabriela ve IAC Guarani'nin genç bitkilerinde fotosentez mekanizmaları ve strese uyumu incelemişlerdir. Klorofil a floresan geçişi ve gaz değişimi her 7 günde bir ölçülmüş ve büyüme deneyin sonunda ölçülmüştür. Büyüme ve gaz değişimi stresten olumsuz etkilenmiş, su açığı döneminin başlarında azalmalar tespit edilmiştir. Her iki türde de su kullanım verimliliğinde artış, içsel karboksilasyon verimliliğinde ise azalma olmuştur. Gaz değişimi hemen uygulama başlangıcında düşmüştür. Stres döneminin sonunda elektron taşıma zincirinin aktivitesinde azalma, fotosistem II reaksiyon merkezlerinin dağılmasında ve inaktivasyonunda eş zamanlı bir artış ve buna bağlı olarak performans indekslerinde azalma gözlenmiştir. IAC Guarani bitkileri BRS Gabriela bitkilerine kıyasla strese karşı daha fazla duyarlılık göstermiştir. Stres altındaki bitkilerde fotosentez

aktivitesi göz önüne alındığında, hintyağı bitkisi kısa süreli su açığında elektron taşınımında iyileşme ve uzun vadede fotosentezde azalma göstermiştir.

Severino ve Auld, (2018) sulamaya yanıt olarak hint yağı verim bileşenlerinde meydana gelen değişiklikleri Teksas'da (ABD)'de incelemiştir. Tohum ağırlığı, bitki boyu ve salkım sayısı bakımından oldukça farklı olan altı hintyağı çeşidi, toplam suyun (yağış dahil) 188 ila 897 mm arasında değiştiği bir toprak altı sulama sisteminde yetiştirilmiştir. Tohumlar tek tek salkımlardan hasat edilmiş, sayılmış ve tartılmıştır. Sulama, tüm çeşitlerde tohum verimini artırmıştır. Tohum verimindeki en büyük artış, 188 mm (yağmurla sulanan) altında 232 kg ha-1'den 897 mm yağış + sulama altında 2758 kg ha-1'e çıkarılan BRS Nordeste çeşidinde gözlenmiştir. Çeşitler arasında verim bileşenlerinin büyüklüğü bakımından büyük farklılıklar oluşmuştur. Ancak, tüm çeşitlerde yağ verimindeki değişimin çoğu, önce salkım sayısı, sonra salkım başına tohum sayısı ve sonra da tohum ağırlığı ile açıklanmıştır. Tohum yağı içeriğindeki değişimler, yağ veriminin belirlenmesinde ihmal edilebilir bir öneme sahip bulunmuştur. Hintyağı bitkisinde kuraklık stresine verilen yanıt karmaşıktır çünkü bitki farklı zamanlarda salkımlar başlatır ve her salkım, çevre koşullarına ve bitkinin kaynak-depo durumuna göre hem tohum sayısını hem de tohum ağırlığını ayarlayabilir.

2. Havuç (*Daucus carota*)

Apiaceae (*Umbelliferae*) familyası, 466 cins ve 3820 tür ile tohumlu bitkilerin en büyük familyalarından biridir. *Daucus carota* (havuç), son derece polimorfiktir, 60'tan çok tür altı taksonu tanımlanmıştır ve bu da onu *Apiaceae*'deki en zor tür grubu haline getirmiştir (Mezghani ve ark., 2019). Havuç, etli kökü gıda olarak tüketilen, serin mevsim, dikotiledonlu, iki yıllık bir bitkidir. Havuç bitkileri ilk yıl bir yaprak rozeti ve büyük bir etli depolama kazık kökü oluşturur. Havuç çeşitleri bazen iki geniş sınıfa ayrılır: doğu (veya Asya) ve batı (veya Avrupa). Avrupa çeşitleri sert, tatlı, oldukça aromalı, sarı-turuncu ila güçlü turuncu renkte, yavaş çiçek açan ve düşük sıcaklıklara adapte olmuştur. Asya çeşitleri daha yumuşak bir dokuya sahip olma eğilimindedir, daha az tatlıdır, daha az aromalıdır, yüksek sıcaklıklara adapte olmuştur, kolayca ürer ve kırmızı veya kırmızı-turuncu renkte olabilir. *Daucus carota*, yabani ve yetiştirilmiş havuçları içeren karmaşık, çok değişken bir türdür. 12'si

yabani takson ve biri kültüre alınmış takson (subsp. *sativus* (Hoffm.) Arc.) olmak üzere 13 alt türe ayrılmıştır (Praciak, 2022).

Havuç (*Daucus carota* subsp. *sativus*), yüksek besin özellikleri, özellikle A vitamini nedeniyle yaygın olarak tüketilen bir sebzedir (Junaid ve ark., 2023a). Yabani havuç (*Daucus carota* L. subsp. *carota*) dünyanın birçok yerinde ciddi bir yabancı ot olarak kabul edilir (Muturi ve ark., 2019). Coğrafi konuma ve iklim koşullarına bağlı olarak yabani havuçlar tek yıllık, iki yıllık veya çok yıllık büyüme tipi sergileyebilir (Mandel ve Brunet, 2019). Araştırmalar, yabani havucun doğal yaşam alanlarında, özellikle çorak arazilerde ve yol kenarlarında yetişebileceğini göstermiştir (de Jongve ark., 2016). Yabani havuçlar çok çeşitli toprak koşullarına uyum sağlayabilir ve zorlu toprak koşullarında kendilerini sürdürebilir durumdadır (Mezghani ve ark., 2019). Kültür havuçları ile yabani havuçlar eşeysel olarak uyumlu akrabalar olduğundan yabani havuçlar ile kültür havuçları arasında melezleşme de mümkündür (Godwin ve ark., 2024).

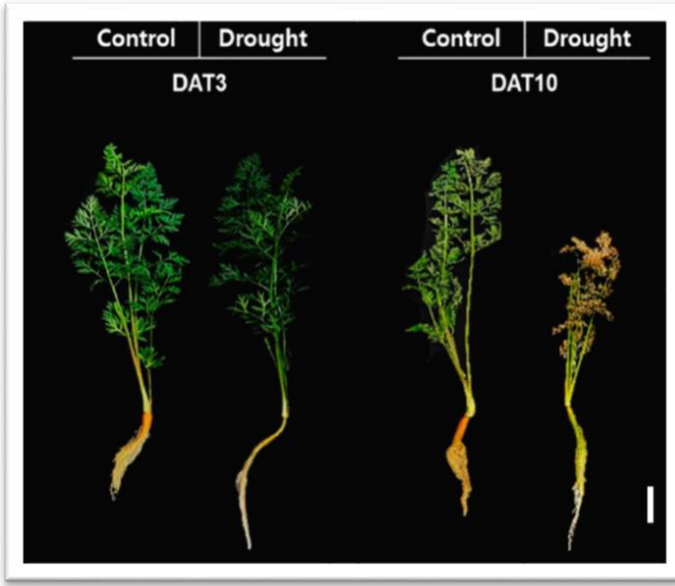
Avustralya'da yabani havuç açık tabiat alanlarına yayılmış yerel otlar ve bitkilerle rekabet eder durumdadır. Bitki, daha hızlı olgunlaştığı ve birçok yerel bitkiden daha fazla büyüdüğü için otlakların iyileşmesi için bir tehdit olabilmektedir. ABD'de, Iowa, Michigan, Ohio ve Washington eyaletlerinde zararlı ot olarak listelenmiştir. Yabani havuca, engebeli otlaklarda, kıyı uçurumları boyunca ve kumullarda, ayrıca aşırı büyümüş çalılıklarda, yabani otlu çayırlarda, demiryolları ve yol kenarlarında, terk edilmiş tarlalarda, bozulmuş çayırlarda ve boş arazilerde yetişirken rastlanabilir. Bazı durumlarda yabani havuç agresif bir şekilde yayılabilir, ki derin kazık kökünü biçme veya elle çekme yoluyla yok edilmesini zorlaştır. Yabani havuç, aynı kültüre alınmış formu gibi ikinci yılında tohum üretir. Yabani havucun aromatik ve biraz acımsı yaprakları memeli otçullar tarafından seyrek olarak tüketilir (Praciak, 2022). Kültür havuçları ise oldukça lezzetlidir ve sığırlar tarafından kolayca tüketilir. Havuçlar, kuru madde (KM) bazında mısırın metabolize edilebilir enerji değerinin %91'ine sahiptir. Havuçların besi diyetinin KM'sinin %40'ı olması durumunda herhangi bir zararlı etkiye neden olmadığını belirten rapor vardır. Fakat yüksek seviyede taze havuçla beslemek bir miktar ishale neden olabilir fakat birkaç hafta depolanarak bu durum en aza indirilebilir. Havuçlar ayrıca inek diyetlerinde bir enerji kaynağı olarak da kullanılabilir. Bir rapora göre inekler günde 55 kg kadar havuç yiyebilir (Rust & Buskirk, 2008).

Havuç gibi fermente edilebilir şekerler ve kolayca parçalanabilir karbonhidratlar açısından zengin yemler içeren diyetler, rumen mikropları tarafından kolayca kullanılan substratlar açısından zengin bir ortam sağlayarak mikrobiyal aktiviteyi ve dolayısıyla ruminant performansını iyileştirir (Godwin ve ark., 2024). Karotenoidler, yumurta sarısı veya piliç derisinin istenen rengini elde etmek için uzun yıllardır kümes hayvanı diyetlerinde pigment olarak kullanılmıştır. Karotenoidler α - ve β -karoten ve β -kriptoksantin, A vitamininin öncüleridir ve antioksidan özelliklere sahiptir. Karotenoidler, insanda hastalık önlemenin yanı sıra tavukta antikor yanıtını uyararak sağlığı teşvik eder (Sparks, 2006). Yumurta sarısı, luteininin nispeten yüksek oranı ve yüksek biyoyararlanımı nedeniyle önemli bir lutein kaynağıdır (Chung ve ark., 2004). Lutein, örneğin kadife çiçeği ve yoncada bulunan limon/sarı bir karotenoiddir; zeaksantin ise mısıra özgü sarı/turuncu bir karotenoiddir (Nys, 2000). Çalışmalar, saflaştırılmış lutein ve kadife çiçeği, yonca ve kırmızı biber gibi kurutulmuş besin kaynaklarından elde edilen luteinin yumurtaca kolayca emildiğini ve biriktiğini göstermiştir. Böylece yumurtaya 30-113 $\mu\text{g g}^{-1}$ yumurta sarısı gibi yüksek lutein konsantrasyonları sağlanır; bu, lutein takviyesi yapılmayan yumurtalara göre yaklaşık 11-18 kat daha yüksektir (Karadas ve ark., 20016; Hammershoj ve ark., 2010). Havuçlar esas olarak karoten ve daha az oranda ksantofil kaynağıdır; ancak içerik büyük ölçüde değişir. Turuncu renkli havuçlar esas olarak α - ve β -karoten ve az miktarda lutein içerirken, örneğin havuç çeşitleri Mor, kırmızı veya sarı renkteki havuçlar farklı karotenoid bileşimlerine sahiptir (Grassmann ve ark., 2008). Havuçlar organik yumurta üretiminde yem materyali olarak yaygınlaşmıştır (Hammershoj ve ark., 2010).

Steenfeldt ve ark. (2007) havuç ununun kg başına 0, 20, 50, 75 ve 100 gr KM ile beslenmesinin etlik piliçlerin (Arbor acres) üretim performansı üzerine faz I'de (0 ila 21 gün ve faz II'de (21 ila 42 gün) etkisini incelemiştir. Faz I'de havuç ununun metabolize edilebilir enerji (ME) alımı ve azot tutulumunun, faz II'de ise daha yüksek yem alımı, ME ve azot tutulumunun gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Owoleke ve ark. (2016), farklı yemler içeren beş diyetin büyüyen tavşanların performansına etkisini incelediği çalışmada karışık ırk ve cinsiyetlerden 75 adet süttan kesilmiş tavşanı, uygulama başına 15 tavşandan oluşan beş diyet grubuna (I-V) ayırmıştır. Diyet I kontrol, diyet II ila V %25 oranında ilave yemler içermiştir (diyetler %18 ham proteinle formüle

edilmiştir). *Daucus carota* içeren diyet, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında kilo alımında artış ve en yüksek son vücut ağırlığı değerleri göstermiştir. Sonuçlar, *Daucus carota* bazlı diyetle beslenen tavşanlarda en yüksek yem dönüşüm oranını ortaya koymuştur.

Klinger ve ark. (2017), üç gruba ayrılmış 30 etlik tavşanın diyetinde yonca samanının kısmen (%25 ve %50) havuç “yaprakları”yla değiştirilmesinin uygulanabilirliğini incelemiştir. Sonuçlar, tavşanların performansında herhangi bir olumsuz etki olmaksızın yoncanın %50 oranında havuç yapraklarıyla değiştirilmesiyle yem alımında, yem dönüşüm oranında ve diyet başına kg maliyetinde iyileşme olduğunu ortaya koymuştur. Sherif ve ark. (2018), beş gruba ayrılmış 60 büyüyen tavşanda farklı seviyelerde (%0, 10, 20, 30 ve 40) havuç tepesi samanı beslemenin etkisini bildirdi. Herhangi bir olumsuz etki olmaksızın %30 seviyesinde besin alımı ve besin sindirilebilirliği dahil olmak üzere büyüme performansında iyileşme bildirmişlerdir.



Şekil 2. Farklı su potansiyelleri altında havuç bitkisinin büyümesi ve biyokütle üretimi. 0 ve -1,5 Mpa (%10 PEG-6000) ile muamele edilen 40 günlük havuçların (*Daucus carota*) fenotipi. Ölçek çubuğu = 5 cm

Kaynak: Geem ve ark., 2025

Kök bitkileri, kök oluşumu sırasında su eksikliğine karşı oldukça hassastır. Bu nedenle su kıtlığı havuç bitkilerinin kök kalitesi ve verimi üzerinde olumsuz bir etkiye neden olur (Junaid ve ark., 2023b). Tekdüze toprak nemi havuçta esastır çünkü su stresi büyümeyi yavaşlatır ve kalınlaşmış, odunsu hücreler, azalmış şeker içeriği ve acı bir tada neden olur. Havuç bitkileri, toprak tipine ve buharlaşmaya bağlı olarak haftada yaklaşık 30-50 mm veya bir ekim sezonu için 450-600 mm suya ihtiyaç duyar. Su, kök bölgesinden mevcut nemin yaklaşık %40'ı tükendiğinde uygulanmalıdır. Bitkiler genellikle çıkıştan sonra karık veya damla sulamaya geçmeden önce üstten sulama ile yetiştirilir. Üstten sulama tüm sezon boyunca kullanılabilir. Aşırı toprak nemi köklerin bölünmesine veya çatlamasına neden olabilir ve uygun renk gelişimini engelleyebilir (Praciak, 2022). Bir çalışmada kuraklık stresinin havuç kök çaplarının azalmasındaki rolü bildirilmiştir (Reid ve Gillespie, 2017). Kuraklık stresi havuçlarda prolin, glisin betain ve fenoller dahil olmak üzere metabolit konsantrasyonlarında önemli değişikliklere neden olur (Razzaq ve ark., 2017). Ayrıca, duyarlı havuç genotiplerindeki karotenoid içerikleri, toleranslı genotiplere kıyasla bir azalma göstermektedir (Zhang ve ark., 2021). Havuç bitkileri kuraklık dahil olmak üzere abiyotik streslere maruz kaldığında ozmotik ayarlamalar sergiler, bu ayarlamalar prolinler, antioksidan enzimler ve glisin betain'deki değişiklikleri içerir (Öztürk Gökçe ve ark., 2022).

Kuraklık stresi, genellikle daha soğuk iklimlerde yetişen havuçların büyümesi için önemli bir zorluktur. Kuraklık, havuç üretiminde önemli bir abiyotik faktördür ve kalitesini düşürür (Geem ve ark., 2025). Bir çalışmada, 138 gün boyunca su eksikliği koşullarında tutulan havuç kökleri, yeterli su koşullarına kıyasla taze kütlede %76, kuru kütlede %67 ve çapta %38 azalma göstermiş, uzun süreli su stresinin verimi ve kaliteyi önemli ölçüde etkilediği görülmüştür (Reid ve Gillespie, 2017). Birkaç çalışma, su eksikliğinin havuç üretiminde önemli bir abiyotik faktör olduğunu ve havuç verimini ve kalitesini olumsuz etkilediğini bildirmiştir (Herppich ve ark., 2001; Öztürk Gökçe ve ark., 2022).

Su kıtlığı, hassas havuç çeşitlerinin kimyasal bileşimini, kuru madde içeriğini ve şeker içeriğini ciddi şekilde etkiler (Junaid ve ark., 2023b). Kuraklık stresi altındaki havuç bitkileri yüksek fenolik içerikler sergiler, bu belki de bitkilerin oksidatif patlamayı önleyerek fizyolojik stabilite sağlayan ve bitkileri protein, lipid ve DNA yapılarının hasar görmesinden koruyan fenolik

bileşikleri aktive etmesinden kaynaklanmaktadır (Öztürk Gökçe ve ark., 2022). Havuç bitkisi yapraklarında su eksikliğinde prolin içeriği, fenoller ve glisin betainin arttığı bildirilmiştir (Razzaq ve ark., 2017). Kuraklık stresine maruz kalmanın havuç bitkilerinde su eksikliğine karşı lutein ve β -karotenlerin tolerans rolünü aktive edebileceği de bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2021). Havuç bitkileri ayrıca kuraklık stresıyla ilişkili bazı genlerin, yani prolin taşıyıcıları, prolin dehidrogenazlar, katalazın yukarı veya aşağı düzenlenmesi tepkisini gösterir (Junaid ve ark. 2023b). Kuraklık stresinin meydana gelmesi havuç genotiplerinde glisin betain içeriğinde önemli bir artışa neden olur (Öztürk Gökçe ve ark. 2022). Bir çalışma, havuçlarda abiyotik strese karşı osmotin veya osmotin benzeri proteinlerin dirençli rolüne işaret etmiştir (Annon ve ark. 2014).

3. Annatto-*Bixa Orellana*

Bixa orellana, *Bixaceae* familyasından mineral, hayvansal veya bitkisel kökenli doğal bileşikler gıda ürünlerinde, kozmetiklerde ve ilaçlarda kullanımı uzun süreli olan bir bitkidir. Tohumları antioksidan özelliklere sahip karotenoidler (bixin ve norbixin) içerir. Bixin, apokarotenoid familyasına ait bir karotenoiddir (Osorio ve ark., 2021). Achiote veya ruj ağacı olarak da bilinen *Bixa orellana*, esas olarak C25 apokarotenoid bixin'den oluşan annatto (E160b) olarak bilinen ticari boyayı yüksek miktarlarda ürettiği için büyük tarımsal endüstriyel ilgi gören bir üründür (Cardenas-Conejo ve ark., 2023). Bixin esas olarak tohumların arilinde birikir (tohumu kısmen veya tamamen kaplayan özel bir çıkıntı) (Louro ve Santiago, 2016). Arildeki kuru ağırlığın sadece %30'u bixin'den oluşur; kalan %70'i esas olarak lipitler, karbonhidratlar ve proteinlerden oluşur (Carvalho ve ark., 2010).

Bixa orellana, dokuz metre yüksekliğe ulaşabilen çok yıllık bir ağaçtır. Güney Amerika yerlileri, geleneksel olarak ishal ve astım gibi tıbbi amaçlar için yapraklarından, köklerinden ve tohumlarından elde edilen annatto özlerini kullanmışlardır (Raddatz-Mota ve ark., 2017). Bitki, don olmayan tropik bölgelere özgü herdem yeşil bir çalıdır (Akshatha ve ark., 2011). *Bixa orellana*, Brezilya'ya özgü bir bitkidir ancak Güney ve Orta Amerika'nın diğer bölgelerinde de yetişir. Peru, Meksika, Ekvador, Endonezya, Hindistan, Kenya ve Doğu Afrika gibi tropikal ülkelerde yetiştirilir (Elias ve ark., 2002). Annatto, daha spesifik olarak Güney Amerika'dan gelen yerli bir bitkidir. Popüler adı

“urucum” Tupi’lerde "kırmızı" anlamına gelen "ru-ku" sözcüğünden gelir. Brezilya’da bu bitki yaygın olarak urucum, urucu olarak bilinir. Diğer ülkelerdeki popüler isimler: atol’e, achiote ve bija (Peru ve Küba); aksiyot (Meksika); achiote, achote, anatto,bija ve santo-domingo (Porto Riko); bixa (Guyana); anal (Honduras); guajchote (El Salvador); onotto ve onotillo (Venezuela); achiote ve urucu (Bolivya); urucu (Arjantin); roucou (Trinidad); roucou ve koessewee (Surinam); ve annatto (Amerika Birleşik Devletleri) (Barbosa-Filho, 2006).



Şekil 3. Annattonun olgunlaşmış meyveleri (<https://prota.prota4u.org/protav8.asp?g=pe&p=Bixa%20orellana>) ve Annattonun tohum aşamaları

Kaynak: Cardenas-Conejo ve ark., 2023

Bu bitkinin tohumları, yalnızca gıda ürünlerinde değil, aynı zamanda tekstil, boya ve kozmetik endüstrilerinde de dünya çapında en sık kullanılan boyalardan birini üretir. Kullanımı, Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) gıda ve kozmetiklerde sentetik boyaların kullanımının yasaklanması nedeniyle teşvik edilmiştir. Burada kabul edilen az sayıdaki boyadan biridir, çünkü toksik olmamasının yanı sıra gıda değerini değiştirmiyor gibi görünmektedir. Bir diğer ilginç gerçek ise, dünya çapında tüketilen tüm doğal renklendirici maddelerin %70'inin *Bixa orellana*'dan elde edilmesidir. Annatto ilk olarak gıda boyası olarak, yani kırmızı biber olarak da bilinir, yemek pişirmede gıdanın rengini artırmak için yaygın olarak kullanılan bir çeşni olarak yayılmıştır. Ancak bugün kullanımı endüstriyel üretimin birçok bölümüne yayılmıştır (Giorgi ve ark., 2013). Dünya çapında annatto üretimi yaklaşık 17.500 ton/yıl olup bunun %68'i çoğunlukla aile çiftçilerinden olmak üzere Kuzeydoğu Brezilya'dan gelmektedir (Moreira ve ark., 2015). Brezilya, annatto tohumlarının ve özlerinin en büyük üreticisi ve ihracatçısıdır (de Lima Junior ve ark., 2014). Annatto (achiote)'nun yan ürünü, tohum perikarpını kaplayan toz boyanın çıkarılmasından kalan kalıntıdır. İşlendikten sonra, orijinal ürünün %94 ila %98'i yan ürün olarak kabul edilir (de Lima Junior ve ark., 2016).

Annatto tohumunun verimi ağaç başına yaklaşık 270 kg'dır. Tohumlar, saflaştırma ve işleme sonrasında renklendirme hazırlanmasında kullanılan temel pigmenti sağlayan ince bir yüksek renkli reçine kaplamasına sahiptir. Bu işlemden sonra, pigment çıkarılmış annatto tohumu atık haline gelir. Bu pigment çıkarılmış annatto tohumu unu, yüksek bypass protein içeriğine sahip potansiyel bir alternatif geleneksel olmayan temel yemdir ve manda rasyonlarındaki tahıl tanelerinin yerini alabilir (Kumar ve ark., 2007). Günümüzde fonksiyonel gıdalar yaygın bir ilgi görmektedir. Çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) ve antioksidan bileşiklerin sağlık üzerinde yararlı etkileri vardır. Süt ineklerinin diyetlerini manipüle ederek elde edilen sütteki bu bileşiklerin konsantrasyonunu artırmak, böylece süt kalitesini ve dolayısıyla bu sütü tüketen hayvanların ve insanların sağlığını iyileştirmek mümkündür. Süt ineği diyetlerinde bu antioksidan kaynaklarının sağlanması sütteki antioksidan aktivitesini artırır (Khan ve ark., 2019). Ruminantların beslenmesinde karotenoidler ve E vitamini eklenmesi, hem ette hem de sütte nihai ürünün organoleptik kalitesini iyileştirebilir. Bu, etin ve sütün oksidatif durumunu

iyileştirerek ürünü lipoperoksidasyon etkilerinden korur (Castillo ve ark., 2013).

Kumar ve ark., (2007)'nin araştırmasında, boya ve renk çıkarıldıktan sonra annatto tohumlarının DM, OM, CP, EE ve NFE içerikleri sırasıyla %86.8, %94.7, %14.3, %1.95 ve %52.9 olarak tespit edilmiştir. Manda rumen sıvısıyla inkübe edildiğinde IVDMD %61.4 ölçülmüştür. Fistüllü rumen mandalarında yapılan çalışmalarında pigment ekstrakte edilmiş annatto tohumlarının etkili parçalanabilir KM ve proteininin sırasıyla %62.4 ve %23.2 olarak ortaya konmuştur. Annatto yan ürününün kimyasal bileşimi, 870,0 g/kg kuru madde (KM), 148,0 g/kg ham protein (KP), 22,0 g/kg eter özütü, 569,0 g/kg NDF, 301,0 g/kg ADF, 23,4 g/kg lignin, 766,0 g/kg toplam karbonhidrat, 206,0 g/kg lifsiz karbonhidrat, 3910 kcal/g brüt enerji ve 726,6 g/kg toplam sindirilebilir besin ögeleri ortalamalarını göstermiştir. Toplam sindirilebilir besin ögeleri değerinin KM'nin %64,6'sı olduğu tahmin edilmektedir (de Lima Junior ve ark., 2014). Clementino (2008), koyunlar için Tifton 85 otu içeren diyetlerin KM'sine 0, 200, 400, 600 ve 800 g kg-1 annatto yan ürününün dahil edilmesini incelemiş ve KM alımının, annatto yan ürününün diyetle eklenmesiyle doğrusal olarak arttığını kaydetmiştir. Annatto yan ürününün eklenmesiyle KM'nin sindirilebilirlik katsayılarında, ham proteinde ve toplam karbonhidratlarda da doğrusal artışlar gözlenmiştir.

Annatto yılın büyük bölümünde büyümeye devam eder, çiçek açar ve meyve verir ve yıllık yağış iyi dağılmışsa ve 1200 mm'den yüksekse ve aylık 100-150 mm'lik bir yağış varsa koşullar ideal kabul edilir. Genel olarak, annatto çeşitli iklimlerde yetişebilen dayanıklı ve oldukça uyumlu bir bitkidir ancak ideal aralığın dışındaki ışık ve su koşulları iyi ürün verimliliğini sınırlar (Lorencone ve ark., 2024). Llanos de Mojos, kuraklık ve sel döngüleriyle şekillenen Bolivya Amazon'unda tropikal bir savandır. Amazon'daki annatto'nun tek arkeolojik kaydı bu bölgeden gelmektedir ve günümüzden 2.400 yıl öncesine tarihlenmektedir. Bu çayır ortamı, 2 ila 7 aylık bir kurak mevsim ve 1.500 ila 1.800 mm arasında değişen toplam yıllık yağış sunar. Kurak mevsim, haftalarca yağış almadan geçen Mayıs'tan Eylül'e kadar sürebilmektedir (Dequigiovanni ve ark., 2018). Yetiştirilen annatto'nun yabani atası *Bixa orellana* var. *urucurana*'dır. Açık ormanlar ve su kıyıları yayılış alanıdır. Yağış, yabani annatto'nun mevcut ve potansiyel dağılım deseninde önemli bir rol oynar.

KAYNAKÇA

- Akshatha, V., Giridhar, P., & Ravishankar, G. A. (2011). Morphological diversity in *Bixa orellana* L. and variations in annatto pigment yield. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(4), 319-324.
- Albuquerque, S. S., Rocha, B. P., Albuquerque, R. F., Oliveira, J. S., Medeiros, R. M., Riet-Correa, F., ... & Mendonça, F. S. (2014). Spontaneous poisoning by *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) in cattle. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 34, 827-831.
- Anandan, S., Kumar, G. A., Ghosh, J., & Ramachandra, K. S. (2005). Effect of different physical and chemical treatments on detoxification of ricin in castor cake. *Animal feed science and technology*, 120(1-2), 159-168.
- Ani, A. O. (2007). Effects of graded levels of dehulled and cooked castor oil bean (*Ricinus communis* L.) meal and supplementary L-Lysine on performance of broiler finishers. *Agro-Science*, 6(1), 89-97.
- Anjani, K. J. I. C. (2012). Castor genetic resources: A primary gene pool for exploitation. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 1-14.
- Annon, A., Rathore, K., & Crosby, K. (2014). Overexpression of a tobacco osmotin gene in carrot (*Daucus carota* L.) enhances drought tolerance. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 50, 299-306.
- Aslani, M. R., Maleki, M., Mohri, M., Sharifi, K., Najjar-Nezhad, V., & Afshari, E. (2007). Castor bean (*Ricinus communis*) toxicosis in a sheep flock. *Toxicon*, 49(3), 400-406.
- Auld, D. L., Pinkerton, S. D., Boroda, E., Lombard, K. A., Murphy, C. K., Kenworthy, K. E., ... & Ghetie, V. (2003). Registration of TTU-LRC castor germplasm with reduced levels of ricin and RC [A. sub. 120]. (Registrations of Germplasms). *Crop science*, 43(2), 746-748.
- Babita, M., Maheswari, M., Rao, L. M., Shanker, A. K., & Rao, D. G. (2010). Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. *Environmental and Experimental Botany*, 69(3), 243-249.
- Barbosa-Filho, M. (2006). *Bixa orellana*: Retrospectiva de usos populares, atividades biológicas, fitoquímica e emprego na fitocosmética, no continente americano, Simpósio Brasileiro do Urucum—SIMBRAU, João Pessoa, Brazil.
- Barnes, D. J., Baldwin, B. S., & Braasch, D. A. (2009). Ricin accumulation and degradation during castor seed development and late germination. *Industrial Crops and Products*, 30(2), 254-258.
- Baoddh, K., & Singh, R. P. (2012). Growth, tolerance efficiency and phytoremediation potential of *Ricinus communis* (L.) and *Brassica*

- juncea* (L.) in salinity and drought affected cadmium contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 85, 13-22.
- Bradberry, S. M., Dickers, K. J., Rice, P., Griffiths, G. D., & Vale, J. A. (2003). Ricin poisoning. *Toxicological reviews*, 22, 65-70.
- Cardenas-Conejo, Y., Narváez-Zapata, J. A., Carballo-Uicab, V. M., Aguilar-Espinosa, M., Us-Camas, R., Escobar-Turriza, P., ... & Rivera-Madrid, R. (2023). Gene expression profile during seed development of *Bixa orellana* accessions varying in bixin pigment. *Frontiers in plant science*, 14, 1066509.
- Carvalho, P. R. N., Silva, M. G. D., Fabri, E. G., Tavares, P. E. D. R., Martins, A. L. M., & Spatti, L. R. (2010). Concentração de bixina e lipídios em sementes de urucum da coleção do Instituto Agrônômico (IAC). *Bragantia*, 69, 519-524.
- Castillo, C., Pereira, V., Abuelo, Á., & Hernández, J. (2013). Effect of supplementation with antioxidants on the quality of bovine milk and meat production. *The Scientific World Journal*, 2013(1), 616098.
- Chung, H. Y., Rasmussen, H. M., & Johnson, E. J. (2004). Lutein bioavailability is higher from lutein-enriched eggs than from supplements and spinach in men. *The Journal of nutrition*, 134(8), 1887-1893.
- Clementino, R. H. (2008). Utilização de subprodutos agroindustriais em dietas de ovinos de corte: consumo, digestibilidade, desempenho e características de carcaça. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Comparing vegetative growth patterns of cultivated (*Daucus carota* L. subsp. *sativus*) and wild carrots (*Daucus carota* L. subsp. *carota*) to eliminate genetic contamination from weed to crop. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101213.
- Crepaldi, C. G., Campos, J. L. A., Albuquerque, U. P., & Sales, M. F. (2016). Richness and ethnobotany of the family *Euphorbiaceae* in a tropical semiarid landscape of Northeastern Brazil. *South African Journal of Botany*, 102, 157-165.
- De Jong, T. J., Grebenstein, C., & Tamis, W. L. (2016). Demography and life history of *Daucus carota* L. populations in the Netherlands. *Flora*, 224, 154-158.
- De Lima Junior, D. M., de Carvalho, F. F. R., Batista, Â. M. V., Clementino, R. H., Moreno, G. M. B., do Nascimento Rangel, A. H., ... & Pinheiro, W. M. (2016). Carcass and non-carcass characteristics of sheep fed on annatto byproduct. *Semina: Ciências Agrárias*, 37(5), 3293-3303.

- De Lima Junior, D. M., de Carvalho, F. F., Clementino, R. H., Batista, Â. M., Maciel, M. V., Ferreira, J. C., & Neto, J. D. P. (2014). Performance of sheep fed on annatto byproduct. *Italian Journal of Animal Science*, 13(3), 3147.
- De Oliveira, A. S., Campos, J. M. S., Oliveira, M. R. C., Brito, A. F., Valadares Filho, S. C., Detmann, E., ... & Machado, O. L. T. (2010). Nutrient digestibility, nitrogen metabolism and hepatic function of sheep fed diets containing solvent or expeller castor seed meal treated with calcium hydroxide. *Animal Feed Science and Technology*, 158(1-2), 15-28.
- Dequigiovanni, G., Ramos, S. L. F., Alves-Pereira, A., Fabri, E. G., Picanco-Rodrigues, D., Clement, C. R., ... & Veasey, E. A. (2018). Highly structured genetic diversity of *Bixa orellana* var. *urucurana*, the wild ancestor of annatto, in Brazilian Amazonia. *PloS one*, 13(6), e0198593.
- Diniz, L. L., Valadares Filho, S. C., De Oliveira, A. S., Pina, D. S., Da Silva, L. D., Benedeti, P. B., ... & Valadares, R. F. D. (2011). Castor bean meal for cattle finishing: 1—Nutritional parameters. *Livestock Science*, 135(2-3), 153-167.
- Elias, M. E. A., Schroth, G., Macêdo, J. L., Mota, M. S. S., & D'Angelo, S. A. (2002). Mineral nutrition, growth and yields of annatto trees (*Bixa orellana*) in agroforestry on an Amazonian Ferralsol. *Experimental Agriculture*, 38(3), 277-289.
- EU. (2009). Commission Directive 2009/141/EC of 23.11.2009 Off J Eur Union L 308, 20-23.
- Geem, K. R., Lee, Y. J., Lee, J., Hong, D., Kim, G. E., & Sung, J. (2025). Role of Carrot (*Daucus carota* L.) Storage Roots in Drought Stress Adaptation: Hormonal Regulation and Metabolite Accumulation. *Metabolites*, 15(1), 56.
- Giorgi, A., De Marinis, P., Granelli, G., Chiesa, L. M., & Panseri, S. (2013). Research Article Secondary Metabolite Profile, Antioxidant Capacity, and Mosquito Repellent Activity of *Bixa orellana* from Brazilian Amazon Region.
- Godwin, A., Pieralli, S., Sofkova-Bobcheva, S., Ward, A., & McGill, C. (2024). Forwood, D. L., Innes, D. J., Parra, M. C., Stark, T., de Souza, D. P., Chaves, A. V., & Meale, S. J. (2023). Feeding an unsalable carrot total-mixed ration altered bacterial amino acid degradation in the rumen of lambs. *Scientific Reports*, 13(1), 6942.
- Grassmann, J., Schnitzler, W. H., & Habegger, R. (2007). Evaluation of different coloured carrot cultivars on antioxidative capacity based on their carotenoid and phenolic contents. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 58(8), 603-611.

- Hammershoj, M., Kidmose, U., & Steenfeldt, S. (2010). Deposition of carotenoids in egg yolk by short-term supplement of coloured carrot (*Daucus carota*) varieties as forage material for egg-laying hens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(7), 1163-1171.
- Herppich, W. B., Mempel, H., & Geyer, M. (2001). Drought-and low temperature-acclimation in carrot (*Daucus carota* L.) roots. *Journal of Applied Botany*, Vol. 75, No. 3/4, 138-143.
- Jena, J., & Gupta, A. K. (2012). *Ricinus communis* Linn: a phytopharmacological review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4(4), 25-29.
- Johnson, W. (2007). Final report on the safety assessment of ricinus communis (castor) seed oil, hydrogenated castor oil, glyceryl ricinoleate, glyceryl ricinoleate se, ricinoleic acid, potassium ricinoleate, sodium ricinoleate, zinc ricinoleate, cetyl ricinoleate, ethyl ricinoleate, glycol ricinoleate, isopropyl ricinoleate, methyl ricinoleate, and octyldodecyl ricinoleate. *Int J Toxicol*, 26(Suppl 3), 31-77.
- Junaid, M. D., Öztürk Gökçe, Z. N., & Gökçe, A. F. (2023a). Investigation of drought induced biochemical and gene expression changes in carrot cultivars. *Molecular Biology Reports*, 50(1), 349-359.
- Junaid, M. D., Öztürk, Z. N., & Gökçe, A. F. (2023b). Drought stress effects on morphophysiological and quality characteristics of commercial carrot cultivars. *Turkish Journal of Botany*, 47(2), 111-126.
- Karadas, F., Grammenidis, E., Surai, P. F., Acamovic, T., & Sparks, N. H. C. (2006). Effects of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. *British poultry science*, 47(5), 561-566.
- Khan, I. T., Nadeem, M., Imran, M., Ullah, R., Ajmal, M., & Jaspal, M. H. (2019). Antioxidant properties of Milk and dairy products: A comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in health and disease*, 18, 1-13.
- Klinger, A. C. K., Silva, L. P., de Toledo, G. S. P., Chimainski, C., Camera, A., Rodrigues, M. O., & Rocha, L. T. (2017). Carrot tops as a partial substitute for alfalfa hay on diets for growing rabbits. *Archivos de zootechnia*, 66(256), 563-566.
- Kumar, P. S., Reddy, Y. R., Ramesh, S., Gobinath, S., & Ramana, D. B. V. (2007). Evaluation of Pigment Extracted Annatto Seed (*Bixa Orellana*) By Chemical, In-Vitro and In-Sacco Techniques In Buffaloes. *Buffalo Bulletin Ibic, Kasetsart University, Po Box 1084 Bangkok 10903, Thailand*, 26(1), 5.

- Lim, H., Kim, H. J., & Cho, Y. S. (2009). A case of ricin poisoning following ingestion of Korean castor bean. *Emergency medicine journal*, 26(4), 301-302.
- Lima, R. L., Severino, L. S., Sampaio, L. R., Sofiatti, V., Gomes, J. A., & Beltrão, N. E. (2011). Blends of castor meal and castor husks for optimized use as organic fertilizer. *Industrial crops and products*, 33(2), 364-368.
- Lorencone, J. A., de Oliveira Aparecido, L. E., Lorençone, P. A., Torsoni, G. B., de Lima, R. F., Chiquitto, A. G., ... & Marqueti, H. G. (2024). Climate change and its alterations on annatto (*Bixa orellana* L.) climate zoning in Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(3), 2473-2497.
- Louro, R. P., & Santiago, L. J. (2016). Development of carotenoid storage cells in *Bixa orellana* L. seed arils. *Protoplasma*, 253, 77-86.
- Mandel, J. R., & Brunet, J. (2019). Gene flow in carrot. *The carrot genome*, 59-76.
- Mezghani, N., Khoury, C. K., Carver, D., Achicanoy, H. A., Simon, P., Flores, F. M., & Spooner, D. (2019). Distributions and conservation status of carrot wild relatives in Tunisia: a case study in the western Mediterranean basin. *Crop Science*, 59(6), 2317-2328.
- Moreira, P. A., Lins, J., Dequigiovanni, G., Veasey, E. A., & Clement, C. R. (2015). The domestication of annatto (*Bixa orellana*) from *Bixa urucurana* in Amazonia. *Economic botany*, 69, 127-135.
- Mutlu, H., & Meier, M. A. (2010). Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(1), 10-30.
- Muturi, E. J., Doll, K., Ramirez, J. L., & Rooney, A. P. (2019). Bioactivity of wild carrot (*Daucus carota*, *Apiaceae*) essential oil against mosquito larvae. *Journal of medical entomology*, 56(3), 784-789.
- Nys, Y. (2000). Dietary carotenoids and egg yolk coloration. *Archiv für Geflügelkunde*, 64(2), 45-54.
- Osorio, J. A., Daniel, J. L., Cabral, J. F., Almeida, K. V., Guimarães, K. L., Sippert, M. R., ... & Santos, G. T. (2021). Annatto seeds as antioxidants source with linseed oil for dairy cows. *Animals*, 11(5), 1465.
- Owoleke, O. E., Tanimomo, B. K., Adama, T. Z., Akanya, H. O., Alemede, I. C., Abdulrahman, M., & Kolawole, V. O. (2016). Feed evaluation and growth performance of rabbits fed diets containing different forages. *Vom Journal of Veterinary Science*, 11(1), 101-111.
- Öztürk Gökçe, Z. N., Gökçe, A. F., Junaid, M. D., & Chaudhry, U. K. (2022). Comparative transcriptomics of drought stress response of taproot meristem region of contrasting purple carrot breeding lines supported by

- physio-biochemical parameters. *Functional & Integrative Genomics*, 22(4), 697-710.
- Praciak, A. (2022). *Daucus carota* (carrot). CABI Compendium. www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.18018
- Pompeu, R.C.F.F. (2009). Substituicao do farelo de soja pela torta de mamona destoxificada em dietas para ovinos: Valor nutritivo e desempenho bioeconomico Ph.D. diss. Univ. Federal do Ceara, Fortaleza. (In Portuguese, with English abstract.).
- Raddatz-Mota, D., Pérez-Flores, L. J., Carrari, F., Mendoza-Espinoza, J. A., de León-Sánchez, F. D., Pinzón-López, L. L., ... & Rivera-Cabrera, F. (2017). Achioté (*Bixa orellana* L.): a natural source of pigment and vitamin E. *Journal of food science and technology*, 54, 1729-1741.
- Rana, M., Dhamija, H., Prashar, B., & Sharma, S. (2012). *Ricinus communis* L. a review. *International Journal of PharmTech Research*, 4(4), 1706-1711.
- Razzaq, M., Akram, N. A., Ashraf, M., Naz, H., & Al-Qurainy, F. (2017). Interactive effect of drought and nitrogen on growth, some key physiological attributes and oxidative defense system in carrot (*Daucus carota* L.) plants. *Scientia Horticulturae*, 225, 373-379.
- Reid, J. B., & Gillespie, R. N. (2017). Yield and quality responses of carrots (*Daucus carota* L.) to water deficits. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 45(4), 299-312.
- Rust, S., & Buskirk, D. (2008). Feeding carrots or sugar beets to cattle. *Cattle Call*, 13(4), 1-2.
- Santos, R.F., Barros, M.A.L., Marques, F.M., Firmino, P.T. & Requiao, L.E.G. (2001). Analise conomica. In D.M.P. Azevedo and Lima, E.F., editors, *O agronegocio da mamona no Brasil*. Embrapa Algodao/Embrapa Informacao Tecnologica, Campina Grande, Brasilia, Brazil. Pp. 17-35..
- Severino, L. S., & Auld, D. L. (2013). Seed yield and yield components of castor influenced by irrigation. *Industrial Crops and Products*, 49, 52-60.
- Sherif, K., Rabie, M. H., & Bedair, A. I. (2018). Effect of feeding graded levels of carrot tops hay on growth performance of New Zealand White rabbits. *Journal of Animal and Poultry Production*, 9(7), 331-336.
- Silva Dalberto, D., Garbin Martinazzo, E., & Antonio Bacarin, M. (2017). Chlorophyll a fluorescence reveals adaptation strategies in drought stress in *Ricinus communis*. *Brazilian Journal of Botany*, 40, 861-870.
- Sparks, N. H. C. (2006). The hen's egg—is its role in human nutrition changing?. *World's Poultry Science Journal*, 62(2), 308-315.
- Steenfeldt, S., Kjaer, J. B., & Engberg, R. M. (2007). Effect of feeding silages or carrots as supplements to laying hens on production performance,

- nutrient digestibility, gut structure, gut microflora and feather pecking behaviour. *British poultry science*, 48(4), 454-468.
- Tadayyon, A., Nikneshan, P., & Pessarakli, M. (2018). Effects of drought stress on concentration of macro-and micro-nutrients in Castor (*Ricinus communis* L.) plant. *Journal of plant nutrition*, 41(3), 304-310.
- Thullier, P., & Griffiths, G. (2009). Broad recognition of ricin toxins prepared from a range of *Ricinus* cultivars using immunochromatographic tests. *Clinical Toxicology*, 47(7), 643-650.
- Vasconcelos, P. D. C. T., Loureiro, M. B., Lima, Á. M. M. F., Ribeiro, P. R., Bernal, D. T., Moreno, M. L. V., ... & de Castro, R. D. (2017). New insights into the mechanism underlying *Ricinus communis* L. tolerance to drought stress during germination. *Industrial Crops and Products*, 103, 99-106.
- Worbs, S., Köhler, K., Pauly, D., Avondet, M. A., Schaer, M., Dorner, M. B., & Dorner, B. G. (2011). *Ricinus communis* intoxications in human and veterinary medicine—a summary of real cases. *Toxins*, 3(10), 1332-1372.
- Zhang, R. R., Wang, Y. H., Li, T., Tan, G. F., Tao, J. P., Su, X. J., ... & Xiong, A. S. (2021). Effects of simulated drought stress on carotenoid contents and expression of related genes in carrot taproots. *Protoplasma*, 258, 379-390

BÖLÜM 11

Ekmek ağacı (*Artocarpus altilis*)

Yabani enginar (*Cynara cardunculus* var. *altilis*)

Amerikan agave (*Agave americana*)

Asystasia gangetica

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493174>

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Aydın, Türkiye. feyzabilgin@adu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7435-4130

1. Ekmek ağacı (*Artocarpus altilis*)

Artocarpus altilis (Familia: Moraceae), taze pişmiş ekmeğe benzeyen meyvesi nedeniyle genellikle ekmek ağacı veya ekmek meyvesi olarak adlandırılmaktadır. Yeni Gine, Endonezya ve Filipinler'e özgü olup, daha sonra Orta ve Güney Amerika, Afrika'da özellikle Senegal, Gana ve Liberya'ya, Hindistan, Güneydoğu Asya, Malezya, Madagaskar, Maldivler, Seyşeller, Endonezya, Sri Lanka, Kuzey Avustralya ve Güney Florida'ya kadar geniş bir coğrafyaya yayılmıştır (Deivanai & Bhore, 2010).

Artocarpus altilis, büyük boyutlu, her dem yeşil bir ağaç olup, 15 ila 20 metre yüksekliğe kadar ulaşabilmektedir. Lateks içeriği nedeniyle sütlü bir öz suya sahip olup, ağacın tüm yapılarında bulunmaktadır. Tropikal iklim şartlarına uygun olan ekmek ağacı, Mart–Haziran ve Temmuz–Eylül ayları arasında meyve vermektedir (Akanbi ve ark., 2009).

Meyveleri zengin bir karbonhidrat kaynağı olup, buharda pişirilebilir, kızartılabilir, fırınlanabilir, kavrulabilir ve farklı büyüme aşamalarında tüketilebilir (Sikarwar ve ark., 2014). Ekmek meyvesinin posası, özellikle Okyanusya'daki toplulukların beslenmesinde temel bir gıda bileşeni olarak kullanılmıştır. Güney Amerika ve Karayipler'de ise ekmek meyvesinin işlenmesi ağırlıklı olarak kızartma, kaynatma, dövme ve ezerek yemek hazırlama yöntemleriyle sınırlı kalmıştır (Mehta ve ark., 2023).

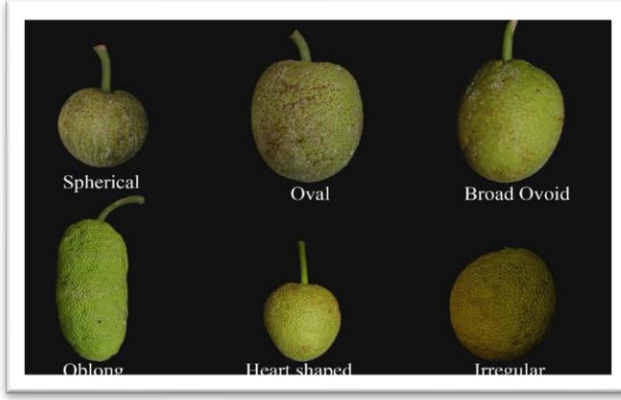
Ekmek meyvesinin ticari kullanımı ve tüketim şekilleri üzerine yapılan geliştirmeler, uzun bir geçmişe sahip olmasına rağmen, ancak Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) ticari çoğaltım için önerilen yönergeleri kamuoyuna sunduğu 2011 ve 2015 yıllarında ivme kazanmıştır (Jones ve ark., 2011).

Bu bitkinin yaprak, gövde, meyve ve kabuklarından elde edilen ekstraktlar ve metabolitler, antibakteriyel, antitüberküloz, antiviral, antifungal, antiplatelet, antiartritik, tirozinaz inhibitörü ve sitotoksik aktiviteler gibi çeşitli biyolojik etkiler göstermektedir (Jagtap & Bapat, 2014). *Artocarpus altilis*'in yaprakları ve meyveleri sığır beslenmesi için yem kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir. Ayrıca, meyve ve yapraklar un haline getirilerek besin açısından zengin kümes hayvanı yemi üretiminde kullanılabilir (Adekunle ve ark., 2006).

Okoruwa (2016) tarafından yürütülen bir çalışmada, küçük ruminant beslenmesine yönelik farklı şekilde işlenmiş ekmek meyvesi unlarının, *Ficus* yaprakları ve konsantre yemlerle birlikte verilmesinin özellikle kuru mevsim

koşullarında vücut ağırlığı artışını desteklediği belirlenmiştir. Çiğ ekmek meyvesi ununun soyulmuş ve soyulmamış formda ıslatılmasının besin değerini artırma konusundaki etkinliği, koç-kuzuların üstün yem alımı, kilo kazanımı ve yem kullanım verimliliği ile gösterilmiştir.

Ekmek ağacından elde edilen meyve ve yaprak unu, tavşan beslenmesi açısından ekonomik ve biyolojik olarak uygun bir bileşen olarak değerlendirilmiştir (Leyva ve ark., 2012). Abegunde ve ark. (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada, %40 oranına kadar ekmek meyvesi ile silolanmış su sümbülünün kalite değerlendirmesi ve kimyasal bileşimi açısından keçi beslenmesi için uygun bir yem kaynağı olabileceği gösterilmiştir.



Şekil 1. *Artocarpus altilis* meyvesi şeklindeki farklılıklar

Kaynak: Roberts-Nkrumah, 2024

Artocarpus altilis yaprağı tozu ile diyet takviyesinin Japon bıldırcınlarında büyüme performansı, et kalitesi ve antioksidan aktivite üzerindeki etkileri Purnama ve ark. (2021) tarafından değerlendirilmiştir. Çalışmada, ekmek meyvesi yaprağı tozunun temel diyetle test edilen konsantrasyonları 2.5, 5 ve 10 g/kg olarak belirlenmiştir. Temel diyetin 10 g/kg ekmek meyvesi yaprağı tozu ile takviyesi, et rengini, damlama kaybını, pişirme kaybını, su tutma kapasitesini ve etin yumuşaklığını olumlu yönde etkilemiştir.

Martin & Gibson (2003) tarafından yürütülen çalışmada, Anglo-Nubian keçilerine *Artocarpus altilis* tam unu, posasının unu veya kabuğunun unundan hazırlanan konsantre yemler verilmiştir. Gönüllü konsantre yem alımları *Artocarpus altilis* posası unu > kabuğu unu > tam ekmek meyvesi unu şeklinde

önemli ölçüde farklılık göstermiştir. Üç grubun yem dönüşüm oranı (yem/kazanç) sırasıyla 8.8, 4.8 ve 7.4 olarak belirlenmiştir. *Artocarpus altilis* posası unu konsantresi verilen keçiler, yemi canlı ağırlığa dönüştürmede daha yüksek performans sergilemiştir. Sonuçlar, tam ekmek meyvesi unu, posası unu ve kabuğu ununun, performans üzerinde olumsuz etkiler oluşturmada keçiyi beslenmesinde kullanılabileceğini ve Pasifik Ada ülkelerindeki geviş getiren hayvanlar için umut vadeden enerji kaynakları sunduğunu göstermektedir.

Artocarpus altilis, sıcak, nemli, tropikal ova alanlarına uygun bir üründür. Yağış, meyvenin çiçeklenmesi ve büyüme hızında belirleyici bir faktör olup, oldukça dengeli bir dağılım gerektirmektedir. *Artocarpus altilis* en iyi ekvatorial ovalarda yetişmekte olup, zaman zaman yaylalarda da bulunabilir. Ancak daha soğuk iklim koşulları, meyve üretimi ve kalitesinde düşüşe neden olmaktadır. İyi drenaj, optimum büyüme için gereklidir ve ağaçlar nemli topraklarda da meyve verebilmektedir. *Artocarpus altilis* için uygun toprak koşulları kum, kumlu tın veya tın olup, bitki 21-32°C sıcaklık aralığında en iyi şekilde büyümektedir (Sikarwar ve ark., 2014).

Ekmek meyvesi birkaç ay süren kuraklığa dayanabilmesine rağmen, meyvelerini erken dökülebilmektedir. Ağaç tam güneş ışığında en iyi şekilde büyümekte olup, genç ağaçlar %20-50 oranında gölgeyi tercih edebilse de tam güneşte yetiştirilmeleri mümkündür. Don, ağaca zarar vermekte olup, tüm meyvelerin ve yaprakların kaybına, hatta bazı dalların ölümüne yol açabilmektedir. Su basmış topraklarda yalnızca kısa süreli olarak dayanabilmektedir. Kökleri kesildiğinde veya hasar gördüğünde çok sayıda kök filizi üreten *Artocarpus altilis*, rüzgar hasarından sonra hızla yeni filizler ve dallar geliştirmektedir. Ağaç başına verim değişkenlik göstermekte olup, çeşidine, yaşına ve genel durumuna bağlı olarak 100 ila 700 arasında meyve üretmektedir. Ortalama verim ise ağaç başına 150-200 meyve olarak belirlenmiştir. Kökleri yayılıcı olup, toprağın yüzeyinde veya biraz altında büyümektedir (Ragone, 2006). Tohumlar depolamaya dirençli olup, uzun süre saklanabilmesi için 20°C’de nemli tutulmalıdır. *Artocarpus altilis* ağacı, yeterli ve dengeli yağış dağılımına ihtiyaç duymakla birlikte, kısa süreli kuraklık koşullarına dayanabilmektedir. Nijerya’nın yağmur ormanı bölgesinde, kakao ve kola ağaçları yetiştirilen tarım arazilerinde birçok *Artocarpus altilis* türü bulunmakta olup, bu bölge batıda “Ona Nehri”, doğuda ise “Ijebu-Ode” ile sınırlanmaktadır. Bölgede hem kurak hem de yağışlı mevsimler görülmekte

olup, her yıl Aralık–Şubat ayları arasında üç aylık kurak dönem yaşanmaktadır. Ortalama yıllık yağış miktarı 1140 mm ve ortalama sıcaklık 26.4°C'dir (Areo, 2021).

Ekmek meyvesinin ovül halinden olgun meyveye kadar büyümesi ve gelişmesi 16-20 hafta sürmektedir. Bu süreç, çeşitli çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Sıcak iklim koşulları ve aşırı kurak toprak, bitkide kuraklık stresine neden olarak meyve üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Yağışlı sezonda meyve verimi, kuru sezondakine kıyasla belirgin şekilde daha yüksek olmaktadır (Adinugraha ve ark., 2006).

2. Yabani enginar (*Cynara cardunculus* var. *altilis*)

Cynara cardunculus, Compositae (Asteraceae) familyasına ait bir bitki türü olup, düşük yağış ve sıcak, kuru yazların görüldüğü Akdeniz iklimine özgü ve bu koşullara adapte olmuş çok yıllık bir bitkidir. Biyokütle üretimi açısından önemli bir tarımsal ürün potansiyeline sahiptir (Gominho ve ark., 2018). Genellikle 75-150 cm boyuna kadar büyüyen, ancak bazı durumlarda 2 m yüksekliğe ulaşabilen bir C₃ bitki türüdür. Kök sistemi oldukça iyi gelişmiş olup, 2 m derinliğe kadar büyüeyebilen ana kazık kök ve değişken sayıda ikincil lifli köklerden oluşmaktadır. Yaprakları oldukça büyük olup, 120 cm uzunluğa ve 30 cm genişliğe kadar ulaşabilen bir rozet oluşturur. Güney Avrupa'nın kserotermik (kuru ve sıcak) koşullarına iyi adapte olmuş, tuzluluğa karşı yüksek dayanıklılık gösterirken, uzun süreli su basmasına tolerans göstermemektedir (Titei, 2020).

Cynara cardunculus, yeşil kimya uygulamaları açısından uygun olup, stresli çevresel koşullar altında yetişebilen, yüksek biyokütle ve tohum üretim kapasitesine sahip bir türdür (Pappalardo ve ark., 2019). Yıllardır araştırmalara konu olmuş ve kurak iklimlerde önemli miktarda biyokütle üretebilen kuraklığa dayanıklı bir tür olarak belirlenmiştir (Garcia ve ark., 2008). Akdeniz iklimi, düşük yıllık yağış rejimi ve düzensiz dağılımı ile karakterize olup, sıcak ve kuru yazlar bitki gelişimi üzerinde sınırlayıcı bir etkiye sahiptir. *Cynara cardunculus*, bu zorlu yaz mevsimine karşı "kuraklıktan kaçış stratejisi" geliştirmiştir. Generatif döngüsünü yaz mevsimine kadar tamamlayan çok yıllık bir bitki olup, yaz boyunca toprak üstü kısmı kuruyarak toprak altı kısmı (yumrulu kök sistemi) sonbahar yağışları ile yeniden canlanana kadar dormansiye girmektedir (Quilho ve ark., 2004). Bu yıllık büyüme döngüleri

birden fazla yıl boyunca sürebilmekte olup, 15 yıldan fazla sürdüğü de bildirilmiştir (Fernandez ve ark., 2006).

Cynara cardunculus, iki önemli kültür alt türünü içermektedir: yenilebilir başları için yetiştirilen küre enginar (*Cynara cardunculus* var. *scolymus*) ve etli sapsı ile yaprak sapsı için yetiştirilen yapraklı enginar (*Cynara cardunculus* var. *altilis*). Ayrıca, kültür formlarının atası olarak kabul edilen üçüncü bir form olan yabancı enginar (*Cynara cardunculus* var. *sylvestris*) da bu türe dahildir (Falistocco, 2016).

Yabancı enginarın (*Cynara cardunculus* var. *altilis*) sapsı tüketilebilir olup, kuraklık stresine karşı güçlü bir yeniden büyüme ve adaptasyon kapasitesi sergilemektedir. Büyüme döngüsünün sonunda, toprak üstü biyokütlesi bazal yapraklar (rozet yaprakları), gövde yaprakları, yağlı tohumları taşıyan sapsı ve başlardan oluşmaktadır. Bitkinin biyokütle bölüşüm oranı, farklı kullanım alanları açısından önem taşımaktadır. Örneğin, tohumlar yağ veya biyodizel üretimi için değerli olabilirken, diğer bitki fraksiyonları biyokütle uygulamalarına yönelik değerlendirilmektedir (Gominho ve ark., 2018).

Enerji bitkisi olarak *Cynara cardunculus*, biyokütle üretimi için geliştirilmiş çok yıllık bir yetiştirme sisteminde ekilmektedir. Bu sistemde bitkinin tüm toprak üstü biyokütlesi hasat edilmektedir. İki ana bitki bileşeni kullanılmaktadır: lignoselülozik biyokütle ve yağlı tohumlar. Lignoselülozik biyokütle, doğrudan yakıt olarak kullanılabilen katı bir biyoyakıt olup, ısıtma veya elektrik enerjisi üretimi amacıyla değerlendirilebilmektedir. Yüksek yağ içeriğine sahip tohumlar ise biyodizel üretimi gibi enerji uygulamalarında hammadde olarak kullanılabilir. Enerji uygulamalarına ek olarak, *Cynara cardunculus*, geniş getiren hayvanlar için yem olarak değerlendirilebilmektedir (Fernandez ve ark., 2006). Kış ve ilkbahar dönemlerinde yem bitkisi olarak kullanılabilen çok amaçlı bir tür olup, “BBCH-59” ile “BBCH-69” fenolojik büyüme aşamaları arasında maksimum taze biyokütle üretimi sağlamaktadır (Archontoulis ve ark., 2010).



Şekil 1. Enginar bitkisi BBCH ölçek aşaması 59-69 arasında yem bitkisi olarak hasat edilebilir. BBCH aşaması 59'daki (sol fotoğraf, çiçeklenme çıkışı) ve BBCH aşaması 69'daki (sağ fotoğraf, çiçeklenme ve kapitulum (veya baş) oluşumu) bitkilerin görünümü

Kaynak: Archontoulis ve ark., 2010

Enginar (*Cynara cardunculus*), yüksek yaprak verimi ve uzun üretim döngüsü nedeniyle yüksek su ihtiyacı olan bir bitki olarak bilinmekle birlikte (Mansour ve ark., 2005), ilk yıl kök sistemini geliştirdikten sonra kuraklığa karşı oldukça dayanıklıdır ve sınırlı su koşullarına tolerans gösterebilmektedir (Fernandez ve ark., 2006).

Titei (2020), Moldova Cumhuriyeti'nde yürüttüğü bir tarla denemesinde, yabani enginar (*Cynara cardunculus* var. *altilis*) ve *Helianthus tuberosus* cv. 'Solar' kullanılarak hazırlanan yeşil biyokütlenin ve silajın kalitesini değerlendirmiştir. Hasat edilen yeşil kütledeki kuru madde içeriği *Cynara cardunculus* için %20, *Helianthus tuberosus* için %29 olarak belirlenmiştir. Hazırlanan silajların hoş bir kokuya sahip olduğu, görünümünün sebze turşusuna benzediği ve yabani enginar silajının homojen bir zeytin rengine olduğu bildirilmiştir. *Helianthus tuberosus* silajı ise kahverengimsi tonlarda koyu yeşil yapraklar ve sarı-yeşil saplar içermektedir. Çalışmada, bu çok yıllık Asteraceae türlerinin, optimum besin içeriği ve yüksek yeşil kütle verimliliği ile karakterize olduğu, iyi silaj kalitesine sahip olduğu ve geniş getiren hayvanlar için alternatif yem olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Birinci yetiştirme sezonunda, *Cynara cardunculus* var. *altilis*, koyu yeşil tüylü yapraklı rozetlerden oluşan 30-35 yaprak geliştirmiştir. Verimi 3.40 kg/m² yeşil kütle veya 0.50 kg/m² kuru maddeye ulaşmış olup, toprak altında 100 cm'den daha derin kazık kök geliştirmiştir. Biyokimyasal bileşimi ise %24

ham protein, %9 kül, %33 NDF, %18 ADF, %1.6 ADL, %22 TSS ve %96 DMD şeklinde belirlenmiştir.

3. Amerikan agave (*Agave americana*)

Kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı mahsullere duyulan ihtiyaç, dünya kara yüzey alanının yaklaşık %40'ını kaplayan kurak ve yarı kurak bölgelerde özellikle önem taşımaktadır (Vorosmarty ve ark., 2010). Bu bölgelerde yetersiz yağış ve yoğun buharlaşma, ekonomik açıdan önemli birçok C₃ ve C₄ bitkisinin yetiştirilmesini zorlaştırmaktadır (Stewart, 2015).

Küresel iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte, kurak bölgeler ve diğer marjinal arazilerde Crassulacean Acid Metabolism (CAM) bitkilerinin tarımsal potansiyeli ve büyüme kapasitesi üzerine artan bir ilgi gözlenmektedir. CAM metabolizmasını kullanan bitkiler, fotosentez sırasında gece karbon alımına odaklanabilmeleri sayesinde kuru koşullara daha iyi adapte olabilmekte ve yüksek verimlilik gösterebilmektedir (Skogberg ve ark., 2025).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından envanteri tutulan 168 mahsul ürünü kategorisinden yalnızca dört tanesi (CAM bitkileri: agave lifleri, ananas, sisal ve vanilya) bu metabolizmayı kullanmaktadır. Bitki fizyolojisi üzerine yapılan araştırmalar, tarımsal yönetim ve mahsul üretim modelleri büyük ölçüde C₃ ve C₄ bitkilerine odaklanmış olup, CAM bitkilerine yönelik çalışmalar görece sınırlı kalmıştır. Sonuç olarak, CAM bitkilerinin sürdürülebilir tarımsal üretimi artırma potansiyeli tam olarak değerlendirilememektedir. Bununla birlikte, özellikle tüm vasküler bitkilerin yaklaşık %6'sının CAM metabolizmasına sahip olduğu düşünüldüğünde, bu bitkilerin tarımsal kullanım alanları genişlemektedir. Son dönem çalışmalar, *Agave spp.* ve *Opuntia spp.* gibi CAM bitkilerinin tarımsal potansiyelini ortaya koyarak bu alandaki akademik ve endüstriyel ilgiyi yeniden canlandırmıştır (Davis ve ark., 2019).

Agave cinsi içerisinde 200'den fazla tür bulunmaktadır ve tamamı zorunlu CAM metabolizması kullanan bitkilerdir. Çoğu tür, yüksek su

kullanım verimliliği ve aşırı ısı toleransı gösterirken, *Agave americana*, tarımsal üretim açısından değerlendirilebilecek önemli türlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu cinsin tüm türleri CAM metabolizmasını kullanmakta olup, çoğu kuraklığa ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır; *Agave americana* ise buna ek olarak yüksek verim ve düşük sıcaklık toleransı özellikleriyle öne çıkmaktadır. Gece boyunca asimile edilen karbon, büyük vakuollerde asit formunda depolanmaktadır. CAM metabolizmasına sahip bitkilerin fizyolojik adaptasyonları, C₃ ve C₄ bitkilerine kıyasla su kullanım verimliliği açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Bazı CAM türlerinin su kullanım verimliliği, C₃ bitkilerine kıyasla 10-20 kat, C₄ bitkilerine kıyasla ise 2-5 kat daha yüksek olabilmektedir. Bu nedenle, CAM bitkileri, çöl ve yarı kurak çayırılık gibi birçok bitki türünün yetişemediği alanlarda tarımsal üretim açısından potansiyel sunmaktadır (Davis, 2022).

Agave türleri, günümüzde lif, tatlandırıcılar, içecekler, gıda ürünleri ve süs bitkileri gibi birçok tarımsal pazarda ticari amaçlarla yetiştirilmektedir. Çoğu *Agave* türünün çiçekleri yenilebilir olup, türler geniş bir ekolojik dağılım göstermektedir. Yaşam alanları deniz seviyesinden başlayarak 3400 m rakıma kadar değişkenlik göstermekte olup, kurak ve yarı kurak bölgeler, orman içi açıklıklar ve nehir kıyıları gibi çeşitli ekosistemlerde bulunabilmektedir. Ancak, *Agave* türleri en çok kserofilik bölgelerde yoğun şekilde yayılım göstermektedir. Meksika'da, *Agave* türleri üç farklı yetiştirme düzeyinde değerlendirilmektedir: doğadan vahşi olarak hasat edilen, yarı kültüre alınmış ve endüstriyel olarak yetiştirilen popülasyonlar. Çiftçiler, ormanlık arazilerde hektar başına 20 ila 1500 bitki, çayır ekosistemlerinde ise hektar başına 3000 bitkiye kadar ulaşan popülasyon yoğunlukları ile birçok yabani *Agave* türünü farklı tarımsal amaçlarla yetiştirmektedir. Endüstriyel ölçekte yetiştirilen *Agave* türleri yalnızca eşeysiz çoğaltma yöntemleriyle üretilmekte olup, gübreleme, yabancı ot kontrolü ve patojen yönetimi gibi yoğun tarımsal uygulamalar altında monokültür sistemlerinde yetiştirilmektedir. Endüstriyel ölçekli *Agave*

hasadı, emek yoğun bir işlem olup, bitkiler yapraklarının elle kesilmesi ile hasat edilmekte, ardından şeker ekstraksiyonu ve fermantasyon işlemleri için sap ve gövdeleri taşınmaktadır. *Agave* bitkisinden elde edilen sert lifler, yaygın olarak sisal adıyla bilinmekle birlikte, bu adlandırma belirsizdir ve lif üretimi ile ilişkilendirilen birkaç farklı *Agave* türü bulunmaktadır (Davis ve ark., 2019).



Şekil 1. *Agave americana* var. *Expansa*

Kaynak: Queiroga ve ark., 2020

Agave yapraklarının dış yüzeyinde bulunan kalın, epikütiküllü mum tabakası, iklimsel ve diğer potansiyel çevresel etkilere karşı direnç sağlamakta olup, *Agave*'in morfolojik özellikleri toprak üstü biyokütlesini otçul hayvanların tüketiminden korumaktadır (örn. uzun, sivri ve dikenli yapraklar). Bu özellikler, *Agave*'i çeşitli zorlu koşullara dayanabilen dirençli bir bitki türü haline getirmektedir. Anatomik olarak geniş yaprakların yüksek ışık alımı sonucu artan “fotosentetik olarak aktif radyasyon” (PAR) soğurur, bu durum bitkinin fotosentetik verimliliğini artırarak büyüme hızına olumlu katkıda bulunmaktadır (Kuzmick, 2015).

Agave americana bitkisi, doğal olarak Meksika, Arizona ve Teksas'a özgü olup, dünya çapında süs bitkisi olarak yetiştirilmektedir. Pek çok bölgede

doğal bitki örtüsünün bir parçası haline gelmiştir. *Agave*, yaşamı boyunca yalnızca bir kez çiçek açmakta ve ardından ölmekte olup, dipten sürgünler veya rastgele fideler üreterek büyümesini sürdürmektedir (Hulle ve ark., 2015).

Dünyanın birçok bölgesinde *Agave* bitkileri, demiryolu hatları, yol kenarları, nehir kıyıları ve kurak araziler boyunca çit bitkisi olarak yetiştirilmekte olup, özellikle kurak ve yarı kurak iklimlerde doğal olarak gelişmektedir. *Agave*, tarımsal üretime uygun olmayan kuru topraklarda yetişebilmekte ve kuru, iyi drene edilmiş kumlu-tınlı topraklarda güçlü bir büyüme sergilemektedir. Yaprakları üçüncü yıldan itibaren hasat için uygun hale gelmekte olup, bir metreden kısa olmayan eski yapraklar hasat edilmektedir. Her bitki yılda 40-50 yaprak üretebilmektedir. Bitkinin yaşam döngüsü ise 8 ila 30 yıl arasında değişmektedir (Msahli ve ark., 2005).

Bu bitkinin hektar başına yıllık biyokütle verimi 300 ton olup, yaklaşık 6 ton lif üretimi sağlanmaktadır (Hulle ve ark., 2015). Yaz aylarında sindirilebilirlikte azalma gözlemlense de, *Agave americana*, hem kış hem de yaz aylarında ruminantlar için uygun bir yem takviyesi olarak değerlendirilmekte olup, düşük maliyetli ve ekolojik açıdan sürdürülebilir sulu bitkisel yem kaynağı sağlayabilmektedir (Dias ve ark., 2023).

Vidales–Contreras ve ark. (2009), sulama yapılmayan arazi koşullarında ticari ve yerel mikoriza aşılایıcıları ile *Agave americana* ve bir kaktüs türü olan *Opuntia lindheimeri*'nin besin kalitesini ve biyokütle üretimini değerlendirmiştir. Bitkiler Nisan 2006'da ekilmiş olup, veriler Nisan 2007'de toplanmıştır. Çalışmada, ticari mikoriza aşılamasının *Agave* üzerinde *Opuntia*'ya kıyasla daha başarılı olduğu belirlenirken, yerel mikoriza aşılama yöntemi *Opuntia* üzerinde en yüksek başarıyı göstermiştir. Biyokütle üretimi, kül içeriği ve fosfor (P) miktarı, *Agave*'da *Opuntia*'dan daha yüksek bulunmuş olup, sonuçlar *Agave americana*'nın *Opuntia lindheimeri*'ye kıyasla daha yüksek yem kalitesi ve biyokütle üretimine sahip olduğunu ortaya koymuştur. *Agave* kökleri, kuruyan topraklara tepki olarak küçülerek su kaybını en aza indirebilmekte olup, kısa süreli yağış olaylarından sonra hızlı su alımı sağlamak üzere ince kökler üretebilmektedir. Ayrıca, ölü yapraklar *Agave* bitkisinin tabanında birikerek, canlı yaprakların dokusunu 50-55°C arasında değişebilen yüksek toprak yüzey sıcaklıklarından korumaktadır. Ölü *Agave* yaprakları ayrıca toprak buharlaşmasını azaltarak toprak organik maddesinin artışına katkıda bulunmaktadır (Stewart, 2015).

Agave cinsinin kıtasal biyolojik çeşitliliğinin yaklaşık %75'i Meksika'da, %13'ü ise ABD çöllerinde bulunmaktadır (Garcia-Moya ve ark., 2011). *Agave* türleri, kurak bölgelerin düzensiz, sıcak ve su kıtlığına bağlı koşullarına uyum sağlamalarına yardımcı olan biyolojik ve morfolojik özellikler geliştirmiştir (Silva-Montellano & Eguiarte, 2003).

Sıg kök sistemi, belirgin rozet şekli ve yağmur tutmayı maksimize etmek için kavisli yaprakları gibi morfolojik adaptasyonlar, *Agave*'in atmosfer ve toprak nemini verimli bir şekilde kullanmasını sağlamaktadır (Martorell & Ezcurra, 2007). Crassulacean acid metabolism (CAM) fotosentezi, bu bitkilerin sıcak ve su kıtlığı koşullarında üretkenliğini artıran temel biyolojik özelliklerden biridir (Borland ve ark., 2011).

Agave'in fotosentezi, yüksek buharlaşma transpirasyon oranlarını ve gün ışığı saatlerinde yaprak su kaybını önlemek için bir strateji olarak gece stoma açılmasına ve CO₂ gazı değişimine dayanmaktadır (Lüttge, 2004). Gece CO₂ fiksasyonu, *Agave*'in kurak iklimlerde hayatta kalması ve yüksek sıcaklıklara uyum sağlaması açısından kritik bir mekanizmadır. Bunun yanı sıra, *Agave*'in toprak üstü ve toprak altı morfolojik özellikleri—yaprak sululuğu, yağmur tarafından tetiklenen kıllı kökler ve lifli kök mimarisi—bitkinin fizyolojik süreçlerini mevsimsel toprak nem seviyelerine ve sıcaklığa adapte etmesine yardımcı olmaktadır. *Agave*'in yaprak morfolojisi (örneğin, yaprakların şekli, boyutu ve etli yapısı), yaprak parankimasında koruma sağlayarak ve su depolayarak çöl ekosistemlerine uyum sağlamasını desteklemektedir (Ortiz-Cano ve ark., 2020). Ek olarak, kavisli *Agave* yapraklarının rozet dizilimi, yaz muson mevsimi boyunca yağmur suyunu bitkiye ve toprağa yönlendirerek rizomlarını ve kök bölgesini nemlendirmektedir. Martorell & Ezcurra (2007), rozet özelliğinin, yapraklar arasında çiy ve sis şeklindeki atmosferik nemi hapsedebildiğini ileri sürmüştür.

Agave'in kalın ve etli yaprakları, yağmur ve toprak neminin sınırlı olduğu dönemlerde bitki için su deposu işlevi görmektedir. Toprak nemi kalıcı solma noktasına ulaşsa dahi, *Agave* fizyolojik olarak birkaç ay boyunca işlevsel kalabilmektedir (Nobel, 2003). *Agave* kök sistemi, sıg köklerden (ortalama kök uzunluğu: 8 ila 20 cm) ve rizomlardan oluşmaktadır (Bautista-Cruz ve ark., 2007). Rizomlardan ve havai yumrulardan kaynaklanan yeni bitkilerin büyümesi, *Agave*'in ana eşeysiz üreme stratejisini oluşturmaktadır. Bu tür yavru bitkiler, toprak nemini arayarak ana bitkiden birkaç metre uzağa kadar

yayılabilir (Nobel, 2003). Sığ kökler, özellikle hafif yağış olaylarının ardından biriken az miktardaki nemin toprak yüzeyinden hızlı şekilde emilmesini sağlamakta olup, lifli *Agave* kök sistemleri, özellikle düşük nem tutma kapasitesine sahip, iyi drene edilmiş kumlu topraklarda su alımını en üst düzeye çıkarmaktadır. Ek olarak, çok kuru topraklarda, olgun *Agave* köklerindeki peridermal hücrelerin susuz kalması su kaybını önleyerek kök damar sisteminin kurumasını engellemektedir. Odunlaşmış kökler, *Agave* bitkisini toprağa sıkı bir şekilde bağlamaktadır.

Yağış meydana geldiğinde, yağmurdan gelen su darbeleri *Agave* köklerini yeniden nemlendirmekte olup, yeni kök tüylerinin ortaya çıkmasını teşvik ederek *Agave* kök sistemlerinin hidrolik iletkenliğini artırmaktadır. Yağmur suyu, *Agave* yapraklarında suyun hızla alınması ve yenilenmesi için hayati önem taşıyan geçici kök tüylerinin büyümesini uyarmaktadır (Ortiz-Cano ve ark., 2020).

4. *Asystasia gangetica*

Yağ palmyesi, kauçuk ve hindistancevizi plantasyonlarında, yaygın olarak yabancı ot olarak kabul edilen birçok bitki türü bulunmaktadır. Geviş getiren hayvanlar, bu tür entegre çiftliklerde birincil besin kaynağı olarak bu lezzetli yabancı otlarla beslenmektedir. *Asystasia gangetica*, ağırlıklı olarak tropikal ve subtropikal bölgelerde yayılım gösteren çiçekli bitkileri kapsayan Acanthaceae familyasına ait bir türdür. Bu bitki çok yıllık olup, ağaç plantasyonlarında toprak yüzeyinde yaygın olarak yetişmektedir. *Asystasia gangetica*'nın yabancı ot yerine yem bitkisi olarak yeniden tanımlanması, besin değeri, adaptasyon kapasitesi ve maliyet tasarrufu açısından avantaj sağlayarak sürdürülebilir hayvan besleme sistemlerine katkıda bulunabilir. Aynı zamanda, iklim açısından akıllı hayvan üretiminin desteklenmesi bakımından önem arz etmektedir. Son çalışmalar, *Asystasia gangetica*'nın yüksek besin değerine ve biyolojik olarak aktif bileşiklere sahip olduğunu ortaya koymuş olup, hayvan beslemede düşük girdili bir bitki olarak kullanımına yönelik ilgi artmaktadır (Rahman ve ark., 2025).

Tropikal Afrika ve Asya'da yaygın olarak dağılım göstermekte olup, şu anda Avustralya'nın kuzey ve doğu kesimlerinde istilacı bir tür olarak tehdit oluşturmaktadır (Westaway ve ark., 2016). Bu tür, hızlı büyüme gösteren, düşük toprak verimliliği koşullarına ve gölgeye dayanıklı bir yapıya sahip olup,

özellikle ağaç plantasyonlarında yaygın olarak yetişmektedir (Ali ve ark., 2021).



Şekil 1. Birleşik Arap Emirlikleri'nde özel bir fidanlıkta yetiştirilen *Asystasia gangetica* bitkileri

Kaynak: Fotoğraf: V. V. Byalt; Byalt & Korshunov, 2021

Asystasia gangetica, 60 cm yüksekliğe kadar büyüeyebilen, genellikle 2 m uzunluğa kadar dik, dallı ve kare gövdeli, alt boğumlardan köklenen, hızlı büyüyen ve yayılan çok yıllık bir yer örtüsü bitkisidir (Samedani ve ark., 2013). Tohumdan güvenilir bir şekilde yetiştirilebilme kapasitesi nedeniyle ticari bir yem bitkisi olarak değerlendirilme potansiyeline sahiptir. Yem olarak kullanımı yanı sıra tıbbi, besinsel ve yerel değere sahip olup, yüksek mineral içeriklerine sahiptir (Khalil ve ark., 2018).

Asystasia gangetica, geniş getiren hayvanlar için yüksek bir lezzetliliğe sahiptir ve Güneydoğu Asya'da sığır ve keçiler için yem olarak kullanılmaktadır. Otlatılabileceği gibi, ahır yemi olarak biçilip kesilerek de değerlendirilmektedir. Bitkiden elde edilen özütlerin farmakolojik testlerde analjezik ve anti-astım özellikler sergilediği belirlenmiştir (Sobayo ve ark., 2012).

Bu bitki flavonoidler, fenoller, steroidler, tanenler ve glikozitler gibi çeşitli biyolojik bileşikler içermektedir. *Asystasia gangetica*'da bulunan

fitokimyasal bileşiklerin antioksidan ve antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir (Witariadi ve ark., 2023).

Asystasia gangetica, ev bahçeleri, yol kenarları, açık bahçeler ve geniş arazilerde kolaylıkla bulunabilen bir türdür. En büyük avantajları, yüksek lezzetliliğe sahip olması ve sindirilebilirliğinin yüksek olmasıdır. Bu bitki, yağlık palmiyenin gölgesinde iyi büyüebilmekte olup, gölge koşullarında çiçeklenmenin engellenmesi nedeniyle yeniden büyüme kapasitesi artabilmektedir (Witariadi & Kusumawati, 2024).

Ördekler, yüksek lifli diyetleri tavuklara kıyasla daha iyi sindirebilmektedir. *Asystasia gangetica* içeren pelet formundaki diyetlerin *Muscovy* ördeklerinde yem tüketimi, büyüme performansı ve et kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendiren bir çalışmada, başlangıç diyetine %10'a kadar ve büyütme diyetine %20 oranında *Asystasia gangetica* eklenmesinin kuru madde alımı, ham protein alımı veya kilo kazanımı üzerinde olumsuz bir etkiye neden olmadığı belirlenmiş ve böylece uygulanabilir bir yem bileşeni olarak değerlendirilmiştir (Hakem ve ark., 2025).

Witariadi ve ark. (2023), yerel Bali ördeklerinin rasyonlarında *Asystasia gangetica* unu kullanımına verdikleri tepkileri analiz etmiş ve ticari rasyonun %10-15'lik kısmının *Asystasia gangetica* unu ile değiştirilmesi durumunda ördeklerin performansının kontrol grubuyla benzer olduğunu tespit etmiştir. Çalışmada, *Asystasia gangetica* ununun, rasyonun ham lif içeriğini artırdığı belirlenmiştir. Sobayo ve ark. (2012) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, broiler rasyonlarında *Asystasia gangetica* yaprak ununun kullanımı değerlendirilmiştir. %2.5-7.5 seviyelerinin üzerinde kullanıldığında broiler tavukların son vücut ağırlığının ve kilo kazanımının azaldığı bulunmuştur. Bu durum, rasyondaki yüksek ham lif içeriğine bağlanmış olup, aynı zamanda *Asystasia gangetica*'nın fitokimyasal bileşiklerinin içerdiği etno-veteriner avantajlar vurgulanmıştır.

Kumalasari ve ark. (2020), Endonezya'da yürüttükleri bir saksı deneyinde *Asystasia gangetica*'nın farklı hasat zamanlarında (dikimden 30, 40, 50, 70 ve 90 gün sonra) büyüme dinamiklerini, verimini ve besin konsantrasyonlarını analiz etmiştir. Çalışmada, yapraktaki ham protein yüzdesinin 40. gün (%24.2) en yüksek seviyeye ulaştığı ve ardından 90. gün (%8.4) itibarıyla kademeli olarak azaldığı belirlenmiştir. Gövde için karşılık gelen değerler sırasıyla %10.6 ve %2.8 olarak ölçülmüştür. Yapraktaki ham lif

konsantrasyonlarının 30 günde %10.6'dan 90 günde %17.3'e yükseldiği belirlenirken, gövde için bu değerler sırasıyla %23.2 ve %39.2 olarak tespit edilmiştir. Çalışma bulguları, ekimden 40 ila 50 gün sonra yapılan biçimin, kuru madde verimi ve protein yüzdesi açısından en uygun oranı sağladığını ortaya koymuştur.

Asystasia gangetica, geniş bir ekolojik toleransa sahip olup, çeşitli çevre koşullarına uyum sağlayabilmektedir. Kuraklığa, tam güneş ışığına, kısmi gölgeye, dalgalardan gelen tuz püskürtmesine ve farklı toprak tiplerine karşı dayanıklılık göstermektedir (UF-IFAS, 2025). Bitki, tropikal bölgelerin nemli ekosistemlerinde en iyi şekilde büyümekte olup, doğal olarak yerleştiği Afrika'nın bazı bölgelerinde ortalama yıllık yağış miktarının 1200 ila 2100 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Ancak, *Asystasia gangetica*, dört ay veya daha uzun süren kurak mevsime sahip bölgelerde sulama olmaksızın hayatta kalamamaktadır (UTPD, 2014). Yerel çevresel koşullara adaptasyon gösteren bireyler, kuraklığa karşı daha yüksek tolerans sergileyebilmektedir (Whistler, 2000).

KAYNAKÇA

- Abegunde, T. O., Akinropo, T. F., Akande, T. O., & Ogunyemi, E. K. (2017). Proximate composition and physico-chemical parameters of water hyacinth (*Eicchornia crassipes*) ensiled with breadfruit (*Artocarpus altilis*) as feed for wad goats. *Nigerian Journal of Animal Production*, 44(5), 194-198.
- Adekunle, K. S., Fanim, A. O., Abiola, S. S., & Akegbejo-Samsons, Y. (2006). Potential of breadfruit meal as alternative energy source to maize in diet of broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*, 43(3), 241-249.
- Adinugraha, H. A., Setiadi, D., Santoso, H. B., & Kartikawati, N. K. (2021). Growth performance and fruiting of breadfruit (*Artocarpus altilis*) clonal plantation at vertic soil area in Gunungkidul, Yogyakarta for conservation strategy. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 739, No. 1, p. 012067). IOP Publishing.
- Akanbi T.O., Nazamid, S. and Adebawale, A.A. Functional and pasting properties of a tropical breadfruit (*Artocarpus altilis*) starch from Ile-Ife, Osun State, Nigeria. *International Food Research Journal*. 2009; 1(6): 151.
- Ali, A. I., Sandi, S., & Rofiq, M. N. (2021). Effect of feeding *Asystasia gangetica* weed on intake, nutrient utilization, and gain in Kacang goat. *Annals of Agricultural Sciences*, 66(2), 137-141.
- Allahdadi, M., & Bahreininejad, B. (2019). Effects of water stress on growth parameters and forage quality of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* L.). *Iran Agricultural Research*, 38(2), 101-110.
- Archontoulis, S. V., Struik, P. C., Vos, J., & Danalatos, N. G. (2010). Phenological growth stages of *Cynara cardunculus*: codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 156(2), 253-270.
- Areo, O. S. (2021). Wood properties and natural durability of *Artocarpus altilis*. (Parkinson Ex FA Zorn) Fosberg (Doctoral dissertation).
- Borland, A. M., Barrera Zambrano, V. A., Ceusters, J., & Shorrocks, K. (2011). The photosynthetic plasticity of crassulacean acid metabolism: an

- evolutionary innovation for sustainable productivity in a changing world. *New Phytologist*, 191(3), 619-633.
- Byalt, V.V., & Korshunov, M. V. (2021). New records for the flora of Fujairah Emirate (United Arab Emirates). *Turczaninowia*, 24(1), 98-107.
- Davis, S. C. (2022). Agave americana: characteristics and potential breeding priorities. *Plants*, 11(17), 2305.
- Davis, S. C., Simpson, J., Gil-Vega, K. D. C., Niechayev, N. A., Tongerlo, E. V., Castano, N. H., ... & Búrquez, A. (2019). Undervalued potential of crassulacean acid metabolism for current and future agricultural production. *Journal of Experimental Botany*, 70(22), 6521-6537.
- Deivanai, S., & Bhore, S. J. (2010). Breadfruit (*Artocarpus altilis* Fosb.)—An underutilized and neglected fruit plant species. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 6(5), 418-428.
- Dias, C. S. M., Nunes, H. P., Vouzela, C. F., Madruga, J. S., & Borba, A. E. (2023). Influence of the Season on the Nutritive Value and Gas Production of *Opuntia ficus-indica* and *Agave americana* L. in Ruminant Feed. *Animals*, 13(6), 1008.
- Falisticco, E. (2016). Cytogenetic characterization of cultivated globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus*) and cardoon (*C. cardunculus* var. *altilis*). *Caryologia*, 69(1), 1-4.
- Fernandez, J., Curt, M. D., & Aguado, P. L. (2006). Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses. *Industrial crops and Products*, 24(3), 222-229.
- Garcia, D., Fischer, G. S., & Van Velthuisen, H. (2008). The artichoke Thisle (*Cynara cardunculus* L.) as energy crop: modelling to assess the potentials in Spain. In *Proceedings of the 16th European biomass conference* (pp. 2-6).
- Garcia-Moya, E., Romero-Manzanares, A., & Nobel, P. S. (2011). Highlights for Agave productivity. *Gcb Bioenergy*, 3(1), 4-14.
- Gominho, J., Curt, M. D., Lourenço, A., Fernández, J., & Pereira, H. (2018). *Cynara cardunculus* L. as a biomass and multi-purpose crop: A review of 30 years of research. *Biomass and Bioenergy*, 109, 257-275.
- Gominho, J., Lourenço, A., Palma, P., Lourenço, M. E., Curt, M. D., Fernández, J., & Pereira, H. (2011). Large scale cultivation of *Cynara cardunculus*

- L. for biomass production—A case study. *Industrial Crops and Products*, 33(1), 1-6.
- Hakem, M. Z. A., Qi, K. S., Rahman, M. M., Kari, Z. A., & Len, C. S. C. (2025). Effect of *Asystasia gangetica* inclusion in the diet on the feed intake, growth performance, and meat quality of Muscovy ducks. *Tropical Animal Health and Production*, 57(2), 85.
- Hulle, A., Kadole, P., & Katkar, P. (2015). *Agave americana* leaf fibers. *Fibers*, 3(1), 64-75.
- Jagtap, U. B., & Bapat, V. A. (2010). *Artocarpus*: A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Journal of ethnopharmacology*, 129(2), 142-166.
- Jones, A. M. P., Ragone, D., Tavana, N. U. G., Bernotas, D. W., & Murch, S. J. (2011). Beyond the Bounty: Breadfruit (*Artocarpus altilis*) for food security and novel foods in the 21st Century.
- Khalil, K., Suyitman, S., & Montesqrit, M. (2018). Crude Nutrient and Mineral Composition of *Asystasia Gangetica* (L) Derived from Different Growing Areas.
- Kumalasari, N. R., Abdullah, L., Khotijah, L., Wahyuni, L., Indriyani, I., Ilman, N., & Janato, F. (2020). Evaluation of *Asystasia gangetica* as a potential forage in terms of growth, yield and nutrient concentration at different harvest ages. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 8(2), 153-157.
- Kuzmick, E. R. (2015). Investigating the Viability of *Agave americana* as a Potential Bioenergy Feedstock and its Relative Impact on Surrounding Wildlife (Master's thesis, Ohio University).
- Leyva, C. S., Valdivié, M., & Ortiz, A. (2012). Utilization of fruit and leaf meals from breadfruit tree (*Artocarpus altilis*) for fattening New Zealand White rabbits. *Pastos y Forrajes*, Vol. 35, No. 4, 443-452.
- Lüttge, U. (2004). Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). *Annals of botany*, 93(6), 629-652.
- Mansour, M., Mougou, R., & Mougou, A. (2000, October). Effect of several modes of irrigation and fertigation on artichoke crop. In IV International Congress on Artichoke 681 (pp. 127-134).
- Martin, A. E., & Gibson, S. (2003). Nutritive value of breadfruit (*Artocarpus altilis*, Park.) in concentrate supplements of growing crossbred Anglo-Nubian goats.

- Martorell, C., & Ezcurra, E. (2007). The narrow-leaf syndrome: a functional and evolutionary approach to the form of fog-harvesting rosette plants. *Oecologia*, 151, 561-573.
- Mehta, K. A., Quek, Y. C. R., & Henry, C. J. (2023). Breadfruit (*Artocarpus altilis*): Processing, nutritional quality, and food applications. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1156155.
- Msahli, S., Ydrean, J., & Sakli, F. (2005). Evaluating the fineness of *Agave americana* L. fibers. *Textile Research Journal*, 75(7), 540-543.
- Nobel, P. S. (2003). *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge University Press.
- Okoruwa, M. I. (2016). Energy utilization for body weight gain of ram-lambs fed differently processed breadfruit (*Artocarpus altilis*) meal in total mixed rations. *Nigerian Journal of Animal Production*, 43(2), 147-154.
- Ortiz-Cano, H., Hernandez-Herrera, J. A., Hansen, N. C., Petersen, S. L., Searcy, M. T., Mata-Gonzalez, R., ... & Stewart, J. R. (2020). Pre-Columbian rock mulching as a strategy for modern *agave* cultivation in arid marginal lands. *Frontiers in Agronomy*, 2, 10.
- Pappalardo, H., Genovese, C., Puglia, G. D., Leonardi, C., Toscano, V., & Raccuia, S. A. (2019). Principal mechanism of tolerance to abiotic stresses in *Cynara cardunculus* L. In X International Symposium on Artichoke, Cardoon and Their Wild Relatives 1284 (pp. 109-116).
- Purnama, M. T. E., Ernanda, E. P., Fikri, F., Purnomo, A., Khairani, S., & Chhetri, S. (2021). Effects of dietary supplementation with breadfruit leaf powder on growth performance, meat quality, and antioxidative activity in Japanese quail. *Veterinary world*, 14(7), 1946.
- Queiroga, V. P.; Gondim, T. M. S.; Medeiros, J. C.; Figueiredo Neto, A. (Eds.) (2020). *Agave americana* L. Tecnologias de plantio e produção de pulque. Campina Grande: AREPB, 1 edição, 189 p.
- Quilho, T., Gominho, J., & Pereira, H. (2004). Anatomical characterisation and variability of the thistle *Cynara cardunculus* in view of pulping potential. *IAWA Journal*, 25(2), 217-230.
- Ragone, D. (2006). *Artocarpus altilis* (breadfruit). Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, HI. <http://www.traditionaltree.org>.

- Rahman, M. M., Sultana, M., & Len, C. S. C. (2025). Should *Asystasia gangetica* No Longer Be Considered Just a Weed but Rather Also a Livestock Fodder?. *Grass and Forage Science*, 80(1), e12712.
- Roberts-Nkrumah, L. B. (2024). Breadfruit Research in the Caribbean: 1980-2024. *Tropical Agriculture*, 101(3), 219-244.
- Rosleine, D., & Khalishah, A. R. (2024). Population structure and risk assessment of invasive species *Asystasia gangetica* in urban area of Bandung, West Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(6).
- Samedani, B., Juraimi, A. S., Anwar, M. P., Rafii, M. Y., Sheikh Awadz, S. H., & Anuar, A. R. (2013). Competitive interaction of *Axonopus compressus* and *Asystasia gangetica* under contrasting sunlight intensity. *The Scientific World Journal*, 2013(1), 308646.
- Sikarwar, M. S., Hui, B. J., Subramaniam, K., Valeisamy, B. D., Yean, L. K., & Balaji, K. (2014). A review on *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg (breadfruit). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 4(8), 091-097.
- Silva-Montellano, A., & Eguiarte, L. E. (2003). Geographic patterns in the reproductive ecology of *Agave lechuguilla* (Agavaceae) in the Chihuahuan desert. I. Floral characteristics, visitors, and fecundity. *American Journal of Botany*, 90(3), 377-387.
- Skogberg, M., Kohonen, K. M., Lohila, A., Merbold, L., Räsänen, M., Vuorinne, I., ... & Kübert, A. (2025). Ecosystem-scale crassulacean acid metabolism (CAM) gas exchange of a sisal (*Agave sisalana*) plantation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 381, 109435.
- Sobayo, R. A., Adeyemi, O. A., Sodipe, O. G., Oso, A. O., Fafiolu, A. O., Ogunade, I. M., ... & Omoniyi, L. A. (2012). Growth response of broiler birds fed *Asystasia gangetica* leaf meal in hot humid environment. *Journal of Agricultural Science and Environment*, 12(1), 53-59.
- Stewart, J. R. (2015). Agave as a model CAM crop system for a warming and drying world. *Frontiers in plant science*, 6, 684.
- Suzuki, M., Chozin, M. A., Iwasaki, A., Suenaga, K., & Kato-Noguchi, H. (2019). Phytotoxic activity of Chinese violet (*Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson) and two phytotoxic substances. *Weed Biology and Management*, 19(1), 3-8.

- Titei, V. (2020). The biochemical composition and the feed value of green mass and silage from *Cynara cardunculus* and *Helianthus tuberosus* in the Republic of Moldova. Scientific Papers. Series D. Animal Science, 63(1), 122-127.
- UF-IFAS. (2025). University of Florida / IFAS / Center for Aquatic & Invasive Plants. *Asystasia gangetica*. <https://plant-directory.ifas.ufl.edu/plant-directory/asystasia-gangetica/>
- UTPD. (2014). Useful Tropical Plants Database. *Asystasia gangetica*. <https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Asystasia+gangetica>
- Vidales-Contreras, J. A., Valdez-Cepeda, R. D., & Terán, C. E. G. (2009). Mycorrhiza effect on nutritional quality and biomass production of Agave (*Agave americana* L.) and cactus pear (*Opuntia lindheimeri* Engelm.). J. PACD, 11: 69–77.
- Vorosmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., ... & Davies, P. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. nature, 467(7315), 555-561.
- Westaway, J. O., Alford, L., Chandler, G., & Schmid, M. (2016). '*Asystasia gangetica*' subsp. '*micrantha*', a new record of an exotic plant in the Northern Territory. Northern Territory Naturalist, 27, 29-35.
- Whistler, W. (2000). Tropical ornamentals a guide. Timber Press Inc. Oregon. ISBN 0-88192-448-2.
- Witariadi, N. M., & Kusumawati, N. N. C. (2024). Production and nutrient content of *Asystasia gangetica* (L.) subsp. *micrantha* grows in different locations. International Journal of Fauna and Biological Studies, 11, 1-4.
- Witariadi, N. M., Sumadi, I. K., Cakra, I. G. L. O., & Siti, N. W. (2023). Performance of local Bali ducks (*Anas* sp.) on feeding *Asystasia gangetica* flour in rations. *Int J Fauna Biol Stud*, 10(5), 46-50.
- Yulia, E., Mahmudah, A. I., Rahayu, A., Nasahi, C., Maharani, Y., Suganda, T., & Widayat, D. (2022). Phytopathogenic fungi as potential biocontrol agents against an invasive weed, *Asystasia gangetica*, at Sakambangan rubber plantation in Garut, West Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(9).

BÖLÜM 12

KURAKLIK BASKISINDA MERALAR

Prof. Dr. Mustafa SÜRMEN¹

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493204>

¹Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Aydın, Türkiye. mustafa.surmen@adu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9748-618x

²Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçanlı MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Aydın, Türkiye. feyzabilgin@adu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7435-4130

GİRİŞ

Yağış ve topraktaki besinler, mera verimliliğinin düzenlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Chieppa ve ark., 2019). Düşük girdili meralar, azot tedarikine ve hayvancılık için yeterli miktarda ve kaliteli ot sağlanması için gerekli olan buğdaygillerin ve baklagillerin mevcudiyetine bağlıdır. İklim değişikliğine bağlı olarak yağış miktarı ve dağılımındaki artan değişkenlik, kalıcı meralardan ot üretimini etkileyen kritik bir faktördür (Komainda ve ark., 2020). Çayırılar, küresel ölçekte en yaygın ekosistemler arasında yer almakta olup, toplam kara yüzeyinin %40'ından fazlasını kaplamaktadır. Ekolojik işleyiş, doğal kaynak üretimi ve küresel karbon bütçesinin düzenlenmesinde temel bir rol oynamaktadır. Çayır bitkileri, fotosentez yoluyla karbon fiksasyonuna katkıda bulunarak biyokütle üretimini desteklemektedir. Araştırmalar, bitki örtüsü verimliliğinin nemli ortamlarda iyileştirilmiş toprak besin durumu ile arttığını, kurak ortamlarda ise iklim faktörlerinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Doğal koşullar altında çayır ekosistemleri oldukça karmaşıktır; iklim, hidrotermal koşullar, kuraklık, bitki türü zenginliği ve dağılımı, toprak element besinleri gibi biyotik ve abiyotik faktörlerin karşılıklı etkileşimine tabidir. Bu faktörler arasındaki dinamik etkileşimler, çayır ekosistemlerindeki değişkenliği ve karmaşıklığı artırmaktadır. Su ve sıcaklık, doğal çayır ekosistemlerini doğrudan etkileyen iki temel çevresel değişkendir (Wu ve ark., 2022).

Verimli meralarda verim istikrarı, büyüme sezonu boyunca yeterli ve sürekli su teminine bağlıdır (Calanca ve ark., 2016). Bugüne kadar yapılan çalışmalar, kuraklık olaylarının yem verimini hem yüzeysel olarak yönetilen meralarda (Grant ve ark., 2014; Hoover ve ark., 2014) hem de yoğun şekilde yönetilen meralarda azalttığını ortaya koymuştur (Zwicke ve ark., 2013). Ancak kuraklığın etkileri, yönetim türüne (Deleglise ve ark., 2015), yönetim yoğunluğuna (Gilgen & Buchmann, 2009), biçme sıklığına (Vogel ve ark., 2012), tür zenginliğine (Isbell ve ark., 2015) ve türlerin kimliğine bağlı olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir (Hofer, 2016). Otlatma, otlakların kullanımının en doğru yolu olup, otlak bitki örtüsünün değişimini ve ardışıklığını bozarak otlak ekosisteminin yapısını ve işlevini geniş ölçüde etkilemektedir (Li ve ark., 2015).

1. KURAKLIK BASKISI ALTINDAKİ MERALARDA TÜR ÇEŞİTLİLİĞİNİN ROLÜ

Son on yılda, ekosistem işleyişinde biyolojik çeşitliliğin rolünün anlaşılmasına yönelik önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Çeşitli araştırmalar, bitki türlerinin çeşitliliği ile yer üstü biyokütle üretimi arasında pozitif bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur (Spehn ve ark., 2005). Bu çalışmaların bazıları, ekosistemlerde istikrarın bir göstergesi olarak kabul edilen yıllık toprak üstü biyokütle üretiminin değişkenliğinin, tür çeşitliliği arttıkça azaldığını göstermiştir (Isbell ve ark., 2009). Ayrıca, tür çeşitliliği ile ekosistem topluluğu özelliklerinin istikrarı arasında pozitif bir ilişki olduğu birçok çalışmada doğrulanmıştır. Ancak, ekosistem istikrarının diğer yönleri üzerine yapılan araştırmalar daha belirsiz sonuçlar ortaya koymaktadır.

İklim değişikliği bağlamında, ekosistemlerin kuraklık gibi çevresel bozulmalara verdikleri tepkiler büyük önem arz etmektedir. Ekosistemler, bozulma altında işlevsel değişimlere direnç gösterebilir veya bozulma sonrasında orijinal durumlarına geri dönerek dayanıklılık sergileyebilir. Sigorta hipotezi (*insurance hypothesis*), hem direnç hem de dayanıklılığın tür çeşitliliği ile artması gerektiğini öngörmektedir (Van Ruijven & Berendse, 2010). Bu hipotez, türlerin çevresel değişimlere verdikleri tepkilerin farklılık gösterdiği varsayımına dayanmaktadır. Tür çeşitliliği arttıkça, ekosistem içinde türlerin tepkileri de çeşitlenmekte olup, bu durum ekosistemin bozulmaya karşı adaptasyon kapasitesini artırmaktadır. Dolayısıyla, daha çeşitli bitki toplulukları, bozulma karşısında performanslarını koruyabilen veya ekosistem süreçlerini sürdürebilen türleri içerebilme olasılığı açısından avantajlıdır (Loreau ve ark., 2001). Ancak, çayır ekosistemlerinde kuraklığa karşı direnç üzerine yapılan çalışmalar çelişkili bulgular ortaya koymaktadır.

Biyolojik çeşitlilik kaybının ekosistem işleyişi ve istikrarı üzerindeki olumsuz etkileri konusunda endişeler bulunmasına rağmen, doğrudan biyolojik çeşitlilik kaybının ekosistem direncini veya ekosistem dayanıklılığını etkilediğine dair kesin kanıtlar henüz bulunmamaktadır. Bununla birlikte, ekolojik teori, kontrollü laboratuvar deneyleri ve dolaylı deneysel kanıtlar, ekosistemlerde tür çeşitliliği ile istikrar arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir (Pfisterer & Schmid, 2002).

Kuraklık olaylarının, ekosistemlerin yer üstü biyokütle verimini nasıl etkilediği, saha koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar,

toprak tipi, kuraklık öncesi iklim koşulları ve yönetim yoğunluğu gibi faktörlerle ilişkilidir (Gilgen & Buchmann, 2009). Düşük verimliliğe sahip çayır ekosistemleri, kuraklık olaylarına karşı daha dirençli olabilir ve nispeten daha az etkilenebilir (Hoepfner & Dukes, 2012). Çayır biyokütle üretiminin kuraklığa karşı direncine ilişkin deneysel bulgular, verimlilik düzeyine bağlı olarak tür çeşitliliği ile genellikle negatif veya nötr ilişkiler göstermektedir. Daha verimli çayır ekosistemlerinin, daha az üretken topluluklara kıyasla bozulmaya karşı daha düşük bir direnç sergilediği belgelenmiştir. Bu durum, kuraklık bozulmasının ardından toprak üstü biyokütlede daha yüksek kayıplarla gösterilmiştir (Van Ruijven & Berendse, 2010). Bu nedenle, tür çeşitliliği ve ekosistem üretkenliği arasındaki ilişki belirli eğilimler göstermektedir:

- Yazar Tür çeşitliliği arttıkça ekosistem direncinin azaldığı durumlar (negatif eğim) (Pfisterer & Schmid, 2002)
- Tür çeşitliliği arttıkça ekosistem direncinin yükseldiği durumlar (pozitif eğim), ancak bu yalnızca tür çeşitliliğinin bağımsız olarak manipüle edilmediği çayır deneylerinde gözlemlenmiştir
- Tür çeşitliliğinin ekosistem üretkenliği üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı durumlar (nötr eğim) (Wang ve ark., 2007)

Sonuç olarak, yüksek tür zenginliğinin ekosistem üretkenliği üzerinde olumlu etkileri olabileceği, ancak aynı zamanda gelecekteki iklim değişikliği ve bozulmalara karşı ekosistemlerin direnç kapasitesini azaltabileceği öne sürülmektedir. Özellikle ekosistemlerin bozulmaya karşı direnç kapasitesi ve bozulma sonrası hızlı toparlanma yeteneği (yüksek dayanıklılık), ekosistem işleyişinin sürdürülebilirliğini sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir (Vogel ve ark., 2012).

Van Ruijven & Berendse (2010) tarafından yürütülen çalışmada, tür zenginliği ile çayır ekosistemlerinin direnç ve iyileşme kapasiteleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Araştırmacılar, direnç seviyesinin tür zenginliğinden ziyade çayırların başlangıç üretkenliği ile daha fazla ilişkili olduğunu doğrulamışlardır. Orantılı direnç tür zenginliği ile azalmasa da tür çeşitliliğinin ekosistem iyileşmesini üretkenlikten daha güçlü bir şekilde öngördüğü belirlenmiştir. Çalışmada, iyileşme ve orantılı iyileşme seviyelerinin tür zenginliği ile arttığı gözlemlenmiştir.

Çayır fenolojisi, genellikle bitkilerin ekolojik işlevlerini, büyüme biçimlerini ve morfolojik özelliklerini temel alarak belirlenen kategoriler

üzerinden tahmin edilmektedir. Bitki özellikleri veya fonksiyonel grupların sınıflandırmaları, fotosentez için farklı optimum sıcaklık gereksinimleri (C3 ve C4 bitkileri) (Munson & Long, 2017); en yüksek yaz sıcaklıklarına göre çiçeklenme zamanlaması (Sherry ve ark., 2007); bitkilerin yaşam süreleri (tek yıllık ve çok yıllık) (Cleland ve ark., 2006) ve yaşam formları (buğdaygiller, baklagiller, yabani otlar vb.) gibi kriterler çayır bitkilerinin fenolojisini tahmin etmede kullanılan temel parametrelerdir (König ve ark., 2018).



Şekil 1. Mayıs ayında, yaz kuraklık döneminin başlangıcında, çayır bitki örtüsü yamaları. (*Avena* spp. ve *Bromus* spp.). Yeşil yamalar istilacı otlardır (*Elymus caput-medusae*, medusahead; ve *Aegilops triuncialis*, keçi otu)

Kaynak: Malmstrom ve ark., 2017

Yönetilen meraların yüksek dayanıklılığı yani, kuraklık olayını takiben yeterli su temini döneminde hızlı ve tam iyileşme göstermesi kuraklıktan kaynaklanan üretim kayıplarını en aza indirmek ve uzun vadeli verim istikrarını sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir (Zwicke ve ark., 2013). Düşük ila orta düzeyde yönetim yoğunluğuna sahip meraların kuraklığa karşı yüksek direnç gösterebildiği belirlenmiştir (Hoover ve ark., 2014). Ancak, yoğun mera yönetimi altında, yılda birkaç kez biçim gerçekleştirilmekte olup, özellikle aynı yıl içinde meydana gelen kuraklık olayını takiben bir veya daha fazla hasat dönemi yaşanmaktadır. Bu nedenle, yüksek yıllık verim beklentisi olan meralar

için dayanıklılığın önemi daha da artmaktadır. Yoğun mera yönetimi uygulanan ekosistemlerde, bir kuraklık olayının çiftçiler açısından neden olduğu üretim ve gelir kaybının boyutu, kuraklık olayının başlangıcından büyüme mevsiminin sonuna kadar süren toplam yem kaybı olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, kuraklığın sona ermesinden sonra ekosistemlerin düşük dayanıklılık göstermesi, üretim ve ekonomik kayıpların uzun süre devam etmesine neden olabilmektedir (Hofer ve ark., 2016).

İklim koşullarına bağlı olarak farklı türlerden oluşan çayır karışımları, birbirini tamamlayıcı özellikleri ve türler arası olumlu etkileşimler sayesinde toprak üstü biyokütle üretimini artırabilir. Bu karışımlar, ilgili monokültürlerin ağırlıklı ortalamasından daha yüksek biyokütle verimi gösterebilmekte olup, bu olgu "aşırı verimlilik" olarak tanımlanmaktadır (Kirwan ve ark., 2007). Son dönem çalışmalar, Akdeniz'den İskandinav bölgelerine kadar büyük ölçüde farklı iklim zonlarında yoğun şekilde yönetilen buğdaygil-baklagil karışımlarında yüksek aşırı verimin ortaya çıktığını göstermektedir (Finn ve ark., 2013). Ancak, bu tür karışım avantajlarının kuraklık gibi çevresel stres koşulları altında aynı derecede etkili olup olmadığı henüz yeterince araştırılmamıştır. Eğer ekosistem stres altında da aşırı verim sağlayabiliyorsa, kuraklık nedeniyle monokültürlerin yaşadığı verim kayıpları telafi edilebilir ve ekosistem işleyişi sürdürülebilir hale getirilebilir (Hofer ve ark., 2016).

2. TOHUM KARIŞIMLARI

Bir tohum karışımı veya tohum harmanı, iki veya daha fazla mahsul türüne ait tohumların kasıtlı olarak üretilmiş ve rastgele karıştırılmış bir kombinasyonudur. Buğdaygiller ve baklagiller tek tür veya hatta tek çeşit olarak ekilebilse de genellikle karışımlar halinde yetiştirilmekte olup, bu uygulama tarımsal üretkenliği artırma ve ekolojik faydalar sağlama potansiyeline sahiptir. Tohum karışımları, farklı büyüme tiplerine sahip bitkilerin ve hastalıklara karşı farklı duyarlılıklara sahip türlerin bir araya gelmesiyle, bireysel türlerden elde edilen verime kıyasla biraz daha yüksek üretim sağlayabilmektedir. Bunun nedeni, farklı türlerin toprak besinlerini daha etkin kullanması ve çeşitli stres faktörlerine karşı dayanıklılık gösterebilmesidir. Karışımlar ayrıca, monokültür sistemlerinde yetiştirilen çeşitlerin veya genotiplerin tahmin edilen performanslarının ötesinde "katkısız" faydalar sağlayabilmekte olup, ekosistem hizmetlerini destekleyen etkileşimler

geliştirebilmektedir (Grettenberger & Tooker, 2015).

Günümüzde birçok tarım-çevre planı, tohum karışımlarına dahil edilecek buğdaygil, baklagil ve diğer ot türlerinin belirli sayıda olması gerektiğini şart koşmaktadır. Farklı ekosistemlere uygun çeşitli öneriler bulunmaktadır. Örneğin, çok türlü bir mera-çayır için önerilen tohum karışımı, en az beş buğdaygil türü içermeli (toplam tohum ağırlığının %75'inden fazlasını oluşturmamalı) ve en az üç baklagil türü içermelidir. Bu karışımın temel amacı, omurgasızlar için yaşam alanı ve besin kaynağı sağlamak, aynı zamanda toprak yapısını iyileştirerek su infiltrasyonunu artırmaktır. Alkali toprak koşullarında, bu karışımlara genellikle *Medicago sativa* (yonca) ve *Onobrychis viciifolia* (korunga) eklenmekte olup, bu bitkiler toprak koşullarına adaptasyon göstererek sürdürülebilir verim sağlayabilmektedir (Alison & Louisa, 2023).

Restorasyon projelerinde kullanılan tohum karışımlarının bileşimi esas olarak yerel çevresel koşullara bağlı olarak belirlenmektedir. Örneğin, iklim, toprak tipi, su bulunabilirliği ve besin içeriği gibi faktörler restorasyon projeleri için uygun tohum karışımlarının seçiminde etkili olmaktadır. Almanya'da, en yaygın ticari tohum karışımlarının yalnızca 4 ila 6 ot türü içerdiği belirlenmiştir. Ancak, tür açısından zengin çayırların başarılı bir şekilde restore edilmesinin, tükenmiş tohum bankaları ve sınırlı tohum dağılımı nedeniyle genellikle tohum açısından kısıtlandığı gösterilmiştir. Avrupa'da, restorasyon uygulamaları için yaygın olarak kullanılan ticari tohum karışımları çoğunlukla yerel olmayan kökenli türlerden ve çeşitlerden oluşmaktadır (Kiehl ve ark., 2010). Çeşitli araştırmalar, toprak tohum bankasında yaşayabilir tohumların eksikliğinin ve hedef türlerin sınırlı dağılımının, tür açısından zengin çayır ekosistemlerinin restorasyonunun önündeki başlıca engeller olduğunu belirlemiştir (Bossuyt & Honnay, 2008). Sadece birkaç hedef tür uzun vadeli kalıcı toprak tohum bankaları oluşturabilmekte olup, ekilebilir arazi kullanımı veya yoğun çayır yönetimi süreçlerinin ardından birçok doğal tohum bankasının tükendiği gözlemlenmiştir (Donath ve ark., 2004). Ayrıca, birçok çayır türü uzun mesafeli yayılma kapasitesi açısından düşük potansiyel sergilemekte olup, bu durum ekosistemlerin doğal şekilde zenginleşmesini sınırlamaktadır (Kiehl ve ark., 2010).

Kuraklık nedeniyle yem bitkilerinin üretimi ve besin değerinin nasıl etkileneceğini kesin olarak tahmin etmek oldukça zordur. Gerçekten de kuraklık nedeniyle verim kayıpları çeşitli çalışmalar tarafından bildirilmiş olsa

da bu kayıpların büyüklüğü bitki çeşitliliği, verimlilik, rakım ve yönetim gibi birbirleriyle etkileşime girebilen birçok biyotik ve abiyotik faktör nedeniyle büyük ölçüde değişkenlik gösterebilmektedir (Vogel ve ark., 2012).

Kuraklığın yem bitkilerinin besin değeri üzerindeki etkilerine ilişkin mevcut bilgiler ise çelişkilidir. Ilıman bölgeler için yapılan çalışmaların çoğu ekili otlar ve baklagil yem bitkileri üzerinde yoğunlaşmış olup, su eksikliğinin besin değerlerini artırabileceğini bildirmektedir. Özellikle, ham protein içeriğinin yükseldiği ve lif konsantrasyonunun azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum muhtemelen bitkilerin olgunlaşma süreçlerinin gecikmesi ile ilişkilidir (Jensen ve ark., 2010; Küchenmeister ve ark., 2013). Öte yandan, şiddetli su stresi, yaprak yaşlanmasına neden olarak sap-yaprak oranını artırabilir ve besinlerin yapraklardan köklere taşınmasına yol açabilir. Her iki faktör de yem kalitesinin düşmesine katkıda bulunabilir. Ancak, yem bitkilerinin üretimi ve kalitesinin kuraklıktan nasıl etkileneceğini tahmin etmek için otlak tabanlı hayvancılıkta gerçekleştirilen gerçek yönetim uygulamalarının dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle, otlatma dünya genelinde yaygın bir otlak yönetimi stratejisi olmasına rağmen, hayvanlarla gerçek bağlamda otlatma denemelerinin nispeten nadir olduğu bildirilmiştir (Deleglise ve ark., 2015).

Stomalar, yaprak ile atmosfer arasındaki su ve CO₂ değişimini kontrol ederek yüzey-atmosfer etkileşimlerinde kritik bir rol oynamaktadır (Zhai ve ark., 2024). Kalıcı meralarda yürütülen kuraklık çalışmalarında, otlatma genellikle mera alanlarına eşit olarak uygulanan biçme işlemi yoluyla simüle edilmektedir (Mariotte ve ark., 2013). Ancak otlatmanın beslenme tercihleri (Adler ve ark., 2001) ve yaprak dökümü, çürüme ve çığneme yoluyla mera ekosistemlerinin toprak üstü ve toprak altı bileşenleriyle olumlu veya olumsuz etkileşimlere girmesi nedeniyle bitki örtüsünün mekansal yapısını etkileyebileceği düşünülmektedir (Frank, 2007).

Yoğun otlatma genellikle yıllık kuru madde üretimini düşürmekle birlikte, bitkileri doğal olgunlaşma süreçlerinin dışında tutarak onları sürekli aktif büyüme ve kardeşlenme aşamasında tutabilir. Bu durum, besin değeri açısından iyileştirilmiş yem sağlama potansiyeline sahiptir (Bruinenberg ve ark., 2002). Dolayısıyla, gerçekçi otlatma stratejileri ile yönetilen otlakların, bitki örtüsünün kuraklığa verdiği tepkiyi daha yaygın olarak incelenen biçme kullanımı ile farklı şekilde etkileyebileceği değerlendirilmektedir. Hem tür kompozisyonunun hem de bitki özelliklerinin izlendiği işlevsel ekoloji

yaklaşımı, otlakların çevresel değişikliklere karşı verdikleri tepkileri incelemek için oldukça uygundur (Quetier ve ark., 2007).

Bitki işlevsel özellikleri, bitkilerin boyunu, yaprak ekonomisi spektrumunu veya kök özelliklerini doğrudan bitki büyümesi, gelişimi ve kaynak edinimi işlevleriyle bağlantılı olarak tasvir eden temel ölçümler olabilir. Özgül yaprak alanı (SLA) ve yaprak azot konsantrasyonu (LNC) gibi temel bitki özelliklerindeki değişimler, fotosentez sırasında su koruma işlevleriyle bağlantılıdır (Wright & Westoby, 2002).

Topluluk ölçeğinde, değerler tüm türler arasında ortalama olarak hesaplanmakta olup, tür bolluğuna göre ağırlıklandırılmaktadır. Bu nedenle, kuraklığa yanıt olarak topluluk içindeki bitki özelliklerinde meydana gelen değişimler hem tür kompozisyonunun değişmesinden hem de tür içi değişkenlikten bitki morfolojisi ve fizyolojisindeki esneklikten kaynaklanabilir. Ancak, kuraklık kaynaklı tür kompozisyonundaki değişimlerin uzun vadede gerçekleşmesi muhtemel olup, bu değişimler topluluk özellikleri üzerinde potansiyel olarak kalıcı etkiler bırakırken, tür içi özellik değişimleri daha hızlı gerçekleşebilir ve potansiyel etkileri daha kısa süreli (örneğin, mevsimsel) olabilir (Jung ve ark., 2014). Topluluk bitki özelliklerinde meydana gelen bu tür değişimler, nihayetinde yem verimi ve besin değeri gibi tarımsal hizmetlerin sürdürülebilirliği üzerinde etkili olabilir (Gardarin ve ark., 2014).

Hayvancılık için kuraklıkla ilgili en büyük sorun, bu olgunun öngörülemezliğidir. Bu nedenle, hayvancılık yönetimi stratejileri ve taktikleri genellikle proaktif değil, reaktif olarak şekillenmektedir (Kruse ve ark., 2007). Kuraklığın ekosistemler üzerindeki etkileri genellikle birbirini takip eden aşamalarda ortaya çıkmakta olup, bitkisel üretim büyük ölçüde hava koşullarına bağımlıdır. Mevsimsel sapmalar, yem veriminde değişikliklere yol açabileceği gibi, otlak tabanlı hayvancılıkta hayvanların performansını doğrudan etkileyebilir. Kötü yönetim veya kuraklık gelişimi karşısında yönetimde geç yapılan değişiklikler, hayvancılık operasyonlarının kârlılığını önemli ölçüde azaltabilmektedir.

Kuraklık yalnızca mera kaynakları üzerinde değil, aynı zamanda hayvancılık performansı ve uzun vadeli sürdürülebilirlik üzerinde de olumsuz etkilere sahip olabileceğinden, öngörülebilirlik veya yem üretimi tahmini, yöneticilerin olası krizlere karşı hazırlıklı olmasına ve zamanında tepki

vermesine yardımcı olabilir. Doğru yönetim uygulamaları, kuraklığın negatif etkilerini belirli ölçüde önleyebilir. Ancak birçok çiftçi, ertesi gün yağmurun geleceğine dair aşırı iyimser bir bakış açısına sahip olup, yönetim stratejilerini değiştirmekten kaçınmaktadır. Beklenen yağış gerçekleşmediğinde veya ihtiyaç duyulan miktardan az olduğunda, çiftçiler planlanandan daha erken yem takviyesi yapmak zorunda kalmakta ve bu durum sürünün bir sonraki bahara kadar beslenmesi için ek yem alımını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, üreticilerin büyüme sezonu içinde yem üretimini ve çiftliğin uzun vadeli sürdürülebilirliğini artıracak bilinçli kararları zamanında alması büyük önem taşımaktadır (Kruse, 2002).

Kuzey Çin'in çöl otlakları, uzun vadeli analizlere göre (1953–2013) yıllık ortalama yağış miktarı 200 mm'nin altında olan düşük nemli bölgeler arasında yer almaktadır. Yaklaşık 6×10^4 km²'lik bir alanı kaplayan bu otlaklar, Çin'deki toplam otlak ekosistemlerinin %6'sını oluşturmakta olup, son 70 yıldır uzun süreli bir kuraklık süreci geçirmektedir. İklim değişikliğinin etkisiyle, özellikle yaz aylarında yağışların düzensiz ve eşit olmayan bir dağılım sergilediği belirlenmiştir. Kurak ve yarı kurak bölgelerde yağış düzenlerinin, nispeten kısa aralıklarla gerçekleşen sık ve küçük ölçekli olaylardan, daha uzun kurak dönemlere sahip büyük ölçekli yağış olaylarına doğru bir değişim göstereceği tahmin edilmektedir (Liu ve ark., 2017).

Özellikle aşırı kurak bölgelerde, gelecek yıllarda yağış miktarının belirgin şekilde azalacağı, bunun sonucunda toprak üstü net birincil üretkenliğin düşeceği ve çayır ekosistemlerinin toparlanma eşiğinin ötesine itileceği öngörülmektedir. Bu değişim, ekosistemlerin sürdürülebilirliği üzerinde önemli etkiler oluşturabilecektir.

Moğol otlakları, kurak ve yarı kurak ekosistemler arasında konumlanmakta olup, büyüme mevsimi boyunca büyük bir karbon yutağı işlevi görme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, bu ekosistemlerin uzun vadeli karbon dengesi ve ekolojik hizmetleri açısından kritik bir role sahip olduğu belirtilmektedir (Zhang ve ark., 2020).

Sahaya özgü çevresel veriler toprak tipi, iklim, bitki bileşimi gibi faktörler yem üretimine ilişkin tahminlerin doğruluğunu artırmakta olup, arazi yöneticilerine her otlatma sezonunun başlangıcında stoklama oranlarını belirlemede yol gösterici bilgiler sağlamaktadır (Andales ve ark., 2006). Özellikle su tutma kapasitesi düşük olan topraklarda, sonbaharın sonlarında

yapılan sulama tercih edilebilir bir uygulama olarak değerlendirilmektedir. Sulamanın, bitki örtüsü gelişene kadar geciktirilmesi, topraktaki buharlaşmayı azaltarak suyun daha büyük bir kısmının bitkiler tarafından terleme (*transpirasyon*) yoluyla değerlendirilmesini sağlayabilir. Bu süreç, su kullanım verimliliğini artırarak ekosistem sürdürülebilirliğine olumlu katkıda bulunabilir (Shewmaker ve ark., 2011).

Fariaszewska ve ark. (2016), hafif kuraklık stresinin (%40 tarla suyu kapasitesinde 3 hafta) yem bitkilerinde verim, fizyolojik süreçler, prolin ve fenolik bileşik birikimi ile yem kalitesi parametreleri üzerindeki etkilerini saksı denemeleri kullanarak değerlendirmiştir. Çalışmada, dört farklı büyüme döneminde beş farklı tür (*Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Festuca pratensis*, *Festuca arundinacea* ve *Festulolium braunii*) ve toplam dokuz çeşitte su eksikliğinin etkileri incelenmiştir. Deneme bulgularına göre, ölçülen tüm parametreler farklı kesimlerdeki kuraklık stresinden etkilenmiştir. Fotosentez hızı, terleme oranı, stomatal iletkenlik ve kuru madde verimi, kuraklık stresine maruz kalan tüm çeşitlerde, iyi sulama koşullarına sahip kontrol gruplarına kıyasla önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, incelenen tüm ot türlerinin, kuraklık stresine maruz kaldıklarında organik madde sindirilebilirliği ve hücre duvarı sindirilebilirliğinde artış gösterdiği belirlenmiştir.

3. MERALARDA KURAKLIK VE AZOT ETKİLEŞİMİ

Kuraklık ve besin girdisi, ekosistem işlevlerini ve hizmetlerini tehdit eden iki ana küresel değişken olarak değerlendirilmektedir. İnsan kaynaklı stres faktörlerinin bireysel bitki türleri üzerindeki etkileşimli etkilerini anlamak, ekolojik toplulukların ve ekosistemlerin tepkilerini daha iyi çözümleyebilmek açısından önemlidir. Kuraklık ve besin maddeleri, bitki performansı üzerinde birbirine zıt etkiler göstermektedir. Düşük toprak suyu bulunabilirliği (kuraklık), genellikle bitki büyümesinde ve hayatta kalma oranlarında azalmaya yol açmakta olup, aynı zamanda topluluk çeşitliliğini ve ekosistem üretkenliğini olumsuz etkilemektedir (Gilbert & Medina, 2016; Knapp ve ark., 2015). Bu olumsuz etkiler yalnızca kuraklık süresince değil, kuraklık sona erdikten sonra da devam edebilmekte ve ekosistemler üzerinde uzun vadeli "kuraklık mirası etkileri" bırakabilmektedir (Vilonen ve ark., 2022). Öte yandan, besin bulunabilirliği özellikle azot bitki büyümesini ve ekosistem

üretkenliğini artırırken, topluluk çeşitliliğinin azalmasına neden olmaktadır (Socher ve ark., 2012). Besin ve su bulunabilirliği arasındaki etkileşimlere dair yapılan çalışmalar, bu iki faktörün ekosistem süreçleri üzerindeki karmaşık etkilerini ortaya koymaktadır.

Besin maddelerinin kuraklık tepkileri üzerindeki etkileri hem güçlendirici hem de azaltıcı olabilmekte olup, tür düzeyinde ve ekosistem ölçeğinde farklı sonuçlar gözlemlenmektedir (Meng ve ark., 2021). Kuraklık direnci yani, düşük su bulunabilirliği koşullarının olumsuz etkilerini en aza indirme kapasitesi yüksek besin içeriğine sahip bölgelerde yetişen bitki türlerinde daha düşük olabilir. Bu türler, genellikle yüksek kaynak yakalama kapasitesine sahip olup, besinleri hızla dokuya dönüştürerek yüksek büyüme oranları sergileyen bir kaynak kullanım stratejisine sahiptir. Bu strateji, bitkileri kuraklığa karşı daha hassas hale getirmekte olup, besin maddelerinin kuraklık etkilerini artırıcı bir rol üstlenmesine neden olabilir. Öte yandan, daha "tutumlu" kaynak kullanım stratejisine sahip bitki türleri, düşük besin içeriğine sahip ekosistemlerde yetişerek hem besin kıtlığına hem de düşük su bulunabilirliğine karşı daha dirençli olabilir (Eskelinen & Harrison, 2015). Ayrıca, besin maddelerine verilen fenotipik tepkiler örneğin, kök-sürgün oranlarının azalması, azalan su alım kapasitesi veya artan terleme oranları yüksek besin içeriği altında olumsuz kuraklık etkilerinin daha belirgin hale gelmesine yol açabilir (Bharath ve ark., 2020). Dolayısıyla, yüksek besin bulunabilirliğinin kuraklık tepkileri üzerindeki olumsuz etkileri yaygın bir varsayım olarak kabul edilmekle birlikte, bazı çalışmalar besin maddelerinin olumsuz kuraklık etkilerini azaltabileceğini göstermektedir (Meyer-Grünefeldt ve ark., 2013). Örneğin, kuraklık öncesinde yüksek besin mevcudiyeti altında yetişen bitkilerin gelişmiş canlılığı, artan fotosentez kapasitesi, daha derin kökler veya kaynak depolama mekanizmaları sayesinde olumsuz kuraklık etkilerini hafifletebileceği ve hatta kuraklığın "olumlu miras etkileri"ne yol açabileceği belirlenmiştir (Carlsson ve ark., 2017; Kiene ve ark., 2023).

Kuraklık, ekosistemlerdeki toprak azot döngüsünü ve azot oksit (N_2O) emisyonları gibi süreçleri doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Meralarda, azot döngüsü büyük ölçüde otlatma ile düzenlenmektedir. Otlayan hayvanlar, yutulan bitki azotunun yalnızca küçük bir kısmını biyolojik olarak bünyelerine katmakta olup, kalan kısmı dışkı yoluyla meralara yeniden dağıtılmaktadır (Hartmann ve ark., 2013). Yoğun yönetilen ılıman çayırlardaki

yem bitkisi türleri, kuraklık stresine karşı farklı tepkiler göstermektedir. Kuraklık yalnızca su kıtlığı oluşturmamakta, aynı zamanda toprak besinlerinin, özellikle mineral azotun (N) bulunabilirliğini ciddi şekilde kısıtlamaktadır (Durand ve ark., 2010). Gerçekten de yem bitkileri tarafından topraktan alınan azotun kuraklık nedeniyle önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir (Hoekstra ve ark., 2015).

Mera topraklarından nitrat (NO_3^-) sızması ise ekolojik açıdan ciddi bir sorun teşkil edebilir (Cameron ve ark., 2013). Kuraklık olaylarının yoğun gübreleme ile etkileşimine ilişkin bilimsel ilgi giderek artmakta olup, tarımsal alanlardan nitrat sızmasını etkileyen faktörler arasında gübre uygulama seviyeleri ve zamanlaması, toprak işleme yöntemleri, toprak nem durumu ve doku yapısı gibi unsurlar yer almaktadır (Di & Cameron, 2016). Buna ek olarak, mikrobiyal ve bitki toplulukları da bu süreçten etkilenmektedir (Klaus ve ark., 2018). Kuraklık dönemlerinin toprak ve bitkiler üzerindeki etkileri oldukça çeşitli olup, azot bulunabilirliğini azaltırken aynı zamanda killi topraklarda çatlaklara yol açarak, yeniden su alımı gerçekleştiğinde nitratin hızla hareket etmesine neden olabilmektedir.

Kuraklık sonrası toprağın yeniden ıslatılması, bitkiler tarafından etkin şekilde alınamayacak kadar yoğun ve ani bir besin darbesi yaratabilmekte olup, bu durum besinlerin yıkanarak ekosistemden uzaklaşmasına neden olabilmektedir (Hofer ve ark., 2017; Di & Cameron, 2016).

Kuraklık veya azalan toprak nemi genellikle azot mineralizasyon oranlarını düşürmekte olup, yağışın nitrifikasyon üzerindeki etkileri değişkenlik gösterebilmektedir (Larsen ve ark., 2011; Breuer ve ark., 2002).

Sıcaklık ve yağıştaki değişimler, kar derinliği (Borner ve ark., 2008) ve donma-çözülme olayları (Henry, 2008) gibi faktörler aracılığıyla azot döngüsünü doğrudan etkileyebilir. Kış aylarında bitkilerin azot alımı azaldığından, azot mineralizasyonu ve nitrifikasyondaki artışlar, sızıntı veya gaz kaybı yoluyla daha fazla azot kaybına neden olabilir (Auyeung ve ark., 2013).

Baklagillerin, yalnızca toprak azotuna bağımlı olmamaları (simbiyotik N_2 fiksasyonu avantajı) nedeniyle, kurak koşullarda azot bulunabilirliği giderek sınırlanınca atmosferik azot fikse etme kapasitesine daha fazla ihtiyaç duymaktadırlar. Çayır karışımlarında baklagillerin yetiştirilmesi, biyokütle veriminin kuraklığa karşı direncini artırabilmektedir. Kurak koşullarda N_2

fiksasyonu devam ettikçe, baklagiller biyokütle üretimini sürdürmeye devam edebilir. Bu nedenle, baklagillerin kuraklık dayanıklılığı büyük ölçüde birincil sınırlayıcı kaynağın su mu yoksa azot mu olduğuna bağlıdır. Derin ve nemli toprak katmanlarına ulaşan kök sistemine sahip türlerin yetiştirilmesi, ılıman çayırarda kuraklığın etkilerini hafifletmek için önerilmektedir (Skinner ve ark., 2004).

Kuraklık stresine maruz kalan yoğun çayırarda, toprak suyu ve besinlerin alımı genellikle en yüzeysel 30 cm'lik toprak katmanında gerçekleşmekte olup, yem bitkileri kuraklık süresince kısa vadeli kök büyümesi sayesinde kaynak alımını artırabilir. Bu durum, artan kök biyokütlesi (Dreesen ve ark., 2012) veya kuraklık koşullarında daha derin toprak katmanlarında kök dağılımının artması ile desteklenmiştir (Wedderburn ve ark., 2010). Sonuç olarak, azotlu gübreleme, kuraklığın neden olduğu azot sınırlamasını hafifletmeye yardımcı olabilse de toprak nemindeki azalma nedeniyle gübreye verilen büyüme tepkisinin azalması olasıdır.

KAYNAKÇA

- Adams, M. A., Turnbull, T. L., Sprent, J. I., & Buchmann, N. (2016). Legumes are different: Leaf nitrogen, photosynthesis, and water use efficiency. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(15), 4098-4103.
- Adler, P., Raff, D., & Lauenroth, W. (2001). The effect of grazing on the spatial heterogeneity of vegetation. *Oecologia*, 128, 465-479.
- Alison ,S. & Louisa, D. (2023). Introduction to grass production/characteristics of grassland and the important species. In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Lockhart and Wiseman' s Crop Husbandry Including Grassland (Tenth Edition), Woodhead Publishing, Pages 527-562, ISBN 9780323857024.
- Almeida, Mara, Carla Azeda, Nuno Guiomar, and Teresa Pinto-Correia. "The effects of grazing management in montado fragmentation and heterogeneity." *Agroforestry Systems* 90 (2016): 69-85.
- Andales, A. A., Derner, J. D., Ahuja, L. R., & Hart, R. H. (2006). Strategic and tactical prediction of forage production in northern mixed-grass prairie. *Rangeland Ecology & Management*, 59(6), 576-584.
- Auyeung, D. S. N., Suseela, V., & Dukes, J. S. (2013). Warming and drought reduce temperature sensitivity of nitrogen transformations. *Global Change Biology*, 19(2), 662-676.
- Bharath, S., Borer, E. T., Biederman, L. A., Blumenthal, D. M., Fay, P. A., Gherardi, L. A., ... & Seabloom, E. W. (2020). Nutrient addition increases grassland sensitivity to droughts. *Ecology*, 101(5), e02981.
- Borner, A. P., Kielland, K., & Walker, M. D. (2008). Effects of simulated climate change on plant phenology and nitrogen mineralization in Alaskan arctic tundra. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40(1), 27-38.
- Bossuyt, B., & Honnay, O. (2008). Can the seed bank be used for ecological restoration? An overview of seed bank characteristics in European communities. *Journal of Vegetation Science*, 19(6), 875-884.
- Breuer, L., Kiese, R., & Butterbach-Bahl, K. (2002). Temperature and moisture effects on nitrification rates in tropical rain-forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 66(3), 834-844.

- Bruinenberg, M. H., Valk, H., Korevaar, H., & Struik, P. C. (2002). Factors affecting digestibility of temperate forages from seminatural grasslands: a review. *Grass and forage science*, 57(3), 292-301.
- Calanca, P., Deléglise, C., Martin, R., Carrère, P., & Mosimann, E. (2016). Testing the ability of a simple grassland model to simulate the seasonal effects of drought on herbage growth. *Field Crops Research*, 187, 12-23.
- Cameron, K. C., Di, H. J., & Moir, J. L. (2013). Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of applied biology*, 162(2), 145-173.
- Carlsson, M., Merten, M., Kayser, M., Isselstein, J., & Wrage-Mönnig, N. (2017). Drought stress resistance and resilience of permanent grasslands are shaped by functional group composition and N fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 52-60.
- Chieppa, J., Nielsen, U. N., Tissue, D. T., & Power, S. A. (2019). Drought and phosphorus affect productivity of a mesic grassland via shifts in root traits of dominant species. *Plant and Soil*, 444, 457-473.
- Cleland, E. E., Chiariello, N. R., Loarie, S. R., Mooney, H. A., & Field, C. B. (2006). Diverse responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(37), 13740-13744.
- Dad, J. M. (2019). Organic carbon stocks in mountain grassland soils of northwestern Kashmir Himalaya: Spatial distribution and effects of altitude, plant diversity and land use. *Carbon Management*, 10(2), 149-162.
- Deleglise, C., Meisser, M., Mosimann, E., Spiegelberger, T., Signarbieux, C., Jeangros, B., & Buttler, A. (2015). Drought-induced shifts in plants traits, yields and nutritive value under realistic grazing and mowing managements in a mountain grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213, 94-104.
- Di, H. J., & Cameron, K. C. (2016). Inhibition of nitrification to mitigate nitrate leaching and nitrous oxide emissions in grazed grassland: a review. *Journal of Soils and Sediments*, 16, 1401-1420.
- Donath, T. W., Hölzel, N., Bissels, S., & Otte, A. (2004). Perspectives for incorporating biomass from non-intensively managed temperate flood-meadows into farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(3), 439-451.

- Dreesen, F. E., De Boeck, H. J., Janssens, I. A., & Nijs, I. (2012). Summer heat and drought extremes trigger unexpected changes in productivity of a temperate annual/biannual plant community. *Environmental and experimental botany*, 79, 21-30.
- Durand, J. L., Gonzalez-Dugo, V., & Gastal, F. (2010). How much do water deficits alter the nitrogen nutrition status of forage crops?. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88, 231-243.
- Eskelinen, A., & Harrison, S. P. (2015). Resource colimitation governs plant community responses to altered precipitation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(42), 13009-13014.
- Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J., Baert, J., De Riek, J., Staniak, M., & Pecio, Ł. (2017). Mild drought stress-induced changes in yield, physiological processes and chemical composition in *Festuca*, *Lolium* and *Festulolium*. *Journal of agronomy and crop science*, 203(2), 103-116.
- Finger, R., Gilgen, A. K., Prechsl, U. E., & Buchmann, N. (2013). An economic assessment of drought effects on three grassland systems in Switzerland. *Regional Environmental Change*, 13, 365-374.
- Finn, J. A., Kirwan, L., Connolly, J., Sebastià, M. T., Helgadottir, A., Baadshaug, O. H., ... & Lüscher, A. (2013). Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-scale field experiment. *Journal of Applied Ecology*, 50(2), 365-375.
- Frank, D. A. (2007). Drought effects on above-and belowground production of a grazed temperate grassland ecosystem. *Oecologia*, 152(1), 131-139.
- Gardarin, A., Garnier, É., Carrère, P., Cruz, P., Andueza, D., Bonis, A., ... & Kazakou, E. (2014). Plant trait–digestibility relationships across management and climate gradients in permanent grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 51(5), 1207-1217.
- Gilbert, M. E., & Medina, V. (2016). Drought adaptation mechanisms should guide experimental design. *Trends in plant science*, 21(8), 639-647.
- Gilgen, A. K., & Buchmann, N. (2009). Response of temperate grasslands at different altitudes to simulated summer drought differed but scaled with annual precipitation. *Biogeosciences*, 6(11), 2525-2539.

- Grant, K., Kreyling, J., Dienstbach, L.F.H., Beierkuhnlein, C. & Jentsch, A. (2014) Water stress due to increased intra-annual precipitation variability reduced forage yield but raised forage quality of a temperate grassland. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 186, 11-22.
- Grettenberger, I. M., & Tooker, J. F. (2015). Moving beyond resistance management toward an expanded role for seed mixtures in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 208, 29-36.
- Hartmann, A. A., Barnard, R. L., Marhan, S., & Niklaus, P. A. (2013). Effects of drought and N-fertilization on N cycling in two grassland soils. *Oecologia*, 171, 705-717.
- Henry, H. A. (2008). Climate change and soil freezing dynamics: historical trends and projected changes. *Climatic Change*, 87(3), 421-434.
- Hoekstra, N. J., Finn, J. A., Hofer, D., & Lüscher, A. (2014). The effect of drought and interspecific interactions on depth of water uptake in deep- and shallow-rooting grassland species as determined by δ 18 O natural abundance. *Biogeosciences*, 11(16), 4493-4506.
- Hoekstra, N. J., Suter, M., Finn, J. A., Husse, S., & Lüscher, A. (2015). Do belowground vertical niche differences between deep- and shallow-rooted species enhance resource uptake and drought resistance in grassland mixtures?. *Plant and Soil*, 394, 21-34.
- Hoepfner, S. S., & Dukes, J. S. (2012). Interactive responses of old-field plant growth and composition to warming and precipitation. *Global Change Biology*, 18(5), 1754-1768.
- Hofer, D. (2016). *Intensively managed grassland exposed to drought—Resistance, resilience, and growth limitations of functionally different forage species*. ETH Zurich.
- Hofer, D., Suter, M., Buchmann, N., & Lüscher, A. (2017). Nitrogen status of functionally different forage species explains resistance to severe drought and post-drought overcompensation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 312-322.
- Hofer, D., Suter, M., Haughey, E., Finn, J. A., Hoekstra, N. J., Buchmann, N., & Lüscher, A. (2016). Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summer drought. *Journal of Applied Ecology*, 53(4), 1023-1034.

- Hoover, D. L., Knapp, A. K., & Smith, M. D. (2014). Resistance and resilience of a grassland ecosystem to climate extremes. *Ecology*, 95(9), 2646-2656.
- Isbell, F. I., Polley, H. W., & Wilsey, B. J. (2009). Biodiversity, productivity and the temporal stability of productivity: patterns and processes. *Ecology letters*, 12(5), 443-451.
- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., ... & Eisenhauer, N. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature*, 526(7574), 574-577.
- Jensen, K. B., Waldron, B. L., Peel, M. D., & Robins, J. G. (2010). Nutritive value of herbage of five semi-irrigated pasture species across an irrigation gradient. *Grass and Forage Science*, 65(1), 92-101.
- Jung, V., Albert, C. H., Violle, C., Kunstler, G., Loucougaray, G., & Spiegelberger, T. (2014). Intraspecific trait variability mediates the response of subalpine grassland communities to extreme drought events. *Journal of ecology*, 102(1), 45-53.
- Kiehl, K., Kirmer, A., Donath, T. W., Rasran, L., & Hölzel, N. (2010). Species introduction in restoration projects—Evaluation of different techniques for the establishment of semi-natural grasslands in Central and Northwestern Europe. *Basic and Applied Ecology*, 11(4), 285-299.
- Kiene, C., Jung, E. Y., & Engelbrecht, B. M. (2023). Nutrient effects on drought responses vary across common temperate grassland species. *Oecologia*, 202(1), 1-14.
- Kirwan, L., Lüscher, A., Sebastià, M. T., Finn, J. A., Collins, R. P., Porqueddu, C., ... & Connolly, J. (2007). Evenness drives consistent diversity effects in intensive grassland systems across 28 European sites. *Journal of Ecology*, 95(3), 530-539.
- Klaus, V. H., Kleinebecker, T., Busch, V., Fischer, M., Hölzel, N., Nowak, S., ... & Hamer, U. (2018). Land use intensity, rather than plant species richness, affects the leaching risk of multiple nutrients from permanent grasslands. *Global Change Biology*, 24(7), 2828-2840.
- Knapp, A. K., Carroll, C. J., Denton, E. M., La Pierre, K. J., Collins, S. L., & Smith, M. D. (2015). Differential sensitivity to regional-scale drought in six central US grasslands. *Oecologia*, 177, 949-957.

- Komainda, M., Küchenmeister, F., Küchenmeister, K., Kayser, M., Wrage-Mönnig, N., & Isselstein, J. (2020). Drought tolerance is determined by species identity and functional group diversity rather than by species diversity within multi-species swards. *European Journal of Agronomy*, 119, 126116.
- König, P., Tautenhahn, S., Cornelissen, J. H. C., Kattge, J., Bönisch, G., & Römermann, C. (2018). Advances in flowering phenology across the Northern Hemisphere are explained by functional traits. *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 310-321.
- Kruse, R. E. (2002). Beef cattle management decisions relating to drought in the Northern Great Plains (Doctoral dissertation, Montana State University-Bozeman, College of Agriculture).
- Kruse, R. E., Tess, M. W., & Heitschmidt, R. K. (2007). Livestock management during drought in the northern Great Plains. I. A practical predictor of annual forage production. *The Professional Animal Scientist*, 23(3), 224-233.
- Kuchenmeister, K., Kuchenmeister, F., Kayser, M., WRAGE, M. N., & Isselstein, J. (2013). Influence of drought stress on nutritive value of perennial forage legumes. *International Journal of Plant Production* 7 (4):1735-8043.
- Larsen, K. S., Andresen, L. C., Beier, C., Jonasson, S., Albert, K. R., Ambus, P. E. R., ... & Stevnbak, K. (2011). Reduced N cycling in response to elevated CO₂, warming, and drought in a Danish heathland: synthesizing results of the CLIMAITE project after two years of treatments. *Global Change Biology*, 17(5), 1884-1899.
- Li, Z., Han, G., Zhao, M., Wang, J., Wang, Z., Kemp, D. R., ... & Langford, C. (2015). Identifying management strategies to improve sustainability and household income for herders on the desert steppe in Inner Mongolia, China. *Agricultural Systems*, 132, 62-72.
- Liu, W. J., Li, L. F., Biederman, J. A., Hao, Y. B., Zhang, H., Kang, X. M., ... & Xu, C. Y. (2017). Repackaging precipitation into fewer, larger storms reduces ecosystem exchanges of CO₂ and H₂O in a semiarid steppe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247, 356-364.

- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., ... & Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *science*, 294(5543), 804-808.
- Malmstrom, C. M., Butterfield, H. S., Planck, L., Long, C. W., & Eviner, V. T. (2017). Novel fine-scale aerial mapping approach quantifies grassland weed cover dynamics and response to management. *Plos one*, 12(10), e0181665.
- Mariotte, P., Vandenbergh, C., Kardol, P., Hagedorn, F., & Buttler, A. (2013). Subordinate plant species enhance community resistance against drought in semi-natural grasslands. *Journal of Ecology*, 101(3), 763-773.
- Meng, B., Li, J., Maurer, G. E., Zhong, S., Yao, Y., Yang, X., ... & Sun, W. (2021). Nitrogen addition amplifies the nonlinear drought response of grassland productivity to extended growing-season droughts. *Ecology*, 102(11), e03483.
- Meyer-Grünefeldt, M., Friedrich, U., Klotz, M., Von Oheimb, G., & Härdtle, W. (2015). Nitrogen deposition and drought events have non-additive effects on plant growth—evidence from greenhouse experiments. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 149(2), 424-432.
- Munson, S. M., & Long, A. L. (2017). Climate drives shifts in grass reproductive phenology across the western USA. *New Phytologist*, 213(4), 1945-1955.
- Pfisterer, A. B., & Schmid, B. (2002). Diversity-dependent production can decrease the stability of ecosystem functioning. *Nature*, 416(6876), 84-86.
- Quétier, F., Thébaud, A., & Lavorel, S. (2007). Plant traits in a state and transition framework as markers of ecosystem response to land-use change. *Ecological monographs*, 77(1), 33-52.
- Sherry, R. A., Zhou, X., Gu, S., Arnone III, J. A., Schimel, D. S., Verburg, P. S., ... & Luo, Y. (2007). Divergence of reproductive phenology under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(1), 198-202.
- Shewmaker, G. E., Allen, R. G., & Neibling, W. H. (2011). Alfalfa irrigation and drought. University of Idaho, College of Agricultural and Life Sciences: Moscow, ID, USA.

- Skinner, R. H., Gustine, D. L., & Sanderson, M. A. (2004). Growth, water relations, and nutritive value of pasture species mixtures under moisture stress. *Crop science*, 44(4), 1361-1369.
- Socher, S. A., Prati, D., Boch, S., Müller, J., Klaus, V. H., Hölzel, N., & Fischer, M. (2012). Direct and productivity-mediated indirect effects of fertilization, mowing and grazing on grassland species richness. *Journal of Ecology*, 100(6), 1391-1399.
- Spehn, E. M., Hector, A., Joshi, J., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Bazeley-White, E., ... & Lawton, J. H. (2005). Ecosystem effects of biodiversity manipulations in European grasslands. *Ecological monographs*, 75(1), 37-63.
- Van Ruijven, J., & Berendse, F. (2010). Diversity enhances community recovery, but not resistance, after drought. *Journal of Ecology*, 98(1), 81-86.
- Vilonen, L., Ross, M., & Smith, M. D. (2022). What happens after drought ends: synthesizing terms and definitions. *New Phytologist*, 235(2), 420-431.
- Vogel, A., Scherer-Lorenzen, M., & Weigelt, A. (2012). Grassland resistance and resilience after drought depends on management intensity and species richness. *PloS one*, 7(5), e36992.
- Wang, Y., Yu, S., & Wang, J. (2007). Biomass-dependent susceptibility to drought in experimental grassland communities. *Ecology Letters*, 10(5), 401-410.
- Wang, Z., Lv, S., Liu, H., Chen, C., Li, Z., Wang, Z., & Han, G. (2023). Heavy grazing causes plant cluster fragmentation of sparse grasses. *Ecology and Evolution*, 13(10), e10581.
- Wedderburn, M. E., Crush, J. R., Pengelly, W. J., & Walcroft, J. L. (2010). Root growth patterns of perennial ryegrasses under well-watered and drought conditions. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 53(4), 377-388.
- Wright, I. J., & Westoby, M. (2002). Leaves at low versus high rainfall: coordination of structure, lifespan and physiology. *New phytologist*, 155(3), 403-416.
- Wu, W., Zhou, G., & Xu, Z. (2022). Driving mechanisms of climate-plant-soil patterns on the structure and function of different grasslands along

- environmental gradients in Tibetan and Inner Mongolian Plateaus in China. *Journal of Cleaner Production*, 339, 130696.
- Zhai, B., Wang, G., Hu, Z., Tang, Z., & Sun, S. (2024). Marginal water use efficiencies of different plant functional types along an elevation gradient in subalpine regions. *European Journal of Forest Research*, 143(3), 773-784.
- Zhang, R., Zhao, X., Zuo, X., Degen, A. A., Li, Y., Liu, X., ... & Wang, R. (2020). Drought-induced shift from a carbon sink to a carbon source in the grasslands of Inner Mongolia, China. *Catena*, 195, 104845.
- Zwicke, M., Alessio, G. A., Thiery, L., Falcimagne, R., Baumont, R., Rossignol, N., ... & Picon-Cochard, C. (2013). Lasting effects of climate disturbance on perennial grassland above-ground biomass production under two cutting frequencies. *Global Change Biology*, 19(11), 3435-3448.

BÖLÜM 13

KURAK KOŞULLARDA YEM BİTKİSİ TARIMI: ERKEN YETİŞME DÖNEMİ

Prof. Dr. İlkay YAVAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493269>

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Aydın, Türkiye. iyavas@adu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-6863-9631

GİRİŞ

Yem bitkileri üretimi, ekimde sıra aralığı (Baath ve ark., 2024), tohum oranı (Beck ve ark., 2022), ekim tarihi (Jung ve ark., 2023), karışık ekimde tohum oranı (Wang ve ark., 2024) ve gübreleme oranı (Mattera ve ark., 2023) gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Kuraklık stresi, bitkilerin büyüme ve gelişim süreçlerinde çeşitli fiziksel, fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere yol açmakta olup, sonuç olarak ekonomik verimi ve ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Kumar ve ark., 2022).

Tohum çimlenmesi ve fide oluşumu, bitkilerin yaşam döngüsündeki en kritik aşamalardan biri olarak kabul edilmektedir (Ludewig ve ark., 2014). Birçok bitki türü için uyku halinin bozulması ve çimlenme sürecinin başlaması, uygun çevresel koşulların sağlanmasıyla doğrudan ilişkilidir. Bu süreçte sıcaklık, tohum uyku hali ve çimlenme mekanizmasını düzenleyen temel bir çevresel faktör olarak öne çıkmaktadır. Çimlenme üzerinde etkili olan bir diğer önemli faktör ise hem toprak hem de tohum su potansiyeli ile doğrudan bağlantılı olan su mevcudiyetidir. Çimlenme için gerekli minimum su potansiyeli türler arasında büyük farklılıklar göstermekte olup, kurak koşullara adapte olmuş türlerin çimlenme süreçleri, nemli ortam bitkilerine kıyasla su stresinden daha az etkilenebilmektedir (Hu ve ark., 2015). Kurak bölgelerde uygulanan üretim sistemlerinde, tohum çimlenmesi ve ardından fide gelişimi için gerekli su miktarı sınırlı olup, yalnızca kısa süreler için erişilebilir durumda bulunmaktadır (Müller ve ark., 2022).

Kuraklık şiddetlendikçe, ürün veriminde ve bitki hayatta kalma oranında belirgin bir düşüş gözlenmektedir. Bitkilerin su ihtiyacı, kök sistemlerindeki farklılıklar, buharlaşma kayıpları, su depolama kapasiteleri dormansi mekanizmaları ve genetik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Suyun bulunabilirliği yalnızca yağış ve sulama imkanlarıyla değil, aynı zamanda toprak yapısı, eğim, ekim oranı ve toprak işleme teknikleri gibi birçok tarımsal ve çevresel faktöre bağlı olarak da büyük ölçüde değişmektedir. Ayrıca, yabancı otların rekabetinin azaltılması ve derin, sağlam kök gelişiminin teşvik edilmesi, kuraklık etkilerinin hafifletilmesinde önemli rol oynamaktadır (Soderlund ve ark., 2014).

1. TÜR VE ÇEŞİT SEÇİMİ

Yerel bitkilerin daha kurak bölgelerde yem üretimi amacıyla ekilmesi, istikrarlı ve sürdürülebilir bir tarım sistemine katkı sağlayabilir (Schellenberg ve ark., 2012). Ancak tüm yerel bitkiler yem üretimi açısından uygun değildir. Bu nedenle potansiyel yem bitkilerinin belirlenmesi sürecinde kalite değerlendirmesi yapılmalıdır. Bitkilerin besin değeri, hayvanların tüketim potansiyeli ve anti-kalite faktörleri analiz edilmelidir, çünkü bu faktörler birbirleriyle etkileşim halindedir ve besleme etkinliğini doğrudan etkileyebilir (Collin ve Newman, 2018).

Meralar için yerel baklagillerin en iyi şekilde değerlendirilmesi hem nitel hem de nicel farklılıklarının belirlenmesini gerektirir (Muir ve ark., 2019). Yarı kurak bölgelerde, karışık ot-yem sistemlerinde yüksek verimli baklagil türlerinin tespiti, mera sürdürülebilirliğini artırarak mevcut yerel çok yıllık türlerin çeşitliliğinin genişletilmesine olanak sağlamaktadır (Luscher ve ark., 2014). Baklagiller, otlarla kıyaslandığında daha az azot sınırlamasına sahip olup, bu özellikleri sayesinde kurak koşullara karşı daha yüksek direnç gösterebilmektedir (Hofer ve ark., 2016).

Tohum büyüklüğü, bitkilerin hayatta kalma olasılığı üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Küçük tohumlu türler, genellikle toprakta daha uzun süre kalabilme yeteneğine sahip olup, çimlenme için uygun koşullar oluşana kadar dormansi sürecini sürdürebilirler. Buna karşılık, büyük tohumlu türler çimlenme sonrasında daha yüksek hayatta kalma oranına sahip olmakta ve güçlü kök sistemleri sayesinde kuraklık gibi çevresel stres faktörlerine daha iyi adapte olmaktadır (Hillhouse ve Zedler, 2011; Martínez-González ve ark., 2020).

Tohum büyüklüğünün ekolojik ve fizyolojik etkileri, tohumun su alımı, çimlenme hızı ve erken dönem gelişimi gibi faktörlerle doğrudan ilişkilidir. Büyük tohumlar, rezerv besin maddeleri açısından daha zengin olup, erken fide gelişiminde avantaj sağlarken, küçük tohumlar düşük su gereksinimi ile zor çevresel koşullarda uzun süre dormansi halinde kalabilir (Wang ve Sun, 2025). Özellikle *Ceiba aesculifolia* üzerinde yapılan bir çalışmada, büyük tohumların daha yüksek çimlenme oranına sahip olduğu ve daha iyi büyüme gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, büyük tohumların daha fazla besin rezervine sahip olması, erken fide gelişimini destekleyerek bitkilerin kuraklık gibi stres

faktörlerine karşı daha dirençli olmasını sağlamaktadır (Martínez-González ve ark., 2020).

Yerel çok yıllık baklagillerin yoğunluğu, büyümenin ilk yılında tohum ekim oranına bağlı olarak doğrusal bir artış göstermekte olup, bu ilişki türler arası rekabet ve toprak besin dinamikleriyle desteklenmektedir (Fischbach ve Huber, 2006; Arlauskienė ve ark., 2021). Kuraklık stresinin yüksek olduğu ekosistemlerde, derin köklü baklagil türleri, atmosferik azotu bağlayarak toprak verimliliğini artırmakta ve böylece diğer bitki türlerine göre daha fazla avantaj sağlamaktadır (Luo ve ark., 2023).

Aşırı kurak koşullar altında, baklagiller baklagil olmayan türlere kıyasla daha dirençli olup, azot fiksasyonu ve kök yapılarındaki farklılıklar nedeniyle su kullanım etkinliğini artırabilmektedir (Hofer ve Luscher, 2016; Petrushin ve ark., 2023). Bu avantaj, özellikle iklim değişikliği ve kuraklık gibi faktörlerin tarımsal üretimi etkilediği bölgelerde yem bitkilerinin sürdürülebilir yönetimi açısından önem taşımaktadır (Nadeem ve ark., 2019).

Tohum maliyeti ve bulunabilirliği, yem üretimi için türlerin kullanımında belirleyici faktörlerden biridir (Bushman ve ark., 2007). Yerel olmayan ve dışarıdan getirilen yem bitkileri, yerel türlerle rekabet edebilir ve çayır ekosistemlerinin biyoçeşitliliğini olumsuz yönde etkileyebilir (Schellenberg ve ark., 2012). Kuraklık toleransı genellikle derin kök sistemleri ve kurak koşullara adapte olma kapasitesi ile ilişkilendirilir (Polania ve ark., 2017). Bitkilerin kuraklık toleransı, fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerin karmaşık bir kombinasyonu olup, fenotipik çeşitlilikle doğrudan bağlantılıdır (Farooq ve ark., 2009).

Küçük tohumlu yem bitkileri, çeşitli sıcaklık koşullarında başarılı çimlenme gösterebilse de arazi koşullarında yetiştirilmesi en zor olan türlerdir (Quilichini, 2020). Çimlenme, fidenin hayatta kalması ve fide büyümesi gibi faktörler, arazi koşullarında fidenin varlığını belirlemektedir. Nem stresi ve yüksek rekabet gibi çevresel faktörler altında, hızlı çimlenme aşaması başarılı baklagil yetiştiriciliği için kritik bir faktördür (McGraw ve ark., 2003).

Yerel bitki popülasyonları genetik ve fenotipik farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle, ekim için kullanılacak tohumların, hedeflenen yetiştirme alanına benzer ekolojik koşullara sahip bölgelerden temin edilmesi gereklidir. Alternatif olarak, çeşitli iklim koşullarına uyum sağlayabilecek

yüksek genetik çeşitliliğe sahip bitki türleri tercih edilmelidir (Bhattarai ve ark., 2010).

Bol suyun bulunduğu koşullarda, yerel baklagiller daha fazla biyokütle üretimi sağlarken, aynı zamanda azot fiksasyon sürecini teşvik ederek toprak verimliliğini artırmaktadır (Hofer ve ark., 2016; Luo ve ark., 2023). Baklagillerin atmosferik azotu bağlama yeteneği, ekim yapılan alanlarda doğal gübreleme işlevi görerek sürdürülebilir tarımsal üretime katkıda bulunmaktadır (Kebede ve ark., 2021). Kuraklık stresine maruz kalan baklagiller, baklagil olmayan bitkilere kıyasla daha az biyokütle kaybederken, bu durum su kullanım etkinliği ve kök sistemlerinin derinliği ile doğrudan ilişkilidir (Petrushin ve ark., 2023). İsveç ve İrlanda'da yapılan bir çalışma, kuraklık stresine maruz kalan baklagil-buğdaygil karışımlarının, normal nem koşullarında yetiştirilen monokültür buğdaygil tarlalarına benzer verim sağladığını göstermiştir (Hofer ve ark., 2016). Bu sonuçlar, baklagil-buğdaygil karışımlarının kurak koşullarda daha iyi performans gösterdiğini ve toprak nemini koruma, besin döngüsünü iyileştirme ve biyokütle üretimini artırma açısından avantaj sunduğunu ortaya koymaktadır (Luo ve ark., 2023). Özellikle çok yıllık baklagiller, kuraklığa eğilimli tarım alanlarında faydalı olabilecek çeşitli fizyolojik ve morfolojik adaptasyon mekanizmalarına sahiptir (Pang ve ark., 2011). Bitkilerin kök sistemleri, su depolama kapasiteleri ve kuraklık stresine karşı geliştirdikleri biyokimyasal mekanizmalar, uzun vadeli yem üretiminin başarısını belirleyen temel unsurlardır. Kurak bölgelerde yem üretimini optimize etmek için yerel bitki türlerinin özenle seçilmesi, ekosistem dengesi gözetilerek tarımsal faaliyetlerin yürütülmesi ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin uygulanması gereklidir.

2. TOHUM KALİTESİ

Tohum kalitesi, bitkisel üretimde temel bir parametre olup, genetik ve fiziksel saflık, çimlenme kapasitesi, tohum canlılığı ve tohum kaynaklı hastalık ve zararlılardan arınmış olması gibi çeşitli alt bileşenlerden oluşmaktadır. Tarımsal üretimde tohum kalitesi büyük önem taşımakta olup, bitkilerin nesilden nesile başarılı bir şekilde aktarılabilmesi için özenle korunması gerekmektedir. Yüksek kaliteli tohumlar, çiftçilere optimum bitki standı sağlayarak ürün verimini artırma fırsatı sunmaktadır. Tohum kalitesi, ana

bitkinin gelişimi sürecinde belirlenmekte ve ekim zamanına kadar muhafaza edilmelidir (Taylor, 2003).

Yem bitkisi standının kurulumu, bitki popülasyonlarındaki yeni fidelerin başarılı çimlenmesi ve hayatta kalması ile şekillenmektedir. Bitki yaşam döngüsünün en kritik aşamalarından biri olan bu süreçte, ölüm oranı genellikle en yüksek seviyede gerçekleşmektedir. Çimlenme oranı düşük olan türlerin, stand oluşturma kapasiteleri de düşük olmaktadır (Hillhouse ve Zedler, 2011). Çevresel stres faktörleri ve rekabet koşulları altında, fidelerin başarılı bir şekilde hayatta kalabilmesi için hızlı çimlenme büyük önem taşımaktadır (McGraw, 2003).

Tohumların canlılığı hem genetik hem de fizyolojik faktörlere bağlı olup, dormansi özellikleri ise tohumun yapısına, tohum gelişimi sırasındaki çevresel koşullara ve olgunlaşma sürecine göre değişkenlik göstermektedir. Aynı türün farklı tohum partileri, aynı çevresel koşullara ekilmelerine rağmen farklı tarla çıkış performansı sergileyebilmektedir (Quilichini, 2020). Yem bitkilerinin belirli bir süre içinde tesis edilmesi gerektiğinden, sert tohum kabuklarının çimlenmeyi engellediği durumlarda çimlenmeyi teşvik etmek amacıyla tohum kabuğunu aşındırma işlemi olan stratifikasyon uygulanabilmektedir (Dittus ve Muir, 2019).

Yerli türler için uygun ekim oranlarının belirlenmesi oldukça zorlu bir süreçtir. Tohum partisinin kalite testleri, yerli türlerin ekim oranlarını ve fide tutumunu tahmin etmek için yeterli veri sağlamamakta olup, bu nedenle farklı yöntemlerin kullanılması gerekmektedir (Vogel, 2002). Bir ekim oranının başarısının objektif olarak ölçülmesi için, ekimden iki yıl sonra bitki popülasyonunun yoğunluğunun değerlendirilmesi önemli bir kriter olarak kabul edilmektedir (Burton ve ark., 2006). Yerli tohumların kalite testleri, ekilen tohum miktarının tutunmuş fidelerin yoğunluğuyla ilişkilendirilerek değerlendirilmelidir (Vogel, 2002).

Tohum gelişim sürecinde maruz kalınan kuraklık stresi, çimlenme kapasitesinde ve tohum canlılığında belirgin düşüslere neden olabilmektedir. Yüksek sıcaklıklar, tohumların çimlenme potansiyelini önemli ölçüde etkileyerek çimlenme oranlarının düşmesine ve tohumların canlılık düzeyinin azalmasına yol açmaktadır. Sıcaklık stresine bağlı olarak zayıf çimlenme ve düşük tohum canlılığı, hücre zarının termal stabilitesinin azalması ve zar akışkanlığının artması ile ilişkilendirilmektedir (Kumar ve ark., 2022).

Kalsiyum klorür (CaCl_2) gibi kimyasallarla yapılan tohum ozmoprining işleminin, arpada kuraklık stresinin etkilerini etkin bir şekilde azalttığı belirlenmiştir (Kaczmarek ve ark., 2017). Yapılan araştırmalar, CaCl_2 ile yapılan priming işleminin hem kuraklığa dayanıklı hem de kuraklığa duyarlı arpa çeşitlerinde kuraklık toleransını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca, kalsiyum ile gerçekleştirilen ön koşullandırmanın, genetik olarak belirlenen kuraklık toleransı ile güçlü etkileşim içinde olduğu ve bu durumun bitki adaptasyon sürecini doğrudan etkilediği ortaya konmuştur (Anderson ve ark., 2014).

3. TOHUM ORANI (BİTKİ POPÜLASYONU)

Bitki yoğunluğu, tarımsal üretimde ışık, su ve besin maddeleri için tür içi ve türler arası rekabeti doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Yüksek bitki yoğunluklarında, bireyler arasında kaynak paylaşımının artması sonucunda tür içi rekabet yükselmekte ve bu durum verimin azalmasına yol açabilmektedir (Mahrokh ve ark., 2023). Buna karşılık, düşük bitki yoğunlukları, türler arası rekabeti azaltarak yabancı otların yayılmasına ve toplam yem üretiminin düşmesine neden olabilir (Zamanian ve ark., 2024). Bitki yoğunluğunun uygun şekilde yönetilmesi, yem veriminin yanı sıra ham protein verimi ve diğer kalite göstergeleri üzerinde olumlu etkiler yaratabilmektedir (Xu ve ark., 2022). Bu nedenle gerek monokültür gerekse ara ekim sistemlerinde optimum bitki yoğunluğunun belirlenmesi, daha yüksek ve kaliteli yem üretimi açısından büyük önem taşımaktadır (Ferraz-Almeida ve ark., 2022).

Tunus'un kuzeyindeki Akdeniz havzasında gerçekleştirilen bir çalışmada, *Chrysopogon zizanioides* türü dayanıklı bir yem alternatifi olarak değerlendirilmiş ve bu bitkinin 'Sunshine' çeşidinde sulama rejimleri ile ekim yoğunluğunun büyüme parametreleri, yem verimi ve kalite üzerindeki etkileri analiz edilmiştir (Ben Romdhane ve ark., 2024). Çalışma sonucunda, sık veya orta sıklıkta sulama rejimleri, uzun aralıklarla yapılan sulamaya kıyasla üretimi iyileştirmiş olup, bu durum özellikle kardeş sayısındaki artış ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, orta ve en yüksek bitki yoğunluklarının tüm sulama rejimlerinde kuru madde verimi (14.7 ve 14.6 ton ha^{-1}) ve protein verimi açısından (1638 ve 1540 kg ha^{-1}) en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiştir. En yüksek protein veriminin (1980 kg ha^{-1}) elde edilmesi için ise orta düzeyde bir

sulama rejimi ile ortalama bitki yoğunluğunun ($20.000 \text{ bitki ha}^{-1}$) kombinasyonunun ideal olduğu belirlenmiştir.

Çift amaçlı kullanım potansiyeline sahip olan buğdayın (*Triticum aestivum*) yem ve tane verimini en üst seviyeye çıkarmak amacıyla, ekim tarihi ve ekim oranı faktörlerinin etkisi değerlendirilmiş ve bu doğrultuda Darapunenli ve ark. (2016) tarafından üç yıl süren kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür. Araştırmada, altı farklı ekim tarihinin (iki haftalık aralıklarla Eylül-Kasım ayları) ve dört ekim oranının ($33.6, 67.2, 100.8$ ve 134.5 kg.ha^{-1}) çift amaçlı kışlık buğday üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, erken ekim tarihlerinin yem verimini maksimum seviyeye çıkardığını ve ekim tarihi geciktikçe verimin düştüğünü göstermektedir. Ancak, maksimum tane verimi için en uygun ekim tarihinin Kasım ayının başı olduğu belirlenmiştir. Ekonomik analizler doğrultusunda, en yüksek getirinin elde edilmesi için Eylül ayının başı ile sonu arasındaki ekim tarihlerinin daha avantajlı olduğu ortaya konulmuştur. Çift amaçlı buğdayın yem ve tane verimleri farklı ekim oranlarından önemli ölçüde etkilenmemiş olup, araştırmacılar bu koşullarda üreticilerin 33.6 kg.ha^{-1} ekim yaparak çift amaçlı buğdayın yem ve tahıl verimi potansiyelini koruyabileceklerini bildirmişlerdir. Ayrıca, buğday yetiştiricileri, otlatma gereksinimlerine bağlı olarak ekim tarihlerini uygun şekilde planlayarak ve ekim oranlarını optimize ederek ekonomik getirilerini artırabilirler.

Bu çerçevede, bitki yoğunluğu, ekim rejimleri ve sulama stratejileri gibi faktörlerin dikkatle yönetilmesi hem yem bitkilerinin hem de çift amaçlı buğday gibi tarımsal türlerin verimliliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır. Bitkisel üretimin uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlamak ve ekonomik verimliliği optimize etmek için kapsamlı tarımsal yönetim uygulamalarının benimsenmesi gerekmektedir.

4. EKİM ZAMANI

Ekim zamanı, tarımsal üretimde temel yönetim uygulamalarından biri olup, bitki popülasyonlarının verim optimizasyonu açısından kritik bir öneme sahiptir (Olugbenli ve ark., 2021). Ekim tarihinin doğru belirlenmesi, bitkilerin büyüme koşullarıyla uyumlu olmasını sağlamakta, özellikle zayıf yetiştirme ortamlarında (kuraklık, uygun olmayan tohum yatakları, derin ekim derinliği gibi) ekim oranının başarılı bir şekilde optimize edilmesine yardımcı

olmaktadır. Bu durum yem üretimi için optimum ekim oranını etkileyebileceğini göstermektedir (Beck ve ark., 2022).

Kurak koşullarda yem bitkileri yetiştiriciliğinde ekim zamanı, bitki gelişimi ve verimlilik açısından kritik bir faktördür. Yapılan araştırmalar, ekim zamanının toprak nemi, sıcaklık ve bitki büyüme süreci üzerindeki etkilerini inceleyerek, optimum ekim tarihlerini belirlemeye odaklanmaktadır. Özellikle kurak bölgelerde erken ekim, toprakta mevcut nemin daha iyi değerlendirilmesini sağlarken, geç ekim su stresine bağlı olarak verim kayıplarına neden olabilmektedir (Sarıkaya, 2019).

Thinopyrum intermedium'un kırmızı yonca (*Trifolium pratense*) ile birlikte ekimi, azot transferi yoluyla verimi ve besin değerini artırabilmektedir. Bitkilerin ekim zamanı, tahıl ve yem verimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Olugbenle ve ark. (2021), bu etkileri değerlendirmek amacıyla ABD'nin Wisconsin eyaletinde iki farklı lokasyonda (Arlington ve Lancaster) iki yıl boyunca bir deneme kurmuştur. Çalışmada iki temel faktör incelenmiştir: 1) *Thinopyrum intermedium* ekim tarihleri (Ağustos-Ekim ve Nisan) ve 2) *Trifolium pratense* ekim mevsimi (sonbaharda, *Thinopyrum intermedium* ile birlikte veya bir sonraki ilkbaharda donla ekim). Araştırma bulguları, tahıl veriminin 26 Ağustos ve 13 Eylül'de ki ekimlerde Arlington ve Lancaster'da sırasıyla 515 kg ha⁻¹ ve 423 kg ha⁻¹ seviyelerine ulaştığını ortaya koymuştur. İlk hasat yılı itibarıyla ekim tarihi tahıl verimini doğrudan etkilemiş olup, ikinci yıl bu etkinin kaybolduğu gözlemlenmiştir. *Trifolium pratense*'in ilkbaharda ekilmesi, sonbaharda yapılan ekime kıyasla *Thinopyrum intermedium* ve *Trifolium pratense* biyokütlesinde daha fazla artış sağlamıştır. Wisconsin'de yürütülen bu çalışmaya göre, tahıl veriminin en üst düzeye çıkarılması için en uygun kombinasyon, en geç Eylül başında *Thinopyrum intermedium*'un ekilmesi ve ilkbaharda *Trifolium pratense* ekiminin gerçekleştirilmesi olarak önerilmektedir.

Ekim zamanının yem bitkileri üzerindeki etkileri üzerine yapılan çalışmalar, farklı ekim tarihleri ve bitki sıklıklarının ot verimi ve besin değerleri üzerindeki değişimlerini ortaya koymaktadır. Eskişehir ovasında yapılan bir araştırmada, sonbahar ekiminin bitki boyunu artırdığı, ot verimini yükselttiği ancak ham protein oranını düşürdüğü belirlenmiştir (Sarıkaya, 2019).

5. KARIŞIK EKİM

Tarımsal ekosistemlerde ürün çeşitliliği, iki veya daha fazla ürünün aynı anda yetiştirilmesiyle artırılabilir; bu, farklı ürünler arasında karşılıklı ilişkiler kurar, birim alanda verimi artırır, yabancı otları, zararlıları ve hastalıkları azaltır ve kaynak kullanım etkinliğini iyileştirir (Rezaei-Chiyaneh ve ark., 2021). Bileşenler tamamlayıcıysa, çevre kaynakları için daha az rekabet ederler, besin maddesi alımı, su emilimi ve ışık tutma oranını artırır (Namazi ve ark., 2022). Farklı ara ekim sistemleri arasında, N-fiksasyon bitki türlerinin (baklagiller) diğer bitki türleriyle birleştirilmesi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde dünya çapında en yaygın sistemlerden biridir. Baklagillerin baklagil olmayan türlerle ara ekimi, yem miktarını ve kalitesini artırabilir (Javanmard ve ark., 2020).

Tıbbi bitki ve yem bitkilerinin ara ekimi, yem bileşenlerinin kalitesini artırmak ve tıbbi bileşenlerin miktarını ve kalitesini geliştirmek için yeni bir yöntemdir. *Trachyspermum ammi* türünü bezelye ve çemen ile birlikte yetiştirmek, yem-ilaç üretimi için önemlidir ve kimyasal ilaçlara ihtiyaç duymadan hayvan sağlığını iyileştirebilir ve ikincil metabolitler sağlayarak hayvanların besin ihtiyaçlarını karşılayabilir. Dahası, bu tıbbi bitki-yem bileşimi, gaza neden olan ve süt üretimini etkileyen baklagillerin olumsuz besin etkilerini düzenleyebilir (Fotahi Chiyaneh ve ark., 2024).

Yarı kurak bir ortamda kaktüs-buğdaygil ara ekimi, ürünlerin sunduğu farklı metabolizmaların (CAM ve C4 metabolizmaları) su kullanımının zamansal tamamlayıcılığı nedeniyle su etkinliğini artırır (Ma ve ark., 2020). Yem bitkileri olmalarına rağmen sorgum ve kaktüs farklı fotosentetik metabolizmalara sahiptir. Gündüz karbon asimilasyonu olan C4 tipindeki sorgum, aynı metabolizmaya sahip diğer kaktüsle karşılaştırıldığında, kurak ve yarı kurak ortamlara uyum sağlamanın yanı sıra biyokütle üretimi, yüksek ekonomik getiri, şeker ve biyoyakıt üretimi, su açığına tolerans ve su kullanım etkinliği için yüksek potansiyele sahiptir (Jardim ve ark., 2021).

Tek ürün yetiştirme sistemleriyle karşılaştırıldığında, tahıl/baklagil ara ürün yetiştirme sistemleri, tane verimini artırırken inorganik azot (N) gübre girdilerine olan ihtiyacı azaltabilir (Li ve ark., 2009). Özellikle bitki kökleri, türler arası toprak altı etkileşimleri için kritik bir görev görür, çünkü kökler sadece su ve besinleri emmekle kalmaz, aynı zamanda diğer eser maddeleri sentezler ve diğer bitki dokularına dönüştürürler (Gong ve ark., 2020). Kök

büyümesini optimize etme çabaları, ara ürün yetiştirme sisteminde türler arası ilişkiyi düzenlemeye yardımcı olabilir (Wang ve ark., 2018). Besin maddeleri sınırlayıcı olmadığında, oldukça rekabetçi bitkiler köklere yüksek oranda biyokütle ayırır ve büyük hacimli toprakları kullanabilir. Karışımlardaki türlerin bileşimi ve niteliklerinin, azot döngüsü ve biyokütle üretimi için tohum karışımlarının çeşitliliğinden daha önemli olduğu gösterilmiştir (Hammermeister ve ark., 2003). Etkili yaklaşımlar, uygun türlerin seçilmesini veya ekimde makul tohum oranlarının kullanılmasını içerir. Türler arası rekabet, baskın türün verimini artırır ve ortak büyüme döneminde diğer türlerin büyümesini kısıtlar. Erken ekilen türlerin daha erken hasadı, dolayısıyla daha sonra hasat edilen türlerin büyümesi üzerinde potansiyel bir iyileşme etkisine yol açacaktır (Xia ve ark., 2013).

Tarımsal ekosistemlerde ürün çeşitliliği, iki veya daha fazla ürünün aynı anda yetiştirilmesi yoluyla artırılabilir. Bu yöntem, bitkiler arasında karşılıklı fayda sağlayan etkileşimlerin oluşmasına olanak tanırken, aynı zamanda birim alandan alınan verimi yükseltir, zararlıları ve hastalıkları azaltır, yabancı ot baskısını düşürür ve kaynak kullanım etkinliğini iyileştirir (Rezaei-Chiyaneh ve ark., 2021). Özellikle tamamlayıcı özelliklere sahip bitki türleri, çevresel kaynaklar için daha az rekabet göstererek besin alımı ve su emilimini artırabilir (Namazi ve ark., 2022).

Ara ekim sistemleri içerisinde, baklagil türlerinin baklagil olmayan bitkilerle birleştirilmesi, yem üretiminin miktar ve kalite açısından iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Javanmard ve ark., 2020). Baklagiller, atmosferik azotu biyolojik olarak bağlama yetenekleri sayesinde tarımsal sistemlerde azot döngüsüne olumlu etkilerde bulunur ve böylece ekim yapılan alanlarda azot gübresi ihtiyacını azaltarak sürdürülebilir üretim stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olur. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kullanılan bu yöntem hem ekonomik hem de ekolojik faydalar sunmaktadır.

Yem ve tıbbi bitkilerin ara ekimi, yem bileşenlerinin besin değerini artırmak ve tıbbi özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılan yenilikçi bir yaklaşımdır. *Trachyspermum ammi* türü, bezelye (*Pisum sativum*) ve çemen (*Trigonella foenum-graecum*) ile birlikte yetiştirildiğinde yem-ilac entegrasyonu açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Bu sistem, kimyasal ilaç kullanımına gerek kalmadan hayvan sağlığını iyileştirebilir, ikincil metabolitler

sağlayarak hayvanların beslenme ihtiyaçlarını karşılayabilir. Ayrıca bu bileşim, süt üretimini etkileyen ve gaz oluşumuna neden olan baklagillerin olumsuz etkilerini düzenleyerek daha dengeli bir yem formülasyonu oluşturabilir (Fotohi Chiyaneh ve ark., 2024).

Kurak ve yarı kurak ortamlarda kaktüs-buğdaygil ara ekimi, bu iki bitkinin farklı metabolik süreçleri (CAM ve C4 metabolizmaları) sayesinde su kullanım etkinliğini artırmaktadır. Özellikle sorgum (*Sorghum spp.*) ve kaktüs (*Opuntia spp.*) gibi yem bitkileri, farklı fotosentetik metabolizmalara sahip olup, bu özellikleri su kullanım stratejilerinin optimize edilmesini sağlamaktadır. Gündüz karbon asimilasyonu gerçekleştiren C4 tipi sorgum, biyokütle üretimi, ekonomik getiri, şeker ve biyoyakıt üretimi, kuraklığa tolerans ve su kullanım etkinliği açısından yüksek potansiyele sahip bir yem bitkisi olarak öne çıkmaktadır (Jardim ve ark., 2021).

Tahıl ve baklagil ara ekim sistemleri, tek ürün yetiştiriciliğine kıyasla daha yüksek tane verimi sağlarken, inorganik azotlu gübre kullanımına olan ihtiyacı azaltabilmektedir (Li ve ark., 2009). Özellikle bitki kökleri, farklı türler arasındaki toprak altı etkileşimlerinde kritik rol oynamaktadır. Kökler yalnızca su ve besin maddelerini almakla kalmayıp, aynı zamanda çeşitli eser elementleri sentezleyerek diğer bitki dokularına dönüştürmektedir (Gong ve ark., 2020). Ara ekim sistemlerinde kök büyümesini optimize etmeye yönelik çalışmalar, türler arası etkileşimleri düzenleyerek besin döngüsünü ve biyokütle üretimini iyileştirebilir (Wang ve ark., 2018).

Besin maddeleri sınırlayıcı olmadığında, oldukça rekabetçi bitkiler köklere yüksek oranda biyokütle ayırarak büyük hacimli toprakları kullanabilirler. Bitki karışımlarındaki türlerin bileşimi ve niteliklerinin, azot döngüsü ve biyokütle üretimi açısından tohum karışımlarının çeşitliliğinden daha önemli olduğu ortaya konulmuştur (Hammermeister ve ark., 2003). Etkili ara ekim yaklaşımları, uygun türlerin seçilmesini ve ekimde makul tohum oranlarının kullanılmasını içermektedir. Türler arası rekabet, baskın türün verimini artırırken, ortak büyüme döneminde diğer türlerin büyümesini sınırlayabilir. Erken ekilen türlerin daha erken hasadı, daha sonra hasat edilen türlerin büyüme sürecini olumlu yönde etkileyerek toplam verimi artırabilmektedir (Xia ve ark., 2013). Ara ekim sistemlerinin doğru şekilde planlanması, yem bitkisi yetiştiriciliğinde verimi ve kaliteyi artırmada önemli rol oynarken, sürdürülebilir tarımsal üretim ve ekolojik denge açısından da

avantajlar sağlamaktadır. Ara ekim tekniklerinin bilinçli uygulanması, bitki çeşitliliğinin korunması ve kaynak kullanım etkinliğinin artırılması, yem üretiminde daha yüksek kazanç elde edilmesine katkıda bulunacaktır.

Yerel türlerin yem bitkisi karışımlarına dahil edilmesi, özellikle kurak dönemlerde ve yarı kurak ekosistemlerde yem üretimini sürdürülebilir şekilde artırma potansiyeline sahiptir (Mischkolz ve ark., 2013). Bu türlerin bölgesel adaptasyon yetenekleri sayesinde, su stresi altında daha yüksek verim elde edilebilir ve uzun vadeli ekolojik denge korunabilir. Yerel türlerin entegrasyonu, yem sistemlerinin çeşitliliğini artırarak üretim istikrarına katkı sağlamakta ve tarımsal ekosistemlerin dayanıklılığını güçlendirmektedir.

Birden fazla türün birlikte ekildiği sistemlerde, büyük tohumlu türler genellikle daha küçük tohumlu türlere göre rekabet avantajına sahiptir. Bu avantaj, çimlenme sürecindeki hızlı su emilimi ve başlangıçta daha yüksek enerji rezervine sahip olmalarıyla ilişkilendirilmektedir. Ancak, birçok tohum dormansi nedeniyle uygun ekim koşullarında bile çimlenememektedir. Özellikle tohumların suyu çekmemesi, sert tohum kabuklarına sahip olması ve belirli sıcaklık gereksinimlerine ihtiyaç duyması gibi faktörler çimlenme sürecini geciktirebilir ve tohumların uzun süre dormanside kalmasına neden olabilir (Quilichini, 2020).

Yürütülen çalışmalar, saf olarak yetiştirilen baklagillerin yabancı ot rekabetine karşı oldukça hassas olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle monokültür baklagil sistemlerinde, yabancı ot baskısı nedeniyle verim kayıpları görülebilir. Buna karşın, baklagillerin buğdaygillerle karıştırıldığı sistemler, yabancı ot rekabetini azaltarak daha verimli bir yem üretimi sağlamaktadır. Buğdaygillerin yoğun kök sistemleri ve hızlı gelişim gösterme özellikleri, baklagillerin yabancı otlara karşı rekabet gücünü artırmasına yardımcı olmaktadır. Bu kombinasyon hem yem miktarını hem de kalitesini iyileştirerek sürdürülebilir otlatma ve yem üretim sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Frame, 2005).

7. KORUMALI TOPRAK İŞLEME

Toprak işleme, kesme, karıştırma, devirme ve gevşetme yoluyla toprağın fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklerini değiştiren temel bir tarımsal uygulamadır. Toprak işleme, bitki büyümesi için uygun ortam oluşturma yanı sıra, tarımsal ekosistemler üzerinde önemli çevresel etkiler yaratmaktadır

(Zhang ve ark., 2014). Geleneksel ve modern toprak işleme teknikleri, toprağın su tutma kapasitesi, havalanma durumu, mikroorganizma aktiviteleri ve besin döngüsü gibi faktörleri doğrudan etkileyerek bitki yetiştirme süreçlerine yön vermektedir. En yaygın korumalı toprak işleme sistemleri arasında malçlama, sırt işleme, bölgesel işleme (şerit işleme) ve işlemez tarım yer almaktadır. Malçlama genellikle tüm toprak yüzeyinin bozulmasını içerirken, sırt işleme ve bölgesel işleme yöntemleri yalnızca belirli bir toprak bölgesini etkileyerek yüzeyin üçte biri veya daha azını bozmaktadır. İşlemez tarım ise toprak üzerindeki fiziksel müdahaleleri minimum seviyeye indirerek ekim ve dikim işlemleriyle sınırlı tutmaktadır. Kullanılan ekim makinesi veya ekicinin türüne bağlı olarak, bozulan toprak yüzeyinin oranı %30 ila %100 arasında değişebilmektedir (Carter, 2005).

Koruyucu toprak işleme sistemleri, azaltılmış toprak işleme ile işlemez tarım arasında değişen uygulamaları içermekte olup, bu yöntemler özellikle kuraklığa dayanıklılığı artırmak için önemli avantajlar sunmaktadır. Toprakta bozulmanın azaltılması, agregat oluşumu yoluyla toprak yapısını stabilize ederek su tutma kapasitesini ve infiltrasyonu iyileştirmekte, aynı zamanda buharlaşmayı azaltan bitki materyali (malç) ile toprak örtüsünü desteklemektedir (Loaiza Puerta ve ark., 2018). Korumacı toprak işleme teknikleri, erozyon riskini en aza indirmeye yardımcı olurken, su kullanım etkinliğini artırarak tarımsal sürdürülebilirliği teşvik etmektedir (Holland, 2004).

Sırtlara ekim uygulaması, tropikal ve ılıman iklim bölgelerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, ekim sırası sırtın üstüne, kenarlarına veya karık içine yerleştirilebilmektedir. Sırt toprak işleme yöntemi, özellikle karma ekim sistemlerini kolaylaştırarak aynı arazi parçasında birden fazla ürünün yetiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Tropikal ve subtropikal bölgelerde sıklıkla uygulanan bu teknik, farklı bitki türlerinin su ve besin maddeleri açısından daha verimli kullanımını sağlamaktadır (Fasinmirin ve Reichert, 2011).

Geleneksel toprak işleme ve sıfır toprak işlemenin etkileri, toprak yapısı, bitki türü, tarımsal sistemler, ürün artıklarının yönetimi ve iklim koşulları gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Kalıntıların korunması, üst toprak katmanlarındaki toprak organik karbon ve toplam azot konsantrasyonu seviyelerini artırarak verimlilik üzerinde olumlu bir etki göstermektedir (Pu ve

ark., 2019). Alt toprak işleme ve sıfır toprak işleme teknikleri, toprak bozulmasını azaltarak tarımsal üretimde su kullanım etkinliğini iyileştirmekte ve geleneksel toprak işleme yöntemlerine kıyasla ürün verimini artırmaktadır (He ve ark., 2007).

Sıfır toprak işleme ekimi, malç önlemleri veya bitki sisteminin çeşitlendirilmesiyle birleştirildiğinde, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirme, su kullanım etkinliğini artırma ve bitki verimliliğini geliştirme gibi avantajlar sağlamaktadır (Zhang ve ark., 2007; Hou ve ark., 2012). Ancak, sürekli ve yıllık sıfır toprak işleme uygulamalarının, uzun vadede toprak kalitesinde ve ürün veriminde düşüslere neden olabileceği bildirilmiştir (Ernst ve ark., 2016). Ayrıca, geleneksel toprak işleme ve sıfır toprak işleme sistemlerinde elde edilen verimler, malç yönetimi ve yabancı ot biyokütlesi kontrolü ile doğrudan ilişkilidir (Carof ve ark., 2007).

8. MALÇLAMA

Malçlama, tarımsal üretimde toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştiren önemli bir uygulamadır. Plastik film, saman, odun yongaları, odun lifleri, çakıl ve kum gibi çeşitli malçlama materyalleri kullanılabilir (Wang ve ark., 2015). Özellikle sırtlarda malçlama uygulaması, toprak yüzeyindeki buharlaşmayı azaltarak toprak nemini korumakta ve üst toprak sıcaklığını artırarak bitki gelişimi için daha uygun koşullar oluşturmaktadır (Liu ve ark., 2014).

Günümüzde tarımsal üretimde plastik malçlama filmlerine olan talep önemli ölçüde artmış olup, yıllık küresel tüketimin 1,5 milyar ton seviyesine ulaştığı tahmin edilmektedir. Çin, bu pazarın yaklaşık %60'ını oluşturarak toplam 6,7 milyon hektarlık kapalı tarımsal alanda plastik malçlama uygulamalarını kullanmaktadır. Çin'de plastik malçlar esas olarak kurak bölgelerde mısır ve pamuk üretiminde yaygın olarak uygulanmaktadır. Toprak üstü örtüleri genellikle doğal materyallerden sentetik polimerlere kadar çeşitlenen, maliyet açısından uygun ve üretimi kolay malzemelerden oluşmaktadır. Ticari uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan malç materyali ise sentetik polimerlerdir (Yang ve ark., 2015).

Kurak koşullarda yem bitkileri yetiştiriciliği, tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde, yem bitkilerinin optimum düzeyde büyümesini desteklemek için

çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri olan malçlama, toprak yüzeyini organik veya inorganik materyallerle örtterek toprak neminin korunmasını, sıcaklık dalgalanmalarının minimize edilmesini ve erozyonun önlenmesini sağlamaktadır. Araştırmalar, özellikle baklagil ve buğdaygil yem bitkilerinde malçlama uygulamalarının biyokimyasal tepkiler üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir (Acar ve Kaya, 2025).

Yem bitkileri, kuraklık stresine dayanıklılığı açısından farklı adaptasyon mekanizmalarına sahiptir. Yonca ve fiğ gibi baklagil yem bitkileri, kök sistemleri sayesinde topraktaki suyu daha verimli kullanabilmekte ve azot fiksasyonu yoluyla toprağı besleyerek verimliliğı artırabilmektedir. Bu bitkilerin yetiştirildiğı alanlarda malçlama uygulanması, toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini teşvik ederek kök gelişimini iyileştirmekte ve su kayıplarını azaltmaktadır. Malçlama ayrıca etkili mikroorganizma (EM) teknolojisi ile birlikte kullanıldığında, kuraklık stresine karşı bitki dayanıklılığını artırabilmekte ve yem bitkilerinin besin değerini koruyarak hayvan besleme açısından avantaj sağlamaktadır (Altıntaş, 2024).

Toprak üstü örtülerinin kullanımı, toprak nemini düzenlemeye yardımcı olurken, yabancı ot rekabetini azaltarak bitki gelişimini desteklemektedir. Kullanılan malçlama türüne bağılı olarak bitkisel üretimde verim artışı değişkenlik göstermektedir. Sentetik plastik filmler, diğ er malçlama materyallerine kıyasla daha iyi sonuçlar sağlayarak su kaybını önemli ölçüde azaltmakta ve toprak yapısını koruyarak bitki besin maddelerinin etkin kullanımını teşvik etmektedir (Sorze, 2025). Toprak üstü örtülerinin geliştirilmesi amacıyla, selüloz veya odun lifleriyle güçlendirilmiş ve çapraz bağlanmış ksantan zamlı bazlı hidrojel bileşimleri araştırılmaktadır. Özellikle sitrik asitle çapraz bağlanmış hidrojeller, yüksek su emilim kapasitesine sahip olup, toprak nemini uzun süre koruyarak stabilite ve biyolojik parçalanabilirlik göstermektedir. Bu tür hidrojeller ayrıca yüksek su buharı geçirgenliğı, yabancı ot büyümesini engelleme, yanmazlık ve çevresel uyumluluk açısından avantaj sunmaktadır. Hidrojellerin kullanımı, ticari plastik malçlara kıyasla daha etkili bir su yönetimi sağlarken, aşırı kullanımın doymuş toprak koşullarında toprak jeoteknik özelliklerini olumsuz etkileyebileceğı bildirilmiştir. Bu nedenle, dikim çukurlarında sınırlı miktarda lokal olarak uygulanması önerilmektedir (Sorze, 2025). Ancak plastik film gibi yaygın kullanılan malç materyalleri, tarlada biyolojik olarak kolayca parçalanmamaktadır. Plastik malç artıklarının

uzun süre çevrede kalması, toprak yapısı, su ve besin maddesi taşınımı, bitki gelişimi ve hatta hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Plastik malçların toprak içinde birikmesi, toprak geçirgenliğini bozarak su ve besinlerin emilim süreçlerini değiştirebilir, bu da ürün veriminde azalmaya yol açabilir. Plastik malç kalıntıları ayrıca tarımsal ekosistemlerin dengelerini bozarak biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir (Liu ve ark., 2014). Bu bağlamda, tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak adına, geleneksel plastik malç materyallerine alternatif olarak biyobozunur malç materyallerinin kullanımına yönelik araştırmalar ve geliştirmeler teşvik edilmelidir. Yenilikçi hidrojel bazlı toprak örtüleri, su kullanımını optimize ederek tarımsal verimliliği artırabilirken, çevresel etkileri en aza indirme potansiyeline sahiptir. Tarımsal ekosistemlerin korunması ve su kaynaklarının daha verimli kullanılması için, biyolojik olarak parçalanabilir ve çevresel uyumluluğu yüksek malçlama stratejilerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 1. Farklı uygulamalarda farklı tipte malçlama filmleri: sentetik toprak üstü örtüsü (sol fotoğraf), saman malçı (sağ fotoğraf)

Kaynak: Sorze, 2025

Toprak üstü örtülerinin kullanımı, tarımsal üretimde çeşitli avantajlar sağlayarak ekosistem yönetiminin sürdürülebilirliği açısından önemli bir rol oynamaktadır. Yabancı otların büyümesini engelleme ve rekabet eden türleri azaltma işlevi sayesinde, herbisit kullanımına gerek kalmadan ürün veriminin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar hem sentetik bazlı hem de biyolojik olarak parçalanabilir malçlama filmlerinin yabancı ot kontrolü üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur (Wang ve ark., 2021). Malçlama uygulamalarının ayrıca canlı fide oranını artırdığı ve toprak besin içeriğini

artırdığı bildirilmiştir. Özellikle fide ölüm oranlarının yüksek olduğu bölgelerde, malçlama toprak nemini koruyarak bitkilerin sağlıklı gelişimi için daha uygun koşullar oluşturabilmektedir (Benigno ve ark., 2013).

Ma ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada hem polietilen malçlama filmlerinin hem de saman gibi doğal malçların toprak organik karbon içeriğini artırdığı ve azot ile fosfor gibi besin maddelerinin toprakta daha yüksek miktarlarda bulunmasını sağladığı gösterilmiştir. Saman malçının, açık toprak yüzeyine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiş olup, karbon içeriğinin %9.7 ve azot içeriğinin %7.8 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Polietilen filmler, toprak neminin ve sıcaklık seviyelerinin artmasına neden olmakta, ancak özellikle deneyin ilk yıllarında toprak organik maddesinin ayrışmasını hızlandırarak fosforun bakteriler için bulunabilirliğini azaltabilmektedir.

Bitki artıklarının ayrışması, ekosistemlerde yalnızca önemli bir karbon akışı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda besin döngüsünü düzenleyen kritik bir süreç olarak kabul edilmektedir (Barbe ve ark., 2017). Ara ekim uygulamaları, monokültür sistemlerine kıyasla ürün kalıntılarının çeşitliliğini artırmakta ve organik madde döngüsünü iyileştirmektedir (Zhang ve ark., 2023a). Farklı bitki türlerinin anız gibi artıklarının kimyasal bileşimindeki farklılıklar, ayrışma süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, baklagil türlerinin baklagil olmayan bitkilere kıyasla daha yüksek ayrışma oranlarına sahip olduğu belirlenmiştir (da Silva ve ark., 2021). Ayrıca, toprak çevre koşulları da bitki artıklarının ayrışma sürecinde kritik bir rol oynamaktadır. Yüksek toprak su içeriği ayrışmayı hızlandırmakta ve organik madde döngüsüne katkıda bulunmaktadır (Chen ve ark., 2017). Topraklara eklenen azot miktarı, bitki artıklarının ayrışma oranını değiştirebilir ve bu etki pozitif, negatif ya da etkisiz olabilmektedir (Song ve ark., 2019). Yerel mikroorganizma toplulukları genellikle bölgesel bitki kalıntılarının ayrıştırılması sürecine adapte olmuş olup, bu süreç ekosistem işleyişinde önemli bir rol oynamaktadır (Surigaoge ve ark., 2023).

Rezaei ve ark. (2021), farklı sulama rejimleri altında canlı malç kullanımının yemlik sorgum (*Sorghum bicolor L.*) üzerindeki niceliksel ve niteliksel etkilerini değerlendirmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, orta düzeydeki su stresi koşullarında canlı malç uygulaması, aynı sulama rejiminde malç olmadan yetiştirilen sorguma kıyasla %32 daha fazla protein ve %6 daha

fazla sindirilebilir kuru madde üretmiştir. Ayrıca malç kullanımı, sorgum tarlalarındaki yabancı otların kuru ağırlığını %24 oranında azaltarak rekabeti düşürmüştür. Souza ve ark. (2023) tarafından Brezilya'nın yarı kurak bölgelerinde yapılan bir çalışmada, altı farklı üretim yöntemi test edilmiştir: 1) malçsız tek ürün kaktüs; 2) malçlı tek ürün kaktüs; 3) malçsız tek ürün darı; 4) malçlı tek ürün darı; 5) darı ile kaktüsün malçsız ara ekimi; 6) darı ile kaktüsün malçlı ara ekimi. Araştırma bulgularına göre, kaktüsün taze madde (270 t ha^{-1}) ve kuru madde (23 t ha^{-1}) verimleri malçlama uygulamasından veya ara ekimden etkilenmemiştir. Ancak darı için malç uygulaması, taze madde (69.7 t ha^{-1}) ve kuru madde (23.4 t ha^{-1}) verimini artırmıştır. Ara ekim sistemlerinde toplam kuru madde verimi hem malçlama ile (32.8 t ha^{-1}) hem de malçlama olmadan (31.4 t ha^{-1}) daha yüksek bulunmuştur. Genel olarak, malç kullanımıyla ilgili olmasa da kaktüs-darı ekim konfigürasyonu, kurak ortamlarda veya yılın kurak dönemlerinde sulama desteği ile hayvan sürüleri için daha uygun yem kaynağı sağlaması ve gıda çeşitliliğini artırması açısından monokültür yetiştiriciliğine göre daha avantajlı görülmüştür.

9. BİYOKÖMÜR

Biyokömür, tarımsal sistemlerde toprak düzenleyici olarak kullanılan önemli bir bileşen olup, toprak gözenekliliğini artırarak su tutulmasını iyileştirmekte ve organik madde içeriğini desteklemektedir. Ayrıca, toprak-besin bulunabilirliğini artırarak bitkilerin besin alım kapasitesini yükseltmekte, dolayısıyla bitki büyümesini ve verimi olumlu yönde etkilemektedir (Pradhan ve ark., 2022). Biyokömür uygulamalarının en önemli avantajlarından biri, toprak hacim yoğunluğunu azaltarak daha sağlıklı bir toprak yapısının oluşmasına katkıda bulunmasıdır. Bu nedenle biochar, sürdürülebilir tarım ve çevre yönetimi açısından önemli bir iyileştirme stratejisi olarak değerlendirilmektedir (Yavas ve ark., 2023).

Kurak koşullar altında genellikle su kaybına bağlı olarak toprak yüzeyinde çatlaklar geliştirmekte ve bu durum toprağın hidrolik ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde değiştirmektedir. Araştırmalar, toprağın mukavemetinin çatlamadan sonra önemli ölçüde azaldığını ve geçirgenlik özelliklerinin değiştiğini ortaya koymuştur. Bunun sonucunda su buharlaşmasının ve kirleticilerin toprak içine geçişinin hızlanması, tarım sistemleri ve çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Buğday samanı ve

odun yongası biyokömürleri gibi farklı biyokömür türlerinin toprak büzülme performansını azaltarak çatlama oluşumunu önemli ölçüde engellediği gösterilmiştir. Biyokömür, çatlak oranını düşürerek toprak yüzeyinde daha dengeli bir yapı sağlamakta ve toprağın fraktal yapısını olumlu yönde etkilemektedir. Bunun nedeni, biyokömürün toprak parçacıkları arasındaki bağlanma kuvvetini düşürerek toprağın küçülmesini sınırlamasıdır. Ayrıca biyokömürün güçlü su emilim kapasitesi sayesinde, kuru-ıslak çevrimler sırasında yeni çatlakların oluşumu azaltılabilmektedir (Gu, 2024).

Biyokömürün gözenekli yapısı, toprakta su tutulmasını artırırken, suyun bir kısmı yüksek su potansiyeli nedeniyle bitkiler tarafından doğrudan kullanılamayabilir. Biyokömürün fonksiyonel grupları, polar çekim gibi kimyasal etkileşimler yoluyla toprak su tutulumunu ve bitkilerin su alım kapasitesini etkileyebilmektedir (Omondi ve ark., 2016). Ancak yüksek kül içeriğine sahip biyokömür uygulamalarının toprak ozmotik potansiyelini artırdığı ve özellikle yüksek dozlarda uygulandığında bitkilerin su alımını kısıtladığı bildirilmiştir (Gavili ve ark., 2019). Biyokömür toprağın fiziksel özelliklerini değiştirerek su kullanım etkinliğini ve bitki besin maddesi alımını etkilemektedir. Biyokömür uygulaması toprak hacim yoğunluğunu azaltarak su tutulumunu artırabilirken, toprak parçacıklarıyla etkileşimi sayesinde agregat oluşumunu değiştirebilir ve dolayısıyla toprak-su-bitki ilişkisini etkileyebilir (Ajayi ve ark., 2016). Biyokömür uygulamalarının toprak türüne özgü etkiler gösterdiği ve farklı toprak yapılarında değişken sonuçlar doğurabileceği bildirilmiştir (Mannan ve ark., 2021).

Soyada yapılan araştırmalar, biyokömür uygulamasının bitki büyüme oranını artırarak toplam biyokütle üretimini yaklaşık iki katına çıkardığını göstermiştir. Ayrıca biyokömür, su kullanım etkinliğini iyileştirmekle birlikte, yapraklardaki nisbi nem içeriğini doğrudan artırmamıştır. Biyokömür aracılığıyla sağlanan azot fiksasyonunun biyokütle üretimine katkıda bulunduğu ve topraktaki potasyum seviyesini yükselterek verimlilik üzerinde olumlu etkiler sağladığı bildirilmiştir (Mannan ve ark., 2021).

Su tasarrufu sağlayan sulama rejimleri altında yemlik sorgum (*Sorghum bicolor*) üzerindeki etkileri araştıran Aghajani ve ark. (2023), biyokömür ve ekim düzenlemesinin fizyolojik biyobelirteçler üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında üç farklı sulama rejimi ve üç farklı biyokömür uygulama seviyesi (kontrol, 6 ton.ha⁻¹ ve 12 ton.ha⁻¹) incelenmiştir.

Sonuçlar, çözünebilir şeker yüzdesi, süperoksit dismutaz ve peroksidaz aktivitesinin, düşük sulama seviyelerinde arttığını göstermiştir. Ancak, ekim düzenlemesini değiştirme ve biyokömür uygulaması bu artışı kısmen nötralize edebilmiştir.

Biyokömür uygulamalarının gübre katkı maddeleriyle birleştirilmesi, besin maddelerinin toprakta daha uzun süre tutulmasına olanak sağlamaktadır. Biyokömürün gözenekli yapısı, besin maddelerinin toprakta tutulmasını destekleyerek bu besinlerin yavaş salınımına neden olmakta ve bitkilerin besin alım süreçlerine olumlu katkı sağlamaktadır (Biederman ve ark., 2017).

Yem bitkileri açısından değerlendirildiğinde, biyokömür uygulamalarının kök gelişimini teşvik ettiği ve bitkilerin su kullanım etkinliğini artırdığı belirtilmektedir (Akpınar, 2017). Ayrıca, biyokömürün toprak pH'ını düzenleyerek besin elementlerinin biyoyararlanımını artırdığı ve uzun vadede sürdürülebilir tarıma katkı sağladığı ifade edilmektedir (ICARDA, 2025).

Biyokömür, kurak koşullarda yem bitkilerinin yetiştirilmesini destekleyen önemli bir toprak iyileştirme materyalidir. Yapılan araştırmalar, biyokömür uygulamalarının toprak su tutma kapasitesini artırarak kuraklık stresine karşı bitkilerin dayanıklılığını artırdığını göstermektedir (Günel ve Erdem, 2018). Özellikle organik tarımda kullanılan biyokömür, toprak mikrobiyotasını iyileştirerek bitki besin alımını optimize etmektedir (Özcan ve Tuncer, 2023). Yem bitkileri açısından değerlendirildiğinde, biyokömür uygulamalarının kök gelişimini teşvik ettiği ve bitkilerin su kullanım etkinliğini artırdığı belirtilmektedir (Akgül, 2017). Ayrıca, biyokömürün toprak pH'sını düzenleyerek besin elementlerinin biyoyararlanımını artırdığı ve uzun vadede sürdürülebilir tarıma katkı sağladığı ifade edilmektedir (Özcan ve Tuncer, 2023).

10. SÜPER EMİCİ HİDROJELLER

Süper emici hidrojeller, yüksek su tutma kapasitesine sahip polimerik malzemeler olup, kurak koşullarda tarımsal üretimi desteklemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu hidrojeller, toprakta suyun daha uzun süre tutulmasını sağlayarak bitkilerin kuraklık stresine karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Yapılan araştırmalar, hidrojellerin tarımsal uygulamalarda doğru ve bilinçli kullanımı sayesinde toprak verimliliğini artırdığı, erozyonu önlediği ve kurak bölgelerde bitki gelişimini iyileştirdiğini göstermektedir (Kemeç, 2023).

Ayrıca, süper emici polimerlerin su tutma mekanizması sayesinde tarım kimyasallarının kontrollü ve etkili bir şekilde kullanılmasına olanak sağladığı belirtilmektedir (Saraçoğlu, 2024).

Kuraklıkla mücadelede süper emici hidrojellerin kullanımı, sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu malzemeler, bitkilerin kök bölgesinde suyu tutarak su stresini azaltmakta ve böylece daha az sulama gereksinimi ile verimli üretim yapılmasına imkan tanımaktadır (Dilbas ve Birdal, 2023). Süper emici hidrojellerin tarımsal kullanımı üzerine yapılan çalışmalar, bu malzemelerin çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Yeşil kimyanın önemli uygulamalarından biri, tarımsal hidrojellerin geliştirilmesi amacıyla doğal polimerlerin modifikasyonudur. Bu yaklaşım, sürdürülebilir ve çevre dostu tarım yöntemlerinin benimsenmesini teşvik ederek, özellikle kuraklık ve düşük yağış alanlarında su yönetimini optimize etmektedir. Araştırmacılar, suyu uzun süre toprakta tutabilen ve aynı zamanda gübre olarak işlev görebilecek yüksek adsorban kapasitesine sahip hidrojeller geliştirmiştir (Mishra ve ark., 2024). Bu süper adsorban hidrojellerin toksik olmayan yapıları sayesinde, tarım alanlarında kullanılmaları toprak kalitesini iyileştirmekte ve ekosistem sağlığını desteklemektedir. Hidrojellerin tarımsal üretimde kullanımı, düşük yağışlı bölgelerde su ihtiyacını karşılamada büyük avantaj sağlamakta olup, topraktaki suyun etkin kullanımını destekleyerek bitkilerin daha uzun süre nemli kalmasını sağlamakta ve böylece kurak dönemlerde tarımsal verim kayıplarının önüne geçmektedir (Mishra ve ark., 2024).

Bazı hidrojel sistemlerinde hem fiziksel hem de kimyasal hidrojellerin birleşimi sonucu çift ağırlı hidrojeller elde edilmektedir. Çift ağırlı hidrojel yapıları, yüksek sıvı tutma kapasitesine sahip olup, farklı pH aralıkları altında kararlılığını koruyabilmektedir. Hidrojellerin en büyük avantajlarından biri, su stresine karşı direnç sağlayarak tarımsal verimliliği koruma yeteneğidir. Özellikle kurak koşullarda, toprak neminin korunmasını destekleyerek bitkilerin büyüme süreçlerini daha etkin hale getirmekte ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine katkı sağlamaktadır (Mishra ve ark., 2024).

11. ARBÜSKÜLER MİKORİZAL FUNGUSLAR

Kuraklık nedeniyle bitki ölümlerinin sıkça gözlemlenmesine rağmen, bazı bitkiler su stresi altında hayatta kalırken, diğerleri hızla zarar görmekte ve gelişimlerini sürdürememektedir. Bu farklılıklar, genetik adaptasyon mekanizmaları, su yönetim stratejileri ve toprak mikrobiyal etkileşimleri ile yakından ilişkilidir. Özellikle arbüsküler mikorizal funguslar (AMF), bitkilerle ortak yaşam kurarak bitkilerin stres koşullarına karşı dayanıklılığını artırabilen toprak mikroorganizmalarından biridir (Bücking ve ark., 2016).

Arbüsküler mikorizal fungusların miselyumları toprakta geniş ağlar oluşturarak birden fazla konak bitkiyle bağlantı kurabilir. Bu ortak mikorizal ağlar, stres altındaki konukçu bitkilerin su ve besin alımını optimize ederek hayatta kalma oranlarını artırmaktadır. Birçok bitki *Glomeromycota* mantarlarıyla arbüsküler mikorizal simbiyoz oluşturabilmekte ve bu simbiyotik ilişki, bitkilerin çevresel streslere karşı toleransını güçlendirmektedir. Arbüsküler mikorizal funguslar, konukçu bitkilerin mineral besinleri edinmesini kolaylaştırırken, konukçu bitkiler mantarlara karbonhidrat sağlamaktadır. Bu karşılıklı etkileşim hem bitkisel büyümeyi teşvik etmekte hem de toprak mikrobiyal popülasyonlarını destekleyerek ekosistem fonksiyonlarını iyileştirmektedir (Sun XueGuang ve ark., 2017; Yooyongwech ve ark., 2013).

AMF oluşumu, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve malondialdehit birikimini azaltarak, bitkilerin antioksidan enzim aktivitelerini artırmakta ve çözünür şeker birikimini destekleyerek kuraklık toleransını iyileştirmektedir (Sun XueGuang ve ark., 2017; Yooyongwech ve ark., 2013). Ayrıca, aquaporin genlerinin ifadesini düzenleyerek, fosfor alımını teşvik etmekte, yaprak fotosentezi ve bitki biyokütlesi üretimini artırmakta ve köklerin hidrolik özelliklerini değiştirerek bitkilerin su kullanım verimliliğini geliştirmektedir (Gehring ve ark., 2017; Zhao vd., 2015).

Bunun yanı sıra, arbüsküler mikorizal funguslar ve Rizobiyum bakterileri benzer moleküler sinyalizasyon mekanizmalarını paylaşmaktadır. Özellikle flavonoidler, bitkilerin hem mikorizal hem de rizobiyal simbiyoz oluşturmasını kolaylaştırarak baklagil-rizobiya-arbüsküler mikorizal mantar üçlü simbiyotik ilişkisini desteklemektedir. Bu üçlü simbiyotik ilişki, kurak koşullarda konukçu bitkilerin dayanıklılığını artırmada önemli bir rol oynamakta ve tarımsal ekosistemlerde yaygın olarak görülmektedir (Liao ve

ark., 2023). Arbüsküler mikorizal fungus aşılması, yem bitkilerinin verimliliğini artırmak, su kullanımını optimize etmek ve toprak mikrobiyal popülasyonlarını iyileştirmek amacıyla önerilmektedir (Xiao ve ark., 2020). Arbüsküler mikorizal oluşumunun tane sorgum (*Sorghum* spp.) üzerindeki olumlu etkileri ise literatürde iyi bilinmektedir (Cho vd., 2006).

Liao ve ark. (2023), yem bitkisi *Broussonetia papyrifera*'yı baklagil *Medicago sativa* ile birlikte ekerek, şiddetli kuraklık koşullarında AMF aşılmasının bitkiler ve toprak mikroorganizmaları üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. 40 gün süren kuraklık denemesi sonucunda, mikorizal kolonizasyon oranının *Medicago sativa* için *Broussonetia papyrifera*'ya kıyasla önemli ölçüde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. AMF aşılması, kuraklık sırasında su potansiyelinin günlük değişim aralığını ve gövde su içeriğini artırarak *Medicago sativa*'nın toprak üstü verimliliğini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Ancak, *Medicago sativa*'nın su ediniminin artması, toprak su açığını şiddetlendirmiş ve *Broussonetia papyrifera* ile *Medicago sativa* arasındaki türler arası su rekabetini artırmıştır.

Arbüsküler mikorizal funguslar (AMF), bitkilerle mutualistik bir ilişki kurarak köklerin topraktan su ve besin alımını artıran önemli mikroorganizmalardır. Kurak koşullarda, AMF'nin bitkilerin su stresine karşı dayanıklılığını artırdığı ve toprak yapısını iyileştirdiği bildirilmiştir (Palta ve ark., 2010). Özellikle yem bitkileri açısından değerlendirildiğinde, AMF'nin kök gelişimini teşvik ettiği, besin alımını optimize ettiği ve bitkilerin kuraklık stresine karşı daha dirençli hale gelmesini sağladığı belirtilmektedir (Yıldız, 2009). Yapılan araştırmalar, AMF inokulasyonunun çayır-mera bitkilerinin fizyolojisi ve morfolojisi üzerinde olumlu etkiler yarattığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, AMF'nin toprak agregat yapısını iyileştirerek erozyona karşı direnci artırdığı ve bitki büyümesini teşvik eden hormonları aktive ettiği ifade edilmektedir (Palta ve ark., 2010). Bu nedenle, yem bitkileri yetiştiriciliğinde AMF uygulamalarının sürdürülebilir tarım açısından önemli bir strateji olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, R., & Kaya, R. (2025). Kurak Şartlar Altında Yetiştirilen Arpa ve Çavdarın Farklı Büyüme Zamanlarındaki Yeşil ve Kuru Ot Verimleri. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 7(2), 96-102
- Aghajani, S. D., Alavifazel, M., Nurmohammadi, G., Ardakani, M. R., & Sarajughi, M. (2023). Drought responsive biomarkers of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as affected by biochar, planting arrangement and alternate furrow irrigation. *Plant Physiology Reports*, 28(2), 247-258.
- Ajayi, A. E., Holthusen, D., & Horn, R. (2016). Changes in microstructural behaviour and hydraulic functions of biochar amended soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 166-175.
- Akgül, G. (2017). Biyokömür Üretimi ve Kullanım Alanları. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 5(4), 485-499
- Akpirinç, İ. (2017). Determination of the effects of biochar on soil chemical parameters and tomato and pepper plants. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=dEKbvix1yP-Ccf0wRvVXg&no=Qob_Igdapeeqzo05b7ah7A
- Altıntaş, Ç. (2024). Kuraklığa Dayanıklı Tarım Ürünleri Nelerdir? Kuraklığa Dayanıklı Tarım Ürünleri Nelerdir? - <https://esular.com/kurakliga-dayanikli-tarim-urunleri-nelerdir>
- Anderson, J. T., Wagner, M. R., Rushworth, C. A., Prasad, K. V. S. K., & Mitchell-Olds, T. (2014). The evolution of quantitative traits in complex environments. *Heredity*, 112(1), 4-12.
- Arlauskienė, A., Jablonskytė-Raščė, D., Šarūnaitė, L., Toleikienė, M., Masilionytė, L., Gecaitė, V., & Kadžiulienė, Ž. (2021). Perennial forage legume cultivation and their above-ground mass management methods for weed suppression in arable organic cropping systems. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(34).
- Baath, G. S., Sarkar, S., Sapkota, B. R., Flynn, K. C., Northup, B. K., & Gowda, P. H. (2024). Forage yield and nutritive value of summer legumes as affected by row spacing and harvest timing. *Farming System*, 2(1), 100069.

- Barbe, L., Jung, V., Prinzing, A., Bittebiere, A. K., Butenschoen, O., & Mony, C. (2017). Functionally dissimilar neighbors accelerate litter decomposition in two grass species. *New Phytologist*, 214(3), 1092-1102.
- Beck, P. A., Beck, M. R., Adams, J. M., Hubbell III, D., Hess, T., Foote, A. P., & Kegley, E. B. (2022). Effects of tillage method and seeding rate of wheat pasture on forage production and calf performance. *Applied Animal Science*, 38(3), 211-221.
- Ben Romdhane, A., Dhane, S., Boukef, S., Boudabbous, K., & Karmous, C. (2024). Vetiver forage yield and nutritive value affected by water irrigation regimes and plant density under Mediterranean climate conditions. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 1-17.
- Benigno, S. M., Dixon, K. W., & Stevens, J. C. (2013). Increasing soil water retention with native-sourced mulch improves seedling establishment in postmine Mediterranean sandy soils. *Restoration Ecology*, 21(5), 617-626.
- Bhattarai, K., Bushman, B. S., Johnson, D. A., & Carman, J. G. (2010). Phenotypic and genetic characterization of western prairie clover collections from the western United States. *Rangeland Ecology and Management*, 63(6), 696-706.
- Biederman, L. A., Phelps, J., Ross, B. J., Polzin, M., & Harpole, W. S. (2017). Biochar and manure alter few aspects of prairie development: A field test. *Agriculture, ecosystems & environment*, 236, 78-87.
- Burton, C. M., Burton, P. J., Hebda, R., & Turner, N. J. (2006). Determining the optimal sowing density for a mixture of native plants used to revegetate degraded ecosystems. *Restoration Ecology*, 14(3), 379-390.
- Bushman, B. S., Larson, S. R., Peel, M. D., & Pfrender, M. E. (2007). Population structure and genetic diversity in North American *Hedysarum boreale* Nutt. *Crop Science*, 47(3), 1281-1288.
- Bücking, H., Mensah, J. A., & Fellbaum, C. R. (2016). Common mycorrhizal networks and their effect on the bargaining power of the fungal partner in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Communicative & Integrative Biology*, 9(1), e1107684.

- Carof, M., De Tourdonnet, S., Saulas, P., Le Floch, D., & Roger-Estrade, J. (2007). Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. I. Yield analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, 347-356.
- Carter, M. R. (2005). Conservation tillage. Editor(s): Daniel Hillel, *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Elsevier, Pages 306-311, ISBN 9780123485304, <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00270-8>.
- Chao, P. U., Kan, Z. R., Peng, L., QI, J. Y., Xin, Z. H. A. O., & ZHANG, H. L. (2019). Residue management induced changes in soil organic carbon and total nitrogen under different tillage practices in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(6), 1337-1347.
- Chen, H., Mommer, L., Van Ruijven, J., De Kroon, H., Fischer, C., Gessler, A., ... & Weigelt, A. (2017). Plant species richness negatively affects root decomposition in grasslands. *Journal of Ecology*, 105(1), 209-218.
- Cho, K., Toler, H., Lee, J., Ownley, B., Stutz, J. C., Moore, J. L., & Augé, R. M. (2006). Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. *Journal of Plant Physiology*, 163(5), 517-528.
- Collins, M., Nelson, C. J., Moore, K. J., & Barnes, R. F. (Eds.). (2017). *Forages, volume 1: an introduction to grassland agriculture*. John Wiley & Sons.
- da Silva, J. P., Teixeira, R. D. S., da Silva, I. R., Soares, E. M., & Lima, A. M. (2022). Decomposition and nutrient release from legume and non-legume residues in a tropical soil. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13151.
- Darapunen, M. K., Morgan, G. D., Shaffer, O. J., & Dodla, S. (2016). Impact of planting date and seeding rate on forage and grain yields of dual-purpose wheat in central Texas. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 2(1), 1-8.
- Dilbas, H., & Birdal, F. (2023). Süper Emici Polimer Katkılı Harçların Isıl İşlem ile Hava Küründe Mekanik Özellikleri. *Journal of Sustainable Engineering Applications and Technological Developments*, 6(1), 45-50

- Dittus, D. A., & Muir, J. P. (2010). Breaking germination dormancy of Texas native perennial herbaceous legumes. *Native Plants Journal*, 11(1), 5-10.
- Ernst, O. R., Kemanian, A. R., Mazzilli, S. R., Cadenazzi, M., & Dogliotti, S. (2016). Depressed attainable wheat yields under continuous annual no-till agriculture suggest declining soil productivity. *Field Crops Research*, 186, 107-116.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture* (pp. 153-188). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Fasinmirin, J. T., & Reichert, J. M. (2011). Conservation tillage for cassava (*Manihot esculenta* Crantz) production in the tropics. *Soil and Tillage Research*, 113(1), 1-10.
- Ferraz-Almeida, R., Albuquerque, C. J. B., Camargo, R., Lemes, E. M., Soares de Faria, R., & Quintão Lana, R. M. (2022). Sorghum–grass intercropping systems under varying planting densities in a semi-arid region: Focusing on soil carbon and grain yield in the conservation systems. *Agriculture*, 12(11), 1762.
- Fischbach, J. A., Ehlke, N. J., Peterson, P. R., Wyse, D. L., Swanson, D. R., & Sheaffer, C. C. (2006). Seeding rate affects establishment of native perennial legumes in the upper midwestern US. *Native Plants Journal*, 7(1), 61-68.
- Fotohi Chiyaneh, S., Rezaei-Chiyaneh, E., Amirnia, R., Keshavarz Afshar, R., & Siddique, K. H. (2024). Intercropping medicinal plants is a new idea for forage production: A case study with ajowan and fenugreek. *Food and Energy Security*, 13(1), e501.
- Gavili, E., Moosavi, A. A., & Haghighi, A. A. K. (2019). Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean? *Industrial crops and products*, 128, 445-454.
- Gehring, C. A., Swaty, R. L., & Deckert, R. J. (2017). Mycorrhizas, drought, and host-plant mortality. In *Mycorrhizal mediation of soil* (pp. 279-298). Elsevier.
- Gong, X., Dang, K., Lv, S., Zhao, G., Tian, L., Luo, Y., & Feng, B. (2020). Interspecific root interactions and water-use efficiency of intercropped

- proso millet and mung bean. *European journal of agronomy*, 115, 126034.
- Gu, K. (2024). Biochar's effect on soil properties. In *Biochar Application in Soil to Immobilize Heavy Metals* (pp. 45-80). Elsevier.
- Günel, E., & Erdem, H. (2018). Biyokömür; Tanımı, Kullanımı ve Tarım Topraklarındaki Etkileri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 87-93
- Hammermeister, A. M., Naeth, M. A., Schoenau, J. J., & Biederbeck, V. O. (2003). Soil and plant response to wellsite rehabilitation on native prairie in southeastern Alberta, Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, 83(5), 507-519.
- Hillhouse, H. L., & Zedler, P. H. (2011). Native species establishment in tallgrass prairie plantings. *The American Midland Naturalist*, 166(2), 292-308.
- Hofer, D., Suter, M., Haughey, E., Finn, J. A., Hoekstra, N. J., Buchmann, N., & Lüscher, A. (2016). Yield of temperate forage grassland species is either largely resistant or resilient to experimental summer drought. *Journal of Applied Ecology*, 53(4), 1023-1034.
- Holland, J. M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, ecosystems & environment*, 103(1), 1-25.
- Hou, X., Li, R., Jia, Z., Han, Q., Wang, W., & Yang, B. (2012). Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China. *Field crops research*, 129, 7-13.
- Hu, X. W., Fan, Y., Baskin, C. C., Baskin, J. M., & Wang, Y. R. (2015). Comparison of the effects of temperature and water potential on seed germination of Fabaceae species from desert and subalpine grassland. *American Journal of Botany*, 102(5), 649-660.
- ICARDA. (2025). *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) Report on Sustainable Agriculture in Drylands*. <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Sayfalar/Detay.aspx?TermStoreId=368e785b-af33-487d-a98d-c11d5495130b&TermSetId=6196b452-7bfb-432f-a75b-bee6b91f60b3&TermId=dcba54d-586f-4170-8f13->

- 9bd6f4df4eed&UrlSuffix=152/Uluslararası-Kurak-Alanlar-Tarımsal-Arastırma-Merkezi-_icarda_
- Jardim, A. M. D. R. F., da Silva, T. G. F., de Souza, L. S. B., Júnior, G. D. N. A., Alves, H. K. M. N., de Sá Souza, M., ... & de Moura, M. S. B. (2021). Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*, 188, 104464.
- Javanmard, A., Machiani, M. A., Lithourgidis, A., Morshedloo, M. R., & Ostadi, A. (2020). Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. *Cleaner Engineering and Technology*, 1, 100003.
- Jin, H., Hongwen, L., Xiaoyan, W., McHugh, A. D., Wenying, L., Huanwen, G., & Kuhn, N. J. (2007). The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. *Soil and Tillage Research*, 94(2), 493-502.
- Jung, S. M., Lee, B. H., Lee, K. W., Oh, M., & Park, H. S. (2023). Effects of fall sowing dates on winter survival and dry matter yields of alfalfa in the central area of South Korea. *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*, 43(3), 156-161.
- Kaczmarek, M., Fedorowicz-Strońska, O., Głowacka, K., Waśkiewicz, A., & Sadowski, J. (2017). CaCl₂ treatment improves drought stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 39, 1-11.
- Kebede, E. (2021). Contribution, utilization, and improvement of legumes-driven biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 767998.
- Kemeç, S. (2023). Tarımda Su Kıtlığına Yenilikçi Çözüm: Hidrojeller. *Agro Science Journal of Iğdir University*, 1(1), 5-10
- Kumar, S., Thakur, M., & Anand, A. (2022). Insights into the physiological and biochemical responses to abiotic stress during seed development. In *Climate Change and Crop Stress* (pp. 299-327). Academic Press.
- Li, Y., Yu, C., Cheng, X., Li, C., Sun, J., Zhang, F., Lambers, H., Li, L., 2009. Intercropping alleviates the inhibitory effect of N fertilization on nodulation and symbiotic N₂ fixation of faba bean. *Plant Soil* 323, 295–308

- Liao, X., Zhao, J., Xu, L., Tang, L., Li, J., Zhang, W., ... & Wang, K. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi increase the interspecific competition between two forage plant species and stabilize the soil microbial network during a drought event: Evidence from the field. *Applied Soil Ecology*, 185, 104805.
- Liu, X. E., Li, X. G., Hai, L., Wang, Y. P., Fu, T. T., Turner, N. C., & Li, F. M. (2014). Film-mulched ridge–furrow management increases maize productivity and sustains soil organic carbon in a dryland cropping system. *Soil Science Society of America Journal*, 78(4), 1434-1441.
- Ludewig, K., Zelle, B., Eckstein, R. L., Mosner, E., Otte, A., & Donath, T. W. (2014). Differential effects of reduced water potential on the germination of floodplain grassland species indicative of wet and dry habitats. *Seed Science Research*, 24(1), 49-61.
- Luo, F., Liu, W., Mi, W., Ma, X., Liu, K., Ju, Z., & Li, W. (2023). Legume-grass mixtures increase forage yield by improving soil quality in different ecological regions of the Qinghai-Tibet Plateau. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1280771.
- Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J. F., Rees, R. M., & Peyraud, J. L. (2014). Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass and forage science*, 69(2), 206-228.
- Ma, L., Li, Y., Wu, P., Zhao, X., Chen, X., & Gao, X. (2020). Coupling evapotranspiration partitioning with water migration to identify the water consumption characteristics of wheat and maize in an intercropping system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 290, 108034.
- Ma, Z., Zhang, X., Zheng, B., Yue, S., Zhang, X., Zhai, B., ... & Razavi, B. S. (2021). Effects of plastic and straw mulching on soil microbial P limitations in maize fields: Dependency on soil organic carbon demonstrated by coenzymatic stoichiometry. *Geoderma*, 388, 114928.
- Mahrokh, A., Hassanzadeh Moghadam, H., Najafinezhad, H., Shirkhani, A., Ahmadi, B., Azizi, F., & Golzardi, F. (2023). Bouquet ears in maize inbred lines as affected by agronomic factors. *Journal of Crop Improvement*, 37(1), 140-156.
- Mannan, M. A., Mia, S., Halder, E., & Dijkstra, F. A. (2021). Biochar application rate does not improve plant water availability in soybean under drought stress. *Agricultural Water Management*, 253, 106940.

- Martínez-González, I., Sánchez-Velázquez, L. R., Ruiz-Guerra, B., Pineda-López, M. R., & Velázquez-Rosas, N. (2020). The role of seed size in the emergence and survival of seedlings in contrasting environments: The case of *Ceiba aesculifolia*. *New Forests*, 52, 493–507
- Mattera, J., Romero, L. A., Iacopini, M. L., Gaggiotti, M., Cuatrín, A. L., & Tomas, M. A. (2023). Nitrogen fertilization effects on forage production and nutritive value of 4 tropical grasses on alkaline soils in Argentina. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 11(3), 233-239.
- McGraw, R. L., Shockley, F. W., & Elam, T. K. (2003). Effects of temperature on germination of 10 native legume species. *Native Plants Journal*, 4(1), 5-9.
- Mischkolz, J. M., Schellenberg, M. P., & Lamb, E. G. (2013). Early productivity and crude protein content of establishing forage swards composed of combinations of native grass and legume species in mixed-grassland ecoregions. *Canadian Journal of Plant Science*, 93(3), 445-454.
- Mishra, N., Ghosh, A., & Biswas, G. (2024). Perspectives of crop improvement techniques and green chemistry towards sustainable agriculture. In *Role of Green Chemistry in Ecosystem Restoration to Achieve Environmental Sustainability* (pp. 343-351). Elsevier.
- Muir, J. P., Santos, M. V. F., da Cunha, M. V., Júnior, J. C. B. D., Júnior, M. D. A. L., de Almeida Souza, R. T., & de Souza, T. C. (2019). Value of endemic legumes for livestock production on Caatinga rangelands. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(2), 1-12.
- Müller, F., Masemola, L., Britz, E., Ngcobo, N., Modiba, S., Cyster, L., ... & Raitt, L. (2022). Seed germination and early seedling growth responses to drought stress in annual *Medicago* L. and *Trifolium* L. forages. *Agronomy*, 12(12), 2960.
- Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., & Qiu, L. (2019). Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(10), 2541.
- Namazi, Y., Rezaei-Chiyaneh, E., Siavash Moghaddam, S., & Leonardo Battaglia, M. (2022). The effects of microbial inoculation and intercropping on yield and active ingredients of savory (*Satureja hortensis* L.) intercropped with common bean (*Phaseolus vulgaris*

- L.). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(9), 8273-8288.
- Olugbenle, O., Pinto, P., & Picasso, V. D. (2021). Optimal planting date of Kernza intermediate wheatgrass intercropped with red clover. *Agronomy*, 11(11), 2227.
- Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., & Pan, G. (2016). Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma*, 274, 28-34.
- Özcan, A., & Tuncer, A. (2023). Tarımda Biyokömür: Toprak İyileştirmesi ve Ürün Verimliliği İçin Sürdürülebilir Bir Yaklaşım. *Journal of Agriculture, Food and Ecology*.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jafe/issue/81444/1410796>
- Palta, Ş., Demir, S., Şengönül, K., Kara, Ö., & Şensoy, H. (2010). Arbüsküler mikorizal funguslar (AMF), bitki ve toprakla ilişkileri, mera ıslahındaki önemleri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 12(18), 87-98.
- Pang, J., Yang, J., Ward, P., Siddique, K. H., Lambers, H., Tibbett, M., & Ryan, M. (2011). Contrasting responses to drought stress in herbaceous perennial legumes. *Plant and Soil*, 348, 299-314.
- Petrushin, I. S., Vasilev, I. A., & Markova, Y. A. (2023). Drought tolerance of legumes: Physiology and the role of the microbiome. *Current Issues in Molecular Biology*, 45(8), 6311-6324.
- Polania, J., Rao, I. M., Cajiao, C., Grajales, M., Rivera, M., Velasquez, F., ... & Beebe, S. E. (2017). Shoot and root traits contribute to drought resistance in recombinant inbred lines of MD 23-24× SEA 5 of common bean. *Frontiers in Plant Science*, 8, 296.
- Pradhan, S., Mackey, H. R., Al-Ansari, T. A., & McKay, G. (2022). Biochar from food waste: a sustainable amendment to reduce water stress and improve the growth of chickpea plants. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(10), 4549-4562.
- Puerta, V. L., Pereira, E. I. P., Wittwer, R., Van Der Heijden, M., & Six, J. (2018). Improvement of soil structure through organic crop management, conservation tillage and grass-clover ley. *Soil and Tillage Research*, 180, 1-9.

- Quilichini, S. M. (2020). *Establishment, Forage Production and Drought Resistance of Native Perennial Legumes of the Canadian Prairies* (Doctoral dissertation, University of Saskatchewan).
- Rezaei, E., Larijani, H., Kasraie, P., Tohidi Moghadam, H., & Ghooshchi, F. (2021). Effect of living mulch and silica fertilizer on increasing the quantity and quality of sorghum forage under drought stress. *Annals of Biology*, 37 (2), 186-194.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Amani Machiani, M., Javanmard, A., Mahdavia, H., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2021). Vermicompost application in different intercropping patterns improves the mineral nutrient uptake and essential oil compositions of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 450-466.
- Saraçoğlu, P. (2024). Su Bazlı Akıllı Polimerik Malzemeler: Hidrojeller. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Anabilim Dalı. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4460188>
- Sarikaya, M.F. (2019). Eskişehir ovasında ekim zamanı ve bitki sıklığının yem bezelyesinin ot verimine etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. 47 s.
- Schellenberg, M. P., Biligetu, B., & Iwaasa, A. D. (2012). Species dynamic, forage yield, and nutritive value of seeded native plant mixtures following grazing. *Canadian Journal of Plant Science*, 92(4), 699-706.
- Soderlund, S., Owens, F. N., & Fagan, C. (2014). Forages and Pastures Symposium: development of and field experience with drought-tolerant maize. *Journal of Animal Science*, 92(7), 2823-2831.
- Song, M. H., Chen, J., Xu, X. L., Yu, F. H., Jiang, J., Zheng, L. L., & Cornelissen, J. H. (2019). Decreased community litter decomposition associated with nitrogen-induced convergence in leaf traits in an alpine meadow. *Soil and Tillage Research*, 194, 104332.
- Sorze, A. (2025). Multifunctional bio-composites for forestry and agricultural applications. Doctoral Thesis. Doctoral School in Materials, Mechatronics and Systems Engineering. University of Trento.
- Souza, M. D. S., Júnior, G. D. N. A., de Souza, L. S. B., Jardim, A. M. D. R. F., da Silva, G. I. N., de Araújo, G. G. L., ... & MacLaren, C. (2023). Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus

- and millet with mulch in a semi-arid environment. *African Journal of Range & Forage Science*, 40(2), 219-230.
- Sun, X., Shi, J., & Ding, G. (2017). Combined effects of arbuscular mycorrhiza and drought stress on plant growth and mortality of forage sorghum. *Applied Soil Ecology*, 119, 384-391.
- Surigaoge, S., Yang, H., Su, Y., Du, Y. H., Ren, S. X., Fornara, D., ... & Li, L. (2023). Maize/peanut intercropping has greater synergistic effects and home-field advantages than maize/soybean on straw decomposition. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1100842.
- Taylor, A. G. (2003). Seed development| seed quality. Editor(s): Brian Thomas, Encyclopedia of Applied Plant Sciences, Elsevier, Pages: 1285-1291, ISBN 9780122270505.
- Vogel, K. P. (2002). The challenge: high quality seed of native plants to ensure successful establishment. *Seed Technology*, 9-15.
- Wang, K., Sun, X., Long, B., Li, F., Yang, C., Chen, J., ... & Wei, Y. (2021). Green production of biodegradable mulch films for effective weed control. *ACS omega*, 6(47), 32327-32333.
- Wang, Q., Song, X., Li, F., Hu, G., Liu, Q., Zhang, E., ... & Davies, R. (2015). Optimum ridge–furrow ratio and suitable ridge-mulching material for Alfalfa production in rainwater harvesting in semi-arid regions of China. *Field Crops Research*, 180, 186-196.
- Wang, T., Wang, B., Xiao, A., & Lan, J. (2024). Optimizing Seeding Ratio for Legume Forage to Maximize System Productivity and Resource Use Efficiency in Mixed Cropping Systems. *Agriculture*, 14(8), 1249.
- Wang, Y., Qin, Y., Chai, Q., Feng, F., Zhao, C., & Yu, A. (2018). Interspecies interactions in relation to root distribution across the rooting profile in wheat-maize intercropping under different plant densities. *Frontiers in Plant Science*, 9, 483.
- Wang, X., Sun, J., Yi, Z., & Dong, S. (2025). Effects of seed size on soybean performance: Germination, growth, stress resistance, photosynthesis, and yield. *BMC Plant Biology*, 25, 219.
- Xia, H. Y., Zhao, J. H., Sun, J. H., Bao, X. G., Christie, P., Zhang, F. S., & Li, L. (2013). Dynamics of root length and distribution and shoot biomass of maize as affected by intercropping with different companion crops and phosphorus application rates. *Field Crops Research*, 150, 52-62.

- Xiao, D., Liu, X., Yang, R., Tan, Y., Zhang, W., He, X., ... & Wang, K. (2020). Nitrogen fertilizer and *Amorpha fruticosa* leguminous shrub diversely affect the diazotroph communities in an artificial forage grassland. *Science of The Total Environment*, 711, 134967.
- Xu, R., Zhao, H., You, Y., Wu, R., Liu, G., Sun, Z., ... & Zhang, Y. (2022). Effects of intercropping, nitrogen fertilization and corn plant density on yield, crude protein accumulation and ensiling characteristics of silage corn interseeded into alfalfa stand. *Agriculture*, 12(3), 357.
- Yang, N., Sun, Z. X., Feng, L. S., Zheng, M. Z., Chi, D. C., Meng, W. Z., ... & Li, K. Y. (2015). Plastic film mulching for water-efficient agricultural applications and degradable films materials development research. *Materials and Manufacturing Processes*, 30(2), 143-154.
- Yavas, İ., Ul Din, K., Hussain, S. (2023). Biochar application under heavy metal stresses: overview and implications. *International Research In Agriculture, Forestry And Aquaculture Sciences*. Platanus Yayın Grubu, 70-87.
- Yıldız, A. (2009). Mikoriza ve arbüsküler mikoriza bitki sağlığı ilişkileri. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(1), 91-101.
- Yooyongwech, S., Phaukinsang, N., Cha-um, S., & Supaibulwatana, K. (2013). Arbuscular mycorrhiza improved growth performance in *Macadamia tetraphylla* L. grown under water deficit stress involves soluble sugar and proline accumulation. *Plant Growth Regulation*, 69, 285-293.
- Zamanian, M., Golzardi, F., Gitari, H., Nungula, E., Salehi, F., & Heydarzadeh, S. (2024). Enhancing forage nutritional value in Persian clover (*Trifolium resupinatum*) and crimson clover (*Trifolium incarnatum*) through intercropping and optimized seeding rate. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2410459.
- Zhang, G. S., Chan, K. Y., Oates, A., Heenan, D. P., & Huang, G. B. (2007). Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research*, 92(1-2), 122-128.
- Zhang, H. L., Lal, R., Zhao, X., Xue, J. F., & Chen, F. (2014). Opportunities and challenges of soil carbon sequestration by conservation agriculture in China. *Advances in agronomy*, 124, 1-36.
- Zhang, W. P., Fornara, D., Yang, H., Yu, R. P., Callaway, R. M., & Li, L. (2023). Plant litter strengthens positive biodiversity–ecosystem

functioning relationships over time. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(5), 473-484.

Zhao, R., Guo, W., Bi, N., Guo, J., Wang, L., Zhao, J., & Zhang, J. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays* L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress. *Applied Soil Ecology*, 88, 41-49.

BÖLÜM 14

KURAKLIKTA YEM BİTKİSİ AGRONOMİSİ: GÜBRELEME VE SULAMA

Zir. Yük. Müh. Oktay YELMEN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493284>

¹ Tarım ve Orman İl Müdürlüğü, Adana, Türkiye. oktay.yelmen@tarimorman.gov.tr,
Orcid ID: 0000-0001-8569-1362

GİRİŞ

Yem bitkileri genellikle buğdaygil (Poaceae) veya otsu baklagillerdir (Fabaceae). *Acacia aneura* ve *Leucaena leucocephala* gibi bazı ağaç baklagilleri de çöl ve tropikal otlaklarda yetişir (Muir ve ark., 2011). Tropik bölgelerde popüler otlar arasında *Pennisetum purpureum*, *Brachiaria* ve *Panicum* türleri bulunur (Njuki ve Sanginga, 2013). Ilıman iklimlerde, ana otlar arasında *Agrostis* spp., *Festuca* spp., *Lolium* spp. ve *Dactylis* spp. veya bunların melezleri bulunur (Ghesquière ve ark., 2010). Bazı mısır (*Zea mays*) çeşitleri özellikle yem için yetiştirilir. Yaygın olarak yetiştirilen otsu baklagiller *Lotus corniculatus*, *Medicago* spp., *Trifolium* spp. ve *Vicia* spp.'dir *Brassica* yem bitkileri arasında *Brassica napus* ve *Brassica oleracea* bulunur. Yem pancarı (*Beta vulgaris*) bir diğer ılıman yem bitkisidir. Herhangi bir ülkede yetiştirilen yem bitkilerinin kombinasyonu iklime ve hayvan ihtiyaçlarına bağlı olarak değişir, ancak çok yıllık baklagil olan *Medicago sativa* hem ılıman hem de tropikal otlarla veya tek başına bir ürün olarak yetiştirilebildiği için en yaygın olarak yetiştirilenidir. Muhtemelen herhangi bir yem bitkisinin en önemli özelliği hızlı biyokütle üretimidir, çünkü ürünler doğrudan kesilir veya otlatılır ve besin kalitesi biyokütle üretim oranına bağlıdır. Optimal bir besin ve su kaynağının sürdürülmesi, yem biyokütle üretimi için çok önemlidir (Capstaff & Miller, 2018).

Kaynak kullanılabilirliği, tarımsal ekosistemlerin işlevlerini sürdürebilmesi için gerekli olan kaynak hacmini ifade eder. Tarımsal ekosistemlerin işlevleri, çeşitli kaynaklara bağlıdır (Xu ve Mage, 2001). Yem üretimi, kuraklıktan iki farklı şekilde etkilenebilir:

- Doğrudan Etkiler: Kuraklık, bitkilerin fizyolojik süreçleri üzerinde doğrudan bir etki yapabilir. Buna stomaların kapanması, fotosentez aktivitesinin azalması ve bitki kısımlarında kaynakların değiştirilmiş dağılımı örnek olarak gösterilebilir (Chaves ve diğerleri, 2002).
- Dolaylı Etkiler: Kuraklık, toprakta bulunan besin maddesi miktarını azaltarak dolaylı bir etkiye neden olabilir (Meisser ve diğerleri, 2019).

1. KURAK KOŞULLARDA YEM BİTKİLERİNİN GÜBRELENMESİ

Topraktaki su eksikliği, azot döngüsünün çeşitli süreçlerini değiştirebilir; ancak bu etkiler bölgesel olarak farklılık gösterebilir ve tarımsal yönetim, toprak yapısı ve bitki örtüsü gibi faktörlere bağlıdır. Bu durum, azot döngüsüne ilişkin süreçlerin karmaşıklığını yansıtır. Örneğin, bir fundalıkta kuraklık sonucu brüt azot mineralizasyonunda bir azalma gözlenirken, *Trisetum flavescens*'in baskın olduğu bir çayırdaki hiçbir etkisi bildirilmemiştir (Fuchslueger ve ark., 2014). Nitrifikasyon oranlarının sıcaklık ve daha az ölçüde yağış uygulamalarına yanıt verdiği rapor edilmiştir (Auyeung ve ark., 2013). Ayrıca, kuraklık stresinin şiddetine bağlı olarak su stresi, simbiyotik azot fiksasyonunu olumsuz yönde etkileyebilir (Hofer ve ark., 2017). Maksimum biyokütle üretimini sağlamak adına, büyüme mevsimi boyunca yem bitkilerinin azot durumunu korumak önemlidir ve bu da optimize edilmiş bir toprak azot tedarikini gerektirir (Hofer ve ark., 2017). Ancak aşırı azot gübresi uygulaması israfa yol açabileceği gibi, yetersiz azot tedariki biyokütle üretimini azaltabilir (Capstaff ve Miller, 2018).

Yem bitkilerinde azot kullanım etkinliği, üretilen ürünlerin yüksek protein içeriği sebebiyle oldukça değerli bir hedef olarak kabul edilir. Protein birikimi, bitkinin azot durumuyla ilişkilidir ve aşırı optimum azot tedariki durumunda protein birikimi gözlenir. Yüksek dane nişastası üretmek amacıyla yetiştirilen tahıl bitkileriyle karşılaştırıldığında, yem bitkileri artan büyüme, depolama kapasitesi ve daha yüksek lif içeriği nedeniyle genellikle daha fazla azota ihtiyaç duyar. Yem bitkilerinde hasat edilen biyokütle tahıllar, kökler veya yumrular yerine yaprak dokusuna dayanır (Xu ve diğerleri, 2012). Bu nedenle yalnızca sürgünlerde yüksek biyokütle verimine sahip olmak yeterli değildir; aynı zamanda optimum miktarda azot hasadı da sağlanmalıdır (Capstaff ve Miller, 2018).

Karma ekim şemaları yem bitkileri için yaygın bir uygulama olarak öne çıkmaktadır. Baklagiller ve buğdaygillerin birlikte yetiştirilmesinin belirgin avantajları bulunmaktadır. Baklagiller, *Rhizobium* ile simbiyotik azot fiksasyonu sayesinde toprak azotunu artırır. Baklagillerin biyolojik azot fiksasyonunun 32 ila 115 kg ha⁻¹ arasında değiştiği bildirilmiştir (Iannetta ve ark., 2016). Bu durum daha sonra yetiştirilen ürünler için gübre kullanımını 23 ila 31 kg N ha⁻¹ oranında azaltabilir (Preissel ve ark., 2015). Baklagillerden

diğer ürünlere azot transferi, meralar da dahil olmak üzere iyi incelenmiş bir konudur (Pirhofer-Walzl ve ark., 2012).

Azot (N) ve fosfor (P), bitki büyümesi için genellikle sınırlayıcı besinler olarak kabul edilir. Toprakta azot ve fosfor süreçleri, bitki büyümesi üzerinde kritik bir öneme sahiptir. Toprak besin maddesi arzı bitkilerin talebini karşıladığı sürece, kuraklıktan kaynaklanan besin maddesi kısıtlaması gözlenmez. Ancak bitkilerin besin maddesi talebinin topraktaki bulunabilirlikten fazla olması durumunda, bitki büyümesi üzerinde dolaylı etkiler ortaya çıkabilir (Gonzalez-Dugo ve ark., 2010). Bu durum, özellikle azot ve fosfor bulunabilirliği ile N:P oranı açısından toprak özelliklerinin, otlakların kuraklık bozulmalarına verdiği tepkinin potansiyel belirleyicileri olarak önemini vurgular (Meisser ve ark., 2019). Bitki örtüsündeki N:P oranı, bitki büyümesi için besin kısıtlamalarının tahmini için bir gösterge niteliğindedir. N:P oranının 10'un altında olması azot kısıtlamasını, 20'nin üzerinde olması ise fosfor kısıtlamasını gösterir (Meisser ve ark., 2019). Fosforun biyo-kullanımı, fosfor kaynağı, pH ve toprak nemi gibi faktörlerden etkilenir (Dijkstra ve ark., 2015). Fosfor döngüsü, kuraklık altında daha düşük desorpsiyon ve difüzyon oranları ile değişebilir (Belnap, 2011).

Bitki dokularındaki azot ve fosfor konsantrasyonları, N ve P gübrelemesinden etkilenir. Hem tüm bitki düzeyinde hem de tek yapraklarda sürgün N:P konsantrasyonlarının yüksek oranı, doğal bitki örtüsü (Güsewell, 2004) ve tarla ürünlerinde besin eksikliğinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Sulak alanlarda sürgün biyokütlesinin N:P oranı düşük (<14) veya yüksek (>16) olduğunda, sürgün biyokütlesinin azot ve fosfor tarafından belirgin şekilde sınırlandığı öne sürülmüştür (Fan ve diğerleri, 2016).

Kuraklık ve fosfor eksikliği sürgünlerde fotosentez hızını ve stomatal iletkenliği azaltarak bitki büyümesini engelleyebilir (Ghannoum ve Conroy, 2007). Fosfor eksikliği olan topraklarda bazı bitkilerin, toprak organik P bileşiklerini inorganik fosfata hidrolize ederek fosfatı yaşlı dokulardan genç dokulara aktardığı ve bu şekilde toprak fosforuna olan bağımlılıklarını azalttığı bilinmektedir (Yang ve Yang, 2021). Organik gübreleme bu süreçlere yardımcı olur, toprağa önemli miktarda organik madde katar ve asit fosfataz (APase) aktivitesini artırarak besin döngülerini destekler (Zhang ve ark., 2015). Fosfor takviyesi, N:P oranı dengesiz ve fosfor sınırlı otlaklarda besin döngüsünü

geliştirerek bu sistemlerde besin kullanım verimliliğini artırabilir (Gong ve ark., 2022).

Fosfor edinimini artırmanın bir mekanizması, kök fizyolojisinin değiştirilmesidir (Neumann ve Martinoia, 2002). Bu mekanizma, karboksilatların (örn. malat ve sitrat) ve fosfohidrolazların eksüdatasyonunun artırılması gibi süreçleri içermektedir (Wouterlood ve diğerleri, 2005). Kök salgıları, kök-toprak temasının korunmasında önemli bir rol oynar; bu durum, özellikle hidrolik sürekliliğin kaybolduğu kuraklık ve toprak kurumması koşulları altında kritik hale gelir (Walker ve diğerleri, 2003). Çok yıllık *Lolium perenne* (Rosas ve ark., 2007), buğday (*Triticum aestivum*) (Pearse ve ark., 2006) ve diğer bazı buğdaygil türlerinde (Ryan ve diğerleri, 2001) karboksilat eksüdatasyonu rapor edilmiştir. Pang ve ark. (2010), *Cullen australasicum* ve *Medicago sativa* türlerinin karboksilat eksüdatasyonunu farklı fosfor koşulları altında incelemiş ve yalnızca *Cullen australasicum*'un karboksilat eksüdatasyonunu yüksek fosfor tedarikine (40 mg kg^{-1}) kıyasla düşük fosfor tedarikinde (6 mg kg^{-1}) artırdığını tespit etmiştir.

Bitki ve toprak mikroorganizmaları, azot (N) ve fosfor (P) bulunabilirliğindeki kısıtlamalara farklı duyarlılıklar göstermektedir (Dijkstra ve ark., 2015). Kuraklığın neden olduğu azot ve fosfor döngüsündeki değişimler, bitki-mikrop etkileşimlerini bozabilir. Bazı bitki grupları, mikorizal mantarlarla simbiyotik ilişkiler yoluyla stokiyometrik N:P esnekliği gösterirken (Meisser ve ark., 2019), mikroorganizmalar topluluk yapısındaki değişimler yoluyla uyum sağlar (Capek ve ark., 2016). N ve P bulunabilirliğinin zayıf olduğu durumlarda, mikroorganizmalar karmaşık substratlardan kaynakları hareketlendirmek için enzim üretimini artırabilir (Rocabrana ve ark., 2024).

Fan ve ark. (2016), Çin'in Löss Platosu'ndaki yoncanın yem veriminin büyük ölçüde yağıştan etkilendiğini, ancak gübre uygulamalarının yarı kurak bölgelerde verimi artırabileceğini göstermiştir. Yoncaya uygulanan N ve P gübreleri, özellikle fosfor, genç ve yaşlı alanlarda yem verimini önemli ölçüde artırmıştır. Ancak ilk dört yıl boyunca toprak profilinin derinlerinden (1-4 m) su çekimini artırdığı gözlenmiştir.

Toprak yeniden ıslatıldığında, matris ve ozmotik potansiyellerdeki ani artışlarla radikal değişimler meydana gelir. Bu, genellikle mikrobiyal aktivitede ani bir artışa ve besin bulunabilirliğinde kısa süreli bir yükselişe yol açar. Kuraklık sırasında azalan mikrobiyal aktivite, kuraklık sona erdiğinde

mineralizasyon için substrat olarak işlev görebilecek toprak organik maddesinin birikimini artırabilir (Borken ve Matzner, 2009). Yeniden ıslatma süreci, mikroorganizmalar tarafından ozmoregülatör çözünenlerin salınımını indükleyebilir (Schimel, 2018). Kurutma ve yeniden ıslatma, toprak agregatlarının parçalanmasına yol açabilir, erişilemeyen inorganik besinlerin serbest kalmasını sağlayabilir ve besin döngüsünü teşvik edebilir (Fierer ve Schimel, 2003). Ancak bu etkilerin besin bulunabilirliği üzerindeki yansımaları kısa ömürlüdür (Song ve ark., 2017).

Azot edinimi için yeraltı karbon (C) tahsisi, baklagil-buğdaygil karışımlarında birincil üretkenlik ve rekabet gücünü belirleyen kritik bir faktördür. Qiao ve ark. (2022), *Trifolium repens* ve *Lolium perenne* türlerini monokültür ve %50:50 karışım halinde, kuraklık olmayan (%70 su kapasitesi) ve kuraklık (%50 su kapasitesi) koşullarında denemeye tabi tutmuştur. Araştırma bulguları, kuraklığın baklagillerde birim N edinimi başına yeraltı karbon tahsisini artırdığını ancak buğdaygillerde artırmadığını göstermektedir. Ayrıca kuraklığın baklagillerde biyolojik azot fiksasyonunu önemli ölçüde azalttığı ve türler arası N rekabetinin baklagil türlerinde karbon tahsisini değiştirdiği belirlenmiştir.

Scharer ve ark. (2025), çok yıllık *Lolium perenne*'nin farklı azot gübreleme seviyeleri altında iki aylık deneysel yaz kuraklığına ve ardından yeniden ıslatmaya veya yağmurla beslenen kontrol koşullarına tabi tutulduğu bir tarla denemesi yürütmüştür. Araştırma bulguları, kuraklıktan sonra yeniden ıslatmanın, brüt azot mineralizasyonunda ve amonyum (NH_4^+) tüketim oranlarında anında bir artış sağladığını göstermiştir. Her iki oran da kuraklık sırasında azot gübrenenmemiş ve azot gübrenenmiş parsellerdeki kontrollerle karşılaştırıldığında, kuraklık stresine maruz kalan alt parsellerde sırasıyla %230 ve %430'dan fazla artmıştır. Önemli bir bulgu olarak, brüt azot mineralizasyon oranlarının, kuraklığın sonunda toprak organik karbon içerikleriyle anlamlı bir şekilde korelasyon gösterdiği rapor edilmiştir. Eş zamanlı olarak, kuraklık ve yeniden ıslatma, potasyum (K) hariç olmak üzere, NO_3^- -N, fosfor (P), kükürt (S), demir (Fe), çinko (Zn) ve mangan (Mn) besin maddelerinin bulunabilirliğini yeniden ıslatmadan sonraki birinci ayda anlamlı bir şekilde artırmıştır, ancak ikinci ayda besin maddesi seviyelerinde bir değişiklik gözlenmemiştir. *Lolium perenne*'nin toprak üstü üretkenliği, yeniden ıslatmadan sonraki birinci ayda artan NO_3^- -N bulunabilirliğine olumlu yanıt

vermiş ve bu da kuraklık stresine maruz kalan parsellerin kontrollerle karşılaştırıldığında daha yüksek verim performansı sergilemesine neden olmuştur. Bu sonuçlar, yeniden ıslatmadan sonraki birinci ayda *Lolium perenne*'nin kısa vadeli verim üstünlüğünün, kuraklık sırasında biriken organik substratların azot mineralizasyonu ile tetiklenerek artan NO_3^- -N bulunabilirliğinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır.

Gholami ve ark. (2024), yemlik mısırdaki kuraklık stresi altındaki azot gübresi ve çinko sülfat uygulamalarının büyüme, fizyolojik, biyokimyasal ve besin maddesi kullanım etkinliği üzerindeki etkilerini üç farklı sulama rejimi altında incelemiştir: tam sulama (stres olmadan, tarla kapasitesinin %100'üne dayalı sulama), orta sulama (tarla kapasitesinin %75'ine dayalı sulama) ve şiddetli sulama (tarla kapasitesinin %50'sine dayalı sulama). Araştırmada, 0, 69 ve 138 kg ha⁻¹ olmak üzere üç seviyede üre gübresi ile 0, 2 ve 4 mg kg⁻¹ olmak üzere üç seviyede çinko sülfat uygulanmıştır. En yüksek yeşil yem verimi (37,238 kg ha⁻¹), 138 kg ha⁻¹ azot ve 4 mg kg⁻¹ çinko sülfat uygulamasında elde edilmiştir. En düşük azot kullanım etkinliği değerleri, şiddetli kuraklık stresine ve azot ile çinko sülfat gübresinin kullanılmamasına bağlı olarak gözlenmiştir. Şiddetli kuraklık stresi altında en yüksek fosfor kullanım etkinliği değeri, 69 kg ha⁻¹ azot uygulamasıyla elde edilirken; en düşük fosfor kullanım etkinliği değeri, çinko sülfat uygulanmayan şiddetli kuraklık koşullarında gözlenmiştir. Azot gübre uygulamasının artışı, çinko sülfata verilen yanıtı artırmıştır. En düşük çinko kullanım etkinliği değerleri, şiddetli kuraklık stresinde ve hem azot gübresi hem de çinko sülfat uygulanmayan parsellerde gözlenmiştir.

Azot gübrelenmiş çayırlarda biçme işlemi, bitki biyokütlesinin daha yüksek seviyelerde uzaklaştırılmasına bağlı olarak ekosistemlerden büyük miktarda besin maddesi kaybına yol açmaktadır. Bitkilerin çinko alımı esas olarak toprak çinko bulunabilirliği ve azot eklenmesine, ayrıca biçme uygulamalarına türlere özgü tepkilerle yönlendirilir. Çinko ve azot eklenmesi arasındaki sinerjilerin, biçme işlemi ile zıt etkilere sahip olması, çayırların çinko gübrelemesini gerektirebilir (Li ve ark., 2022).

2. KURAK KOŞULLARDA YEM BİTKİLERİNİN SULANMASI

2.1. Toprağın Su Tutma Kapasitesi ve Sulama Yönetimi

Tarla kapasitesi, solma noktası ve bitkiler için alınabilir su içeriği gibi değişkenler, toprağın bitki büyüme ortamı olarak işlev görmesi açısından temel toprak su tutma parametreleridir. Toprak suyu, toprağın gözeneklerinde depolanmakta olup, bu suyun durumu gözeneklerin büyüklüğüne bağlıdır. Topraktaki su, iyonları ve besin maddelerini çözerek diğer çözünmüş gazlar, ısı ve mikroorganizmalarla birlikte taşır. Toprak suyu, organizmaların yararlanabileceği nemin yanı sıra toprak havalandırma durumunu, çözünen maddelerin niteliğini ve miktarını, ozmotik basıncı ve toprak çözeltisinin pH seviyesini etkiler (Voroney, 2007). Ayrıca, bitki su ihtiyacını karşılayarak köklere besin taşınmasını sağlar ve besin döngüsü süreçlerine (örneğin, mantar ve mikrobiyal çürüme, mineralizasyon, gübreleme) katkıda bulunur. Bunun yanı sıra, toprak suyu kirleticilerin taşınmasını da etkiler. Bu nedenle, toprak su yönetimi kritik bir öneme sahiptir (Shepherd ve ark., 2011).

2.2. Kalıcı Solma Noktası

Kalıcı solma noktası, bitkiler tarafından alınabilir suyun alt sınırını ifade eder. Bu aşamada, topraktaki suyun yerine konmaması durumunda bitkiler su emilimini ciddi şekilde kısıtlar ve ölüme neden olacak seviyeye ulaşır. Kalıcı solma noktasında toprak hâlâ bir miktar su içermektedir; ancak bu suyun kökler tarafından çekilmesi oldukça güçtür. Bitkilerin bu durumdaki suyu çekebilmesi yaklaşık 15 barlık bir gerilim gerektirir. Eğer bu sınırdan toprağa ilave su verilmezse, bitkilerin büyük bir kısmı ölür. Nem içeriği ise toprak dokusuna göre farklılık göstermektedir. Sulama esnasında, uygulanan suyun sadece bir kısmı bitki tarafından etkili bir şekilde kullanılır; bu durum buharlaşma, rüzgarla taşınma, yüzey drenajı, sızma ve sızıntılar gibi kayıplara bağlıdır (de Oliveira ve ark., 2015).

2.3. Sulama Yönetimi ve Toprak Nem Seviyesi

Toprak neminin kritik seviyelere düştüğü durumlarda, telafisi mümkün olmayan verim kayıplarını önlemek için sulama planlamasının yapılması gerekmektedir. Sınırlı su temini koşullarında, ürünlerin nem eksikliğine en duyarlı olduğu büyüme aşamaları hedef alınmalıdır; buna karşılık, daha az

hassas olan aşamalarda sulama atlanabilir. Kurak alanlarda su, birçok sektörün rekabet ettiği en kıt doğal kaynaklardan biridir. Sel suyu hasadı, kurak alanlarda tarımsal verimi artırmak amacıyla alternatif bir su yönetimi yaklaşımı sunmaktadır. Geleneksel bir sulama yöntemi olan taşkın (sel suyu) sulama, Orta Doğu, Doğu Afrika (örneğin, Etiyopya, Eritre, Somali ve Sudan), Kuzey Afrika (örneğin, Fas, Cezayir ve Tunus) ve Batı Asya'nın (örneğin, Pakistan, İran ve Afganistan) kurak ve yarı kurak bölgelerinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Örneğin, Etiyopya'da yayla ve ova olmak üzere iki tür taşkın sulama sistemi bilinmektedir. Yayla sisteminde, ani taşkınlar nispeten küçük alanlara yönlendirilirken; ova sistemi, geniş alanları kapsar ve genellikle dağlık bölgelerin eteklerinde uygulanır (Mengistu & Mekonnen, 2011).

2.4.Sulama Planlaması ve Teknolojileri

Hızlı ürün oluşumunu desteklemek için ekim sonrası yeterli miktarda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Sonraki sulama gereksinimleri, toprağın türüne, bitkinin büyüme aşamasına ve yağış durumuna bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Toprak nem içeriğinin gerçek zamanlı ve doğru bir şekilde ölçülmesi, sulama yönetiminde kritik bir unsurdur. İnsan uzmanlığı sulama yönetiminde etkili olsa da her tarla veya ürün için erişilebilir ve ölçeklenebilir bir çözüm sunmamaktadır (Mylonas ve ark., 2020). Bitki su ihtiyacı, buharlaşma ile kaybedilen suyun yerine konması için gereken su miktarını ifade eder ve büyük ölçüde büyüme aşamasına bağlıdır. Sulama planlaması, yalnızca sulama zamanlaması ve sıklığını değil, aynı zamanda sulama hacmini de dikkate almalıdır. Su kıtlığı, dünya genelinde önemli bir endişe kaynağı olduğundan, su tasarruflu sulama yöntemlerinin (örneğin, damla ve yağmurlama sulama gibi) kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Grinshpan ve ark., 2021).

Damla sulama sistemi, kuraklık yaşanan bölgelerde yaygın bir şekilde kullanılan sulama yöntemidir. Bu sistem, diğer sulama sistemlerine kıyasla yüzde 50'ye kadar daha yüksek su kullanım etkinliği sağlama kapasitesine sahiptir. Yüzey sulama yöntemine kıyasla yüzde 50-80 oranında su tasarrufu sağlaması nedeniyle, genellikle kurak tarımın yaygın olduğu alanlarda tercih edilmektedir (Baruah ve ark., 2024). Yağmurlama sulama ise doğru miktarda ve doğru zamanda sulama suyunun tedarik edilmesine olanak tanıyan bir yöntemdir. Bu yöntemde su, farklı boyutlarda damlacıklar şeklinde veya

yağmurlama başlıklarından çıkan ince akışlar olarak uygulanabilir. Yağmurlama sistemleri, genellikle toprak yüzeyine veya bitki yüzeyine dengeli bir şekilde su uygulamak üzere tasarlanmıştır (Baruah ve ark., 2024). Ancak hareketli sulama sistemlerinden merkez pivot ve hareketli tabanca sistemleri, sıcak ve rüzgârlı bölgelerde buharlaşma ve rüzgârla taşınma nedeniyle su kayıplarına yol açabilir (Sojka ve ark., 2002).

Su kullanım etkinliği (WUE), Kuzey Victoria'daki ticari süt çiftliklerinde yetiştirilen C4 yemlik tür mısırdaki 28–34 kg ha⁻¹ mm⁻¹ olarak hesaplanmış ve oldukça yüksek bulunmuştur (Greenwood ve ark., 2008). Serin mevsim tek yıllık yem bitkilerinin verimi, genellikle sonbahar ve kış aylarında çok yıllık yem bitkilerinden daha yüksektir; bu durum WUE değerlerinin de daha yüksek olabileceğini düşündürmektedir (Doyle ve ark., 2000). Yapılan araştırmalar, belirli bir yem türü için verim ve buharlaşma arasında bölgesel ve yıllık değişkenlik gösteren doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Tolk ve Howell, 2008). Akış ve drenajdan kaynaklanan kayıpların ihmal edilebilir düzeyde olduğu çalışmalarda, optimal sulama seviyesinin altına düşen su uygulamasıyla WUE'de düşüşler gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, yem bitkilerinin sulamaya verdikleri yanıtlar arasında farklılıklar olduğu ifade edilmiştir (Farre ve Faci, 2006).



Şekil 1. Alternatif kısmi kök bölgesi yeraltı damla sulama yöntemi ile yetiştirilen yonca
Kaynak: Sun ve ark., 2024

Bu sulama yöntemi, bitki köklerinin belirli bölgelerine su verilerek hem su tasarrufu sağlamakta hem de bitkisel verimliliği artırmaktadır. Araştırma, bu yöntemin özellikle kuraklık yaşanan bölgelerde etkili bir çözüm sunduğunu ortaya koymuştur.

Neal ve ark. (2011), daha verimli su kullanımına sahip yem bitkilerini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, on yedi yıllık yem bitkisi türü, ılıman bir iklimde kahverengi Dermsol üzerinde, Sidney, Avustralya'da, üç yıl boyunca optimum sulama (I1) ve iki açık sulama uygulaması (nominal olarak optimum seviyeye uygulanan sulama suyunun %66'sı ve %33'ü) altında incelenmiştir. En yüksek verime sahip yem bitkileri genellikle en yüksek WUE'tye (toplam verim/terleme) sahip bulunmuştur. Optimum sulama altında, mısır ve börtölce yem bitkileri arasında ortalama yıllık WUE'de üç kat fark olduğu tespit edilmiştir. Hasat edilen yem bitkileri (mısır, buğday, tritikale ve bezelye), otlatma için kullanılan yem bitkilerinden daha yüksek WUE değerine sahip olmuştur. Açık sulamanın sıcak mevsim yem bitkileri üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu görülmüş ve verim ile WUE arasında güçlü bir pozitif ilişki bulunduğu ifade edilmiştir.

Son yıllarda, merkez pivot yağmurlama sulama sistemi, yonca da dahil olmak üzere dünya çapında buğdaygil üretiminde popüler bir sulama yöntemi haline gelmiştir (Kayad ve ark., 2016). Çeşitli çalışmalar, farklı bölgelerdeki sulama rejimleri altında yonca üretimini incelemiştir. Lindenmayer ve ark. (2011), yoncanın büyüme döneminde evapotranspirasyonu tam sulama uygulamalarında ortalama 910 mm, yetersiz sulamada 800 mm ve kuru arazi uygulamalarında 390 mm olarak tespit etmişlerdir. Ortalama yıllık verim ise tam sulama altında 16.600 kg/ha, yetersiz sulama uygulamalarında 11.100 kg/ha ve kurak koşullarda 6000 kg/ha olarak belirlenmiştir. Yoncanın evapotranspirasyonu, verimi ve su kullanım etkinliği; sulama seviyelerinden, mahsul yönetiminden, mahsul stand yaşından, toprak altı suyu seviyesinden ve ekim sistemlerinden etkilenmektedir.

Lamm ve ark. (2012), yoncanın verim performansında büyük bir yıllık fark olduğunu belirtmiş; ancak farklı sulama seviyelerinin yoncanın verimine önemli bir katkıda bulunmadığını, zira yonca köklerinin suyu çekebilmek için toprağın derinlerine kadar uzanabildiğini ve bu özelliğin onu kuraklık stresine dayanıklı hale getirdiğini bildirmişlerdir. Yoncanın su tüketimini inceleyen çalışmalar, farklı sulama yönetimi sistemlerinin, yonca büyümesi ve verimi

üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Bununla birlikte, yonca üretimi ve su fonksiyonu, bölgeye, yıla ve yılın zamanına göre değişiklik göstermektedir (Lindenmayer ve ark., 2011).

Sınırlı sulama yönetimi uygulamalarının, su kullanımını verimden daha fazla azaltarak mısır ve diğer ürünlerin su kullanım etkinliğini artırdığı bildirilmiştir (Ko ve Piccinni, 2009; Kapanigowda ve ark., 2010). Klocke ve ark. (2004), yarı kurak güneybatı Nebraska'da sınırlı sulama yönetimi uygulamalarının, tam sulama uygulamasına kıyasla yaklaşık %40 daha az sulama suyu ile yalnızca %16 verim azalmasına yol açtığını belirtmişlerdir. Pandey ve ark. (2000), mısırın vejetatif döneminde sınırlı sulama uygulandığında, tane veriminin tam sulama uygulamasına kıyasla %7 ila %11 oranında azaldığını ve vejetatif aşama ile erken üreme aşamasında su açığı olduğunda %23 ila %26 oranında önemli verim düşüşleri gözlemlendiğini ifade etmişlerdir.

Mansouri-Far ve ark. (2010), daha az hassas büyüme aşamalarında uygulanan su stresinin etkisini ve iki mısır melezinde azot (N) tedarik seviyesinin rolünü incelemişlerdir. Mısır bitkileri vejetatif aşamada sulama sıkıntısı yaşadığında, N tedarikindeki artışın verimi ve IWUE'yi iyileştirdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, generatif aşamada bir kez veya vejetatif ve generatif aşamalarda iki kez su eksikliği olduğunda, yüksek N'nin performansının azaldığı veya ortadan kalktığı rapor edilmiştir.

Djaman ve ark. (2013), Nebraska'daki 16 hektarlık bir tarlada dört açıklıklı merkez pivot sulama sistemi kullanarak %75 tam sulama (FIT) ve %60 FIT uygulamalarını içeren beş deneme gerçekleştirmişlerdir. Denemelerin yürütüldüğü toprak, ürün yönetimi ve iklim koşulları altında, ek sulamanın mısırın su etkinliğini artırmada uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, eksik sulama altında mısırın maksimum tane verimine ulaşmak için tam sulama koşullarından daha düşük N uygulama oranlarının gerektiği ifade edilmiştir (Rudnick ve Irmak, 2013). Stone ve ark. (2010), kıyı ovasında mısırın çeşitli azotlu gübre ve sulama miktarlarına verdiği tepkileri belirlemek için merkez pivot sulama sistemi kullanarak bir tarla denemesi gerçekleştirmişlerdir. Sulama ve N uygulama oranıyla mısır tanesi veriminin arttığı görülmüş; ancak bu tepkinin niteliğinin, büyüme mevsimi boyunca meteorolojik koşullara bağlı olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Sulanan çok yıllık meraların sulama suyu gereksinimi, yağış miktarı ve buharlaşma oranlarına bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik göstermektedir; ancak genellikle 7 ila 10 ML/ha.yıl arasında olduğu, tek yıllık yem bitkilerinde ise bu miktarın 2-6 ML/ha.yıl arasında olduğu bildirilmiştir (Rogers ve ark., 2017). Suyun sınırlı olduğu durumlarda bitkilerin hayatta kalma, büyüme ve verim verme yeteneği, genotip, fenotipik esneklik, ozmotik ayarlama, pozitif turgorun uzun süreli korunumu ve kök derinliği gibi faktörlere bağlıdır (Shahidi ve ark., 2017). Çok yıllık yem ve bitki türleri, derin kök sistemleri sayesinde depolanmış toprak suyuna erişim sağladıkları için kuraklık veya yetersiz sulama koşulları altında büyümeye daha uygundur (Neal ve ark., 2012). Su kullanım etkinliği (Total Water Productivity - TWP), farklı sulama yönetimi ve yem bitkisi sistemlerinin verimliliğini karşılaştırmak için önemli bir ölçüm yoludur. Suyun kıt olduğu durumlarda birim su başına üretim miktarının birim alan başına üretimden daha önemli olabilmesi nedeniyle, çiftçilerin yem üretimini optimize etmeleri için TWP'ye ilişkin verilerin sağlanması son derece değerli olabilir (Lawson ve ark., 2009).

Avustralya'da, 1990'ların sonuna kadar sulanan çok yıllık meralar süt endüstrisi için baskın yem sistemi olup, sağım alanlarının dörtte üçünü kaplıyordu (Bethune ve Armstrong, 2004). Bu bölgelerde, meralar genellikle *Lolium perenne* ve *Trifolium repens* türlerine dayalı olarak kurulmuştur. *Trifolium pratense* ve *Trifolium fragiferum* gibi türler de ekilmekle birlikte, *Paspalum dilatatum* genellikle istilacı bir tür olarak meralarda baskın hale gelmektedir. Çok yıllık *Lolium perenne*, üstün besin özellikleri, hızlı kurulumu ve otlatma yönetimine uygunluğu nedeniyle tercih edilmekte; ancak son yıllarda sulanan çok yıllık meraların oranı azalmış, iklim değişikliği ve su reformlarına bağlı olarak sulanan tek yıllık meraların oranı artmıştır (Neal ve ark., 2009). *Trifolium repens* ise, besin özelliklerinin üstünlüğü ve otlatmaya uygunluğu nedeniyle tercih edilmektedir. Sulama altında çok yıllık *Lolium perenne* ve *Trifolium repens* meralarının yıllık yem üretimi potansiyeli, tek yıllık meralardan daha yüksektir. Tam sulama altında çok yıllık meralar 14 ila 20 t KM/ha.yıl arasında yem üretirken, *Trifolium repens* sık sulama ile 14 t KM/ha.yıl'a kadar üretim sağlayabilir. Benzer şekilde, *Trifolium pratense* yaklaşık aynı miktarı üretmekte; ancak bu tür genellikle iki yıldan kısa bir süre dayanıklılık göstermektedir. Yonca ise 23 t KM/ha.yıl'a kadar üretim kapasitesine sahiptir. Sulanan tek yıllık meralar, genellikle *Lolium multiflorum*

ve *Trifolium subterraneum* gibi türlere dayalı olarak kurulmakta, bununla birlikte *Trifolium michelianum* veya *Trifolium alexandrinum* gibi diğer tek yıllık baklagil türleri de yetiştirilmektedir. Tek yıllık meralarda kuru madde üretimi 8 ila 15 t KM/ha.yıl arasında değişiklik göstermektedir (Kelly ve ark., 2006).

Sulama yapılan buğday (*Triticum aestivum*), arpa (*Hordeum vulgare*) ve yulaf (*Avena sativa*) gibi çift amaçlı kışlık tahıllar, Avustralya’da yaygın olarak yetiştirilmektedir. Bu tahıllar sulama yapılmaksızın ya da sınırlı sulama ile yetiştirilebilir ve otlatma sonrası dane üretimi için hasat edilebilir. Kışlık tahıllardan elde edilen kuru madde üretimi, otlatma döneminde 3,0 t KM/ha ve hasat döneminde tek bir kesimde yaklaşık 7,0 t KM/ha olarak bildirilmiştir (Rogers ve ark., 2017; Lawson ve ark., 2017). Yazlık yem bitkileri arasında mısır (*Zea mays*), darı (*Echinochloa utilis*) ve sorgum (*Sorghum spp.*) yer almakta, mısır silajı üretimi için 18 ila 28 t KM/ha arasında değişen verimler sağlanmaktadır. Ticari çiftliklerde ise mısır silaj verimi taşkın sulama altında 19 t KM/ha ve pivot sulama altında 21 t KM/ha olarak bildirilmiştir (Greenwood ve ark., 2008). Yemlik sorgum bitkileri ise, üç kez biçildiğinde 14 ila 19 t KM/ha, bir kez biçildiğinde 20 ila 31 t KM/ha arasında değişen verim sağlamaktadır. Darı verimleri yulafın ardından ikinci ürün olarak 8-9 t KM/ha, büyüme mevsiminde birinci ürün olarak ekildiğinde ise 12-18 t KM/ha arasında değişiklik göstermektedir (Lawson ve ark., 2017).

3. FARKLI SEVİYEDE KURAKLIK KOŞULLARINDA YEM KALİTESİ

Bitki boyu, çoğu ürün için (örneğin mısır) biyokütle ile iyi bir korelasyon göstermekte ve bu faktör, toprak örtüsü ile birlikte verimi değerlendirme yöntemlerinin temelini oluşturmaktadır (Freeman ve ark., 2007). Yem bitkisi yetiştiriciliğinde, sürgün meristeminin biçim sonrası artan büyüme ile yanıt verme yeteneği önemli bir faktördür. Yem bitkilerinin vejetatif biyokütlesinde, hayvancılık açısından en değerli besinler proteinler ve suda çözünür karbonhidratlar (WSC) olup, bu besin maddelerinin kalitesinin hasat sonrası korunması ideal bir durumdur. Bununla birlikte, bitkiler hızlı büyüme yeteneğini, biçim sonrası yeniden büyümeye hızlı bir şekilde yanıt verebilme kapasitesi ile birleştirmelidir. Büyüme oranları ve biçim sonrası toparlanma, yem bitkisi türü seçiminde dikkate alınan önemli özelliklerdir. Özellikle *Lolium*

ve *Medicago* türleri bu bağlamda onlarca yıldır araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Capstaff ve Miller, 2018). Yem bitkilerinde, bitkilerin kesim veya otlatma zamanlaması, verimliliği doğrudan etkilediğinden dikkatle planlanmalıdır (Bumb ve ark., 2016).

Yem kalitesi, hayvan performansında istenen sonuçları üretme potansiyelini ifade ederken, kuru madde verimi üretilen yem miktarını temsil etmektedir. Yem kalitesi ve verim birbiriyle ilişkili olup, yüksek oranda sindirilebilir ve düşük lifli yemler hayvanlar tarafından daha fazla tüketilmektedir (Collins ve ark., 2018). Yem bitkileri, yüksek verimliliklerini koruyarak karışık ekim altında yetiştirilebilme avantajına sahiptir (Capstaff ve Miller, 2018). Yem üretiminde hedef, yüksek verimli ve düşük girdili bitkisel biyokütle elde etmektir (Capstaff ve Miller, 2018). Ancak kuraklık, bitki büyümesinin fenolojik aşamasına müdahale ederek bu hedeflerin gerçekleşme şansını azaltmaktadır (Aikens ve ark., 2020). Kuraklık, yerel bitkilerin birincil üretim kapasitesinde sınır oluşturmakta ve verimliliği düşürmektedir (Guo ve ark., 2016).

Dumont ve ark. (2015) tarafından yapılan bir meta-analizde, kuraklığın yem besin içeriği üzerindeki etkileri farklı parametreler açısından incelenmiştir. Çalışmada su stresinin yem azot (N) konsantrasyonunda ortalama %5'lik bir artışa ve bitki hücre duvarı (NDF) içeriğinde %3'lük bir azalmaya yol açtığı tespit edilmiştir. Sindirilebilirlik %7 oranında artış göstermiş, ancak denemeler arasında yüksek varyasyon gözlemlenmiştir (Milchunas ve ark., 2004; Skinner ve ark., 2004). Kuraklığın sindirilebilirlik üzerindeki etkisinin düşük olması, N ve NDF varyasyonlarının küçük genlikte olmasının bir sonucu olarak yorumlanmıştır. Lignin içeriğindeki küçük bir artış, NDF'deki azalmanın etkisini tamponlayabilir. Su bulunabilirliğindeki değişimlerin yem N içeriği üzerindeki etkisi süreklilik göstermiş; düşük yağış dönemleri, yem N konsantrasyonunda eğrisel bir artışa neden olmuştur. Ancak literatürde, düşük yağış dönemlerinin N konsantrasyonu üzerindeki etkisine dair çelişkili sonuçlar bulunmaktadır; bazı araştırmacılar bir azalma, bazıları ise bir artış bildirmiştir. Derin köklü *Cichorium intybus*, su bulunabilirliği sınırlı olduğunda çayırlardaki karışımlarda baskın hale gelmiştir (Skinner ve ark., 2004). Buna karşılık, *Trifolium repens* tür açısından zengin yüksek çayırlarda kuraklık koşullarında azalma göstermiştir (Dumont ve ark., 2009). *Onobrychis viciifolia* ve *Medicago sativa*'nın kuraklığa dayanıklı olduğu ve artan bolluklarının yem N içeriğini

koruyabileceği veya artırabileceği belirtilmiştir. Baklagiller, kuraklık koşullarında daha yüksek yaprak-gövde oranı, gecikmiş olgunluk ve daha yüksek kalite gibi özellikler göstererek yem kalitesini artırabilir (Dumont ve ark., 2015).

Yem kalitesi kavramsal olarak yem besin değeri ve yem tüketim kapasitesi açısından değerlendirilir. Buğdaygillerde yaprak ve gövde dokuları arasındaki ilişki, bitki morfolojik gelişiminden etkilenmektedir. Baklagillerin büyüme ve gelişim süreçleri, vejetatif büyüme aşaması boyunca hem yaprak hem de gövde gelişiminin gerçekleşmesiyle buğdaygillerden farklılık göstermektedir. Yem bitkilerinde toprak neminin fazlalığı veya eksikliği stres oluşturabilir. Farklı toprak besinleri miktarı ve bulunabilirliği, yem üretimi ve kalitesi üzerinde etkili olmaktadır. Köklerin arbusküler mikoriza enfeksiyonu, bitkilerde mineral alımını iyileştirerek yem kalitesini artırabilir (Moore ve ark., 2020).

KAYNAKÇA

- Aikens, E. O., Monteith, K. L., Merkle, J. A., Dwinnell, S. P., Fralick, G. L., & Kauffman, M. J. (2020). Drought reshuffles plant phenology and reduces the foraging benefit of green-wave surfing for a migratory ungulate. *Global change biology*, 26(8), 4215-4225.
- Auyeung, D. S. N., Suseela, V., & Dukes, J. S. (2013). Warming and drought reduce temperature sensitivity of nitrogen transformations. *Global Change Biology*, 19(2), 662-676.
- Baruah, V. J., Begum, M., Sarmah, B., Deka, B., Bhagawati, R., Paul, S., & Dutta, M. (2024). Precision irrigation management: A step toward sustainable agriculture. In *Remote Sensing in Precision Agriculture* (pp. 189-215). Academic Press.
- Belnap, J. (2010). Biological phosphorus cycling in dryland regions. In *Phosphorus in action: biological processes in soil phosphorus cycling* (pp. 371-406). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bethune, M., & Armstrong, D. P. (2004). Overview of the irrigated dairy industry in Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(2), 127-129.
- Borken, W., & Matzner, E. (2009). Reappraisal of drying and wetting effects on C and N mineralization and fluxes in soils. *Global change biology*, 15(4), 808-824.
- Bumb, I., Garnier, E., Bastianelli, D., Richarte, J., Bonnal, L., & Kazakou, E. (2016). Influence of management regime and harvest date on the forage quality of rangelands plants: the importance of dry matter content. *AoB Plants*, 8, plw045.
- Capek, P., Kotas, P., Manzoni, S., & Šantrůčková, H. (2016). Drivers of phosphorus limitation across soil microbial communities. *Functional Ecology*, 30(10), 1705-1713.
- Capstaff, N. M., & Miller, A. J. (2018). Improving the yield and nutritional quality of forage crops. *Frontiers in Plant Science*, 9, 535.
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., ... & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, 89(7), 907.

- Collins, M., Nelson, C. J., Moore, K. J., & Barnes, R. F. (Eds.). (2017). *Forages, volume 1: an introduction to grassland agriculture* (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- de Oliveira, R. A., Ramos, M. M., & de Aquino, L. A. (2015). Irrigation management. In *Sugarcane* (pp. 161-183). Academic Press.
- Dijkstra, F. A., He, M., Johansen, M. P., Harrison, J. J., & Keitel, C. (2015). Plant and microbial uptake of nitrogen and phosphorus affected by drought using ^{15}N and ^{32}P tracers. *Soil Biology and Biochemistry*, 82, 135-142.
- Djaman, K., Irmak, S., Rathje, W. R., Martin, D. L., & Eisenhauer, D. E. (2013). Maize evapotranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. *Transactions of the ASABE*, 56(2), 373-393.
- Doyle, P. T., Stockdale, C. R., Lawson, A. R., & Cohen, D. C. (2000). Pastures for dairy production in Victoria., 2nd edn.(Kyabram Dairy Centre: Kyabram, Vic.).
- Dumont, B., Andueza, D., Niderkorn, V., Lüscher, A., Porqueddu, C., & Picon-Cochard, C. (2015). A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass and Forage Science*, 70(2), 239-254.
- Dumont, B., Farruggia, A., Garel, J. P., Bachelard, P., Boitier, E., & Frain, M. (2009). How does grazing intensity influence the diversity of plants and insects in a species-rich upland grassland on basalt soils?. *Grass and Forage Science*, 64(1), 92-105.
- Fan, J. W., Du, Y. L., Wang, B. R., Turner, N. C., Wang, T., Abbott, L. K., ... & Li, F. M. (2016). Forage yield, soil water depletion, shoot nitrogen and phosphorus uptake and concentration, of young and old stands of alfalfa in response to nitrogen and phosphorus fertilisation in a semiarid environment. *Field Crops Research*, 198, 247-257.
- Farré, I., & Faci, J. M. (2006). Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural water management*, 83(1-2), 135-143.
- Fierer, N., & Schimel, J. P. (2003). A proposed mechanism for the pulse in carbon dioxide production commonly observed following the rapid

- rewetting of a dry soil. *Soil Science Society of America Journal*, 67(3), 798-805.
- Freeman, K. W., Girma, K., Arnall, D. B., Mullen, R. W., Kent, K. L., Teal, R. K., et al. (2007). By-Plant prediction of corn forage biomass and nitrogen uptake at various growth stages using remote sensing and plant height. *Agron. J.* 99, 530–536. doi: 10.2134/agronj2006.0135
- Fuchslueger, L., Kastl, E. M., Bauer, F., Kienzl, S., Hasibeder, R., Ladreiter-Knauss, T., ... & Szukics, U. (2014). Effects of drought on nitrogen turnover and abundances of ammonia-oxidizers in mountain grassland. *Biogeosciences*, 11(21), 6003-6015.
- Ghannoum, O., & Conroy, J. P. (2007). Phosphorus deficiency inhibits growth in parallel with photosynthesis in a C3 (*Panicum laxum*) but not two C4 (*P. coloratum* and *Cenchrus ciliaris*) grasses. *Functional Plant Biology*, 34(1), 72-81.
- Ghesquière, M., Humphreys, M. W., & Zwierzykowski, Z. (2009). *Festulolium*. In *Fodder crops and amenity grasses* (pp. 288-311). New York, NY: Springer New York.
- Gholami, A., Maleki, A., Mirzaeiheydari, M., & Babaei, F. (2024). Effect of nitrogen fertilizer and zinc sulfate on growth, physiological, biochemical and nutrient use efficiency in fodder maize under irrigation regimes. *Journal of Plant Nutrition*, 47(19), 3701-3720.
- Gong, J., Zhang, Z., Zhu, C., Shi, J., Zhang, W., Song, L., ... & Li, X. (2022). The response of litter decomposition to phosphorus addition in typical temperate grassland in Inner Mongolia. *Journal of Arid Environments*, 197, 104677.
- Gonzalez-Dugo, V., Durand, J. L., & Gastal, F. (2010). Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30(3), 529-544.
- Greenwood, K. L., Mundy, G. N., & Kelly, K. B. (2008). On-farm measurement of the water use and productivity of maize. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(3), 274-284.
- Greenwood, K. L., Mundy, G. N., & Kelly, K. B. (2008). On-farm measurement of the water use and productivity of maize. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(3), 274-284.

- Grinshpan, M., Furman, A., Dahlke, H. E., Raveh, E., & Weisbrod, N. (2021). From managed aquifer recharge to soil aquifer treatment on agricultural soils: Concepts and challenges. *Agricultural Water Management*, 255, 106991.
- Guo, P., Wei, H., Zhang, W., Yang, B., & Bao, Y. (2016). The dehydration-induced ERECTA gene, MsSIK1, from alfalfa improved water use efficiency in transgenic Arabidopsis. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-12.
- Güsewell, S. (2004). N: P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New phytologist*, 164(2), 243-266.
- Hofer, D., Suter, M., Buchmann, N., & Lüscher, A. (2017). Nitrogen status of functionally different forage species explains resistance to severe drought and post-drought overcompensation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 312-322.
- Kapanigowda, M., Stewart, B. A., Howell, T. A., Kadasrivenkata, H., & Baumhardt, R. L. (2010). Growing maize in clumps as a strategy for marginal climatic conditions. *Field Crops Research*, 118(2), 115-125.
- Kayad, A. G., Al-Gaadi, K. A., Tola, E., Madugundu, R., Zeyada, A. M., & Kalaitzidis, C. (2016). Assessing the spatial variability of alfalfa yield using satellite imagery and ground-based data. *PLoS One*, 11(6), e0157166.
- Kelly, K. B., Stockdale, C. R., & Mason, W. K. (2006). The productivity of irrigated legumes in northern Victoria. 1. Effect of irrigation interval. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45(12), 1567-1576.
- Klocke, N. L., Schneekloth, J. P., Melvin, S. R., Clark, R. T., & Payero, J. O. (2004). Field scale limited irrigation scenarios for water policy strategies. *Applied engineering in agriculture*, 20(5), 623-631.
- Ko, J., & Piccinni, G. (2009). Corn yield responses under crop evapotranspiration-based irrigation management. *Agricultural water management*, 96(5), 799-808.
- Lamm, F. R., Harmony, K. R., Aboukheira, A. A., & Johnson, S. K. (2012). Alfalfa production with subsurface drip irrigation in the Central Great Plains. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1203-1212.

- Lawson, A. R., Greenwood, K. L., & Kelly, K. B. (2009). Irrigation water productivity of winter-growing annuals is higher than perennial forages in northern Victoria. *Crop and pasture science*, 60(5), 407-419.
- Lawson, A. R., Kelly, K. B., & Rogers, M. E. (2017). Grazing management of dairy pastures based on tall fescue in southern Australia. *Crop and Pasture Science*, 68(12), 1081-1090.
- Li, Y., Wang, R., Liu, H., Feng, X., Wang, B., Wang, Z., ... & Jiang, Y. (2022). Synergistic interactions between zinc and nitrogen addition in promoting plant Zn uptake as counteracted by mowing management in a meadow grassland. *Plant and Soil*, 473(1), 305-318.
- Lindenmayer, R. B., Hansen, N. C., Brummer, J., & Pritchett, J. G. (2011). Deficit irrigation of alfalfa for water-savings in the Great Plains and Intermountain West: A review and analysis of the literature. *Agronomy Journal*, 103(1), 45-50.
- Mansouri-Far, C., Sanavy, S. A. M. M., & Saberali, S. F. (2010). Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 97(1), 12-22.
- Meisser, M., Vitra, A., Deleglise, C., Dubois, S., Probo, M., Mosimann, E., ... & Mariotte, P. (2019). Nutrient limitations induced by drought affect forage N and P differently in two permanent grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 280, 85-94.
- Mengistu, D. K., & Mekonnen, L. S. (2011). Integrated agronomic crop managements to improve tef productivity under terminal drought. *Water Stress. Vienna Tech*, 1, 235-254.
- Milchunas, D. G., King, J. Y., Mosier, A. R., Moore, J. C., Morgan, J. A., Quirk, M. H., & Slusser, J. R. (2004). UV Radiation Effects on Plant Growth and Forage Quality in a Shortgrass Steppe Ecosystem¶. *Photochemistry and photobiology*, 79(5), 404-410.
- Moore, K. J., Lenssen, A. W., & Fales, S. L. (2020). Factors affecting forage quality. *Forages: The science of grassland agriculture*, 2, 701-717.
- Muir, J. P., Pitman, W. D., & Foster, J. L. (2011). Sustainable, low-input, warm-season, grass-legume grassland mixtures: Mission (nearly) impossible?. *Grass and Forage Science*, 66(3), 301-315.

- Mylonas, I., Stavrakoudis, D., Katsantonis, D., & Korpetis, E. (2020). Better farming practices to combat climate change. In *Climate change and food security with emphasis on wheat* (pp. 1-29). Academic Press.
- Neal, J. S., Fulkerson, W. J., & Hacker, R. B. (2011). Differences in water use efficiency among annual forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 98(5), 759-774.
- Neal, J. S., Fulkerson, W. J., Lawrie, R., & Barchia, I. M. (2009). Difference in yield and persistence among perennial forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Crop and Pasture Science*, 60(11), 1071-1087.
- Neal, J. S., Murphy, S. R., Harden, S., & Fulkerson, W. J. (2012). Differences in soil water content between perennial and annual forages and crops grown under deficit irrigation and used by the dairy industry. *Field Crops Research*, 137, 148-162.
- Njuki, J., & Sanginga, P. (2013). Gender and livestock: key issues, challenges and opportunities. *Women, livestock ownership and markets*, 1-8.
- Pandey, R. K., Maranville, J. W., & Admou, A. (2000). Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment: I. Grain yield and yield components. *Agricultural water management*, 46(1), 1-13.
- Pang, J., Tibbett, M., Denton, M. D., Lambers, H., Siddique, K. H., Bolland, M. D., ... & Ryan, M. H. (2010). Variation in seedling growth of 11 perennial legumes in response to phosphorus supply. *Plant and Soil*, 328, 133-143.
- Pirhofer-Walzl, K., Rasmussen, J., Høgh-Jensen, H., Eriksen, J., Sørensen, K., & Rasmussen, J. (2012). Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. *Plant and soil*, 350, 71-84.
- Preissel, S., Reckling, M., Schläfke, N., & Zander, P. (2015). Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research*, 175, 64-79.
- Qiao, C., Wang, X., Shirvan, M. B., Keitel, C., Cavagnaro, T. R., & Dijkstra, F. A. (2022). Drought and interspecific competition increase belowground carbon allocation for nitrogen acquisition in monocultures

- and mixtures of *Trifolium repens* and *Lolium perenne*. *Plant and Soil*, 481(1), 269-283.
- Rocabrana, P. C., Domene, X., Matteazzi, A., Figl, U., Fundneider, A., Fernández-Martínez, M., ... & Peratoner, G. (2024). Effect of organic fertilisation on soil phosphatase activity, phosphorus availability and forage yield in mountain permanent meadows. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 368, 109006.
- Rogers, M. J., Lawson, A., & Kelly, K. (2017). Forage options for dairy farms with reduced water availability in the southern Murray Darling Basin of Australia. *Sustainability*, 9(12), 2369.
- Rosas, A., Rengel, Z., & de la Luz Mora, M. (2007). Manganese supply and pH influence growth, carboxylate exudation and peroxidase activity of ryegrass and white clover. *Journal of Plant Nutrition*, 30(2), 253-270.
- Rudnick, D. R., & Irmak, S. (2013). Impact of water and nitrogen management strategies on maize yield and water productivity indices under linear-move sprinkler irrigation. *Transactions of the ASABE*, 56(5), 1769-1783.
- Ryan, P. R., Delhaize, E., & Jones, D. L. (2001). Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. *Annual review of plant biology*, 52(1), 527-560.
- Scharer, M. L., Fuchslueger, L., Canarini, A., Richter, A., Lüscher, A., & Kahmen, A. (2025). Post-drought organic carbon mineralization leads to high productivity and nutrient uptake efficiency of perennial grassland after rewetting. *Soil Biology and Biochemistry*, 109744.
- Schimel, J. P. (2018). Life in dry soils: effects of drought on soil microbial communities and processes. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 49(1), 409-432.
- Shahidi, R., Yoshida, J., Cougnon, M., Reheul, D., & Van Labeke, M. C. (2017). Morpho-physiological responses to dehydration stress of perennial ryegrass and tall fescue genotypes. *Functional Plant Biology*, 44(6), 612-623.
- Shepherd, A., Wu, L., Chadwick, D., & Bol, R. (2011). A review of quantitative tools for assessing the diffuse pollution response to farmer adaptations and mitigation methods under climate change. *Advances in agronomy*, 112, 1-54.

- Skinner, R. H., Gustine, D. L., & Sanderson, M. A. (2004). Growth, water relations, and nutritive value of pasture species mixtures under moisture stress. *Crop science*, 44(4), 1361-1369.
- Sojka, R. E., Bjorneberg, D. L., & Entry, J. A. (2002). Irrigation: An historical perspective. *Encyclopedia of soil science*, 1(1070), 745-749.
- Song, X., Zhu, J., He, N., Huang, J., Tian, J., Zhao, X., ... & Wang, C. (2017). Asynchronous pulse responses of soil carbon and nitrogen mineralization to rewetting events at a short-term: Regulation by microbes. *Scientific Reports*, 7(1), 7492.
- Stone, K. C., Camp, C. R., Sadler, E. J., Evans, D. E., & Millen, J. A. (2010). Corn yield response to nitrogen fertilizer and irrigation in the southeastern coastal plain. *Applied Engineering in Agriculture*, 26(3), 429-438.
- Sun, Q., Zhang, S., Peng, X., Ge, X., Wen, B., Jiang, Z., ... & Zhang, B. (2024). Alternating Partial Root-Zone Subsurface Drip Irrigation Enhances the Productivity and Water Use Efficiency of Alfalfa by Improving Root Characteristics. *Agronomy*, 14(4), 849.
- Tolk, J. A., & Howell, T. A. (2008). Field water supply: yield relationships of grain sorghum grown in three USA Southern Great Plains soils. *agricultural water management*, 95(12), 1303-1313.
- Voroney, R. P. (2007). The soil habitat. In *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (pp. 25-49). Academic Press.
- Walker, T. S., Bais, H. P., Grotewold, E., & Vivanco, J. M. (2003). Root exudation and rhizosphere biology. *Plant physiology*, 132(1), 44-51.
- Wouterlood, M., Lambers, H., & Veneklaas, E. J. (2005). Plant phosphorus status has a limited influence on the concentration of phosphorus-mobilising carboxylates in the rhizosphere of chickpea. *Functional Plant Biology*, 32(2), 153-159.
- Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual review of plant biology*, 63(1), 153-182.
- Xu, W., & Mage, J. A. (2001). A review of concepts and criteria for assessing agroecosystem health including a preliminary case study of southern Ontario. *Agriculture, ecosystems & environment*, 83(3), 215-233.
- Yang, M., & Yang, H. (2021). Utilization of soil residual phosphorus and internal reuse of phosphorus by crops. *PeerJ*, 9, e11704.

- Zhang, D., Tong, J., Xu, Z., Wei, P., Xu, L., Wan, Q., ... & Ma, H. (2016). Soybean C2H2-type zinc finger protein GmZFP3 with conserved QALGGH motif negatively regulates drought responses in transgenic *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 7, 325.
- Zhang, W., Zhao, J., Pan, F., Li, D., Chen, H., & Wang, K. (2015). Changes in nitrogen and phosphorus limitation during secondary succession in a karst region in southwest China. *Plant and Soil*, 391, 77-91.

BÖLÜM 15

KURAKLIKTAN ETKİLENMİŞ KOŞULLARDA YEM - HAYVAN BESLEME İLİŞKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493305>

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Aydın, Türkiye. feyzabilgin@adu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7435-4130

GİRİŞ

Su mevcudiyeti sorunları, suyun hayvan tüketimi, yem bitkisi üretimi ve hayvansal ürün üretim süreçlerinde kullanılmasından dolayı hayvancılık sektörünü ciddi şekilde etkilemektedir. Genel olarak, kuraklık ile hayvan ölümleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Hayvancılıkta ısı stresine karşı hassasiyet, tür, genetik potansiyel, yaşam evresi ve beslenme durumuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Daha yüksek enlemlerde artan sıcaklıklar, genellikle yerel hayvan ırklarının ısı stresine ve kuraklığa adapte olduğu düşük enlemlere göre hayvancılık üzerinde daha büyük etkilere sahiptir (Thornton ve ark., 2009). Artan sıcaklıklar, hayvanların su tüketimini iki ila üç kat artırabilir. Bu sorunu çözmek için, daha az su talep eden hayvancılık sistemlerinde ürün üretimi ve hayvan yetiştiriciliğine geçilmesi gerekmektedir (Nardone ve ark., 2010).

Yarı kurak meralardaki hayvancılık çiftçileri, düşük ve değişken yağış miktarları ile tekrarlayan kuraklıklarla başa çıkmak zorundadır. Özellikle çok yıllık kuraklıklar sırasında yem bulunabilirliğinin azalması ve hayvan ölümleri, ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Birçok pastoralist sistem, yeterli yağışın olduğu dönemlerde sürü artışı yaşar; ancak kuraklık sırasında bu döngü ciddi hayvan kayıplarıyla sonuçlanır (Vetter ve ark., 2020). Güney Etiyopya'nın Borana Mesa bölgesinde, 1983-1985 ve 1991-1993 yılları arasındaki kuraklıklar sırasıyla %37 ve %42 oranında sığır ölümlerine neden olmuştur (Desta ve Coppock, 2002). Aynı dönemlerde, Oba (2001), kuzey Kenya'da bu oranların sırasıyla %70-87 düzeyinde olduğunu rapor etmiştir.

Hayvancılık ve ürün türlerinin çeşitlendirilmesi, kuraklık ve sıcak hava dalgası toleransını artırarak hayvanların sıcaklık ve yağış stresine karşı adaptasyonunu iyileştirebilir. Ayrıca, bu çeşitlilik, iklim değişikliğiyle ilişkili hastalık ve zararlı salgınlarıyla mücadelede etkili olmaktadır (Kurukulasuriya ve Rosenthal, 2013).

Kuraklığın artması, stok suyun miktarını ve kalitesini olumsuz etkileyebilir. Su miktarındaki azalma, kalan su kaynaklarında dışkı ve idrar konsantrasyonunu artırarak hayvan performansı üzerinde negatif etkiler yaratabilir. Willms ve ark. (2002), kuyudan yalağa verilen temiz suyu tüketen inek ve düvelerin, tanktan veya havuzdan içen hayvanlardan sırasıyla %9 ve %23 daha fazla kilo aldığını bildirmiştir. Bu durum, kuraklık arttıkça çiftçilerin

yalnızca su miktarını değil, aynı zamanda su kalitesini de dikkatlice değerlendirmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

1. KURAK KOŞULLARDA YEM MİKTARINDAKİ DEĞİŞİMİN HAYVANLARA ETKİSİ

Bitki ve hayvan çeşitliliği, çeşitli kurak ortamlarda mekansal ve zamansal olarak birbirine bağlıdır (Milton ve Dean, 2010). Bu ortamlarda ekosistem verimliliği genellikle yağış miktarı ile doğrusal bir artış göstermektedir (Sullivan ve Rohde, 2002). Kuraklık, mevcut yem miktarında azalmaya yol açarak hayvan üretimini olumsuz yönde etkiler. Yem üretimindeki bu azalma, ek besleme maliyetlerinin artmasına veya sürü azaltılması gereksinimine sebep olabilir. Uzun vadeli kuraklık kalıpları, açık artırma tesislerinde satılan sığır sayısının anormal derecede yüksek olmasına ve yerel hayvan pazarında kısa vadeli fiyat düşüşlerine neden olabilmektedir. Bu durum, toplam hayvan sayısında azalma ve ulusal ölçekte daha yüksek pazar fiyatları ile sonuçlanabilir. Ayrıca, kuraklık sonrası pazar eğilimleri, sürü azaltımı sonrası yeniden yapılanmayı finansal açıdan zorlaştırabilir; çünkü daha fazla sayıda ikamenin daha büyük bir doğrudan fırsat maliyetiyle gerekli olduğu bir yapı oluşur. Kuraklık, aylık yağışta meydana gelen her bir inçlik azalma ile yem kalitesini etkileyerek ham protein seviyesinin %3'e kadar düşmesine neden olabilir (McCuistion ve ark., 2014).

Son yıllarda, sığır eti fiyatlarındaki eğilimler, süt üretimi ve büyüme için yapılan seleksiyon ile kuraklık tahminleri göz önüne alındığında, mera otlatma işletmelerinin üreme verimliliğinden ödün vermeden üretim maliyetlerini minimize etmeleri gerekliliğini ortaya koymaktadır. Hayvancılık yöneticileri, kuraklık nedeniyle meydana gelen olumsuz etkilere uyum sağlamak ve bu etkileri önceden planlayabilmek için modern hayvancılık seleksiyon stratejilerini entegre etmeyi değerlendirmelidir. Otlatılan yem, inek sürüsü için en ucuz besin kaynağı olmaya devam ettiğinden, yem kullanımı ve üreme etkinliğini optimize etmek amacıyla inek boyutunu ve süt üretim potansiyelini mevcut yem kaynaklarıyla uyumlu hale getirmek, etkili bir kuraklık azaltma stratejisi olarak düşünülmelidir (Scasta ve ark., 2016).

Hayvancılık sektörü, kurak koşullara fazlasıyla aşinadır; çünkü çiftçiler, meralarında yağış miktarındaki değişkenliğe sürekli olarak uyum sağlamak zorunda kalmıştır. Yaygın kuraklık yönetimi kararları genellikle sürü

boyutunun azaltılması ve hasat edilen yemlerin kullanılması şeklinde uygulama bulmuştur. Ancak, bu geleneksel yöntemler uzun vadeli kuraklığın etkilerini hafifletmekte yeterli olmamaktadır. İklim tahminlerine göre, önümüzdeki yıllarda kuraklık sıklığı ve şiddetinin artması ve bunun hayvan üreticileri için daha büyük zorluklar oluşturması beklenmektedir. Bu bağlamda, hayvan üreticilerinin uzun vadeli ve entegre yönetim stratejilerine yönelmesi gerekmektedir. Hayvanların çevre koşullarıyla uyumlu hale getirilmesi, etkili bir kuraklık yönetim stratejisidir. Bununla birlikte, hayvancılık sektörü genellikle zorlu mera koşullarına en uygun olmayan hayvan türlerinin seçimi için teşvik edilmektedir. Bu durum, hayvan özelliklerinin artıları ve eksilerinin dikkatle tartılmasını ve hayvanların çevreyle etkileşimlerinin anlaşılmasını, ardından entegre kuraklık yönetim planlarının geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Scasta ve ark., 2016).

2. KURAK KOŞULLARDA YEM KALİTESİNİN HAYVANLARA ETKİSİ

Düzensiz yağış dağılımı, otçullar için mevcut yem miktarı ve kalitesinde dalgalanmalara yol açmaktadır (Abusuwar ve Ahmed, 2010). Yem bitkilerinin besin kalitesi, mevsimlere göre farklılık göstermektedir (Marshal ve ark., 2005). Yağış miktarı, meralardaki yem bitkilerinin mineral bileşimlerini de etkilemektedir. Örneğin, kalsiyum, kuraklık dönemlerinde bitkilerde birikme eğilimindeyken, toprak neminin yüksek olduğu durumlarda su içeriğinin artışıyla daha düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Buna karşılık fosfor, yüksek yağış koşullarında bitkilerde daha yüksek konsantrasyonlara ulaşmaktadır (Amari, 2016).

Yem kalitesi; yem genotipi, bitki olgunluğu, mevsim, kaliteyi düşüren besinsel faktörler ve yönetim gibi çeşitli unsurlardan etkilenmektedir. Örneğin, baklagiller, aynı olgunluktaki otlara kıyasla protein ve kalsiyum açısından daha zengindir (Njidda ve ark., 2012). Hayvanlar genellikle besin açısından daha zengin ve toksin açısından daha düşük yemleri tercih etmekte ve ayrıca bitki türleri, bitki parçaları ve yemleme alanları arasında seçici beslenme davranışı göstermektedir. Bu nedenle, meralardaki yem miktarı ve kalitesindeki değişimler, hayvancılık performansında çeşitliliğe neden olmaktadır (Amari ve Mohamed Shariff, 2012). Ayrıca, hayvanlar genellikle yem bitkilerinden oluşan karışık diyetleri seçme eğilimindedir (Estell ve ark., 2014). Bitkilerin

besin bileşimlerini ve dolayısıyla yemlerin besin değerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında toprak tipleri, su bulunabilirliği ve iklim değişikliği yer almaktadır (Andueza ve ark., 2010).

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki yem koşulları, yağış miktarındaki öngörülemezlikler mekansal ve zamansal kalıplar tarafından belirlenmektedir. Otçulların diyet tercihleri, yem koşullarındaki zamansal ve mekansal değişkenliklerin dayattığı sınırlamalar dahilinde en acil besin ihtiyaçlarını (yani enerji, protein, nem) karşılamayı amaçlamalıdır (Cain ve ark., 2017). Kurak ve yarı kurak bölgelerde, kuraklığa bağlı olarak yaprak döken çalılarda ve ağaçlarda meydana gelen aralıklı yaprak kaybı, mevcut yem proteini miktarının azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, genellikle toynaklılar için protein açısından yetersiz diyetlerle sonuçlanmaktadır. Uzun süreli düşük proteinli diyetler, kısa süreli ıslak dönemlerde yüksek proteinli yemlerin öngörülemezlikler üretimi ile birleşerek, özellikle kuru dönemlerde yüksek proteinli yemlere yönelik artan bir talep doğurabilir. Ayrıca, sınırlı yüzey suyuna sahip kurak ortamlarda bulunan toynaklılar, enerji veya protein seviyelerinden bağımsız olarak, kısmen yemlerin nem içeriğine göre tercih yapmaktadırlar. Yemdeki nem içeriğinin azalması durumunda, hayvanlar su dengelerini korumak adına yüksek su içeriği ve düşük protein ile enerji içeriği bulunan bitki türlerini seçmektedirler. Örneğin, kaktüslerin yüksek su ve düşük protein içeriğine sahip olduğu bilinmektedir (Cain ve ark., 2008).

Yem kalitesi, bir bitkinin içsel özelliği olarak değerlendirilemez. Yem kalitesinin tanımı ve optimizasyonu, hayvanın türüne, sınıfına, yaşam evresine, rasyondaki yem karışımına, yem bitkilerinin türüne ve gelişim evresine bağlıdır. Örneğin, yüksek verimli laktasyondaki bir süt ineği için en uygun yem, otlayan bir keçi, at veya sığır için en iyi veya en uygun maliyetli yem olmayabilir. Yulaf samanının kalitesinin optimizasyonu, kırmızı üçgülde kalite optimizasyonundan farklıdır. Bu nedenle, optimal yem kalitesi hem hayvan hem de bitki faktörlerinin bir fonksiyonudur. Yem kalitesi, her zaman koku, kimyasal, işlevsel ve fiziksel faktörleri de içeren besin özelliklerinin karmaşık bir kombinasyonudur. Örneğin, CP konsantrasyonu önemli bir kalite göstergesidir; ancak proteinin bulunabilirliği (yani sindirim kapsamı ve hızı) de kritik bir faktördür. NDF içeriği düşük olan ve sindirilebilir çözünür karbonhidratlar açısından zengin yem bitkileri genellikle tercih edilir; ancak NDF'nin kendisi hayvan beslenmesi için önemli işlevler taşır ve hayvanın

sınıfına ve rasyona bağlı olarak mutlaka en aza indirgenmesi gerekmez. Ayrıca, yüksek kaliteli analizlere sahip yemler, toksin içeren otlar veya küf nedeniyle düşük lezzet ile fiziksel kalite sorunları gösterebilir (Putnam ve Orloff, 2014).

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki yem koşulları, yağıştaki öngörülemeyen mekansal ve zamansal kalıplardan etkilenmektedir. Otçulların diyet tercihleri, bu koşullarda yem koşullarındaki zamansal ve mekansal değişkenliklerin dayattığı kısıtlamalar dahilinde en temel besin ihtiyaçlarını (enerji, protein, nem) karşılamayı hedeflemelidir. Yapılan bir çalışmada, yağış kaynaklı değişimlerin yem besin kalitesi üzerindeki etkileri ve kurak bir ortamda farklı yağış koşullarına maruz kalan büyük otçulların tepkileri incelenmiştir. Araştırmada, çalı ve otsu bitkilerin azot ve nem içeriğinin mevsimsel ve iklimsel dönemlere göre farklılık gösterdiği; ağaçlarda ise sürekli olarak yüksek azot ve orta düzeyde nem seviyelerinin bulunduğu tespit edilmiştir (Cain ve ark., 2017).

Kuraklık, yem bitkileri üzerinde çeşitli olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Yem kalitesi, yem bitkisinin olgunlaşma aşamasına ve yağış olaylarına bağlı olarak artabilir veya azalabilir. Orta düzeyde stres, bitkilerde gövde büyümesini azaltmakta ve bunun sonucunda daha yüksek yaprak-gövde oranına sahip bitkiler oluşmaktadır. Bu durum, strese maruz kalmayan bitkilere kıyasla daha kaliteli yem bitkilerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ancak, kuraklık nedeniyle şiddetli su stresi yaşandığında, bitki büyümesindeki yavaşlama süreci hızlanmakta ve bu durum genel yem kalitesinde bir düşüşe yol açmaktadır (McCuiston ve ark., 2014).

3. KURAKLIKTA SÜRÜ YAPISI VE SÜRÜ FARKLILAŞTIRMA

Sert kuraklık koşullarıyla başa çıkmak için, yem ve su kıtlığına daha iyi adapte olmuş bir hayvan olarak keçi yetiştiriciliği önerilmektedir (Haenlein, 2001; Davendra, 2012). Silanikove (2000), keçileri becerikli otlatma hayvanları olarak tanımlamış ve düşük kaliteli kaba yemleri etkili bir şekilde sindirme yeteneklerine vurgu yapmıştır.

Sert iklim koşulları, Afrika çobanlarının hayvancılık yönetimlerini kıta genelinde değişen iklim koşullarına adapte etmelerini sağlamıştır (Seo ve Mendelsohn, 2008). Küçük geviş getiren hayvanların karışık sürülerinin yetiştiriciliği gibi stratejiler, kurak ve yarı kurak bölgelerde çobanların

ekonomik bağımsızlıklarını sürdürmelerini kolaylaştırmıştır (Rust ve Rust, 2013). Güney Afrika'daki meralarda, ticari ve pastoral çiftçilik sistemleri olmak üzere iki ana yönetim sistemi bulunmaktadır. Ticari çiftçilik uygulamaları çoğunlukla özel arazilerde yapılırken, çobanlık kırsal toplulukların büyük bir bölümünde hâlâ temel bir geçim kaynağıdır. Bu meralar, kaynakların ve bitki çeşitliliğinin mekansal ve zamansal değişkenliğinin yüksek olduğu heterojen manzaralar olarak tanımlanmaktadır (Desmet, 2007). Bu, çobanlara farklı ortamlar ve mevsimlere bağlı olarak hayvanları için çeşitli otlatma alanlarını keşfetme fırsatı sunmaktadır (Samuels ve ark., 2013). Bitkisel üretimdeki değişkenlik ve öngörülemezlik, mevcut yem kalitesinde ve miktarında dalgalanmalara neden olarak hayvanların verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Abusuwar ve Ahmed, 2010; Amary, 2016). Ancak hayvanlar, yem miktarı ve kalitesindeki değişikliklere uyum sağlamak için çeşitli mekanizmalar geliştirmiştir. Örneğin, Kenya'daki mera koyunları, diyetlerindeki yüksek yem çeşitliliği nedeniyle ara besleyiciler olarak tanımlanmakta ve bu durum, yem kalitesi ve miktarındaki mevsimsel değişikliklere uyum sağlamak için bir mekanizma oluşturmaktadır (Finch ve ark., 2016). Kuraklık, meralardaki bitki kompozisyonunda değişikliklere yol açarak küçük geviş getiren hayvanlar için yem bulunabilirliğini etkileyebilmektedir. Fynn ve O'Connor (2000), Güney Afrika'nın yarı kurak çalılık bölgelerinde 1991-1992 yılları arasında meydana gelen kuraklığın botanik kompozisyonu büyük ölçüde değiştirdiğini ve bu durumun sığırlar için ciddi bir yem yetersizliğine neden olduğunu belirtmiştir.

Bazı hayvan türleri, yağışa tepki olarak göçebe davranışlar sergilerken, çöl ortamlarında yaşayan diğer toynaklılar, parçalanmış yaşam alanları nedeniyle daha sınırlı hareketlere sahiptir. Bu nedenle, bu hayvanlar yem koşullarındaki çeşitlilikle başa çıkabilmek için hareket kalıplarını, yiyecek aramaya ayırdıkları zamanı ve diyet seçimlerini ayarlamaktadırlar (Owen-Smith ve Cain, 2007). Örneğin, kuraklık dönemlerinde tercih edilen yem türlerinin azalması veya otçul yoğunluklarının artması durumunda, hayvanlar genellikle alım oranlarını korumak için daha az tercih edilen bitki türlerini içeren daha geniş bir diyet tercih etmektedir. Ancak, iklim koşulları veya rekabet artışı nedeniyle yem bolluğundaki azalmalara bağlı olarak diyet genişliğinde daralma da gözlemlenmiştir (Nicholson ve ark., 2006).

Hayvanların çevreyle uyumlu hale getirilmesini hedefleyen otlatma operasyonlarında kuraklık azaltma stratejileri arasında; sığır ırkı ve deri rengine

göre ısı stresine bağlı performans kayıplarını değerlendirme, melez hayvanların ve alternatif yem kaynaklarının (örneğin, *Prosopis glandulosa* gibi çalılar) envantere dahil edilmesi, kuraklık dönemlerinde yem arz ve talebini dengeleme, meraları dinlendirerek stoklama ve açık renk deri rengine sahip melez hayvanları tercih etme gibi yaklaşımlar bulunmaktadır (Scasta ve ark., 2016). Kuraklığa bağlı yem arzındaki düşüş, sığır pazarlarında makroekonomik etkiler yaratarak üreticiler için gelir kaybına ve maliyet artışlarına yol açabilir. Yaygın kuraklık koşulları, birçok üreticinin aynı anda sürülerini azaltmasına neden olabilmekte ve bu durum sığır arzının artarak fiyatlarda önemli düşüşlere yol açmasına neden olmaktadır (Scasta ve ark., 2016). Örneğin, 2010-2013 kuraklığı sırasında, yalnızca Teksas'ta 3,23 milyar dolarlık rekor düzeyde hayvan kaybı yaşanmış ve bazı eyaletlerde sığır envanterleri kuraklık öncesine göre %23 oranında azalmıştır (Rippey, 2012).

Sürdürülebilir hayvan stoklama oranlarının belirlenmesi, 20. yüzyılın ortalarında mera biliminin en önemli zorluklarından biri olmuştur (Thomas ve ark., 2015). Stoklama oranı, birim zaman başına bir arazi birimindeki hayvan sayısını ifade eder ve aylık ya da yıllık olarak hesaplanabilir. Bu oran, çiftçiler tarafından alınan en önemli kararların başında gelir; çünkü bu karar, çiftliklerin kârlılığı ve uzun vadeli sürdürülebilirliği üzerinde doğrudan etkilidir (Redfearn ve Bidwell, 2003). Yağış miktarı, yem büyümesi, buzağılama oranı, kilo alımı ve satış fiyatı gibi değişkenler, mera hayvancılığının üretim döngüsündeki kritik faktörler arasında yer alır. Bazı çiftlikler, mera yemini desteklemek için sulanan yem bitkisi üretimini içermektedir; ancak meralar genellikle ana yem kaynağı olma niteliğini korumaktadır. Kalıcı kuraklık koşulları altında, çöl çayırları bitki örtüsünün kaybolmasına ve istilacı türlere karşı daha hassas hale gelmektedir. Bu durum, odunsu çalılar gibi alternatif ekosistemlere geçiş olasılığını artırmaktadır. Hart ve Carpenter (2005), Büyük Ovalar ve Dağlık Batı (ABD) bölgelerinde kuraklık sırasında taşıma kapasitesinin normal yıllardakine kıyasla %50-70 oranında düşebileceğini tahmin etmiştir.

Stoklama oranı ile bitki üretimi arasındaki ilişkilerin anlaşılması, meraların sürdürülebilir yönetimi için temel bir öneme sahiptir. Uygun stoklama oranının belirlenmesi, bitki örtüsü, hayvancılık, yaban hayatı ve ekonomik getiriler açısından tüm otlatma yönetimi kararlarının en kritik adımıdır. Hafif otlatma (%20-30 oranında birincil yem türlerinin kullanımı), kurak yıllarda hayvan yoğunluğu ayarlamalarına olan ihtiyacı azaltabilir ve

kuraklık sonrası meraların muhafazakar otlatmaya kıyasla daha hızlı toparlanmasını sağlayabilir (Khumalo ve ark., 2007).

Çiftçilik literatüründe iki ana stoklama stratejisi önerilmektedir: kuraklık dönemleri için sabit bir tampon sağlayan muhafazakar (veya hafif stoklama) ve kuraklık yıllarında zamanında stok azaltma ile orta stoklama. Muhafazakar stoklama oranları, normal yağışlı yıllarda yemin tükenmemesini ve yer kalmasını sağlar. Kuraklık durumunda ise bu stoklama yöntemi, sürünün, kârın ve meraların ayakta kalmasını destekler. Yoğun stoklama oranı ise bu üç cephede (sürü, kâr ve meralar) kayıplara neden olur. Muhafazakar stoklama, düşük riskli bir strateji olup kuraklık koşullarında çiftçilerin en büyük risk kaynağını azaltma potansiyeline sahiptir (Shrum ve ark., 2018). Hafif stoklama, özellikle çöl alanlarında en karlı uzun vadeli strateji olarak değerlendirilmektedir ve muhafazakar stoklama, dinamik kuraklık tahminleri veya aktif kuraklık yönetimi açısından düşük riskli, düşük getirili bir strateji olarak öne çıkmaktadır (Thomas ve ark., 2015).

Sığır üretimi, sütten kesme yüzdesi ve buzağı ağırlık kazanımı gibi parametrelerle belirlenmektedir. Sütten kesme yüzdesi, sürüde doğum yapan ve buzağıyı başarıyla sütten kesen ineklerin oranıdır. Buzağı ağırlık kazanımı ise bir buzağının belirli bir zaman diliminde aldığı toplam ağırlığı ifade eder. Sütten kesme ağırlığı ise buzağının sütten kesildiği zamandaki ağırlığıdır. Buzağının doğum ağırlıkları ve vücut kondisyonları gibi temel sığır özellikleri, çiftçilerin uzun vadede yaptığı genetik seleksiyonlarla şekillenmektedir. Son dönem literatürde, hayvan genetik parametrelerinin iklim ve mera koşullarına uygun hale getirilmesine yönelik daha fazla çaba gösterilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Scasta ve ark., 2015).

Sütten kesme yüzdesi ve kilo alımı, yem miktarına ve yağış oranlarına güçlü bir şekilde bağlıdır. Sütten kesme yüzdesi, inek-buzağı işletmelerinin karlılığında kritik bir faktör olup ineklere sağlanan yem ve ek yemle doğrudan ilişkilidir. Doğum oranı ise vücut kondisyonuna güçlü bir şekilde bağlıdır. Vücut Kondisyon Puanlaması (VKP), ineğin vücut enerji rezervini tahmin eden ve 1 ile 9 arasında değişen bir sayısal sistemdir. 1 puan zayıf bir ineği, 9 puan ise obez bir ineği temsil etmektedir. Araştırmalar, VKP ile üreme performansı arasında güçlü bir korelasyon olduğunu ortaya koymaktadır. VKP'si 5 veya daha yüksek olan ineklerin gebelik oranı %85 veya daha fazla iken, VKP'si 4

veya daha düşük olan ineklerin gebelik oranı %60 veya daha düşük olmaktadır (Eversole ve ark., 2009).

Mevcut yem miktarı, sığır kilo alımı için temel bir faktördür; çünkü yem üretimi genellikle yağış oranlarıyla kontrol edilmektedir. Bu nedenle bazı çalışmalar, yemi doğrudan yağış miktarı ile ilişkilendirmektedir. Yağış ve sütten kesme ağırlığı arasında pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Scasta ve ark., 2015). Grings ve ark. (2005), yağış azalmasının yemin besin değerini düşürdüğünü ve buzağı ağırlık kazanımı üzerindeki etkilerini daha da belirgin hale getirdiğini ifade etmektedir. Scasta ve ark. (2015), yağışta her bir inçlik azalma için sütten kesme ağırlığında 7 ila 14 lb'lik bir düşüş gözlemlendiğini belirtmiştir.

Mısır'daki Batı Çölü Kıyı Bölgesi, İskenderiye'nin doğusundan Libya sınırının batısına kadar yaklaşık 500 kilometre boyunca uzanan, tarihsel olarak sıcak ve kuru bir pastoral alan niteliğindedir. Bölgede, koyun ve keçi yetiştiriciliği, bazı develerle birlikte, geçim kaynağı olarak başlıca sosyoekonomik faaliyetleri oluşturmaktadır. Son yıllarda, bu bölge demografik büyüme, kentleşme, turistik gelişme ve doğu kesiminde arazi ıslahı gibi büyük değişimlere tanıklık etmiştir. Daha yakın dönemde ise bölge, düşük ve düzensiz yağışların yanı sıra 1995'ten 2011'e kadar süren uzun bir kuraklık dönemi ile karşı karşıya kalmıştır.

Siva Çöl Vahası'nda keçiler, 0,68'lik dişi geyik/koyun oranı ile baskın türler olarak yer almaktadır. Ayrıca, bu bölgedeki yetiştiricilerin %20'sinin yalnızca keçi yetiştiriciliği ile uğraştığı tespit edilmiştir. Yetiştiriciler, keçilerin diğer hayvan türlerine kıyasla düzenli kuraklık olayları da dahil olmak üzere iklim değişikliklerine daha fazla esneklik sağlaması nedeniyle tercih edildiğini ifade etmişlerdir. Yağmurla beslenen alanlarda faaliyet gösteren yetiştiriciler, kuzularını ve oğlaklarını sütten kestikten hemen sonra pazarlamak zorunda kalmaktadır. Bunun yanı sıra, olgun dişi koyunlar, yetiştiriciler için yıllar boyunca yem satın almak üzere nakit varlık işlevi görmektedir (Aboul-Naga ve ark., 2014).

4. KURAKLIKTA SÜRÜ OTLATMA YÖNETİMİ

Rotasyonel otlatma sistemi, meraların sürdürülebilir yönetimi ve genel sağlığının iyileştirilmesi açısından önemli bir yöntemdir. Bu sistem, bitkilere otlatma sonrası dinlenme fırsatı sağlayarak daha güçlü bitki gelişimi ve kök

sistemlerinin daha iyi şekilde oluşmasına katkıda bulunur. Kuraklık meydana geldiğinde, bitkiler daha iyi durumda olduğu için hasarlar en aza indirilmektedir. Rotasyonel otlatma sisteminde, meralardaki dinlenme sürelerinin uzatılması amacıyla sistem içindeki mera sayısının artırılması veya tek bir meradaki kalış süresinin uzatılması önerilmektedir. Bu yaklaşım, kuraklık sırasında bitkilerin dayanıklılığını artırmak ve kök rezervlerini korumak için etkili bir çözüm sunmaktadır.

Hayvanların genellikle otlatılmayan alanlara yönlendirilmesi, meraların aşırı kullanımdan kaynaklanan yıpranmalarını azaltabilir. Bunun için çitler, tuz, takviye, mineral kaynakları ve geçici sulama tesisleri gibi unsurların stratejik olarak yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu yöntem, daha yoğun otlatılan alanlara dinlenme fırsatı sağlayarak meraların uzun vadede toparlanmasına katkıda bulunabilir. Kuraklık dönemlerinde yapılan stoklama oranları ve otlatma yönetimi kararlarının, yalnızca mevcut koşulları değil, aynı zamanda kuraklık sonrasında mera bitkilerinin iyileşme hızını da doğrudan etkilediği belirtilmektedir (Hart ve Carpenter, 2005).



Şekil 1. Kurak ve yarı kurak koşullara adapte olmuş Corrientes sığır ırkı

Kaynak: Scasta ve ark., 2016

Pastoralizm, yarı kurak alanlardaki kaynak çeşitliliğine bir adaptasyon olarak gelişmiştir; çünkü sürüler daha yüksek kalitede yem arayışıyla otlatma alanları arasında taşınmaktadır (Samuels, 2013). Pastoralistler, genellikle

hayvancılık verimliliğini artırmak için yüksek kaliteli meralara sahip alanları tercih etmektedir. Ancak, kurak ortamlarda hayvan otlatmaya yönelik uygunsuz yönetim teknikleri, yem çeşitliliği ve diğer doğal kaynakların azalmasına neden olmaktadır (Strauch ve ark., 2009).

New Mexico'nun (ABD) güney yarısı ile kuzey orta Meksika'da yer alan Chihuahuan Çölü meraları, yaklaşık yarım milyon hayvan birimine ve çok sayıda yaban hayatı türüne ev sahipliği yapmaktadır. Ancak, kuraklık ve kırılgan toprak yapısı nedeniyle bu meralar, kötü kontrol edilen otlatma uygulamaları sonucunda kolaylıkla zarar görebilmektedir. Birincil yem türlerinin %31 ila %40 kullanımını hedefleyen muhafazakar stoklama uygulaması, Chihuahuan Çölü'nde başarılı bir yönetim stratejisi olarak benimsenmiştir. Bu yöntem, ortalamanın altında yağış alınan yıllarda stoklama oranlarının azaltılmasına duyulan ihtiyacı minimuma indirirken, benzer ya da daha yüksek net finansal getiriler sağlamaktadır. Ayrıca, hayvan performansını iyileştirmekte, değişken maliyetleri azaltmakta ve orta düzeyde otlatmaya (birincil yem türlerinin %41 ila %50 kullanımı) kıyasla yem verimliliğini artırmaktadır (Holechek ve ark., 2003). Uzun ve kısa vadeli sürü yönetimi kararları, yem beklentilerindeki değişimlere göre uyarlanmalı ve hem ekonomik getiriler hem de mera ekosisteminin durumu açısından olası sonuçlar dikkatlice değerlendirilmelidir (Derner ve Augustine, 2016).

5. KURAKLIKTA SÜRÜYÜ EK BESLEME

Kuraklığa işletme yanıt seçenekleri arasında çeşitli stratejiler bulunmaktadır. Bu stratejiler arasında; (1) hayvan sürüsünü muhafazakâr bir şekilde beslemek (Coppock, 2011), (2) yem stoklamak (Kachergis ve ark., 2014), (3) hayvan ve bitki türlerini çeşitlendirmek (örneğin ağaç tarımı veya karma ürün-hayvancılık sistemleri) (Wilmer ve ark., 2016), (4) yem veya hayvan sigortası yaptırmak (Derner ve Augustine, 2016), (5) ot üretimini artırmak (Coppock, 2011), (6) sürüdeki hayvanların kurağa dayanıklılığını artırmak amacıyla sürü ıslah stratejisini değiştirmek (Rojas-Downing ve ark., 2017), (7) kuraklık sonrası hayvancılığa ara vermek (Wilmer ve ark., 2016), (8) meraları rotasyona sokmak ve daha kısa süreli otlatmak (Kachergis ve ark., 2014), (9) ek yem veya ot kullanmak ve yem israfını azaltmak (Ritten ve ark., 2010), (10) ek mera kiralamak (Derner ve Augustine, 2016), (11) hayvanları meradan besi çiftliklerine taşımak (Kachergis ve ark., 2014), (12) sürü

boyutunu azaltmak (Wilmer ve ark., 2016) ve (13) buzağıları erken süttten kesmek (Johnson ve ark., 2015) yer almaktadır.

Sürüye yem tedarikini artırmanın iki temel yöntemi bulunmaktadır: yem satın almak ve ek mera kiralamaktır (Eakin ve Conley, 2002). Yem satın almak, ikincil bir yem kaynağı sağlayarak meradaki genel stresi azaltmaktadır. Ek mera kiralamak ise, hayvanları otlatmak için başka bir alana taşımayı içermekte ve bu yöntem, yem talebini karşılamanın yanı sıra çiftçinin kendi merasında yem baskısını azaltmaktadır (Derner ve Augustine, 2016). Uzun vadeli kuraklığa uyum sağlamak için en yaygın kullanılan yöntemler muhafazakâr hayvancılık ve ek yem satın alma olarak belirlenmiştir (Macon ve ark., 2016). Muhafazakâr hayvancılık, meraların teorik taşıma kapasitesinin altında yoğunluklarda otlatma anlamına gelmektedir (Wilmer ve ark., 2016).

Kuraklık, yem miktarını ve kalitesini olumsuz etkilediğinde, hayvan yetiştiricileri genellikle ek besleme konusunda karar vermek durumunda kalmaktadır. İlk olarak, ek beslemeyi karşılayıp karşılayamayacaklarını belirlemeli ve karşılayabiliyorlarsa, hangi takviyeleri sağlayacaklarına ve besleme sürecini nasıl yöneteceklerine karar vermelidirler. Kuraklık devam ederse veya kötüleşirse, ek takviyeyi ne zaman durduracaklarına ve hayvan satışına ne zaman başlayacaklarına dair bir plan yapmaları gerekmektedir. Hayvanların vücut durumunu izleyerek hangi besinlerin eksik olduğunu ve hangi tür ile miktarda ek takviyenin bu eksiklikleri giderebileceğini belirlemek için yem testi ve dışkı analizi gibi araçlar kullanılabilir. Bu analizler, serbest dolaşan hayvanların diyet kalitesine ilişkin değerli bilgiler sağlamaktadır (Carpenter ve Hart, 2001a). Özellikle kuraklık dönemlerinde ek yemlerin maliyetinin artması nedeniyle, ek besleme sürecinin zamanlaması sürdürülebilir yönetim hedefleri açısından kritik bir önem taşımaktadır (McCuiston ve ark., 2014).

Yarı kurak otlatma sistemlerinde iklim riski yönetimi, risklerin azaltılması ve üretkenliğin artırılması amacıyla karar analizlerinin ve kuraklık bilgilerinin entegre edilmesini gerektirmektedir. Her kuraklık adaptasyon seçeneği, çiftlik işletmeleri için maliyet ve gelir etkilerinin yanı sıra, mera ekosistemleri üzerinde de potansiyel olarak uzun vadeli etkiler oluşturabilmektedir. Büyüme sezonunun ilerleyen dönemlerinde kuraklık nedeniyle yaşanan yem sıkıntısı beklentisi ile satın alınan ek yemler, karlılığı azaltan gereksiz bir masrafa dönüşebilmektedir. Kuraklığın devam edip

etmediğini görmek için alınan kararlar, yem kıtlığı yaşama, şişirilmiş fiyatlarla saman satın alma, sığırları planlanandan daha düşük ağırlıklarda erken satma veya üretkenliğin desteklediğinden daha yoğun otlatma yaparak mera alanlarını zorlamayı içerebilmektedir. Kuraklık sırasında bozulan meralar, kuraklık sona erdiğinde toparlanması zaman alacak şekilde zarar görmektedir ve yem üretimini azaltabilecek istilacı türlere karşı daha hassas hale gelebilmektedir. En kötü senaryoda, çiftçiler kendilerini düşük verimli meralar, pahalı yem satın alma, şişirilmiş fiyatlarla mera kiralama ve sürülerini düşük piyasa değerinde satmak zorunda kaldıkları bir durum içinde bulabilmektedir (Shrum ve ark., 2018).

Mevcut yem kaynaklarının otlatma süresini uzatmak veya kısmen değiştirmek için saman ve yüksek enerjili takviyeler kullanılabilir. Tahıl takviyelerinin, gün atlanarak miktarı artırılmak yerine günlük olarak verilmesi daha etkili olacaktır. Bu yöntem, asidoz sorunlarını kontrol altında tutmaya ve tahılın mera yeminin sindirilebilirliği üzerindeki engelleyici etkilerini azaltmaya yardımcı olur. Alternatif olarak, buğday kepeği, soya kabukları ve fıstık kabukları gibi sindirilebilir lif açısından zengin takviyeler, yem kaynaklarını genişletmek için kullanılabilir. Bu takviyeler enerji sağlayabilir, ancak nişasta oranları düşük olduğundan mera yeminin sindirilebilirliği üzerindeki olumsuz etkileri azaltmaktadır.

Kuru dönemdeki inek veya koyun rasyonlarında, rumen mikrobiyotasının korunması ve etkin lif sindiriminin sürdürülebilmesi için en az %7 ham protein düzeyi gereklidir. Bu durum, uykudaki veya kuraklıktan etkilenen yemlerde genellikle proteinin ilk sınırlayıcı besin olduğunu göstermektedir. Bu tür eksiklikleri gidermek amacıyla, enerji takviyesi olarak melas gibi ek yem kaynakları kullanılabilir; melas doğrudan tüketilebilmekte ve genellikle protein katkısı içermektedir. Ancak bazı formüle edilmiş melas takviyeleri, birincil protein kaynağı olarak üre gibi yüksek seviyelerde protein olmayan azot (NPN) içerebilir. Yüksek NPN içeren takviyeler, kuraklık koşulları için uygun değildir. Bu tür takviyeler yalnızca yem bolluğu olduğunda, diyet protein gereksinimleri düşüken (örneğin kuru ve olgun dişilerde) kullanılmalıdır.

Hayvanları yaşlarına, vücut kondisyonlarına ve fizyolojik durumlarına göre (örneğin büyüyen veya olgun, emziren veya emzirmeyen) sınıflandırmak ve uygun besleme stratejileri uygulamak önemlidir. Doğal protein açısından

zengin takviyeler haftada iki kez veya daha seyrek şekilde verilebilirken, yüksek enerjili takviyeler asidoz riskini önlemek için günlük olarak verilmelidir. İyi kalitede 1:1 kalsiyum-fosfor minerali kullanılmalı ve diyetle yeşil yem bulunmasının üzerinden 3 ila 4 aydan fazla zaman geçtiyse, A vitamini enjekte edilmeli veya düzenli olarak verilen takviyeler aracılığıyla sağlanmalıdır (Carpenter ve Hart, 2001a).

Çok yıllık yem bitkileri, su mevcudiyetini daha iyi optimize etmeleri nedeniyle kuraklıktan kaçan yıllık bitki türlerine değerli bir alternatif olabilir. Sonbahar yağmurlarının başlangıcında hızlı yeniden büyüme göstermeleri ve ilkbaharın sonlarında kalan nemi daha verimli bir şekilde kullanmaları, onları avantajlı kılmaktadır. Kamışsı yumak (*Festuca arundinacea* L.) ve domuz ayrığı (*Dactylis glomerata* L.), yarı kurak ortamlar için ana çok yıllık yem bitkisi türleri olarak kabul edilmektedir (Annicchiarico ve ark., 2013).

6. ZEHİRLİ OTLAK BİTKİLERİ

Zehirli bitkiler, kuraklık dönemlerinde hayvancılık için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu dönemde, sınırlı sayıda alternatif mera bitkisi bulunduğundan hayvanlar mevcut bitkileri daha fazla tüketmeye yönelir. Mevcut bitki kompozisyonunda ise, daha lezzetli mera bitkilerinin çoğu erken olgunlaşma sebebiyle kururken, bu sırada zehirli bitkiler genellikle hâlâ yeşil kalmaktadır. Bu durum, zehirli bitkilerin göreceli olarak daha lezzetli görünmesine ve kullanımda artış göstermesine neden olmaktadır. Kuraklık sürecinde hayvanların fosfor veya A vitamini eksikliği gibi faktörler de otlatma davranışını değiştirerek bu sorunları daha da kötüleştirebilmektedir. Zehirli bitkileri yönetmenin ilk adımı, bu bitkileri tanımlayabilmektir. Hayvanlar için zehirli olan bitkiler doğru şekilde teşhis edilmeli, bu bitkileri zehirli yapan özellikler anlaşılmalı ve hayvanların bu bitkileri tüketmesi durumunda ortaya çıkan semptomlar tanınmalıdır. Hayvanların zehirlenmesini önlemek, zehirlenmiş hayvanları tedavi etmekten daha kolaydır (Carpenter ve Hart, 2001b).

Akdeniz bölgelerinde, yarı doğal otlaklar yalnızca yılın belirli dönemlerinde yeterli besin değeri sağlayabilmektedir. Toprak üstü verimliliği, bitki topluluklarının çiçeklenme zirvesine ulaştığı ilkbahar sonlarında en yüksek seviyeye çıkarken, yaz aylarında düşüş göstermektedir (Catorci ve ark., 2012). İlkbahar ve yaz yağışlarının miktarı ile dağılımındaki yıllık farklılıklar,

biyomas üretiminde yüksek değişkenliklere yol açabilmektedir (Bugalho ve Milne, 2003). İlkbahar yeminin nispeten düşük lif seviyeleri ve yüksek protein ile lipit seviyeleri içerdiği; yaz aylarında ise lif oranının ve doku lignifikasyonunun arttığı gözlemlenmiştir (Catorci ve ark., 2012). Doğal meraya bağımlı olan geniş getiren hayvanlar, otlatma dönemine yüksek kaliteli yemle başlamakta; ancak çiçeklenme döneminin ardından mera yem değerleri düşmekte ve hayvan refahı olumsuz etkilenebilmektedir.

Yem miktarı ve kalitesinin yetersizliği, yağ dokusunun katabolizmasına yol açarak hayvanların üreme yeteneğini azaltan sonuçlar doğurabilmektedir. Kilo kaybının şiddeti, enerji açığının büyüklüğü ve süresiyle doğrudan ilişkilidir. Bu durum, Akdeniz pastoral sistemlerinde yaz aylarındaki kuru dönemin uzunluğu ile bağlantılı olarak değerlendirilmektedir. Yem miktarı ve kalitesindeki değişiklikler, sindirim sisteminde morfolojik ve işlevsel değişikliklere neden olabilmektedir. Örneğin, yemlerin besin değerinin azalması, rumen papillalarının gerilemesine ve ruminal hacmin küçülmesine yol açmaktadır. Ayrıca, yemdeki su miktarı, tükürükteki su oranını düzenleyen proteinlerin ifadesini de etkilemektedir (Scocco ve ark., 2016).

Meraların düzgün bir şekilde otlatılması son derece önemlidir; çünkü kuraklığın etkileri, aşırı otlatılan veya yanlış yönetilen meralarda daha yoğun bir şekilde hissedilmektedir. Aşırı otlatılmış meralarda, toksik olmayan bitkiler zayıflamakta ve küçük çaplı bir kuraklık bile ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Kuraklık başladıktan sonra veya kısa süreli gök gürültülü fırtınalar geçtiğinde, toprağın ani olarak nemlenmesiyle bu tür alanlar hızlı bir şekilde meydana gelen toksik bitki büyümesine karşı daha hassas hale gelmektedir. Kuraklık şiddetlendikçe, toksik bitki sorunlarının ortaya çıkma potansiyeli de artmaktadır. Bazı bitkiler, geçici veya uzun süreli kuraklık nedeniyle stres altında metabolik değişiklikler göstererek toksik bileşikler üretebilir ve böylece hayvanlar için toksik hale gelebilmektedir. Kuraklık sırasında bitkilerin dinlenmesine olanak tanıyan bir otlatma sistemi uygulanması önerilmektedir. Bu kapsamda, kimyasal ot kontrolü de uygulanabilecek stratejilerden biridir; söz konusu kontrol yöntemleri, bireysel bitki uygulamaları ve geniş alan uygulamaları olarak ikiye ayrılmaktadır. Bireysel bitki uygulamaları, geniş alan uygulamalarına kıyasla daha etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Böylelikle yalnızca hedef türlerin yok edilmesi, diğer geniş yapraklı yabani otların ise potansiyel yem olarak

bırakılması mümkün kılınmaktadır. Biyolojik kontrol yöntemleri de uygulanabilir. Bu yöntemlerde, önce toksinlerinden etkilenmeyen hayvan türleriyle alan "temizlenmekte" ve ardından uygun hayvan sınıfı ile otlatma yapılmaktadır. Örneğin, bir hayvan sınıfı için toksik olan ancak diğer sınıflar için zararsız olan bitkiler mevcutsa, bu strateji oldukça etkili olabilmektedir. Ayrıca, yeni bir alana gelen hayvanların yakından izlenmesi ve uygun hayvan sınıfı ile otlatılması gibi iyi hayvancılık yönetim uygulamaları önerilmektedir (Carpenter ve Hart, 2001b).

KAYNAKÇA

- Aboul-Naga, A., Osman, M. A., Alary, V., Hassan, F., Daoud, I., & Tourrand, J. F. (2014). Raising goats as adaptation process to long drought incidence at the Coastal Zone of Western Desert in Egypt. *Small Ruminant Research*, 121(1), 106-110.
- Abusuwar, A. O., & Ahmed, E. O. (2010). Seasonal variability in nutritive value of ruminant diets under open grazing system in the semi-arid rangeland of Sudan (South Darfur State). *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(3), 243-249.
- Amary, N. M. (2016). Assessing the quality of forage for livestock in a semi-arid pastoral system in South Africa. Master of Science. University of the Western Cape South Africa. Department of Biodiversity and Conservation Biology.
- Amiri, F. (2012). Comparison of nutritive values of grasses and legume species using forage quality index. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 34(5).
- Andueza, D., Cruz, P., Farruggia, A., Baumont, R., Picard, F., & Michalet-Doreau, B. (2010). Nutritive value of two meadows and relationships with some vegetation traits. *Grass and Forage Science*, 65(3), 325-334.
- Annicchiarico, P., Pecetti, L., Abdelguerfi, A., Bouzerzour, H., Kallida, R., Porqueddu, C., ... & Volaire, F. (2013). Optimal forage grass germplasm for drought-prone Mediterranean environments. *Field Crops Research*, 148, 9-14.
- Bugalho, M. N., & Milne, J. A. (2003). The composition of the diet of red deer (*Cervus elaphus*) in a Mediterranean environment: a case of summer nutritional constraint?. *Forest Ecology and Management*, 181(1-2), 23-29.
- Cain, J. W., Gedir, J. V., Marshal, J. P., Krausman, P. R., Allen, J. D., Duff, G. C., ... & Morgart, J. R. (2017). Extreme precipitation variability, forage quality and large herbivore diet selection in arid environments. *Oikos*, 126(10), 1459-1471.
- Cain, J. W., Krausman, P. R., Morgart, J. R., Jansen, B. D., & Pepper, M. P. (2008). Responses of desert bighorn sheep to removal of water sources. *Wildlife Monographs*, 171(1), 1-32.
- Carpenter, B. B., & Hart, C. R. (2001a). Rangeland Drought Management for Texans: Supplemental Feeding. The Texas A&M University System. E-63, 05-01.

- Catorci, A., Carotenuto, L., & Gatti, R. (2012). Flowering patterns in sub-Mediterranean grasslands: a functional approach. *Plant Ecology and Evolution*, 145(2), 165-175.
- Coppock, D. L. (2011). Ranching and multiyear droughts in Utah: production impacts, risk perceptions, and changes in preparedness. *Rangeland Ecology & Management*, 64(6), 607-618.
- Derner, J. D., & Augustine, D. J. (2016). Adaptive management for drought on rangelands. *Rangelands*, 38(4), 211-215.
- Desmet, P. G. (2007). Namaqualand—a brief overview of the physical and floristic environment. *Journal of Arid environments*, 70(4), 570-587.
- Desta, S., & Coppock, D. L. (2002). Cattle population dynamics in the southern Ethiopian rangelands, 1980-97. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 55(5), 439-451.
- Devendra, C. (2012). Rainfed areas and animal agriculture in Asia: the wanting agenda for transforming productivity growth and rural poverty. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 25(1), 122.
- Eakin, H., & Conley, J. (2002). Climate variability and the vulnerability of ranching in southeastern Arizona: a pilot study. *Climate Research*, 21(3), 271-281.
- Estell, R. E., Havstad, K. M., Cibils, A. F., Anderson, D. M., & Schrader, T. S. (2014). The changing role of shrubs in rangeland-based livestock production systems: can shrubs increase our forage supply?. *Rangelands*, 36(2), 25-31.
- Eversole, D. E., Browne, M. F., Hall, J. B., & Dietz, R. E. (2009). Body condition scoring beef cows. Virginia Cooperative Extension. publication 400-791.
- Finch, D. M., Pendleton, R. L., Reeves, M. C., Ott, J. E., Kilkenny, F. F., Butler, J. L., ... & Kitchen, S. G. (2016). Rangeland drought: Effects, restoration, and adaptation [Chap. 8]. In: Vose, James M.; Clark, James S.; Luce, Charles H.; Patel-Weynard, Toral, eds. *Effects of drought on forests and rangelands in the United States: A comprehensive science synthesis. Gen. Tech. Rep. WO-93b. Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office. p. 155-194., 93, 155-194.*
- Fynn, R. W. S., & O'connor, T. G. (2000). Effect of stocking rate and rainfall on rangeland dynamics and cattle performance in a semi-arid savanna, South Africa. *Journal of Applied Ecology*, 37(3), 491-507.
- Grings, E. E., Short, R. E., Klement, K. D., Geary, T. W., MacNeil, M. D., Haferkamp, M. R., & Heitschmidt, R. K. (2005). Calving system and

- weaning age effects on cow and preweaning calf performance in the Northern Great Plains. *Journal of Animal Science*, 83(11), 2671-2683.
- Haenlein, G. F. W. (2001). Past, present, and future perspectives of small ruminant dairy research. *Journal of dairy science*, 84(9), 2097-2115.
- Hart, C. R., & Carpenter, B. B. (2001b). Rangeland Drought Management for Texans: Toxic Range Plants. The Texas A&M University System. E-65, 05-01.
- Hart, C. R., & Carpenter, B. B. (2005). Stocking rate and grazing management. *Rangeland Drought Management for Texans E-64*, 05-01.
- Holecheck, J., Galt, D., Joseph, J., Navarro, J., Kumalo, G., Molinar, F., & Thomas, M. (2003). Moderate and light cattle grazing effects on Chihuahuan Desert rangelands. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 56(2), 133-139.
- Johnson, J. B., Smith, V. H., & Hewlett, J. P. (2015). Managing forage and rangeland production risks on Wyoming ranches: NAP, LFP, and PRF-VI. Agricultural Marketing Policy Center. Montana State University. Agricultural Marketing Policy Paper No. 49.
- Khumalo, G., Holechek, J., Thomas, M., & Molinar, F. (2007). Long-term vegetation productivity and trend under two stocking levels on Chihuahuan Desert Rangeland. *Rangeland Ecology & Management*, 60(2), 165-171.
- Kurukulasuriya, P., & Rosenthal, S. (2013). Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations. Environment Department Papers. CLIMATE CHANGE SERIES. PAPER NO. 91.
- Marshall, J. P., Krausman, P. R., & Bleich, V. C. (2005). Rainfall, temperature, and forage dynamics affect nutritional quality of desert mule deer forage. *Rangeland Ecology & Management*, 58(4), 360-365.
- McCuiston, K., Grigar, M., Wester, D. B., Rhoades, R., Mathis, C., & Tedeschi, L. (2014). Can we predict forage nutritive value with weather parameters?. *Rangelands*, 36(1), 2-9.
- Milton, S. J., & Dean, W. R. J. (2010). Plant invasions in arid areas: special problems and solutions: a South African perspective. *Biological Invasions*, 12, 3935-3948.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock science*, 130(1-3), 57-69.
- Nicholson, M. C., Bowyer, R. T., & Kie, J. G. (2006). Forage selection by mule deer: does niche breadth increase with population density?. *Journal of Zoology*, 269(1), 39-49.

- Njidda, A. A., Olatunji, E. A., & Raji, A. Y. (2012). Semi arid browse forages: Their antinutritive substances and in sacco neutral detergent fibre and organic matter degradability. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 1(6), 21-30.
- Oba, G. (2001). The effect of multiple droughts on cattle in Obbu, Northern Kenya. *Journal of arid environments*, 49(2), 375-386.
- Owen-Smith, N., & Cain, J. W. (2007). Indicators of adaptive responses in home range utilization and movement patterns by a large mammalian herbivore. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 53(3-4), 423-438.
- Putnam, D. H., & Orloff, S. B. (2014). Forage crops. Editor(s): Neal K. Van Alfen, Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, Academic Press, 2014, Pages 381-405, ISBN 9780080931395.
- Redfearn, D. D., & Bidwell, T. G. (2003). Stocking rate: the key to successful livestock production. Technical report. Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheets PSS-2871.
- Rippey, B. R. (2015). The US drought of 2012. *Weather and climate extremes*, 10, 57-64.
- Ritten, J. P., Frasier, W. M., Bastian, C. T., & Gray, S. T. (2010). Optimal rangeland stocking decisions under stochastic and climate-impacted weather. *American Journal of Agricultural Economics*, 92(4), 1242-1255.
- Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate risk management*, 16, 145-163.
- Rust, J. M., & Rust, T. (2013). Climate change and livestock production: A review with emphasis on Africa. *South African Journal of Animal Science*, 43(3), 255-267.
- Samuels, I., Allsopp, N., & Hoffman, M. T. (2013). How could herd mobility be used to manage resources and livestock grazing in semi-arid rangeland commons?. *African Journal of Range & Forage Science*, 30(1-2), 85-89.
- Scasta, J. D., Lalman, D. L., & Henderson, L. (2016). Drought mitigation for grazing operations: matching the animal to the environment. *Rangelands*, 38(4), 204-210.
- Scasta, J. D., Windh, J. L., Smith, T., & Baumgartner, B. (2015). Drought consequences for cow-calf production in Wyoming: 2011—2014. *Rangelands*, 37(5), 171-177.
- Scocco, P., Piermarteri, K., Malfatti, A., Tardella, F. M., & Catorci, A. (2016). Increase of drought stress negatively affects the sustainability of

- extensive sheep farming in sub-Mediterranean climate. *Journal of Arid Environments*, 128, 50-58.
- Seo, S. N. (2008). *A structural Ricardian analysis of climate change impacts and adaptations in African agriculture* (Vol. 4603). World Bank Publications.
- Shrum, T. R., Travis, W. R., Williams, T. M., & Lih, E. (2018). Managing climate risks on the ranch with limited drought information. *Climate Risk Management*, 20, 11-26.
- Silanikove, N. (2000). The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small ruminant research*, 35(3), 181-193.
- Strauch, A. M., Kapust, A. R., & Jost, C. C. (2009). Impact of livestock management on water quality and streambank structure in a semi-arid, African ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 73(9), 795-803.
- Sullivan, S., & Rohde, R. (2002). Guest editorial: On non-equilibrium in arid and semi-arid grazing systems. *Journal of Biogeography*, 29(12), 1595-1618.
- Thomas, M. G., Mohamed, A. H., Sawalhah, M. N., Holechek, J. L., Bailey, D. W., Hawkes, J. M., ... & Khumalo, G. (2015). Long-term forage and cow-calf performance and economic considerations of two stocking levels on Chihuahuan desert rangeland. *Rangeland Ecology & Management*, 68(2), 158-165.
- Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., & Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural systems*, 101(3), 113-127.
- Vetter, S., Goodall, V. L., & Alcock, R. (2020). Effect of drought on communal livestock farmers in KwaZulu-Natal, South Africa. *African Journal of Range & Forage Science*, 37(1), 93-106.
- Willms, W. D., Kenzie, O. R., McAllister, T. A., Colwell, D., Veira, D., Wilmshurst, J. F., ... & Olson, M. E. (2002). Effects of water quality on cattle performance. *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 55(5), 452-460.
- Wilmer, H., York, E., Kelley, W. K., & Brunson, M. W. (2016). "In every rancher's mind": Effects of drought on ranch planning and practice. *Rangelands*, 38(4), 216-221.

BÖLÜM 16

YEM BİTKİSİ ISLAHINDA KURAKLIK VE KURAKLIĞA TOLERANSIN MODERN TEKNİKLERLE TARANMASI

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Döndü BİLGİN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17493314>

¹ Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Aydın, Türkiye. feyzabilgin@adu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-7435-4130

GİRİŞ

Su stresi altındaki farklı bitkiler, tepki mekanizmaları açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Bilim insanları bugüne kadar bitki toleransının birçok mekanizmasını rapor etmiş olsalar da tolerans mekanizmalarının karmaşıklığı nedeniyle bu mekanizmalar evrensel bir kabul görmemiştir. Özellikle, kuraklık stresi altındaki bitkilerin düzenleyici mekanizmalarının, gen ifadelerinin düzenlenmesinin ve direnç genlerinin işlevsel tanımlamalarının detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, köklerin ve yaprakların su stresine verdiği tepkiler ile önemli düzenleyici faktörlerin oluşumu ve dönüşümü üzerine daha fazla çalışma yapılmalıdır (Wu ve ark., 2022).

Organizma grupları arasındaki genetik farklılaşma derecesi, grup içindeki değişkenlik miktarının gruplar arasındaki değişkenlikle karşılaştırılması yoluyla ölçülmektedir. Genetik farklılaşmayı belirlemek için her gruptaki bireylerin temsil ettiği genetik çeşitlilik değerlendirilmelidir. Genetik çeşitlilik, morfolojik özellikler ve göç oranları gibi dolaylı yöntemlerle tahmin edilebileceği gibi, genetik materyalin doğrudan incelenmesiyle de ölçülebilir. Bireyler arasındaki çeşitlilik, genetik yapıların, çevresel koşulların ve bu iki faktörün etkileşimlerinin bir sonucudur. Morfolojik çeşitlilik, genetik değişkenliğin dolaylı bir temsili olarak kullanılabilir. Ancak, doğrudan genetik yöntemler bulunmadığında, bir türün popülasyon yapısının analizi için genellikle morfolojik çeşitlilik temel alınır. Ayrıca, belirli genetik bölgelerin nükleotid dizilerinin karşılaştırılması, genetik farklılaşma analizinde en yüksek çözünürlüğü sağlar. Bu doğrultuda, gruplar arası genetik farklılaşma, bireyler arasındaki dizi benzerliğinin karşılaştırılmasıyla hesaplanabilir (Martiny, 2001).

Ekolojinin temel hedeflerinden biri, türlerin neden farklı çevrelerde bulunduğunu açıklamaktır. Bitki özelliklerinin bitki-iklim ilişkilerini nasıl şekillendirdiği sorusu, bu hedefi yanıtlamanın bir yoludur. Küresel ölçekte, birincil üretkenlik ve tür dağılımları, yağış eğilimleri ile ilişkilidir. Su kıtlığının olmadığı habitatlarda rekabet, türlerin dışlanması yol açarken; baskın türlerin hızlı kaynak tüketimi ve büyüme yeteneği önem kazanmaktadır (Craine, 2009). Ancak, türler hidrolojik değişimler boyunca farklılaşmakta ve toprak suyu eksikliği, kuraklığa adapte olmamış bitkileri dışlamaktadır (Brenes-Arguedas ve ark., 2009). Örneğin, daha kuru ortamlarda yaygın olan türlerin, kurak

koşullara adapte olmayan türlere kıyasla daha uzun süre hayatta kalabildiği gözlemlenmiştir (Jardine ve ark., 2021).

Bazı araştırmacılar, Yeşil Devrim'in marjinal arazilere uygulanmasının biyolojik çeşitliliği olumsuz etkilediğini savunmaktadır. Bu bağlamda, gelecekte ürün veriminde ilerlemeler sağlayacak mevcut genetik kaynakların korunması büyük önem taşımaktadır (Phillips, 2014). Kuraklık toleransı, fizyomorfolojik, moleküler ve biyokimyasal süreçleri kapsayan, birden fazla geni içeren poligenik bir özelliktir (Liu ve ark., 2024). Dolayısıyla, kuraklık koşullarının bitki fizyolojisini, biyokimyasını ve gen düzenlenmesini nasıl etkilediğini daha iyi anlamak, tarımsal yönetim uygulamalarının ve ıslah çalışmalarının iyileştirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır (Chaves ve ark., 2003).

1. YEM BİTKİLERİNDE KURAKLIĞA DAYANIKLILIK

Bitkilerde su, çözücü, taşıma ortamı ve buharlaştırıcı-soğutucu işlevi görür. Su eksikliği, bitki büyümesinde ve fotosentezde azalmaya, solmaya, stomaların kapanmasına neden olmakta ve azot metabolizmasında değişikliklerle ilişkilendirilmektedir (Azzouz-Olden ve ark., 2020). Bitkilerin suya olan talebi oldukça yüksektir. Kuraklık, terleme de dahil olmak üzere buharlaşma ve yağış arasındaki dengesizlikten kaynaklanmaktadır (Thomas, 2022).

Kuraklığa dayanıklılık, dokulardaki su potansiyeli düşük olduğunda stres hasarını azaltan veya onaran metabolik yolların düzenlenmesi yoluyla bitkinin fizyolojik aktivitelerini sürdürme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Azzouz-Olden ve ark., 2020). Bitkilerin su stresine verdiği yanıt, esas olarak yaprak ve köklerde gözlenmekte; dış morfolojik özellikler ve iç anatomik yapılar, bitkilerin olumsuz ortamlara uyum yeteneklerini göstermektedir (Liu ve ark., 2020).

Yapraklar, çevreye uzun vadeli adaptasyonda en değişken organlardır. Kuraklık, yaprak meristematik dokusunun hücre bölünmesini ve uzama alanlarındaki hücre genişlemesini engelleyerek bitki büyümesini sınırlandırmakta ve adaptasyon sırasında yaprak kalınlığında, palizat dokusunda ve süngerimsi dokuda karmaşık değişikliklere neden olmaktadır (Nelissen ve ark., 2018). Atmosfer ve bitkiler arasındaki buharlaşma-terleme ile gaz değişimi stomalar tarafından kontrol edilmektedir. Stomalar, doğal

vanalar gibi davranarak karbon kazanımı ve su kaybı süreçlerini düzenlemektedir. CO₂ alımı ve su buharı salınımı ile sırasıyla fotosentez ve terleme süreçlerini kontrol ederler (Ahammed ve ark., 2022). Stomalar ayrıca iyon akışları ve mikrobiyal rotalarda rol oynayan önemli yaprak yapılarıdır. Stoma hareketi, bitki adaptasyonunu artırmak için kuraklık, ısı, tuzluluk, ağır metal ve patojenik saldırılar gibi stres koşulları altında düzenlenir. Bu streslere yanıt olarak stoma hücreleri, stoma kapanmasından sorumlu ROS (Reactive Oxygen Species, Reaktif Oksijen Türleri) sinyalizasyonu ve fitohormonlarda değişiklikler gibi endojen tepkiler sergiler. Bu süreçlere; ABA (Abzistik Asit), JA (metil jasmonat), SA (salisilik asit), etilen, fosfolipaz D, poliaminler ve peptitler gibi elementler katılmaktadır (Mishra ve ark., 2021). Işık, ısı şoku, CO₂, havadaki kirleticiler, biyotik ve abiyotik stresler gibi uyaranlar, stomaların açılmasını ve kapanmasını sağlamaktadır. Stoma hareketleri, bitkilerin fotosentez hızını, su durumunu ve bağışıklığını düzenlemesi açısından hayati öneme sahiptir. Stres uyaranlarına bağlı olarak apoplastlarda hidrojen peroksit (H₂O₂) üretimi ve bunun koruma hücreleri içinde birikmesi, stomaların kapanması için belirleyici faktörler arasında bulunmaktadır (Rodrigues & Shan, 2022).

Yaprak yaşlanması, gelişimle birlikte fitohormonlar ve çeşitli çevresel faktörler tarafından düzenlenen karmaşık bir biyolojik süreçtir. Yapraklardaki renk değişimleri, yaprak yaşlanmasının belirgin göstergelerindendir. Yem bitkileri için yaprak yaşlanmasını kontrol etmek, yem kalitesini ve otların stres toleransını büyük ölçüde artırabilir (Zhang ve ark., 2024). Kuraklık koşullarında yetişen yem bitkileri, genellikle erken yaşlanma ile birlikte biyokütle, yaprak su potansiyeli ve klorofil seviyelerinde hızlı düşüş göstermektedir (Ahkami ve ark., 2019). Kurak ve yarı kurak habitatlarda uzun süreli yeşil kalabilen yemlik otlar, yüksek kuraklık dayanıklılığı göstermektedir (Jardine ve ark., 2021). Zemin örtüsünün C₄ otsu türleri tarafından domine edildiği çayırlar, mevsimsel kuraklıkların yaşandığı bölgelerdeki bitkilendirilmiş arazinin %20'sini kaplamaktadır. Bu çayırlar, 200 mm'den 3000 mm'ye kadar geniş bir yağış aralığına sahip olup, kuraklık performansının geniş ölçekli modellerini incelemek için ideal sistemler sunmaktadır (Jardine ve ark., 2021).

Belirli bir çevredeki özellikler, pozitif veya negatif bir ilişkiye sahip olabilir ve bu durum, istenen bir özellik için genotiplerin doğrudan veya dolaylı

olarak seçilmesine olanak tanır. Güçlü, pozitif bir genetik ilişkiye sahip olan özellikler için eş zamanlı seçim yapılabilir. Ancak, bu tür bir ilişki mevcut değilse, yalnızca belirli seçilen özellik geliştirilebilir. Örneğin, zirve stres dönemlerindeki kanopi sıcaklığı, kök uzunluğu ve yoğunluğu ile ilişkilidir (Reynolds ve ark., 2007). Kanopi sıcaklığı, arazi koşullarında ölçülmesi zor olan kök özellikleri için genotiplerin dolaylı olarak seçilmesine imkan tanımaktadır. Bir diğer örnek ise, kullanılan su birimi başına üretilen biyokütle (ekonomik verim) miktarı olan ve kuraklık dayanıklılığı ile ürün verimi arasında tanımlanan WUE (Water-Use Efficiency, Su Kullanım Verimliliği) olarak kabul edilir (Blum, 2005).

Erken çiçeklenme (Tuberosa, 2012) ile birlikte kök uzunluğu, kök yoğunluğu, kök çoğalması, kök-sürgün oranı ve kök penetrasyonu, kuraklık toleransının güvenilir göstergeleri arasındadır (Arifuzzaman ve ark., 2014). Çoğu durumda, kök uzunluğu ve kök yoğunluğu toprak su alım verimliliğini belirleyici özelliklerdir. Kök uzunluğu, kök hacmi ve kök-sürgün oranı, toprak neminin çekilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu tür kök özelliklerinin arazi koşullarında nicel olarak ölçülmesi zor olduğundan, kolayca ölçülebilen ilgili özellikler yoluyla dolaylı değerlendirmeler yapılabilir. Kök uzunluğu, kök hacmi ve kök kuru ağırlığı gibi kök özellikleri ile bitki boyu ve sürgün kuru ağırlığı gibi sürgün özellikleri, genellikle düşük nem stresine karşı yüksek bir ilişki gösterir. Kök özellikleri, bitki boyu ve sürgün kuru ağırlığı ile ters orantılıdır. Nem stresi koşullarında bitkiler, fotosentezden sağladıkları kaynakların önemli bir kısmını kök yapısına tahsis eder. Örneğin arpada, başak başına tane sayısı, başak başına tane ağırlığı, bitki başına tane sayısı, bitki başına tane ağırlığı ve bin tane ağırlığı gibi özellikler, düşük nem stresine uyum sağlamakla ilişkilidir. Bu nedenle, düşük nem koşullarında bitki boyu ve sürgün kuru ağırlığı, kök uzunluğu, kök hacmi ve kök-sürgün oranı gibi kök özelliklerinin dolaylı değerlendirilmesinde kullanılabilir. Böylece, genotiplerin kök özelliklerine yönelik pahalı ve zaman alıcı analizlerinden tasarruf edilebilir. Çeşitler, erken büyüme aşamalarında erken canlılık ve solma puanı kullanılarak tane verim potansiyeli açısından değerlendirilebilir, çünkü tane verimi bu göstergelerle doğrudan ilişkilidir. Ürün olgunlaştığında, başak başına tane sayısı, başak başına tane ağırlığı, bitki başına tane sayısı, bitki başına tane ağırlığı ve bin tane ağırlığı gibi agronomik özellikler, arpa çeşitlerini tane verimine göre sıralamak için kullanılabilir (Kebede ve ark., 2019).

Bitkiler, su tutma kapasitelerini ve kuraklığa dayanıklılıklarını artırmak için işlevsel kök sayısını artırarak kök sistemlerini genişletir. Ayrıca, kök kılıfının su emme kapasitesini artırarak dayanıklılıklarını geliştirirler (Pierret ve ark., 2016). Dahası, bitkiler köklerin mekansal dağılımını, toprak sabitleme özelliklerini ve besin emilimini optimize etmek için kök yapılarını (örneğin, kök kılları ve kök yoğunluğu) değiştirerek çevresel zorluklara uyum sağlarlar (Strock ve ark., 2021).

Bitki sekonder metabolitleri, bitkilerin hayatta kalmasında ve ekolojik bağlantılar oluşturmada önemli roller üstlenir. Çoğu bitki için, çevresel bir faktördeki değişiklik, sekonder metabolit içeriklerini değiştirebilir. Karbonhidratlar, lipitler ve proteinler gibi birincil metabolitler doğrudan bitki gelişimini ve büyümesini desteklerken, sekonder metabolitler genellikle savunma mekanizmalarında ve çevresel iletişimde kritik roller oynar. Ayrıca, sekonder metabolitler bitkilerin renk, tat ve kokularıyla ilişkilidir. Bunun yanında, bitkilerin stres yanıtlarında da önemli bir yer tutmaktadır (Ocak ve ark., 2021).

2. KURAKLIĞA DAYANIKLI YEM BİTKİLERİ ISLAHI

Kuraklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, bitki ıslahçıları ve agronomistler için büyük önem taşımaktadır. Kuraklık, foto-respiratuvar kayıpları artırarak fotosentezi etkilemekte; ürün veriminde kayıplara ve gıda güvensizliğine neden olmaktadır (Qin ve ark., 2011). Bu nedenle, bitki su açığının yaygın olduğu bölgelerde kuraklığa dayanıklılık üzerine yapılan bitki ıslah çalışmaları kritik bir gerekliliktir. Kuraklığa dayanıklılık, birçok gen tarafından kontrol edilen karmaşık bir niceliksel özelliktir ve bu nedenle çalışılması en zor özelliklerden biridir (Maazou ve ark., 2016).

İklim değişikliğinin neden olduğu kuraklıkların sıklığı ve süresinin artması, kuraklığa dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesini acil bir ihtiyaç haline getirmektedir. Bu adaptasyon süreci, gen ve protein ağları olarak işlev gören moleküler yolların aktivasyonu, çeşitli ozmolit birikimleri, antioksidan sistemlerin güçlendirilmesi, terlemenin azaltılması, sürgün büyümesinin sınırlandırılması, hormonal düzenleme ve kardeşlenmenin azalması gibi değişimlerden sorumlu genlerin ifadesiyle düzenlenmektedir. Örneğin, ABA'nın kuraklık koşullarında bol miktarda bulunduğu ve stresle ilişkili genlerin ifadesini indüklediği rapor edilmiştir. Bununla birlikte, kuraklıkla

indüklenebilir gen ifadelerinin ABA bağımsız düzenleyici sistemler tarafından da kontrol edildiği gösterilmiştir (Machado ve ark., 2022).

Kuraklık toleransını artırmak için ıslahçılar sadece kalıtsal genetik parametreleri değil, aynı zamanda fenotipik korelasyonları da göz önünde bulundurur. Kuraklık koşullarında bitkilerin fizyolojik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi büyük fayda sağlamaktadır. Örneğin, arpanın düşük nem stresine uyum sağladığı bilinen bazı fizyolojik özellikler şunlardır: suda çözünür karbonhidrat konsantrasyonu (WSC) ve bağıl su içeriği (RWC) (Li ve ark., 2013); geç yaprak senesansı (Sayed ve ark., 2012); ozmotik ayarlamalar (Diab ve ark., 2004); klorofil içeriği ve fotosentetik parametreler (örneğin, başlangıç floresansı (Fo), maksimum floresan (Fm), değişken floresan (Fv) ve PSII'nin maksimum kuantum verimliliği (Fv/Fm)) (Guo ve ark., 2008); ve verimle ilgili agronomik özellikler (Von Korff ve ark., 2008).

Kaybolan genetik çeşitliliği geri kazanmak ve ıslah darboğazlarını aşmak için, kültür bitkilerinin mevcut gen havuzlarını genişletmek büyük bir öneme sahiptir. Bu hedef doğrultusunda, yabani bitki gen kaynaklarının kullanımı önemli bir strateji sunmaktadır (Choudhary ve ark., 2017). Bitkilerin yabani akrabaları, gen merkezlerinde ve doğal yaşam alanlarında bulunur (Kashyap ve ark., 2022). Evcilleştirilmiş türlerden farklı olarak, bu yabani akrabalar, bitki verimliliğiyle ilgili özelliklerde sıkı antropojenik seçim baskılarına tabi olmamıştır (Quezada-Martinez ve ark., 2021). Dolayısıyla, yabani akrabalar modern çeşitlerde bulunmayan, abiyotik streslere dayanıklılık sağlayan genetik alellere sahiptir ve yüksek genetik çeşitlilik sunarak önemli bir genetik kaynak oluşturmaktadır (Kapazoglou ve ark., 2023).

Yonca (*Medicago sativa*), farklı ekolojik koşullara uyum sağlayabilen, dünya genelinde yaklaşık 45 milyon hektarlık alanda yetiştirilen, verimli ve besleyici bir yem bitkisidir (Mielmann, 2013). Bu tür, olağanüstü uyum kabiliyeti göstererek geniş bir ekolojik spektrumda gelişebilmektedir (Small, 2011). Yoncanın kökeni Doğu Türkiye ve Orta İran'dan gelmekte olup, 300 yıl içerisinde Kuzey ve Güney Amerika'ya kadar yayılım göstermiştir (Prosperi ve ark., 2014). Fabaceae familyasının üyesi olan yoncanın yakın akrabası *Medicago truncatula*, özellikle baklagillerin büyümesi, gelişimi ve rizobiyal simbiyozunu incelemek için bir model bitki olarak kullanılmaktadır. *Medicago* genomik çalışmalarındaki gelişmeler, bu türün altında yatan moleküler

düzenleyici mekanizmalar hakkındaki bilgimizi önemli ölçüde artırmıştır (Ye ve ark., 2024).

Kuraklık toleransı, çok sayıda küçük gen ve kantitatif özellik lokusu (QTL) tarafından yönetilen karmaşık bir özelliktir. Kuraklık toleransının genetik ve moleküler bileşenlerinin ayrıştırılması, fonksiyonel genomikteki son gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur (Chadalavada ve ark., 2022). Nicel özellik lokusu (QTL) analizi, genotipler ile fenotipik özellikler arasındaki ilişkileri incelemek için en yaygın kullanılan yöntemdir. QTL haritalaması, kromozomal bölgelerdeki özelliklerle ilgili genetik varyasyonların, sayısı, konumu, etkisi ve etkileşimlerinin belirlenmesini sağlar. Bu yöntem, bitki ıslahında belirteç destekli tahmin, seçim ve gen introgresyonu gibi uygulamalar için kritik bir öneme sahiptir (Zeng, 2005).

Kuraklık direnci, oldukça karmaşık bir özelliktir. Bitkiler, farklı gelişim aşamalarında kuraklık direncini artırmak için çeşitli mekanizmalar benimsemektedir. Yeni bir gen düzenleyici sınıfı olan miRNA'lar, bitki kuraklık toleransında hayati bir role sahiptir. Kuraklık yanıtı olarak bazı miRNA'lar yukarı yönlü düzenlenirken, bazıları aşağı yönlü düzenlenmektedir. Araştırmalar, kuraklıkla ilişkili miRNA'ların aşırı ekspresyonunun bitkilere kuraklık toleransı kazandırdığını göstermektedir. miRNA'lar, hedef genleri parçalamak veya translasyonunu engellemek için Argonaute proteinlerini yönlendiren yüksek tamamlayıcılığa sahip mRNA'lara bağlanarak işlev görür. miRNA'ların hedef genleri genellikle çeşitli proteinleri kodlarken, bunların büyük çoğunluğu bir başka gen düzenleyici sınıf olan transkripsiyon faktörlerini kodlamaktadır (Shi & Hussain, 2020).

Abiyotik stresler, karmaşık yapılarıyla transkriptom, hücresel mekanizmalar, çiçeklenme, tane dolumu ve olgunlaşma gibi birçok fizyolojik süreci etkilemektedir. Abiyotik stres sırasında üretilen reaktif oksijen türleri (ROS), hücre ölümü gerçekleşene kadar metabolik süreçleri bozarak moleküllere, metabolitlere ve organellere zarar vermektedir. Bununla birlikte ROS, bitkide savunma mekanizmalarının aktive edilmesinde haberci görevi de görmektedir. Bitkiler, ROS'u detoksifiye ederek ve kendilerini oksidatif hasardan koruyarak fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler seviyelerde savunma mekanizmaları geliştirmiştir (Goyal ve ark., 2023).

Yem bitkileri öncelikle vejetatif kuru madde verimi için yetiştirilmekte, ancak tohum verimi gibi generatif özellikler ekonomik açıdan büyük bir öneme

sahiptir. Yapraklılık veya kalıcılık gibi vejetatif özelliklerin, tohum verimi ile negatif bir korelasyona sahip olması, yem bitkisi ıslahçıları için vejetatif ve generatif büyüme arasındaki dengeyi sağlama konusunda zorluk yaratmaktadır. Kuru madde verimi (DMY), üretim maliyetleriyle doğrudan ilişkili olduğu için en önemli özelliklerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ancak, ıslah programlarında kuru madde veriminin ölçülmesi oldukça karmaşıktır, çünkü bireysel bitkilerden elde edilen verim ile mahsul verimi arasında genellikle zayıf bir ilişki vardır (Wilkins ve Humphreys, 2003). Bu nedenle, son 60 yılda kuru madde verimindeki genetik kazanım, türlere bağlı olarak her 10 yılda yalnızca %0 ila %6 arasında bir artış göstermiştir (van der Heijden ve Roulund, 2010).

Buğdaygillerde yoğun seçilim, her 10 yılda %10'a varan kuru madde verimi artışları sağlamıştır. Ancak bu tür kapsamlı familya seçimi, oldukça zaman alıcı ve maliyetlidir. Ak üçgülde (*Trifolium repens*) yapılan çalışmalar, yaprak veya stolon özellikleri için dolaylı seçilimin kuru madde verimini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir (Abberton ve Marshall, 2005). Buna rağmen dolaylı seçilim, kuru madde verimi için doğrudan seçilime göre daha az etkilidir. Yem bitkilerinde, yaprak alanı, bitki boyu, kardeş sayısı ve bitki canlılığı gibi morfolojik özellikler üzerinden yapılan görüntüleme tabanlı seçilim, kuru madde verimi ile ilişkilidir (Majidi ve ark., 2009). Mısırdaki ise kardeş yoğunluğu, sürgün dallanması ve başak morfolojisi gibi karmaşık morfolojik özellikler, üç boyutlu tarama yöntemleriyle detaylı şekilde izlenebilmektedir (Montes ve ark., 2011).

Azot kullanım etkinliği, yem bitkilerinde genellikle tekdüze toprak azotu koşullarında artan kuru madde verimine göre seçilerek iyileştirilebilir (Casler ve van Santen, 2010). Kjeldahl damıtımı (AOAC, 1990) ve Dumas yöntemi (Hansen, 1989) gibi yöntemler, ot örneklerindeki azot konsantrasyonlarını belirlemek için yaygın laboratuvar teknikleridir. Bununla birlikte, bu yöntemlerin pahalı ve zaman alıcı olması nedeniyle, NIRS (yakın kızılötesi spektroskopisi) gibi daha verimli yöntemlerin kullanımı önerilmiştir (Gislum ve ark., 2004).

Son yıllarda yem kalitesinde genetik kazanımlar, orta ila yüksek derecede kalıtım özellikleri sayesinde kayda değer olmuştur (Casler ve van Santen, 2010). Yem kalitesinin iyileştirilmesi; kuru madde sindirilebilirliğini artırmayı, hayvancılık için faydalı bileşiklerin (örneğin suda çözünen

karbonhidratlar ve tanenler) miktarını artırmayı ve toksik maddelerin (örneğin östrojenik bileşikler ve alkaloidler) miktarını azaltmayı hedeflemektedir (Carbonero ve ark., 2011). Kuru madde sindirilebilirliği, hücre duvarındaki lif ve lignin konsantrasyonunun azaltılması veya suda çözünen karbonhidrat içeriğinin artırılması yoluyla artırılabilir. NIRS yöntemi, sadece bu özellikleri ölçmede değil, aynı zamanda ergovalin ve lignin konsantrasyonlarının tahmin edilmesinde de değerini kanıtlamıştır (Andrés ve ark., 2005).

Yem kalitesinin sürdürülmesinde dikkat çeken önemli bir özellik, sakarozdan türetilen ve birçok bitki türünde yedek karbonhidrat görevi gören fruktoz polimerleri, yani fruktanlardır (Ritsema ve Smeekens, 2003). Fruktanlar, abiyotik strese, özellikle kuraklık, soğuk ve dona karşı toleransa yanıt olarak mahsul bitkilerinde kritik bir rol oynayan temel faktörlerdir (Livingston ve ark., 2009). Dondurularak kurutulmuş ve öğütülmüş ot örneklerinde fruktan konsantrasyonunu ölçmek için yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS) tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir (Shetty ve Gislum, 2011).

Klorofil floresansı, ot türlerinde donma ve tuza karşı toleransın değerlendirilmesi için başarılı bir teşhis aracı olarak kullanılmaktadır (Munns ve ark., 2010). Bitkiler, birçok bitki ıslah programında rutin olarak kalıcılık açısından derecelendirilse de kalıcılık iyileştirme açısından en büyük başarılar, seçim sürecinde abiyotik strese karşı tolerans veya hastalık direnci gibi temel özelliklere odaklanıldığında elde edilmiştir (Casler ve van Santen, 2010). Yem üretimini sınırlayan önemli bir faktör olan kuraklık bağlamında, yüksek verimli görüntüleme teknolojilerinin, bitki su stresi yanıtlarının bileşen özelliklerine ayrıştırılmasında yararlı olduğu gösterilmiştir (Berger ve ark., 2010). Ayrıca, su stresi yakın zamanda mısırdaki termal görüntüleme ile başarılı bir şekilde karakterize edilmiştir (Romano ve ark., 2011). İyi sulanan bitkilerin kanopi sıcaklıklarının, su stresi altındaki genotiplere kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, kuraklığa daha iyi adapte olan genotiplerin, daha düşük kanopi sıcaklıkları sergilediğini ortaya koymaktadır. Kuraklık nedeniyle kök morfolojisi ve kök fizyolojisinde meydana gelen değişimler, görüntüleme ve X-ışını mikrotomografisi gibi modern kök fenotipleme teknikleriyle incelenebilir (Gregory ve ark., 2009).

Tohum verimi, genellikle düşük kalıtım derecesine sahip olan ve hem tarımsal uygulamalar hem de çevresel faktörlerden büyük ölçüde etkilenen en

karmaşık özelliklerden biridir. Tohum seti, toplam tohum verimi üzerinde büyük bir öneme sahiptir ve bu durum yem performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Boelt ve Studer, 2010). Başakçık başına tohum sayısının, X-ışını görüntüleme tabanlı otomatik sayımı, tohum verimi potansiyelinin daha verimli bir şekilde değerlendirilmesi için seçim süreçlerine yardımcı olabilir. Ayrıca, tozlaşma sonrası ölen tohumların yüzdesi, başakçık içindeki ölme desenleri ve başakçık içindeki ovül kuru ağırlığındaki gradyanlar, tohum veriminin temel bileşenleridir. Ot türlerinde gelişmekte olan tohumlardan elde edilen karyopların hasar görmeden NMR yöntemiyle üç boyutlu görüntülenmesi, yüksek ve homojen tohum ağırlığına sahip genotiplerin belirlenmesine ve seçilmesine olanak sağlayarak yüksek tohum verimi elde edilmesini desteklemektedir (Glidewell, 2006).

3. YEM BİTKİLERİNDE BİTKİ TARAMASI VE FENOTİPLEME

Yem bitkisi ıslah programları, önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Geliştirilecek türlerin sayısının fazla olması ve seçilecek özelliklerin çeşitliliği, bu zorlukların başında gelmektedir. Ayrıca, geliştirilmiş çeşitlerin genellikle geniş bir çevre koşullarına ve yönetim rejimine uyum sağlayabilmesi gerekmektedir. Örneğin, çok yıllık *Lolium perenne* gibi türler için yeni çeşitlerin üretimi 15 ila 20 yıl sürebilmektedir. Bu durum, hızla değişen gereksinimlere yanıt verebilmek için daha verimli bitki ıslah şemalarının uygulanmasını gerekli kılmaktadır (Walter ve ark., 2012).

Bitki fenotipleme, tek bitkilerin veya bitki gruplarının kalitesinin, fotosentezinin, gelişiminin, mimarisinin, büyümesinin ve biyokütle verimliliğinin niceliksel olarak belirlenmesini amaçlamaktadır. Temel bitki işlevlerinin kontrolünde yer alan fizyolojik prensipleri araştırmak ve bitki ıslah programlarında üstün genotiplerin seçimi için vazgeçilmez bir araç sağlamaktadır. Fenotipleme prosedürleri, görsel gözlemler, biyokimyasal analizler gibi klasik bitki fizyolojisi yöntemlerinden; son yıllarda geliştirilen, hedef odaklı ve son derece otomatikleştirilmiş analiz araçlarına kadar çeşitlilik göstermektedir (Walter ve ark., 2012).

En önemli yem bitkilerinin büyük bir kısmı yüksek derecede kendi kendine uyumsuzluğa sahip allogamik türlerden oluşmaktadır (Yang ve ark., 2008). Islah çalışmaları, büyük ölçüde açık tozlaşmaya dayanmaktadır ve elde

edilen çeşitler, oldukça heterozigot genotiplerden oluşan panmiktik popülasyonları temsil etmektedir (Posselt, 2009). Üstün bireylerin seçimi fenotiplerine (fenotipik seçim) veya yavrularının performansına (genotipik seçim) göre yapılmaktadır. Fenotipik seçim, çoğunlukla aralıklı bitki fidanlıklarındaki bireysel bitkilerin değerlendirilmesine (kitle seçilimi) veya sıralara ekilmiş vejetatif tekrarların (klonlar) değerlendirilmesine (klonal seçim) dayanmaktadır. Genotipik seçim ise, yarı kardeş veya tam kardeş ailelerin performansının tekrarlanan parsel denemeleri yoluyla değerlendirilmesine dayanmakta ve genetik çeşitliliğin tahmin edilmesine olanak tanımaktadır (Posselt, 2009). Değerlendirmeler, görsel incelemeye (puanlama) veya hedeflenen özelliklerin bireysel bitkiler veya deneysel topluluklar üzerinde ölçülmesine dayanmaktadır. Ancak, aralıklı bitki fidanlıklarında yapılan biyokütle verimi gözlemleri, genellikle doğal çim alanlarında doğrudan uygulanabilir olmaktan uzaktır (Walter ve ark., 2012).

Bitki fenotiplemesi, genotiplerin yan yana karşılaştırılması veya belirli çevre koşullarında dinamik tepkilerin izlenmesi yoluyla gerçekleştirilir (Walter ve diğerleri, 2007). Kuraklık stresine, ışık veya sıcaklık değişikliklerine karşı büyüme tepkisi gibi dinamik ölçümler; bitki boyutunun ardışık zaman noktalarında analiz edilmesini gerektirmektedir. Fenotipleme süreçlerinde sürgünler ve kanopiler sıklıkla izlenirken, kök sistemleri ve kök-toprak etkileşimleri de yıkıcı olmayan tekniklerle analiz edilmeye başlanmıştır (Zhu ve diğerleri, 2011).

Bitki ıslahı ile ilgili fenotipleme yaklaşımlarının temel amacı, belirli çevresel koşullar altında bir dizi genotipin başarısını değerlendirmek veya sıralamaktır. Bu nedenle, yüzlerce hatta binlerce genotipin birbiriyle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu süreç, hızlı ölçüm prosedürleri, yüksek verim, yüksek derecede otomasyon ve uygun, iyi tasarlanmış veri tabanlarına erişim gerektirir (Kolukisaoglu ve Thurow, 2010). Bununla birlikte, düşük verimde (örneğin, günde 10'dan az bitki) yüksek çözünürlük sağlayan yöntemler, belirli genotiplerin ilgili çevresel bağlamdaki performansını değerlendirmek için oldukça faydalı olabilir. Örneğin, bitki iç yapısının nükleer manyetik rezonans (NMR) tabanlı görüntülenmesi bu kapsamda kullanılabilir (Jahnke ve ark., 2009). Fenotipleme aynı zamanda bitki transkriptomunun, proteomunun, metabolomunun veya iyonomunun otomatik analizlerini de içerebilir (Kolukisaoglu ve Thurow, 2010).

Gelişmiş fenotipleme uygulamalarında sıkça kullanılan bir yaklaşım, bitki boyu, kanopi genişliği, toplam yaprak alanı, yaprak sayısı ve kanopi şekli gibi morfolojik parametrelerin analizidir. Bu parametreler genellikle bir veya birkaç açıdan çekilmiş fotoğraflardan belirlenir. Bazı sistemlerde bitkiler, konveyör bantlarla bir kamera sistemine taşınırken; diğerlerinde ise bitkiler manuel ya da otomatik olarak kameranın görüş alanına yerleştirilir. Görüntüler, özel bir aydınlatma kaynağıyla otomatik olarak alınır ve veri tabanında saklanır. Bitki özelliklerinin başarılı bir şekilde çıkarılması için doğru görüntü edinimi ve değerlendirmesi kritik öneme sahiptir. Bitki mimarisi ve büyüme ile ilgili özellikler, sürgün ana hatlarının ve kapalı piksel sayılarının kesin hesaplanmasıyla görüntülerden elde edilir. Bu süreçte, görüntülerin "bölümlenmesi" gereklidir, yani bitki ve arka plan renk veya parlaklık gibi farklılıklar temel alınarak ayrılmalıdır (Walter ve ark., 2012).

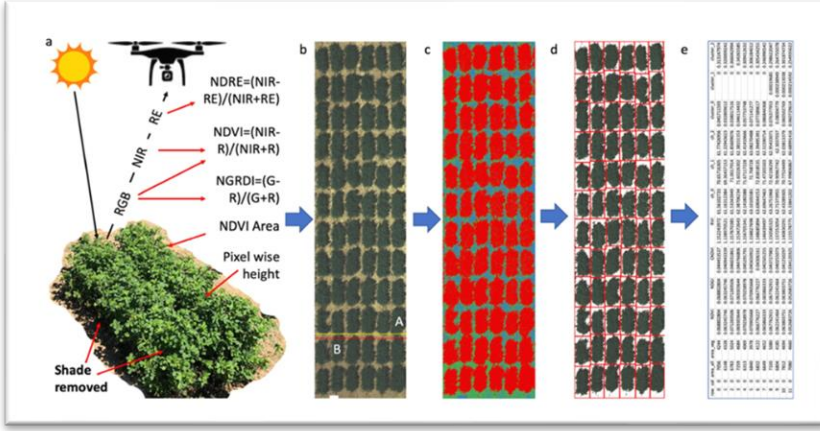
Bitki boyunun, tarlada yetiştirilen yem bitkilerinin kuru madde verimiyle önemli ölçüde ilişkili olduğu gösterilmiştir (Majidi ve ark., 2009). Bu nedenle, bitki boyunun tarla ölçeğinde dijital analizi, kuru madde veriminin hızlı tahmini için güçlü bir araçtır. Özellikle mısır gibi silaj bitkilerinde morfolojik parametrelerin otomatik olarak çıkarılması yakın zamanda uygulanmaya başlanmıştır (Montes ve ark., 2011). Ayrıca, yaprak alanını bitkinin taze veya kuru ağırlığına bağlayan dolambaçlı yöntemlere başvurmadan, biyokütlenin doğrudan belirlenmesinde optik olmayan yaklaşımlar başarı göstermiştir. Örneğin, bir bitkinin su içeriğinin kapasitif (elektiriksel) belirlenmesi için içi boş bir ölçüm cihazı kullanılması etkili olmuştur (Menzel ve ark., 2009). Pozitron emisyon tomografisi ise, bitki iç yapısını, biyokütlesini ve sürgünlerdeki madde akışlarını belirlemek için kullanılmaktadır (Jahnke ve ark., 2009).

Klorofil floresansı analizi, bitki fotosenteziyle ilgili parametrelerin belirlenmesini sağlayan yaygın bir araçtır (Baker, 2008). Bununla birlikte, bu yöntem kuraklık, tuz veya soğuk stresine karşı farklı duyarlılıklara sahip genotipleri ayırt etmek için otomatik görüntüleme platformlarında da kullanılmaktadır (Munns ve ark., 2010). Ölçüm prensibi, bitkilerin görünür aralıkta düşük dalga boylu ışığa maruz bırakılması ve bu ışık darbesinden kısa bir süre sonra yayılan floresan ışığın kaydedilmesine dayanmaktadır. Sahada uygulanabilirliği güçlü olan bu teknik, analiz sırasında bitkinin güneş ışığından tamamen korunmasını gerektirir. Bunun için bitkiler bir kalkan veya kutu

içerisine yerleştirilmelidir (Bauriegel ve ark., 2011). Alternatif olarak, floresan sinyalinin indüklemek için güçlü lazerler kullanılabilir (Thoren ve ark., 2010).

Kızılötesi dalga boyu aralığında (1.000 nm üzeri) termal görüntüleme, laboratuvar ve saha koşullarında bitki kanopilerinin stoma iletkenliğini izlemek için giderek yaygın bir şekilde kullanılan bir tekniktir (Munns ve ark., 2010). Termografik analiz, hem hassas tarım uygulamalarında (Wang ve ark., 2010) hem de bitki ıslahında (Jones ve ark., 2009), yaprak terlemesi ve kanopi suyu kullanımı ile ilişkilendirilebilen kanopi sıcaklığının değerlendirilmesinde faydalı bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, sürgün kanopisi tarafından yansıtılan güneş ışığının spektral bileşiminin (spektral yansıma) analizi, bitki içerik bileşimi ve fotosentez süreçleri hakkında değerli bilgiler sağlayabilir (Winterhalter ve ark., 2011).

Spektral yansıma, görsel veya görsele yakın dalga boyu aralığında bitkilere yapay aydınlatma uygulanmasına gerek kalmadan analiz edilebilmektedir. Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) gibi indeksler, yaprağın klorofil ve/veya azot içeriği ile suya doymuş canlı doku ve kurumuş doku arasındaki ilişkinin karakteristik değişimlerini ortaya koymaktadır. Bu karakteristik değişimler, farklı dalga boylarındaki güneş ışığının farklı yansımalarından kaynaklanmakta ve yaprakların renginde gözlemlenebilir değişimlere yol açmaktadır. Gelen güneş ışığının yoğunluğundan bağımsız olarak bu karakteristik renkler, iki dalga boyundaki yoğunluk oranlarını hesaplayarak veya iki farklı dalga boyundaki yoğunluk farkını bu dalga boylarının toplam yoğunluğuna bölerek ölçülebilir (Chen ve ark., 2010).



Şekil 1. İHA görüntüleri kullanılarak yüksek verimli yonca biyokütlesi fenotipleme. **a)** İHA tabanlı görüntüler, çok bantlı kameradan alınan beş banttan ve NDRE, NDVI ve NGRDI gibi birden fazla Bitki Örtüsü Endeksi (VI) türetebilen Pix4D'den piksel bazında bitki yüksekliğinden oluşur. Birden fazla bant içeren görüntüler RGB olarak görüntülenir **b)**. NDVI, pikselleri üç sınıfa kümelemek için kullanılır **c)**. Bitki örtüsü alanına (kırmızı) karşılık gelen sınıf, ilgi piksellerini tanımlamak ve RGB olarak görüntülemek için seçilir **d)**. GRID tarafından bölümlendirilen grafik bilgileri, ilk sütundaki grafikler için görüntülenir **e)**. GRID, jeoreferanslar kullanılarak uygulanabilir olmayan grafikleri doğru şekilde bölümlendirebilir. Örneğin, grafik A ve B, kırmızı ve sarı çizgilerle veya aralarındaki herhangi bir yatay çizgiyle ayrılamaz **(b)**

Kaynak: Tang ve ark., 2021

Günümüzde, kök biyokütlesi ve mimarisi, laboratuvar koşullarında saksılarda nükleer manyetik rezonans (NMR) yöntemi (Jahnke ve ark., 2009) veya X-ışını tabanlı bilgisayar tomografisi teknikleri (Tracy ve ark., 2010) kullanılarak izlenebilmektedir. Bu yöntemler, kök yapısının çevredeki substrattan ayrılmasını mümkün kılmaktadır. Ancak, bu amaçla oluşturulan platformların çoğu, aeroponik veya hidroponik yetiştirme sistemlerinde köklerin doğrudan görselleştirilmesine dayanmaktadır (Hund ve ark., 2009). Bu sistemler, toplam kök uzunluğu, kök dallanma açıları ve diğer morfolojik parametrelerin belirlenmesini sağlamaktadır.

Arazide kök fenotiplerinin analizine yönelik yaklaşımlar, kazılmış ve çıkarılmış kök sistemlerinin görselleştirilmesi ("shovelomik") (Trachsel ve ark., 2011), toprağa yerleştirilen pleksiglas tüpler içerisindeki kamera sistemleriyle kök parametrelerinin analiz edilmesi ("minirhizotronlar")

(Johnson ve ark., 2001), ya da kökler aracılığıyla su alım yoğunluğuna bağlı olarak toprağın elektriksel özelliklerinin dolaylı yolla analiz edilmesi yöntemlerini içermektedir (Srayeddin ve Doussan, 2009).

Moleküler genetik ve genomik alanındaki hızlı ilerlemeler, geleneksel bitki ıslahını işaretleyici destekli seçilim (MAS) ile birleştirme olanağı sağlamaktadır. Mısır ve soya fasulyesi gibi tarımsal ürünlerin ıslahında MAS, genetik iyileştirme sürecini önemli ölçüde hızlandırmıştır (Eathington ve ark., 2007). Buna karşın, yem bitkilerinde MAS'ın başarılı bir şekilde uygulanmasına dair sınırlı sayıda rapor bulunmaktadır (Roldan-Ruiz ve Kolliker, 2010).

KAYNAKÇA

- Abberton, M. T., & Marshall, A. H. (2005). Progress in breeding perennial clovers for temperate agriculture. *The Journal of Agricultural Science*, 143(2-3), 117-135.
- Ahammed, G. J., Chen, Y., Liu, C., & Yang, Y. (2022). Light regulation of potassium in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 170, 316-324.
- Ahkami, A. H., Wang, W., Wietsma, T. W., Winkler, T., Lange, I., Jansson, C., ... & McDowell, N. G. (2019). Metabolic shifts associated with drought-induced senescence in *Brachypodium*. *Plant Science*, 289, 110278.
- Andrés, S., Giráldez, F. J., Lopez, S., Mantecon, A. R., & Calleja, A. (2005). Nutritive evaluation of herbage from permanent meadows by near-infrared reflectance spectroscopy: 1. Prediction of chemical composition and in vitro digestibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(9), 1564-1571.
- AOAC. (1990). Nitrogen (total) in fertilizers: Kjeldahl method. In: Hilrich K. ed. Official methods of analysis. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists, 127– 129.
- Arifuzzaman, M., Sayed, M. A., Muzammil, S., Pillen, K., Schumann, H., Naz, A. A., & Léon, J. (2014). Detection and validation of novel QTL for shoot and root traits in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Molecular breeding*, 34, 1373-1387.
- Azzouz-Olden, F., Hunt, A. G., & Dinkins, R. (2020). Transcriptome analysis of drought-tolerant sorghum genotype SC56 in response to water stress reveals an oxidative stress defense strategy. *Molecular Biology Reports*, 47(5), 3291-3303.
- Baker, N. R. (2008). Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1), 89-113.
- Bauriegel, E., Giebel, A., & Herppich, W. B. (2011). Hyperspectral and chlorophyll fluorescence imaging to analyse the impact of *Fusarium culmorum* on the photosynthetic integrity of infected wheat ears. *Sensors*, 11(4), 3765-3779.
- Berger, B., Parent, B., & Tester, M. (2010). High-throughput shoot imaging to study drought responses. *Journal of experimental botany*, 61(13), 3519-3528.
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian journal of agricultural research*, 56(11), 1159-1168.
- Boelt, B., & Studer, B. (2010). Breeding for grass seed yield. *Fodder crops and amenity grasses*, 161-174.

- Brenes-Arguedas, T., Coley, P. D., & Kursar, T. A. (2009). Pests vs. drought as determinants of plant distribution along a tropical rainfall gradient. *Ecology*, 90(7), 1751-1761.
- Carbonero, C. H., Mueller-Harvey, I., Brown, T. A., & Smith, L. (2011). Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*): a beneficial forage legume. *Plant Genetic Resources*, 9(1), 70-85.
- Casler, M. D., & Van Santen, E. (2010). Breeding objectives in forages. *Fodder crops and amenity grasses*, 115-136.
- Chadalavada, K., Guna, K., Kumari, B. R., & Kumar, T. S. (2022). Drought stress in sorghum: impact on grain quality. In *Climate Change and Crop Stress* (pp. 113-134). Academic Press.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional plant biology*, 30(3), 239-264.
- Chen, P., Haboudane, D., Tremblay, N., Wang, J., Vigneault, P., & Li, B. (2010). New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sensing of environment*, 114(9), 1987-1997.
- Choudhary, M., Singh, V., Muthusamy, V., & Wani, S. H. (2017). Harnessing crop wild relatives for crop improvement. *LS Int. J. Life Sci.* 2017, 6, 73.
- Craine, J. M. (2009). *Resource strategies of wild plants*. Princeton University Press.
- Diab, A. A., Teulat-Merah, B., This, D., Ozturk, N. Z., Benscher, D., & Sorrells, M. E. (2004). Identification of drought-inducible genes and differentially expressed sequence tags in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 1417-1425.
- Eathington, S. R., Crosbie, T. M., Edwards, M. D., Reiter, R. S., & Bull, J. K. (2007). Molecular markers in a commercial breeding program. *Crop Science*, 47, S-154.
- Gislum, R., Micklander, E., & Nielsen, J. P. (2004). Quantification of nitrogen concentration in perennial ryegrass and red fescue using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) and chemometrics. *Field Crops Research*, 88(2-3), 269-277.
- Glidewell, S. M. (2006). NMR imaging of developing barley grains. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 70-78.
- Goyal, M., Kumari, A., Kumari, A., Sharma, H., Vasmatkar, P., & Gupta, N. (2023). Oxidative stress and antioxidant defense in mitigating abiotic stresses in forage crops: a physiological and biochemical perspective. In *Molecular Interventions for Developing Climate-Smart Crops: A*

- Forage Perspective* (pp. 109-135). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Gregory, P. J., Bengough, A. G., Grinev, D., Schmidt, S., Thomas, W. B. T., Wojciechowski, T., & Young, I. M. (2009). Root phenomics of crops: opportunities and challenges. *Functional Plant Biology*, 36(11), 922-929.
- Guo, P., Baum, M., Varshney, R. K., Graner, A., Grando, S., & Ceccarelli, S. (2008). QTLs for chlorophyll and chlorophyll fluorescence parameters in barley under post-flowering drought. *Euphytica*, 163, 203-214.
- Hansen, B. (1989). Determination of nitrogen as elementary N, an alternative to Kjeldahl. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 39(2), 113-118.
- Hund, A., Trachsel, S., & Stamp, P. (2009). Growth of axile and lateral roots of maize: I development of a phenotyping platform. *Plant and Soil*, 325, 335-349.
- Jahnke, S., Menzel, M. I., Van Dusschoten, D., Roeb, G. W., Bühler, J., Minwuyelet, S., ... & Schurr, U. (2009). Combined MRI-PET dissects dynamic changes in plant structures and functions. *The Plant Journal*, 59(4), 634-644.
- Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, & Kim, K. M. (2021). Plant secondary metabolite biosynthesis and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. *Agronomy*, 11(5), 968.
- Jardine, E. C., Thomas, G. H., & Osborne, C. P. (2021). Traits explain sorting of C4 grasses along a global precipitation gradient. *Ecology and Evolution*, 11(6), 2669-2680.
- Johnson, M. G., Tingey, D. T., Phillips, D. L., & Storm, M. J. (2001). Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental Botany*, 45(3), 263-289.
- Jones, H. G., Serraj, R., Loveys, B. R., Xiong, L., Wheaton, A., & Price, A. H. (2009). Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Functional Plant Biology*, 36(11), 978-989.
- Kapazoglou, A., Gerakari, M., Lazaridi, E., Kleftogianni, K., Sarri, E., Tani, E., & Bebeli, P. J. (2023). Crop wild relatives: A valuable source of tolerance to various abiotic stresses. *Plants*, 12(2), 328.
- Kashyap, A., Garg, P., Tanwar, K., Sharma, J., Gupta, N. C., Ha, P. T. T., ... & Rao, M. (2022). Strategies for utilization of crop wild relatives in plant breeding programs. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(12), 4151-4167.
- Kolukisaoglu, Ü., & Thurow, K. (2010). Future and frontiers of automated screening in plant sciences. *Plant Science*, 178(6), 476-484.

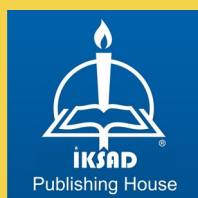
- Li, W. T., Liu, C., Liu, Y. X., Pu, Z. E., Dai, S. F., Wang, J. R., ... & Wei, Y. M. (2013). Meta-analysis of QTL associated with tolerance to abiotic stresses in barley. *Euphytica*, 189, 31-49.
- Liu, J., Wang, X., Wu, H., Zhu, Y., Ahmad, I., Dong, G., ... & Wu, Y. (2024). Association between Reactive Oxygen Species, Transcription Factors, and Candidate Genes in Drought-Resistant Sorghum. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(12), 6464.
- Liu, W., Zheng, L., & Qi, D. (2020). Variation in leaf traits at different altitudes reflects the adaptive strategy of plants to environmental changes. *Ecology and Evolution*, 10(15), 8166-8175.
- Livingston, D. P., Hinch, D. K., & Heyer, A. G. (2009). Fructan and its relationship to abiotic stress tolerance in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 66, 2007-2023.
- Maazou, A. R. S., Tu, J., Qiu, J., & Liu, Z. (2016). Breeding for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 7(14), 1858.
- Machado, J., Fernandes, A. P. G., Fernandes, T. R., Heuvelink, E., Vasconcelos, M. W., & Carvalho, S. M. P. (2022). Drought and nitrogen stress effects and tolerance mechanisms in tomato: a review. *Plant nutrition and food security in the era of climate change*, 315-359.
- Majidi, M. M., Mirlohi, A., & Amini, F. (2009). Genetic variation, heritability and correlations of agro-morphological traits in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Euphytica*, 167(3), 323-331.
- Martiny, J. B. (2001). Population Diversity, Overview. Editor(s): Simon A Levin, *Encyclopedia of Biodiversity* (Second Edition), Academic Press, Pages 168-174, ISBN 9780123847201.
- Menzel, M. I., Tittmann, S., Bühler, J., Preis, S., Wolters, N., Jahnke, S., ... & KRAUSE, H. J. (2009). Non-invasive determination of plant biomass with microwave resonators. *Plant, cell & environment*, 32(4), 368-379.
- Mielmann, A. (2013). The utilisation of lucerne (*Medicago sativa*): a review. *British Food Journal*, 115(4), 590-600.
- Mishra, V., Singh, P., Tripathi, D. K., Corpas, F. J., & Singh, V. P. (2021). Nitric oxide and hydrogen sulfide: an indispensable combination for plant functioning. *Trends in Plant Science*, 26(12), 1270-1285.
- Montes, J. M., Technow, F., Dhillon, B. S., Mauch, F., & Melchinger, A. E. (2011). High-throughput non-destructive biomass determination during early plant development in maize under field conditions. *Field Crops Research*, 121(2), 268-273.
- Munns, R., James, R. A., Sirault, X. R., Furbank, R. T., & Jones, H. G. (2010). New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial

- responses to water deficit. *Journal of experimental botany*, 61(13), 3499-3507.
- Nelissen, H., Sun, X. H., Rymen, B., Jikumaru, Y., Kojima, M., Takebayashi, Y., ... & Inzé, D. (2018). The reduction in maize leaf growth under mild drought affects the transition between cell division and cell expansion and cannot be restored by elevated gibberellic acid levels. *Plant Biotechnology Journal*, 16(2), 615-627.
- Phillips, R. L. (2014). Green revolution: past, present, and future. Editor(s): Neal K. Van Alfen, *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Academic Press, Pages 529-538, ISBN 9780080931395.
- Pierret, A., Maeght, J. L., Clément, C., Montoroi, J. P., Hartmann, C., & Gonkhamdee, S. (2016). Understanding deep roots and their functions in ecosystems: an advocacy for more unconventional research. *Annals of botany*, 118(4), 621-635.
- Posselt, U. K. (2009). Breeding methods in cross-pollinated species. In *Fodder crops and amenity grasses* (pp. 39-87). New York, NY: Springer New York.
- Prosperi, J. M., Jenczewski, E., Muller, M. H., Fournier, S., Sampaou, J. P., & Ronfort, J. (2014). Alfalfa domestication history, genetic diversity and genetic resources. *Legume Perspectives*, 4, 13-14.
- Qin, F., Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2011). Achievements and challenges in understanding plant abiotic stress responses and tolerance. *Plant and Cell Physiology*, 52(9), 1569-1582.
- Quezada-Martinez, D., Addo Nyarko, C. P., Schiessl, S. V., & Mason, A. S. (2021). Using wild relatives and related species to build climate resilience in *Brassica* crops. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(6), 1711-1728.
- Reynolds, M., Dreccer, F., & Trethowan, R. (2007). Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 177-186.
- Ritsema, T., & Smeekens, S. (2003). Fructans: beneficial for plants and humans. *Current opinion in plant biology*, 6(3), 223-230.
- Rodrigues, O., & Shan, L. (2022). Stomata in a state of emergency: H₂O₂ is the target locked. *Trends in plant science*, 27(3), 274-286.
- Roldan-Ruiz, I., & Kölliker, R. (2010). Marker-assisted selection in forage crops and turf: a review. *Sustainable use of genetic diversity in forage and turf breeding*, 383-390.
- Romano, G., Zia, S., Spreer, W., Sanchez, C., Cairns, J., Araus, J. L., & Müller, J. (2011). Use of thermography for high throughput phenotyping of

- tropical maize adaptation in water stress. *Computers and Electronics in Agriculture*, 79(1), 67-74.
- Sayed, M. A., Schumann, H., Pillen, K., Naz, A. A., & Léon, J. (2012). AB-QTL analysis reveals new alleles associated to proline accumulation and leaf wilting under drought stress conditions in barley (*Hordeum vulgare* L.). *BMC genetics*, 13, 1-12.
- Shetty, N., & Gislum, R. (2011). Quantification of fructan concentration in grasses using NIR spectroscopy and PLSR. *Field Crops Research*, 120(1), 31-37.
- Shi, B. J., & Hussain, S. S. (2020). Toward elucidating the functions of miRNAs in drought stress tolerance. In *Plant Small RNA* (pp. 231-246). Academic Press.
- Silvertown, J., Araya, Y., & Gowing, D. (2015). Hydrological niches in terrestrial plant communities: a review. *Journal of Ecology*, 103(1), 93-108.
- Small, E. (2011). Alfalfa and relatives: evolution and classification of *Medicago*. NRC research press.
- Srayeddin, I., & Doussan, C. (2009). Estimation of the spatial variability of root water uptake of maize and sorghum at the field scale by electrical resistivity tomography. *Plant and soil*, 319(1), 185-207.
- Strock, C. F., Burrridge, J. D., Niemiec, M. D., Brown, K. M., & Lynch, J. P. (2021). Root metaxylem and architecture phenotypes integrate to regulate water use under drought stress. *Plant, Cell & Environment*, 44(1), 49-67.
- Tang, Z., Parajuli, A., Chen, C. J., Hu, Y., Revolinski, S., Medina, C. A., ... & Yu, L. X. (2021). Validation of UAV-based alfalfa biomass predictability using photogrammetry with fully automatic plot segmentation. *Scientific reports*, 11(1), 3336.
- Thomas, H. (2022). Drought resistance in plants. In *Mechanisms of environmental stress resistance in plants* (pp. 1-42). Routledge.
- Thoren, D., Thoren, P., & Schmidhalter, U. (2010). Influence of ambient light and temperature on laser-induced chlorophyll fluorescence measurements. *European journal of agronomy*, 32(2), 169-176.
- Trachsel, S., Kaeppler, S. M., Brown, K. M., & Lynch, J. P. (2011). Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root architecture in the field. *Plant and soil*, 341, 75-87.
- Tracy, S. R., Roberts, J. A., Black, C. R., McNeill, A., Davidson, R., & Mooney, S. J. (2010). The X-factor: visualizing undisturbed root architecture in soils using X-ray computed tomography. *Journal of experimental botany*, 61(2), 311-313.

- Tuberosa, R. (2012). Phenotyping for drought tolerance of crops in the genomics era. *Frontiers in physiology*, 3, 28919.
- von Korff, M., Grando, S., Del Greco, A., This, D., Baum, M., & Ceccarelli, S. (2008). Quantitative trait loci associated with adaptation to Mediterranean dryland conditions in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 117, 653-669.
- Walter, A., Scharr, H., Gilmer, F., Zierer, R., Nagel, K. A., Ernst, M., ... & Schurr, U. (2007). Dynamics of seedling growth acclimation towards altered light conditions can be quantified via GROWSCREEN: a setup and procedure designed for rapid optical phenotyping of different plant species. *New Phytologist*, 174(2), 447-455.
- Walter, A., Studer, B., & Kölliker, R. (2012). Advanced phenotyping offers opportunities for improved breeding of forage and turf species. *Annals of botany*, 110(6), 1271-1279.
- Wang, X., Yang, W., Wheaton, A., Cooley, N., & Moran, B. (2010). Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: A first step towards automated plant water stress monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 73(1), 74-83.
- Wilkins, P. W., & Humphreys, M. O. (2003). Progress in breeding perennial forage grasses for temperate agriculture. *The Journal of Agricultural Science*, 140(2), 129-150.
- Winterhalter, L., Mistele, B., Jampatong, S., & Schmidhalter, U. (2011). High throughput phenotyping of canopy water mass and canopy temperature in well-watered and drought stressed tropical maize hybrids in the vegetative stage. *European Journal of Agronomy*, 35(1), 22-32.
- Woo, N. S., Badger, M. R., & Pogson, B. J. (2008). A rapid, non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence. *Plant Methods*, 4, 1-14.
- Wu, J., Wang, J., Hui, W., Zhao, F., Wang, P., Su, C., & Gong, W. (2022). Physiology of plant responses to water stress and related genes: A review. *Forests*, 13(2), 324.
- Yang, B., Thorogood, D., Armstead, I., & Barth, S. (2008). How far are we from unravelling self-incompatibility in grasses?. *New Phytologist*, 178(4), 740-753.
- Ye, Q., Zhou, C., Lin, H., Luo, D., Jain, D., Chai, M., ... & Wang, T. (2024). Medicago2035: Genomes, Functional Genomics and Molecular Breeding. *Molecular Plant*.
- Zeng, Z. B. (2005). QTL mapping and the genetic basis of adaptation: recent developments. *Genetics of Adaptation*, 25-37.

- Zhang, K., Xie, H., Wen, J., Zhang, J., Wang, Z. Y., Xu, B., & Chai, M. (2024). Leaf senescence in forage and turf grass: Progress and prospects. *Grass Research*, 4(1).
- Zhu, J., Ingram, P. A., Benfey, P. N., & Elich, T. (2011). From lab to field, new approaches to phenotyping root system architecture. *Current opinion in plant biology*, 14(3), 310-317.



ISBN: 978-625-378-365-5