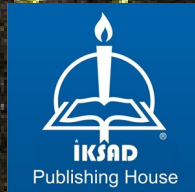


TARIMSAL TEKNOLOJİ VE EKOSİSTEMLERDE İLERİ UYGULAMALAR:

Verimlilik, Çevresel Etkiler ve Yenilikçi Yaklaşımlar

EDİTÖR

Doç. Dr. Emine KAYA ALTOP



TARIMSAL TEKNOLOJİ VE EKOSİSTEMLERDE İLERİ UYGULAMALAR:

Verimlilik, Çevresel Etkiler ve Yenilikçi Yaklaşımlar

EDİTÖR

Doç. Dr. Emine KAYA ALTOP

YAZARLAR

Prof. Dr. Hikmet GÜNAL

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN

Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN

Prof. Dr. Salih AYDEMİR

Doç. Dr. A. Konuralp ELİÇİN

Doç. Dr. Emine KAYA ALTOP

Doç. Dr. Fatih ÇİĞ

Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK

Doç. Dr. Fırat PALA

Doç. Dr. Musa ATAŞ

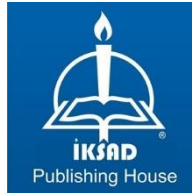
Doç. Dr. Mesut BUDAK

Dr. Öğr. Üyesi Tarkan AYZ

Dr. Öğr. Üyesi Miraç KILIÇ

Dr. Öğr. Üyesi Mesut SIRRI

Zir. Yük. Müh. Hasine KÜÇÜKYILDIRIM



Copyright © 2023 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 – 2023©
ISBN: 978-625-367-475-5
Cover Design: İbrahim KAYA
November / 2023
Ankara / Türkiye
Size = 16 x 24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

MODERN TARIMIN ANAHTARI: ŞEKERPANCARI ÜRETİMİNDE GÜNCEL YABANCI OT KONTROL STRATEJİLERİ

Doç. Dr. Emine KAYA ALTOP

Doç. Dr. Fırat PALA.....3

BÖLÜM 2

YERFİSİTİĞİ YETİŞTİRİCİLİĞİ VE ŞIRNAK'TA ÜRETİM DURUMU

Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK

Doç. Dr. A. Konuralp ELİÇİN

Dr. Öğr. Üyesi Tarkan AYAZ.....23

BÖLÜM 3

ŞEKER PANCARI ALANLARINDA YABANCI OTLARLA MÜCADELEDE KRİTİK PERİYODUN BELİRLENMESİ

Doç. Dr. Emine KAYA ALTOP

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN.....39

BÖLÜM 4

ŞANLIURFA TOPRAKLARININ ÖZELLİKLERİ VE KULLANIMI

Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN.....61

BÖLÜM 5

TARIM ÜRÜNLERİNİN VERİM TAHMİNLERİNDE MAKİNE ÖĞRENİMİNİN KULLANIMI VE FARKLI MAKİNE ÖĞRENİMİ ALGORİTMALARININ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Prof. Dr. Hikmet GÜNAL

Dr. Öğr. Üyesi Miraç KILIÇ

Doç. Dr. Mesut BUDAK.....103

BÖLÜM 6

YABANCI OTLARIN KONTROLÜNDE OTONOM ROBOTLARIN KULLANILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Mesut SIRRI

Doç. Dr. Musa ATAŞ

Doç. Dr. Fatih ÇİĞ.....121

BÖLÜM 7

MİKROPLASTİKLERİN KARASAL EKOSİSTEME ETKİSİ

Doç. Dr. Mesut BUDAK

Prof. Dr. Hikmet GÜNAL.....153

BÖLÜM 8

ŞIRNAK İLİ YAĞLI TOHURLAR POTANSİYELİ VE MEKANİZASYON DURUMU

Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK

Doç. Dr. A. Konuralp ELİÇİN.....171

BÖLÜM 9

KONTROLLÜ SALINIMLI GÜBRELER: MATERYAL SEÇİMİ UYGULAMALARI VE ÖNEMİ

Zir. Yük. Müh. Hasine KÜÇÜKYILDIRIM

Prof. Dr. Salih AYDEMİR.....181

ÖNSÖZ

Bu kitap, tarımın önünde duran çeşitli zorluklarla başa çıkmak ve sektördeki dönüşümü desteklemek amacıyla ileri teknolojik uygulamaların ve yenilikçi yaklaşımların rolünü vurgular. Tarımsal verimliliği artırmak, çevresel etkileri azaltmak ve sürdürülebilirliği sağlamak için geliştirilen ileri teknoloji uygulamaları, bu kitapta geniş bir perspektifle ele alınmaktadır. Şırnak ili yağlı tohumlar potansiyeli, kontrollü salımlı gübrelerin materyal seçimi, tarım ürünlerinin verim tahminlerinde makine öğrenimi, mikroplastiklerin ekosistemlere etkisi gibi konular, tarımsal teknolojinin sunduğu çözümler bağlamında detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Yabancı ot kontrolünde otonom robotların kullanımı, Şanlıurfa topraklarının özellikleri ve kullanımıyla ilgili ayrıntılı bir inceleme, tarımsal uygulamalar açısından değerli bir bakış sunmaktadır. Ayrıca, şeker pancarı tarlalarında yabancı otlarla mücadelede kritik periyodun belirlenmesi gibi pratik konuların, güncel yabancı ot kontrol stratejileri ile tarımsal üretimdeki zorluklarla başa çıkmak için önemli bir rehber niteliğindedir. Bu kitap, tarım sektörünün geleceğini şekillendirmek için teknolojiyle birleşen yenilikçi yaklaşımları vurgulayarak, tarımsal verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma yolunda bir rehber olmayı amaçlamaktadır.

Doç. Dr. Emine KAYA ALTOP

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Ziraat Fakültesi

Bitki Koruma Bölümü

BÖLÜM 1

MODERN TARIMIN ANAHTARI: ŞEKERPANCARI ÜRETİMİNDE GÜNCEL YABANCI OT KONTROL STRATEJİLERİ

Doç. Dr. Emine KAYA ALTOP¹

Doç. Dr. Fırat PALA²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10372680>

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, kayae@omu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0987-9352

² Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, firatpala@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002- 4394-8841

GİRİŞ

Yabancı otlar, şeker pancarıyla ışık, besin ve su kaynakları için rekabet eder ve kontrol edilmezse yüksek ürün kaybına neden olabilir. En rekabetçi olanlar, çoğunlukla geniş yapraklı türlerden oluşan yıllık otlardır. Bunlar, ürünle aynı zamanda ortaya çıkar veya kısa süre sonra üründen daha uzun boylu büyür ve yoğun gölge oluşturur. Sonuç olarak, bu otların yoğunluğu arttıkça, ışık daha kısıtlı hale gelir ve kök verimleri azalır. Bu azalma, rekabet yeteneğine, yabancı ot yoğunluğuna ve yabancı otların ürünle rekabet etme süresine bağlıdır. Tüm büyüme sezonu boyunca var olan ciddi bir istila, herhangi bir kontrol önlemi alınmazsa tam bir ürün kaybına neden olabilir.

Ekimden sonra 8 hafta içinde veya şeker pancarı bitkisinin iki yaprak aşamasına 4 hafta içinde çıkan kontrolsüz yıllık yabancı otlar, kök verimlerini %26 ila %100 arasında azaltabilir (Schweizer ve Dexter 1987; Rosso vd. 1996). Ekimden sonra 8 hafta içinde ortaya çıkan ve özellikle şeker pancarı bitkileri sekiz veya daha fazla yapraklı olduktan sonra ortaya çıkan otların verime etkisi daha az olasıdır. Scott vd. (1979), şeker pancarının dört ila altı yaprak aşamasına ulaştığında otların, sonraki 6 hafta boyunca günlük %1,5 oranında verimi azaltabileceğini tahmin etmiştir. Farklı zamanlarda çıkan yabancı otların şeker pancarı verim kayıplarına etkisi üzerine sürenin etkisiyle ilgili veriler, gereken yabancı ot kontrol sürelerini belirleme temelini oluşturur.

Dünya genelinde yaklaşık 250 bitki türü önemli yabancı ot haline gelmiş ve bunların yaklaşık 60'ı ana şeker pancarı üretim bölgelerinde bulunmaktadır. Şeker pancarı tarlalarında bulunan yabancı otların yaklaşık %70'i geniş yapraklı türlerden oluşurken, %30'u dar yapraklı türlerdir (May ve Wilson 2006). Şeker pancarı tarlalarında yabancı otların çıkış zamanı, uygulanması gereken yabancı ot kontrol programının türünü belirlemede önemli bir rol oynar.

2. YABANCI OT KONTROL YÖNTEMLERİ

1950'lerin başından bu zamana kadar şeker pancarı tarımında traktörle sürme ve el emeği gibi yöntemler hâlâ birçok üretim bölgesinde kullanılırken, yabancı otların kontrolünde herbisitler başlıca yöntemdir. Modern yabancı ot kontrol önerileri, şeker pancarı bitkilerinin sezonun erken dönemlerinde yabancı otlara karşı avantaj elde etmesi gerektiği gözlemlerine dayanmaktadır. Yabancı ot tohumlarının yenilenmesini (şeker pancarı tarlasında, uygun koşullar altında çimlenip gelişerek şeker pancarı ekiniyle rekabet edebilecek

yabancı ot tohumlarının bulunduğu depolama alanları) sınırlayan yabancı ot yönetimi programları tasarlamak önemlidir. En uygun tarla rotasyonlarını, herbisitleri ve toprak işleme uygulamalarını içeren programlar, tohum bankasındaki tohumların sayısını ve çeşitliliğini sınırlamada önemli bir rol oynar. Büyük bir tohum bankası varlığında 2 ila 4 yıl boyunca yoğun bir yabancı ot yönetimi sistemi uygulanmalıdır, ancak bir kez yabancı ot tohum bankası düşük bir seviyeye indirildiğinde, herbisit ve toprak işleme (tırmık) yöntemlerinin sürekli kullanımıyla düşük seviyede tutulabilir (Schweizer ve Dexter 1987).

Yabancı ot kontrol programları genellikle yabancı otların erken dönemde kontrolüne (ekimden çıkış yapana kadar 2 ila 4 gerçek yaprak dönemine kadar) dayanır; ancak kontrol, sıra kapanana kadar devam etmelidir. Ardışık herbisit uygulamaları, genellikle önceki işlemlerden etkilenen uygulamalar olduğundan, bu dönemde yabancı ot kontrolü en zordur; çünkü küçük şeker pancarı fideleri herbisitlere düşük toleransa sahiptir ve toprak işleme ile kolayca örtülebilirler. 2 ila 4 gerçek yaprak ve sıra kapanma (şeker pancarı sıraları arasında traktörün bitkileri zarar vermeden geçebileceği son dönem) dönemlerinde, şeker pancarı bitkileri daha büyüktür ve önceki dönemde kullanılmayan bazı mekanik ve kimyasal yabancı ot kontrol yöntemlerine bir miktar tolerans gösterir. Sıra kapanmasından sonra, şeker pancarı bitkileri, şeker pancarı ekimi tamamlandığında ve canlılık normal olduğunda, yeni çıkan yabancı otları bastırarak kadar büyüktür (Dawson 1965). Kontrol önlemleri, sıra kapanmasından sonra yalnızca eğer ekim tamamlanmamışsa veya şeker pancarı bitkilerinin normal canlılığı yoksa gereklidir. Bu dönemde çok yıllık yabancı otlarda da kontrol gerektirebilir.

2.1. MEKANİK YABANCI OT KONTROLÜ

Mekanik kontrol, yabancı otları fiziksel olarak kökünden sökerek, bitkileri parçalayarak veya yabancı ot gövdelerini ve yapraklarını köklerinden ayırarak ortadan kaldırır ve özellikle genç yıllık otlar için etkilidir. Toprağı işlemenin dezavantajlarından biri, dinlenen yabancı ot tohumlarını toprağın yüzeyine getirerek çimlenmelerine olanak tanımasıdır. Çimlenmeyi sığ ve tekrarlanan işlemlerle önlenir. Başka bir dezavantaj, çok yıllık yabancı otların istenmeyen şekilde çoğalmasındır; kök parçalarını, rizomları, koşnilleri

ve yumruları doğrayarak ve yayarak her biri yeni bir yabancı ot bitkisine dönüşecek şekilde yayılırlar.

Traktöre monte edilmiş çapalar, şeker pancarı sıraları arasında yabancı otları yok etmek için çoğu şeker pancarı üreten ülkelerde çok önemlidir. Özellikle traktör çapaları, herbisitlerin sıraların üzerine bantlar halinde püskürtüldüğü durumlarda (ve sıralar arasındaki yabancı otların hâlâ kontrol edilmesi gerektiğinde) veya geç bir herbisit uygulamasını değiştirmek için (özellikle yabancı ot bulaşıkları düşükse veya bazı yabancı otlar herbisit tarafından düzgün bir şekilde kontrol edilemeyecek kadar ilerlemişse) veya yabancı ot şeker pancarı ve çok yıllıklar gibi zorlu yabancı otları kontrol etmek için kullanılır. Traktör çapaları, toprak gevrek olduğunda daha az yabancı otların tekrar köklenebileceği kuru koşullarda çok daha iyi performans gösterir. Diğer yandan, parmak veya ince dişli yabancı ot temizleyicileri, toprak nemli olduğunda genellikle daha iyi çalışır; nemli koşullar altında yabancı otları topraktan çıkarmak daha kolay olsa da, bazı yabancı otlar, özellikle tek çenekliler, ıslak koşullarda kolayca tekrar kök salabilir (Jones ve ark. 1996).

Birçok Avrupa ülkesinde el ile çapalama pahalı bir uygulamadır, ancak küçük işletmelerde (veya ülkelerde) aile işçiliğinin çiftçi için düşük bir nakit maliyeti olduğu durumlarda veya herbisitlerin etkinliği azalırsa ve tamamen etkili olmadığında, manuel yabancı ot kontrolü genellikle gereklidir. Herbisit kullanımının azaltılması, çevre kirliliğini sınırlamak ve insan sağlığını korumak için bir gereklilik haline gelmiştir. Düşük Doz Sistemi, şerit halinde püskürtme ve tırmıklama kombinasyonu (Şekil 1'deki etkiler) herbisit kullanımında %86'lık bir azalmaya olanak tanıyabilir.



Şekil 1. Düşük doz uygulamasının şekerpancarındaki etkileri .

2.2. KİMYASAL MÜCADELE

Şeker pancarı için kimyasal mücadelede ekim öncesi ve çıkış öncesi herbisit uygulamalarında kullanılan herbisitlerin temelde iki kategorisi bulunmaktadır. İlk grup, tarlanın ürün bitkisi çıkış yapmadan önce otları öldürmek için kullanılan seçici olmayan temas herbisitlerini içerir. İkinci grup ise kalıcı etkili toprak uygulamalı herbisitlerdir ve ekimden önce veya sonra uygulanabilirler.

Şeker pancarı çıkış yapmadan önce seçici olmayan herbisitlerin kullanılmasının temel avantajı, neredeyse tüm çıkan yabancı ot türlerini kontrol altına almasıdır. Bu durumda dünya çapında kullanılan başlıca kontak herbisitleri paraquat, glifosat ve glufosinat-amonium'dur.

Toprak uygulamalı kalıcı etkili herbisitlerin avantajı, ürünle birlikte çıkan yabancı otların sayısını azaltması ve genellikle hayatta kalan otları sonraki çıkış sonrası püskürtmeler için duyarlı hale getirmesidir. Bu tür herbisitler genellikle ekimden önce toprağa karıştırılır. Karıştırma, hava koşullarının etkisini azaltarak kalıcı etkili herbisitlerin performansındaki değişkenliği azaltır. Buharlaşan herbisitler ve yarı-kurak üretim alanlarında karıştırma gereklidir; ancak bu teknik geniş ölçüde kullanılmaz. Kalıcı etkili herbisitler ekim sonrasında kullanılacaksa, şeker pancarı fideleri çıkmadan önce toprak yüzeyine uygulanmalıdır, aksi halde ürüne zarar verebilir. Çıkış

öncesi herbisitleri çoğu şeker pancarı yetiştiricisi için önemlidir çünkü yabancı ot yoğunluğunu azaltır, sonraki çıkış sonrası uygulamaları tamamlar ve çıkış sonrası tedavilerin zamanlaması ve seçimi konusunda esneklik sağlar. Ancak bazı araştırmacılar, ekolojik nedenlerle ekim öncesi veya çıkış öncesi herbisitlerinin kullanılmaması gerektiğini düşünmektedirler.

Çıkış Sonrası Herbisitler: Düşük Doz Tekniği

Çıkış sonrası yabancı ot kontrolünde düşük doz uygulama tekniklerinin benimsenmesi, çıkış öncesi herbisitlerinin kullanılan dozlarında bir değişikliğe yol açmıştır. Düşük dozlu püskürtmelerin artan güvenilirliği ve erken çıkış sonrası uygulaması; geniş yapraklı yabancı ot kontrolü için çıkış öncesi herbisitlerinin önceki dozlarından daha düşük dozlarda kullanılmasına olanak tanımıştır. Bu dozda azalma ve dolayısıyla maliyetinde azalma, birçok çıkış öncesi herbisit uygulamasını yetiştiriciler tarafından yabancı ot mücadelesinde tercih edilmesine neden olmuştur. Bu şekilde çıkış sonrası muamelelere bir yardım olarak ve çıkış sonrası herbisitlerin gecikmiş uygulamasına karşı bir sigorta olarak görülmesini sağlamıştır.

Şeker pancarı herbisitleri genellikle geniş bir yabancı ot kontrol spektrumuna veya yeterli kalıcı etkinliğe sahip olmadığından, farklı herbisitlerin tank karışımları yaygın olarak kullanılarak geniş bir yabancı ot kontrol spektrumu sağlanmaktadır (May ve Wilson 2006).. Şeker pancarı üzerinde kullanılan geniş yapraklı yabancı ot kontrol herbisitlerinin etkinliğini artırmak için püskürtme katkı maddeleri kullanılmaktadır ve bu, püskürtme damlacıklarının yapraklar üzerindeki temasını artırır. Özellikle kuru koşullarda, yabancı otlar ve bitki yaprakları genellikle balmumu tabakası oluşturduğundan bu katkı maddeleri oldukça faydalıdır. Bu nedenle birçok ülkede çıkış sonrası işlemlerde genellikle bir yağ katkı maddesi önerilmektedir. Şeker pancarı tarlalarında kullanılan başlıca püskürtme katkı maddeleri genellikle mineral veya bitkisel yağlara dayanmaktadır, ancak birçok ülkede geniş yapraklı yabancı ot kontrol herbisitleri ile birlikte tallow aminleri ve ıslatıcılar önerilmektedir (Vasel vd., 2012). Püskürtme katkı maddeleri özellikle çıkış sonrası bazı çim öldürücüler için önemlidir. Mineral yağlar genellikle Alloxidim, clethodim, cycloxydim, quizalofop ve sethoxydim gibi dar yapraklı yabancı ot ilaçlarıyla birlikte önerilmekte olup, bazı fluazifop-P-butyl formülasyonlarıyla mineral yağlar veya non-iyonik ıslatıcılar önerilmektedir.

Çoğu çıkış sonrası dar yapraklılara etkili herbisitler, yabancı otların uygun bir hedef oluşturması için nispeten geç bir dönemde uygulanmalıdır (Deveikyte vd., 2008).

Geniş yapraklı yabancı otların kontrolü için düşük hacimli, düşük dozlu bir sistem, çoğu çıkış sonrası herbisit uygulaması için birçok Avrupa ülkesinde benimsenmiştir (Candolo 1988; Muchembled 1989; Balsari 1996). Bu teknik, herbisit etken maddesinin geleneksel dozlarını üçte iki azaltmıştır. Düşük püskürtme hacimleri, bitkilerin iyi bir şekilde püskürtmelerini sağlayan ince püskürtme damlacıkları üreten püskürtme nozulları ile birleştirilmiştir (Balsari ve Airoidi 1993). Tekniğin temel avantajlarından biri, yetiştirici için ekonomik maliyetle sürekli iyi yabancı ot kontrolünün sağlanabilmesidir. Teknik başarısı için püskürtmelerin iki çenekli ot döneminde yapılması esastır. Daha yeni herbisitler ve tank karışımı seçeneklerinin tanıtılmasıyla püskürtme zamanlaması genellikle erkenden gerçek yaprak dönemine kadar bırakılabilmektedir. Yabancı ot yoğunluğunda yeni bir artış olduğunda uygulamalar tekrarlanmalıdır. Uygulamalar, yabancı otlar ortaya çıktığı anda başlar ve sıra kapanana kadar her 5-7 günde bir üç veya dört herbisit uygulaması yapılır. Geleneksel herbisit dozları kullanan çoğu yetiştirici geniş yapraklı yabancı ot kontrolü için genellikle ön çıkış kalıcı etkili bir herbisit ardından çıkış sonrası bir herbisit olmak üzere iki püskürtme programını takip eder. Düşük doz tekniklerinde genellikle üç kez püskürtme yapılır; ya ön çıkış tedavisi takiben iki çıkış sonrası tedavi veya ön çıkış tedavisi olmadan üç çıkış sonrası tedavi uygulanır. Mikro-doza dayalı sistemler ise üç, dört veya daha fazla geçiş gerektirebilir.

Herbisitlerin azaltılması, çevre kirliliğini sınırlamak ve insan sağlığını korumak adına 1990'larda bir gereklilik haline geldi. Son yıllarda, genel eğilim, üründe çıkış öncesi ve sonrası kullanılan dozların kademeli olarak azaltılmasını, ürünlerin sinerji etkilerini değerlendirmek için çeşitli ürün karışımlarının kullanılmasını sağlamaktadır. Kontrol yöntemlerinin entegrasyonunda da ilerleme kaydedilmiştir ve bu, kimyasal işlemi azaltmaya yardımcı olur (Zanin ve Berti 1991). Avrupa'daki birçok ülkenin verileri, şeker pancarı tarlalarında kullanılan yabancı ot kontrol ürünlerinin yüzey ve yeraltı sularında, diğer tarım ürünlerinde kullanılan yabancı ot kontrol ürünlerinin kalıntılarına kıyasla neredeyse hiç bulunmadığını göstermektedir (Kreuger 2002). Ayrıca, çeşit davranışı ve bitki yetiştirme hızı, yabancı ot ekolojisine ve mekanik yabancı ot

temizleme ekipmanlarının kullanımına bağlı olarak, kimyasal yabancı ot kontrolünün daha rasyonel bir şekilde kullanılmasını ve dolayısıyla çevreye daha az zarar verilmesini mümkün kılacaktır.

Pestisit kullanımı zaten düşük seviyedeyken, herbisit kullanımını azaltmak için entegre bir yabancı ot kontrol sisteminde düşük doz sistemi (DDS), şerit püskürtme, traktör tırnağı ve tırmık kombine edilmektedir. DDS'nin kullanımıyla, kumlu ve organik topraklarda yabancı otları kontrol altına alarak, herbisit kullanımında %40'a varan bir azalma sağlanır. Şerit püskürtmeyle, genel püskürtmeye kıyasla şeridin genişliğine bağlı olarak %50-60 oranında bir azalma sağlanır. DDS, şerit püskürtme ve tırmıklamanın birleştirilmesi (bir veya iki DDS püskürtmesinin yerine geçerek) %86'lık bir azalmaya yol açar (Westerdijk ve diğ. 1994).

Herbisit kullanımının azaltılması iki temel şekilde elde edilebilir: (a) herbisit uygulamalarının kimyasal olmayan yabancı ot kontrol önlemleriyle değiştirilmesi (tarımsal tekniklerin yeniden değerlendirilmesi dahil); (b) hektar başına aktif madde olarak ifade edilen genel dozun azaltılması (herbisit dozunu en aza indirme). Bu şekilde, yabancı ot kontrolü, kimyasal ve kimyasal olmayan stratejileri içeren yeni bir sistem olan entegre yabancı ot yönetimini içerir. Bu sistem, şeker pancarı tarımında herbisit kullanımını azaltma potansiyeli sunar ancak büyük ölçekli bazda onun yerine geçmez.

2.3. KİMYASAL OLMAYAN YABANCI OT KONTROL YÖNTEMLERİ

Rotasyonla Yabancı Ot Kontrolü

Yabancı ot kontrolü sadece tek bir üründe değil, tüm rotasyonda ele alınmalıdır; böylece bir yabancı ot türünün gelişmesine izin verilmez ve başlıca bir sorun haline gelmez veya dengesiz bir yabancı ot topluluğu oluşturulmaz. Amaç, her bir durumda, yabancı otları kontrol etmek ve bunları, en yüksek etkinlik, en düşük maliyet ve minimum çevresel riskle kontrol etmektir. Bu bağlamda, yabancı otlarla benzer olmayan bitki türlerinin sırasıyla değişmesi önemlidir; böylece yabancı ot türleriyle veya yabancı ot kontrolünün etkisiz olduğu bitki türlerinde yabancı ot yönetim programları tasarlanabilir. Toprak işleme yöntemleri ve rotasyon uygulamasıyla etki sağlanan başlıca yabancı otlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Önceki ürünlerde farklı toprak işleme yöntemlerinin şeker pancarı tarlasındaki yabancı ot türlerinin niteliği üzerindeki etkisi

Toprak işleme	Önceki ürün	Başlıca yabancı otlar
Geleneksel toprak işleme (20-25 cm üstü)	Ayçiçeği, mısır, soya fasulyesi	<i>Abutilon theophrasti</i> , <i>Amaranthus</i> spp., <i>Ammi majus</i> , <i>Chenopodium album</i> , <i>Cyperus rotundus</i> , <i>Cirsium arvense</i> , <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Datura stramonium</i> , <i>Echinochloa crus-galli</i> , <i>Polygonum</i> spp., <i>Salsola kali</i> , <i>Sorghum halepense</i> , <i>Xanthium strumarium</i>
Minimum toprak işleme (15-20 cm)	Buğday, ayçiçeği, soya fasulyesi	<i>Alopecurus myosuroides</i> , <i>Amaranthus</i> spp., <i>Ammi majus</i> , <i>Chenopodium</i> spp., <i>Cirsium arvense</i> , <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Fallopia convolvulus</i> , <i>Lolium</i> spp., <i>Phalaris</i> spp., <i>Polygonum aviculare</i> , <i>Sinapis</i> spp.
Doğrudan ekim	Buğday, ayçiçeği, mısır, soya fasulyesi	<i>Agropyron repens</i> , <i>Alopecurus myosuroides</i> , <i>Cirsium arvense</i> , <i>Convolvulus</i> spp., <i>Equisetum</i> spp., <i>Fallopia convolvulus</i> , <i>Phalaris</i> spp., <i>Picris echioides</i> , <i>Poa</i> spp., <i>Sorghum halepense</i>

Mekanik Mücadele

Tarımsal sektör, gelişmekte olan ülkelerde mekanik yabancı ot kontrolü ile ilgili olarak ilerleme kaydetmiş olsa da, hassas teknolojilerin entegre edilmesi için daha ileri gelişmelere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, tarım sektörü genellikle pestisitlere güvenmektedir. Mekanik yabancı ot kontrolü kategorisine giren malçlama, şeker pancarı üretimi üzerindeki yabancı otların olumsuz etkilerini hafifletmek için etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır. Siyah ve beyaz polietilen malç kullanımı da dahil olmak üzere malçlamanın olumlu etkilerini vurgulamaktadır (Moursy vd., 2021). Bu uygulama, yalnızca

yabancı ot büyümesini baskılamakla kalmaz, aynı zamanda şeker pancarı kalite özelliklerini artırır. Şeker içeriğinde artışa, daha yüksek saflığa, geliştirilmiş çıkarılabilir şeker yüzdesine, kök veriminde artışa ve genel şeker veriminde bir artışa yol açar.

Çeşitli mekanik yabancı ot kontrolü, bitki sıraları arasında yabancı otları kontrol eden özel makineler veya bitki olgunlaştıktan sonra sıra üzerinde kullanılan taraklar gibi çeşitli türlerde olabilir. Makinelerin herbisitlere kıyasla maliyetleri, geleneksel şeker pancarı üretiminde az sayıda kullanılmalarına sebep olur; ancak organik şeker pancarı üretiminde gereklidirler. Yeni mekanik yabancı ot kontrolü ile herbisitler arasındaki karşılaştırma deneyleri (Cornelis et al. 1997; Tugnoli et al. 2002), şunları göstermiştir: (a) sürüş düşük doz sistemine (DDS) uygulanması gereken zaman ve sıklık, tırmıklamanın zaman ve sıklığından farklılık gösterebilir; (b) en iyi yabancı ot kontrolü, parmak veya yıldız şekilli taraklar, esnek dişli kültivatör, bölünmüş kürek pala, sıra arası döner pulluk gibi kombinasyonlarla elde edilmiştir; (c) 2 gerçek yaprak aşamasından itibaren tırmıklamanın normal uygulamalardan biraz daha zayıf bir yabancı ot kontrolü sağladığı görülmüştür; (d) 4 gerçek yaprak aşamasından itibaren yapılan tırmıklama, normale benzer bir yabancı ot kontrolü sağlamış ve bir veya iki DDS püskürtme uygulaması yapılmamış olabilir; (e) en iyi yabancı ot kontrolü, 6 gerçek yaprak aşamasından itibaren bir veya iki DDS püskürtme yerine yapılan bir veya iki tırmıklama ile elde edilmiştir; (f) gerçek yaprak aşamasından itibaren tırmıklama ve daha yüksek sürüş sıklığı şeker pancarının verim ve kalitesi üzerinde etkili olmamıştır. Dünya genelinde birçok üniversite, otlayan robotlar üzerinde çalışmaktadır. Şu ana kadar proje ekipleri, dört tekerlekli olarak ilerleyen bir platformun pancar sırasını takip edebildiğini ve bir pancar bitkisi ile yabancı ot arasında tatmin edici bir şekilde ayırım yapabildiğini göstermiştir. Ancak bu algoritmaların daha da geliştirilmesi gerekmektedir; böylece robotun pancar sırasından yabancı otları nasıl çıkaracağı konusuna daha fazla çalışma yapılabilir (Şekil 2).



Şekil 2. Mekanik yabancı ot kontrolü

Otonom robotik ot kontrolü, tarımın hâlâ manuel ve işgücü yoğunluğu olan görevlerinden birini otomatikleştirmek için potansiyel olarak rol alabileceğini göstermektedir. Yabancı ot kontrolü mekanizmaları alanında henüz daha fazla çaba gerekmektedir. Robotik teknoloji, tarımın mevcut pestisitlere olan bağımlılığını azaltma, sürdürülebilirliğini artırma ve çevre üzerindeki etkisini azaltma potansiyeli sunabilir (Slaughter vd., 2008). Hesaplama hızında, depolama kapasitelerinde ve ağ bağlantılarında önemli ilerlemeler, makine görüşü ve spektral sensörler gibi elektronik ve elektrikli bileşenleri daha pratik ve verimli hale getirmiştir. Merfield (2016) tarafından belirtildiği gibi, ot alma araçları ile toprak-ot-bitki matrisi arasındaki etkileşimi araştırmak için büyük bir ihtiyaç bulunmaktadır. Otomasyon ve kontrol teknolojik ilerlemeleri, potansiyel sistem performanslarını büyük ölçüde artırmıştır. Bu alandaki daha fazla bilgi, ot alma robotlarının belirli uygulamalar için gereken araç türleri hakkında kararlar verebilecekleri veya herhangi bir noktadaki alan koşullarına göre stratejilerini ayarlayabilecekleri daha yüksek bir zeka seviyesine sahip olmalarını sağlayacaktır. Merfield (2016) özellikle mekanik bir ot kontrolü çözümü hakkında yorum yaparken, robotik çözümler kimyasal ot kontrolü için de uygulanabilir yeni olanaklar sunarak benzer yorum ve düşüncelerin dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Bunlar, otomatik ot kontrolünü teknik ve finansal olarak daha uygulanabilir hale getirme

yöntemleri sunan birçok mühendislik gelişmelerinden sadece birkaçıdır. Bu alandaki gelecek çalışmalar, robotların ve gözetmenlerinin belirsiz saha koşullarında karar vermesine nasıl yardımcı olabileceğine odaklanacaktır.

2.4. ENTEGRE YABANCI OT MÜCADELESİ

Entegre yabancı ot mücadelesi, yalnızca gerekli olduğunda kimyasal yabancı ot kontrol yöntemlerinin kullanılmasını amaçlar (Ohmart 2008). Gerçek biyolojik ve tarımsal ihtiyaç, yabancı otların, kontrol edilmezse kabul edilebilir bir eşik düzeyinin üzerinde verim kayıplarına neden olabileceği bitki döngüsü aşaması olarak tanımlanan, yabancı ot rekabetinin kritik döneminde olan ürünü korumaktır (Nieto et al. 1968) veya ekim veya çıkıştan sonraki süreçte yabancı otların bitki verimini azaltmadığı, ancak yabancı ot rekabetinin bitki verimini artık azaltmayacağı süre arasında bir zaman dilimidir (Zimdahl 1988).

Gerçekten de, rasyonel bir herbisit kullanımı, yabancı ot rekabetinin kritik dönemi hakkında bilgiye dayanmalıdır. Covarelli ve Onofri (1998), şeker pancarının, yaklaşık olarak "2–4 gerçek yaprak" döneminden "kabuk kapanma" dönemine kadar olan sürede, yani çıkıştan 15 ila 40 gün sonra yabancı otlardan arındırılması gerektiğini göstermiştir. Yabancı ot kontrol zamanlaması ve herbisit kalıcılığı buna göre seçilmelidir.

Entegre Yabancı ot mücadelesi, yabancı ot rekabetini en aza indirgeyerek bitki üretimini optimize etmeli ve net gelirleri maksimize etmelidir. Bu hedeflere ulaşmak için belirli yabancı otlar ve yabancı ot toplulukları için eşik değerleri belirlenmelidir. Eşik değerleri belirlerken dikkate alınması gereken birçok husus bulunmaktadır; bunlar arasında yabancı otların ürünün verimine ve/veya kalitesine etkisi, tohum bankasına tohum dönüşleri ve mücadele maliyeti gibi faktörler bulunmaktadır (Cousens 1986). Verilen yabancı ot popülasyonunun etkilerinin tahmin edilmesi, üreticilere yabancı ot kontrol girdilerinin optimum seviyesi konusunda karar vermelerinde yardımcı olacaktır.

3. ŞEKER PANCARINDA HERBİSİT VE KALINTI

Katkı maddeleri veya yardımcıları, etken madde aktivitesini iyileştirebilen veya değiştirebilen maddelerdir. Bu maddeler, daha homojen bir dağılım sağlayabilir, sürüklenmeyi azaltabilir, etkinliği artırabilir ve kullanım güvenliğini artırabilir. Ayrıca, kompozisyonlarına ve etki mekanizmalarına

göre yağlar (parafinik ve bitkisel), yüzey aktif maddeler ve spreyleyler (anyonik, kationik, non-iyonik, amfoterik), stabilizatörler (emülgatörler, dağılma ajanları, flokülasyon önleyicileri, uyumluluk artırıcılar), çözücüler, depo arttırıcılar (yapıştırıcılar ve film oluşturucular), köpük ve köpük önleyici maddeler ve tamponlama maddeleri gibi farklılaşabilirler. Ayrıca, son yıllarda özellikle esterifikatörler gibi bitkisel kaynaklı katkı maddelerinin fitoterapideki önemi üzerine birçok deneysel kanıt bulunmaktadır (Mantey et al. 1989; Gauvrit 1994; Müller et al. 2001). Son zamanlarda, Tugnoli ve ark. (2003), tohum yağı (örneğin kanola yağı) ve tamponlama maddeleri (pH düzenleyiciler) kullanılarak daha yüksek toksik ürünlerin yerini alabileceğini ve bazı karışımların biyolojik aktivitesini artırabileceğini bildirmiştir. Ayrıca, Fransa'da yapılan tarla denemelerinde, organosilikon surfaktanların (minimum %98 triloksan bileşiği) hedef yabancı otlarda triflusaluron-metilin etki hızını ve herbisit etkinliğini yaklaşık %11 artırdığı belirtilmiştir (Chiot ve Lanza 2008).

4. ARALIKLI PÜSKÜRTME TEKNİĞİ

Aralıklı püskürtme tekniği, herbisit akış püskürtmelerinin düzenli ve kısa süreli aralıklarla kesilmesine dayanır. Bu alternatif yayılma, damlalar arasında çok kısa bir mesafe elde etmeyi ve bitki kesitlerinin içindeki "aktif bileşen difüzyon fenomeni"nden faydalanmayı sağlar (Bukovac ve Petracek 1993). Aralıklı püskürtme tekniğini kullanarak damlaların yaprakların üzerine dağılımı, geleneksel teknikle karşılaştırıldığında daha uzak bir mesafede ancak düzenlidir.

Bu yeni püskürtme sistemi, yaprak kesitleri aracılığıyla doğal herbisit ve pestisit difüzyonu ile hektar başına düşen doz oranını azaltmak üzere geliştirilmiştir. Falchieri ve ark. (2008), bu tekniğin, güçlü bir şekilde azaltılmış herbisit doz oranı/ha (-48%) ile *Alopecurus myosuroides*, *Capsella bursa-pastoris* ve *Veronica* spp. gibi birkaç yabancı ot üzerinde standart (sürekli püskürtme) tam doz oranı/ha püskürtme tekniği ile aynı performansı gösterdiğini göstermiştir.

5. MODERN YABANCI OT TESPİTİ

Yabancı otlar genellikle tarlalarda düzensiz bir şekilde dağılır. Herbisit kullanımı, ya yalnızca yabancı ot bulaşık alanlara uygulanarak ya da tarlanın tamamına düşük doz oranı ve sonradan gelenlere normal doz oranı uygulanarak

azaltılabilir. Gerekli olan önkoşul, etkili bir yabancı ot tespit yöntemidir. Traktör üzerine monte edilmiş dedektörler uygun görünmemektedir. Bu nedenle, gerçek zamanlı yabancı ot tespiti ve püskürtücü kontrolü mümkündür, ancak bunun için yenilikçi bir tarım sistemi çerçevesinde uygulanması gerekmektedir. Bununla birlikte, tarla haritası üzerinde yabancı ot konumunu belirleyen bir püskürtücü konumlandırma sistemi kullanarak mekansal olarak değişken herbisit uygulamasının potansiyeli olduğu gösterilmiştir. Veri haritası, traktör üzerine monte edilmiş video kameralar, hava fotoğrafları ve manuel tarla gözlemleri gibi görüntü analizine dayalı bir dizi yabancı ot konum tespiti tekniğinden oluşabilir.

6. ŞEKER PANCARINDA ELEKTRİKLE YABANCI OT KONTROLÜ

Elektroherb™ teknolojisi bitkilerin damar sistemlerinde ciddi hücre tahribatına ve sonunda solgunluğa yol açarak çalışma prensibi olarak sistemik bir elektrik akışına dayanır. Yabancı otlarla temas, yüksek gerilimli elektrotların yabancı ot bitkilerine dokunarak elektrik akımının uygulanma anında sadece çalışmasını sağlar; böylece kalıntı bırakmaz ve genetik seçicilik gösterir. Ölümcül etki için minimum enerji eşiği, hasar görecektir damar demetlerinin sayısına ve stabilitesine, bitkinin elektrik direncine ve toprağın elektrik direncine, temas süresine ve elektrot güç çıkışına bağlı olarak tek bir bitkiye iletilen enerji ile ilişkilidir. Ayrıca, elektro-fiziksel bitki işleminin tarlada verimliliği, özellikle bitki türlerine, morfolojiye, büyüme aşamasına ve popülasyon yoğunluğuna bağlıdır. Özellikle kök sistemleri gibi yeraltı bitki kısımlarına verilen zarar, sürdürülebilir bitki kontrolü açısından büyük önem taşır. Kök sistemindeki zarar, elektrik akımının toprağa dağılmadan önce daha derin kök bölgelerine ulaşabilmesi nedeniyle nemli koşullardan daha kurak toprak koşullarında daha ciddidir.

Elektroherb™ teknolojisinin başlıca uygulama sınırlılıkları, yoğun bitki yoğunluğunda ve yüksek lignifikasyonlu bitkilerde, ayrıca çok gövdeli türlerde (örneğin, otlar gibi) kök sistemlerinin büyük ve yoğun olmasından ve yukarıda elektrot temasını engelleyen etkilerden kaynaklanmaktadır. Örneğin, Elektroherb™ kullanarak kurutma yaklaşımları ve kimyasal ajanların birlikte kullanılması veya kimyasal herbisitlerin kurulan saha hazırlığı yönetimleri için doğrudan bir alternatif olarak kullanılması, şeker pancarı yetiştiriciliği gibi

alanlarda çiftçilere etkili alternatifler sunabilir. Elektroherb™ teknolojisini mevcut herbisit yönetimlerine ve tarım stratejilerine erken entegre etmek, tarım uygulamalarına bilinçli bir şekilde dahil edildiğinde başarılı bir avantaj sunabilir.

Genel olarak, şeker pancarı tarlasında yabancı ot kontrolü maliyetli ve zaman alıcıdır. Ortalama maliyetler genellikle 300 € ha⁻¹'yi aşmakta ve bu da toplam yetiştirme maliyetlerinin %20'sinden fazlasını oluşturmaktadır (LFL, 2019). Şeker pancarı bitkilerinin büyüme ilk aşamalarında (<8 yaprak aşaması) şeker pancarı bitkilerinin hassasiyeti nedeniyle verim kayıplarını önlemek için yabancı ot rekabetinin tamamen dışlanması gerekmektedir. Geçmişte, şeker pancarı yetiştiriciliğinde yabancı ot ve yabancı ot tohumu popülasyonlarını kontrol etmek için elektrik gücünü kullanan bir dizi yaklaşım denenmiş ve elektrikli yabancı ot mücadelesi etkili bulunmuştur. Sentetik-kimyasal herbisit kullanımına yönelik yasal kısıtlamalar, artan herbisit dirençleri ve pestisitlerin daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını teşvik eden (Directive 2009/128/EC) şu anda, etkili yabancı ot kontrolü için alternatif ve daha yenilikçi yöntemleri desteklemektedir. Şeker pancarı tarlasında kimyasal olmayan bir yabancı ot kontrolü olarak Elektroherb™ teknolojisinin uygulanması desteklenmektedir. Şeker pancarı ile yabancı otlar arasındaki rekabet, geçmişte kimyasal herbisitlerin kullanımıyla sınırlandırılan büyük verim kayıplarına yol açabilirdi. Toprak koruma, azalan sayıda mevcut kimyasal herbisit, yabancı ot dirençlerini önleme gerekliliği ve keskin gıda güvenliği standartları göz önüne alındığında, modern tarım koruma yöntemlerine yeni yaklaşımların entegre edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, erozyonu önlemek ve şiddetli yağışların ardından su infiltrasyonunu artırmak için yüzey tohumlama ile yetiştirilen şeker pancarında ön-gelişme yabancı ot kontrolü için elektrikli yabancı ot kontrolü, kimyasal ve mekanik yabancı ot kontrol stratejilerine entegre edildi.

Genel olarak değerlendirildiğinde otomasyon araçları, tarlalardaki ot kontrolünde el ile çekimin azaltılması veya ortadan kaldırılması gerekliliğini işaret ediyor.

- Ot kontrolü için otomasyonun mevcut durumu, bu teknolojilerin benimsenme hızının önemli ölçüde artacağını öngörülebilir kılyor.

- Tarımda teknoloji benimsenmesi, yeni bir sistem olarak mı kabul edilmesi gereken belirsiz bir durumdadır (Harker ve O'Donovan, 2013).
- Benimsenmede rol oynayan bir dizi sorun ve zorluk bulunmakta ve bu listeyi mümkün olduğunca eksiksiz hale getirmek önemlidir.
- Bir sistem değişikliği örneği, modern ve gelişmiş traktörlerin tanıtımıdır ki bunun benimsenmesi uzun zaman almıştır, kısmen çünkü yeni otomatik araçların kullanımı gerekliliği vardı, atları kaldırmak ve çiftçilerin mekanik bir yaklaşım elde etmek istemesi nedeniyle.
- Hassas tarım da çiftçiler tarafından benimsenmesi gereken yeni bir sistemdir. Ekipman değişiklikleri, tarımsal değişiklikleri içerir. Hassas tarım teknolojilerinin uygulanması, işgücünün pahalı olduğu ancak arazi ve sermayenin nispeten daha az maliyetli olduğu yerlerde en hızlı olmuştur (Swinton ve Lowenberg-DeBoer 2001).
- Tarımda yeni teknolojilerin kabul edilmesini öngörebilmek için tarihsel bilgilere bakmak yararlı olabilir.
- Otomatik mekanik çapalama tarım alanında bir yer edinecek ve organik sektörde daha hızlı bir şekilde kullanılacak.
- Geleneksel tarım, gelecekte muhtemelen en büyük ölçüde hassas kimyasal ot kontrolü için gelişmiş otomasyona dayalı olacaktır. Herbisitlere dayanıklı yabancı otların baskısı arttıkça ve kimyasal bileşiklerin sayısı azaldıkça, geleneksel tarımın da benimsenmesi hızlanacaktır.
- Gelecekteki yabancı ot kontrolünde entegre mücadeleye dahil edilmiş otonom sistemler otomatik yabancı ot kontrolünün bir parçası olacaktır.
- GPS teknolojisi ve coğrafi bilgi sistemleri yazılım yöntemleri ticari olarak geniş ölçüde kullanılabilir ve tarla içinde yabancı ot dağılımlarının coğrafi referanslı haritalarının manuel olarak geliştirilmesinde yabancı ot bilimcileri tarafından kullanılmıştır. Makine görüşü yabancı ot algılama teknolojisi ile entegre edildiğinde, bu değerli yönetim aracının otomasyonunu sağlar.

- Bugünlerde, tarım toplumu entegre bir ot yönetimine ulaşmak için tarım sistemlerini değiştirerek herbisitlere alternatifleri yeniden keşfedebilir ve benimseyebilir (Llewellyn vd. 2004).

SONUÇ

Yabancı ot kontrolü, şekerpancarı üretiminde verimliliği ve kaliteyi artırmak için hayati bir öneme sahiptir. Bu çalışma, farklı yabancı ot kontrol stratejilerini değerlendirdi ve modern tarımda şekerpancarı yetiştiriciliği için en etkili yöntemlere yönelim için destek olmayı amaçlamıştır. Yapılan araştırmalar, kimyasal mücadele yöntemlerinin etkinliğini ve yan etkilerini ele aldı. Geleneksel herbisitlerin kullanımıyla ilgili endişeler, çevresel etkiler ve direnç gelişimi şeker pancarı üretiminde önemli sorunlar haline gelmiştir. Kültürel uygulamaların yabancı ot kontrolünde etkinliği unutulmamalıdır. Özellikle yabancı ot şeker pancarı rekabetini azaltabilir ve bitki büyümesini teşvik edebilir. Çiftçilere eğitim ve danışmanlık da, doğru uygulamaların benimsenmesinde kritik bir rol oynar. Sonuç olarak, şekerpancarı yetiştiriciliğinde yabancı ot kontrolü için en etkili stratejilerin bir kombinasyonunu kullanmak gereklidir. Gelecekteki çalışmaların, çevresel etkileri minimize eden ve verimliliği artıran yenilikçi çözümler üzerine odaklanması beklenmektedir. Bu çalışmalar, tarımsal üretimde daha sağlıklı ve etkili yöntemlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Balas, P. R. Makavana, J. M. Mohnot, P. Chauhan, P. M. (2022). Future Trends and Problems of Automation in Weed Control Systems: A Research. *Food Secur. Glob. Chall.* 42–47.
- Balsari, P. (1996). Soluzioni tecniche innovative per la distribuzione degli erbicidi. *Terra e Vita*, 18, 23–28.
- Balsari, P., & Airoldi, G. (1993). Sistemi di polverizzazione e trasporto del liquido. In: *Macchine per la distribuzione dei fitofarmaci e per il controllo delle malerbe nelle colture erbacee* (s. 66–81). Save.
- Bukovac, M. J., & Petracek, P. D. (1993). Characterizing pesticide and surfactant penetration with isolated plant cuticles. *Pesticide Science*, 37, 179–194.
- Candolo, G. (1988). Diserbo chimico: obiettivo volumi ridotti. *Tra le bietole*, 2, 10–17.
- Chiot, G., & Lanza, N. (2008). Silwet: tensioattivo organosiliconico non-ionico per agrofarmaci di recente registrazione in Italia. Alcune esperienze sperimentali in Europa. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 1, 369–376.
- Cioni, F. (1997). Pre-emergence dose rate reduction in spring and autumnal sugar beet sowing. In: *Proceedings of the 60th IIRB Congress* (s. 431–437). Cambridge.
- Cioni, F., Ansaloni, R., & Bettini, G. (1991). Diserbo chimico, risultati sperimentali 1990. *Il Giornale del Bieticoltore*, 2, 11–14.
- Cioni, F., Guizelis, A., Meriggi, P., Vicari, A., & Villarias, J. L. (1998). Role de la betterave a sucre dans les strategies de controle des mauvaises herbes dans les assolements des regions de la mediterranee. In: *Proceedings of the 61 IIRB Congress, February 1998, Brussels (B)*.
- Cioni, F., & Maines, G. (2010). Weed Control in Sugarbeet. *Sugar Tech*, 12(3–4), 243–255.
- Covarelli, G., & Onofri, A. (1998). Effects of timing of weed removal and emergence in sugar beet. In: *Proceedings of 6th EWRS Mediterranean symposium, Montpellier, France* (s. 65–69).
- Cornelis, E., Westerdijk, C. E., Van der Weide, R. Y., & Wevers, J. D. A. (1997). Integrated weed control (harrowing) in sugar beet. In: *Proceedings of the 60th IIRB Congress* (s. 579–584). Cambridge.

- Cousens, R. (1986). Theory and reality of weed control thresholds. *Plant Protection Quarterly*, 2, 13–20.
- Deveikyte, I. & Seibutis, V. (2008). The Influence of Post-Emergence Herbicides Combinations on Broad-Leaved Weeds in Sugar Beet. *Zemdirbyste-Agriculture*, 95, 43–49.
- Harker, K.N. & O'Donovan, J.T. (2013). Recent weed control, weed management, and integrated weed management. *Weed Technol* 27:1–11
- Koch, M., Hermann, A., Ergas, B., Risser, P. (2020). Electrical weed control in sugar beet - A comparison of pre-emergence methods. *Julius-Kühn-Archiv*, 464.
- LFL, (2019). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur. (2019, 10 Ekim). <https://www.stmelf.bayern.de/idb/zuckerruebe.html>
- Llewellyn, R. S., Lindner, R.K., Pannelland, D. J., Powles, S. B. (2004). Grain grower perceptions and use of integrated weed management. *Aust J Exp Agric* 44:993–1001
- Merfield, C. N. (2016). Robotic weeding's false dawn? Ten requirements for fully autonomous mechanical weed management. *Weed Research*, 56(5), 340–4.
- Moursy, M. A., El-Kady, M. S., Hamed, L. M. M., Ibrahim, T. A., Emara, E. (2021). Integrated Water and Weed Management of Sugar Beet Crop by Using Different Mulching in New Reclaimed Areas. *Alexandria Science Exchange Journal*, 42, 155–165.
- Slaughter, D. C., Giles, D. K., Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: a review. *Comput Electron Agric* 61:63–78
- Swinton, S. M., Lowenberg-DeBoer, J. (2001). Global adoption of precision agriculture technologies: who, when and why? In: Grenier G, Blackmore S (eds) *Third European conference on precision agriculture*. Agro Montpellier (ENSAM), Montpellier, pp 557–562
- Vasel, E. H., Ladewig, E., Märlander, B. (2012). Weed Composition and Herbicide Use Strategies in Sugar Beet Cultivation in Germany. *Journal of Cultivated Plants*, 64, 112–125.

BÖLÜM 2

YERFİSİTİĞİ YETİŞTİRİCİLİĞİ VE ŞIRNAK'TA ÜRETİM DURUMU

Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK¹

Doç. Dr. A. Konuralp ELİÇİN²

Dr. Öğr. Üyesi Tarkan AYAZ³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10372698>

¹ Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, ORCID: 0000-0002-2743-4285

² Dicle Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü
ORCID:0000-0003-3240-454

³ Şırnak Üniversitesi Bitki Koruma Bölümü, ORCID 000-0001-8642-2498 Sorumlu
yazar: ferhatozturk21@gmail.com

Giriş

Yerfıstığı (*Arachis hypogaea*); baklagiller familyasından olup tek yıllık ve yazlık olarak yetiştirilen bir sıcak iklim bitkisidir. Meyve oluşumu toprak altında meydana gelmesinden dolayı diğer bitkilerden farklıdır. Meyveler çoğunlukla 1-3 arasında tohum (dane) içermekle beraber bu sayı 6'ya kadar çıkabilmektedir (Taşlıgil ve Şahin, 2009). Tanelerindeki yüksek yağ içeriğinden dolayı Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de yağlı tohumlar kategorisinde yer almaktadır. Çeşide bağlı olarak bünyesinde % 44 – 56 oranında (Bazı kaynaklarda bu değer % 40 – 60 oranında olduğu ifade edilmektedir (Parlakay, 2011) yağ içermektedir (Arıoğlu, 2013). Yerfıstığı yağında genel olarak %45-60 oleik asit, %20-40 linoleik asit, %5-10 palmitik asit, %3-7 stearik asit, %1-3 behenik asit ve % 0.5-2 arasında araşidik asit bulunmaktadır. Yağında antioksidan bir madde olan tokoferol (E vitamini) bulunması ve yüksek oleik asit içermesi nedeniyle yağın stabilitesi ve raf ömrü yüksektir. Yüksek oleik asit içeriğine sahip olduğu için yüksek yanma sıcaklığına sahiptir ve bu nedenle dünyada kızartma yağı olarak çok tercih edilmektedir.

Yerfıstığı ayrıca % 25 oranında protein içermesi, amino asitler, vitamin ve minerallerce zenginliği ile insan sağlığı açısından değerli bir bitkidir. 100 gr. iç yerfıstığı 600 kcal enerjiye sahiptir (Taşkaya, 2007). Yerfıstığı tohumlarında yaklaşık % 18 oranında karbonhidrat ile bol miktarda K, Ca, Mg, P, S, Zn ve Fe gibi mineraller bulunmaktadır. Ayrıca A, B, K ve E gibi vitaminlerce de oldukça zengindir.

Küspesi, endüstri değeri yüksek kesif bir hayvan yemidir. Küspede yaklaşık % 45 ham protein, % 24 azotsuz öz maddeler ve % 5.5 madensel maddeler bulunur. Gelişmiş ülkelerde karma yemlerin yapımında bol miktarda yerfıstığı küspesi kullanılmaktadır. Yerfıstığı küspesi değişik şekillerde işlenerek insan gıdası olarak da değerlendirilmektedir. Yerfıstığı bir baklagil bitkisi olduğu için sap ve yaprakları çok değerli hayvan yemi kaynağıdır. Yaprakları yonca kadar besleyicidir. Yeşil yem olarak doğrudan hayvanlara verilebildiği gibi kurutulularak ve kışın hayvan yemi olarak kullanılabilir. Yerfıstığından elde edilen ürünün 2-2.5 katı kuru ot elde edilir. Yerfıstığının kuru otunda %11 protein, %5 yağ, % 22 ham selüloz, % 42 azotsuz öz maddeler, % 10 kül ve % 10 su bulunmaktadır. Ayrıca yerfıstığı sapları silo yemi yapılarak da değerlendirilmektedir (Kadiroğlu 2023).

Bir baklagil bitkisi olması nedeniyle, diğer baklagillerde olduğu gibi köklerindeki nodozite (yumru) oluşturan bakteriler yardımıyla havanın serbest azotundan faydalanır. Aynı zamanda kendisinden sonra ekilecek bitkiye azot ve organik maddece zengin bir toprak bırakır.

Yerfıstığı çapa bitkisi olması nedeniyle yetiştirme süresi boyunca devamlı çapalanır ve toprak kabartılır. Dolayısıyla yabancı otlardan temizlenmiş, havalanmış bir toprak bıraktığından, iyi bir ekim nöbeti bitkisidir.

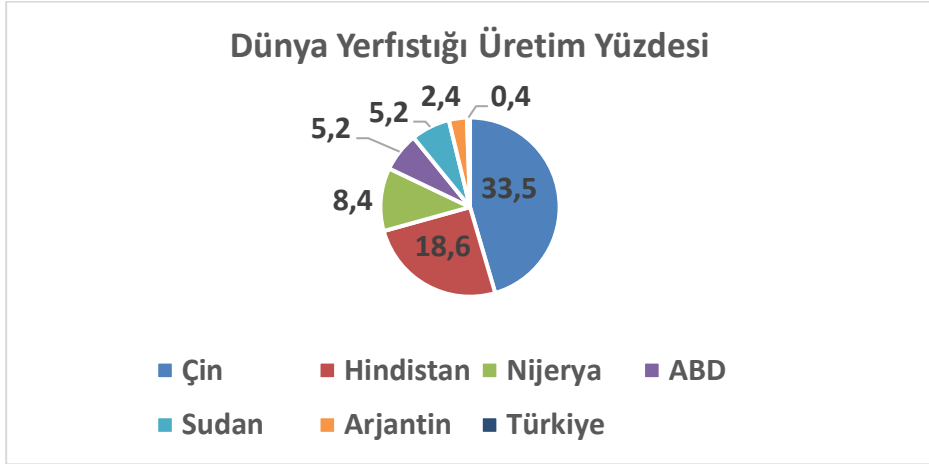
Yerfıstığının hasatında ve hasat sonrasında daha çok mekanizasyona ve işçiliğe ihtiyaç duyulması ekim alanlarının artmasını engelleyen en önemli faktördür. Kalite verim artışının ana unsuru olan mekanizasyon düzeyinin istenilen düzeyde olmaması işletme ekonomisi ile birlikte bölge ve ülke ekonomisi için olumsuz bir durumdur. Mekanizasyon sorununun çözümlendiği yerlerde yerfıstığı üretim alanlarının artmaması için başka hiçbir sebep yoktur.

DÜNYA'DA, TÜRKİYE'DE VE ŞIRNAK'TA YERFISTIĞI ÜRETİM DURUMU

Dünyadaki başlıca toplam yağlı tohumlu bitkiler içerisinde üretim miktarları bakımından yerfıstığı yaklaşık %8.9'luk bir paya sahiptir. Soya, pamuk çiğiti, kolza, ayçiçeği ve susam üretimleri ise sırasıyla %55.8, %15.1, %12.9, %10.3 ve %1.2'lik paya sahiptirler. Bitkisle yağ üretimi bakımından ise yerfıstığı yaklaşık olarak %2.8'ini oluşturmaktadır (Fao 2021).

Dünyada yerfıstığı üretiminin yaklaşık %49'u yağı için, %41'i insan gıdası olarak (çerez, ezme, şekerleme gibi) ve %10'u yem ve tohum gibi diğer amaçlarla kullanılmaktadır. Yağı çıkartıldıktan sonra elde edilen küspesi hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir.

2020 verilerine göre (FAO), dünyada en çok yerfıstığı üreten ülkeler kapsamında, dünya yerfıstığı üretiminin % 33.5'u Çin, %18.6'sı Hindistan, %8.4'ü Nijerya, %5.2'si ABD, %5.2'si Sudan ve %2.4'ü Arjantin'den sağlanmıştır. Türkiye, dünya üretiminin %0.4'ünü sağlamıştır (Grafik 1).



Grafik 1. Dünya Yerfıstığı Üretim Yürümlüğü

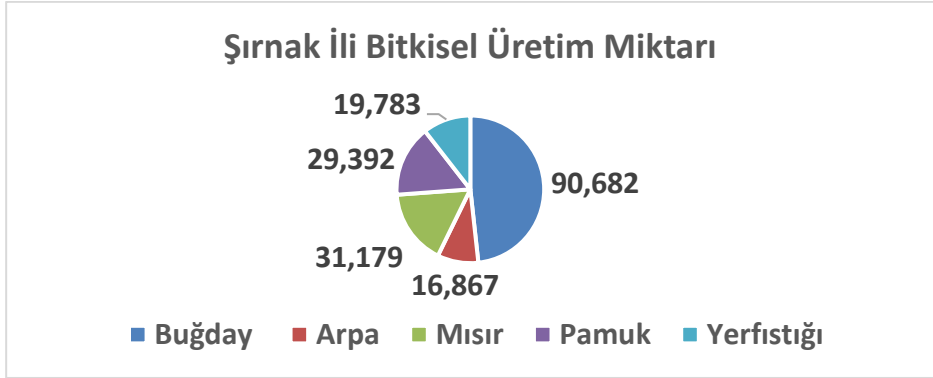
Türkiye’de son yıllarda, yıllara göre çok değışen oranlarda ortalama Türkiye üretiminin %7 civarında kabuklu yerfıstığı ithalatı yapılmaktadır ve üretim arttırılmadığı müddetçe ithalatın artacağı tahmin edilmektedir.

Türkiye’de, son 60 yıldaki yerfıstığı ekim alanları yaklaşık 6 kat ve üretilen toplam ürün miktarı ise 9 kat (bazı yıllarda inişler ve çıkışlar olsa da) artmıştır. 2020 yılında yaklaşık 54.775 ha ekim alanında 215.927 ton kabuklu yerfıstığı üretimi yapılmıştır. Dünyada ise, son 60 yıldaki yerfıstığı ekim alanları yaklaşık 1.9 kat ve üretim miktarı ise 3.8 kat artmıştır. Dünyada 2020 yılında yaklaşık 31.6 milyon ha alanda 53.6 milyon ton kabuklu yerfıstığı üretimi yapılmıştır. Dünyada ve Türkiye’de ekim alanlarına göre üretimin daha fazla artmasının nedeni, gelişen tarım teknolojileri nedeniyle birim alandaki verimin artmasıdır. Ülkemizdeki yerfıstığı verimi, yaklaşık 400 kg/da ile dünya ortalamasının yaklaşık 2.5 katıdır. Bu durumun nedeni, ülkemizde yerfıstığının daha çok sulanabilen verimli kıyı ovalarında ekilmesindedir.

Türkiye’de yerfıstığı ekiminin yaklaşık %80’ine yakını Çukurova bölgesinde gerçekleştirilmektedir. Osmaniye’deki yerfıstığı ekim alanı Adana’dan sonra gelmesine rağmen, Türkiye’deki üretilen yerfıstığının yaklaşık %90’ı Osmaniye’de işlenmekte ve pazarlanmaktadır. En son 2020 verilerine göre, Türkiye’deki yerfıstığı ekim alanlarının %49.3’ü Adana’da, %27.2’si Osmaniye’de, %11.6’sı Şırnak’ta, %2.7’si Antalya’da, %2.4’ü Hatay’da, %1.9’u Kahramanmaraş’ta, %1.8’i Aydın’da, %1.1’i Mersin’de ve %1’i Gaziantep’te yer almıştır (TÜİK, 2020). Şırnak’ta Silopi Ovasında son

yıllardaki yerfıstığı ekim alanlarının hızla artması sevindiricidir. Şırnak, Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer almakta, ortalama 1.400 m rakıma ve 7.172 km² yüzölçümü sahip bir şehirdir. Rakımı yüksek olan yerlerde sert kara iklim, diğer yerlerde ise karasal iklim görülmektedir (Anonim, 2019).

Şırnak'ta 1.541.611,20 da ekilebilir tarım arazisi mevcut olup 753.937,10 da kuru tarım yapılırken, 268.694 da ise sulu tarım yapılmaktadır. Şırnak ilinde yetiştiriciliği en çok yapılan ürünlerin üretimin miktarlarına baktığımızda buğday üretiminin 2022 yılı verilerine göre 90.682 ton, arpa üretiminin 16.867 ton, mısır üretiminin 31.179 ton, pamuk üretiminin 29.392 ton ve yerfıstığı üretiminin 19.783 ton olduğu görülmektedir (Grafik 2). Şırnak ili Silopi ve Cizre ilçelerinin iklim ve toprak yapıları değerlendirildiğinde sulu tarım yapılabilen alanlarda yerfıstığı tarımı her geçen yıl hem üretim alanı hem de üretim miktarı açısından büyük bir artış göstermiştir (Ayaz 2022).



Grafik 2. Şırnak İli Bitkisel Üretim Miktarı

Ülkemizde toplam 15 adet yerfıstığı çeşidi tescil ettirilmiştir (6 adet BATAE, 4 Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, 2 DATAE ve 3 adet de özel sektör). Bunlardan sadece birisi (Florispan) küçük tohumlu Spanish (yağlık) tipi çeşittir, diğerleri ise Virginia tipi iri tohumlu çerezlik çeşitlerdir. Türkiye’de ekilen çeşitlerin tamamı Virginia tipi çerezlik çeşitlerdir. En yaygın ekilen çeşit NC-7’dir. Son yıllarda Halisbey, Masal, Ayşehanım, Rigel çeşitlerinin de ekilişi artmaktadır. Ayrıca; Anamur, Osmaniye, Aydın gibi tescil edilmemiş çiftçi popülasyonları şeklinde yerel tohumlardan söz edilmektedir. Silopi ovasında ise Masal ve NC7 çeşitleri daha yaygın olarak üretilmektedir.

Yerfıstığıın Genel Özellikleri ve Yetiştiriciliği

Yerfıstığı, tropik ve subtropik bölgelerde yetişebilen bir yazlık sıcak iklim bitkisidir. Isı ve güneşi fazlaca isteyen bir bitkidir. Yerfıstığı yetiştiriciliği genel olarak Pamuk tarımının yapılabildiği ekolojilerde yapılabilir. Yeterli sıcaklık durumunda yaklaşık olarak 5 ayda olgunlaşır. Yerfıstığıın çimlenme, çiçeklenme, ginofor oluşumu, kapsül ve tohum oluşumu gibi birbirlerinden farklı büyüme ve gelişme dönemleri vardır.

Erkenci ve daha küçük tohumlu Spanish (yağlık) ve Valencia tipi çeşitlerin toplam sıcaklık istekleri, Virginia ve Runner (çerezlik) çeşitlerden daha düşüktür. Virginia tipi çeşitlerin ortalama 3000-4500 derece toplam sıcaklık isteği vardır. Yerfıstığı tohumları 5-40 °C toprak sıcaklığında çimlenebilmektedir. Çimlenme için optimum toprak sıcaklığı 30-35 °C'dir. Toprak sıcaklığı 15-20 °C'ye ulaşıncaya ekim yapılmalıdır.

Toprak İsteği

Yerfıstığıında meyveler toprak altında geliştiğinden dolayı toprak yapısı yetiştiricilik bakımından önemlidir. Yerfıstığı ekim alanlarının artışını sınırlayan iklimden sonraki bir diğer önemli faktör toprak yapısıdır. Tarla bitkileri içinde yerfıstığı kadar toprak yapısının daha önemli olduğu başka bir bitki çok azdır. Yerfıstığıında, çiçeğin döllemesinden sonra meydana gelen ginoforların (meyve sapları) toprağa rahatça girerek meyveyi oluşturabilmesi ve hasatta kayıpların az olması için toprağın gevşek yapıda olması yani kil oranının yüksek olmaması ve daha çok kumsal yapıda olması istenilmektedir. Yüksek killi geçirgenliği az olan topraklarda verimin düşük olması ve hasat kayıplarının çok fazla olması nedeniyle yerfıstığı tarımı yapmak ekonomik değildir. Silopi toprak yapısının bu anlamda yerfıstığı yetiştiriciliği bakımından istenilen yapıda olması nedeniyle üretim miktarının artışına en büyük etkidir.

Ekim Öncesi Toprak Hazırlığı

Yerfıstığıın meyveleri toprak altında geliştiği için diğer ürünlere göre toprak hazırlığının önemi daha fazladır. Yerfıstığıında tohumların rahatlıkla çimlenip çıkış yapabilmesi ve daha sonra ginoforların toprağa rahatlıkla girerek meyveye dönüşebilmeleri ve meyvelerin gelişerek uygun iriliğe gelebilmeleri için toprağın iyi işlenerek kabartılması çok önemlidir. Topraktaki kil oranı

arttıkça toprak hazırlığının önemi daha da artmaktadır. Şırnak ilinde tarım alet ve makine kullanımında yıllara bağlı olarak artış olduğu görülmüştür.

Ana ürün yerfıstığı ekilişlerinde, tarla sonbaharda ön bitkinin hasatından sonra 20-25 cm derinlikte pullukla sürülür. Şubat ayında bir kat diskaro çekilerek kış boyunca oluşan otlar toprağa karıştırılır. Nisan ayında ise sırasıyla goble disk, diskaro, mibzerle verilmeyecek ise gerekli gübreleme (elle ya da fırfırla), diskaro ve sürgü işlemleri yapıldıktan sonra tarla ekime hazırlanır. Yerfıstığında meyve kabukları ayrıldıktan sonra (iç etme) elde edilen taneler ekimde tohumluk olarak kullanılır. Yerfıstığı iri tohumlu olduğu için kullanılacak tohumluk miktarı daha fazla olmaktadır. Yerfıstığı tohumları dış etkilere karşı çabuk etkilenirler ve bu nedenle çimlenme ve çıkış güçleri düşebilir. Bu bakımdan mümkünse tohumluk hazırlığında kapsüller makine yerine elle iç edilmeli, tohumlar itina ile depolanmalı ve taşınmalıdır. Tohumlarda zararlanma riskini azaltmak için meyveler ekime yakın bir zamanda iç edilmelidir. Tohumlar ısıya ve güneşe maruz bırakılmamalıdır. Genellikle, iri taneli çerezlik çeşitlerde (ülkemizde yetiştirilen çeşitler) bir dekara 10-13 kg meyveye karşılık 7-8 kg iç tohum ve ülkemizde ekim alanı olmayan küçük taneli Spanish ve Valencia çeşitlerinde ise 8-9 kg meyveye karşılık gelen 5-6 kg iç tohum kullanılır. Dekara 12 kg'a kadar iç tohumluk miktarının artırılması ile verim artmaktadır. Şırnak ilinde de dekara yaklaşık olarak 14-16 kg kadar iç tohumluk atılmaktadır.

Ekim

Ekim yapılacak toprağın uygun tavrda ve iyi işlenmiş olması gerekir. Çünkü yerfıstığı tohumu diğer tarla bitkileri tohumlarına göre daha iridir ve bu nedenle tohumlar çimlenip çıkış yapabilmesi için topraktan daha çok nem emmeye ihtiyaç duyar. Toprak alatav denilen yetersiz tavrda ise çıkışlarda büyük kayıplar ortaya çıkar. Yağışlardan gelen toprak tavi yetersizse toprak sulanmalı, uygun tava gelince işlenerek tohum yatağı hazırlanmalıdır. Yağmurlama ya da damlama sulama sistemi varsa kuruya ekim yapıp arkasından sulama yapılabilir.

Yerfıstığında sıra arası 60-70 cm ve sıra üzeri ortalama 10-15 cm mesafelerde ekim yapılmalıdır.

Gübreleme

Yerfıstığı, baklagil bitkisi olduğu için fazla azotlu gübreye ihtiyaç duymaz. Derin köklü bir bitki olduğu için toprakta bulunan diğer besin elementlerinden (doğal ya da önceden yapılan gübrelemelerden gelen) de iyi yararlanır.

Yapılan bir araştırmada dekara 300 kg meyve verimi elde etmek için; topraktan toplam 17.4 kg azot (N), 1.5 kg fosfor (P), 5.4 kg potasyum (K), 3.4 kg kalsiyum (Ca) kaldırıldığı hesaplanmıştır.

Bakım İşleri

Ekimi yapılan yerfıstığı tohumları toprak sıcaklığına bağlı olarak 7-10 gün sonra çıkmaya başlar ve bundan sonra bitkiler hızla gelişmeye başlayarak zamanında yapılması gereken bazı bakım işlerine ihtiyaç duyarlar. Başlıca bakım işleri; çapalama, yabancı ot kontrolü, boğaz doldurma, sulama ve hastalık ve zararlılarla mücadele işleridir.

Çapalama ve Boğaz Doldurma

Yerfıstığı bir çapa bitkisidir. Gineforların toprağa girerek meyveye dönüşmeleri ve toprakta meyvelerin rahatlıkla gelişebilmeleri için toprağın çapalanarak kabartılması çok önemlidir. Ayrıca kök bölgesini gevşetmek, havalandırmak ve yabancı otlarla mücadele etmek için çapalama gereklidir. İlk sudan önce fazla derin olmamak üzere yabancı ot durumuna göre 1-2 çapalama yapılmalıdır. İlk sudan sonra topraktaki yabancı otlar iyice çimlendikten sonra derin olarak son çapalama yapılmalıdır. Çapa makinalarıyla sıra aralarının çapalanması rahatlıkla yapılabilir. Mümkünse sıra üzerlerinin el çapası ile çapalanması sağlanmalıdır böylece sıra üzerlerinde kalan yabancı otlar ortadan kaldırılabilir.

Yerfıstığında, ginoforların (kapsül iğneleri) toprağa ulaşabilmesi için boğaz doldurma işlemi önemlidir. Ginoforlar 8-15 cm uzayarak toprağa girmeye çalışırlar. Bu uzunlukta toprağa ulaşamazlar ise havada kalarak kururlar. Bu nedenle boğaz doldurma işlemi yapılarak ginoforların toprağa yaklaşması sağlanır. Özellikle dik gelişen yerfıstığı çeşitleri için boğaz doldurma, yatık gelişen çeşitlere göre daha önemlidir. Son çapadan hemen sonra lister tipi çapalarla boğaz doldurma yapılmalı ve bundan sonra başka toprak işleme yapılmamalıdır. Boğaz doldurma işlemi, bitki aksamı toprak

altında kalacak şekilde gereğinden fazla yapılmamalı. Boğaz doldurma ile aynı zamanda sulama karıkları oluşturulmuş olur. Son çapa ve boğaz doldurma zamanı kesinlikle geciktirilmemeli, bitki dalları sıra aralarına doğru uzamaya başlamadan önce bitirilmelidir.

Yabancı Ot Mücadelesi

Gelişimin ilk dönemlerinde sıra arası ve sıra üzeri boşluklar kapanıncaya kadar (ekimden itibaren ilk 2 aylık dönem) yerfıstığının yabancı otlarla rekabeti çok düşüktür. Bu aşamaya kadar iyi bir yabancı ot mücadelesi yapılmalıdır. Boşluklar kapandıktan sonra yabancı otlar çok iyi baskılanabilmektedir. Çünkü yerfıstığı bitkisi gelişiminin ileri aşamalarında sık dallı, bol yapraklı ve yayılğan olduğu için yabancı otları çok iyi bastırır. Yerfıstığının tarla yüzeyini kısa sürede kaplayarak yabancı otları baskılayabilmesi için iyi bir çıkış sağlanmalıdır. Bunun için kullanılan tohumluk miktarının yeterli ve tohumların sağlıklı olması gerekir.

Sulama

Yerfıstığı kuraklığa dayanıklı bir bitkidir ancak ekonomik bir yetiştiricilik için sulama yapılması gerekir. Yerfıstığı kuraklığa karşı pamuk, soya ve mısır bitkisinden daha fazla; susam ve sorgum bitkisinden daha az dayanıklıdır.

Yerfıstığının su tüketimi ekimden çiçeklenme başlangıcına kadar olan dönemde oldukça düşüktür. İlk sulamada kesinlikle acele edilmemelidir. İlk sulama, iyi bir kök gelişimi için bitkilerin yeterince çiçeklendiği ve susuzluk belirtisinin iyice hissedildiği bir zamanda yapılmalıdır. Sulama zamanı gelen bitkiler solmaya ve tıpkı gün battıktan sonraki gibi yaprakçıklar karşılıklı olarak kapanmaya başlar.

Yerfıstığının suya en çok ihtiyaç duyduğu dönem (kritik dönem) meyve oluşum dönemleri olan temmuz ve ağustos aylarıdır. Bu dönemlerde sulama geciktirilecek olursa verim düşmekte, hasat sonrası üründe aflatoksin (küf) oranı yükselmekte ve kapsüllerin kabuk oranı artmaktadır. Kritik dönemden sonra hasatta kadar su tüketimi azalmaktadır.

Sulama aralığı; tarlanın toprak yapısına, sıcaklık, rüzgar, nem ve yağış durumuna göre değişkenlik göstermektedir. Kumsal yapı, arazi eğimliliği, aşırı sıcaklık ve havadaki düşük nem durumlarında sulama aralığı daha kısa

tutulmalıdır. Şartlara göre kritik dönemde sulama aralığı 10-15 gün arasında olabilir, kritik dönemden sonra 20 güne kadar çıkabilir. Ginefor oluşum ve meyve gelişim dönemlerinde (özellikle çıkıştan sonraki 45-90 gün arasında) derinlerdeki toprak nemi yeterli olsa bile ilave su verilmesi (yağmurlama sulamayla az da olsa haftada iki kez), ginefor ve meyve gelişimi için tavsiye edilir. Ülkemizde genellikle yerfıstığı ortalama 5-8 defa sulanır iken Şırnak bölgesinde aşırı sıcaklıklar nedeniyle 10-12 defa sulama yapılmaktadır. Tüm sulamalarda kesinlikle uzun süreli göllendirmeden kaçınılmalıdır. Ağustostan sonraki gereksiz ve fazla dozda sulamalar yaprak ve sap hastalıklarını artırır, kapsüllerin olgunlaşmasını geciktirir ve küçük kapsül oranını artırır. Hasattan önceki son sulama zamanı ve miktarı çok önemlidir. Son sulama, sonbahar yağışlarıyla örtüşürse toprak uzun süre uygun tava gelmeyeceği için hasat zamanı çok gecikir ve bu da hasat kayıplarını çok artırır hatta hiç hasat bile yapılamayabilir.

Hasat

Yerfıstığında hasat, ilk önce bitkilerin topraktan sökülmesi ve sökülen bitkilerin kuruduktan sonra harmanlanması olmak üzere iki aşamalıdır. Bu nedenle diğer birçok ürüne göre daha fazla işçilik ve ekipmana ihtiyaç duyulur.

Harman

Makinalı harman; sökülme sonrası sapsız iyice kuruduktan sonra (yağsız ve güneşli 7-10 günde) ve tane nem içeriğinin %25-35'e düştüğünde harman makinasıyla bitki sıralarının doğrudan harmanlanarak kapsüllerin toplanması işlemidir. Harman makinasının temin edilemediği küçük işletmelerde, sökülmeden hemen sonra doğrudan elle harman yapılabilir. Harman makineleri yerfıstığına özgüdür, traktörle çekilir, çalışması kendi üzerindeki motoruyla, sıralar halindeki kurumuş meyveli yerfıstığı bitkilerini yedirici tabla ile alarak harmanlar ve depoda biriken kapsüller otomatik boşaltma düzeni ile boşaltılır (Şekil 16.3.2). Harmanlama sırasında kapsülleri doğrudan kurutarak kapsül neminin % 8'e kadar düşmesini sağlayan kombine harman makineleri de mevcuttur. Hasat kaybının azaltılması, meyvelerin zarar görmemesi için harman makinasının ayarları iyi yapılmalı, makinanın çalışma hızı çok iyi ayarlanmalıdır.

Kurutma ve Ayıklama

Yerfıstığı hasadının sonbahar dönemine rastlaması, sökülme meyvelerin yaş olması, meyvelerin kalın kabuklu olması ve tanelerin iri olması nedeniyle kurutma işlemi diğer pek çok ürüne göre daha zordur. Meyveler, sökülme % 40-50 ve harmanlama aşamasında ise %20-35 oranında yüksek nem içerirler. Yerfıstığının depolanabilmesi ve işlenebilmesi için kapsüllerin iyice kurutularak tanelerin nem oranı %10'un altına düşürülmesi gerekir. Bu durum pratik olarak kabuk içindeki danenin gevrekleşmesi ve elle kolaylıkla ikiye ayrılması ile anlaşılır. Ülkemizde yerfıstığı kapsülleri çoğunlukla güneş altında yere serilerek 7-10 günde doğal olarak kurutulmaktadır. Ürün kalitesini korumak için mümkünse gölgede kurutulmalıdır. Kapsüller koku kaptığı için kesinlikle asfalt zemin üzerinde kurutulmamalıdır. Kurutma tesislerinde daha hızlı ve etkili kurutma yapmak mümkündür. Lezzet ve kalite açısından kurutucu termostatı 35 °C'yi geçmemelidir. Yerfıstığı ürünü toprak altında geliştiği için hasat sırasında ürün içinde bol miktarda kesek, bitki artıkları, taş gibi yabancı materyaller barındırır. Özellikle toprağı ağır ve taşlı yerlerde yabancı madde oranı daha fazla olur. Ortalama %10-15 oranında bulunan kesek, taş, toprak, sap artıkları ve benzeri yabancı materyalden, kof kapsüllerden arındırılmak üzere eleme makinası ile kurutulmuş ürünler elenmelidir.

Depolama

Yerfıstığı ürünü uzun süre bekletilecekse kabuklu olarak (kapsül haliyle) taş, toprak, kesek, bitki artıkları, kalitesiz kof kapsüllerden vs. temizlenmiş olarak depolanmalıdır. Depoya konmadan önce kabuklu ürünün nem içeriğı %9'un ve iç halinde ise %7'nin altında olmalıdır. Depolamadan önce depolar iyice temizlenmeli, badana edilmeli, yarık ve çatlaklar sıvanmalıdır. Depolar güneş görmemeli, serin, kuru ve havadar olmalıdır. Fare gibi kemirgenlerin girebilecekleri en ufak delikler bile kapatılmalıdır.

Yerfıstığı depolamasında en çok zararlanmalar nisbi nemin gereğinden fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Kontrolsüz depolarda nispi nem %65-70 arasında (ürünle ortam arasındaki denge nemi) tutulmalıdır. Nispi nem %65-70'i geçtiğinde ürünler nem kapmaya başlamakta ve bu durumda mantari faaliyetler artmaktadır. Nispi nem %65-70'in altına düşerse ürünler nem kaybederek ağırlıkları azalmaktadır. Depo ortamındaki nispi nemin ve ürün

içindeki nemin gereğinden fazla yükselmemesi için depo ve ürün sık sık havalandırılmalıdır. Silopi ovasında depolama önemli bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle bu anlamda modern depoların eksikliğinden dolayı ürünlerde ekonomik zarar görülmektedir.

Yerfıstığı Hastalık Ve Zararlıları

Yetiştirildiği bölgelerde diğer tarla ürünlerinin çoğuna göre yerfıstığının hastalık ve zararlı sorunu daha azdır. İlaçlı mücadeleyi gerektirecek durumlar daha azdır. Beyazsinekten hiç etkilenmezler. Hastalık ve zararlılarla mücadelede kaliteli ve ilaçlı tohum kullanımı, iyi bir ot mücadelesi, sulamaların dozunda ve zamanında yapılması çok önemlidir. Bazı yıllarda iklim durumuna göre bazı hastalık veya zararlılar ekonomik zarar yapabilirler. Kimyasal mücadelede aynı ilaç arka arkaya kullanılmamalıdır. Çünkü hastalık veya zararlılar tarafından direnç gelişebilir.

Silopi ovasında yaygın olarak görülen hastalık ve zararlılar, kırmızı örümcek (*Tetranychus spp.*), yeşil kurt (*Heliothis spp.*), yaprak biti (*Aphis gossypii* Glov.), toprak altı zararlıları ve prodenya (pamuk yaprak kurdu) (*Spodoptera littoralis*) olarak görülmektedir. Mantari hastalıklardan meydana gelen zararlanmalarda ise, yaygın olarak kök boğazı çürüklüğü (*Aspergillus niger*), sap çürüklüğü (*Sclerotium rolfsii*) ve yaprak leke hastalığı (*Cercospora arachidicola* ve *Cercosporidium personatum*) belirlenmiştir. Yerfıstığı tarımında sorun yaşanan yabancı otlar; yabancı altın çilek, pıtrak, geliç, topalak, semizotu, acı kavun, çatal ot, boz ot, sütleğen, sütlü ot, yabancı banya, horozibiği, kızıl bacak, su otu, tarla sarmaşığı, ayırık, darıcan ve sirkendir.

Koruyucu amaçlı olarak ekim öncesi yerfıstığı tohumlarının toprak ve tohum kökenli hastalık ve zararlılar konusunda belirtilen mantar ve böcek ilaçları ile ilaçlanması tavsiye edilir. Tohum ilaçlaması ekimden 1-2 gün önce yapılmalıdır.

Sonuç ve Öneriler

Yerfıstığı tohumlarındaki yağ oranı, serbest haldeki azotu toprağa bağlayarak kendinden sonraki bitkiye zengin bir toprak bırakması, bünyesindeki yağ asit içeriği, yağı alındıktan sonraki küspesinden dolayı hayvan yemi olarak değerlendirilmesi bakımından oldukça önemli bir yağlı tohumlu bir bitkidir.

Ekimi yapılan çeşitlerin tamamı da çerezlik olarak tüketimi yapılan yerfıstığı olup yağ sanayini destekleyici çeşitlerin ekimi yok denecek kadar azdır. Oysaki yurtdışına özellikle de Avrupa yerfıstığı yağı sanayisine hammadde temin edebilecek potansiyeldeki Türkiye’de aynı zamanda kendi yağ açığını kapamada bir alternatif olabilecekken ne yazık ki yağ oranı yüksek çeşitlere yönelim yeterli düzeyde olmamıştır. Bu noktada yağ sanayine yönelik çeşitlerin ekimi için prim ödemesi yapılmalı ve çiftçiye bu çeşitler tanıtılmalıdır.

Özellikle Ülkemiz yerfıstığı yetiştiriciliğinde önemli bir yerde olan Osmaniye ilindeki üretim ve kaliteli yetiştiriciliğe alternatif olabilecek bir konuma ulaşan Şırnak ili ülkemiz yerfıstığı üretimine gün geçtikçe daha da katkı sunacaktır. Çünkü Şırnak ili Silopi ve Cizre ilçelerinin iklim ve toprak yapıları değerlendirildiğinde sulu tarım yapılabilen alanlarda yerfıstığı tarımı her geçen yıl hem üretim alanı hem de üretim miktarı açısından büyük bir artış göstermiştir. Şırnak ili Silopi ilçesinde 2006 yılında 200 da’lık bir üretim alanıyla başlanılan yetiştiricilik günümüzde 2023 yılı itibariyle yaklaşık olarak 80 000-100 000 da’lık bir alana ulaşmıştır.

Şırnak ilinde yerfıstığı ekim alanlarının ve üretim miktarlarının artmasıyla ilk başlarda işleme ve pazarlama için Adana ve Osmaniye ilçelerine gönderilen ürünler artık Silopi ilçesinde kurulan yerfıstığı ayıklama, işleme ve paketleme tesislerinde işlem görmeye başlamıştır. Böylece yerfıstığı tarımsal üretime sağladığı katkı yanında ilin ekonomisine ve istihdama da büyük oranda katkı sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- Anonim. 2019. <https://tr.wikipedia.org/wiki/%C5%9E%C4%B1rnak> 10.08.2023.
- Arioğlu, H., Kurt, C., Bakal, H., Onat, B., Güllüoğlu, L., 2013. Çukurova Bölgesi Ana Ürün Koşullarında Yapılan Yerfıstığı Tarımında Farklı Hasat Zamanlarının Verim ve Bazı Tarımsal Özelliklere Etkisi. Türkiye 10. Tarla Bitkileri Kongresi, Sayfa 183-188, 10-13 Eylül, Konya
- Ayaz T, 2022. Şırnak ili yerfıstığı alanlarında potansiyel zararlı konumunda olan böcek türleri. Tarımsal Perspektif-2: 105-113.
- FAO 2021, <http://faostat.fao.org/>
- Kadiroğlu, A. 2023. Yerfıstığı Yetiştiriciliği. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi, 28(2), 42-54.
- Parlakay, O., (2011). “Türkiye’de Yerfıstığı Tarımında Teknik ve Ekonomik Etkinlik”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Basılmamış Doktora Tezi, Adana.
- Taşkaya, B., (2007). Yerfıstığı, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü – Bakış, Sayı: 9, Nüsha: 9, s. 4, Ankara.
- Taşlıgil, N., Şahin, G., (2009). “Türkiye’de Yerfıstığı Ziraatı”, Türkiye 8. Tarla Bitkileri Kongresi, 19 – 22 Ekim 2009, s. 233 – 236, Hatay.
- Tüik 2020, <https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>

BÖLÜM 3

ŞEKER PANCARI ALANLARINDA YABANCI OTLARLA MÜCADELEDE KRİTİK PERİYODUN BELİRLENMESİ

Doç. Dr. Emine KAYA ALTOP¹

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10372854>

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü
kayae@omu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0987-9352

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü
hmennan@omu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-1410-8114

GİRİŞ

Şeker pancarı, Türkiye tarımının önemli bir parçasıdır ve ülke ekonomisine katkı sağlayan önemli bir tarımsal üründür. Şekerpancarı (*Beta vulgaris* L.) Chenopodiaceae familyasından, iki yıllık, yazlık bir endüstri bitkisidir (Güncan, 2000). Türkiye, şeker pancarı üretiminde Avrupa'da önde gelen ülkelerden ve bu bitki tarım sektöründe çok sayıda endüstriyel alanı etkilediğinden özel bir yere sahiptir. Dünyada 52 ülkede şeker pancarı üretilmekte olup Türkiye %9,1'lik pay ile Rusya, ABD, Fransa ve Almanya'nın ardından 5'inci sırada yer almaktadır. Başta Karadeniz bölgesi olmak üzere Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinde yoğun olarak yetiştirilir. En önemli tüketici ülkelerin aynı zamanda üretim açısından da önde olan ülkeler olduğunu göstermektedir. Türkiye ise 2021/22 sezonunda yaklaşık 2.9 milyon ton tüketim ile dünyada 11. sırada yer almaktadır (Anonymous, 2022).

Şeker pancarı üretimi, yerel tarım ekonomisi için önemli gelir kaynaklarından biridir. Çiftçilerin gelirlerine tarımın ekonomik büyümesine katkıda bulunarak ekonomiye katma değer sağlar. Yüksek şeker içeriğine sahip olduğundan şeker üretimi için tercih edilir. Şeker endüstrisi için ana hammadde kaynağıdır ve şekerin yanı sıra etanol üretiminde de kullanılır. Şeker pancarının işlenmesi sonucu oluşan melas ve posa hayvan yemi olarak kullanılmaktadır (Eştürk, 2018). Çiftçilerin küspe olarak adlandırdığı posa, kuru ve yaş olarak hayvanların tüketimine sunulan şeker sanayi yan ürünü olan pancar posası enerjisi yüksek süt ve besi sığırlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Hayvanların severek tükettiği sindirim derecesi yüksek ucuz bir yem kaynağıdır. Sulu yemlerin bulunmadığı kış aylarında hayvanların yaş yem ihtiyacını giderir. Saman gibi kaba yemlerin hayvanlar tarafından daha iyi yenmesini sağlar.

Şeker pancarı yetiştiriciliği, tarımsal çeşitlilik ve rotasyon için önemlidir. Toprak verimliliğini artırabilir ve tarım alanlarının sürdürülebilirliğine katkıda bulunabilir. Hem çiftçiler hem de endüstri için büyük bir değer ve potansiyel taşıyan bu bitki, tarımsal üretimde ve ekonomide kilit bir rol oynar (Anonymous, 2022).

Şeker pancarı tarlalarında yetiştiricilerin karşılaştığı önemli bir sorun, yabancı otların baskın hale gelmesi ve şeker pancarı verimini olumsuz etkilemesidir. Yabancı otların varlığı şeker pancarı verimini %90 oranında azaltabilir. Bu verim kaybı Asya ülkelerinde %45 iken, Türkiye'de ise %6 ile

%40 arasında değişmektedir (Günçan, 2000). Şeker pancarı tohumu, yavaş çimlendiği için, erken çimlenen yabancı otlar kısa sürede pancar fidelerini bastırır. Şeker pancarı tarlalarında görülen yabancı otlar yıllık, çok yıllık ve iki yıllık otlardır. Yıllık yabancı otlar tür sayısı açısından en zengin otlardır. Bunları çok yıllıklar izler, iki yıllık otlar ise daha azdır. Ülkemizde şeker pancarlarında yaygın olan yabancı otların, *Papaver rhoeas* L. (gelincik), *Galium aparine* L. (yapışkan ot), *Lactuca serriola* L. (yabani marul), *Sonchus arvensis* L. (tarla eşek marulu), *Cirsium arvense* (Köy göçüren), *Capsella bursa-pastoris* (L.) Med. (çoban çantası), *Centaurea cyanus* L. (gökbaşı), *Urtica urens* L. (küçük ısırgan), *A. retroflexus* (horoz ibiği), *Convolvulus arvensis* (tarla sarmaşığı), *Lamium amplexicaule* L. (ballıbaba), *Equisetum arvense* L. (kırkboğum), *Sinapis arvensis* L. (yabani hardal), *Chenopodium album* (kazayağı), *Ranunculus arvensis* L. (tarla düğün çiçeği), *Solanum nigrum* L. (köpek üzümü), *Avena fatua* (yabani yulaf), *Echinochloa crus-galli* (Darıcan), *Atriplex hastata* L. (karapazı), *Rumex acetosella* L.(küçük kuzu kulağı), *Elytrigia repens* L., *Taraxacum officinale* L.(Karahindiba), *Polygonum convolvulus* L. (Sarmaşık çoban değneği) ve *Thlaspi arvense* L. (çayır akça çiçeği) olduğu belirtilmektedir (Şekil 1) (Günçan ve Karaca, 2023).

Bu yabancı otlardan *C. arvense*, kök sistemi ve hızlı büyüme potansiyeliyle şeker pancarı tarlalarında yaygın olarak bulunan bir yıllık ot türüdür. *T. officinale*, geniş yaprakları ve derin kökleriyle pancar bitkisine besin ve ışık rekabeti sağlayabilir. *E. repens*, şeker pancarı bitkisini gölgeleyerek verim kaybına neden olabilir. *P. convolvulus*, sarmaşıklı yapısı ile pancar bitkisine zarar verebilirken, *C. album* hızlı büyüme ve yayılma özelliğiyle şeker pancarı ekim alanlarında ciddi bir sorun teşkil edebilir.



Şekil 1. Yabancı otla bulaşık şekerpancarı tarlası.

Şeker pancarı yabancı ot rekabetine karşı oldukça hassastır. Şeker pancarı, ilk büyüme aşamalarında yabancı ot rekabetine son derece duyarlıdır, bu nedenle etkili yabancı ot kontrolü bu aşamada kritiktir ekim sonrası yabancı otların çıkış süresi ve yoğunluğu, bitki gelişimi üzerinde belirleyici bir faktördür (Marwitz vd., 2014). Yapılan araştırmalar, çıkış sonrası belirli bir süre içinde yabancı otların şeker pancarının gelişimine etkisinin belirgin olduğunu göstermektedir. Bu süre içinde yabancı otların rekabeti, şeker pancarı veriminde kayıplara neden olmaktadır (Martinez vd., 2015).

Entegre yabancı ot yönetimi, etkili ve ekonomik yabancı ot kontrolü için kültürel, mekanik, biyolojik, genetik ve kimyasal yöntemlerin bir kombinasyonunu içerir. Entegre yabancı ot yönetim prensipleri, optimum yabancı ot kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ve herbisitlerin verimli kullanımı için temel oluşturmalıdır. Yabancı ot kontrolünün kritik dönemi, entegre mücadele programının önemli bir bileşenidir. Bu, ürün büyüme döngüsü içinde yabancı otların verim kaybını önlemek için kontrol edilmesi gereken bir

dönemdir ve yabancı ot kontrolü için ihtiyaç ile zamanlama konusunda kararlar almak için kullanışlıdır. Özellikle herbisit toleranslı bitkilerin ve şeker pancarı gibi ekonomik önemdeki kültür bitkilerinin kullanıldığı sistemlerde yabancı ot kontrolü için en uygun zamanlama ve periyodun belirlenmesine yeniden ilgi doğurmuştur (Morishita, 2018; Mulugeta, ve Boerboom, 2000).

Yabancı otun optimal zamanında kontrol edilmesi; yabancı ot boyuna göre (Kalahar vd. 2000), ürün çıkışından haftalar sonra (Sellers ve Smeda 1999) ve ürün büyüme dönemine göre (Evans ve Knezevic, 2000; Mulugeta ve Boerboom, 2000) yapılmalıdır. Yabancı ot kontrolü için kritik dönem verilerinin analizi farklılık göstermektedir. Bazı çalışmalar, yabancı otların süresinin ürün verimi üzerindeki etkilerini çoklu karşılaştırma teknikleri kullanarak karşılaştırırken (Kalahar vd. 2000; VanGessel vd. 2000), farklı çalışmalarda ise çeşitli doğrusal olmayan regresyon modelleri önerilmektedir (Evans ve Knezevic, 2000; Mulugeta ve Boerboom, 2000; Martin vd. 2001). Çoklu karşılaştırma tekniklerini ve doğrusal olmayan regresyon modellerini sırasıyla klasik ve fonksiyonel yaklaşımlar olarak adlandırılmıştır. Genel yargıda, yapılandırılmış verilerin analizi için doğrusal regresyonun daha uygun bir yöntem olduğu savunularak klasik yaklaşımın kullanımı eleştirilmiştir (Knezevic vd., 2002).

1. KRİTİK PERİYOT

Kritik Periyot kavramsal olarak tohumlama veya çimlenme sonrasındaki dönem ile yabancı ot rekabetinin ürün verimini azaltmadığı dönem arasındaki ve yabancı ot rekabetinin artık ürün verimini azaltmayacağı dönem arasındaki zaman dilimi olarak ifade edilir (Zimdahl, 1988). Ürün verim kaybını önlemek için yabancı ot kontrolünün zorunlu olduğu zaman aralığı olarak da tanımlanmıştır (Swanton ve Weise 1991).

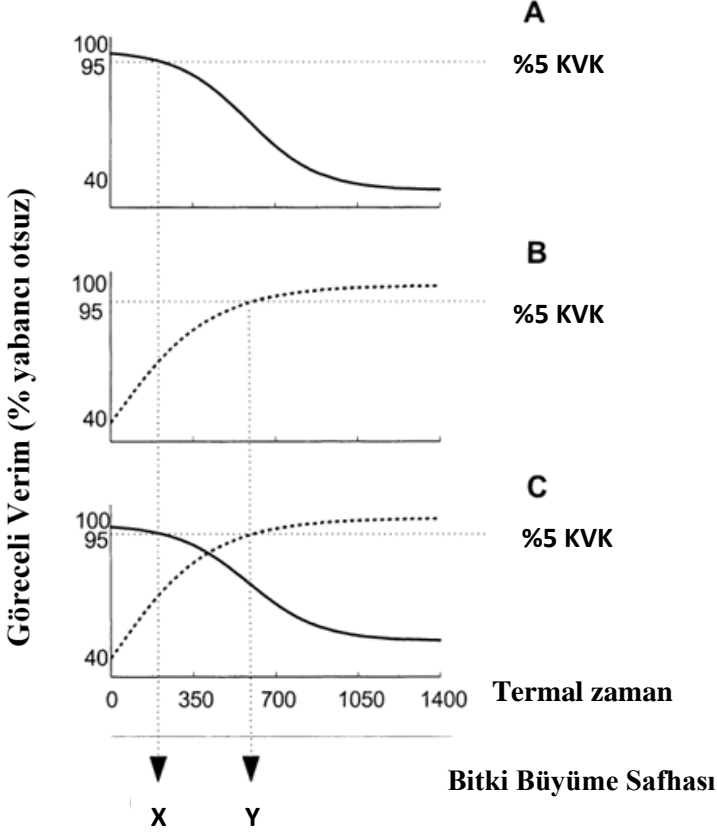
Bu kavramın incelenmesinin tarihsel nedenleri arasında (1) optimal uygulama zamanlamasıyla herbisit kullanım miktarını azaltma potansiyeli, (2) herbisitlerin koruyucu kullanımıyla ilişkilendirilen çevresel ve ekolojik bozulmayı azaltma potansiyeli, ve (3) yabancı ot kontrol yöntemlerinin biyolojik gerekliliklere dayanıp dayanmadığını belirleme testi sağlama ihtiyacından kaynaklanmaktadır (Knezevic ve Datta, 2015).

Son dönemde, ekonomik önemdeki bitkilerinde yabancı ot kontrol taktiklerinin ekonomik olarak optimize edilmesine yönelik bir ihtiyaç

bulunmaktadır. Ana bitki türlerinde kritik periyotun bilinmesinin, hem herbisitlere tolerant bitkilerin, hem de geleneksel bitki çeşitlerini kullanan tarım sistemlerinde yabancı otların kontrolü için bir ihtiyaç ve zamanlamaya karar vermede yardımcı olabileceği unutulmamalıdır.

Temelde, Kritik periyot kavramı, iki ayrı olarak ölçülen bitki-yabancı ot rekabet bileşeni arasındaki zaman dilimini temsil eder: (1) yabancı otların kritik temizlenme zamanı veya ürünün belirli bir süre yabancı ot rekabetine dayanabileceği maksimum süre, ve (2) kritik yabancı ot-eksiksiz dönem veya ekimden itibaren kabul edilemez verim kayıplarını önlemek için gereken minimum yabancı otsuz süredir. İlk bileşen, Kritik periyotun başlangıcını belirlemek için tahmin edilirken, ikincisi onun sonunu belirler. Her iki bileşenden elde edilen sonuçlar kritik periyotu belirlemek için bir araya getirilir.

Teorik olarak, kritik periyottan önce ve sonra yapılan yabancı ot kontrolü, ürün verim potansiyelinin korunmasına katkıda bulunmayabilir. Fonksiyonel yaklaşım kullanılarak kritik periyotun başlangıcı ve sonu, başlangıcını ve sonunu öngörmek için kullanılan kabul edilebilir verim kaybı seviyesine bağlı olacaktır. Şeker pancarı da dahil olmak üzere birçok kültür bitkisinde maksimum kabul edilebilir verim kaybı %2 ile %5 arasındadır (Martinez vd., 2015) (Şekil 2). Ancak, kabul edilebilir verim kaybı, yabancı ot kontrol maliyeti ve beklenen mali kazanca bağlı olarak ayarlanabilir. Bu ayarlama, ekonomik riski göze alınan miktardan regresyon eğrilerinden kabul edilebilir verim kaybını seçerek kolayca yapılabilir.



Şekil 2. Yabancı ot kontrolü için kritik dönemin belirlenmesinde kullanılan fonksiyonel yaklaşım. (A) Yabancı ot müdahalesinin artan süresini temsil eden verilere oturtulan lojistik model veya otlu eğri (—) ile belirlenen yabancı otsuz bırakmak için kritik zaman. (B) Yabancı otsuz dönemin artan süresini temsil eden verilere oturtulan Gompertz modeli veya yabancı otsuz eğri (- - -) ile belirlenen kritik yabancı otsuz dönem. (C) Her iki eğri için de %95'e denk gelen x eksen değeri veya kabul edilebilir verim kaybı (KVK) olan %5, bitki gelişim evresi ile ilişkilendirilir. Kritik periyot iki bitki gelişim evresi arasındaki zaman dilimi olarak tanımlanır (x'ten y'e) ve bu, bitki verimini %5'ten fazla bir kayıptan korumak için gereken yabancı ot kontrol süresini temsil eder.

2. ŞEKERPANCARINDA (*Beta vulgaris* L.) KRİTİK PERİYOT

Şeker pancarı gelişimi sırasında yabancı ot istilası düzeyi, nihai verimi etkileyen bir faktördür. Ürünün gelişim aşamasına bağlı olarak, yabancı ot rekabetinin etkisi farklılık gösterir. Kritik dönem, bitki beslenmesi ve ışık alımında yabancı otların müdahalesi nedeniyle verim ve/veya kalitede azalmayı önlemek için bir bitkinin gereksinim duyduğu yabancı ot olmayan bir süreyi ifade eder (Pardo, 1990). En yüksek verimi en düşük maliyetle elde etmek için tarla, bu dönemde ya el ile ya da kimyasal işlemlerle yabancı otlardan arındırılmalıdır. Kritik periyot kavramı oldukça açıktır ancak doğruluğuyla belirlenmesi oldukça zor olabilir. Çünkü değişik faktörler ve etkileşimler söz konusu olabildiğinden Kritik periyotta değişkenliklere neden olabilmektedir. Koşullara bağlı olarak, şekerpancarında kritik dönem ekimden sonra 2 ila 10 hafta veya daha sonra, yabancı otların 5-25 cm veya daha büyük bir boyuta ulaştığı zaman olabileceği önerilmiştir. Kritik dönemi tam olarak öngörememek, yabancı ot kaybını önlemek için kesin kararlar alınmasını gerektirir. Kritik dönemi belirlemek için yaygın olarak kullanılan iki protokol şunlardır: 1) belirli bir döneme kadar tarlanın yabancı otlardan arındırılması, sonrasında ise otların serbest bırakılması; ve 2) bitki ekimiyle birlikte belirli bir zamana kadar yabancı otlara izin verilmesi, daha sonra ise bitkinin döngüsü boyunca otların temizlenmesi. Kritik dönem, istila edilen tür, tür yoğunluğu, yetiştirilen tür, konum ve yıla göre değişiklik gösterir (Suso vd. 1999). Şeker pancarı ekimi, yavaş başlangıç gelişimi nedeniyle yabancı ot rekabetine oldukça duyarlıdır. Şeker pancarı verimi yabancı otlu kalma süresi arttıkça azalırken, yabancı otsuz kalma süresi arttıkça da arttığı bildirilen çalışmada; kritik periyot ilk yıl ürün çıkışından sonraki 12-46. günlere karşılık gelen 122 ila 595 GGD (gelişme gün derece) arasında, ikinci yıl çıkıştan sonraki 8 ile 54. günleri ifade eden 82-735 GGD olarak ifade edilmiştir. Buna göre % 5'ten fazla ürün kaybını engellemek için, ürün çıkışından sonra ilk haftadan başlayarak 9. haftaya kadar ürünün yabancı otsuz tutulması gerekli olduğu bildirilmiştir (Işık ve Akça, 2016). Günümüzde şeker pancarında kritik dönem bilinmektedir: (1) yağışlı koşullar altında: ekimden sonra 21 ile 95 gün arası; (2) sulama koşulları altında ekimden sonra 50 ile 130 gün arasındadır (Gutiérrez Sosa ve Reina 1993). Bahar aylarında ekim yapılan bölgelerde, kritik dönem ekimden çıkış arasında 5-8 hafta arasındadır. Şeker pancarı verimi, ilk 5-8 hafta boyunca

yabancı otların kontrol edilmesi durumunda etkilenmez (erken kontrol). Daha sonraki yabancı ot çıkışları, bitki tarafından doğal olarak kontrol edildiğinden son verimi etkilemez (Scott vd. 1979; Mobarak vd. 2012).

Şeker pancarı ekimi sonrası yabancı otların 11, 22 ve 100 gün boyunca rekabet ettiği durumlarda, dönüm noktalı lojistik model, sırasıyla ortalama %1, %5 ve %50 kayıp öngördüğü, ürün çıkıştan itibaren yabancı otlardan 43, 118 ve 136 gün boyunca uzak kaldığında, tahmini ortalama kayıpların sırasıyla %50, %5 ve %1 olarak belirlendiği bildirilmiştir (Martinez vd., 2015). Şeker pancarında erken rekabet aşamasında %1- %5 kayıp için 14 ve 41 gün, geç rekabet aşamasında ise 114 ve 124 gün elde edildiğini öngörülmektedir. %5 kayıp seviyesi için rekabet süresi ortalama 70 gün olarak ifade edilmektedir. Genel olarak şeker pancarında yabancı ot kontrolü için kritik dönemin çıkıştan 30 ila 48 gün sonra (Odero vd. 2009, 2010); çıkıştan 24 ila 36 gün sonra (Kropff vd. 1992); fide dikme sonrası 24 ila 36 gün arasında (Weaver ve Tan, 1983) olduğu ifade edilebilir. Araştırmacılar yabancı otların sebep olduğu ürün kaybının, şeker pancarının kök verimini %60-%90 azalttığını, ilk yıl için yabancı ot kontrolünün kritik döneminin ortalama 78 gün, ikinci yıl için ise 88 gün olarak bildirilebilir (Salehi vd. 2006). Yabancı ot-şeker pancarı rekabetinin kritik döneminin çıkış sonrası ortalama 2-10 hafta arasında olup, bu şeker pancarının yalnızca çıkışından sonra 2 hafta boyunca yabancı otlara tolerans gösterebildiği ve yabancılardan uzak kalabilmek için uzun süreli, 10 haftaya kadar bir döneme ihtiyaç duyduğu zaman aralığıdır (Mahmoud, 2013). Şeker pancarı ekimi sonrası yabancı otların 11, 22 ve 100 gün boyunca rekabet ettiği durumlarda, şeker pancarı veriminde sırasıyla %1, %5 ve %50 oranında ortalama kayıpların olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, şeker pancarı çıkıştan sonraki 43, 118 ve 136 gün boyunca yabancı otlardan uzak kaldığında, kayıplar sırasıyla %50, %5 ve %1 olarak hesaplanmıştır (Martinez vd., 2015). Bu veriler, yabancı ot kontrolünün belirli bir zaman aralığında kritik olduğunu ve belirlenen sürelerde kontrolün yapılmamasının verim kayıplarına yol açtığını göstermektedir.

3. KRİTİK PERİYOTTA ŞEKER PANCARI VE YABANCI OT İLİŞKİLERİ

Bitki ve yabancı ot türlerinin morfoloji, fizyoloji ve gelişiminde tür özgü farklılıklar bulunduğundan, kritik periyotun her bitki türü için benzersiz olması

muhtemeldir. Benzer bir mantıkla, belirli bir bitki için kritik periyotun, yabancı ot popülasyonunun bileşimi, yoğunluğu ve çıkış zamanına göre değişmesi beklenir. Şeker pancarında sorun olan yabancı otların yaklaşık %70 'i geniş yapraklı yabancı otları kapsamaktadır (Lobmann vd., 2019). Aynı bitki türüyle rekabet halindeyken, bitkinin yıllık ve çok yıllık yabancı ot türleriyle rekabeti büyük farklılıklar gösterebilir. Çoğu rapor edilen çalışma, kritik periyotun belirlenmesine yönelik olarak genellikle yıllık yabancı ot türleri ile bitki arasındaki rekabet sonucuna dayanmaktadır (Halford vd. 2001). Çok yıllık yabancı ot türleriyle rekabet süresinin etkisi hala net değildir, çünkü bunların kontrolü hem tohumların hem de bitki üreme organlarının kalıcılığıyla karmaşık olabilir (Lemieux vd. 1993). Bitki üreme organları, yabancı otlara erken dönemde büyüme hızı ve kaynak edinimi açısından avantaj sağlayabilir. Muhtemelen, çok yıllıkların kontrolü, yabancı ot popülasyonlarının yönetilemez seviyelere ulaşmasını önlemek için, bitki gelişim aşamasına bakılmaksızın gereklidir. Dolayısıyla, kritik periyot konseptinin tüm yabancı ot türleri için uygun olmayabileceği düşünülmektedir. Bu, özellikle daha fazla çok yıllık yabancı ot içerebilen sürdürülebilir tarım sistemlerinde daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulan bir alandır (Wrucke ve Arnold, 1985).

Rekabet eden yabancı ot türlerinin çıkış desenleri ve yabancı ot tohum bankasının büyüklüğü, kritik periyotun zamanlamasını ve süresini etkileyen önemli faktörlerdir (Cauhan, 2020; Martin vd. 2001). Yabancı otların çıkış periyodu, hem yabancı ot türü hem de mikro çevreyle etkileşimin bir fonksiyonudur (Gerhards vd., 2017). Daha büyük bir tohum bankası daha yüksek yabancı ot yoğunluğuna yol açabilir, ancak yabancı ot çıkış zamanı üzerinde pek etkisi olmaz. Yabancı ot yoğunluğunun, kritik periyotun başlangıcının belirlenmesinde daha önemli olduğu, ancak sonuna daha az etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Martin vd. 2001). Bu, ürün veriminin savunmasız olmadığı anlamına gelmemeli, ancak rekabet ortamının ürün verimine tehdit oluşturacak kadar yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu tür sorunlardan kaçınmak için ortalama ve yüksek yabancı ot istilalarına sahip tarlaların seçilmesi önemlidir. Buna ek olarak, birçok yabancı ot eşiği çalışmasından elde edilen sonuçlar, yoğunluk ile verim kaybı arasındaki ilişkinin önemli olduğunu ancak tutarlı olmadığını göstermektedir. Aslında, çoğu zaman gerçek yabancı ot yoğunluğundan ziyade yabancı ot çıkış zamanının daha önemli olduğu görülmüştür (Knezevic vd. 1997; 2020).

4. ŞEKER PANCARINDA KRİTİK DÖNEM İÇİN DENEYSEL YAKLAŞIM

Şeker pancarında kritik periyot için iki yaklaşım yaygın olarak yabancı ot kontrolünün zamanlamasını belirlemek için kullanılır. Yabancı ot kontrolünün zamanlamasının pratik amaçlar için yabancı ot boyutuna dayandırılması gerektiği önerilmiştir (Kalahar vd. 2000), ancak bazı çalışmalarda ise ürün büyüme aşaması tercih edilmiştir (Evans ve Knezevic 2000; Martin vd. 2001). Yabancı ot boyutunun yıllar ve lokasyonlar arasında önemli ölçüde değiştiğini, çünkü çıkış zamanının göreceli olmasından, yabancı ot türlerinin değişken karışımından ve çevresel ve toprak değişkenlerinden kaynaklanabilmektedir (Evans, 2001). Yabancı ot boyutu, ürün büyüme aşaması ile ilişkilendirilmediği sürece yabancı ot kontrolünün zamanlaması için yeterli bilgi sağlamaz ve yabancı ot örtüsü, özellikle karışık topluluklarda oldukça değişken olabilir. Yabancı ot boyutunun pratik değeri, öncelikle herbisit dozunu ayarlamak içindir (örneğin, daha küçük otlar etiket oranından daha azına ihtiyaç duyabilir). Bu nedenle, pratik açıdan, kritik periyodun öncelikle ürün büyüme aşamasına dayandırılması gerektiğini öneriyoruz. Yabancı otların kontrol edilmesinin amacı, ürünü korumaktır. Dolayısıyla, programın odak noktası ürün olmalıdır. Yabancı otların bitkiden önce veya sonra çıkması durumuna bağlı olarak, bunların göreceli çıkış zamanındaki farklılıklarına göre ayarlanabilir (Evans vd. 2002). Kritik periyotun çoğunlukla ürün büyüme aşamasına dayandırılması, üreticiler ve tarımsal profesyoneller tarafından kolayca benimsenebilir. Çünkü bitki-yabancı ot etkileşim ilişkileri karmaşık ve dinamiktir, önerilen yaklaşımın benimsenmesi en azından bitkinin fenolojik gelişimini hesaba katacaktır (Martin vd. 2001).

5. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

Kritik periyot çalışmalarındaki istatistiksel analizlerde, şeker pancarının gerçek ve göreceli verimi üzerinde mücadelenin etkisini değerlendirmek için kullanılan Varyans Analizi (ANOVA) Temel Analizi ANOVA ile başlanmalıdır.

Mücadele yöntemlerinin karşılaştırmaları ise doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılarak yapılmalıdır. Yöntem yapılandırılmış verilerin analizinde çoklu karşılaştırma testleri yerine daha uygun bir yöntemdir. En az anlamlı fark, Duncan ve Student-Newman-Keuls gibi testler yapılandırılmış

veriler için uygun değildir. Bu testler, uygulamalar arasında %10 ila %20 arasında bir verim farkı oluşmadan önce ayıramayabilir (Cousens 1991). Yabancı otların uzaklaşma zamanı (x-ekseni), gerçek veya göreceli bitki verimi (y-ekseni) ile regresyon analizi kullanılarak ilişkilendirilmelidir. Yabancı otların varlığının süresini ve yabancı otsuz dönemin uzunluğunu nicelendirmek için zaman birimi olarak bitki çıkışından veya ekimden itibaren kümülatif büyüme derece günleri analize dahil edilebilir. Bu şekilde kritik periyot şeker pancarının gelişim aşamasına dayalı olarak belirlenebilir çünkü bitki gelişiminin hızı termal zamanla iyi bir şekilde ilişkilidir.

Weedy curve olarak adlandırılan yabancı ot müdahalesinin artan süresini tanımlamak için Hall vd. (1992) tarafından önerilen lojistik denklemin biraz değiştirilmiş şekli kullanılabilir (Formül 1).

$$Y = \left[\frac{1}{\exp[c \times (T - d)] + f} \right] + \left[\frac{f - 1}{f} \right] \times 100 \quad [1]$$

Burada Y, verimdir (mevsim boyunca yabancı ot olmayan verimin yüzdesi), T zamanı temsil eder (x-ekseni veya bitki çıkış sonrası (gün)), d infleksiyon noktasıdır, c ve f sabitlerdir.

İlave olarak, Dört parametrelili log-logistik model, kritik periyot verileriyle nonlineer regresyon analizleri yapmak için önerilmektedir. Log-logistik denklemler, yabancı ot müdahalesinin artan süresini göstermede ve yabancı ot olmayan dönemin artan uzunluğunu göstermede açıklamak için uygun bir yapıdadır. Log-logistik fonksiyon formülü 2, Knezevic et al. (2007) tarafından şu şekilde verilmiştir:

$$Y = C + (D - C) / \{1 + \exp [B (\log X - \log E)]\} \quad [2]$$

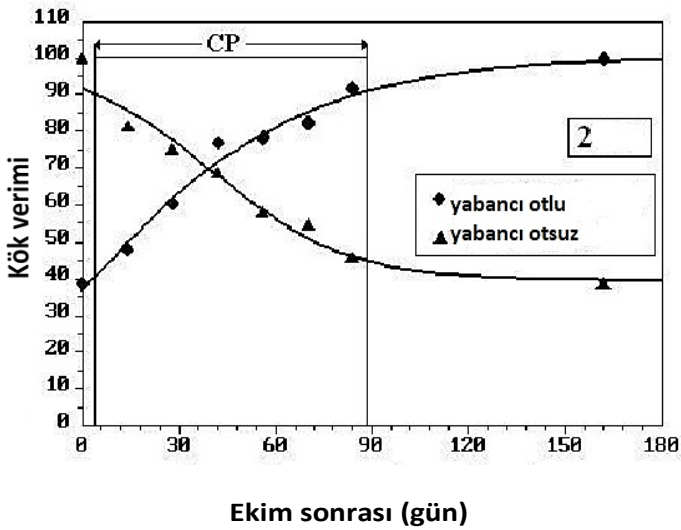
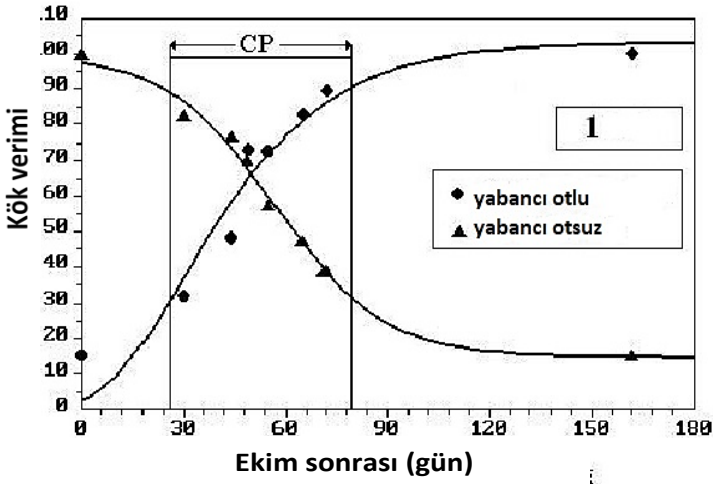
Burada Y, gerçek verim (veya göreceli verim [sezon boyunca yabancı ot olmayan verimin yüzdesi]) olabilir, C alt sınırdır, D üst sınırdır, X zamanı temsil eder (çıkıştan sonraki günler [DSG] olarak ifade edilen x-ekseninde), E, üst ve alt sınırlar arasındaki yanıtın %50'sini veren GDD'dir (aynı zamanda eğri noktası [I50] veya ED50 olarak da bilinir), ve parametre eğri noktasındaki çizginin eğimini ifade eder. Bu parametrelerin yorumu, daha önceki bir makalede daha detaylı olarak tartışılmıştır (Knezevic et al., 2007).

Gompertz modelinin, yabancı ot olmayan dönemin artan uzunluğundan etkilendiği gösterilmiştir ve verimi iyi bir şekilde tanımladığı bilinmektedir (Şekil 1B, yabancı ot olmayan eğri) (Hall vd. 1992).

$$Y = a \exp(- b \exp(- kT)) \quad [3]$$

Formül 3'de Y, verimdir (% mevsimlik yabancı ot olmayan verimin yüzdesi), a verimin asimptotudur, b ve k sabitlerdir ve T zamanı temsil eder (x-ekseni GDD veya bitki çıkışından gün olarak ifade edilir).

Lojistik ve Gompertz modellerinde birçok değişkenlik bulunmaktadır (Knezevic, 2007). İstatistiksel açıdan, seçilen model verilere en iyi uyumu sağlamalıdır. Lojistik ve Gompertz modelleri kullanılarak yapılan bir çalışmada şeker pancarında yabancı otların kök veriminde keskin bir düşüşe neden olduğu bildirilmiştir. Kök veriminde %10'luk kabul edilebilir azalmaya dayanarak, yabancı ot temizliğine I. ve II. yılda sırasıyla ekimden sonra 25. ve 5. günde başlanması gerektiği ve %10 kök verimi düşüşü için yabancı ot kontrolü, ekimden sonra 78 ve 88 gün boyunca devam edilmesi önerilmiştir (Şekil 3). Diğer bir yaklaşımla yabancı ot varlığı beyaz şeker veriminde de keskin bir düşüş sebebidir (Şekil 3). Kök veriminde %10'luk kabul edilebilir azalmaya dayanarak, yabancı ot temizliğine sırasıyla I. ve II. yıllarda ekimden sonra 27. ve 5. gün başlanmalıdır (Şekil 4). Yabancı ot kontrolüne, sırasıyla ilk yıl ekimden sonra 73 ve 2. yıl 87 gün boyunca devam edilmelidir (Şekil 4) (Slahi vd., 2006).

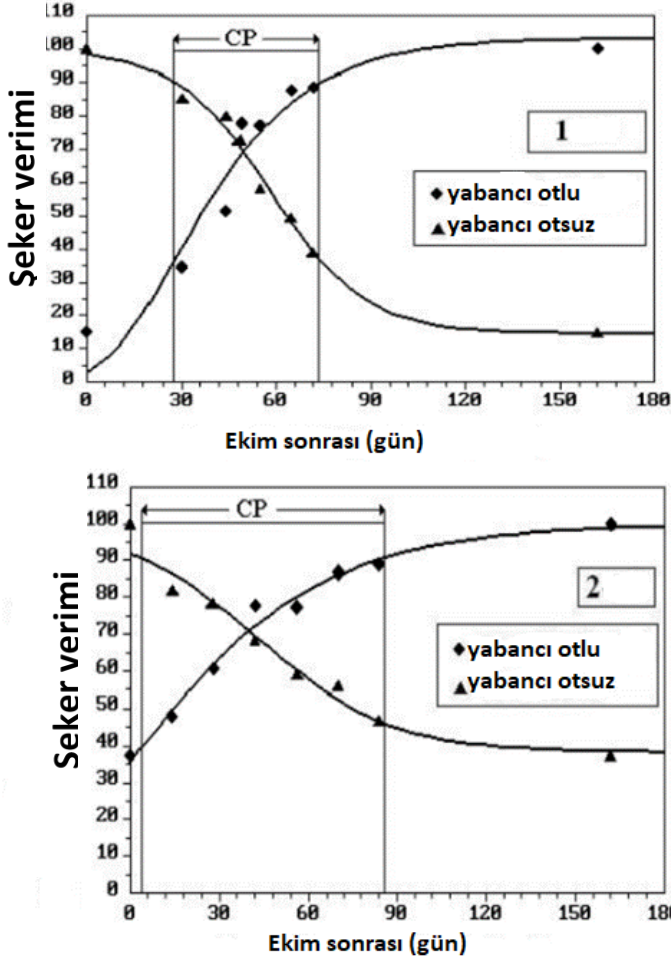


Şekil 3. Yabancı ot kontrolünün kritik dönemi (CP), (I. ve II. Yıl kök veriminde %10 azalmaya dayalı olarak) (Salahi vd., 2006).

Gompertz equations: 1. $y = 103.32 \exp(-3.65 \exp(-0.04177x))$ 2. $y = 101.03 \exp(-1.01 \exp(-0.02736x))$
Logistic equations:

$$1. y = \left(\frac{1}{(0.218 \exp(0.0625(x-30)) + 1.1778)} + (1.1778 - 111) / 1.1778 \right) * 100$$

$$2. y = \left(\frac{1}{(1.482 \exp(0.0472(x-37)) + 1.6639)} + (1.6639 - 1) / 1.6639 \right) * 100$$



Şekil 4. Yabancı ot kontrolünün kritik dönemi (CP), (I. ve II. Yıl şeker veriminde %10 azalmaya dayalı olarak) (Salahi vd., 2006).

Gompertz model: 1999 $y=103.55 \exp(-3.51 \exp(-0.04356x))$ 2000 $y=100.28 \exp(-1.03 \exp(-0.02745x))$ Logistic model: 1999 $y=\frac{1}{(1/(0.173 \exp(0.0671(x-30)))+1.1759)}$ + $\frac{((1.1759-1)/1.1759)*100}{1}$ 2000 $y=\frac{1}{(1/(1.26 \exp(0.0671(x-37))+1.6294))} + \frac{((1.6294-1)/1.6294)*100}{1}$

SONUÇ

Şeker pancarı üzerinde yabancı ot kontrolünün kritik dönemlerinin belirlenmesi ve kritik periyot verilerinin kullanımı verim potansiyelini maksimize etmek için önemlidir. Üreticilere proaktif olma ve yönetim taktiklerinin zamanlamasında daha iyi kararlar almalarına olanak tanır. Kontrol önlemleri çok erken uygulanırsa, daha sonra ek önlemler alınması gerekebilir; eğer çok geç uygulanırsa, mevcut otlar verim kaybına zaten neden olmuş olabilir.

Sadece çıkış sonrası herbisitlerle yabancı ot kontrolü sağlayan yönetim programları, mevsim sonunda göz alıcı görünüme sahip, yabancı otlardan arınmış tarlalar elde edebilir. Ancak, bu temiz tarlalardaki ürünler, erken dönemde yabancı otlarla rekabet nedeniyle tam verim potansiyeline ulaşmayabilirler. Dolayısıyla, şeker pancarında kritik periyot, çıkış öncesi bir herbisit verim kaybını önlemek için ne kadar süreyle etkili olması gerektiği veya çıkış sonrası herbisit uygulamasının ne zaman gerekli olduğu konusunda bir rehber sağlar. Bu, çiftçilere en iyi herbisit seçimini ve kontrol önlemlerinin zamanlamasını belirleyerek maksimum verimi elde etmelerine yardımcı olabilir.

Şeker pancarı ekimi sonrası belirli bir süre içinde yabancı ot kontrolünün yapılması, daha yüksek verim elde etmek için kritiktir. Tarımsal uygulamalarında yabancı ot kontrolünün stratejik planlanması ve bu süreçteki etkilerin anlaşılması etkili yabancı ot mücadelesinde anahtar görevdedir.

Bunun yanı sıra Kritik periyodun şekerpancarında entegre yabancı ot mücadelesi için hayati bir bileşen olduğu bir gerçek olsa da, bu kavramın bazı zayıflıkları bulunmaktadır. Kritik periyotla ilişkilendirilen değişkenlik, yöntemi pratik olmaktan çıkardığı varsayımları da mevcuttur. Bu varsayımlar; 1) yabancı otların tüm büyüme aşamalarında eşit şekilde kontrol edilebilir olduğu, 2) çiftçilerin istenilen zamanda tüm yabancı otları kontrol etme yeteneğine sahip oldukları ve 3) yabancı otların sadece tarım verimini olumsuz etkilediği ve bu nedenle tüm sezon boyunca veya daha spesifik olarak kritik periyodun ötesinde yabancı otlardan arındırmak gerekli olmadığı şeklindeki varsayımların her birinin her zaman doğru olmadığına dayandırılmaktadır. Örneğin, kritik dönemden sonra ortaya çıkan yabancı otlar, hasat verimliliğine müdahale edebilir ve/veya gelecekteki yabancı ot problemlerine tohum üretebilir. Bu durum, entegre yabancı ot mücadele prensibine aykırıdır. Çünkü

bu prensip, gelecek mahsullerin tohum üretiminden kaynaklı yabancı ot problemlerinden korunarak gelecek ürünleri korumayı savunur. Bu bağlamda, dirençli yabancı otların yönetilmesi ve yayılmasının önlenmesi amaçlanıyorsa, yabancı ot tohum üretiminin engellenmesine yönelik kontrol uygulamalarının, verim kaybını önlemek için kritik dönemin dışına taşması gerekebilir. Şeker pancarı yabancı ot mücadelesinde kritik periyodun belirlenerek etkili diğer bileşen ve değişkenlerin de birlikte değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonymous. (2022). Ürün raporu şeker pancarı. Tarım ve Orman Bakanlığı
Erişim: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge>
- Chauhan, B. S. (2020). Grand challenges in Weed Management. *Frontiers in Agronomy*, 1(3).
- Cousens, R. (1991). Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. *Weed Technology*, 5, 664–673.
- Eştürk, Ö. (2018). Türkiye'de Şeker Sektörünün Önemi ve Geleceği Üzerine Bir Değerlendirme [An Assessment on Importance and Future of the Sugar Industry in Turkey]. *İşletme, Anadolu*, 2, 67-81.
- Evans, S. P. (2001). Effects of Varying Nitrogen Supply on the Critical Period for Weed Control in Corn (*Zea mays* L.) [Master's thesis, Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska, Lincoln, NE].
- Evans, S. P., & Knezevic, S. Z. (2000). Critical period of weed control in corn as affected by nitrogen supply. *Proceedings of the North Central Weed Science Society*, 55, 151.
- Gerhards, R., Bezhin, K., & Santel, H. (2017). Sugar beet yield loss predicted by relative weed cover, weed biomass and weed density. *Plant Protection Science*, 53, 118-125.
- Gutiérrez Sosa, M., & Reina Mulero, J. (1993). Establishment of the critical period for weed competition in autumn-sown sugar beet. In *Proceedings of the 1993 Congress of the Spanish Weed Science Society* (pp. 299–302). Lugo, Spain: 1–3 December 1993.
- Günçan, A. & Karaca M. (2023). Yabancı ot mücadelesi. Selçuk Üniversitesi Yayınları, 379.
- Günçan, A. (2000). Şeker parçalarında ekim öncesi yabancı ot mücadelesi. 1.Uluslararası Şeker Pancarı Tarım Teknolojisi Sempozyumu. Pancar Ekicileri Eğitim ve Sağlık Vakfı Yayınları No: 5, 143-148. Ankara.
- Halford, C., Hamill, A. S., Zhang, J., & Doucet, C. (2001). Critical period of weed control in no-till soybean and corn. *Weed Technology*, 15, 737–744.
- Hall, M. R., Swanton, C. J., & Anderson, G. W. (1992). The critical period of weed control in grain corn (*Zea mays*). *Weed Science*, 40, 441–447.

- Isık, D., & Akça, A. (2018). Assessment of Weed Competition Critical Period in Sugar Beet. *Journal of Agricultural Sciences*, 24, 82-90.
- Kalahar, C. J., Stoller, E., Young, B., & Roskamp, G. (2000). Proper timing of a single post-emergence glyphosate application in three soybean row spacings. *Proceedings of the North Central Weed Science Society*, 55, 113.
- Knezevic, S. Z., Streibig, J., & Ritz, C. (2007). Utilizing R software package for dose–response studies: the concept and data analysis. *Weed Technology*, 21, 840–848.
- Knezevic, S. Z., & Datta, A. (2015). The Critical Period for Weed Control: Revisiting Data Analysis. *Weed Science*, 63, 188–202.
- Knezevic, S. Z., Evans, S. P., Blankenship, E. E., Van Acker, R. C., & Lindquist, J. L. (2002). Critical period for weed control: the concept and data analysis. *Weed Science*, 50, 773–786.
- Kropff, M. J., Spitters, C. J. T., Schneiders, B. J., Joenije, W., & Groot, W. D. E. (1992). An ecophysiological model for interspecific competition, applied to the influence of *Chenopodium album* L. on sugar beet. *Weed Research*, 32(6), 451–463.
- Lemieux, C., Cloutier, D. C., & Leroux, G. D. (1993). Distribution and survival of quackgrass (*Elytrigia repens*) rhizome buds. *Weed Science*, 41, 600–606.
- Lobmann, A., Christen, O., & Petersen, J. (2019). Development of herbicide resistance in weeds in a crop rotation with acetolactate synthase-tolerant sugar beets under varying selection pressure. *Weed Research*, 59, 479-489.
- Mahmoud, O. M. (2013). Determination of critical period of weed competition with sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and weed control [Ph.D. thesis, Faculty of Agriculture, Assiut University, Assiut, Egypt].
- Martin, S. G., Van Acker, R. C., & Friesen, L. F. (2001). Critical period of weed control in spring canola. *Weed Science*, 49, 326–333.
- Martínez, J. M., de Juan Valero, J. A., Padilla, A. D., & Picornell Buendía, M. R. (2015). Competition and critical periods in spring sugar beet cultivation. *Journal of Plant Protection Research*, 55(4).
- Mobarak, O. M., Galal, A. H., Mekky, M. S., & Motagally, F. M. F. (2012). Various methods for determining the critical period of weed competition

- to sugar beet 90: 4. In Proceedings of the Fourth Conference of Field Crops Facing Future Challenges, Giza, Egypt, 28–30 August 2012 (pp. 15).
- Morishita, D. W. (2018). Impact of glyphosate-resistant sugar beet. *Pest Management Science*, 74, 1050-1053.
- Mulugeta, D., & Boerboom, C. M. (2000). Critical time of weed removal in glyphosate-resistant *Glycine max*. *Weed Science*, 48, 35–42.
- Odero, D. C., Mesbah, A. O., Miller, S. D., & Kniss, A. R. (2009). Venice mallow (*Hibiscus trionum*) interference in sugar beet. *Weed Technology*, 23(4), 581–585.
- Odero, D. C., Mesbah, A. O., Miller, S. D., & Kniss, A. R. (2010). Wild buckwheat (*Polygonum convolvulus*) interference in sugar beet. *Weed Technology*, 24(1), 59–63.
- Pardo Iglesias, A. (1990). Competition between weeds and direct seeded onion (*Allium cepa* L.): Predicting losses and chemical weeding [Ph.D. thesis, Higher Technical School of Agricultural Engineering of Madrid, Polytechnic University of Madrid, Madrid, Spain].
- Salehi, F., Esfandiari, H., & Mashhadi, H. R. (2006). Critical period of weed control in sugar beet in Shaheekord Region. *Iranian Journal of Weed Science*, 2(2), 1–12.
- Scott, R. K., Wilcockson, S. J., & Moisey, F. R. (1979). The effects of time of weed removal on growth and yield of sugar beet. *Journal of Agriculture Science*, 93(3), 693–709.
- Sellers, B. A., & Smeda, R. J. (1999). Duration of weed competition and available nitrogen on corn development and yield. Proceedings of the North Central Weed Science Society. 54, 3.
- Suso, M. L., Cavero, J., Fernández-Quintanilla, C., González-Andújar, J. L., González-Ponce, R., Medina, A., ... Zaragoza, C. (1999). Conclusions of some Spanish works on weed and irrigated crop competition. In Proceedings of the 7th Spanish Weed Science Congress, Logroño, Spain, 23–25 November 1999 (pp. 213–219).
- Swanton, C. J., & Weise, S. F. (1991). Integrated weed management: the rationale and approach. *Weed Technology*, 5, 648–656.
- VanGessel, M. J., Ayeni, A. O., & Majek, B. A. (2000). Optimum glyphosate timing with and without residual herbicides in glyphosate-resistant

- soybean (*Glycine max*) under full season conventional tillage. *Weed Technology*, 14, 140–149.
- Weaver, S. E., & Tan, C. S. (1983). Critical period of weed interference in transplanted tomatoes (*Lycopersicon esculentum*): Growth analysis. *Weed Science*, 31(4), 476–481.
- Wrucke, M. A., & Arnold, W. E. (1985). Weed species distribution as influenced by tillage and herbicides. *Weed Science*, 33, 853–856.
- Zimdahl, R. L. (1988). The concept and application of the critical weed-free period. In M. A. Altieri & M. Liebman (Eds.), *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches* (pp. 145–155). Boca Raton, FL: CRC Press.

BÖLÜM 4

ŞANLIURFA TOPRAKLARININ ÖZELLİKLERİ VE KULLANIMI

Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10372883>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Haliliye, Şanlıurfa, Türkiye, rgundogan@harran.edu.tr , <https://orcid.org/0000-0001-8877-1130>

GİRİŞ

Şanlıurfa ili iki milyon ha arazisi, yeterli su kaynakları ve uygun iklim koşulları ile Türkiye'nin tarım potansiyeli en yüksek illerinden biridir. Şanlıurfa ilindeki arazilerinin yaklaşık yarısı sulamaya elverişli olduğundan birçok kültür bitkisinin ekonomik olarak yetiştirilmesi mümkündür (TKB, 2006).

Şanlıurfa ili, jeolojik olarak tersiyer dönemine ait çökeller ile bunu tersiyer döneminde Karacadağ volkanizmasından açığa çıkan bazaltik lavların örttüğü jeolojik formasyonlara sahiptir. Bununla birlikte kireçli ve bazalt kökenli ana materyaller üzerinden Pleistosen ve Pliosen'deki yağışlı dönemlerde eğimli yamaç arazilerden taşınıp Harran, Suruç ve Bozova gibi depresyon alanlarında biriken çamur akıntıları geniş yer tutmaktadır (Güzel,2020).

Şanlıurfa ilinde yer alan araziler, esas olarak bu ana materyaller üzerinde oluşan Kahverengi ve Kırmızı kahverengi topraklardan oluşmaktadır. Şanlıurfa ilinde kurak ve yarı kurak iklim koşulları hâkim olduğundan toprak oluşumu ileri düzeyde değildir. Etkin toprak oluşum işlemleri, renk değişimi ve strüktür gelişimini etkileyecek düzeydeki cambic B horizonu gelişimi ve kirecin yüzeyden yıkanıp profil içerisinde birikimini sağlayacak kalsifikasyon işlemleridir. Bazı topraklarda geçmiş dönem iklim koşullarının etkisini gösteren hafif kil yıkanmasına dair işaretler görülebilmektedir. Topraklardaki diğer önemli toprak oluşum işlemi ve özellikleri, toprak yüzeyinden derinlere kadar inen geniş çatlaklar ve kuvvetli kayma yüzeyleri ile kendini gösteren vertikal özelliklerdir. Geniş alanları kaplayan Karacadağ lavlarının ürünü olan bazalt kayaçları daha önce oluşmuş olan toprakların yüzeyini örtmüştür. Bu kayaç örtülerin toplanmasıyla derin verimli topraklar ortaya çıkmaktadır (Irmak, 1991).

Bu çalışmada, Şanlıurfa ili sınırlarında geniş alanlar kaplayan toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini, oluşumlarını, sınıflandırılmalarını ve kullanımlarını belirlemek için yapılan birçok araştırmanın sonuçları derlenmiştir. Bu çalışmaların önemli bir kısmını Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak bölümünün bölgede yaptığı toprak etüd haritalama çalışmaları ile farklı üniversitelerde tamamlanan yüksek lisans ve doktora tezleri oluşturmaktadır. Bu vesile ile emeği geçen araştırmacılara şükranlarımı sunuyorum.

2. ŞANLIURFA İLİNİN ARAZİ KARAKTERİSTİKLERİ

2.1. Araştırma Alanının Yeri

Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan Şanlıurfa ili (Şekil 1), yaklaşık 20 bin km²'lik yüz ölçümüne sahiptir. İlin güney sınırında Suriye, kuzey ve batı sınırlarında ise Fırat nehri yer almaktadır. Şanlıurfa ili, doğudan batıya doğru Mardin, Diyarbakır, Adıyaman ve Gaziantep illeri ile çevrelenmektedir. İl coğrafi olarak 36° 38' 00"-37° 59' 37" kuzey enlemleri, 37° 49' 03" - 40° 14' 37" doğu boylamları arasında yer almaktadır.

Şanlıurfa ili, yer şekillerinin ulaşımaya uygun olması nedeniyle eski çağlardan beri doğudan batıya ve güneyden kuzeye uzanan önemli ulaşım yollarının üzerinde yer almıştır. Bugün de uzak doğu Asya ile Avrupa ülkeleri arasında bir köprü görevi görmektedir. Özellikle doğudan batıya uzanan *orta kuşak yol* ve körfezden Avrupa'ya ulaşması önerilen *kalkınma yolu* bu bölgeden geçmektedir. Uluslararası hava limanı, yüksek kaliteli oto yol ve yakın gelecekte inşa edilmesi planlanan yüksek standartlı demir yolu hatlarıyla gelecekte de ulaşımındaki bu önemli rolünün devam etmesi muhtemeldir.



Şekil 1. Şanlıurfa ilinin Google Earth görüntüsü (15.11.2023 tarihinde alınmıştır)

2.2. Jeoloji

Şanlıurfa ili arazileri, tersiyer yaşlı karasal tortul karbonat ve volkanik kayalardan oluşmaktadır. Ayrıca yaygın olmamakla birlikte Kretase oluşumları da görülmektedir.. Kvarterner yaşlı alüvyal birikintiler, akarsu

vadilerinde ve koluviyal birikintiler yüksek arazilerin eteklerinde lokal olarak yer almaktadır (Tolun, 1975). Şanlıurfa ilinin genel jeolojik yapısı Şekil 2’de görülmektedir.

Şanlıurfa ilindeki tortul formasyonlar Mezozoik ve Tersiyer jeolojik zamana ait kısmen denizel kısmen karasal Üst kretase, Paleosen-Eosen Eosen Oligosen Miosen, Pliosen ve Plio-quarterner yaşlı depozitlerden oluşmaktadır (Güven ve ark., 1988; Tolun, 1975; DSİ, 1972).

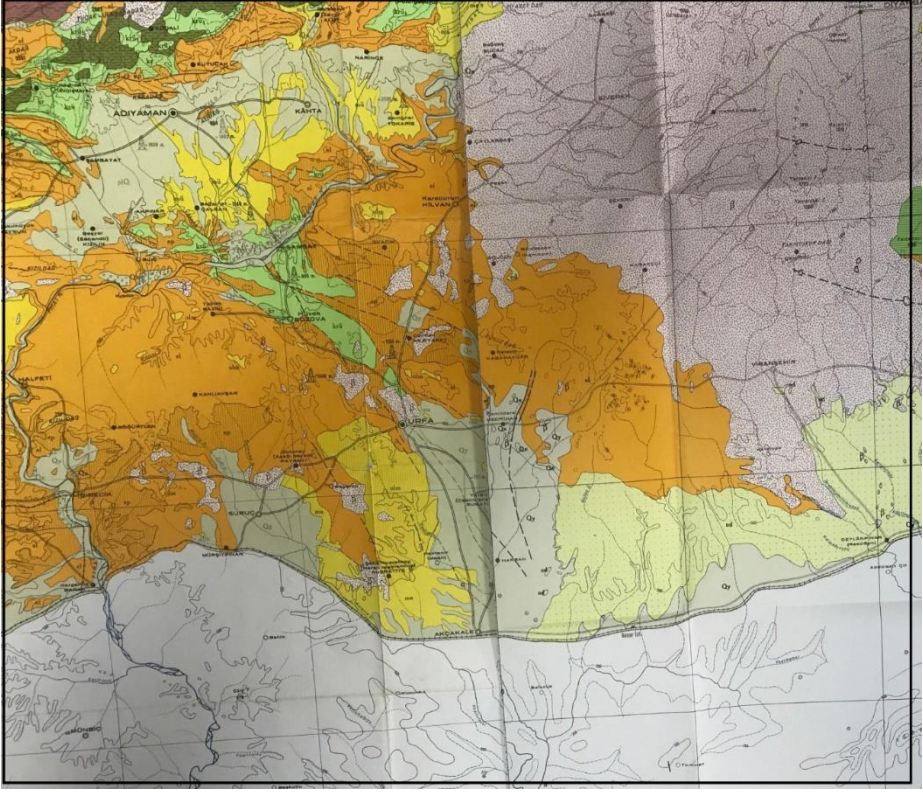
En yaşlı oluşuklar olan kretase yaşlı kayaçlar, Bozova ilçe merkezinin çevresinde yüzeylemiştir. Üst kretase olarak yaşlandırılan bu tortul kayaçlar Samsat ilçesinden başlayarak doğuya doğru uzanmakta ve Bozova Samsat Grabenini oluşturmaktadır. Halen Atatürk Baraj gölü tarafından tamamen örtülmüş durumdadır. Üst kretaseye ait formasyonlar Paleosen -Eosene ait tebeşirli marnların altında genel olarak kıvrımlı arjil, marn ve arjiller arasında kalker ve yumuşak marnlı bantlı olarak görülür. Paleosen–Eosen yaşlı tortullar Şanlıurfa ilinin batı kesimlerinde Birecik ilçesinin çevresinden Bozova Hilvan ilçelerine doğru uzanan plato alanında çok yaygın mostralara veren beyaz tebeşirli marnlardır. Orta Eosen kalkerleri Şanlıurfa ilinin en yaygın tortulları olup hafif kıvrımlıdır. Fırat nehrinin güney doğusu boyunca Birecik’ten Siverek’teki Volkanitlere kadar Şanlıurfa’nın kuzey batı kesimlerini hemen hemen tamamen kaplarlar. Oligo-Miosen devrine ait kalkerler esas olarak Harran ovasının güney batısında Fatik dağlarında hakimdir (DSİ, 1972; Gürel ve ark., 2000). Bu bölgenin güneyinde alt Miosen kalkerler yaygındır. Tüflü tebeşirli kalker orta Eosene ait masif kalkerleri hafif diskordansla örterler. Şanlıurfa ilinin güney doğusunu Harran ovasından doğuya doğru Suriye devlet sınırı boyunca Miyosen-Pliosen (Neojen) çok kalın resifal, gözenekli ve neritik kalkerler kaplar. Pliyosene ait olanlar bol küçük taneli ve arjil serileri ile karışıktır.

Kalker formasyonundan sonra en yaygın formasyon Karacadağ volkanının püskürttüğü bazalt formasyonudur. Karacadağ volkanitleri bölgedeki tüm formasyonları aşılabilir uyumsuzlukla örtmektedir. Karacadağ volkanitleri etkinlik dönemlerine bağlı olarak volkan morfolojisi, drenaj sistemi, aşınma derecesi ve stratigrafik ilişkileri göz önünde bulundurularak üç bölümde incelenmektedir (Kavak, 2013). Üç evrede etkinlik gösteren Karacadağ volkanitlerinin üç evresindeki volkanitler bazalt türü lavlar olmakla birlikte jeokimyasal nitelikleri bakımından farklılık göstermektedir (Haksal,

1981). İlk evreye ait volkanitlerin örttüğü en genç yaştaki çökel kaya topluluğu üst Miyosen yaşlı Şelmo formasyonudur. Şanlıurfa ili içerisinde ilk evre volkanitler genel olarak Eosen kireç taşlarını örtmektedir. Vadilerde volkanitler, 20 metre kalınlığında yataya yakın konumdadır. Kalınlıkları çıkış merkezlerine yaklaşıldıkça artmakta ve 100 metreye ulaşmakta; vadiler boyunca güneye gidildiğinde lavların kalınlığı azalmaktadır.

Üst Miyosen yaşlı ilk evre volkanitler olivin toleyit, olivin bazalt ve alkali olivin bazalt lavları içermekte olup yaklaşık 10+0,3 milyon yıl yaşındadırlar (Haksal, 1981). İkinci Evre volkanitleri Karacadağ'ın kalkan tipli volkan kütlelerini oluşturur (Erinç, 1971). Karacadağ kalkan volkanı üzerinde vadileri belirginleşmiş radyal bir drenaj gelişmiştir. İkinci dönem volkanik etkinliği sonucunda yüzeyleyen Karacadağ yöresinin volkanitleri ilk dönemin bazalt platoları üzerine gelmektedir İkinci evre volkanitleri jeokimyasal özellikleri bakımından bazanit, hawait ve nefhelin hawait olarak tanımlanmaktadır (Haksal, 1981). Bu evrenin ilk evre volkanitleri dışında dokanak halinde olduğu Derik kuzeyindeki Mardin kireçtaşları üzerinde izlenebilen kalınlığı 20 metre civarındadır. İkinci evre volkanitlerinin volkan konisi dışında kalan lavlarının kalınlığı 20 metre kalınlığında olup kireçtaşları üzerinde gelişmiş olan vadileri doldurmuştur. Haksal (1981) tarafından yapılan yaş tayinlerinde ikinci evre volkanitlerin Üst Pliyosen döneme ait 2,7+0,1 milyon yıl yaşında olduğu belirlenmiştir. Üçüncü evre Volkanitleri Şanlıurfa ilinde birbirinden bağımsız kuvaterner sonlarına yakın bir zamanda yüzeye çıkmış lav akıntıları halinde bulunur (Şekil 2). Bunlardan önemli bir bölümü Harran ovasının Karaköprü civarında yer alır.

Üçüncü yaygın depozitler ise Pliosen ve Pleistosen dönemindeki yağışlı dönemlerde kalker ve volkanit formasyonlardan taşınıp Harran, Suruç Bozova ve diğer çukur alanları dolduran çamur akıntılarıdır Dinç ve ark, 1988). Bunun yanında Fırat nehri ve diğer derelerin vadilerinde şeritler halinde alüvyonlar yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 2.Şanlıurfa ili genelştirilmiş Jeoloji haritası (Tolun 1975'ten düzenlenmiştir)

2.3. Jeomorfoloji

Şanlıurfa ili Güneydoğu Anadolu Toros dağları ile Arabistan çöl bölgesinin birbirine yaklaştığı etek arazilerde yer alır. Genel morfolojik yapısı kuzeyden güneye doğru azalan yükseltiyeye sahip az eğimli plato güneyinde kalan plato niteliğindedir (Şekil 3). Platonun doğu kesimi Karacadağ volkan konisi ve onun lav akıntılarının yayıldığı volkanik örtülerle, batı ve güney kesimleri ise özellikle Fırat nehri çevresindekiler akarsularca yarılmış tortul kayalarla kaplıdır.

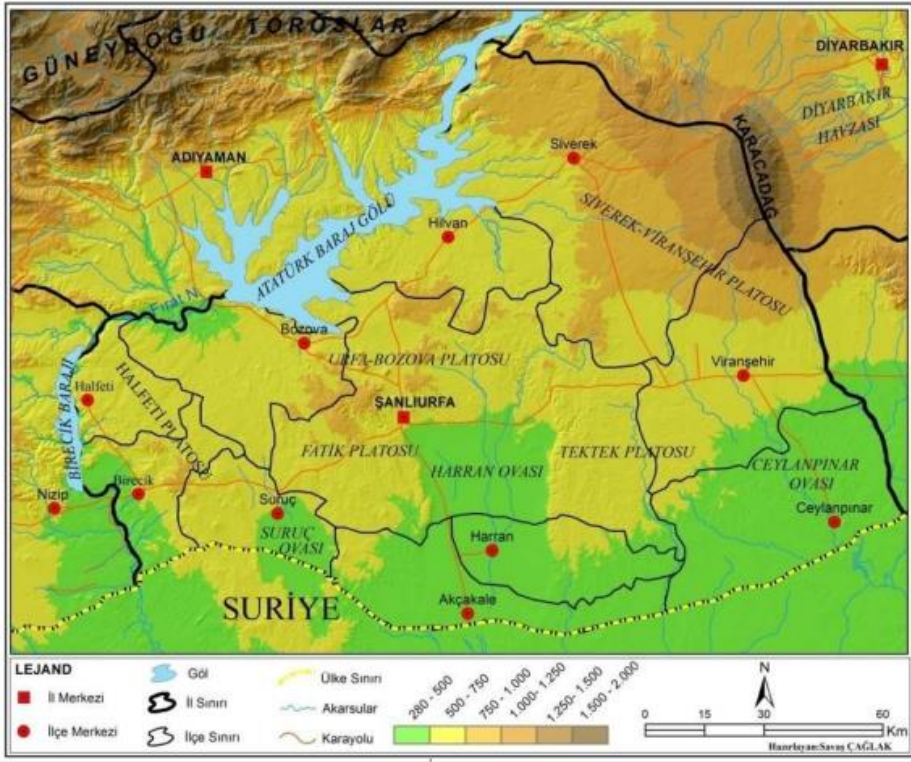
Bazalt lavlarının, doğrudan kalker üzerine gelmesi, püskürmeden önce bu sahanın dış güçler tarafında kuzeyden güneye doğru aşındırılmış olduğunu göstermektedir. Lavların kuzeyde Eosen, güneye doğru ise miyosen yaştaki kalkerler ile kontak kurması, aşındırma şiddetinin güneye doğru azaldığını göstermektedir. Volkan konisinden uzaklaştıkça sığlaşan Karacadağ volkanitleri bazı bölümlerde karstik platoların yüzeyinden aşındırılarak ortadan

kaldırılmıştır. Bazı yerlerde ise alttaki tortul kayaların aşındırmasıyla masa dağı ya da şahit tepe olarak bulunmaktadır.

Baziki platosunu oluşturan Eosen yaştaki kalkerler daha yumuşak ve gevşek olduğundan erimelerle geniş uvala ve polyeler meydana gelmiş iken, Miyosen yaştaki Fatik ve Tektek platolarında oluşan karstik şekiller, küçük tavaların birbirlerine kapımları sonucu oluşmuş uzun vadiler ve bu vadiler arasında yer alan alçak tepelerdir. Miyosen kalkerlerinden oluşan Tektek'te karstik çukurlar birbirinden dar, kuru boğazlarla ayrılmıştır. Bunların bazıları küçük polye büyüklüğündedir. Bunlar daha ziyade kuru ve kör vadilerin gelişmesinden meydana gelmiştir. Birecik civarında Fırat nehrinin dik yamaçlarını yarararak oluşan vadiler ve bu vadilerde akan sular arasında uyumsuzluk dikkat çekicidir. Benzer şekilde, Tektek platosunun kuzeyinde 100-150 metre derinliğindeki kanyon vadileri ile Fırat nehri kolları platoları derince yarılmıştır. Bu muhtemelen Plüviyal dönem olarak bilinen nemli ve yağışlı dönemin eseridir (Güzel 2020). İlin büyük bir kısmını oluşturan kalkerli arazilerde Karst topografyasına ait çok sayıda mağara, sarnıç, polye ve dolin gibi yüzey şekilleri bulunmaktadır.

Diğer kesimler dalgalı yayla niteliğindedir. Karacadağ volkanizmasının yayılım alanı dışındaki alanlar kireçtaşı ve marn ana materyallere sahiptir. Karacadağ volkanizmalarının yayılım alanlarındaki yüzeylerde bazalt örtüsü çoğunlukla temizlenmiş olup; kalın bazaltik topraklar yer almaktadır.

Şanlıurfa platosunun en yüksek kesimi Karacadağ volkan konisinin yer aldığı Mirmiran tepe (1893 m), en alçak yeri ise Harran ovasında Culap çayının Suriye sınırında terk ettiği noktadır (348 m). İlin ortalama yüksekliği 518 m olup arazinin % 60.4 dalgalı yayla, % 22 dağlık, % 17.6 ova niteliğindedir (Şekil 3). Şanlıurfa'nın kuzeyinde esas olarak Karacadağ volkan konisinin oluşturduğu dağlık alan yer alır. Ova niteliğindeki araziler batıdan doğuya doğru, Birecik, Suruç ve Harran ve Ceylanpınar ovalarıdır. Birecik ovası dar bir şerit halinde Fırat nehri alüvyonları ile, tektonik kırılma sonucu oluşan Suruç ve Harran ovaları çamur akıntıları niteliğindeki depozitlerle dolmuştur. Bu çamur depozitlerinin bazı kesimlerinde tuzlu alkali materyaller ile jips kristalleri görülmektedir.



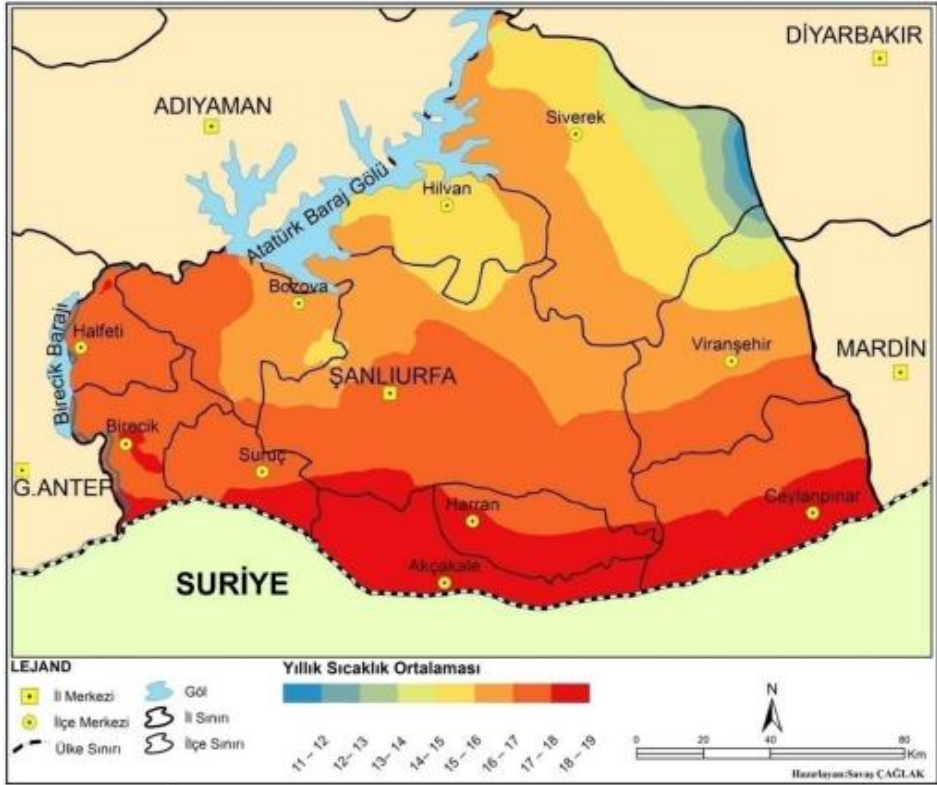
Şekil 3. Şanlıurfa ili yer şekilleri haritası (Çağlak ve ark., 2016)

2.3. İklim özellikleri

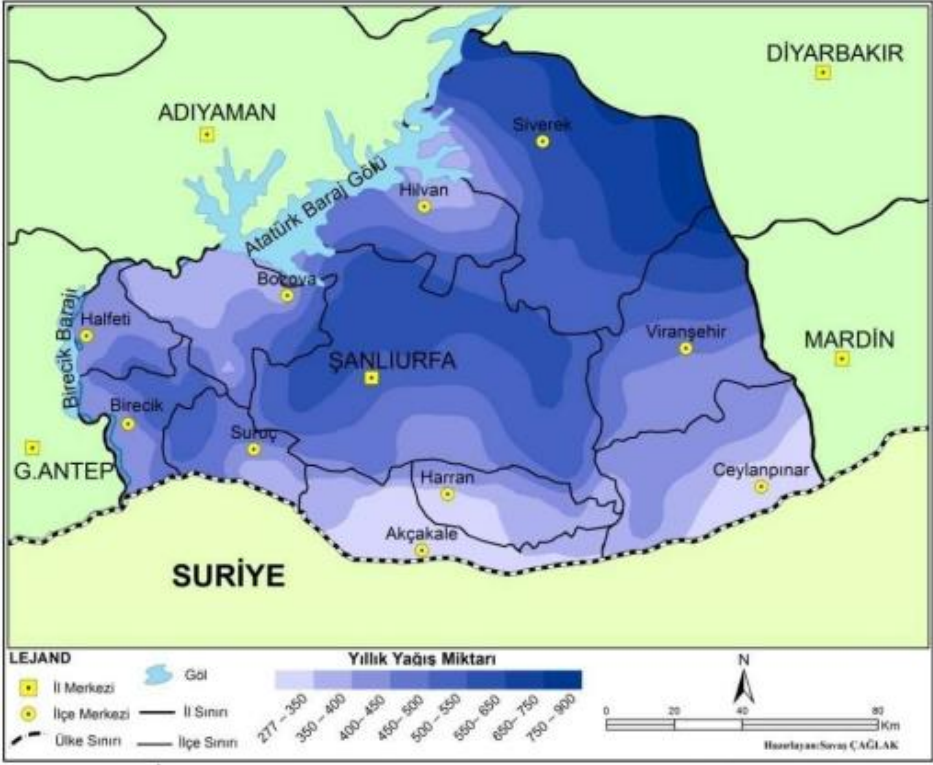
Şanlıurfa karasal iklim özelliği göstermekte olup genel olarak kurak ve yarı kurak iklim kuşağındadır. Yazları çok kurak ve sıcak, kışları nispeten yağışlı ve ılık geçmektedir. Yağışlar genellikle kış aylarında düşmekte olup, yaz döneminde ise kuraklık hakimdir. Şanlıurfa'da yıllık ortalama sıcaklık 18.6 °C'dir. Sıcaklık ortalamaları kuzeyden güney kesimlere gidildikçe artmaktadır. Yükseltinin artmasına bağlı olarak Karacadağ ve çevresinde yıllık ortalama sıcaklık 11 °C'ye kadar düşmektedir (Şekil 4). Yaz ve kış ayları arasında sıcaklık farkı fazladır. En sıcak ayı Temmuz olup ortalama sıcaklık 31.9 °C'dir. En soğuk ise Şubat ayı olup ortalama sıcaklık 5.5 °C'dir. Yağışların büyük bir kısmı kışın düşmekte olup; uzun yıllar ortalama yıllık toplam yağış miktarı 451 mm'dir (Tablo 1). Yağışlar genel olarak kuzeyden güneye doğru azalmaktadır (Şekil 5).

Tablo 1.Şanlıurfa Meteoroloji istasyonuna ait bazı iklim verileri (1929-2017)

İklim parametreleri	Aylar												Yıllık Ort.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.5	6.9	10.7	16.1	22.1	28.0	31.9	31.3	26.8	20.1	12.8	7.4	18.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.1	5.1	6.2	7.5	10.1	12.2	12.3	11.4	10.1	8.6	6.6	4.0	98.2
Ortalama Yağış (mm)	88.3	69.8	62.8	49.3	25.8	3.4	0.6	0.6	2.6	24.5	44.5	78.8	451.0

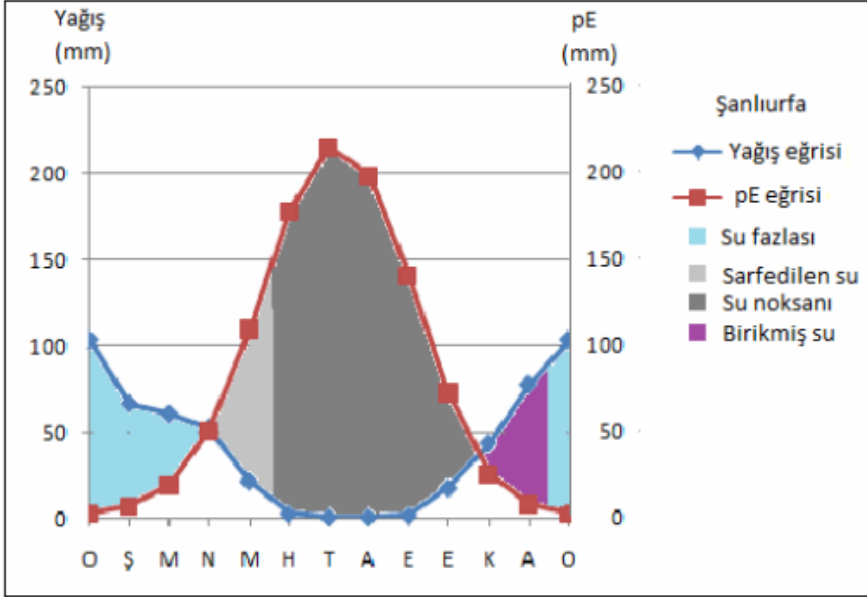


Şekil 4. Şanlıurfa ilinin yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Şanlıurfa Meteoroloji Müdürlüğü verilerine göre Çağlak ve ark., 2016 tarafından hazırlanmıştır.)



Şekil 5. Şanlıurfa ilinin yıllık ortalama yağış dağılımı (Şanlıurfa Meteoroloji Müdürlüğü verilerine göre Çağlak ve ark., 2016 tarafından hazırlanmıştır.)

Sıcaklığa bağlı olarak buharlaşma yüksek olup ortalama 2.048 mm'dir. Düşük yağış ve yüksek buharlaşmadan dolayı su bütçesi önemli açık vermektedir (Şekil 6). Bunun yanı sıra nispi nem % 48, rüzgar hızı 2.8 m/sn'dir. Donlu ve karlı günlerin sayısı oldukça az olup ortalama olarak 10 günü geçmez.



Şekil 6. Şanlıurfa ili su bilançosu diyagramı (Şanlıurfa Meteoroloji Müdürlüğü verilerine göre Çağlak ve ark., 2016 tarafından hazırlanmıştır.)

2.5. Bitki Örtüsü Arazi Kullanımı

Şanlıurfa ili, doğal bitki örtüsü bakımından oldukça fakirdir. Doğal bitki örtüsü genellikle septir. İlkbahar yağışlarıyla yeşeren seyrek ot toplulukları yazın şiddetli kuraklık ve sıcaklardan kurur. Şanlıurfa ilinin doğal bitki örtüsü çeşitli baklagil ve buğdaygil vejetasyondan oluşur. Başlıca otsu bitkiler papatya, gelincik, çiğdem, kekik, devedikeni, yaban buğdayı, sarı çiçek vb. bitkilerdir. Mahlep, iğde, titrek kavak, fırat kavağı, ak kavak, bazı söğüt türleri, badem, ahlat, doğu çınarı, adi ceviz, siğilli kuş, beyaz yapraklı kuş ve akça ağaç yapraklı üvez, Suriye akça ağacı, kara ağaç, doğu çitlenbiği, alıç türleri, kızılçık, yabani elma, dut türleri, karaçalı, yabani gül, erguvan, zeytin, fıstık türleri yörenin doğal bitki örtüsüdür. İğne yapraklı türler olarak bazı ardıç türleri, halep çamı ve kızıl çam yayılış göstermektedir. Ayrıca Karacadağ ve Halfeti civarında yer yer Meşe, Palamut gibi ağaç topluluklarına rastlanır. Tektek dağları'nda ise geniş bir alanda yabani melengiç ve fıstık ağaçları yer alır. Bunlar zamanla aşıl原因 olarak kazandırılmıştır. Fıstık badem gibi çok yıllık bitkilerin yaygınlaşması, sulama imkanlarının artmasıyla doğal step alanları önemli ölçüde azalmıştır.

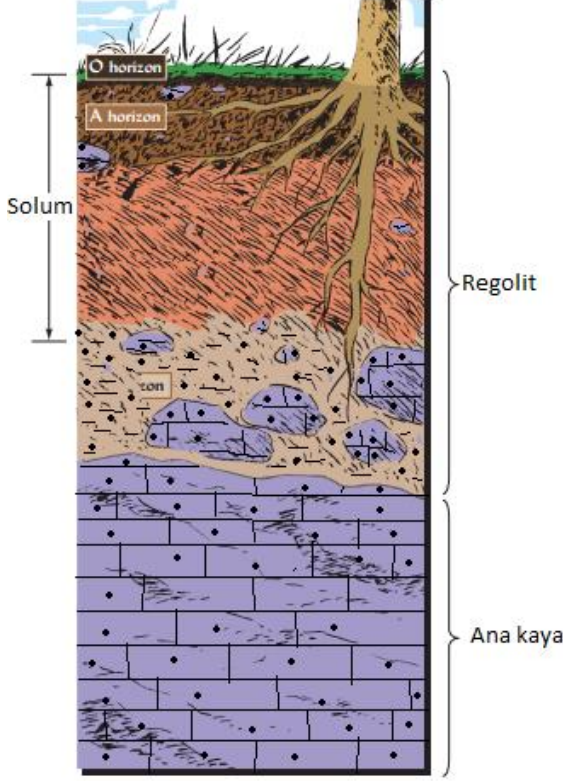
Güneydoğu Anadolu Bölgesi, orman varlığı bakımından Türkiye'nin en fakir bölgesidir. Bölgenin güney kısmındaki ovalarla, plato düzlükleri üzerinde orman ve ağaç topluluklarına rastlanmamaktadır. Bu durum step koşullarından ve insan tahribatından kaynaklanmaktadır. Kurak iklim koşulları antopojen etkilerini onarmaya yetmemektedir. Ayrıca seyrek de olsa gerçekleşen ağır kış koşulları yakacak tahribatı hızlandırmaktadır. Benzer şekilde, aşırı ve düzensiz otlatma step bitki örtüsü üzerinde ciddi olumsuz etki oluşturmaktadır.

Şanlıurfa ilinin %50'sinden fazlasında işlemeli tarım yapılmaktadır. Önemli tarım ürünleri buğday, arpa, mısır gibi tahıllar ile mercimek ve nohut gibi baklagillerdir. Ayrıca pamuk ve yem bitkileri de yaygın olarak yetiştirilmektedir.

3. ŞANLIURFA TOPRAKLARININ OLUŞUMU

Toprak, yer kabuğunun en üst kısmının yüzeyden başlayarak çeşitli etmenler nedeniyle süreç içerisinde değişme uğrayıp kendine özgü bir yapıya dönüşmesiyle oluşur. Herhangi bir yerdeki toprağın özellikleri; toprak oluşum faktörleri olarak bilinen beş ana etmene bağlıdır. Bu etmenler ana materyal, geçmiş ve şimdiki iklim; rölyef ve hidrolojik drenaj ağı, toprak oluşum işlemlerinin gerçekleştiği süre ve insan faaliyetleri de dahil canlı ekosistemdir.

Toprağın yüzeyden başlayarak toprak oluşum etmenlerinin etkisinin sonlandığı yere kadarki üç boyutlu görünümüne *toprak profil* denir (Şekil 7). Toprak profili yüzeyden toprak oluşum etmenlerinden etkilenmemiş ana kayaya veya ana materyale kadar en fazla 1.5 m kalınlıktaki katmandır. Ancak toprak profilinin kalınlığı birkaç santimetreden birkaç metreye kadar olabilir. Bir toprak profilinde toprak yapan etmenlerden etkilenmiş kısma *regolit* denir. Regolitin toprak oluşum etmenlerinden önemli ölçüde etkilenmiş ve ana materyalden tamamen başkalaşmış kısmına *solum* denir (Weil ve Brady, 2017).



Şekil 7. Toprak profili (Weil and Brady, 2017) den değiştirilmiştir.

Toprak, esas olarak üzerinde bulunduğu ana materyalin ürünüdür. Ana materyalin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden önemli derecede etkilenir. Özellikle iklim ve bitki örtüsünün yeterince etkili olmadığı kurak ve yarı kurak bölgeler ile soğuk kurak (kutup bölgeleri) bölgelerde hemen hemen tamamen ana materyalin özelliklerini yansıtır. Ana materyalin geçirgenliği, baz içeriği, sertliği, ve mevcut mineral türü gibi özellikleri, toprak oluşumunda son derece etkilidir. Kaba tekstürlü kum taşı gibi kayalar üzerinde kaba tekstürlü verimsiz topraklar oluşurken bazik karakterli ince tekstürlü (bazalt gibi) kayalar üzerinde ince tekstürlü bazik topraklar oluşur. Benzer şekilde ince dokulu marn gibi materyallerin havalanması zor olduğundan koyu renkli drenajı kötü topraklar oluşurken kireç taşı gibi havalanması iyi materyaller üzerinde kırmızı renkli iyi drenajlı topraklar oluşur. Kireçli, tuzlu ve jipsli ana materyaller

üzerindeki topraklar bazik karakterli olup kireçli, tuzlu, alkali toprakların oluşma ihtimali yüksektir.

Toprak horizonları, fiziksel ve kimyasal ve biyolojik süreçlerle ayrışarak morfolojik olarak farklılaşır. Donma ve çözülme veya ıslanma ve kuruma eylemleriyle giderek daha ince parçacıklara fiziksel olarak parçalanması, kimyasal ayrışmayı hızlandırır. Başlıca etken, çözülmüş bitki artıklarından ve toprak havasının difüzyonuyla atmosferden giren çözülmüş oksijen, karbondioksit ve hafif asidik karakterli yağmur suyudur. Yağmur suyu toprakta hareket ederek mineralleri çözer ve ayrıştırır. Bu özellikle kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum gibi iyonların, toprak çözeltisine salınımını sağlar. Böylece karbonatlar yavaş yavaş çözülür; tortul kayalardaki mika ve diğer mineraller hidrate olur veya feldspat gibi birincil silikat mineralleri hidrolize olur; demir ve sülfür iyonları oksitlenir. Böylece katyonlar ve silikanın bir kısmı çözülmeye geçer. Ayrışma nedeniyle salınan temel katyonlar ve büyük ölçüde organik maddeden veya havadaki fiksasyonla elde edilen nitrat iyonları mikroorganizmaların protein ihtiyacını ve bitkilerin besin ihtiyacını karşılar. Bununla birlikte sızıntı ile iyonların bir kısmı aşağıya doğru kök bölgesinin altına doğru veya yanal olarak hareket eder (Ragg ve ark.1984). Ayrıca ayrışmaya dirençli kuvars ve ana kayadaki diğer dirençli mineraller yıkama sonrasında toprak profilinde kalır. Bazı çözümlenir katyonlar, özellikle kalsiyum, karbonat kaplamaları veya nodülleri halinde alt horizonlarda birikebilir.

Kireçtaşları içerdikleri karbonatlar nedeniyle çoğu zaman baz bakımından zengin topraklar verir. Nispeten yumuşak, Marnlar düşük geçirgenliğe ve agregat stabilitesine sahip olduklarından hem geçmişteki yağışlı dönemlerde hem de günümüzdeki sağanak yağışlarla kolayca taşınırlar. Bu nedenle bu topraklar özellikle kuzeyde ve batıda Fırat nehri çevresinde şiddetli erozyona uğrayarak çoğunlukla ana materyalin açığa çıktığı beyaz renkli çok sığdırlar. Bu alanlar derin vadilerle yarılmış olup aşınmış yamaçlarda sığ Rendzina toprakları yer alır. Bu alanlardaki hafif eğimli etek arazilerde daha derin kahverengi kireçli topraklar görülür. Kuru vadilerdeki vadi tabanlarına yakın etek arazilerde ince şeritler halinde alüvyal topraklar yamaçlara yakına dar alanlarda ise kolüvyal topraklar yer alır.

Buna karşılık geçirgen Eosen kireçtaşları iyi drenajlıdır ve eğime bağlı olarak çeşitli derinliklerde topraklar oluşur. Genel olarak Harran ovasının doğusu ve batısındaki bölgelerde şiddetli erozyondan dolayı topraklar çok

sığdır. Harran ovasının kuzey bölgesinde doğu ve batı kesimleri dik eğimli arazilere sahip olmalarına rağmen güneye doğru gidildikçe geniş alanlarda eğim azalır. Güney kesimlerdeki hafif eğimli toprakların oluşmamasının nedeni toprak profilinin yüzeye yakın kesimlerinde petrocalcic horizon oluşumundan (Irmak, 1991) dolayı çok az bir yağış durumunda dahi toprağın kolayca suyla doyması ve taşınmasıdır. Şanlıurfa ilinde yapılan çalışmalarda Kap serisi olarak tanımlanan topraklar bu koşulların tipik toprak serisi olup Harran ovası içerisinde lokal alanlarda yaygın olarak bulunmaktadır (Dinç ve ark, 1988). Özellikle bölgedeki yarı kurak iklim koşullarındaki sağanak yağışlar erozyona neden olan ve toprak profilini sığlaştıran en önemli faktördür. Derin topraklara ancak bazı karstik uvala veya dolinlerde rastlanmaktadır. Bunlar yüksek demir oksitlerden dolayı kuvvetli agregat stabilitesine sahip kırmızı kahverengi topraklardır. Kuzey batıda ve güney doğu bölgelerindeki Karacadağ bazaltları tarafından örtülmemiş düz veya hafif eğimli alanlarda orta derin ve derin topraklar oluşmuştur.

Petrokalsik horizonun bulunmadığı Hilvan ve Bozova civarları ile güneyde Ceylanpınar kesimlerinde Miosen yaşlı ana materyaller üzerinde oldukça derin A-B-C horizonlu topraklar oluşmuş olup horizon farklılaşması oldukça belirgindir. Bu topraklarda temel toprak oluş işlemleri kalsifikasyon olup tüm profilde sekonder kireç oluşumuna ait kireç benekleri gözlenmektedir. Bu kireç birikimleri kalsik horizon oluşturacak düzeydedir (Dinç ve ark, 1994a; Irmak, 1991).

Karacadağ bazaltlarının ilk evresinde Şanlıurfa ilinin özellikle kuzey doğu bölgelerinde Siverek ve Viranşehir ilçelerinde çok geniş alanlar bazalt lavlarıyla kaplanmıştır. Çoğunlukla düz düze yakın eğimlerdeki bu alanlarda hafif kireçli, derin kırmızı kahverengi renkli bazaltik topraklar oluşmuştur. Toprak profilinin yüzeyi Karacadağ volkan konisinin yaklaştıkça yoğun ve daha iri bazalt taş ve kaya blokları ile kaplıdır. Volkan konisinden uzaktaki alanlarda derin toprakların yüzeyindeki taşlar çoğunlukla toplanmıştır. Karacadağ volkanının ikinci evresinde ortaya çıkmış volkan konisinin üzerinde ve yamaçlarındaki kaya ve blokların temizlendiği yerlerde daha sığ topraklar görülür.

Volkan lavları üzerinde oluşan topraklar gerek lavların yayılması sırasında alttaki kireçli materyallerle temas etmesi gerekse de lav içerisindeki bazı karbonatlı minerallerden dolayı hafif kireçlidirler. Yağış yetersizliğinden

yıkanma da yetersiz olduğundan yüzeyde daha az oranda olmakla birlikte tüm profilde kireç görülmektedir. Gerek ana materyaldeki bu karbonatlar gerekse de yüksek demir oksitler nedeniyle toprakların agregat stabiliteyi yüksek, geçirgenlikleri nispeten yüksektir. Bu toprakların ana materyalleri yüksek miktarda olivin içerdiğinden ayrışma daha kolay olmakta ve özellikle smektit tipi killerin oranı yüksektir (İnce 1984). Smektit tipi killerin birbirini takip eden yağışlı ve kurak dönemlerde şişip büzülmesiyle pedotürbasyon olayı gerçekleşmektedir. Bundan dolayı profildeki bazalt blokları yukarı doğru hareket ederek köşeleri yuvarlaklaşmış olarak toprak yüzeyini örtmektedir. Yüze çıkan kayalar; basıncın ortadan kalması ve sıcaklık farklılıklarından dolayı kolayca soyularak (exfoliasyon) (Şekil 8) ayrışmaktadır (El-Hinnawi ve ark., 2021). Minerallerin yapısındaki yüksek demir içeriğinden dolayı toprak koyu kahverengimsi bir renk almaktadır (Dinç ve ark.1988).



Şekil 8. Soyularak ayrışan bir bazalt bloğu (Taylor, 2015).

Volkan lavları geniş alanlara yayılmakla birlikte özellikle Karacadağ volkanizmasının üçüncü evresinde lokal alanlarda marn materyallerinin volkan lavları ile örtülmüştür. Daha sonraki plüviyal dönemlerde bazalt örtüsün

çevresinin aşındırılmasıyla oluşan masa dağı veya şahit tepelerin üzerlerinde derin bazaltik topraklar, yamaçlarında ise sıg, kireçli kahverengi topraklar görülür. Gerek kireçtaşı gerekse bazalt ana materyalleri üzerinde oluşan ana materyalden oldukça farklılaşmış kırmızı, kırmızı kahverengi renkleri ve kuvvetli strüktür gelişimleri belirgin bir kambik horizonunu netice vermiştir. Bu durum büyük ölçüde oksidasyon sonucu ortaya çıkan demir oksitlerdir (Buringh,1970).

Toprakta su akışının miktarı yıllık yağış miktarı ve toprak tekstürüne bağlıdır. Şanlıurfa yarı kurak iklim koşullarına sahip olduğundan yıllık yağış düşüktür. Ayrıca yılın önemli bir kısmında yağış düşmez. Benzer şekilde toprak tekstürü de çoğunlukla kil olduğundan toprakta su akışı ve dolayısıyla kationların yıkanması yetersizdir. Bu yüzden toprak bazik karakterlidir. Yine topraktaki su akışı yetersiz olduğundan killer ve oksitler yıkanmadığından ve tuz ve karbonatlar toprak profilinde biriktiğinden toprak profili çoğunlukla kireçlidir. Taban suyunun yüksek olduğu ova tabanlarında ise yer yer yüzeyde tuz kristalleri yüzey altı horizonlarında jips kristallerine rastlanır (Aydemir, 2001).

Kil, su tabakaları kurduğunda yapısal agregatların yüzeyinde veya gözeneklerde ve taşların çevresinde kabuk veya tabaka halinde yeniden biriktirilir. Bugünkü iklim koşullarının eseri olmayan illivüyal kil bazı topraklarda argillik horizonun oluşmasını sağlar. Geçmiş iklim rejimleri altında kil oluşumu, mikro morfolojileri ve kırmızımsı renkleri ile tanınan paleosol toprak altı katmanlarını verir (Zhou ve ark. 2015)

Şanlıurfa ilinin bazı topraklarında profildeki kil artışı argillik horizon koşullarını sağlamasına rağmen topraklar yüksek kil içerdiklerinden ve suyun toprakta infiltrasyonu yavaş olduğundan ince kilin ped yüzeylerinde birikimi belirgin değildir (Irmak, 1991). Bu durum, çeşitli araştırmacılar tarafından yüzey horizonundaki kilin erozyonla taşınması ya da profildeki kilin yerinde oluştuğu ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Smith ve Buol, 1968; Gile,1970)

Yüksek taban suyu ve su basması, demir bileşiklerinin azalmasına, harekete geçmesine ve uzaklaştırılmasına veya yeniden birikmesine yol açar ve farklı toprak horizonları oluşturur. Ferrik demirin mikroorganizmalar veya ayrışan organik maddelerin ürünleri tarafından daha hareketli, renksiz veya gri ferro demir komplekslerine indirgenmesi, gleyleşme olarak bilinir. Harran ve Suruç ovaları gibi taban arazilerde alt toprakların yeraltı suyundan etkilendiği

yerlerde gley toprakları oluşmuştur (Dinç ve 1988). Bu tür topraklarda periyodik su basması, aralıklı veya yerel havalandırmaya izin verir ve bunun sonucunda yeniden oksidasyon meydana gelir ve alt topraklar gri, sarımsı ve koyu sarı renklerde benekler meydana gelir. Bunlara sıklıkla siyah ferri-manganiferöz konsantrasyon nodülleri eşlik eder. Sürekli olarak su ile dolan topraklar genellikle tamamen gri veya mavimsi gri renktedir.

Çoğu toprakta kum, silt ve kil parçacıkları, pedler olarak bilinen agregatlar halinde birbirine yapışır ve bunlar arasındaki boşlukların boyutu ve dağılımından etkilenen toprak, gevşek veya nispeten kompakttır. Bu yapısal gelişimin derecesi tekstürden güçlü bir şekilde etkilenir. Kumlar genellikle yapısızdır (kil olmadan tek tek taneler pedler halinde birleşmez), oysa killer ıslanma ve kuruma döngüleri sırasında şişer ve büzülür, iyi biçimlendirilmiş bloklar veya prizmalar üretir. Ancak çökelmeden bu yana suya doymuş kalan akışkan çamurlarda ve organik maddelerde yapı sadece drenajla gelişir ve suyun bir kısmının geri dönüşü olmayan kaybına izin verir ve toprağa daha sıkı bir kıvam kazandırır. Bu süreç olgunlaşma olarak bilinir. Köklerin, toprak faunasının ve mikroorganizmaların faaliyetler, özellikle toprak yüzeyine yakın yerlerde strüktürün gelişmesine yardımcı olur. Bu da gözenekliliği dolayısıyla hava ve su akışını artırır. Şanlıurfa da kireç taşı, bazalt ve Harran ve Suruç ovaları gibi çamur akıntılarının yer aldığı ana materyaller üzerindeki toprakların; yüksek orandaki demir oksitlerinden de katkısıyla agregat stabiliteyi yüksektir (Dinç ve ark, 1988; Aydemir, 2001).

Sıcaklığın yüksek ve yağışın nispeten yüksek olduğu kesimlerde profil içerisinde yıkanma daha fazladır. Bu durumda özellikle kimyasal ayrışma ile oluşmuş ince killer yıkanarak alttaki daha kaba kum ve siltlerin etrafını kaplayarak Argillik horizonu oluştururlar. Ancak Şanlıurfa'daki ana materyaller ince killer ürettiğinden toprak tekstürü killidir. Bu nedenle de Şanlıurfa'daki topraklarda görülen argillik horizon muhtemelen geçmişteki yağışlı plüviyal dönemin ürünüdür. Zira kurak iklim koşulları ve kil tekstür profildeki karbonatları bile yıkamak için yeterli değildir.

Bitki örtüsü altında bitki kalıntıları toprağa eklenerek ayrışır ve mineral maddeyle birleşir. Organik maddenin bir kısmı kısa sürede çürüyerek bitki büyümesi için gerekli besin maddelerini serbest bırakırken, bir kısmı da daha yavaş ayrışarak koyu renkli humusa dönüşür. Bazı zengin iyi havalandırılmış topraklarda ayrışma hızlıdır Fauna faaliyeti, özellikle

solucanların aktivitesi, mineral ve organik bileşenlerin iyice karışmasını sağlar. Faunanın çok az karıştırdığı güçlü asitli topraklarda parçalanma gecikir ve böylece kısmen ayrılmış bitki atıkları mineral toprak yüzeyinde birikir. Uzun süreden beri devam eden aşırı toprak işleme ve yüksek sıcaklık bölge topraklarında organik maddenin aşırı azalmasına neden olmuştur. Şanlıurfa ilinde çoğunlukla tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi ve iklim koşullarından dolayı seyrek doğal bitki örtüsü toprağa daha az organik madde katılmasına neden olur.

Rölyef ve eğim şekli aynı zamanda hidrolojiyi ve toprağın su rejimini de etkiler. Düşük geçirgenliğe sahip marn gibi ana materyallere sahip topraklarda yüzey akışı hızlıdır ve zemini hızla aşındırır. Bu gibi yerlerde arazi derin kuru vadilerle yarılmış olup toprak hemen hemen tamamen taşınmıştır. Toprak çok sığ olmakla birlikte alt topraklar yüzeye göre daha kurudur. Bu topraklar Şanlıurfa ilinin batı bölgelerinde Fırat nehri boyunca yaygındır.

İnsanlar, doğal bitki örtüsünü değiştirip ormansızlaşma ile mikro iklimi değiştirerek dolaylı olarak veya tarım yoluyla doğrudan toprağı etkiler. Şanlıurfa bölgesinde uzun zamandan beri tarım yapılmaktadır. Yeni bulgular tarımsal faaliyetlerin MÖ 9000 yıl önceye gittiğini göstermektedir (Güner, 2019). Ovalardaki çok sayıdaki höyükler, polen analizleri, arkeolojik bulgular ve tarihsel kayıtlar MÖ 2200 yıl önce bölgede çok yağışlı bir dönemin varlığına işaret etmektedir (Caroline ve ark., 2019; Ersek, 2019; Eklund ve Thompson, 2017). Bu çok yağışlı dönemde olmasa bile daha sonraki kurak ve yarı kurak dönemlerde yoğun bir toprak işlemenin olması muhtemeldir. İnsanların bu yoğun tarımsal faaliyeti bitki örtüsünü önemli derecede etkilemiştir. Bunun yanısıra şehir ve kasabaların yakın çevresindeki yoğun tarımsal faaliyette (özellikle bahçe ve sebze tarımı) ahır gübresi ve odun külü kullanarak toprağı organik madde ve çeşitli minerallerle zenginleştirmiştir. Ayrıca ovalarda yaygın olarak görülen höyüklerin yakın çevresindeki topraklar antropojenik faktörler de toprağın derinliğini, dokusunu ve besin durumunu değiştirmiştir.

4. TOPRAKLARIN MORFOLOJİK, FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Alüvyal ve Kolüvyal Topraklar

Şanlıurfa ilinde alüvyal topraklar çok az yer kaplamaktadır. Bu topraklar başta Fırat nehrinin Birecik ilçesinin güneyindeki vadi tabanı olmak üzere çok az sayıdaki akarsu vadisinde ince şeritler halinde bulunmaktadır. Genç nehir terası olarak adlandırılan fizyoğrafyada düz düze yakın topoğrafyada oluşmuş derin topraklardır. Çok az profil gelişimi gösterirler. A-C horizonlu bu topraklar, Ochric yüzey horizonundan başka tanımlama horizonu içermezler. Harran, Suruç ve Ceylanpınar kesimlerinde yer alanlar kil tekstürlü, Fırat Nehri kıyısında yer alanlar, tınlı kum, kum tın, tın veya killi tınlı tekstürlüdürler. Çok az strüktür gelişimi gösterirler. Toprak rengi ana materyale bağlı olarak açık kahverengi, kahverengi veya kırmızı kahverengidir. Tüm profil çok kireçli veya kireçlidir. Profillerinde 1-2 cm büyüklüğünde yuvarlaklaşmış çakıllar görülür. Bazalt veya kireçtaşı ana materyallerinden taşınanlarda köşeli çakıllar veya çörtler şeklindedir (Tablo 2).

Toprak pH'ları hafif bazik, katyon değişim kapasiteleri orta veya yüksektir. Organik madde içerikleri %1'in üzerindedir. Genel olarak tuzluluk ve alkalilik problemi göstermezler.

Alüvyal toprakların yüzey horizonlarının hacim ağırlıkları yüzey altı topraklarına göre daha düşük olduğu gibi hem yüzey hem de yüzey horizonlarının hacim ağırlıkları genel olarak diğer topraklara göre düşüktür. Buna bağlı olarak diğer topraklara göre su tutma kapasiteleri düşük hidrolik iletkenlikleri yüksektir. Alüvyal topraklarda genel olarak pulluk altı katmanı sıkışması görülmemektedir.

Tablo 2. Alüvyal ve Kolüvyal (İkizce) toprakları temsil eden toprak profillerinin morfolojik özellikleri

Habur Serisi (Irmak, 1991, s.114)	Urfa Serisi (Dinç ve ark., 1988, s.183)	İkizce Serisi (Dinç ve ark.1988, s.73)
Ap - 0-25 cm – Kahverengi, (N); kil; orta orta köşeli blok; çok kireçli;1-2 cm seyrek çakıl	Ap – 0-21 cm – Çok koyu grimsi kahverengi (N); killi tın; çok kireçli;	Ap – 0-18 cm– Kırmızımsı kahverengi; kil; kuvvetli orta köşeli blok; orta yoğun 2-5 cm çaplı kolüvyal kökenli çakıllar; çok kireçli
A2 - 25-48 cm – Kahverengi (N); kil; zayıf kaba köşeli blok; çok kireçli	A2 – 21-54 cm – Çok koyu gri (N); killi tın; zayıf, küçük, yarı köşeli blok; çok kireçli; seyrek solucan kanalları	A2- 1-39 cm – Kırmızımsı kahverengi; kil orta, orta köşeli blok;0.2-2 cm çaplı seyrek veya orta yoğun çakıllar; çok kireçli
AC – 48-79 cm - Kahverengi (N); kil; masif; çok kireçli; orta, yoğun biyolojik aktivite (solucan kanalları)	A3 – 54-91 cm – Çok koyu gri, masif; çok kireçli; seyrek solucan kanalları	AC – 39-49 cm Koyu kırmızımsı kahverengi; kil zayıf orta köşeli blok sonra orta orta granüler, 0.5-2cm çaplı yoğun çakıl ve çörtler (%50-60); çok kireçli
C1 - 79-122 cm – Kırmızımsı kahverengi (N); kil; masif; çok kireçli; çok hafif kayma yüzeyleri	AC – 91-110 cm – Çok koyu grimsi kahverengi (N); kumlu killi tın; çok kireçli; seyrek solucan kanalları	C – 49-88 cm – Hacimsel olarak %80 oranında 1-10 cm çaplı kolüvyal kökenli çakıllar ve taşlar
C2-122-170 cm – Kırmızımsı kahverengi (N); kil; masif; çok kireçli; çok hafif kayma yüzeyleri		

N:nemli iken

Çamur Akıntıları Üzerinde Oluşan Topraklar

Bu topraklar Harran, Suruç Ceylanpınar, Bozova ovalarında düz düze yakın topoğrafyalarda Pleistosen döneminde taşınan materyaller üzerinde oluşan A, B, C horizonlu topraklardır. Genel olarak strüktür gelişimleri iyi olduğundan geçirgenlikleri orta veya yüksektir. Ancak ovaların çukur bölgelerinde aşırı sulamadan kaynaklanan yüksek taban suyu gözlenmektedir. Yine taban suyuna bağlı tuzluluk problemi ortaya çıkabilmektedir. Drenajın iyi olduğu yerlerde tuzluluk problemi görülmemektedir. Profillerinde taşlılık

görülmez bazan çört kökenli seyrek çakıllar bulunabilir (Tablo 3). Baskın kil minerali tipi smektittir (Aydemir, 2001).

Bu topraklar derin, kırmızı veya kırmızı kahverengidirler. Toprak tekstürü çoğunlukla kildir. Organik madde içerikleri düşük, pH'ları baziktir. Katyon değişim kapasiteleri yüksek olup baskın değişebilir katyonlar Ca ve Mg' dur. Tüm profilleri kireçlidir. Profillerinde kireç birikimine ait kireç cepleri, benekleri ve miseller görülür.

Çamur akıntıları üzerinde oluşan bu toprakların yüzey horizonlarının hacim ağırlığı değerleri düşük, yüzey altı horizonlarındaki yüksektir. Bu topraklarda pulluk altı katmanı görülmektedir. Bu durum yüksek kil içeriği ve yoğun toprak işleme ile ilişkilidir. Buna bağlı olarak tarla kapasitesine kadar olan gerilimlerde tutulan yarayışlı su miktarları düşüktür. Buna karşılık ağır kil içeriklerine rağmen iyi strüktür gelişiminden dolayı doymuş ve doymamış hidrolik iletkenlikleri yüksektir. Araştırmacılar bu durumun yüksek demir oksitlerden dolayı gelişen iyi toprak strüktürü ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir (Dinç ve ark., 1988).

Tablo 3. Çamur akıntıları üzerinde oluşan toprakları temsil eden toprak profillerinin morfolojik özellikleri

Harran I. Serisi (Dinç ve ark, 1988, s.121)	Profil PI/1 İnci, 2022, s. 63)	Profil PI/3 (İnci, 2022 s.71)
Ap - 0-14 cm - Kahverengi(K); kil; orta,orta, köşeli blok; çok kireçli	Ap- 0-30 cm -Kırmızımsı kahverengi; siltli kil; kuvvetli orta yarı köşeli blok ; çok köpürme	Ap -0-22 cm – Koyu kahverengi (7,5YR 3/4) nemli; Kil ; orta orta yarı köşeli blok; kuru iken çok sert nemli iken çok sıkı yaşiken plastik, yapışkan; şiddetli köpürme
Bw1 - 14-25 cm - Kırmızımsı kahverengi (N); kil; masif; çok kireçli	Bw – 30-72 cm – Kırmızımsı (N); siltli kil ;orta orta yarı köşeli blok ; çok köpürme ; sıkışma yüzeyleri	Ass - 22-68 cm – Sarımsı kırmızı (5YR 4/6) nemli; kil; orta orta yarı köşeli blok; şiddetli köpürme

Bss1 - 25-55 cm - Kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli kaba, köşeli blok; çok kireçli; seyrek kireç cepleri; belirgin kayma yüzeyleri; seyrek 0.2-0.8 cm çörtler	BC1 - 72- 128 cm - Sarımsı kırmızı (N); siltli kil ; orta orta yarı köşeli blok ; şiddetli köpürme ; çok fazla kireç benekleri	BC- 68-100 cm – Sarımsı kırmızı (5YR 5/6) nemli; kil ; orta orta yarı köşeli blok; şiddetli köpürme ; orta yoğun iri çakıl; seyrek saçak kök ,orta yoğun biyolojik aktivite
Bss2- 55-87 – Kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli, kaba, prizmatik sonra kuvvetli, kaba, köşeli blok; çok kireçli;orta yoğun kireç cepleri; çok kuvvetli kayma yüzeyleri	BC2 – 128-172 cm - Sarımsı kırmızı (N); kil ; orta küçük yarı köşeli blok; şiddetli köpürme; orta yoğunlukta kireç benekleri,	2BC1 – 100-132 cm- Sarımsı kırmızı; (5YR 4/6) nemli; siltli killi tın; orta küçük yarı köşeli blok ; kuru iken sert nemli iken dağılgan yaşıken plastik yapışkan; şiddetli köpürme; yaygın çakıl, akarsu canlıları; belirgin dalgalı sınırlar.
Bss3 87 – 135 cm – Kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli, kaba, prizmatik sonra kuvvetli, kaba, köşeli blok; çok kireçli; orta yoğun kireç cepleri; çok kuvvetli kayma yüzeyleri	BC3 +172 – Sarımsı kırmızı (N); Kil ; orta orta yarı köşeli blok; şiddetli köpürme ; orta yoğunlukta kireç benekleri	2BC2 – 132-156 cm – Sarımsı kırmızı N; siltli killi tın; orta orta yarı köşeli blok; şiddetli köpürme; akarsu çakılları
		3C - +156 cm – Sarımsı kırmızı N; kil; kuvvetli orta yarı köşeli blok;şiddetli köpürme; çok seyrek çakıl

Eski Göl Tabanları ve Kil Depozitleri

Şanlıurfa ilinin Harran ovası gibi çukur topoğrafyalarında eski göl tabalarındaki düz düze yakın eğimlerde marn ya da kil depozitler üzerinde oluşan topraklardır. ABC horizonlu derin topraklardır. Strüktür gelişimleri orta düzeydedir. Çukur topoğrafyaları ve ağır kil içeriklerinden dolayı geçirgenlikleri düşük olup drenajlar yeterli değildir. Tuzluluk ve alkalilik problemleri gözlenmektedir. Profillerinin alt horizonlarında jips kristallerine rastlanır. Baskın kil minerali smektit ve kaolinittir (Aydemir, 2001).

Bu ana materyaller üzerinde oluşan topraklar derin, kahverengi topraklardır. Toprak tekstürleri kil dir. Katyon değişim kapasiteleri yüksek olup baskın katyonlar Ca ve Mg dur. Organik madde içerikleri düşüktür. Bazik topraklardır. Kil tekstürleri ve daha zayıf strüktür gelişiminden dolayı geçirgenlikler düşüktür. Yüzey horizonlarının hacim ağırlıkları yüzey altı horizonlarından düşüktür.

Tablo 4. Eski göl tabanları ve kil depozitleri üzerinde oluşan toprakları temsil eden toprak profillerinin morfolojik özellikleri

Cepkenli I Serisi (Dinç ve ark, 1988, s.264	Akçakale serisi (Aydemir, 2001, s26)	Profil PI/2 (İnci, 2022, s.67)
Ap - 0-14 cm - Koyu kahverengi (N); siltli kil; orta, kaba, köşeli blok; çok kireçli	Ap - 0-23 cm - Kırmızı kahverengi (N); kil; küçük orta, yarı köşeli blok; çok kireçli;	Ap- 0-30 cm - Açık kahverengi (N); kil ; masif ; şiddetli köpürme.
A2 - 14-32 cm - Kuvvetli kahverengi (N); kil; orta, orta köşeli blok; çok kireçli; çok seyrek kireç cepleri, ve miselleri	Bw1 - 23-43 cm - Kırmızımsı kahverengi; kil; orta, orta, çok kaba köşeli blok; çok kireçli	Bw - 18-27 cm - Açık kahverengi (N); kil; orta orta yarı köşeli blok; şiddetli köpürme.
Bw - 32-58 cm - Kuvvetli kahverengi (N); kil; zayıf, orta, köşeli blok; çok	Bw2 - 43-101 cm - Kırmızımsı kahverengi (N); kil; orta, çok kaba köşeli blok; çok kireçli;	BC1- 27-58 cm - Kahverengi (N); siltli kil ; orta orta yarı köşeli blok; şiddetli köpürme

kireçli;çok seyrek kireç cepleri ve miselleri	çok seyrek kireç benekleri; az belirgin kayma yüzeyleri	; orta yoğunlukta kireç benekleri
2Cy1- 58-76 – Kuvvetli kahverengi (N); killi tın; masif; çok kireçli; set jips kristalleri	Bss -101 – 138 – Sarımsı kırmızı matriks %20 koyu kırmızımsı kahverengi; orta, çok kaba köşeli blok; çok kireçli; seyrek kireç cepleri; az belirgin kayma yüzeyleri	BC2- 58-88 cm – Kahverengi (N); siltli Kil; orta orta yarı köşeli blok; şiddetli köpürme; orta yoğunlukta kireç benekleri; C ve B horizonundan malzemeler; kayma yüzeyleri
2C2y- 76 - 128 cm – Kuvvetli kahverengi (N); siltli killi tın; masif; çok kireçli; set jips kristalleri	B2y- 138 - 160 – Sarımsı kırmızı matriks %20 koyu kırmızımsı kahverengi; orta, çok kaba köşeli blok; çok kireçli; seyrek kireç cepleri; az belirgin kayma yüzeyleri	BC3 - 88-118 cm – Kahverengi (N); siltli Killi tın ; orta orta yarı köşeli blok ; şiddetli köpürme ; hayvan delikleri; C ve B horizonundan malzemeler; kayma yüzeyleri
		2Cy 118 – 150 cm – Sarımsı kahverengi (N); tınlı kum ; kuvvetli orta prizmatik blok; şiddetli köpürme; sert sıkışmış jips bantları
		2C2 - +150 cm - (10YR 6/3) nemli;tınlı kum; teksel ; şiddetli köpürme

Kireçtaşı Üzerinde Oluşan Topraklar

Esas olarak Harran ovasını çevreleyen yüksek arazilerde orta ve dik eğimlerdeki Eosen- Miyosen kireçtaşı üzerinde oluşmuşlardır. Çoğunlukla A-B-C-R horizonlu sığ topraklardır. Eğimin hafif olduğu yerlerde derin ve orta derin profile sahiptirler. Dik eğimlerde şiddetli erozyona uğradıklarında ana kayanın hemen üzerinde çok sığ A-R horizonludurlar. Kuvvetli strüktür gelişimi gösterirler. Sarımsı kahverengiden kırmızı kahverengiye kadar değişen renktedirler. Kireç birikimi görülür. Derin topraklarda kil birikimine ait emareler görülebilmektedir (Tablo 5).

Çoğunlukla kil tekstürlü topraklardır. Katyon değişim kapasiteleri orta veya yüksektir. Baskın katyonlar Ca ve Mg dur. Yüzeysel katyonların kireç içerikleri düşüktür. Alt katyonların kireç içerikleri yüksektir. Toprak pH'ları hafif baziktir. Organik madde içerikleri diğer topraklara göre yüksektir. Hacim ağırlıkları yüzeysel katyonlarında orta, alt katyonlarda yüksektir. Kil tekstürlü olmalarına rağmen iyi gelişmiş strüktürlerinden dolayı geçirgenlikleri iyidir. Su tutma kapasiteleri yüksek, hidrolik iletkenlikleri orta düzeydedir.

Tablo 5. Kireçtaşı ana materyali üzerinde oluşan toprakları temsil eden toprak profillerinin morfolojik özellikleri

Fatik Serisi (Dinç ve ark. 1988)	Kancalı Serisi (Irmak, 1991, s.56)	Profil II/3 (İnci, 2022, s.84)
Ap – 0-20 cm – Koyu kırmızımsı kahverengi (N); kil; orta küçük köşeli blok ; hafif köpürme ;çok seyrek köşeli çört.	Ap – 0-15 Kahverengi (N); kil; orta ince granüler; çok kireçli	(Ap – 0-22 cm - Kahverengi (N); kil;orta orta yarı köşeli blok; hafif köpürme ;orta taşlı orta saçaklı kök, kesin dalgalı sınır.
Bt – 25-66 – Koyu kırmızı (N); kil; orta orta köşeli blok; ikincil kil birikimi; hafif köpürme	A2 –15-30 cm - Kırmızımsı kahverengi (N); kil; zayıf, ince granüler; çok kireçli; sıkışmış pulluk katmanı	Bw1 - 22-40 cm – Kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli orta yarı köşeli blok; şiddetli köpürme;

		seyrek saçaklı kök, belirgin dalgalı sınır.
Bk2 – 66-87 cm – Kırmızı (N); siltli kil; orta küçük köşeli blok; orta köpürme	Bk1 – 30-47 cm – Kırmızımsı kahverengi; kil; kuvvetli orta köşeli blok; çok kireçli; kireç miselleri; 1-3 mm çapında kireç cepleri; yoğun biyolojik aktivite	Bw2- 40-60 cm – Koyu kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli kuvvetli yarı köşeli blok; şiddetli köpürme ;hafif taşlık; orta saçaklı kök,
Ck- 87-104 cm Kırmızı (N); siltli kil; zayıf küçük blok; şiddetli köpürme	Bk2 - +47 cm – Parlak kırmızımsı kahverengi (N); kil; çok kuvvetli; orta, köşeli blok; çok kireçli; 5-10 cm çok yoğun kireç cepleri	BC1 - 60-94 cm – Kırmızımsı kahverengi (N); siltli kil; kuvvetli orta yarı köşeli blok; şiddetli köpürme; çok taşlı kesek; orta iri yuvarlak taş; seyrek kireç cepleri
Cr - +104 cm – Açık kırmızı (N)		BC2 - 94-154 cm – Kırmızı (N); siltli Kil; kuvvetli orta yarı köşeli blok; çok taşlı kesek; yuvarlak yarı köşeli taş; geniş kireç cepleri; biyolojik aktivite

Aşınmış Platolar Üzerinde Oluşmuş Topraklar

Miyosen Oligosen kireçli ana materyaller üzerinde hafif eğimlerde yer alan ABC horizonlu topraklardır. Bu fizyografyanın tipik toprak serisi Kap serisi olup kalış olarak adlandırılan Petrokalsik horizona sahiptirler. Hafif eğimlerde yer almalarına rağmen petrokalsik (kalış) horizonlarından dolayı sağanak yağışlarda kolayca doygun hale gelip şiddetli erozyona maruz kalırlar. Bu nedenle sığ topraklardır. Strüktür gelişimleri orta ya da zayıftır. Toprak rengi sarımsı kahverengiden kahverengiye kadar değişir (Tablo 6).

Killi tın ya da kil tekstürlü topraklardır. Katyon değişim kapasiteleri orta düzeydedir. Baskın katyonlar Ca ve Mg'dür. Çok kireçlidirler. Toprak pH'sı hafif baziktir. Organik madde içerikleri düşüktür. Tuzluluk alkalilik problemi göstermezler. Bu toprakların hacim ağırlıkları yüzey horizonlarda orta, alt horizonlarda ise yüksektir. Geçirgenlikleri orta düzeydedir. Su tutma kapasiteleri ve hidrolik iletkenlikleri ortadır.

Tablo 6. Aşınmış Platolarda oluşan toprakları temsil eden toprak profillerinin morfolojik özellikleri

Kap Serisi (Dinç ve ark. 1994a,s. 49)	Hacılar Serisi (Dinç ve ark, 1994a, s.78)	Tine Serisi (Irmak, 1991, s.54)
Ap -0-11 cm – Koyu sarımsı kahverengi (N);killi tın; zayıf ince granüler; çok kireçli; 5-10 cm çaplı memeli taşlar;	Ap -0-26 cm – Koyu kahverengi (N); kil; kuvvetli, orta, köşeli blok; hafif kireçli; 1-5 cm çaplı taşlar; yoğun saçak kök	Ap – 0-15 cm – Kahverengi (N); kil ; orta, orta, granüler; 3-5 cm çok yoğun taş; yoğun saçak kök
Bw- 11-35 cm - Kahverengi; siltli kili tın; çok kireçli; kireç miselleri; 5-10 cm çaplı taşlar	Ckm – 26-30 cm - Kaliş	Bw – 13-33 cm – Kahverengi (N); kil; zayıf, orta yarı köeli blok; çok kireçli, 5-10 cm çaplı yoğun taşlar;
Ckm - +35 Kaliş	R - +30 kireçtaşı	Ckm - +33 cm sert kaliş

Marn Ana materyali Üzerinde Oluşan Topraklar

Marn ana materyali üzerinde hafif dalgalı topoğrafyalarda yer alırlar. Toprak profili derinliği çok sığdan derine kadar değişir. Strüktür gelişimleri orta veya zayıftır. Kahverengi renkli topraklardır. Tüm profilleri kireçlidir. Bazı profillerde kireç cepleri gözlenir. Yine bazı profillerde kayma yüzeyleri ve çatlaklar gibi vertikal özellikler görülmektedir (Tablo 7).

Toprak tekstürleri kildir. Katyon değişim kapasiteleri yüksek, baskın katyonlar Ca ve Mg'dür. Bu toprakların bazılarında topoğrafyaya ve taban

suyuna bağlı olarak tuzluluk ve alkalilik problemi görülebilir. Hafif bazik topraklardır. Organik madde içerikleri düşüktür.

Tablo 7. Marn ana materyali üzerinde oluşan toprakları temsil eden toprak profillerinin morfolojik özellikleri

Helis Serisi Dinç ve ark., 1994b, s.89;	Profil PIII/1 (İnci, 2022, s.88)	Ekinyazı Serisi (Dinç ve ark. 1988, s. 246)
Ap –0-15 cm - Koyu kırmızı (N); kumlu killi tın; orta, küçük yarı köşeli blok; AC ye kadar inen çatlaklar; şiddetli köpürme;değişik boyutta çörtler; orta yoğun saçak kök	Ap –0-18 cm - Koyu kırmızı (N); kumlu killi tın; orta, küçük yarı köşeli blok; şiddetli köpürme; orta yoğun saçak kök	Ap – 0-20 cm – Kahverengi (N) ; kil; orta, kaba köşeli blok sonra orta orta granüler; çok kireçli;
A2 – 15-30 cm – Kahverengi (N); kil; masif; çok yüksek kireç	Bw1 – 18-30 cm – Koyu kırmızimsı (N); Siltli killi tın; orta, orta, köşeli blok; şiddetli köpürme	Bw – 20-52 cm – Kuvvetli kahverengi; kil; çok zayıf , orta, prizmatik sonra orta, orta köşeli blok; küçük orta yoğunlukta kireç cepleri
Bw – Kahverengi (N); kil; orta, orta, yarı köşeli blok; seyrek kireç benekleri; hafif gley ve limonit lekeleri	Bw2 – 30-38 cm – Kırmızimsı kahverengi (N); siltli killi tın; orta, orta, köşeli blok; şiddetli köpürme	Bk1 – 52-88 cm – Kuvvetli kahverengi ; kil; çok zayıf, orta, köşeli blok; çok kireçli; orta irilikte yoğun kireç cepleri;
BC – 64-95 cm – Kahverengi (N), kil; zayıf, kaba köşeli blok; çok kireçli, orta yoğun kireç cepleri	R - +38 Marn	Bk2 – 88-129 cm – Kuvvetli kahverengi (N); kil; çok zayıf orta prizmatik sonra orta orta köşeli blok; çok kireçli,

		orta yoğun iri kireç cepleri ve konkresyonları
BCKss – 5-118 cm – Kahverengi (N); kil; orta, kaba yarı köşeli blok; çok kireçli, yoğun kireç cepleri; Parlak sürtünme yüzeyleri		C - +129 cm – Kahverengi(N); kil; masif; çok kireçli, seyrek iri yoğun kireç cepleri
Cgk - 118-140 -cm, Koyu grimsi kahverengi (N); kil; masif; çok kireçli, çok yoğun ikincil kireç birikimleri; yoğun pas lekeleri		

Bazalt Üzerinde Oluşan Topraklar

Bazalt lavları üzerinde hafif eğimli dalgalı topoğrafyalarda oluşan ABC horizonlu derin topraklardır. İyi strüktür gelişimi gösterirler. Tüm profil koyu kırmızımsı kahverengi veya kahverengidir. Arazi yüzeyinde yoğun iri bazalt taşları, profillerinde bazalt kökenli çakıllar ve çörtler görülmektedir. Toprak profillinde kayma yüzeyleri ve yüzeyde ve profilde geniş çatlak görülmektedir. Profilde seyrek kireç benekleri ve bazalt çörtleri görülmektedir (Şekil 8). Baskın kil minerali smektittir (İnce, 1984).

Tüm toprak profili kil tekstürlüdür. Katyon değişim kapasitesi çok yüksektir. Baskın katyonlar Ca ve Mg 'dur. Toprak pH'sı hafif baziktir. Organik madde içerikleri düşüktür. Tuzluluk ve alkalilik problemleri bulunmamaktadır.

Bu toprakların hacim ağırlıkları yüzey horizonlarda orta altta yüksektir. Geçirgenlikleri orta ve düşük düzeydedir. Su tutma kapasiteleri yüksek ancak hidrolik iletkenlikleri düşüktür.

Tablo 8. Bazalt ana materyali üzerinde oluşan toprakları temsil eden toprak profillerinin morfolojik özellikleri

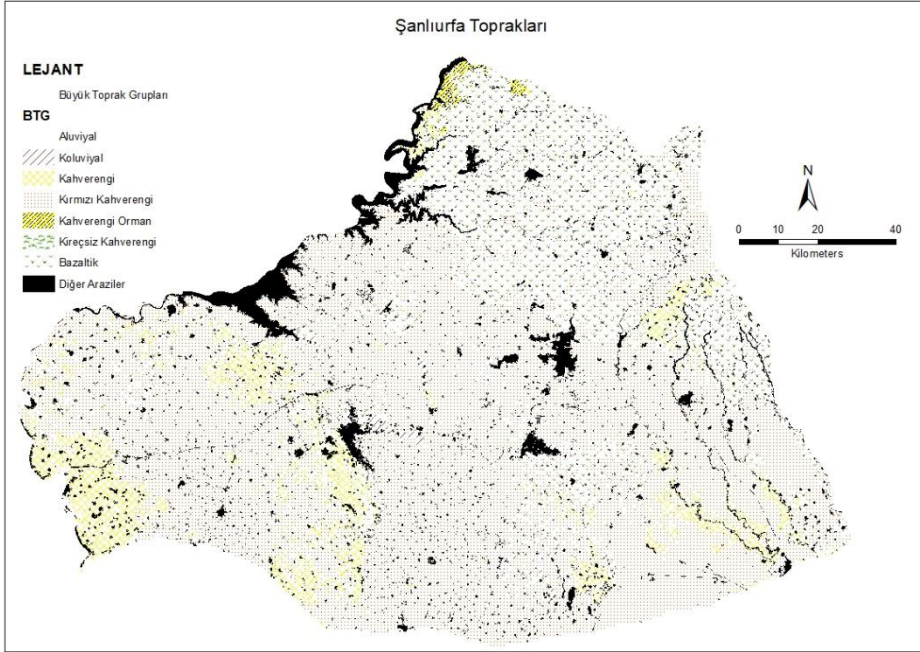
Profil PIV/1 (İnci, 2022, s.102)	Hivan I Serisi Dinç ve ark. 1992b, s.49)	Karabayır Serisi (Dinç ve ark. 1988, s.111)
A1 – 0-24 cm -Siyah (N); kil; orta, orta, granüler; köpürme yok;kuru iken çok sert, nemli iken dağılgan, yaşken çok yapışkan, çok plastik; yoğun saçak kök; seyrek köşeli bazalt çakılları; düz belirgin sınır.	Ap – 0-20 cm – Koyu kahverengi (N); kil; zayıf, orta köşeli blok sonra kuvvetli ince granüler; geniş çatlaklar; hafif kireçli; yoğun saçak kök	Ap – 0-21 cm - Kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli küçük granüler; hafif kireçli; 0.5-3 cm çaplı bazalt taşları;
Bw1 - Koyu kırmızımsı kahverengi (N); KİL; orta orta blok sonra zayıf zayıf levhacılı, Çok sert, dağılgan, çok yapışkan ve çok plastik; hafif köpürme;orta yoğun saçak kök; orta yoğun köşeli bazalt; belirgin düz sınır	A2 – 20-34 cm – Koyu kırmızımsı kahverengi; kil; masif; hafif kireçli; 2 – 6 mm çaplı çok yoğun çörtler;	A2 – 21-46 cm – Koyu kırmızımsı kahverengi (N); kil; orta, kaba köşeli blok; çok seyrek kireç benekleri; seyrek saçak kök
Bw2 – 46-62 cm - Kırmızımsı kahverengi (5YR 3/2) nemli ;kil; orta, orta prizmatik sonra orta blok; çok sert,	Bwss1 – 34-64 cm - Koyu kırmızımsı kahverengi; kil; orta, kaba köşeli blok sonra kuvvetli yarı köşeli blok; sürtünme	Bw – 46-82 cm - Koyu kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli orta prizmatik; çok seyrek kireç benekleri;

dağılgan, çok yapışkan, çok plastik; hafif köpürme, orta yoğun, saçak kök;hafif bazalt hökenli köşeli çakıl, belirgin düz sınır.	yüzeyleri; zayıf kayma yüzeyleri; hafif kireçli; seyrek değişik çapta bazalt taşları; orta yoğun saçak kök	
BC - 62-110 cm - Kırmızımsı kahverengi (N); kil; orta, küçük levhalı strüktür; sert, sıkı, yapışkan ve plastik; orta şiddetli köpürme, orta yoğun saçak kök; yoğun iri ayrışan bazalt kökenli taş; kesin dalgalı sınır.	Bwss2 - 64-82 cm - Koyu kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli orta köşeli blok;parlak sürtünme yüzeyler;hafif kireçli;seyrek bazalt taşları	Bk1 - 46-82 cm - Koyu kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli orta prizmatik; zayıf kayma yüzeyler; çok kireçli; yaygın kireç cepleri; yoğun ikincil kireç benekleri; seyrek bazalt ve kireçtaşı çörtleri
Cr - +110 cm - Ayrışan bazalt ana materyali	Bkss - 82-120 cm - Koyu kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli kaba köşeli blok;parlak sürtünme yüzeyleri; çok kireçli, yoğun 1-2 cm çaplı kireç benekleri; seyrek bazalt çörtleri	Bk2 - 110-148 cm - Koyu kırmızımsı kahverengi (N); kil; kuvvetli orta prizmatik; zayıf kayma yüzeyler;çok kireçli, yoğun ikincil kireç benekleri; seyrek bazalt ve kireçtaşı çörtleri
	BCK - 120-170 cm - Koyu kırmızımsı kahverengi (N); kil; çok kireçli, kireç birikimi; ayrılmış bazaltın çevresine yayılmış kireç	Cr- +148

5. Şanlıurfa Topraklarının Sınıflandırılması

Yarı kurak iklim koşullarına sahip Şanlıurfa ilinde aluviyal ve koluviyal, çamur akıntıları, eski göl tabanları ve kil depozitleri, kireçtaşı, marn, aşınmış kireçtaşı platoları ve bazalt ana materyaller yer almaktadır. Bu ana materyaller üzerinde oluşan topraklar Eski Amerikan sınıflama sistemine (Baldwin, 1938) göre Kırmızı kahverengi, Kahverengi, Kahverengi orman, Kireçsiz kahverengi, Bazaltik, Koluviyal ve Aluviyal büyük toprakları (Şekil 9) olarak sınıflandırılmıştır (KHGM, 1984) Bu sınıflandırma genel amaçlı bir sınıflandırma olup büyük grup düzeyindedir (Tablo 10).

Her toprak grubu veya toprak sınıfı, onu diğer tüm sınıflardan ayıran ve ülkenin farklı yerlerinde tutarlı bir şekilde tanınmasını sağlayan sınırlı ve tanımlanmış bir dizi tanımlayıcı özelliğe sahiptir. Sınıfları ayırt etmek için kullanılan tanımlama horizonlarının özellikleri, toprak davranışının pratik özelliklerini yansıtır. Sınıflandırma amacıyla, toprak profili olarak bilinen toprak horizonunu tanımlayacak kadar geniş yatay ve düşey boyutlara sahip üç boyutlu toprak gövdesine ait morfolojik, fiziksel, kimyasal özellikler dikkate alınır.



Şekil 9. Şanlıurfa ili toprakları. TRGM, (2001) Türkiye Sayısal Toprak Haritasından düzenlenmiştir.

Toprakları karakterize etmek için tekstür, renk, strüktür, kıvam, kil, kireç, tuz, jips birikimi, toprak derinliği gibi tarım uygulamaları ile değişmeyecek kalıcı toprak özellikleri ile toprağın bulunduğu yerin nem ve sıcaklık rejimleri dikkate alınır. Bu özellikler ya doğrudan sahada gözlemlenebilir ya da saha incelemesinden çıkarılabilir. Bunun yanı sıra profil tanımlaması sırasında horizon esasına göre alınan toprak örneklerinin laboratuvarında belirlenen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri de hesaba katılır.

Eski Amerikan sınıflaması (Baldwin ve ark., 1938) sisteminde aksaklıklar ortaya çıkması nedeniyle yeni bir sınıflandırma sistemi üzerinde çalışılmaya başlanmış ve 1960 yılında Madison Wisconsin da düzenlenen 7. Uluslar arası Toprak Bilimi kongresine sunulmuştur (Smith, 1983). Bu taslak uzun yıllar tartışılarak 1975 yılında 7. Yaklaşım sınıflandırma sistemi olarak kabul edilmiştir (Dinç ve ark. 1999). Her ne kadar farklı ülkelerde (Almanya, İngiltere, Fransa, Avustralya, Kanada) eski Amerikan sistemine benzerlik gösteren sınıflandırma sistemleri (Kubiana, 1953; Avery,1956; Northcote, 1979; Aubert, 1965; Leahey, 1963) kullanılsa da bugün dünyada Toprak taksonomisi yaygın olarak kullanılan sınıflama sistemi olup, ülkemizde de uzun bir zamandan beri kullanılmaktadır.

Toprak Taksonomisi hiyerarşik bir yapıya sahip olup topraklar altı kategorik seviyede gruplandırılır. Tanımlama kriterleri en yüksek kategoriden en alt kategoriye doğru artan sayıda tanımlayıcı kriteri dikkate alır. En yüksek kategoriden alt kategorilere doğru artan sınıf sayısı; pramidi andırır. Toprak taksonomisindeki kategoriler şunlardır: Ordo, Alt Ordo, Büyük Grup, Alt Grup, Familya ve Seri. Seri en alt kategori olup arazide tanımlanan toprak profilini ifade eder (Buol, 2003). Bu çalışmada dikkate alınan toprak profillerinin Ordo, Alt ordo, Büyük Grup ve Alt Grup olmak üzere ilk dört kategorisi verilmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Şanlıurfa da yer alan toprakları temsil eden toprak profllerinin yer aldığı büyük grup, Ordo ve alt ordo kategorileri.

Ana Materyal	Seri adı	Amerka 1938 (Baldwin ve ark., 1938)	Toprak Taksonomisi (Soil Survey Staff, 2022)	FAO/UNESCO (WRB, 2006)
Aluvyum	Habur	A-Aluviyal	Vertic Torrifluent	Calcaric Fluvisol
Aluvyum	Tulik	A-Aluviyal	Typic Xerofluent	Calcaric Fluvisol
Aluvyum	Urfa	A-Aluviyal	Typic Xerofluent	Calcaric Fluvisol
Çamur akıntıları	Harran I	F-Kırmızı Kahverengi	Typic Calcixerert	Calcic Vertisol
Çamur akıntıları	P I/1	F-Kırmızı Kahverengi	Typic Haploxerept	Calcaric Vertisol
Çamur akıntıları	PI/3	F-Kırmızı Kahverengi	Aridic Haploxerert	Chromic Vertisol
Eski göl tabanları ve kil depozitleri	Cepkenli	F-Kırmızı Kahverengi Akdeniz	Sodic Calcixerept	Gypsic Xerosol
Eski göl tabanları ve kil depozitleri	Akçakale	F-Kırmızı Kahverengi	Aridic Haploxerert	Chromic Vertisol
Eski göl tabanları ve kil depozitleri	PI/2	F-Kırmızı Kahverengi	Fluentic Haploxerept	Haplic Cambisol
Kireçtaşı	PII/1	B-Kahverengi	Typic Calcixerept	CHaplic alcisol
Kireçtaşı	Kancalı	B-Kahverengi	Lithic Calcixerept	Haplic Calcisol
Kireçtaşı	PII/3	F-Kırmızı Kahverengi	Typic Haploxerept	Haplic Cambisol
Marn	Helis	B-Kahverengi	Typic Haploxerertic	Chromic Vertisol
Marn	III/1	B-Kahverengi	Lithic Haploxerept	Haplic Cambisol
Marn	Ekinyazı	F-Kırmızı Kahverengi	Typic Haploxerept	Haplic Calcisol
Aşınmış kireçtaşı platoları	Kap	F-Kırmızı Kahverengi	Lithic Haploxerept	Calcaric Regosol

Aşınmış kireçtaşı platoları	Hacılar	F-Kırmızı Kahverengi	Lithic Haploxerept	Calcaric Regosol
Aşınmış kireçtaşı platoları	Tine	F-Kırmızı Kahverengi	Lithic Haploxerept	Calcaric Regosol
Bazalt	P IV/3	X-Bazaltik	Typic Haploxerept	Haplic Cambisol
Bazalt	Hilvan I	X-Bazaltik	Typic Haploxerept	Chromic Vertisol
Bazalt	Karabayır	X-Bazaltik	Vertic Haploxerept	Haplic Calcisol

6. Şanlıurfa Topraklarının Kullanımı

Şanlıurfa topraklarının önemli bir kısmı geçmişten beri işlemeli tarım altındadır. Toprakların doğal verimliliği yüksektir. Toprakların çoğu yörenin iklimine adapte olmuş tüm ürünlerin yetiştirilmesi için elverişlidir. Toprakların yararlı potasyum içerikleri oldukça yüksektir (<200 kg K/da). Ancak verimliliklerinin devam etmesi bakımından özellikle yoğun pamuk üretimi yapılan bu topraklarda pamuk saplarının tarladan çıkarılmaması önem arz etmektedir. Toprak işlemede aşırı toprak işlemeden kaçınılmalıdır. Özellikle toprak işleme tavında yapılarak pulluk altı sıkışmasına engel olunmalıdır.

Eğimli alanlarda şiddetli erozyondan dolayı kireçtaşı ve özellikle marn ana materyali üzerinde oluşan topraklar sığdır. Bu arazilerin çok önemli bir kısmında fıstık yetiştirilmektedir. Aşırı toprak işlenmeden dolayı özellikle sağık yağışlarla şiddetli erozyon oluşmaktadır. Hafif eğimli olmalarına rağmen kaliş (petrocalcic horizon) oluşumuna sahip topraklar da sığdırlar. Bunun nedeni ise sığ toprak katmanının kolayca suyla doymun hale gelmesidir. Karacadağ volkanizmasının etkin olduğu bazalt platosu üzerinde yer alan arazilerin yüzeylerinde yoğun bazalt blokları yer almaktadır. Son yıllarda bu arazilerin önemli bir kısmında taş temizleme yapılmıştır. Mera olarak kullanılan arazilerde çok yoğun otlama ve kurak iklimden dolayı bitki örtüsü zayıftır.

Şanlıurfa ili topraklarının su bütçesi yüksek buharlaşma ve düşük yağıştan dolayı yılın önemli bir kısmında açık vermektedir. Ancak Harran ve Suruç ovasında aşırı sulamadan dolayı ovaların çukur kesimlerinde taban suyu yüksektir. Bu alanlarda vahşi sulama yerine damla sulama yada yağmurlama sulama yöntemleri uygulanmalıdır. Benzer şekilde etkili bir tarla içi drenaj sağlanmalıdır. Toprak – su karakteristiklerine ilişkin bulgulara göre sulama ve

drenaj çalışmalarında dikkatli olunması gerekmektedir. Zira özellikle alkalilik durumunda strüktürleri bozularak hidrolik iletkenliklerinde düşüş yaşanabilir.

7. SONUÇ

Şanlıurfa toprakları esas olarak kireçtaşı, marn ve bazalt ana materyalleri ve bunlardan pleistosen döneminden taşınıp Harran, Suruç ve Bozova ovalarını dolduran çamur akıntıları üzerinde oluşmuştur. Bunun yanı sıra çok lokal olarak Fırat ve bazı derelerin vadilerinde ince şeritler şeklinde aluviyal veya Harran ovasını çevreleyen tepelerin eteklerinde yer alan koluviyal depzitler görülmektedir.

Bazalt ve Çamur akıntıları üzerinde oluşan topraklar derin, kireçtaşı ana materyaller üzerinde oluşan topraklar sıgırdırlar. Çoğunlukla kil tekstüre sahip iyi strüktür gelişimi gösterirler. Profillerinde kireç birikimine ait kireç cepleri ve kireç miselerinine rastlanır. Kayma yüzeyleri ve çatlaklar görülmektedir. Smektit ve paligorskit başat kil mineralleridir. Kireçtaşı ve bazalt ana materyalleri üzerinde oluşanlar kırmızı kahverengi, marn ve çamur akıntıları üzerinde oluşanlar kahverengidirler.

Hafif bazik toprak reaksiyonuna sahiptirler (pH 7.5-8.0). Katyon değişim kapasiteleri orta veya yüksektir (KDK=20-50 cmol/kg). Verimlilikleri yüksektir. Bazalt ana materyalleri üzerinde oluşanlar hafif, diğerleri çok kireçlidirler. Organik maddeleri düşüktür. Harran ve Suruç ovalarının çukur kesimleri hariç tuzluluk ve alkalilik problemi görülmez.

Şanlıurfa ilindeki topraklar, Eski Amerikan toprak sınıflama sistemine göre, Kahverengi, Kırmızı Kahverengi ve Bazaltik topraklar olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, lokal olarak Aluviyal ve Koluviyal topraklar da bulunmaktadır. Toprak Taksonomisine göre ise, Inceptisol, Vertisol ve Entisol ordolarında yer almaktadırlar. FAO/UNESCO dünya toprak sınıflama sisteminde ise Cambisol, Calsisol, Vertisol, Regosol ve Fluvisol topraklar olarak sınıflandırılmışlardır.

8. KAYNAKLAR

- Aubert, G. 1965. Classification des sols: Tableaux des classes, sous classes, groupes et sous groupes des sols utilisés par la section de pédologie de l'ORSTOM. Cah. ORSTOM, Série pédologie III, 269-288.
- Avery, B.W., 1956. A Classification of British Soils. 6th Int. Congress. Soil Science. Paris, Pp. 279-285.
- Aydemir, S. 2001. Properties Of Palygorskite- Influenced Vertisols and Vertic-Like Soils In Harran Plain of Saoutheastern Turkey. Unpublished Dissertaion Thesis. Graduate Studies of Texas A and M University. College Station, Texas, USA. 259 p.
- Buol, S.W. Hole, F.D. Mccracken, R.J. 2003. Soil Genesis And Classification. The Iowa State Univeristy Press. Ames.
- Baldwin, M., Kellogg, C.E. and Thorp, J., 1938. Soil Classification. In: Yearbook of Agriculture: Soils And Men. US Gov. Print. Office, Washington, DC. Pp. 979-1001.
- Buringh, P. 1970. Introduction to The Study of Soils. In Tropical And Subtropical Regions. Wageningen Centre For Agricultural Publishing And Documentation, Wageningen, Netherlands, 99 p.
- Caroline, S.A., Walker, R.T., Day, C.C., Ersek, V., Sloan, R.A., Dee, W.M., Talebian, M., Henderson, G.M., 2019. Precise Timing Of Abrupt Increase In Dust Activity In The Middle East Coincident With 4.2 Ka Social Change Proc Natl Acad Sci U S A 2019 Jan 2;116 (1):67-72. Doi:10.1073/Pnas.1808103115.
- Çağlak, S., Özlü, T., Gündüz, S. 2016. Şanlıurfa İli İklim Özelliklerinin Enterpolasyon Teknikleri İle Analizi. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt: 9, Sayı: 45, Pp. 360-372.
- DSİ, 1972. Harran Ovası Hidrojeolojik Etüdü, Devlet Su İşleri, Ankara, 49 s.
- Dinç, U., Kapur S., Özbek, H., Şenol, S. 1999. Toprak Genesisi Ve Sınıflandırılması. Ders Kitabı. No: C-130. Ç. Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Adana. 376 s.
- Dinç, U., Şenol, S., Sayın, M., Kapur, S. Vd. 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAT) I. Harran Ovası. Türkiye Bilimsel Ve Teknik Araştırma Kurumu, Tarım Ve Ormanlık Grubu. Güzümlü Araştırma

- Projesi Kesin Raporu, Proje No: TOAG-534, Basılmamış Rapor, 1988, Adana, 475 s.
- Dinç, U., Şenol, S., Yeşilsoy, M.Ş., Kapur, S. vd. 1994a. Şanlıurfa Ovaları Bozova Sulama Proje Sahası Detaylı Toprak Etütleri, T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Etüd Ve Proje Dairesi Başkanlığı, Basılmamış Toprak Etüd Haritalama Raporu, Adana, 210 s.
- Dinç, U., Şenol, S., Yeşilsoy, M.Ş., Kapur, S. vd. 1994b. Şanlıurfa Ovaları Hilvan 1.Ks) Sulama Proje Sahası Detaylı Toprak Etütleri, T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Etüd Ve Proje Dairesi Başkanlığı, Basılmamış Toprak Etüd Haritalama Raporu, C1. Ankara, 250 s.
- Eklund, L., Ve D. Thompson. 2017. Differences In Resource Management Affects Drought Vulnerability Across The Borders Between Iraq, Syria, And Turkey. *Ecology And Society* 22(4):9. <https://doi.org/10.5751/ES-09179-220409>
- El-Hinnawi, E., Abayazeed, S. D. Khalil, A.S., 2021. Spheroidal Weathering of Basalt From Gebel Qatrani, Fayum Depression, Egypt. *Bulletin of The National Research Centre*. 45:1 <https://doi.org/10.1186/S42269-020-00453-2>
- Eriñç, S. 1971. Jeomorfoloji II. (Genişletilmiş 2. Baskı) İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Enstitüsü Yay., No 23.
- Ersek, V., 2019. The Conversation, The Newsweek. January 3, 2019. <https://theconversation.com/how-climate-change-caused-the-worlds-first-ever-empire-to-collapse-109060> Erişim: 29.11.2023.
- Gile, L.H., 1970, Soils Of The Rio Grande Valley Border In Southern New Mexico: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, V. 34, Pp. 465-472.
- Güner, G. 2019. Göbeklitepe ve Tarım. *Türk Tarım ve Orman Dergisi*. Mart-Nisan 2019. s. 106-107.
- Gürel, N. vd, 2000), Şanlıurfa İli Yakın Çevresinin Arazi Kullanım Potansiyeli Haritası Projesi, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 56 s.
- Güven, A., Dinçer, A., Tuna, M.E., Tezcan, Ü.Ş., Çoruh, T., 1988, Güneydoğu Anadolu'da Mardin ve Midyat Grupları Arasında Yer Alan Birimlerin Stratigrafisi (Ön Rapor): TPAO Arama Grubu, Rapor No. 2414, Ankara, 154 s.

- Güzel, A. 2020. Şanlıurfa İli Doğal Coğrafya Özellikleri. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt: 13 Sayı: 71:195-215.
- Haksal, M. A. 1981. Petrographie Und Geochemie Des Schildvulkans Karacadağ (Südstonato-Lien). Diplomarbeit, Hamburg.
- İrmak, S., 1991. Şanlıurfa Ceylanpınar Ovası Topraklarının Oluşu Temel Özellikleri Ve Toprak Taksonomisi İle FAO/UNESCO Sistemine Göre Sınıflandırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Basılmamış Doktora Tezi, Adana, 204 s.
- İnce, F., 1984. Diyarbakır Yöresinde Yaygın Olan Bazı Büyük Toprak Gruplarının Kil Mineralleri ve Bunların Oluşum Nedenleri Üzerinde Bir Araştırma. AÜ. Ziraat Fakültesi Ankara
- İnci, Y. 2022. Adli Kullanımlar İçin Toprak Özelliklerinin Mekansal Değişiminin Farklı Yöntemlerle Belirlenmesi. Basılmamış Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 193 s.
- Kavak, O., 2013. Diyarbakır ve Çevresinde Yer Alan Karacadağ Volkanitinin Genel Özellikleri. Karacadağ, Ed.: Haspolat Y.K., Güven, K. Hamidi, N., Güven, R.G. Dicle Üniversitesi.
- KHGM, 1994. Türkiye Geliştirilmiş Toprak Haritası. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Kubiena, W.L. 1953. The Soil of Europe. Thomas Murby And Company, London. 103 p.
- Leahey, A. 1963. The Canadian System of Soil Classification and The Seventh Approximation. Soil Sci. Sot. Am. Proc. 27:224-225.
- Northcote, K.H., 1979. A Factual Key for the Recognition of Australian Soils'. 4th ed.. Rellim Tech. Pubs, Adelaide, SA, Australia.
- Ragg, JM, Beard, GR, George, H., Heaven, FW. Hollis, JM., Jones, RJA., Palmer, RC., Reeve, MJ, Ronson, JD., Withfield., WAD., 1984. Soils and Their Uses In Midland and Western England. Soil Survey of England and Walles, Bulletin No.12. Agricultural Reseach Council, Ministry of Agriculture Fishary and Food. Harpenden, England, UK. 433 p.
- Smith, G.D. 1983. Historical Development of Soil Taxonomy: Background. In: L.P.Wilding et al., Editors, Pedogenesis And Soil Taxonomy. Vol. 1. Concepts and Interactions. Dev. Soil Sci. 11A. Elsevier, Amsterdam. Pp. 23-49.

- Smith. B.R., Buol, S.W. 1968. Genesis And Relative Weathering Intensity Studies İn Three Semiarid Soils. Soil Science Society of America Journal, 32(2): 261-265
- Soil Survey Staff, 2022. Keys Soil Taxonomy. 13th ed. USDA, ,Natural Resource Conservation Service, Washington DC, 401 p.
- TKB, 2006. Şanlıurfa Tarım Master Planı, Tarım Ve Köy İşleri Bakanlığı, Şanlıurfa Tarım İl Müdürlüğü, Şanlıurfa, 306 s.
- Taylor, J., 2015. Place Where You Live. Orion Magazine:Nature And Culture, 14 September, 2015. <https://Orionmagazine.Org/Place/Gopher-Valley-Oregon/> Ziyaret Tarihi 12.11.2023).
- Tolun, N., 1975. Türkiye Jeoloji Haritası, Hatay, 1:500.000. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, 99 s.
- TRGM, 2001. Türkiye Sayısal Toprak Haritası. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları Ulusal Bilgi Merkezi, Ankara
- Weil, R.R. ve Brady, N.C., 2011. The Nature and Properties of Soils. 15th edition, Pearson, Harlow, Essex, England.1104 p. ISBN 13: 978-1-292-16223-2
- WRB. 2006. World Reference Base for Soil Resources. No. 103. FAO. Tercüme: Toprak Kaynakları İçin Dünya Referans Sistemi. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Ankara. 167 s.
- Zhou, Y. Retallack, G.J. Huang, C. 2015. Early Eocene Paleosol Developed From Basalt İn Southeastern Australia: Implications for Paleoclimate. Arabian Journal of Geosciences, 8:1281-1290. DOI 10.1007/S12517-014-1328-8

BÖLÜM 5

TARIM ÜRÜNLERİNİN VERİM TAHMİNLERİNDE MAKİNE ÖĞRENİMİNİN KULLANIMI VE FARKLI MAKİNE ÖĞRENİMİ ALGORİTMALARININ PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Prof. Dr. Hikmet GÜNAL¹,
Dr. Öğretim Üyesi Miraç KILIÇ²,
Doç. Dr. Mesut BUDAK³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10372935>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa

² Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Malatya

³ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Siirt

Giriş

Üzerinde barındırdığı insan nüfusunun artışı ile birlikte, küresel ısınmanın neden olduğu çeşitli ekosistemlerde binlerce yılda oluşan dengenin hızla değişiminin yaşandığı dünyamızda, tarım arazilerinde üretilen mahsullerin verimlerini doğru bir şekilde tahmin etmek, etkili tarım stratejileri tasarlamak ve gıda güvenliğini sağlamak açısından son derece önemlidir (Ducker, 2022). Küresel veya bölgesel sıcaklık veya hava desenlerindeki uzun vadeli değişimleri ifade eden iklim değişimi, başta Afrika ülkeleri olmak üzere dünyanın önemli bir bölümünde milyonlarca insan için gıda güvensizliği, açlık ve yetersiz beslenme sorunlarını artırma eğilimindedir. Zira, hava koşullarındaki normal düzenden farklı gerçekleşen değişkenlik, sıcaklıklar ve hava kalitesi toprak kalitesini ve dolayısıyla tarımsal üretimin miktarı ve kalitesini büyük ölçüde olumsuz etkilemektedir (Williams ve ark., 2015). Gelecekteki gıda fiyatlarının, gıda güvenliğinin ve tarım arazisinin genişlemesinin yönü, dünyanın başlıca tarım bölgelerindeki ortalama mahsul verileri ile yakından bağlantılıdır. Mahsul verimi, tarımsal girdi ve çıktı arasındaki oranı ifade eden bir kavramdır ve ekili olan birim alan başına elde edilen ürün miktarının derecesi olarak tanımlanabilir. Bu nedenle, mahsul verimi genellikle tarımsal üretkenliğin bir göstergesi olarak kullanılır (Ducker, 2022). Mahsul verimi, karar alıcılardan çiftçilere ve tüketicilere kadar uzanan zincirde gıda üretimini yönlendirir ve gıda güvenliğini ve erişilebilirliğini sağlamada önemli bir rol oynar. Çünkü çiftçilerin tarlalarında elde edilebilecek maksimum verimler, önümüzdeki birkaç on yılda birçok bölgede değişmeden kalabilir veya hatta düşebilir, bu nedenle ortalama ve potansiyel verimler arasındaki farkı azaltmak kritiktir. Bu nedenle, mahsul verimini tahmin etmek, yönetim ve mali kararları bilgilendirmek açısından önemli bir avantajdır. Doğru bir mahsul verimi tahmin modeli, çiftçilere ne ekecekleri ve ne zaman ekecekleri konusunda yardımcı olabilir (Lobell ve ark., 2009; van Klompenburg ve ark., 2020).

Toprak, iklim koşulları ve tarımsal yönetim uygulamalarındaki farklılıklar nedeniyle ürün verimi aynı bölge içerisinde dahi önemli düzeyde değişiklik gösterebilmektedir (Paudel ve ark., 2022). Daha yüksek mekânsal çözünürlükte güvenilir mahsul tahminleri, daha geniş düzeylerde verim değişkenliğini açıklamaya yardımcı olacağı gibi tarım politikalarını daha spesifik alanlara uyarlamak için de çok faydalı bilgiler sağlamaktadır (Garcia-

Leon ve ark., 2020). Tarımsal üretimde verim tahmini için çok sayıda model geliştirilmiş ve araştırmalarda test edilmiştir (van Klompenburg ve ark., 2020). Geliştirilmiş olan ürün verimi tahmin modelleri gerçek verimi kabul edilebilir bir düzeyde tahmin yapabilmelerine karşın, verim tahmininde daha iyi bir performans hala istenmektedir (Filippi ve ark., 2019). Mahsul verimi, üretim önlemleri, zararlılar ve patojenler, çevresel değişiklikler ve tüketici talebi gibi faktörlerden etkilenebilir. Bu nedenle, yetiştirilen ürünlerin verim tahmini için üretim yapılan alan veya bölgenin iklim, hava durumu, toprak, gübre kullanımı ve tohum çeşidi gibi birçok farklı faktöre bağlı olduğundan, en güvenilir verim tahminini yapabilmek için birden fazla veri kümesinin kullanılmasını gerektirir (Xu ve ark., 2019). Farklı ürünlerin yetiştirildiği bir havzada, ürünlerin verim tahminlerinde kullanılan iklim değişkenleri aynıdır. Ancak, her bir bitkinin yetiştirme aşamasına göre iklim parametreleri gereksinimleri birbirinden farklıdır. Yani, her bir bitkinin atmosferik değişkenlere dayanıklılık veya duyarlılık seviyesi bir diğerinden farklıdır. İklim değişkenleri, sıcaklık veya yağış gibi, aşırı seviyelere yükseldiğinde veya düştüğünde, ürün üretimi üzerinde dikkate değer bir etki gözlemlenecektir (Kuradusenge ve ark., 2023).

Günümüzde, makine öğrenimi yaklaşımları, süpermarketlerde müşterilerin memnuniyetini hedefleyerek davranışlarını değerlendirmek (Yao ve ark., 2023), futbolda temas dışı zaman kaybına neden olan yaralanmaları önceden tahmin etme (Hecksteden ve ark., 2023) ve klinik tıp alanında toplum sağlığına etki edebilecek bulaşıcı hastalık salgınlarını tespit etmeye yardımcı olmak, klinik, genetik ve birçok diğer laboratuvar çıktısını bir araya getirerek, sık görülmeyen ve sık rastlanan durumları tanımlamak ve hastane işletme faaliyetlerine yardımcı olmak (Haug ve ark., 2023) gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tarımda, mahsul verimi tahmini (Shetty ve ark., 2021), akıllı tarım uygulamalarını belirlemek ve programlamak (Kalinaki ve ark., 2023), tarımsal kuraklık hassasiyetinin değerlendirilmesi ve tahmini (Kafy ve ark., 2023), tarım arazilerinde toprakların farklı fosfor formlarının tahmini (Eltohamy ve ark., 2023) ve toprakta organik karbon tahmini (Budak ve ark., 2023) gibi birçok konuda makine öğrenimi algoritmalarından faydalanılmaktadır.

Son 10 yılda meyve hasat verileri ile farklı mahsul verimi tahmin yöntemlerini inceleyen He ve ark. (2022), otomatik verim izleme sistemlerine doğru bir geçişin olduğunu vurgulayarak zaman alıcı manuel yöntemlerden

uzaklaşıldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, farklı meyve türleri, çevreler ve veri tipleri arasında kullanılabilir çeşitli bitki örtüsü indekslerini ve makine öğrenimi modellerinin tahmin doğruluğunu artırma kapasiteleri nedeniyle giderek daha popüler hale geldiğini rapor etmişlerdir.

Son zamanlarda tarımsal arazilerde mahsul veriminin tahmininde farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Özellikle de makine öğrenme yöntemlerindeki farklılıklar ve tahmin doğruluğu günümüzde birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu derleme makalesinde, literatürde makine öğreniminin mahsul verimi tahmininde nasıl kullanıldığı ve etkinliği araştırılmıştır.

Makine Öğrenimi ve Tarım Biliminde Kullanımı

Bir bilgisayara başlangıçta programlanmadan verilerden öğrenme yeteneği kazandıran yapay zekânın bir dalı olan makine öğrenmesi, öğrenmeye odaklanan bir yaklaşım olup çeşitli özelliklere dayalı daha iyi verim tahminleri sağlayabilen kullanışlı bir araçtır. Makine öğrenmesinin temel özelliği, geçmiş deneyimleri kullanarak bilgisayarların başarılı tahminler yapabilmesini sağlamasıdır (Baştanlar Y ve Özuysal M, 2014). Makine öğrenmesi, verilerdeki gizli örüntüleri anlamak için güçlü bir araçtır. Veri kümesindeki karmaşık ilişkilerin ve varyasyonların keşfedilmesine olanak tanıyan keşifsel bir veri analizi yeteneğine sahiptir (Abdel-Basset ve ark., 2022). Modellerin, sonuçların geçmiş deneyime dayalı olarak temsil edildiği veri kümelerini kullanarak eğitilmesi gerekmektedir (van Klompenburg ve ark., 2020). Farklı makine öğrenmesi algoritmaları, farklı eğitim stratejileri ve yaklaşımları gerektirmektedir. Makine öğrenmesi algoritmalarının performansı, eğitim için kullanılan verilerin çeşitliliğine bağlı olarak değişmektedir (Hyontai, 2018). Ayrıca, hiperparametrelerin optimizasyonu, makine öğrenimi algoritmaları eğitiminin önemli bir yönüdür (Yang, 2020).

Bir makine öğrenmesi modeli, araştırılan problemler ve sorulara bağlı olarak tanımlayıcı veya tahmin edici olabilir. Tanımlayıcı modeller, toplanan verilerden bilgi edinmek ve neler olduğunu açıklamak için kullanılırken, tahmin edici modeller gelecekteki tahminlerde bulunmak için kullanılır (Alpaydın, 2010). Tarım biliminde makine öğrenimi kullanımı her geçen gün katlanarak artmaktadır. Bitki hastalıklarının tanımlanması (Das ve ark., 2023), yabancı ot istilasının değerlendirilmesinde (Espejo-Garcia ve ark., 2021), toprak sağlığının değerlendirilmesi (Wilhem ve ark., 2022), hasat

makinelere performanslarının değerlendirilmesinde (Park ve ark., 2022), sulama suyu kalitesinin belirlenmesinde (Lap ve ark., 2023) ve toprak özelliklerinin tahmini (Tavakoli ve ark., 2023) gibi çok farklı alanlarda makine öğrenimi kullanılmaktadır.

Tarım biliminde regresyon problemleri için makine öğrenmesinin çok sayıdaki uygulaması arasında, genellikle önemli tarımsal değişkenleri proxy ölçümlerden tahmin etmek için ampirik modelleri kalibre etmeye (eğitmeye) ve test etmeye yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bu proxy ölçümler uzaktan ölçülmüş verilere dayalı yaprak alanı indeksinde olduğu gibi yapısal bitki örtüsü parametreleri (Du ve ark., 2022) veya toprak, iklim ve yönetim verilerini girdi olarak kullanarak verim ve mahsul kalitesi (Rodriguez-Sanchez ve ark., 2022) gibi tarımsal değişkenler olabilir.

Mahsul Verim Tahminlerinde Makine Öğrenimi

Tarımsal ürünlerin verimlerini tahmin etmek için çok uzun yıllar zaman alıcı ve zahmetli bir süreç gerektiren istatistiksel modeller kullanılmıştır. Bu on yılda, büyük veri teknolojisinin ortaya çıkışı, makine öğrenmesi gibi daha gelişmiş analiz araçlarının kullanımına yol açmıştır. Büyük veri basitçe farklı kaynaklardan gelen büyük hacimli veri kümesi olarak tanımlanabilir ve yüksek bir hızla gelir (van Klompenburg ve ark., 2020). Makine öğrenmesi, büyük veri kümelerinden önemli ve kullanışlı bilgiler çıkarmak için kullanılmaktadır. Birçok alanda olduğu gibi tarımsal üretim ile ilgili konularda da makine öğreniminde veri madenciliği süreci, özellik bilgilerini bir veri kümesinden çıkararak daha anlaşılır bir yapıya dönüştürmek için kullanılmaktadır (Sunil ve ark., 2022). Son yıllarda makine öğrenmesi, mahsul verimi modellerinin tahmin gücünü ve doğruluğunu geliştirmek için kullanılmaktadır. İklim değişkenleri veya toprak sağlığı gibi zaman serisi verilerinin bulunabilir olması nedeniyle, mevcut verilere dayalı tahminleri genişleten istatistiksel modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok tarım modeli, nitel ve nicel verileri kullanarak akıllı hesaplama tekniklerini kullanarak verim tahminlerini iyileştirmektedir (Ducker, 2022).

Bir makine öğrenmesi modeli, araştırma sorununa ve sorularına bağlı olarak açıklayıcı veya tahmin edici olabilir. Açıklayıcı modeller, toplanan verilerden bilgi elde etmek ve neler olduğunu açıklamak için kullanılırken, tahmin edici modeller gelecek ile ilgili tahminler yapabilmek için

kullanılmaktadır (Alpaydın, 2010). Birçok farklı alanda sorunları çözmek için kullanılan makine öğrenmesi, son yıllarda tarım alanında da oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Makine Öğrenimi, ürün verimi tahmini için önemli bir karar destek aracıdır, bu da hangi ürünlerin yetiştirileceğine ve ürünlerin büyüme döneminde ne yapılacağına dair kararları destekler (Cedric ve ark., 2022). Genel bir mahsul verim tahmin modeli; girdi, özellik seçimi, verim tahmini, örüntü görselleştirme ve tahmin kuralları ile değerlendirme şeklinde beş basamaktan oluşmaktadır. Girdi için yapılması gereken, üreticilerden, tarımsal üretim ilgili kurum ve kuruluşlardan ve iklim verilerinin alınabileceği birimlerden farklı parametrelerin yer aldığı veriler toplanmalıdır. Özellik seçiminde, tarım bilgi tabanından bir alt küme nitelik, alan, verim, iklim, toprak özellikleri, kullanılan gübreler gibi farklı parametreler içeren bir veri kümesi oluşturulur. Üçüncü basamakta yer alan verim tahmini, denetimli veya denetimsiz makine öğrenimi algoritmaları uygulanarak yapılmaktadır. Mahsul verim tahmini için algoritmalar kullanıldıktan sonra, tahmin kuralları tahmin edilen sonuca uygulanır ve desenler görselleştirilir. Son aşama olan değerlendirmede ise, uygulanan modelin performansı, tarla bilgi tabanından temin edilen örnekler ile tahmin edilen sonuçlar arasındaki ilişki kullanılarak gerçekleştirilir. Çiftçi veya uzmanın etkileşimi de, makine öğrenimi teknikleri kullanarak elde edilen tahmin sonuçlarının etkinliğini bulmak için gerekebilir (Sunil ve ark., 2022).

Makine öğreniminde kullanılan *denetimli makine öğrenme* yöntemlerinde, tahminler, doğru çıkış etiketleri içeren eğitim verileri kullanılarak eğitilen makineler tarafından yapılabilir. Matematiksel olarak, makine öğrenimi giriş olarak (X, Y) adlı bir çift alır, burada X bağımsız özellikler olarak adlandırılırken, Y bağımlı değişkeni veya hedefi temsil eder. Değişken Y eğitimden önce biliniyorsa, bu bir denetimli öğrenmedir (Srinivasan ve ark., 2020). Mahsul verimi tahmini için kullanılan temel denetimli öğrenme yöntemleri **sınıflandırma** ve **regresyon** teknikleri şeklinde iki ana gruba ayrılmaktadır. Yeni bir ürününün verimi, sınıflandırma modeli kullanılarak tahmin edilebilir. Sınıflandırma modeli, ürün verimlerini önceki kayıtlarına veya aynı ürüne ilişkin bilgilere dayanarak gruplamaktadır. Regresyon modelleri ise çevresel faktörleri analiz etmek ve bu faktörlerin ürün verimine etkisini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, mahsul verimi tahmini için hem regresyon hem de sınıflandırma tekniklerini

kullanılmaktadır (Rahman ve ark., 2023). Denetimli öğrenmenin aksine, değişken Y eğitimden önce bilinmiyorsa, bu bir denetimsiz öğrenmedir. Algoritmaları, kümeleme problemleri durumunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Srinivasan ve ark., 2020). Denetimsiz makine öğrenimi yöntemlerinde, makineler etiketlenmemiş eğitim verileri kullanılarak gizli desenleri ve içgörülerini bulmak üzere eğitilir. Mahsul verimi tahmininde kullanılan temel denetimsiz öğrenme yöntemleri *kümeleme* ve *ilişkilendirme* kuralıdır (Sunil ve ark., 2022).

Mahsul Verim Tahminlerinde Makine Öğrenimi Modellerinin Seçimi

Mahsul verimi tahmininde kullanılacak olan yöntemin seçimi, mahsul verimi tahmini doğruluğunu optimize etmede son derece önemli bir rol oynar. Büyük mekânsal veya zamansal ölçeklere dayalı üretim yöntemleri, uzaktan algılama teknolojisi ile elde edilen verileri kullanabilirken, daha küçük ölçekli uygulamalar daha çok traktörlerden, alt örnekleme alanlarından veya akıllı telefonlardan elde edilen bitki örtüsü indekslerine dayanabilir. Sırasıyla, her yöntem, farklı veri türlerini entegre etmek ve güvenilir ve maliyet etkin bir şekilde kullanılabilen otomatik araçları kullanarak zaman içinde doğruluğu artırmak için optimize edilebilir (Ducker, 2022).

Makine öğreniminde uygun veriler kullanılabilir olduğu varsayıldığında, bu değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemeye yönelik birçok model geliştirilmiştir. Her bir modelin gerçek ilişkiyi yansıtmayabilecek özgün sınırlamaları ve varsayımları olduğundan en iyi modeli seçmek daha detaylı bir araştırma gerektirmektedir. Toprak ve topografik özellikler ile verim arasında doğrusal olmayan bir ilişki bulunduğundan, tarımsal veriler için çoğu doğrusal yöntemin verimle olası nedenleri arasındaki ilişkiyi yansıtmada yetersiz olduğu görülmüştür. (Hitchen ve ark., 2003). Mahsul verimi üzerine birden fazla faktörün etkisi olduğundan korelasyon analizinin verim tahmininde daha az etkili olduğunu belirtilmiştir. Bununla birlikte, çoklu doğrusal regresyon (LR), diğer modellerle karşılaştırma yapmak için bir temel sağlamak amacı ile yaygın olarak tercih edilen bir tekniktir (Dai ve ark., 2011).

Kimi araştırmacılar, mahsul verimi tahmininde sadece istatistiksel modelleri kimileri sadece makine öğrenimi algoritmalarını kullanırken bir kısım araştırmacılar istatistiksel modeller ile makine öğrenimi algoritmalarını hibrit

bir şekilde kullanarak mahsul verimlerini tahmin etmeye çalışmışlardır. ABD'nin mısır kuşağı olarak bilinen orta bölgesinde mısır verimi tahminlerinin iyileştirilmesinde ürün modellemesi ve makine öğreniminin birleştirilmesinin etkisini araştıran Shahhosseini ve ark. (2021), hibrit bir yaklaşımın (ürün modellemesi + makine öğrenimi) kullanılmasıyla daha iyi tahminler yapılabileceğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar ayrıca hangi hibrit model kombinasyonlarının en doğru tahminleri sağladığını ve mısır verimi tahmini için hangi ürün modelleme özelliklerinin makine öğrenimi ile entegre edilmesinin en etkili olduğunu da rapor etmişlerdir. Ürün modellemesi değişkenlerini, giriş özellikleri olarak makine öğrenimi modellerine eklemenin, verim tahmin RMSE'sini %7 ile %20 arasında azaltabileceği ve yalnızca hava bilgisinin yeterli olmadığını da bildirmişlerdir. Bunlara ilaveten, makine öğrenimi modellerinin daha iyi tahminler yapabilmesi için daha fazla hidrolojik veriye ihtiyaç duyulduğu konusuna da vurgu yapmışlardır.

Mahsul Verim Tahminlerinde Makine Öğrenimi Modellerinin Performanslarının Karşılaştırılması

Bölge veya ulusal düzeyde mahsul verim tahmini, ekili alanlara kıyasla çok daha küçük mekânsal birimlerden daha büyük birimlere doğru toplanan tahmin edici verilerden oluşur. Bu mahsul alanlarına ait veriler, arazi kaplama haritalarından veya raporlanan istatistiklerden elde edilir ve her iki veri kaynağı da önemli düzeyde hatalar ve belirsizlikler içerebilir. Bu durumda, alt-ulusal veya bölgesel mahsul verimi tahmini, bu hataların kısmen de düşük seviyelere inmesine yardımcı olur (Paudel ve ark., 2022). Mahsul verimi tahmini, özellikle sıcaklık ve yağış gibi iklim koşulları, verim üzerine etkili olabilecek çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özellikleri, toprak nem içeriği, coğrafi konum, bir önceki ürünün verimi gibi çeşitli parametreleri dikkate alarak mahsulün birim alan başına kg cinsinden verimini tahmin etme işi olarak tanımlanabilir. Mahsul verimi tahminlerinde kullanılan makine öğrenmesi modellerini karşılaştıran Sunil ve ark. (2022), sınıflandırma tekniklerinde parametre sayısının regresyon tekniklerine göre daha fazla olduğunu ve ayrıca sınıflandırma tekniklerinin çoklu ürün verimi tahmininde daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmektedir. Denetimsiz makine öğrenmesi modellerinde ise kümeleme ve ilişkilendirme kuralı madenciliği yöntemleri geliştirildiğini belirten araştırmacılar, ürün verimi tahmininde kümeleme için araştırma

kapsamının geniş olduğunu ifade etmişlerdir. Shetty ve ark. (2021), Hindistan'ın Karnataka bölgesinde yetiştirilen 4 büyük mahsul için birçok Katmanlı Algılayıcı sinir ağı modeli ve Rastgele Orman regresyon modelleri kullanarak mahsul verim tahmini yapabilmek için toplanan veriler kullanmış ve modelleri eğitmişlerdir. Araştırmacılar, Karnataka bölgesinin içerisinde kalan 30 yerleşim yerine ait sıcaklık, nem ve basınç gibi minimum, maksimum ve ortalama değerleri içeren güncel ve geçmiş iklim verilerini modellerde kullanmışlardır. Eğitilen modelleri değerlendirmek için ortalama mutlak hata (MAE), ortalama karesel hata (MSE) ve kök ortalama karesel hata (RMSE) gibi üç farklı değerlendirme ölçütü kullanılmıştır. Çok Katmanlı Algılayıcı ağ ve Rastgele Orman regresyonunun ortalama mutlak hata değerlerinin sırasıyla %12.3 ve %12.4, ortalama karesel hata değerlerinin %3.4 ve %2.9 ve kök ortalama karesel hata değerlerinin ise %18.55 ve %17.12 olduğu bildirilmiştir.

Makine öğreniminden elde edilen bölgesel mahsul verimi tahminlerine dayalı, çoklu mekansal düzeyler için bir mahsul verimi tahmin yaklaşımı öneren Paudel ve ark. (2022), veri tabanlı yaklaşımı ile makine öğrenimi, bölgesel düzeyde daha büyük veri setlerinden faydalanabileceğini ve tahminciler ile mahsul arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri yakalayabileceğini bildirmiştir. Paudel ve ark. (2022), Avrupa'da bölgesel mahsul verimi tahminlerinin faydalarını göstermek için genel bir makine öğrenimi çalışma akışı tasarlamışlardır. Bölgesel tahminlerin kalitesini ve kullanılabilirliğini değerlendirmek için 35 örneklem üzerinde mahsul verimi tahmin edilmiştir. Bu örneklem içinde dokuz ülke ve yumuşak buğday, ilkbahar arpa, ayçiçeği, tane mısır, şeker pancarı ve patates gibi altı mahsul dahil edilmiştir. Bölgesel düzeydeki makine öğrenimi modelleri, hasattan 60 gün önce ve sezon sonunda Wilcoxon p-değerleri sırasıyla ile $3e-7$ ve $2e-7$ olan bir lineer trend modeline göre normalleştirilmiş kök ortalama karesel hatalara (NRMSE) ve daha düşük belirsizlik değerlerine sahip olduğu bildirilmiştir.

Mahsul verimini analiz etmek için su, ultraviyole (UV), pestisitler, kullanılan gübre ve ürünün çalışma alanındaki kaplama miktarı gibi 140 noktaya ait bitkisel üretimi etkileyen ana parametreyi kullanan Haque ve ark. (2020), Destek Vektör Regresyonu (SVR) ve Doğrusal Regresyon (LR) modellerini eğitmişlerdir. Araştırmada, MSE yaklaşık olarak 0.005 ve R^2 yaklaşık olarak 0.85 olarak rapor edilmiştir. Uzaktan algılama verilerini kullanarak ürün verimi tahmini için derin öğrenme çerçevesini kullanan You ve

ark. (2017), gelişmekte olan ülkelerin büyük çoğunluğunda ürün verimini tahmin etmek için Gaussian Process bileşeni ve boyut azaltma tekniği ile Convolutional Neural Network (CNN) kullanıldığını bildirmiştir. Araştırmacılar, bu tekniği, ABD'de soya fasulyesi veri seti, toprak veri seti ve iklim veri setinin birleştirilmesiyle uygulamışlardır. Araştırma sonuçları, Gaussian yaklaşımının, Ortalama Kare Hatası (RMSE) değerini Long Short-Term Memory (LSTM) modelinde 6,27'den 5,83'e ve CNN modelinde ise 5,77'den 5,57'ye iyileştirdiğini göstermiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde mısırın en çok yetiştirildiği 12 eyalette mısır verimlerini tahmin etmek için mahsul modellerini makine öğrenimi modelleri ile birleştiren Sajid ve ark. (2022), doğrusal regresyon, LASSO regresyon, random forest, XGBoost ve LightGBM şeklinde beş yeni makine öğrenmesi modeli ve bunların ortalama ağırlıklı ve optimize edilmiş ağırlıklı ensemble (birleşik) modellerini kullanmışlardır. Araştırmacılar, mahsul modellemesi değişkenlerinin bulunduğu senaryoları ve olmadığı senaryoları karşılaştırmışlardır. Modellerde ek girdi parametreleri olarak toprak, iklim durumu, yönetim ve önceki verim verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada, mahsul modellemesinin makine öğrenimi ile birleştirilmesinin tahminin doğruluğunu önemli düzeyde arttığı bildirilmiştir. Ensemble model, bireysel makine öğrenimi modellerini aşarak test yılları (2018, 2019 ve 2020) için yaklaşık %9'lık bir göreceli ortalama karesel hata (RRMSE) değeri üretmiştir. Ayrıca, verim tahmini yapılan alan küçüldükçe RRMSE değerinin yükseldiği not edilmiştir. Bazı bölgelerde toprak girdi verileri ve aşırı iklim olaylarının hataların artmasına neden olduğu bildirilmiştir.

Atlantik Kanada'da, doğrusal regresyon (LR), elastik ağ (EN), k-en yakın komşu (k-NN) ve destek vektör regresyonu (SVR) makine öğrenme modelleri ile elektriksel iletkenlik, nem içeriği ve eğimi gibi toprak ve arazi özellikleri ve normalize edilmiş farklılık yaprak indeksi (NDVI) gibi bitki özelliklerini kullanarak patates yumru verimini tahmin etmeye çalışan Abbas ve ark. (2020), SVR modellerinin performansının, tüm diğer modelleri geride bıraktığını bildirmiştir. Dört farklı yetiştirme dönemi ve iki farklı lokasyon için RMSE değerleri sırası ile 5.97, 4.62, 6.60 ve 6.17 t/ha olarak rapor edilmiştir. Buna karşın, k-NN modelinin performansı, dört veri setinden üçünde zayıf yetersiz bulunmuş ve bu modeller için RMSE değerleri sırası ile 6.93, 5.23 ve 6.91 t/ha olarak belirtilmiştir.

Yapay sınır ağları (YSA), adım adım çoklu doğrusal regresyon, temel bileşen analizi, en küçük mutlak büzülme, seçim operatörü (LASSO) regresyon ve EN gibi farklı algoritmaları kullanarak iklim parametrelerinden Hindistan'ın batı kıyısındaki pirinç verimini tahmin etmeye çalışan Das ve ark. (2018), Lasso regresyonu ve EN'nin pirinç verimini tahmin etmek için en uygun yöntemler olduğunu rapor etmişlerdir. Başka bir çalışmada, Shahhosseini ve ark. (2019) EN, rastgele orman, LASSO regresyon, sırt regresyon ve aşırı gradyan artırma gibi beş farklı makine öğrenmesi algoritması ve bu algoritmaların birleşimlerini kullanılarak mısır verimi ve nitrat kayıplarının tahmin etmeye çalışmışlardır. Araştırmacılar, rastgele orman modellerinin diğerlerine göre mısır verimini daha doğru bir şekilde tahmin ettiğini bildirmişlerdir.

Karar alıcıların ve çiftçilerin ülkelerindeki yıllık ürün verimlerini tahmin yardımcı olmak için makine öğrenimine modelleri ile Burkina Faso, Gambiya, Gana, Gine, Mali, Moritanya, Nijer, Senegal ve Togo'nun yer aldığı Batı Afrika'da yıl boyunca pirinç, mısır, cassava, pamuk, patates ve muz'un verimini ülke düzeyinde tahmin etmek için Cedric ve ark. (2022), iklim verileri, hava durumu verileri, tarım verimleri ve kimyasal verileri bir araya getirmişlerdir. Bir karar ağacı, çok değişkenli lojistik regresyon ve k-en yakın komşu şeklinde üç farklı model kullanan araştırmacılar, aşırı öğrenme sorunu olmayan daha iyi bir model elde etmek için çapraz doğrulama süresince hiperparametre ayarlama tekniğini uygulamışlardır. En iyi performansı belirleme katsayısı (R^2) %95.3 olan karar ağacı modeli ile elde etmişlerdir. K-en yakın komşu modeli ve lojistik regresyon modellerinde ise belirleme katsayısı sırasıyla %93.15 ve %89.78 olarak kayıt edilmiştir. Ayrıca, karar ağacı modeli ve K-en yakın komşu modelinin tahmin sonuçlarının beklenen verilerle ilişkili olduğunu belirten araştırmacılar, bu durumu modelin etkinliği ile ilişkilendirmişlerdir.

Sonuçlar

Çevresel koşulların sürekli değişimi, özellikle tüm dünyayı etkisi altına alan küresel ısınma ve iklim değişikliği, insanların temel gıda ve giyecek ihtiyacının karşılandığı tarım sektörünün geleceği üzerine ciddi endişelerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tarımsal üretimde günümüz ve gelecekte gerçekleşmesi muhtemel mahsul veriminin tahmin edilmesi, tarımsal

üretimin doğru planlanması ve sürdürülebilirliği açısından son derece önemli bir konudur. Bununla birlikte, tarımsal ürünlerin verimi iklim, hava durumu, toprak, tarımsal uygulamalar, gübre kullanımı ve tohum çeşidi gibi birçok farklı faktöre bağlı olduğundan, mahsul veriminin tahmini ilişkili özelliklere ait çeşitli veri kümelerinin kullanımını gerektirmektedir. Büyük veri (hiperparametre) teknolojisinin kullanılabilir hale gelmesi, tıp, finans, spor, biyoloji ve tarım gibi birçok alanda oldukça etkin olan makine öğrenimi gibi güçlü analitik araçların kullanımını beraberinde getirmiştir.

Kaynaklar

- Abdel-Basset, M., Moustafa, N., Hawash, H., Ding, W., Abdel-Basset, M., Moustafa, N., ... & Ding, W., 2022. Supervised Deep Learning for Secure Internet of Things. *Deep Learning Techniques for IoT Security and Privacy*, 131-166.
- Alpaydin, E., 2010. *Introduction to Machine Learning*, 2nd ed. Retrieved from https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=TtrxCwAAQBAJ&oi=fn&pg=PR7&dq=introduction+to+machine+learning&ots=T5ejQG_7pZ&sig=0xC_H0agN7mPhYW7oQsWiMVwRnQ#v=onepage&q=introduction+to+machine+learning&f=false
- Baştanlar, Y., & Özuysal, M., 2014. *Introduction to machine learning. miRNomics: MicroRNA biology and computational analysis*, 105-128.
- Budak, M., Günal, E., Kılıç, M., Çelik, İ., Sırrı, M., & Acir, N. (2023). Improvement of spatial estimation for soil organic carbon stocks in Yuksekova plain using Sentinel 2 imagery and gradient descent–boosted regression tree. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(18), 53253-53274.
- Cedric, L. S., Adoni, W. Y. H., Aworka, R., Zoueu, J. T., Mutombo, F. K., Krichen, M., & Kimpolo, C. L. M. (2022). Crops yield prediction based on machine learning models: Case of West African countries. *Smart Agricultural Technology*, 2, 100049.
- Dai, X., Huo, Z., & Wang, H. (2011). Simulation for response of crop yield to soil moisture and salinity with artificial neural network. *Field Crops Research*, 121(3), 441-449.
- Das, B., Nair, B., Reddy, V. K., & Venkatesh, P. (2018). Evaluation of multiple linear, neural network and penalised regression models for prediction of rice yield based on weather parameters for west coast of India. *International journal of biometeorology*, 62(10), 1809-1822.
- Das, S., Pattanayak, S., & Behera, P. R. (2022). Application of machine learning: a recent advancement in plant diseases detection. *Journal of Plant Protection Research*, 122-135.
- Docker, J. 2022. Importance of Accurate Yield Predictions in Agriculture. <https://www.azolifesciences.com/article/Importance-of-Accurate-Yield-Predictions-in->

- Agriculture.aspx#:~:text=From%20policymakers%20to%20farmers%20and,informing%20management%20and%20financial%20decisions.
Erişim tarihi 27 Ağustos 2023.
- Du, L., Yang, H., Song, X., Wei, N., Yu, C., Wang, W., & Zhao, Y. (2022). Estimating leaf area index of maize using UAV-based digital imagery and machine learning methods. *Scientific Reports*, 12(1), 15937.
- Eltohamy, K. M., Khan, S., He, S., Li, J., Liu, C., & Liang, X. (2023). Prediction of nano, fine, and medium colloidal phosphorus in agricultural soils with machine learning. *Environmental Research*, 220, 115222.
- Espejo-Garcia, B., Malounas, I., Vali, E., & Fountas, S. (2021). Testing the Suitability of Automated Machine Learning for Weeds Identification. *Ai*, 2(1), 34-47.
- Filippi, P., Jones, E. J., Wimalathunge, N. S., Somarathna, P. D., Pozza, L. E., Ugbaje, S. U., ... & Bishop, T. F. (2019). An approach to forecast grain crop yield using multi-layered, multi-farm data sets and machine learning. *Precision Agriculture*, 20, 1015-1029.
- Haque, F. F., Abdelgawad, A., Yanambaka, V. P., & Yelamarthi, K. (2020, June). Crop yield analysis using machine learning algorithms. In *2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)* (pp. 1-2). IEEE.
- Haug, C. J., & Drazen, J. M. (2023). Artificial intelligence and machine learning in clinical medicine, 2023. *New England Journal of Medicine*, 388(13), 1201-1208.
- He, L., Fang, W., Zhao, G., Wu, Z., Fu, L., Li, R., ... & Dhupia, J. (2022). Fruit yield prediction and estimation in orchards: A state-of-the-art comprehensive review for both direct and indirect methods. *Computers and Electronics in Agriculture*, 195, 106812.
- Hecksteden, A., Schmartz, G. P., Egyptien, Y., Aus der Fünten, K., Keller, A., & Meyer, T. (2023). Forecasting football injuries by combining screening, monitoring and machine learning. *Science and medicine in football*, 7(3), 214-228.
- Hyontai, S. U. G., 2018. Performance of machine learning algorithms and diversity in data. In *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, Vol. 210, 4-19.

- García-León, D., López-Lozano, R., Toreti, A., & Zampieri, M. (2020). Local-scale cereal yield forecasting in Italy: Lessons from different statistical models and spatial aggregations. *Agronomy*, 10(6), 809.
- Kafy, A. A., Bakshi, A., Saha, M., Al Faisal, A., Almulhim, A. I., Rahaman, Z. A., & Mohammad, P. (2023). Assessment and prediction of index based agricultural drought vulnerability using machine learning algorithms. *Science of The Total Environment*, 867, 161394.
- Kalinaki, K., Shafik, W., Gutu, T. J., & Malik, O. A. (2023). Computer Vision and Machine Learning for Smart Farming and Agriculture Practices. In *Artificial Intelligence Tools and Technologies for Smart Farming and Agriculture Practices* (pp. 79-100). IGI Global.
- Kitchen, N. R., Drummond, S. T., Lund, E. D., Sudduth, K. A., & Buchleiter, G. W. (2003). Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil–crop systems. *Agronomy journal*, 95(3), 483-495.
- Kuradusenge, M., Hitimana, E., Hanyurwimfura, D., Rukundo, P., Mtonga, K., Mukasine, A., ... & Uwamahoro, A. (2023). Crop yield prediction using machine learning models: case of Irish potato and maize. *Agriculture*, 13(1), 225.
- Lap, B. Q., Du Nguyen, H., Hang, P. T., Phi, N. Q., Hoang, V. T., Linh, P. G., & Hang, B. T. T. (2023). Predicting water quality index (WQI) by feature selection and machine learning: a case study of An Kim Hai irrigation system. *Ecological Informatics*, 74, 101991.
- Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual review of environment and resources*, 34, 179-204.
- Park, Y., Cho, K., & Kim, S. (2022). Performance prediction of hybrid energy harvesting devices using machine learning. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14(9), 11248-11254.
- Paudel, D., Boogaard, H., de Wit, A., van der Velde, M., Claverie, M., Nisini, L., ... & Athanasiadis, I. N. (2022). Machine learning for regional crop yield forecasting in Europe. *Field Crops Research*, 276, 108377.
- Rahman, S. I., Iwase, S. C., Abian, A. I., Ghosh, T., & Farid, D. M. (2023, April). A Comprehensive Review on Precision Agriculture and Machine

- Learning Approach in Bangladesh. In 2023 IEEE 8th International Conference for Convergence in Technology (I2CT) (pp. 1-6). IEEE.
- Rodriguez-Sanchez, J., Li, C., & Paterson, A. H. (2022). Cotton yield estimation from aerial imagery using machine learning approaches. *Frontiers in plant science*, 13, 870181.
- Shahhosseini, M., Martinez-Feria, R. A., Hu, G., & Archontoulis, S. V. (2019). Maize yield and nitrate loss prediction with machine learning algorithms. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124026.
- Shahhosseini, M., Hu, G., Huber, I., & Archontoulis, S. V. (2021). Coupling machine learning and crop modeling improves crop yield prediction in the US Corn Belt. *Scientific reports*, 11(1), 1606.
- Shetty, S. A., Padmashree, T., Sagar, B. M., & Cauvery, N. K. (2021). Performance analysis on machine learning algorithms with deep learning model for crop yield prediction. In *Data Intelligence and Cognitive Informatics: Proceedings of ICDICI 2020* (pp. 739-750). Springer Singapore.
- Srinivasan, S., Ravi, V., Sowmya, V., Krichen, M., Nouredine, D. B., Anivilla, S., & Soman, K. P. (2020, March). Deep convolutional neural network based image spam classification. In *2020 6th conference on data science and machine learning applications (CDMA)* (pp. 112-117). IEEE.
- Sunil, G. L., Nagaveni, V., & Shruthi, U. (2022, July). A review on prediction of crop yield using machine learning techniques. In *2022 IEEE region 10 symposium (TENSYP)* (pp. 1-5). IEEE.
- Tavakoli, H., Correa, J., Sabetizade, M., & Vogel, S. (2023). Predicting key soil properties from Vis-NIR spectra by applying dual-wavelength indices transformations and stacking machine learning approaches. *Soil and Tillage Research*, 229, 105684.
- VanderPlas, J. (2016). *Python data science handbook: Essential tools for working with data*. " O'Reilly Media, Inc."
- Van Klompenburg, T., Kassahun, A., & Catal, C. (2020). Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, 105709.
- Wilhelm, R. C., van Es, H. M., & Buckley, D. H. (2022). Predicting measures of soil health using the microbiome and supervised machine learning. *Soil Biology and Biochemistry*, 164, 108472.

- Williams, T. O., Mul, M., Cie, O., Kinyangi, J., Zougmore, R., Wamukoya, G., & Campbell, B. (2015). Climate-Smart Agriculture in the African Context. 1-26. Cgspace.Cgiar.Org.
- Xu, X., Gao, P., Zhu, X., Guo, W., Ding, J., Li, C., ... & Wu, X. (2019). Design of an integrated climatic assessment indicator (ICAI) for wheat production: A case study in Jiangsu Province, China. *Ecological indicators*, 101, 943-953.
- Yang, L., & Shami, A., 2020. On hyperparameter optimization of machine learning algorithms: Theory and practice. *Neurocomputing*, 415, 295-316.
- Yao, L., Wang, Z., Gu, H., Zhao, X., Chen, Y., & Liu, L. (2023). Prediction of Chinese clients' satisfaction with psychotherapy by machine learning. *Frontiers in Psychiatry*, 14, 947081.
- You, J., Li, X., Low, M., Lobell, D., & Ermon, S. (2017, February). Deep gaussian process for crop yield prediction based on remote sensing data. In *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence* (Vol. 31, No. 1).

BÖLÜM 6

YABANCI OTLARIN KONTROLÜNDE OTONOM ROBOTLARIN KULLANILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Mesut SIRRI¹,
Doç. Dr. Musa ATAŞ²,
Doç. Dr. Fatih ÇİĞ³

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10372968>

¹ Siirt Üniversitesi, Kurtalan Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 0000-0001-9793-9599, m.sirri@siirt.edu.tr

² Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 0000-0002-1214-3127 musa.atas@siirt.edu.tr

³ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 0000-0002-4042-0566 fatih@siirt.edu.tr

Giriş

Yabancı otlar, çiftçiler tarafından ekilmeyen, toprakta kendiliğinden yetişen ve buldukları alanda zararları olan bitkilerdir (Özer ve ark., 2001). Yabancı otlar, kültür bitkileriyle rekabet ederek su, besin maddeleri ve güneş ışığı gibi yaşamsal kaynakları tüketmesi sonucu, tarım ürünlerinin büyümesini engelleyerek verim kaybına yol açmaktadır (Günçan ve Karaca, 2018). Ayrıca bazı yabancı otlar, hastalıkları ve zararlıları taşıyarak veya konukçuluk yaparak kültür bitkilerinin sağlığını riske atmakta ve rekabet gücü ve gelişimini azaltabilmektedir. Kısacası yabancı ot, tarımsal üretim açısından zararı yararından fazla olan bitkiler olarak tanımlanmaktadır.

1. Bitkisel Üretimde Yabancı Ot Kontrolünün Önemi

Tarımsal ekosistemde yabancı ot kontrolü önemli bir konudur. Nitekim yabancı otlar kültür bitkileri ile nem, besin maddesi ve güneş ışığı için rekabete girmekte ve kontrol edilmediği takdirde verim ve kalite üzerinde önemli zararlar oluşturabilmektedir (Sujarita ve ark., 2017; Günçan ve Karaca, 2018). Yabancı otların kültür bitkisi, ekolojik ve iklim koşullarına bağlı olarak meydana getirdiği zarar oranı %10-80 arasında değişebilmektedir (Oerke, 2006; Tepe, 2014; Patzold ve ark., 2020). Ancak yabancı ot mücadelesi yapılmadığında veya yeterli düzeyde mücadele edilmediğinde bu zarar çok daha yüksek olabilmektedir. Ayrıca bazı zehirli yabancı otlar gıda ve yem ürünlerine karıştığında insan ve hayvan sağlığına doğrudan veya dolaylı olarak zarar verdiği gibi çiftlik hayvanlarında üreme, et ve süt verimini de olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Kounalakis ve ark., 2016; Önen, 2021). Bu durum tarımsal ekosistemde sürdürülebilir başarılı bir üretim yapılabilmesi için yabancı otlarla mücadelenin vazgeçilmez olduğunu göstermektedir.

Yabancı otlar insanoğlunun tarıma geçişi ile beraber önemli bir soruna dönüşmüş, hatta tarım dışındaki alanlarda (yerleşim, su kanalları vb) oluşturdukları sorunlar ve zararlar nedeniyle yaşamı etkiler hale gelmişlerdir. Bu nedenle ekonomik açıdan oluşturabileceği zararların önlenmesi amacıyla geçmişten günümüze kadar yabancı otlarla mücadele için çeşitli kontrol yöntemleri kullanılmıştır (Özer ve ark., 2001). Ancak teknolojik gelişmelere rağmen, günümüzde hala yabancı otların, dünya genelinde ve çok farklı ekosistemlerde ciddi ekolojik, sağlık ve sosyo-ekonomik sorunlara neden olduğu bilinmektedir. Özellikle de yoğun toprak işleme yapılan tarımsal

ekosistemlere adaptasyon sağlayan yabancı otlar veya istilacı yabancı otların sayıları, bunlardan kaynaklanan sorunlar ve meydana getirilen kayıpların boyutları her geçen gün büyümekte ve mücadele masrafları da giderek artmaktadır (Önen, 2015). Zira günümüzde dünya genelinde yaklaşık 8000 yabancı ot türünün tarım ekosisteminde sorun olduğu düşünülmekte ve bu yabancı otlardan kaynaklanan kayıpların üretimi imkânsız hale getirebilecek seviyelerde olabileceği tahmin edilmektedir (Zimdahl, 2007; Zimdahl, 2010; Önen, 2021). Bu nedenle tarımsal ekosistemde (özellikle modern tarımda) yabancı otların kontrolü vazgeçilmez kültürel işlemler arasında yer almaktadır.

2. Dünden Bugüne Yabancı Ot Kontrol Yöntemleri

Yabancı otlarla mücadele tarım tarihi kadar uzun bir geçmişe sahiptir. Ancak insanoğlu ekinlerini korumak ve içerisinde çıkan yabancı otları uzaklaştırmak kültürel işlemler içerisinde elle temizleyerek uzaklaştırmıştır (Erciş ve ark., 1993; Timmons, 2005). Zira büyü ve tılsım ile başlayan yabancı ot ile mücadele serüveni dönemin koşullarına bağlı olarak zamanla değişik uygulama ve yöntemlerle devam etmiştir (Ager, 2010). Zamanla ekim alanlarının genişlemesi, sulama vb. uygulamaların artması üretim alanlarında yabancı otların çoğalması, çoğu zaman verdiği zarardan bihaber elle yolunarak uzaklaştırılan yabancı otları ortadan kaldırmak veya kontrol altına almak amacıyla insan gücüne dayanan çapa aletleri (sivri uçlu çubuklar) ile yapılmaya başlanmıştır (Önen, 2021). İnsanların tarımı benimsemesi ve zamanla imkânların gelişmesi (hayvan iş gücünden yararlanılması) ile üretim alanlarında farklı kültürel işlemler (tohum temizliği, nadas, ekim nöbeti vb.) yapılmaya başlanmış ve yabancı otlarla mücadelede yeni bir safhaya geçilmiştir (Marshall, 2003; Tepe, 2014; Costantini 2019). Devamında 19. yüzyılda başlayan mekanizasyon alanındaki gelişmelerin yanı sıra teknolojinin devreye girmesiyle yabancı ot mücadelesini başka bir aşamaya taşımıştır (İleri, 2014). Tarım ekosisteminde bir yanda mekanizasyon gelişmeleri devam ederken, diğer yandan yabancı otların kimyasal yollarla (herbisitler) kontrolüne yönelik çalışmalar büyük bir hız kazanmış ve yabancı ot mücadelesinde kullanılabilecek çok sayıda herbisit piyasaya girmiştir (Özer ve Özer 1993; Zimdahl, 2011). Günümüzde kimyasal ilaç sektörü dev şirketlere dönüşmüş ve neredeyse bütün yabancı ot sorunlarına karşı muhtemel bir herbisit adayının

olduğu ve sürekli gelişerek devam eden devasa bir tarımsal iş kolu haline geldiği görülmektedir.

Ancak, tarım ekosisteminde yabancı ot idaresinde yaşanan bu değişim, özellikle kimyasal ilaçların tarımda daha fazla yer edinmesi (yeşil devrim) üretimde yabancı otlar dahil olmak üzere bitki koruma etmenlerine yönelik çözüm üretmediği gibi birçok çevresel sorunu da beraberinde getirmiştir (Önen, 2010). Nitekim sanayi ve teknoloji gelişmesine rağmen yabancı ot sorununun hala devam ediyor olması düşündürücüdür. Bununla birlikte, tarım ekosisteminde aşırı ve bilinçsiz kimyasal kullanılması; doğal denge, insan ve çevre sağlığını tehdit etmesi, kalıntı ve dayanıklılık gibi tarımsal sürdürülebilirliği sekteye uğratan birçok ekolojik ve ekonomik sorunu da beraberinde getirmiştir. Dolayısıyla tarım ekosisteminde yaşanan bu ekolojik sorunlar yeni modern tarım sistemlerine (organik ve ekolojik tarım) kapı açarken bir yandan da yabancı ot mücadelesinde yenilikçi ve doğal olan biyolojik mücadele, allelopati ve biyoherbisit gibi kalıntı ve dayanıklılık oluşturmeyen yabancı ot kontrol yöntemlerine olan ilginin artmasına neden olmuştur (Atay ve ark., 2015; Budak ve Işık, 2022).

Yabancı otlara karşı uygulanan mücadele yöntemleri hem tarımsal sürdürülebilirliği hem de yüksek verim elde edilecek tarımsal üretim arayışı nedeniyle bilim insanlarını yabancı ot mücadelesinde yeni araştırmalara yöneltmiştir. Ancak, yabancı ot mücadelesinde uygulanan her yöntemin avantaj ve dezavantajları da bulunmaktadır (Buddha ve ark., 2019). Devrim niteliğinde olan mekanik mücadele, ekim öncesi, toprak rezervindeki tohum bankası ve erken dönemdeki yabancı otların kontrolünde etkili olabilse de kültür bitkisi ve yabancı otun gelişimi ilerledikçe mekanik yöntemlerin sıra arası gibi sınırlı alanlarda uygulanma ihtiyacı bulunmaktadır (McAllister ve ark., 2018). Söz konusu yöntem, elle veya çapayla mücadeleden daha fazla insan işgücüne, zaman israfına ve uygulama esnasında daha fazla hata yapılmasına neden olduğundan etkin kullanımı zayıf kalmaktadır. Özellikle sıra arası yapılan mekanik mücadelede yabancı otların yaklaşık %65-85 arasında bir kısmının kontrol altına alınabildiği belirtilmiştir (Vargas ve ark., 1996; Raja ve ark., 2020). Ayrıca yabancı otların mekanik mücadelesinde ortaya çıkan riskleri minimize eden alevlenme tekniği kullanılarak yapılan yabancı otlarla mücadele teknikleri geliştirilmiş olsa da, olası riskler ve yüksek maliyetlerinden dolayı

çoğu zaman deneme veya uygulama kısmıyla sınırlı kalmış, pratikte karşılık bulmamıştır (Pérez-Ruiz ve ark., 2014).

20. yüzyılın başlarında kimyasal girdiler başta olmak üzere doğa ve tarım ekosisteminde meydana gelen tahribatları azaltmak ve tarımsal sürdürülebilirliği arttırmak için Amerika, Avustralya, Güney Afrika, Kanada ve Yeni Zelanda gibi gelişmiş ülkelerde yabancı otlarla mücadelede doğaya zararsız ve dayanıklılık sorunu olmayan doğal ajanların kullanıldığı biyolojik mücadele çalışmaları yürütülmüştür (Hoffmann, 1995). Son yıllarda iklim değişikliği ile beraber daha da yaygınlaşan istilacı yabancı otların, kontrolünde biyolojik ajanların kullanılması, bu türlerin dağılım ve yayılmalarının önlenmesinde etkili olabilmektedir (Atay ve ark., 2015; Winston ve ark., 2023). Nitekim bazı istilacı yabancı otların kontrolünde biyolojik ajanların herbisitlere en iyi alternatif oldukları belirtilmiştir (Napompeth, 1982; Kolaib ve ark., 1986). Biyolojik ajanlar, bir kez kullanıldığı ve doğal ekolojiye kolay bir biçimde adaptasyon sağladığı için, tekrar kullanımına gerek kalmaması ve direnç oluşturmadığından dolayı sürdürülebilir ve ekonomik mücadeleye katkı sunmaktadır (Uygur ve Uygur, 2010). Ancak biyolojik ajanların bazı spesifik türlerin dışında, genelde polifag (birden fazla konukçusu) oluşu, ilk uygulamada maliyetli olması ve sonuç alınmasının zaman alması gibi bazı dezavantajlı durumlar kullanım alanını daraltmaktadır. Bu durum üreticiyi daha pratik, fazla iş gücü ihtiyacı olmayan, ekonomik ve kısa sürede etkisini gösterebilen herbisit kullanımına yöneltmiştir. Ancak herbisitlerin kimyasal içerikleri ve uygulamadaki sorunları düşünüldüğünde ekosistem açısından birçok dezavantaj barındırmaktadır. Ayrıca yabancı otların mücadelesinde herbisit kullanımının kısıtlanmak istenmesinin nedenleri arasında; özellikle polikültür tarım alanlarında hedef dışı bitki ve canlıların bünyesine taşınması, topraktaki kalıcılığı, atmosfere ve suya karışması ve herbisitlere direnci kazanan yabancı ot türlerinin giderek artması gibi birçok faktör sayılabilir (Heap, 2019; Li ve ark., 2022).

Küresel düzeyde yabancı ot mücadelesinde, herbisitlerin ekonomik ve yabancı otlar üzerinde hala etkili olmaları nedeniyle en çok tercih edilen yöntem olduğunu söyleyebiliriz. Ancak son yıllarda yaşanan sağlık sorunları ve çevresel sorunlar (iklim değişikliği, kalıntı problemi, dayanıklılık vb.) nedeniyle insanların doğa ve çevreye olan duyarlılığı arttırmış, sürdürülebilir tarımsal üretim için organik ve ekolojik ürünlere eğilimini arttırmıştır

(Eryılmaz ve ark., 2019). Bu durumda yabancı otların kontrolünde kimyasal mücadelenin sürdürülebilir bir yöntem olmadığı için, herbisitlere alternatif olabilecek yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Slaughter ve ark., 2008).

Tarihsel sürece bakıldığında yabancı ot kontrol yöntemlerinin hiçbiri çevreye yüzde yüz zararsız olmadığı gibi hedef yabancı otların tamamen kontrol altına alındığı şeklinde etkili bir yöntem de olmamıştır. Nitekim her mücadele yönteminin ekolojik, kültür bitkisi ve yabancı ot türüne bağlı olarak yetersiz kaldığı durumlar olmuştur. Dolayısıyla yabancı ot mücadelesinde kullanılan yöntemlerin hem ekonomik hem de çevreci ve sürdürülebilir olabilmesi için birbirini tamamlayan bir yaklaşım benimseyen ‘Entegre Mücadele’ tekniği önerilmektedir (Önen ve Kara, 2008b; Önen, 2014). Bütünleştirici tekniğin amacı, hedef yabancı ot veya otların yanı sıra ekolojik koşulları, kültür bitkileri, faydalı böcekleri vb. tüm değişkenleri dikkate alarak karar vermektir. Bu bakış açısı tek bir soruna bakılıp derhal müdahale edilme yerine sorun ve nedenlerinin araştırılarak en etkili şekilde çözüm bulma prensibine dayanmaktadır (Çolak ve Işık, 2021). Bu nedenle bir uygulama için bazen birden fazla teknik kullanılabilir. Nitekim sıra üzeri üretim sistemlerinde mekanik olarak kontrol edilmeyen yabancı otların herbisit kombinasyonu ile daha başarılı sonuçlar alınabileceği belirtilmiştir (Slaughter ve ark., 2008). Bu tür uygulamalar yabancı ot mücadelesinde sürdürülebilir olduğu gibi ekonomik ve iş gücünden de tasarruf sağlamaktadır.

Günümüze gelindiğinde teknolojinin hızla gelişmesi ve tarım sektörü ile entegrasyonu, yabancı ot kontrolü dahil üzere birçok tarımsal soruna ekonomik ve pratik çözümler sunmaktadır. Üretimde önemli işgücü ve maliyet isteyen yabancı otların mücadelesinde teknolojiye yaşanan gelişmeler entegre edilerek yeni teknikler geliştirilmektedir. Bu tekniklerden biri de yabancı ot mücadelesinde kullanılan yapay zeka tabanlı otonom sistemlerdir. Yabancı otların kontrolünde çeşitli otonom sistemleri kullanılmakta olup, bunlardan birisi de yapay zekâ destekli robotları oluşturmaktadır. Tarım arazilerinde yabancı otlarla mücadelede robotların kullanımı, iş gücü, toprak işleme ve herbisit kullanımını azaltarak üretimde sürdürülebilirliği sağlamaktadır. Ayrıca, yabancı otların kontrolünde başarı açısından daha verimli bir yaklaşım olarak öngörülmektedir. Ancak robotların ilk kurulum aşaması maliyetli olsa da üretim alanlarında yabancı ot mücadelesinde kullanılan iş gücü ve girdilerin maliyetleri ile kıyaslandığında daha ekonomik olabileceği tahmin edilmektedir.

(Ataş ve Alhajahmad, 2023). Ayrıca son yıllarda organik tarım, hassas tarım ve sürdürülebilir tarım gibi doğa dostu yaklaşımlara olan talebin artması, ihracatta kalıntı ve toksik madde nedeniyle oluşan dış pazar sorunları ve üretimde önemli verim kayıplarına neden olan yabancı ot sorununa çözüm üretecek mücadele robotlarının, gelecekte tarım sektörüne çok daha fazla katkı sağlayacağı öngörülmektedir (Çolak ve Işık, 2021).

3. Yabancı Otların Tarla İçerisindeki Dağılımları

Tarım alanlarında tekrarlı yapılan toprak işleme, gübreleme ve pestisit kullanımı gibi uygulamalar üretim alanlarının zayıflamasına ve habitat bozulmalarına yol açtığından adaptasyon kabiliyeti son derece yüksek olan yabancı otların gelişim ve yayılması için uygun koşullar oluşturmaktadır (Önen ve Özer, 2001). Nitekim aynı tarlada dahi toprak özellikleri, nem ve sıcaklığın mesafeye bağlı olarak değiştiği yani heterojen bir durum gösterdiği bilinmektedir (Günel ve ark., 2015). Bu değişkenlik toprak fonksiyonlarının yanı sıra yabancı otların dağılımlarının farklılaşmasına neden olmaktadır (Almekinders ve ark., 1995). Zira yabancı otların genel olarak tarla içerisinde dağılımlarındaki değişkenlik çoğu zaman çıplak gözle dahi görülebilmektedir (Önen ve Özer, 2001).

Yabancı otların kontrolünde özellikle kimyasal mücadele tarla içerisindeki bu heterojen dağılım dikkate alınarak tüm tarla yüzeyi yerine sadece yabancı otların popülasyon oluşturduğu veya ekonomik zarar eşiğinin üzerine çıktığı alanlarda uygulanması herbisit kullanımını büyük oranda azaltacaktır (Önen ve Özer, 2001). Nitekim yabancı ot popülasyonlarındaki bu değişkenlikler dikkate alınarak geliştirilen alana özgü yabancı ot kontrol yöntemleri çevresel riskleri ve ekonomik maliyetleri azalttığı gibi zamandan da büyük bir tasarruf sağlamaktadır. Zira geliştirilen ve traktör üzerine monte edilmiş gerçek zamanlı yabancı ot tespiti ve kontrol teknolojisinin, tarım alanlarında otomatik seçici ilaçlama konseptinin ekonomik ve çevresel maliyetleri azaltma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Thompson ve ark., 1991). Tarımsal ekosistemde bu tür robotiklerin kullanılması, zirai kimyasallara olan mevcut bağımlılığı azaltarak, çevre kirliliği ve yabancı ot dayanıklılık problemlerini azaltacak ve tarımsal sürdürülebilirliğe önemli katkılar sunacaktır. Ayrıca son yıllarda yapay zekâ destekli geliştirilen otonom

lazer robotikler, herbisit kullanılmayan organik ve hassas tarım sistemlerinde yabancı ot kontrolü için giderek yaygınlaşmaktadır (Zhang ve ark., 2022).

4. Robotiklerin Kullanım Trendinin Artması

FAO'nun verilerine göre dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 10 milyara ulaşması beklenmektedir. Bununla birlikte, gereksinin duyulan gıda ihtiyacını karşılamak için gıda verimliliğinin %70 oranında artması gerektiği belirtilmiştir (Radoglou-Grammatikis ve ark., 2020). Ayrıca, dünya genelinde milyonlarca insanın güvensiz gıda riski altında olduğu, bundan kaynaklı milyonlarca kişinin hastalandığı ve yılda yüz binlerce kişinin hayatını kaybettiği bildirilmiştir (Fung ve ark., 2018). Bu durum, gıda endüstrisinin kaynağı olan tarımda daha yüksek gereksinimlere işaret etmektedir. Ancak, tarım arazilerinin azalması, mevcut iş gücü kaybı, iklim değişikliği ve yabancı ot gibi çözülmesi gereken birçok önemli sorun bulunmaktadır (Kogo ve ark., 2021; Berthet ve ark., 2021).

Bu çerçevede tarım ekosisteminde ciddi verim kayıplarına neden olan ve mücadele edilmesi gereken en önemli konulardan birisi yabancı otlardır (Özer ve ark., 2001). Dünyada, tarımsal üretimde kullanılan en yaygın pestisit grubun yabancı otların mücadelesinde kullanılan herbisitler, aşırı kullanılmasıyla en fazla kaynak israfına ve çevre kirliliğine de neden olmaktadır (Rani ve ark., 2021). Bu nedenle, herbisit kullanımını azaltan alternatif yabancı ot kontrol yöntemlerine olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Nitekim yabancı otların kontrolünde gerçek zamanlı görüntü algılamaya dayalı robotiklerin tasarlanması, özellikle de yabancı otların erken dönemde tespiti ve kontrolü altına alınması kültür bitkisi ile rekabeti açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla son yıllarda teknolojinin tarımla entegrasyonu güncel teknolojilerden sayılan otonom araçların (yani robotların) üretim alanlarında insan müdahalesi olmadan yabancı otlar ile mekanik veya kimyasal yöntemlerle kontrol edilmesini mümkün kılmaktadır. Zira robotik araçlar yabancı otların kontrolünde insan gücü yerine teknolojiyi ikame ederek doğa ve tarımsal alanların daha az kirlenmesinin yanında, yabancı ot kontrolünü kolaylaştırarak üreticinin girdi maliyetlerini de düşürebilmektedir. Bu amaçla geliştirilen ve farklı özellikler ile donatılmış insansız hava ve kara araçları üretim açısından büyük bir sorun olan yabancı otların kontrolünde teknolojik bir hamle olarak görülmektedir (Michaels ve ark., 2015; Grimstad ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2022).

Tarımsal sürdürülebilirliği artırmak ve ekolojik bozulmaların önüne geçmek için diğer yabancı ot mücadele yöntemlerine göre daha spesifik uygulama yapabilen robotiklerin kullanılması kimyasal yöntemlere kıyasla daha çevreci bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Nitekim robotik teknolojisi, tarımda herbisitlere olan mevcut bağımlılığı azaltmanın yanı sıra, üretimde sürdürülebilirliği ve çevresel etkilerin azaltılması noktasında oldukça etkili bir yöntemdir (Slaughter ve ark., 2008). Robotik sistemlerde GPS (navigasyon) ve görüntü işleme sistemleri entegreli olduğunda azaltılmış iş gücü ve hedef odaklı herbisit kullanıldığı için çevreci bir yabancı ot mücadele yaklaşımı olarak değerlendirilebilir. Ayrıca aşırı toprak işlemenin azaltılması ve hedef dışı canlıların daha az etkilenmesi ekosistem biyoçeşitliliği ve sürdürülebilirliği açısından olumlu bir adım olacaktır.

Tarımsal ekosistemde robotik teknolojilerin kullanılması yabancı ot popülasyonlarının kültür bitkisinin verimini etkilemeyecek bir seviyede (ekonomik zarar eşliğinin altında) tutmak için hem etkili bir yöntem hem de çevreci bir yaklaşımdır. Dolayısıyla dünyada yabancı otlarla mücadelede hali hazırda kullanılan farklı çalışma (işleme) tekniklerine sahip çeşitli robotik tasarımlar mevcuttur (Kushwaha ve ark., 2016; Michaels ve ark., 2015; Grimstad ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2022).

5. Robotiklerin Çalışma Tekniği

Robotikler, otonom ya da kumanda edilen, sensörleri ve elektronik donanımlar ile kombine edilmiş elektronik, mekanik ve sibernetik yapılardan oluşan yapay sistemlerdir (Çamoğlu 2015). Teknolojinin gelişmesi ile yaşamın her alanına giren robotik araçlar tarım sektöründe de giderek yaygınlaşmaktadır. Nitekim son yıllarda özel sensörler (endüstriyel RGB ve derinlik kameraları, GPS, RTK, lazer tabanlı cihazlar), aktüatörler (hidrolik silindir, doğru akımda çalışabilen fırçasız elektrik motorları), elektronik ekipmanların (gömülü bilgisayarlar, endüstriyel PC ve PLC) ve yapay zekâ destekli birçok otonom sürüş yazılımlarının, özellikle tarımsal robotlarının entegrasyonunda kullanıldığı göze çarpmaktadır (Özgüven ve ark., 2016). Bu nedenle otonom tarım robotlarının gelişmesiyle, gelecekte tarım sektörünün hemen hemen her aşamasında (ekim, gübreleme, ilaçlama ve hasat gibi) yer alacağı öngörülmektedir.

Tarım robotları, genel olarak arazideki bitkilerden topladığı imgeleri (renk, şekil, doku vb) bir yapay zeka destekli algoritmada işleyerek gerekli yanıtı oluşturup eyleycilerine uygulama prensibine dayanmaktadır (Pérez-Ortiz ve ark., 2016). Bu çalışma tekniği ile geliştirilen robotlar yabancı ot ve kültür bitkisindeki farklılıkları algılayan bilgisayar tabanlı yazılım (yapay zeka) sistemleri, elektronik donanımlar, mekanik veya kimyasal püskürtme parçalarıyla dizayn edilmiş tam otomatik araçlardır (Guijerro ve ark., 2011).

Sahaya özgü yabancı ot yönetim sistemleri (robotikler), yabancı otların kontrolünü 4 farklı aşamada değerlendirerek gerçekleştirir;

Veri toplama: Sahada optik sensörler kullanılarak kültür bitkisi ve yabancı otların görüntülerinin alınması

Saha tespiti: Yabancı otları uygun sensörler aracılığıyla tespit ederek konum, alan ve tür gibi gerçek zamanlı veriler sağlayarak yabancı ot türlerinin haritasını oluşturmak.

Yabancı otları temizlemek: Uygun yöntemlerle (mekanik çapalama, püskürtme, alvleme, lazerle yakma vb.) istenmeyen yabancı otları imha etmek.

Değerlendirme: Yabancı ot temizleme etkisini değerlendirerek sonraki çalışmalar için dönüt ve bilgi dağarcığı oluşturmak.

Sahada yabancı ot tespiti, sonraki prosedürler için gerekli bilgi akışını sağladığı ve üst yabancı ot temizleme etki sınırını belirlediği için harita tabanlı yabancı ot yönetimi (SSWM) oldukça önemlidir. Ancak ilk çalışmalar, farklı ışık spektrumlarının ve basit görüntü işleme tekniklerinin etkinliği ve güvenilirliğine odaklansa da, sensörlerin, hesaplama gücünün ve algoritmaların gelişmesiyle, son yıllarda yabancı otların tespitinde özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme tekniklerine dayanan çeşitli atılımlar yaşanmaktadır (Ataş ve Alhajahmad, 2023). Ayrıca kültür bitkilerini yabancı otlardan ayırt etmek için, yabancı ot dağılımındaki desenleri tanımak ve yabancı otların kenarlarını/sınırlarını belirlemek için bir modeli öğretmek amacıyla birden fazla bitki görüntüsü işlenerek kullanılmaktadır (Zhang ve ark., 2022). Özellikle son yıllarda farklı uzmanlık alan bilgilerinin (Ziraat mühendisliği, Elektronik mühendisliği, Bilgisayar mühendisliği ve Kimya mühendisliği) bir arada kullanılması ile geliştirilen otonom robotik araçlara önce herbisit daha sonra da lazer destekli olmak üzere farklı araçlar eklenmiştir.

6. Tarımda Robotiklerin Kullanılması

Tarım 3.0 dönemi olarak da ifade edilebilen “hassas tarım”, bilgisayar ve elektroniğin tarıma entegrasyonu sonucunda hayatımıza giriş yapmıştır (Amand ve ark., 2019). Daha sonra tarımsal dijital dönüşüm ile Tarım 4.0 olarak tanımlanan yani bir dönem olarak devam etmiştir (Dayıoğlu ve Turker, 2021). Otonom sistemlerin yabancı otların mücadelesinde kullanılması gerek teknolojik alt yapısı gerekse de kullanımın benimsenmesi açısından uzun bir süreç olabilir (Blackmore, 2009). Ancak son yıllarda teknolojiye yaşanan hızlı gelişmeler (insan iş gücüne dayanmayan, ekonomik, küçük akıllı makineler vb.) ile birlikte insan sağlığı başta olmak üzere tarım ve doğal ekosistemde yaşanan değişimler, kimyasalların meydana getirdiği tahribatlar ve en önemlisi de gelecekte insanların gıda talebinin karşılanması için üretimde sürdürülebilirlik adına akıllı robotik sistemlerin daha da yaygınlaşması beklenmektedir. Robotikler farklı tarım sistemlerinde (tarla, bahçe ve sera gibi) geniş bir kullanım alanına sahiptir. Nitekim yabancı otlar dahil olmak üzere farklı tarımsal işlemlerde (ekim, hasat vb.) robotiklerden faydalanabildiği belirtilmektedir (Lee ve ark., 1999; Van Henten ve ark., 2003; Hamner ve ark., 2011; Xue, J. ve ark., 2012) .

7. Yabancı Ot Mücadelesinde Robotik Dönemler

Üretimde yabancı ot mücadelesi, verimi artırma amacıyla zorunlu olarak kullanılan kimyasalların aşırı kullanılması ciddi tarımsal ve çevresel sorunlara neden olduğundan, bu dezavantajları minimize eden sahaya özgü yabancı otların tespit edebilen ve kontrol altına alabilecek teknolojilere gereksinin duyulmaktadır. Bu amaçla, yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etme kabiliyetine sahip insansız hava araçları (İHA) ve diğer robotlar geliştirilerek üretim alanlarında hedef bitki (yabancı otlar) odaklı bir mücadele yöntemi sunulmaktadır (Khan ve ark., 2021). Nitekim robotiklerin üretim alanlarında kültür bitkilerine zarar vermeden yabancı otları kontrol altına almak, uzaklaştırmak ve gelişimini engellemek için alternatif bir yöntem olarak düşünülmüştür. Bu nedenle yabancı otlara yönelik ilk kullanım bitki teşhisleri için arazideki bitki örtüsü incelenerek yabancı otların tanımlanması, yoğunlukları ve renk özelliklerinin belirlenmesi için görüntü işleme tekniğinden faydalanılmıştır (Armstrong ve ark., 2007; Peña ve ark., 2013; Sabancı ve Aydın, 2014; Demir ve ark., 2016). Görüntü işleme teknolojisinin

gelişmesiyle arazide kültür bitkisi ve yabancı ot ayrımı daha da kolay olmaya başlamıştır (Lottes ve ark., 2017). Görüntü işleme ve sensörlerle algılanan bitkilerin konumları belirlenerek kaydedilen verilerden haritalar oluşturulabilmektedir (Özgüven ve ark., 2016). Yabancı otların görüntü alma ve işlemenin (yani teşhis) bir sonraki adımı olan kontrolüne yönelik olarak mekanik mücadele, seçici (mikro) püskürtme, mikrodalga, elektrik akımı, lazerle mücadele gibi farklı yöntemler geliştirilmesiyle devam etmiştir (Brodie, 2018; Liu ve Bruch, 2020; Machleb ve ark., 2020; Sahin, 2020; Coleman ve ark., 2021; Ataş ve Alhajahmad, 2023).

Tarım ekosisteminde yabancı ot teşhis ve mücadelesinde kullanılan robotikler detaylı olarak literatür çalışmaları aşağıda özetlenerek verilmiştir;

İnsansız hava araçların (İHA)

İnsansız hava araçlarına görüntü işleme teknikleri entegre edilerek tarımsal alanlarda yabancı otların tespit edilmesi küresel düzeyde giderek yaygınlaşmaktadır (Rahman ve ark., 2015; Şin ve Kadioğlu, 2019). Nitekim İHA'dan yararlanılarak ve çeşitli görüntü işleme teknikleri kullanılarak yabancı otların tanımlanması ve yoğunlukları tespit edilebilmektedir (Dasgupta ve ark., 2020; Luiz Carlos ve Ulson, 2021). Yabancı otlar kameralar aracılığıyla şekil, renk, doku gibi özelliklerinin algılanması tespit için oldukça önemlidir. Laboratuvar ortamında yapılan bir çalışmada hedef bitkilerin özelliklerine göre sınıflandırılmasında spektral ve renkli görüntüleme sağlayan iki farklı tespit ve sınıflandırma tekniği kullanılmıştır. Bu iki tekniğin avantaj ve dezavantajlarının olduğu belirtilse de spektral yöntemin renkli görüntüleme yöntemine göre daha başarılı olduğu, yabancı ot tespit ve sınıflandırılmasında % 97.6 oranında bir tanımlama başarısı gösterdiği rapor edilmiştir (Komi ve ark., 2007).

Bu robotik araçlara ilaçlama haznesi eklenerek genel kaplayıcı ilaçlamalar yapıldığı gibi sıra arasında dağılım gösteren yabancı otlar görüntü işleme teknikleri kullanarak tespit edilmesi ve değişken düzeylerde herbisit uygulaması yapılabilmektedir. Sabancı ve Aydın (2014)'te yapmış oldukları bir çalışmada sıra arası görüntü işleme ve herbisit uygulama çalışmasında %55.22'lik bir ilaç tasarrufu sağlanabileceği belirtilmiştir. Bir diğer çalışmada ise robotiklerin bazı otomasyon kaynaklı zorlukları olmasına rağmen klasik yabancı otlara göre yabancı ot mücadele maliyetini %20 oranında

azaltabildiğinden sürdürülebilir ve ekonomik bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Pedersen ve ark., 2006). Hohenheim Üniversitesinde geliştirilen ISAAC-2 tarım alanında zamanında ve doğru bilgi toplamak üzere tasarlanmış bir prototip, GPS ile yönlendirilmesi yapılarak otomatik olarak ürün incelemesi sağlamak için kullanılan ve bitki besin durumu, stres faktörleri, yabancı ot yoğunluğunun ve teşhisinin yapılabildiği robotik bir sistem tasarlanmıştır (Bak ve Jakobsen, 2004; Kushwaha ve ark., 2016). Benzer bir çalışmada şeker kamışı alanlarında yapılan yabancı ot tespit çalışmasında görüntü işleme tekniği kullanılarak geliştirilen “Raspberry Pi” sisteminde şeker kamışı ve 9 yabancı ot türü 15 gün, 1 ay ve 3 ay olmak üzere farklı dönemlerde görüntüleri alınmıştır. Çalışma sonucunda oluşturulan sistemle yabancı ot teşhisleri %90’lık bir başarı ile gerçekleştirilmiştir (Sujaritha ve ark., 2017).

Otonom çapa makinası

Çapalama, kültürel yetiştiricilikte yabancı ot mücadelesinde önemli girdi kaynaklarından biri olan ve insan iş gücüne dayalı elle yolma veya mekanik araçlarla yapılan çapalama işlemidir (Özer ve ark. 2001). Özellikle az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde yabancı otlar dahil olmak üzere tarımsal faaliyetlerin büyük çoğunluğu insan iş gücü ile yapılmaktadır. Ancak sanayi ve teknolojik gelişmelerle birlikte tarım sektöründe insan iş gücüne ikame edecek makineler, yabancı ot mücadelesinde kimyasal ilaçlar, tarım makineleri vb. birçok yenilikler kullanılmaya başlanmıştır. Makineleşme ve kimyasal ilaçların aşırı ve bilinçsiz kullanılması nedeniyle tarım ve doğa ekosistemlerinde bozulmalar meydana gelmiş, tarımsal sürdürülebilirliği sekteye uğratmıştır. Bu durum doğa dostu olan ve giderek daha da popüler hale gelen organik tarım, ekolojik tarım ve sürdürülebilir tarım gibi makineleşme ve kimyasal girdi kullanımının yasak olduğu yeni üretim sistemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ancak bu tarım sistemlerinde kimyasal ilaç kullanılmadığında özellikle yabancı otlarla mücadelede neredeyse tek seçenek olarak görülen elle yolma/çapalama ile temizlenmektedir (Önen, 2010).

Ancak tarımdaki iş gücünün azalması, çalışma maliyetlerinin artması, kültür bitkisine zarar verilmesi ve çoğu zaman yetersiz kalması gibi sebepler, yabancı ot mücadelesinde özellikle sıralı ekimlerde yeni alternatif arayışların önünü açmıştır. Özellikle modern ve konvansiyonel tarım sistemlerinde yabancı otlarla mücadelede herbisitlere alternatif olarak geliştirilen akıllı çapa

aletleri, sıra arası ve üzeri hedef yabancı otlara odaklanarak, spesifik çalıştığında kültür bitkisine daha az zarar vermekte ve daha ekonomik olabilmektedir. Bu nedenle dört veya altı tekerli olmak üzere geliştirilen MF-Scamp robotlar, genel olarak kültür bitkilerinin sıra arası ve üzeri yabancı otlarının temizlemek amacıyla tasarlanmıştır (Alexandratos ve Bruinsma, 2015). Bu akıllı çapa araçları, yabancı otları bulmak ve tanımak için görüntü ve renk sensörü kullanarak alandaki yabancı ot haritası yardımıyla yabancı ota doğru yönelerek çapalama işlemini gerçekleştirmektedir. Örneğin, üretimde sıra arası yabancı otlarla mücadele amacıyla geliştirilen bulanık mantık algoritmali ve elektronik olarak kontrol edilebilen yabancı ot çapalama makinası (bıçaklı) geliştirilmiştir (Kumar ve ark., 2020). Ayrıca akıllı robotlar toprak yapısını fazla bozmadığı gibi tarımsal sistemlerde işçilik, traktör ve herbisit kullanımını büyük oranda azaltarak, maliyetleri büyük ölçüde düşürmektedir (Kushwaha ve ark., 2016). Daha sonra geliştirilen yeni versiyonlarda daha yüksek hareket kabiliyeti, çalışma hızı ve saati gibi birçok yeni özellikler geliştirmiş ve entegre edilmiştir (Bak ve Jakobsen, 2004; Billingsley ve ark., 2008; Fennimore ve ark., 2016; Pérez-Ortiz ve ark., 2016; Vikhram ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2022).

Örneğin, organik tarımda robotik sistem kullanılarak kültür bitkisinin erken döneminde yabancı ot rekabetini ortadan kaldırmak amacıyla, sisteme entegre edilen iki kamera ve taşınabilir yönlendirici mekanizmalı bir sistem kurulmuştur. Çalışmada geliştirilen “Bonirb” sistemi arazide yabancı otlarla sıra arası ve sıra üzeri olmak üzere mücadele yapılabilmektedir. Ancak çalışma sonucunda sıra arası mücadelede çok detay oluşturmadığı ancak sıra üzeri yabancı ot mücadelesinde kültür bitkileri tanıyıp ayırt edecek bir görüntü tabanlı bir sisteme ihtiyaç olduğu belirtilmiştir (Garford, 2014).

Herbisit destekli otonom robotlar

Tarım alanlarında yabancı otlarla mücadelede en yaygın kullanılan yöntemlerden biri kimyasal mücadeledir. Ancak geleneksel tarım sistemlerinde, üretici herbisit uygularken, genelde tarlanın tamamını dikkate alan bir uygulama ile yapmaktadır. Bu durum daha fazla kimyasal ilaç kullanılarak girdi maliyetlerini arttırmakla beraber ekolojik bozulmalara (hedef dışı canlılara, atmosfere ve toprağın kirlenmesi), kültür bitkilerinde fitotoksik ve kalıntı sorunlarının yanı sıra son yıllarda üretim alanlarında daha sık

karşılaşmaya başlandığı herbisit dayanıklılığı gibi birçok soruna da neden olmaktadır (Mengüç, 2018). Nitekim daha önce de belirtildiği gibi tarlada yabancı ot tür ve dağılışları homojen bir dağılım göstermediğinden, geleneksel herbisit uygulamalarına nazaran hedef yabancı otlar dikkate alınarak bölgesel ilaçlama yöntemlerinin benimsenmesinin hem ekolojik, hem de ekonomik olarak daha sürdürülebilir olduğu belirtilmiştir (Önen ve Özer, 2001).

Bu çerçevede tarımsal mekanizasyonda yaşanan gelişmeler üretime yeni ivmeler kazandırmış olsa da yabancı ot mücadelesinde hedef yabancı ot tür veya türlerine yönelik bölgesel veya lokal ilaçlamada istenilen düzey henüz yakalanmış değildir. Nitekim teknolojinin gelişmesi ve farklı bilim dallarının tarım sektörüne entegrasyonu ile birlikte özellikle yabancı otların mücadelesinde yeni bir safha olan akıllı yabancı ot kontrol sistemlerin geliştirilmesinin önü açılmıştır. Bu yöntem lokal veya bölgesel ilaçlamadan ziyade direk hedef yabancı ot üzerine herbisit uygulayan otonom bir sistemle kontrol edilmektedir. Bu mücadele yönteminde erişimli sinir ağına dayalı derin öğrenme modeli kullanılarak sahada yabancı otların otomatik olarak tanımlanması ve ardında akıllı bir sistem aracılığı ile herbisit püskürterek mücadele edilmesi mümkün olmaktadır (Tan ve ark., 2020; Jabir ve Falih, 2022). Bu akıllı yabancı ot kontrol yöntemleri ile daha az kimyasalla ekolojik ve ekonomik yarar sağlandığı gibi yabancı otların herbisitlere karşı direnç oluşturmasının da önüne geçilebilir. Bugün gelişmiş ülkeler başta olmak üzere dünyanın birçok bölgesinde akıllı robotlar üretim alanlarında yabancı ot mücadelesinde aktif olarak kullanılmaktadır (Vikhram ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2022). Zira geliştirilen bu robotik sistemlerin yabancı ot haritaları oluşturmakla birlikte doğru herbisit karışımı ile hedefe yönelik püskürtme tekniği herbisit kullanımını %30 ile %75 arasında azaltabileceği belirtilmiştir (Bak ve Jakobsen, 2004; Billingsley ve ark., 2008; Kushwaha ve ark., 2016).

Lazer destekli otonom robotlar

Yabancı ot kontrolü, genellikle herbisitler ve mekanik yabancı ot temizleyiciler aracılığıyla gerçekleştirilen temel tarımsal uygulamalardır. Ancak herbisit kullanımı, herbisite dirençli yabancı otların artmasına ve çevrenin istenmeyen şekilde kirletilmesine neden olmaktadır (Desquilbet ve ark., 2019). Aynı şekilde mekanik yabancı ot kontrolü, faydalı organizmalara zarar vermesi, toprağın organik madde yapısının bozulması ile birlikte toprakta

nem çıkışını arttırarak kuruması ve yabancı ot tohumlarının daha fazla çimlenmesinin teşvik edilmesi gibi birçok dezavantajı da içinde barındırmaktadır (Andreasen ve ark., 2022). Nitekim yapılan çalışmalarda mekanik yabancı ot kontrol yöntemlerinin, toprak yüzeyinde avcı böcekler ve toprak içerisinde solucanlar gibi faydalı organizmalara zarar verdiği belirtilmiştir (Tamburini ve ark., 2016; Sharma ve ark., 2017). Bunların yanı sıra toprak erozyonu ve bitki besin maddelerinin sızması riskini arttırarak, toprak organik maddesinin gereksiz mineralizasyonunu teşvik etmekte ve sınırlı nem içeriğine sahip toprakların kurumasına neden olduğu da rapor edilmiştir (Cloutier ve Leblanc, 2001). Bunun yanı sıra, traktör gibi ağır makineler, toprak sıkışmasına sebep olduğu ve bu sıkışma nedeniyle kök solunumu için gerekli olan topraktaki oksijen seviyesini düşmesiyle, toprakta yaşayan mikroorganizma habitatının bozulmasına ve daha fazla yabancı ot çimlenmesine neden olduğu belirtilmiştir (Tran ve ark., 2023). Ayrıca bir diğer mekanik mücadele yöntemi olan alevle yabancı ot kontrolü büyük miktarda gaz gerektirdiği için ve CO₂ salınımı içeren bir yaklaşım olması nedeniyle uzun vadede çevresel olarak sürdürülebilir bir yöntem olmadığı rapor edilmiştir (Sivesind ve ark., 2009).

Dolayısıyla yabancı otların kontrolüne yönelik uygulanan bu yöntemlerin olumsuz çevresel etkileri nedeniyle küresel düzeyde yeni alternatif çözümler geliştirilmekte ve benimsenmektedir. Özellikle teknolojinin tarım sektörüne entegrasyonu ile ortaya çıkan son teknik gelişmelerin ardından, otonom lazer tabanlı yabancı ot mücadele sistemi (ALWS), artık sürdürülebilir yabancı ot kontrolü için potansiyel bir çözüm sunabileceği rapor edilmiştir (Tran ve ark., 2023). Geliştirilen bu sistemde lazer ışınları elektrige dayalı bir sistem olduğundan ihtiyaç duyduğu elektrigi güneş enerjisinden elde etmektedir. Ayrıca sistemde bilgisayar destekli derin öğrenme yöntemleri ile yabancı ot ve kültür bitkilerinin tanımlanarak, hedefe yönelik lazer enerjisinin robotik aktüatörler yardımıyla uygulandığı belirtilmiştir. Sistem lazer ışınlarını kullanarak hedefe yönelik çalışma prensibi, yabancı otların kontrolü için maruz bırakılan alan, yaygın olarak kullanılan diğer yabancı ot mücadele yöntemlerine nazaran önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu durum, hedef dışı organizmaları etkileme riskini en aza indirdiği gibi toprağa dokunulmadığı için yabancı ot tohumlarının daha fazla çimlenmesi önlenerek yeni çıkışların da önüne geçilmektedir (Andreasen ve ark., 2022).

Zira etkili ve ekonomik bir yabancı ot kontrolü, yüksek verim elde etmek için oldukça önemlidir. Ancak bunu yaparken çevreyi olumsuz etkilemeyecek bir yöntem benimsenmelidir (Kudsk ve Streibig, 2003). Bu bakış açısıyla lazer destekli robotlar kullanılarak mevcut yabancı ot kontrol yöntemlerini tamamlayacak veya değiştirecek yeni teknikler geliştirme ihtiyacı bulunmaktadır (Xiong ve ark., 2017; Andreasen ve ark., 2018; Bitarafan ve Andreasen, 2020). Bu bakış açısıyla geliştirilen lazer tabanlı işlem, fiziksel bir yabancı ot kontrol yöntemi olarak sınıflandırılır (Young ve Pierce, 2014). Birçok teknik çalışma, lazer ışınlarının yabancı otların kontrolünde potansiyel kullanımını incelemiştir. Bu yaklaşımda lazer ışınları seçilen hedef noktalara (yabancı ot) yüksek yoğunlukta enerji iletilerek uygulanmaktadır. Dolayısıyla lazer ışını, hedef yabancı ota yönlendirilerek ve bitki dokusunu ısıya maruz bırakarak, bitkinin zarar görmesine veya öldürerek etkisiz hale getirmesine neden olmaktadır (Heisel ve ark., 2002). Yapılan bir çalışmada lazer ışınının yabancı ot saplarını kesebileceğini ve böylece bitkilerin meristemlerinin altında kesildiğinde dikotiledon bitkilerinin tekrar büyümesini engelleyebileceği tespit edilmiştir (Heisel ve ark., 2001). Bu teknik çalışmada enerji tüketimini azaltmak veya sınırlamak için hedef yabancı otun tanımlanması temel esas olarak düşünülmektedir. Daha sonra geliştirilen robotlara yapay zeka temelli tanıma araçları entegre edilerek, üretim alanlarında yabancı otları kültür bitkilerinden gerçek zamanlı olarak ayırt etmekte mümkün olmuştur (Wang ve ark., 2019; Rakhmatulin ve ark., 2021). Gelişmiş robotik sistemlerde meristem doku, yüksek çözünürlüklü kameralar kullanılarak tespit edilebilirken, konumlandırma hassas lazer tarayıcılar tarafından yönlendirilmektedir. Bu çalışma prensibine sahip otonom lazer destekli robotiklerin yabancı ot kontrolüne yönelik araştırmalar son zamanlarda artmış ve açık alanlarda çalışabilen farklı versiyonların geliştirildiği belirtilmiştir (Kushwaha ve ark., 2016; Ataş ve ark., 2023). Ancak halihazırda yabancı ot mücadelesinde yaygın olarak kullanılan bir otonom robotik ürün piyasada yer almamıştır.

Lazer destekli otonom robotikler, yabancı ot kontrolünde ekonomik açıdan diğer yabancı ot kontrol yöntemleri ile rekabet edebilir hale gelebilir ve belki de yaygın olarak kullanılan (fiziksel, mekanik, kimyasal vb.) kontrol yöntemlerini değiştirmek veya tamamlamak için bir alternatif sunabilir (Machleb ve ark., 2020; Andreasen ve ark., 2022; Ataş ve Alhajahmad, 2023). Yabancı otların mücadelesine yönelik yapılan çalışmalarda; karbon dioksit

lazeri (CO₂ lazer) (Heisel ve ark., 2001, 2002), diyot lazer (Wöltjen ve ark., 2008) ve fiber lazer (Kaielerle ve ark., 2013; Coleman ve ark., 2021) olmak üzere üç farklı lazer türü kullanılmıştır. Ancak her bir lazer türünün kullanıldığı enerji ve hedef bitki üzerindeki etkileri değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle hem CO₂ hem de fiber lazer tipli robotiklerde ışık enerjisi bitkide yoğun bir şekilde emildiği için ölümcül hasarlara neden olabilmektedir (Gates ve ark., 1965). Ancak, CO₂ lazerden gelen enerji bitki yüzeyinde doğrudan emildiğinde en yüksek yoğunlukta enerji birikimi sağlamaktadır. Fiber lazer türünde ise gelen enerji çoğunlukla bitki içindeki su tarafından emilerek daha geniş bir alanı ısıtmaktadır. Bu iki yöntem kıyaslandığında yabancı ot kontrolü için 2 µm dalga boyunda ışın yapan tulyum katkılı fiber lazerin daha faydalı olduğu tespit edilmiştir. Çünkü radyasyon sadece bitkinin yüzeyinde emilmez, epidermisine nüfuz ederek etkisini göstermektedir (Wieliczka ve ark., 1989). Zira bu tür çalışmalarda lazer türünün yanı sıra lazer uygulamasının yabancı ot kontrolündeki etkinliğinin farklı belirleyicileri olduğu da belirtilmiştir (Mathiassen ve ark., 2006). Araştırmalarda, dalga boyu, maruz kalma süresi, lazer gücü ve leke boyutu gibi uygulamaların kritik olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, lazer ile yapılan uygulamalarda etkinliği kültür bitkisi ve yabancı ot türleri arasından da değişebildiği rapor edilmiştir (Tran ve ark., 2023). Örneğin, Rakhmatulin ve Andreasen (2020), tarafından geliştirilen bir prototip robot ile farklı lazer ışın güçlerini uygulayarak yabancı otlar üzerindeki etkisi incelenmiş ve 5 watt'lık lazer ışınlarının yabancı otları etkili bir şekilde öldürdüğü saptanmıştır. Ancak, bu güçteki ışınların, yabancı ot kontrol sürecine bölündüğü zaman veya sapsması durumunda aynı zamanda kültür bitkilerine de zarar verebilir olduğu belirtilmiştir.

Genel olarak, akıllı robotların yabancı ot mücadelesindeki başarı oranı kültür bitkisi, yabancı ot türüne, bitki yoğunluğuna, uygulama dönemine ve çevre koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ancak sürekli gelişen teknoloji ile birlikte robotlarla ilgili araştırmalar da artarak devam etmektedir. Bu araştırmalarda birçok olumsuz yönler iyileştirilmiş ve yeni teknikler eklenmiş olsa da bu tür teknolojilerin sosyo-ekonomik yönlerini tam olarak bilinmediği için başarı düzeyleri net olmadığı söylenebilir.

Sonuç

Kültür bitkileri arasında gelişen ve önemli verim kayıplarına neden olan yabancı otların kontrolü, sürdürülebilir tarım açısından elzem bir durumdur. Dünyada yabancı otlarla mücadelede farklı teknikler (kültürel, mekanik, fiziksel, kimyasal ve biyolojik uygulamalar) kullanılsa da çapalama (elle çıkarma) veya kimyasal uygulamalar en fazla başvurulan yöntemler olmuştur. Ancak yabancı otların kontrolünde kimyasalların aşırı ve hedef dışı kullanılması (tarlada genel ilaçlama yapması), insan ve çevre üzerinde bıraktığı olumsuz etkileri ve yabancı otlarda direnç geliştirmesi gibi dezavantajlar herbisit kullanmanın yabancı ot kontrolünde sürdürülebilir bir yöntem olmadığını göstermektedir. Bu nedenle tarla içerisinde heterojen bir dağılım gösteren yabancı otlarla mücadelede genel kapsayıcı uygulamalar (mekanik ve herbisit) yerine daha hassas, hedefe yönelik, işçiliğinin az ve kimyasal ilaç kullanımının azaltılacağı alternatif yöntemler geliştirilmelidir. Ayrıca arazide kültür bitkisi ve yabancı ot ayrımını yapabilen, yabancı otları teşhis edebilen, yoğunluğunu ve konumunu belirleyerek haritalandırabilen ve sadece hedef yabancı otları kontrol edilebilecek yöntemlere daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yönüyle yabancı otların mücadelesine yönelik çalışmalar teknolojinin gelişmesi ve tarıma entegrasyon, alternatif çözümler olan otonom robotikler ile ilgili ar-ge çalışmalarının önünü açmaktadır. Bu amaçla geliştirilen prototipler temelde teknik özelliklerine (görüntü işleme, derin öğrenme, güç kaynağı, mekanik başlıklar, herbisit püskürtme ve lazerli vb), arazideki manevra kabiliyetine, çalışma süresine, uygulama dönemine, uygulama dozuna ve uygulandığı yabancı ot türlerine göre farklı fonksiyonlar ve özellikler içermektedir. Nitekim teknolojik gelişmeler ve multidisipliner çalışmalar sonucunda ortaya çıkan otonom robotikler yabancı ot kontrolünde potansiyeli yüksek bir yöntem olarak düşünülmektedir. Zira yabancı ot mücadelesinde bilgisayar destekli elektronik sistem kurulu otonom robotların, mekanik veya hedef odaklı herbisit püskürtmeli platformlar geliştirilmiş ve neredeyse sorunsuz bir şekilde çalışabilmektedir. Ancak son yıllarda bu otonom araçlara lazer tabanlı versiyonların geliştirilmesi, arazi koşullarında robotun hareketleri programlanabilir ve izlenebilir olduğundan, yabancı otları tespit etme ve lazer ile daha kısa sürede işlem yapılabilme olanağını sağlayan yeni versiyonlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca, otonom robotiklerin teorik olarak 7/24 çalışabilir olması yabancı otların kontrolünde diğer kontrol

yöntemlerine nazaran daha yüksek başarı elde edebilir. Bu durumda otonom araç ve robotların tarım alanındaki paydaşları arasında popülerlik kazandırabilir.

Sonuç olarak, gelecekte en stratejik kaynaklar olan gıda/tarım, biyoçeşitlilik, temiz su ve yenilenebilir enerji vb. olduğu düşünüldüğünde, sürdürülebilir bir tarımsal kalkınmayı gerçekleştirmek için geleneksel tarım uygulamalarında, aşırı ve bilinçsiz girdi kullanılmasından vazgeçilmesi veya minimize edilmesi adına yabancı otlarla mücadelede daha etkin olabilecek otonom robotların kullanılmasının yaygınlaştırılması önemli olacaktır.

Kaynaklar

- Ager, B.K. (2010). Roman agricultural magic. PhD dissertation, The University of Michigan, USA.
- Alexandratos N., Bruinsma, J. (2015). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. FAO Agricultural Development Economics Division.
- Almekinders, C. J., Fresco, L. O., Struik, P. C. (1995). The need to study and manage variation in agro-ecosystems. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 43(2), 127-142.
- Alhajahmad, B., Ataş, M. (2023). Enhancing Prediction Accuracy through Normalization Techniques: Practical Insights from MLP Neural Network. *AS-Proceedings*, 1(1), 290-295.
- Amend, S., Brandt, D., Di Marco, D., Dipper, T., Gässler, G., Höferlin, M., ... Winkler, J. (2019). Weed management of the future. *KI-Künstliche Intelligenz*, 33(4), 411-415.
- Andreasen, C., Bitarafan, Z., Fenselau, J., Glasner, C. (2018). Exploiting waste heat from combine harvesters to damage harvested weed seeds and reduce weed infestation. *Agriculture*, 8(3), 42. doi: 10.3390/agriculture8030042
- Andreasen, C., Scholle, K., Saberi, M. (2022). Laser weeding with small autonomous vehicles: Friends or foes?. *Frontiers in Agronomy*, 4, 841086.
- Armstrong J. J. Q., Dirks, R. D., Gibson, K. D. (2007). The use of early season multispectral images for weed detection in corn. *Weed Technology*, 21(4), 857-862.
- Atay, T., Asav Ü., Önen H. & Kara K. (2015). İstilacı yabancı otlarla biyolojik mücadele. *Türkiye istilacı bitkiler katalogu*, Editör Huseyin Onen. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ankara, pp 81-118. ISBN: 978-605-9175-05-0
- Ataş, M., Ataş, İ., Alhajahmad, B. (2023). Bağlamına Göre Veri Setini Yeniden Düzenlemenin Sınıflandırma Başarısına Etkisi. *AS-Proceedings*, 1(1), 193-198.
- Ataş, M., Alhajahmad, B. (2023). Yabancı Otlarla Mücadelede Yapay Zekanın Rolü. *AS-Proceedings*, 1(1), 284-289.

- Bak, T. and Jakobsen, H. 2004. Agricultural Robotic Platform with Four Wheelsteering for Weed Detection. *Biosystems Engineering*, 87(2), 125-136.
- Berthet A, Vincent A, Fleury P. 2021. Water quality issues and agriculture: an international review of innovative policy schemes. *Land Use Policy*, 109, 105654. [https://doi.org/10.1016/j.](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105654)
- Billingsley, J., Visala, A., Dunn, A., 2008. Robotics in Agriculture and Forestry, in “Springer Handbook of Robotics”, pp. 1065-1078 (Editorssiciliano, B., Khatib, O.),springer.
- Bitarafan, Z., Andreasen, C. (2020). Harvest Weed Seed Control: Seed production and retention of Fallopia convolvulus, Sinapis arvensis, Spargula arvensis and Stellaria media at spring oat maturity. *Agron*, 10, 42. doi: 10.3390/agronomy10010046
- Blackmore, S. (2009). New concepts in agricultural automation. In HGCA conference (pp. 1-10).
- Brodie, G. (2018). The use of physics in weed control. In *Non-Chemical Weed Control*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809881-3.00003-6>
- Budak, İ., Işık D. (2022). Biyolojik Mücadelenin Yeni Yüzü: Biyoherbisitler. *Turkish Journal of Weed Science*, 25(2), 151-160.
- Buddha K., Nelson, H. J., Zermas, D., & Papanikolopoulos, N. (2019). Weed Detection and Classification in High Altitude Aerial Images for Robot-Based Precision Agriculture. In *2019 27th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)* (pp. 280-285). IEEE.
- Cloutier, D. C., Leblanc, M. L. (2001). “Mechanical weed control in agriculture” in *Physical Control Methods in Plant Protection*, eds C. Vincent, B. Panneton, and F. Fleurat-Lessard (Berlin/Heidelberg: Springer). doi: 10.1007/978-3-662-04584-8_13
- Coleman, G., Betters, C., Squires, C., Leon-Saval, S., Walsh, M. (2021). Low Energy Laser Treatments Control Annual Ryegrass (*Lolium rigidum*). *Frontiers in Agronomy*, 2. <https://doi.org/10.3389/fagro.2020.601542>
- Costantini, E. (2019). Setting the scene and preparing interaction. EIP-AGRI Workshop Cropping for the future 4-5 June 2019– Almere, the Netherlands. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/field_event_attachments/eip-agri_ws-almere-2019_edoardo_costantini_full_presentation.pdf (10.10.2023).

- Çolak, E.Ş., Işık, D. (2021). Yabancı Otlar ile Mücadelede Güncel Yöntem: Robotikler. *Turkish Journal of Weed Science*, 24(2), 166-176.
- Dasgupta, I., Saha, J., Venkatasubbu, P., Ramasubramanian, P. (2020). AI Crop Predictor and Weed Detector Using Wireless Technologies: A Smart Application for Farmers. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(12), 11115-11127. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04928-2>
- Dayıoğlu, M. A., Turker, U. (2021). Digital Transformation for Sustainable Future - Agriculture 4.0: A review. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 27(4), 373–399. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.986431>
- Demir, B., Çetin, N., Kuş, Z.A. (2016). Görüntü işleme tekniği ile yabancı ot renk özelliklerinin belirlenmesi. *Alınteri Zirai Bilimler Dergisi*, 31(2), 59-64.
- Desquilbet, M., Bullock, D. S., D’Arcangelo, F. M. (2019). A discussion of the market and policy failures associated with the adoption of herbicide-tolerant crops. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 17(5), 326–337. <https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1655191>.
- Erciş, A., Taştan, B., Kurçman, M. (1993). Türkiye’de yabancıot araştırmalarının dünü, bugünü ve yarını. Türkiye I. Herboloji Kongresi Bildirileri sayfa:9-16, 3-5 Şubat 1993, 7-Adana
- Fennimore, S., Slaughter, D., Siemens, M., Leon, R., Saber, M. (2016). Technology for Automation of Weed Control in Specialty Crops. *Weed Technology*, 30(4), 823-837. doi:10.1614/WT-D-16-00070.1
- Fung, F., Wang, H-S., Menon, S. (2018). Food safety in the 21st century. *Biomedical Journal*. 2018;41(2):88–95. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>.
- Eryılmaz, G. A., Kılıç, O., Boz, İ. (2019). Türkiye’de organik tarım ve iyi tarım uygulamalarının ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 352-361.
- Garford Corp, Robocrop Guided Hoes September (2014). <http://www.garford.com>
- Gates, D. M., Keegan, H. J., Schleter, J. C., Weidner, V. R. (1965). Spectral properties of plants. *Appl. Optics* 4, 11–20. doi: 10.1364/AO.4.000011
- Grimstad L., From, P. J. (2017). The Thorvald II agricultural robotic system. *Robotics*, 6(4), 24.

- Günel, H., Önen, H., Özgöz, E. (2015). Mesafeye bağlı değişkenliğin belirlenmesi ve önemi, Türkiye istilacı Bitkiler Kataloğu (s. 119–124), Ankara, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı.
- Güncan, A., Karaca, M. (2018). Yabancı Ot Mücadelesi (Güncellenmiş ve İlaveli Dördüncü Baskı) Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Konya. s. 332.
- Guijarro M., Pajares, G., Riomoros, I., Herrera, P. J., Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A. (2011). Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 75-83.
- Hamner B., Bergerman, M., Singh, S. (2011). Autonomous orchard vehicles for specialty crop production. sl, ASABE Paper No. 11-071. St. Joseph, Mich.: ASABE.
- Heap, I. (2019). The international survey of herbicide resistant weeds [online]. <http://www.weedscience.com>
- Heisel, T., Schou, J., Andreasen, C., Christensen, S. (2002). Using laser to cut and measure thickness of *Beta vulgaris* L. and *Solanum nigrum* L. stems. *Weed Res.* 42, 242–248. doi: 10.1046/j.0043-1737.2002.00282.x
- Heisel, T., Schou, J., Christensen, S., Andreasen, C. (2001). Cutting weeds with CO₂ laser. *Weed Res.* 41, 19–29. doi: 10.1046/j.1365-3180.2001.00212.x
- Hoffmann, J.H. (1995). Biological control of weeds: the way forward, a South African perspective. *Proc. BCPC Symp., Weeds in a Changing World*, 64, 77-89.
- Jabir, B., Falih, N. (2022). Deep learning-based decision support system for weeds detection in wheat fields. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(1), 816. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i1.pp816-825>
- Kaierle, S., Marx, C., Rath, T., Hustedt, M. (2013). Find and irradiate lasers used for weed control. *Laser Technik J.* 10, 44–47. doi: 10.1002/latj.201390038
- Khan S, Tufail M, Khan MT, Khan ZA, Iqbal J, Alam M. (2021). A novel semi-supervised framework for UAV based crop/weed classification. *Plos*

- one, 16(5):e0251008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251008>.
- Kogo, B. K., Kumar, L., Koech, R. (2021). Climate change and variability in Kenya: a review of impacts on agriculture and food security. *Environ Dev Sustain*, 23, 23–43. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00589-1>.
- Kolaib, M.O., Younes, M.W.F., Darwish, E.T.E. (1986). *Hypolixus nubilosus* as a factor in biological control of *Amaranthus* weeds in Egypt. *Annals of Agricultural Science (Cairo)*, 31, 767-776.
- Komi, P. J., Jackson, M. R., Parkin, R. M. (2007, June). Plant classification combining colour and spectral cameras for weed control purposes. In 2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (pp. 2039-2042). IEEE.
- Kounalakis T., Triantafyllidis, G. A., Nalpantidis, L. (2016). Weed recognition framework for robotic precision farming. In 2016 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST) (pp. 466-471). IEEE.
- Kushwaha H. L., Sinha, J., Khura, T., Kushwaha, D. K., Ekka, U., Purushottam, M., Singh, N. (2016). Status and scope of robotics in agriculture. In *International Conference on Emerging Technologies in Agricultural and Food Engineering (Vol. 12, p. 163)*.
- Kudsk, P., Streibig, J. C. (2003). Herbicides a two edge-sword. *Weed Res.* 43, 90–102. doi: 10.1046/j.1365-3180.2003.00328.x
- Kumar, S. P., Tewari, V. K., Chandel, A. K., Mehta, C. R., Nare, B., Chethan, C. R., ... Hota, S. (2020). A fuzzy logic algorithm derived mechatronic concept prototype for crop damage avoidance during eco-friendly eradication of intra-row weeds. *Artificial intelligence in Agriculture*, 4, 116-126.
- Lee W. S., Slaughter, D. C., Giles, D. K. (1999). Robotic weed control system for tomatoes. *Precision Agriculture*, 1(1), 95-113.
- Li, W., Cao, Y., Liu, Z., Wei, S., Huang, H., Lan, Y., ... Huang, Z. (2022). Investigation of resistance mechanisms to bentazone in multiple resistant *Amaranthus retroflexus* populations. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 186, 105164.

- Liu, B., Bruch, R. (2020). Weed Detection for Selective Spraying: a Review. *Current Robotics Reports*, 1(1), 19-26. <https://doi.org/10.1007/s43154-020-00001-w>
- Lottes P., Khanna, R., Pfeifer, J., Siegart, R., Stachniss, C. (2017). UAV-based crop and weed classification for smart farming. In 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 3024-3031). IEEE.
- Luiz Carlos, M., Ulson, J. A. C. (2021). Real time weed detection using computer vision and deep learning. 2021 14th IEEE International Conference on Industry Applications, INDUSCON 2021 - Proceedings. <https://doi.org/10.1109/INDUSCON51756.2021.9529761>
- Machleb, J., Peteinatos, G. G., Kollenda, B. L., Andújar, D., Gerhards, R. (2020). Sensor-based mechanical weed control: Present state and prospects. *Computers and electronics in agriculture*, 176, 105638.
- Marshall, E. J. P., Brown, V. K., Boatman, N. D., Lutman, P. J. W., Squire, G. R., Ward, L. K. (2003). The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed research*, 43(2), 77-89.
- Mathiassen, S. K., Bak, T., Christensen, S., Kudsk, P. (2006). The effect of laser treatment as a weed control method. *Biosystems Engineering*, 95(4), 497–505. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.08.010>
- Mengüç, Ç. (2018). Herbisit toksisitesi ve yabancı otlara karşı alternatif mücadele stratejileri. *Turkish Journal of Weed Science*, 21(1), 61-73.
- McAllister W., Osipchev, D., Chowdhary, G., Davis, A. (2018, October). Multi-agent planning for coordinated robotic weed killing. In 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (pp. 7955-7960). IEEE.
- Michaels A., Haug, S., Albert, A. (2015). Vision-based high-speed manipulation for robotic ultra-precise weed control. In 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (pp. 5498-5505). IEEE.
- Napompeth, B. (1982). Biological research and development in Thailand. In *Proceedings of the International Conference on Plant Protection Tropics*, pp. 301–303.
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43.

- Önen, H., Özer, Z. (2001). Determination of weed distribution patterns over field via mapping. *Türkiye Herboloji Dergisi*, 4(2), 74-83.
- Önen, H. (2010). Organik ve iyi tarım (EUREP-GAP) uygulamaları. Ed. SERİN, Y. 2010. Küresel İklim Değişimine Bağlı Sürdürülebilir Tarım, Cilt I Çiftçi Eğitimi. Erciyes Üniversitesi Yayın No:177, Erciyes Üniversitesi Seyrani Ziraat Fakültesi Yayın No:1, Fidan Ofset, Kayseri 146-169.
- Önen, H. (2014). Organik tarımda bitki koruma (herboloji). Organik tarım ders notları. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, Tokat. DOI: 10.13140/RG.2.2.12870.29764
- Önen, H., Kara, K. (2008a). Organik Tarım. Ed. Serin, Y. 2008. Yem Bitkileri ve Meraya Dayalı Hayvancılık Eğitimi. Erciyes Üniversitesi yayınları No:60, Kayseri, s. 472-475.
- Önen, H., Kara, K. (2008b). Hastalık, Zararlı ve Yabancı Ot Mücadelesi. Ed.SERİN, Y. 2008. Yem Bitkileri ve Meraya Dayalı Hayvancılık Eğitimi. Erciyes Üniversitesi yayınları No:60, Kayseri, s. 383-421.
- Önen, H. (2015). Türkiye İstilacı Bitkiler Katalogu. Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ankara. ISBN: 978-605-9175-05-0
- Önen, H. (2021). Yabancı Otlar ve Herboloji (Yabancı Ot Bilimi), 2. Bölüm. "Herboloji (Yabancı Ot Bilimi): İlkeler, Kavramlar ve Uygulamalar / Weed Science: Theory and Practice" içinde (s. 8-27). Adana, DOI: 10.13140/RG.2.2.10113.99688
- Özer, E.A., Özer, Z. (1993). Yabancı ot kontrol yöntemlerinin tarihi gelişimi ve geleceği. Türkiye I. Herboloji Kongresi Bildirileri, 3-5 Şubat 1993, Adana s. 41-47.
- Özer, Z., Kadioğlu, İ., Önen, H., Tursun, N. (2001). Herboloji (Yabancı Ot Bilimi) Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:20 Kitap seri No:10 Tokat.
- Özgüven, M. M., Mustafa, T. A. N., Közkurt, C., Yardım, M. H., Özsoy, M., & Sabancı, E. (2016). Çok Amaçlı Tarım Robotunun Geliştirilmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 33(Ek Sayı), 108-116.

- Pätzold, S., Hbirkou, C., Dicke, D., Gerhards, R., Welp, G. (2020). Linking weed patterns with soil properties: a long-term case study. *Precision Agriculture*, 21(3), 569-588.
- Pedersen S. M., Fountas, S., Have, H., Blackmore, B. S. (2006). Agricultural robots system analysis and economic feasibility. *Precision agriculture*, 7(4), 295-308.
- Peña J. M., Torres-Sánchez, J., Serrano-Pérez, A., De Castro, A. I., López-Granados, F. (2015). Quantifying efficacy and limits of unmanned aerial vehicle (UAV) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution. *Sensors*, 15(3), 5609-5626.
- Pérez-Ruiz M., Slaughter, D. C., Fathallah, F. A., Gliever, C. J., Miller, B. J. (2014). Co-robotic intra-row weed control system. *Biosystems engineering*, 126, 45-55.
- Pérez-Ortiz M., Peña, J. M., Gutiérrez, P. A., Torres-Sánchez, J., Hervás-Martínez, C., López-Granados, F. (2016). Selecting patterns and features for between-and within-crop-row weed mapping using UAV-imagery. *Expert Systems with Applications*, 47, 85-94
- Radoglou-Grammatikis, P., Sarigiannidis, P., Lagkas, T., Moscholios, I. (2020). A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*, 172, 107148.
- Raja R., Nguyen, T. T., Slaughter, D. C., Fennimore, S. A. (2020). Real-time weed-crop classification and localisation technique for robotic weed control in lettuce. *biosystems engineering*, 192, 257-274.
- Rahman, M., Blackwell, B., Banerjee, N., Saraswat, D. (2015). Smartphone-based hierarchical crowdsourcing for weed identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 14–23. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2014.12.012>
- Rakhmatulin, I., Kamilaris, A., Andreassen, C. (2021). Deep neural networks to detect and classify weeds from crops in agricultural environments in real-time: A review. *Remote Sens*, 13, 4486. doi: 10.3390/rs13214486
- Rani L, Thapa K, Kanojia N, Sharma N, Singh S, Grewal AS, ... Kaushal, J. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *J Clean Prod*, 283, 124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>.

- Sabancı, K., Aydın, C. (2014). Görüntü İşleme Tabanlı Hassas İlaçlama Robotu. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(4), 406-414.
- Sahin, H. (2020). Investigating the effect of single and multiple electrodes on mortality ratio in electric current weed control method with NDVI technique. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 1973–1984. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.698307>
- Sharma, D. K., Tomar, S., Chakraborty, D. (2017). Role of earthworm in improving soil structure and functioning. *Curr. Sci.* 113, 1064–1071. doi: 10.18520/cs/v113/i06/1064-1071
- Sivesind, E., Leblanc, M., Cloutier, D., Siguin, P., Stewart, K. (2009). Weed response to flame weeding at different development stages. *Weed Res.* 23, 438–443. doi: 10.1614/WT-08-155.1
- Slaughter, D. C., Giles, D. K., Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and electronics in agriculture*, 61(1), 63-78.
- Sujaritha M., Annadurai, S., Satheeshkumar, J., Sharan, S. K., Mahesh, L. (2017). Weed detecting robot in sugarcane fields using fuzzy real time classifier. *Computers and electronics in agriculture*, 134, 160-171.
- Şin, B., Kadioğlu, İ. (2019). İnsansız hava aracı (İHA) ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak yabancı ot tespiti yapılması. *Turkish journal of weed science*, 22(2), 211-217.
- Tamburini, G., Simone, S. D., Sigura, M., Boscutti, F., Marini, L. (2016). Conservation tillage mitigates the negative effect of landscape simplification on biological control. *J. Appl. Ecol.* 53, 233–241. doi: 10.1111/1365-2664.12544
- Tan, J. W., Chang, S. W., Abdul-Kareem, S., Yap, H. J., Yong, K. T. (2020). Deep Learning for Plant Species Classification Using Leaf Vein Morphometric. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 17(1), 82-90. <https://doi.org/10.1109/TCBB.2018.2848653>
- Tepe, I. 2014. Yabancı Otlarla Mücadele. Sidas Medya Ziraat Yayın No: 031, İzmir.
- Timmons, F. L. (2005). A history of weed control in the United States and Canada. *Weed Science*, 53(6), 748-761.

- Thompson, J.F., Stafford, J.V., Miller, P.C.H. (1991). Potential for automatic weed detection and selective herbicide application. *Crop Product*, 10(4), 254–259.
- Tran, D., Schouteten, J. J., Degieter, M., Krupanek, J., Jarosz, W., Areta, A., ... Gellynck, X. (2023). European stakeholders' perspectives on implementation potential of precision weed control: the case of autonomous vehicles with laser treatment. *Precision Agriculture*, 1-23.
- Uygur, S., Uygur, F.N. (2010). Yabancı otların biyolojik mücadelesi. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 1(1), 79-95.
- Van Henten E. J., Van Tuijl, B. V., Hemming, J., Kornet, J. G., Bontsema, J., Van Os, E. A. (2003). Field test of an autonomous cucumber picking robot. *Biosystems engineering*, 86(3), 305-313.
- Wang, A., Zhang, W., Wei, X. (2019). A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques. *Comput. Electron. Agric.* 158, 226–240. doi: 10.1016/j.compag.2019.02.005
- Vargas, R., Fischer, W.B., Kempen, H.M., Wright, S.D., 1996. Cotton weed management. In: Johnson, M.S., Kerby, T.A., Hake, K.D. (Eds.), *Cotton Production*. UC DANR Pub 3352, Oakland, CA, pp. 187–202.
- Vikhram, G. R., Agarwal, R., Uprety, R., Prasanth, V. N. S. (2018). Automatic weed detection and smart herbicide sprayer robot. *Int. J. Eng. Technol*, 7(3.6), 115-118.
- Wieliczka, D. M., Weng, S., Querry, M. R. (1989). Wedge shaped cell for highly absorbent liquids: infrared optical constants of water. *Appl. Optics* 28, 1714–1719. doi: 10.1364/AO.28.001714
- Winston, R.L., Schwarzländer, M., Hinz, H. L., Day, M. D., Cock, M. J., Julien, M. H. (2023). *Biological Control of Weeds: A World Catalogue of Agents and Their Target Weeds*. Based on FHTET-2014-04, USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team. Available online at <https://www.ibiocontrol.org/catalog/> (Erişim:13.05.2022).
- Wöltjen, C., Haferkamp, H., Rath, T., Herzog, D. (2008). Plant growth depression by selective irradiation with CO₂ and diode laser. *Biosystems Eng.* 110, 316–324. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2008.08.006
- Xiong, Y., Ge, Y., Liang, Y., Blackmore, S. (2017). Development of a prototype robot and fast path-planning algorithm for static laser weeding. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 494-503.

- Xue J., Zhang, L., Grift, T. E. (2012). Variable field-of-view machine vision based row guidance of an agricultural robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 85-91.
- Young, S. L., Pierce, F. J. (2014). Introduction: Scope of the problem Rising costs and demand for environmental safety for weed control. In S. L. Young & F. J. Pierce (Eds.), *Automation: The future of weed control in cropping systems*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7512-1>
- Zimdahl, R.L. (2007). *Fundamentals of Weed Science* (Third edition). Academic Press, USA.
- Zimdahl, R.L. (2010). *A History of Weed Science in the United States*. Elsevier Inc. Burlington, USA.
- Zimdahl, R.L. (2011). *Weed Science: A Plea for Thought – Revisited*. SpringerBriefs in Agriculture. ISBN 978-94-007-2087-9
- Zhang, W., Miao, Z., Li, N., He, C., Sun, T. (2022). Review of current robotic approaches for precision weed management. *Current robotics reports*, 3(3), 139-151.

BÖLÜM 7

MİKROPLASTİKLERİN KARASAL EKOSİSTEME ETKİSİ

Doç. Dr. Mesut BUDAK¹,
Prof. Dr. Hikmet GÜNAL²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10372987>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Siirt

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü,
Şanlıurfa

Giriş

Toprakların sahip oldukları fonksiyonları korumak ve geliştirmek, gıda üretimini sürdürmek, su kaynaklarını korumak, biyolojik çeşitliliği desteklemek ve insan yaşamı için gerekli olan birçok ekosistem hizmetinin üretimi ve tedarikini devam ettirebilmek için son derece önemlidir. Bu kapsamda, çevresel politika ve uygulamaların toprağın sağlığını korumaya yönelik olması, gelecek nesillerin gereksinimlerinin karşılayabilecek bir dünya inşa etmek adına zorunludur. İnsanların daha fazla ürün alabilmek adına yaptığı uygulamalar, yerleşim ve sanayi amaçlı kullanım ve daha birçok insan kaynaklı etmen, toprakların kirlenmesine, doğal dengesinin bozulmasına, erozyon, tuzluluk, asitlik ve sıkışma gibi sorunlara neden olmaktadır. Tüm bu olumsuzluklar, topraklardan beklenen hizmetlerin yerine getirilmesini zorlaştıracaktır (Pereira ve ark., 2018).

Toprak kirliliği, toprağın doğal bileşenlerinin istenmeyen maddeler ile kontamine olduğu bir durumu ifade etmektedir. Bu maddeler toprağın fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklerinin bozulmasına ve toprak sağlığının olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Endüstriyel faaliyetler, kimyasal gübrelerin ve pestisitlerin aşırı kullanımı, petrol sızıntıları, atık depolama alanları, radyoaktif maddelerin sızıntıları, evsel atıklar, plastik atıklar, maden faaliyetleri ve diğer insan etkinlikleri toprak kirliliğine neden olan önemli faktörlerdir. Bu faaliyetler nedeniyle toprakta biriken kirletici maddeler, bitkilerin büyümesini engelleyebilir, yeraltı su kaynaklarını kirletebilir ve toprak ekosistemlerine zarar vererek insan sağlığını tehdit edebilirler (Mishra ve ark., 2016). Plastik atıkların toprakta birikimi günümüzde en önemli toprak kirleticileri arasında sayılmaktadır (Morgado ve ark., 2018; Boots ve ark., 2019; Guo ve ark., 2020; Jacques ve Prosser, 2021; Ya ve ark., 2021; Yang ve ark., 2021; Wang ve ark., 2022). Plastikğin olağanüstü özelliklere, düşük maliyete ve çok yönlülüğe sahip olması küresel olarak plastik kullanımının artmasına neden olmuştur (Chia ve ark., 2021). Etilen ve propilen gibi plastik yapımında kullanılan monomerlerin büyük çoğunluğu fosil hidrokarbonlardan türetilir. Yaygın olarak kullanılan plastiklerin hiçbiri biyolojik olarak parçalanamaz. Sonuç olarak, çöplüklerde veya doğal ortamda ayrışmak yerine birikim gösterirler (Geyer ve ark., 2017). Bu durum toprakların kirlenmesine ve toprağın sağladığı ekosistem servislerini sekteye uğratarak insan sağlığı için potansiyel bir tehdit haline gelmesine neden olmaktadır. Dünya genelinde 2015

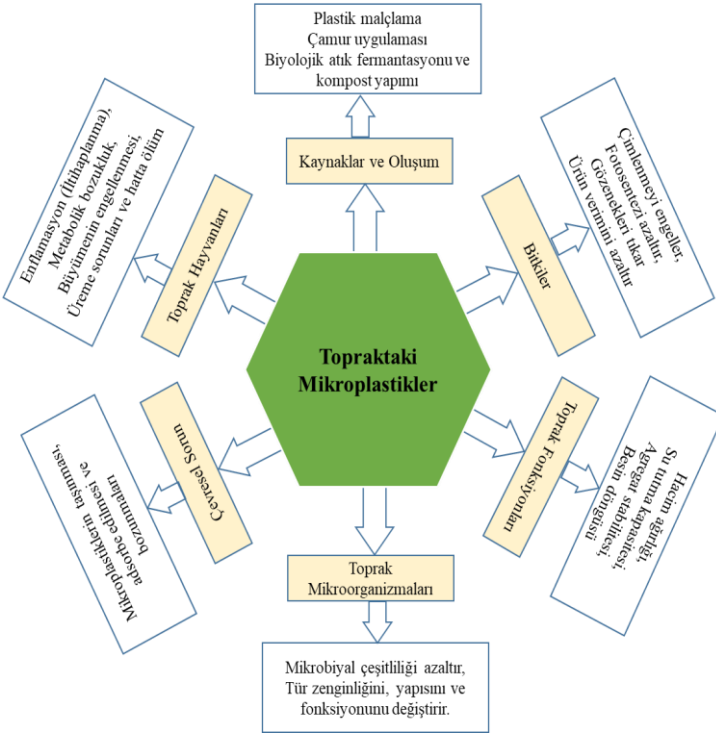
yılı itibari yaklaşık 6300 milyon metrik ton (Mt) plastik üretildiği ve bunun %9'unun geri dönüştürüldüğü, %12'sinin yakıldığı, geriye kalan %79'unun ise çöplüklerde veya doğal ortamlarda biriktiği rapor edilmiştir (Geyer ve ark., 2017). Araştırmacılar mevcut üretim ve atık yönetimi eğilimlerinin devam etmesi durumunda 2050 yılına kadar çöplüklerde veya doğal ortamlarda biriken plastik atıkların yaklaşık 12000 milyon Mt'a ulaşabileceğini bildirmektedir.

Uzun süredir yaygın olarak kullanılmasına rağmen, mikro plastiklerin çevreye olan zararlı etkileri yeterince dikkate alınmamıştır. Ayrışmaya karşı oldukça dayanıklı olduklarından doğada yüzlerce yıl kalabilen mikro plastikler toprak sağlığını, dolayısı ile de insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle son yıllarda mikro plastiklerin toprak sağlığı üzerine olumsuz etkileri artan bir endişeye neden olmuştur (Wang ve ark., 2021). Tarım topraklarına mikroplastiklerin katılımı, çoğunlukla plastik malç kullanımı, atıksu çamuru ve organik gübre uygulamaları ile (Lwanga ve ark., 2022; Qi ve ark., 2022) olmaktadır. Atıksu çamuru uygulaması ile karasal ekosistemlere ilave edilen mikroplastik miktarının okyanuslara salınan plastik miktarından 4 ila 23 kat daha fazla olduğu tahmin edilmektedir (Horton ve ark., 2017). Doğal ortama salınan plastik atıklar fiziksel olarak parçalanarak çok küçük (<5 mm) mikro plastiklere dönüşmektedir. Ayrışmaya karşı son derece dayanıklı olan bu kirleticiler, ekosistem için potansiyel tehditler oluşturmaktadır (Ya ve ark., 2021). Mikro plastikler içerdikleri kimyasal maddeler nedeni ile toprak mikroorganizmaları için ciddi bir tehdittir. Ayrıca mikro plastikler ile kirlenen toprakların ıslah edilmesi hem çok zor hem de oldukça maliyetlidir (Ya ve ark., 2021).

Tarım arazilerinde mikroplastiklerin birikimi ile ilgili ilk araştırmalardan birini yapan Piehl ve ark. (2018), Güneydoğu Almanya'daki Orta Frankonya'daki topraklara potansiyel olarak mikroplastik taşıyabilecek plastik veya organik katkı maddeleri kullanılmayan bir bölgede üst toprak örneklerinde kilogram başına 0.34 ± 0.36 mikroplastik parçacığı bulunduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar incelenen örneklerinde genel olarak, polietilenin en yaygın polimer türü olduğunu ve onu polistiren ve polipropilenin izlediğini tespit etmişlerdir. Mikroplastik içeren gübreler ve tarımsal plastik uygulamalarının hiç kullanılmadığı çalışma alanında, mikroplastik kirliliğinin tarımsal plastik uygulamalar (seralar, örtüler veya silaj filmleri gibi) veya

plastik içeren gübrelerin (kanalizasyon çamuru, biyokütle kompostları) kullanımından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Mikroplastikler yüksek spesifik yüzey alanları nedeni ile topraktaki diğer kalıcı organik kirleticileri adsorbe edebilir ve bunları suda yaşayan ve karadaki organizmalara aktararak zarar verebilirler (Wang ve ark., 2021). Mikro plastikler bitkilerin gelişimini, toprak canlılarının yaşamsal döngülerini, mikroorganizma faaliyetlerini, topraktaki besin döngülerini ve fiziksel toprak kalite göstergelerini etkilemektedir (Şekil 1). Toprakların mikro plastikler ile zenginleşmesi geri dönüşümü çok uzun zaman alacak ciddi çevresel sorunların yaşanmasına neden olabileceğinden çok daha ciddi bir şekilde ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu derlemenin amacı; toprakta mikro plastik kirliliğine dikkat çekecek şekilde, mikro plastik kirliliğinin nedenleri, topraktaki etkileşimleri, potansiyel olumsuz etkileri ve genel olarak toprak kalitesine etkileri konusunda yakın zamanda yayınlanmış araştırma sonuçlarını derleyerek, bu konuda yapılabilecek araştırmalara yardımcı olmak ve araştırmacıları bilgilendirmektir.



Şekil 1. Mikroplastiklerin toprak ekosistemindeki etkileri (Ya ve ark., 2021)

Mikroplastiklerin Toprak Mikroorganizmalarına Etkisi

Toprak ortamlarında mikroplastikler, toprak mikrobiyotasının hayatta kalması, büyümesi ve çoğalması için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır. Bu durum karasal ekosistemlerin biyolojik çeşitliliğini, işlevini ve hizmetlerini tehdit etmektedir. Toprakta çok küçük parçacık boyutuna sahip olan mikroplastikler, mikroorganizmalar tarafından emilmesi/yutulması sonucu fiziksel ve kimyasal hasarlara neden olabilmektedir (Ng ve ark., 2018). He ve ark., (2018) mikroplastiklerin nematodlarda, hayatta kalma oranının ve üremenin azalmasına, kolinerjik ve GABAerjik nöronların zarar görmesine neden olmakla beraber nesiller arası toksite oluşturabileceğini bildirmiştir. Lei ve ark., (2018) farklı parçacık boyutlarındaki nanoplastik (100 ve 500 nm çapında) ve mikroplastiklerin (1, 2 ve 5 µm çapında) nematodlar üzerindeki etkisini incelediği çalışmada; her 5 parçacık boyutundaki plastiklere 3 gün maruz kalan *Caenorhabditis elegans* nematodunda, hayatta kalma oranı ve vücut uzunluğundaki en büyük azalmanın 1µm'lik parçacık boyutundaki grupta görüldüğünü bildirmiştir. Ayrıca araştırmacılar nano ve mikroplastiklere maruz kalan nematodlarda vücuttaki aktivitenin (vücut bükme vb) hızlandığını ve bu durumun nano ve mikroplastiklerin lokomotor davranışı nedeniyle uyarıcı toksisiteye neden olabileceğini bildirmiştir. Aynı çalışmada 1,0 µm'lik parçacıkların, nematodlarda unc-17 ve unc-47'nin ekspresyonunu önemli ölçüde azalttığı ve kolinerjik ve GABAerjik nöronlarda bariz hasara yol açtığı rapor edilmiştir.

Bakteriler toprakta en çok bulunan mikroplardır ve besin döngüsü, atmosferik nitrojen fiksasyonu ve kirleticilerin parçalanması da dahil olmak üzere toprağın biyojeokimyasal döngüsünde önemli roller oynarlar. Bakteri popülasyonundaki çeşitlilik ve yoğunluk bu biyojeokimyasal döngülerinin optimum düzeyde gerçekleşmesini sağlamaktadır. Ancak toprakta birikim gösteren mikroplastikler bakteri tür ve yoğunluğunu önemli derecede değiştirebilmektedir. Zira mikroplastiklerin topraktaki bakteriler üzerindeki etkisini araştıran Dong ve ark., (2021), toprağa polistiren parçacıkları ve politetrafloretillen eklenmesi ile γ -proteobakteri ve *Bacteroidia* popülasyonu azalırken, δ -proteobakteri, α -proteobakteri, *Verrucomicrobiae* ve *Asidobakteri* popülasyonunun göreceli olarak arttığını rapor etmiştir.

Mikroplastikler, mikroorganizmaları uzun süre absorbe edecek yüzeyler sağlayabilmektedir. Bu durum mikroorganizmaların plastik yüzeyinde biyofilm

oluşturmasına ve toprak ekolojik fonksiyonunu etkilemesine neden olabilmektedir. Ayrıca mikroplastikler toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişiklikler oluşturarak, enzim aktivitelerini, toprağın mikrobiyal varlığını, bitki besin maddesi bulunabilirliğini, kök özelliklerini ve fizyolojik durumunu etkileyerek toprak mikrobiyalinin değişmesine yol açmaktadır. Bununla beraber plastiklerin toprağın alt katmanlarına taşınması sonucu mikroorganizmalar diğer ekosistemlere yayılarak florayı ve ekosistem işlevini değiştirebilmektedir (Ding ve ark., 2022). Toprak sistemlerindeki organik maddenin mineralizasyonunda, besin döngüsünde ve hatta iklimin yönlendirilmesinde rol alan en önemli canlılar mikroorganizmalardır (Zhang ve ark., 2021). Toprakta meydana gelen plastik kirliliği toprakta yaşayan mikroorganizmaların sayısında ve çeşidinde önemli değişiklikler oluşturduğundan organik maddenin mineralizasyon oranında ve besin döngüsünde önemli değişikliklere neden olabilmektedir.

Toprakta yaşayan enzimler topraktaki değişimlere karşı oldukça hassas olduklarından ve erken tepki verdiklerinden toprak kalite göstergesi olarak görülmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar, mikroplastiklerin çeşit ve parçacık boyutuna bağlı olarak enzim aktivitesini artırabildiğini, azaltabildiğini veya önemli olmayan bir şekilde değiştirebildiğini bildirmiştir (Liu ve ark., 2017; Chen ve ark., 2020; Yi ve ark., 2021; Feng ve ark., 2022). Zira parçalanabilirliği yüksek olan mikroplastikler (örneğin biyo-plastikler) enzim aktivitesini artırırken, parçalanabilirliği düşük olan diğer plastikler enzim aktivitesini önemli ölçüde azaltabilmektedir (Feng ve ark., 2022).

Mikroplastiklerin Toprağın Fiziksel Özelliklerine Etkisi

Mikroplastiklerin toprağın fiziksel özellikleri üzerine etkilerini anlayabilmek, plastiğin hayatımızın her alanında bu kadar yoğun bir şekilde kullanıldığı günümüzde, toprak sağlığını sürdürmek ve sürdürülebilir arazi kullanımını sağlamak açısından son derece önemlidir (Guo ve ark., 2022). Mikroplastikler özelliklerine bağlı olarak negatif, nötr veya pozitif olabildiğinden (Wang ve ark., 2022) mikroplastiklerin toprağın fiziksel özellikleri üzerine etkileri çok çeşitli olabilmektedir. Mikroplastikler ile toprak arasındaki etkileşim, mikroplastik ilave edilen topraklarda gözenek boyutu dağılımının değişmesi ve gözeneklerin erişilebilirliğini azalması ile ilişkilendirilmiştir (Guo ve ark., 2022). Çeşitli araştırmalarda, mikroplastiklerin

toprak hacim ağırlığını azalttığı rapor edilmiştir (Qi ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2020; Yu ve ark., 2023). Ayrıca toprakta mikroplastik birikiminin topraklardaki suya dayanıklı agregatların dağılımını etkilediği ve bu nedenle de toprak stabilitesini azalttığı ve su infiltrasyonu gibi temel toprak fonksiyonlarını bozduğu bildirilmiştir (Boots ve ark., 2019).

Kumlu tınlı toprakta farklı mikroplastiklerin toprak agregatlarına olan etkisini inceleyen de Souza Machado ve ark. (2018), yaklaşık 105 günlük bir sürede polisiklik aromatik karbon, poliamid ve polistiren özellikli mikroplastiklerin suya dayanıklı agregat sayısını azalttığını, polietilen ve polipropilen özellikli mikroplastiklerin ise agregat üzerine bir etkisi olmadığını rapor etmiştir. Lozano ve ark. (2021), lif, film, köpük ve parça şeklindeki plastiklerin toprak agregatlarına olan etkisini incelediği çalışmada her 4 mikroplastik çeşidinin toprak agregasyonunu azalttığını bildirmiştir. Toprakta mikroplastiklerin birikmesi agregatların birleşme noktalarının zayıflamasına neden olmaktadır. Özellikle de agregatlarda suya dayanıklılığı zayıf olan kırılma noktalarının oluşması toprakların agregat stabilitesinin düşmesinin sebebi olarak görülmektedir (Lozano ve ark., 2021).

Toprak hacim ağırlığı ve gözeneklilik iki önemli fiziksel toprak kalite göstergeleridir (Chia ve ark., 2022). Toprakların mikroplastikler ile kirlenmesi hem hacim ağırlığı hem de toprak gözenekliliğinde önemli değişimlere yol açmaktadır (Lozano ve ark., 2021). Ancak bu değişimler mikroplastiklerin tür, miktar ve parçacık boyutuna bağlıdır. Chia ve ark. (2022), mikroplastik kontaminasyonu nedeniyle toprak gözenekliliğinde meydana gelen değişikliklerin, mikroplastik boyutuna veya yalnızca toprağın gözenek boyutuna bağlı olabildiğini bildirmiştir. Ayrıca araştırmacılar toprakta mikroplastik miktarının artış göstermesi ile toprakta çatlak oluşumunun arttığı, bu durumun ise toprakta gözenekliliğin artmasına, hacim ağırlığının ise azalmasına neden olduğunu ifade etmiştir. Mikroplastikler toprakta gözenek yapısını arttırdığından su tutma kapasitesinin de artmasını sağlamaktadır. Ancak bazı plastik türlerinin toprakta çatlaklara neden olması su tutma kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır (Chia ve ark., 2022). Plastik kirliliği ile toprakta su tutma kapasitesinin azalması, çatlakların oluşması, toprağın polietilen ile kirlenmesinin ardından topraktan su buharlaşmasının artması ve mikroplastik yüzeylerin hidrofobikliği ile ilişkilendirilebilir (Wan ve ark. 2019).

Toprağın hidrolojik ve tarımsal ekosistem ilişkileri ile sıkı bir şekilde bağlantılı olan hacim ağırlığı (Lv ve ark., 2019), topraktaki mikroplastik kirliliği ile önemli derecede azalabilmektedir (Ingraffia ve ark., 2022). Bu azalma mikroplastiklerin boyutuna, şekline ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir (Lozano ve ark., 2021). Her ne kadar mikroplastiklerin hacim ağırlığını azalttığını rapor eden araştırmalar yoğunlukta olsa da, Zhang ve ark. (2019), polyester özellikli mikroplastiklerin hacim ağırlığı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını bildirmiştir.

Polipropilen mikroplastiklerin farklı parçacık boyutları (20, 200 ve 500 µm) ve konsantrasyonlarının (en fazla %6) farklı tekstüre sahip (tını, kil ve kum) üç ayrı toprağın hidrolik özelliklerine olan etkisini araştıran Guo ve ark. (2022), toprağa mikroplastik ilavesi sonucunda tınlı, killi ve kumlu toprakların doymuş hidrolik iletkenliğini sırasıyla %69.79, %77.11 ve %95.79 azaldığını belirtmişlerdir. Çalışılan toprakların infiltrasyon özellikleri üzerine gözlemlenen olumsuz etkiler, mikroplastiklerin parçacık boyutu ile ilişkili olduğunu bildiren araştırmacılar, daha büyük parçacıkların en zayıf etkiye sahip olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca, mikroplastiklerin kil içeriği yüksek olan topraklarda su tutma kapasitesini tınlı ve kumlu topraklara kıyasla daha fazla azalttığı da gözlemlenmiştir.

Toprağa katılan mikroplastiklerin toprak yapısına ciddi zarar verdiğini ve toprak su tutma özelliğini etkilediğini belirten Wang ve ark. (2023), tınlı ve kumlu iki ayrı tekstüre sahip toprağa 0.5%, 1% ve 2% oranında 150 µm, 550 µm ve 950 µm partikül boyutlarında polietilen mikroplastik ekleyerek su tutma karakteristiklerini belirlemişlerdir. Araştırmacılar, düşük konsantrasyonlarda (0.5%) ilave edilen polietilen mikroplastiklerin toprak su içeriğini önemli ölçüde etkilemediğini, ancak yüksek konsantrasyondaki (2%) katılımların toprak su tutma özelliğini güçlü bir şekilde etkilediğini bildirmişlerdir. Ayrıca, küçük mikroplastiklerin (150 µm) tınlı toprağın su tutma kapasitesine önemli ölçüde pozitif etki ettiğini, bunun yanında 950 µm'lik mikroplastiklerin ise kumlu toprakta toprak su içeriğini güçlü bir şekilde azalttığını rapor etmişlerdir.

Mikroplastiklerin Toprağın Kimyasal Özelliklerine Etkisi

Mikroplastiklerin toprakta birikmesiyle üst toprak, çoğunlukla doğrudan UV radyasyonu, artan oksijen mevcudiyeti ve nispeten yüksek sıcaklık nedeniyle potansiyel olarak parçalayıcı bir ortam sağlar. Özellikle de toprağın

üst katmanında bulunan mikrobiyotalar ve karasal organizmalar plastiklerin biyolojik bozulmasını hızlandırabilirler (He ve ark., 2018). Plastiklerin bozulması (parçalanması) sırasında içerisinde bulunan kimyasal bileşikler salınabilir ve toprağın bazı kimyasal özelliklerinin değişmesine neden olabilmektedir. Zira Bandow ve ark. (2017) bazı mikroplastiklerin (polilaktik asit, polibütilen süksinat, polihidroksibutirar) ayrışması sonucu organik asitlerin üretildiğini ve bu durumun toprak pH'sını düşürdüğünü rapor etmiştir. Aynı araştırmacılar foto oksidasyon işleminden sonra yüksek yoğunluklu polietilen özellikli mikroplastiklerin toprak pH'sını düşürdüğünü bildirmiştir. Mikroplastik ile kirlenen topraklarda pH değerlerinde görülen değişikliklerin toprak biyotasının bozulması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Zira düşük yoğunluktaki polietilen özellikli mikroplastikler amonyağı oksitleyen bakterilerin bolluğunu ve nitrifikasyon sürecini değiştirebilmektedir. Bu durumda H⁺ iyonu serbest kaldıkça toprak pH'sında düşmektedir. Bununla beraber mikroplastiklerin farklı yüzey yüklerine sahip olması ve anyon ve kanyonları seçici olarak absorbe etmesi toprak çözeltisindeki iyon değişimine neden olabilir ve sonuç olarak toprak pH'sında değişiklikler meydana gelebilir (Feng ve ark., 2022).

Toprak organik maddesi toprakta birçok fiziksel ve kimyasal özelliğine etki ederek toprak biyotası için uygun bir yaşam alanı ve substrat sağlar (Rao ve ark. 2019). Toprağa karışan mikroplastiklerin kendileri veya ara ürünleri organik karbon kaynağı olarak hareket ettiğinden toprakta organik maddenin artmasını sağlayabilirler (Rillig ve ark., 2021). Zira Liu ve ark. (2017), toprağa polipropilen özellikli plastikler ilave edildiğinde toprağın organik madde içeriğinde artış olduğunu bildirmiştir. Toprakta organik maddenin ayrışma düzeyi toprak mikroorganizmaları tarafından kontrol edilmektedir. Mikroplastikçe kirlenen topraklarda mikroorganizma sayısı azaldığından organik maddenin ayrışması azalmakta ve bunun sonucunda da organik madde toprakta birikim göstermektedir (Abbott ve ark. 2022). Ancak bu çalışmaların aksine Xiao ve ark., (2022), mikroplastik kirliliğinden sonra topraktaki organik maddenin azaldığını bunun nedeninin ise toprağın organik ayrışmasını teşvik eden mikrobiyal topluluk diziliminin ve zamansal değişimindeki farklılıklardan ileri geldiğini bildirmiştir. Buna ek olarak Zhou ve ark., (2021) mikroplastiklerin toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkisini incelediği çalışmada polilaktik asit (PLA) ve 3-hidroksibutirat ko-3-

hidroksivalerat (PHBV) gibi biyolojik olarak parçalanabilen mikroplastiklerin topraktaki çözünmüş organik karbon konsantrasyonunu önemli ölçüde artırabildiğini rapor etmiştir. Bu çalışmalardan da anlaşıldığı gibi plastiklerin üretildiği hammaddeler farklı karakterdeki mikroplastiklerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durum aynı zamanda topraktaki organik madde içeriğine farklı derecede etki etmektedir.

Mikroplastikler mikrobiyal süreçleri değiştirerek azot (N) ve fosfor (P)'un biyo-jeokimyasal döngülerini de etkileyebilir (Feng ve ark., 2022). Düşük yoğunluklu polietilen özellikli mikroplastikler N-fiksasyonu, amonyak oksidasyonu ve denitrifikasyonda rol oynayan genlerin sayısını artırdığından azot döngüsü üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır (Rong ve ark., 2021). Ayrıca mikroplastik kirliliği görülen topraklarda inorganik N içeriği önemli düzeyde azalmaktadır. Bunun temel nedeni toprakta N döngüsünde görev alan mikrobiyal genlerin azalması ve enzim aktivitesinin engellenmesinden kaynaklanmaktadır (Qian ve ark., 2018). Dong ve ark., (2021), mikroplastiklerin toprakta fosfor ve azot içeriğine etkisini incelediği çalışmada mikroplastiklerin toprakta mikrobiyal çeşitliliği, popülasyonunu ve aktivitelerini değiştirerek toprakta enzim aktivitesini inhibe ettiğini ve bunun sonucunda da N ve P içeriğini azalttığını bildirmiştir.

Toprakların verimlilik kapasitesinin önemli bir göstergesi olan katyon değişim kapasitesi (KDK) toprakta koloidal parçacıklarının yüzeyinde absorbe edilen katyonların toplam miktarıdır. Mikroplastikler, geniş yüzey alanlarına sahip olması (Wang ve ark., 2021) nedeni ile toprakta katyon değişim yüzeyleri oluşturabilirler. Bu nedenle mikroplastik ile kirlenen topraklarda KDK yüksek çıkabilmektedir. Zira farklı boyuttaki polietilen mikroplastiklerin toprağın kimyasal özelliklerine etkisini inceleyen Ma ve ark., (2023) plastik parçacık boyutu küçüldükçe toprağın KDK'sının arttığını bildirmiştir. Mikroplastiklerin toprakta KDK'ni arttırması olumlu bir durum olarak görülmektedir. Ancak özellikle ağır metal gibi diğer kirleticilerinde toprakta tutunması ve başka ortamlara taşınması için yüzey alanları oluşturması hem toprak biyotası hem de diğer canlılar için risk oluşturmaktadır (An ve ark., 2023).

Mikroplastiklerin toprakta arsenik, krom, bakır, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metaller yanı sıra metaloidlerle etkileşime girerek toprak yapısı ve mikrobiyal faaliyetleri etkilemektedir. Bu durum çoğu zaman bitki ve insan sağlığı için olumsuz koşullar oluşturmaktadır. Çevre ve diğer tüm canlıların

sağlığı için önemli tehdit olan ağır metal kirliliği, yerel ve bölgesel düzeyde geniş toksisite aralığına sahiptir. Toprakta ağır metallerin varlığı, genetik değişim ve fizyolojik adaptasyonun yardımıyla toprak mikroplarında tolerans ve direnç geliştirerek ekolojik sorunlara yol açabilmektedir (Kumar ve ark., 2022). Topraktaki yüksek miktardaki ağır metaller, bitki fonksiyonunun ve metabolizmasının bozulmasına neden olabilir, biyokimyasal yolları değiştirebilir ve besin alımını geciktirerek bitki büyümesinin durmasına ve verimliliğin düşmesine neden olabilir. Ayrıca ağır metaller mikro ve makro besin maddelerinin alımını da etkileyerek bitkinin metabolik sistemini engelleyebilir (Finnegan ve Chen, 2012). Zira bu durum bitkilerde önemli miktarda verim düşüşüne neden olabilmektedir.

Sonuç

Bu kapsamlı derlemede, toprak ekosistemlerinde mikroplastik kirliliğinin biyolojik çeşitlilik, toprak biyotası ve fiziko-kimyasal özellikleri üzerindeki potansiyel etkileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Mikroplastikler, plastik atıkların parçalanması sonucu ortaya çıkan küçük partiküllerdir ve çevresel etkileri giderek artan bir endişe kaynağıdır. Mikroplastiklerin toprak biyotasına olan etkilerini inceleyen araştırmalarda, farklı mikroplastik türlerinin (örneğin, polietilen, polipropilen), parçacık boyutlarının ve yoğunluklarının toprak mikroorganizmaları, böcekler ve bitkiler üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Çalışmalarda, mikroplastiklerin toprak biyotası üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği, özellikle de sindirilebilirlik, üreme ve gen ekspresyonu gibi faktörler üzerinde etkileri olabileceği vurgulanmıştır.

Toprağın fiziko-kimyasal özellikleri açısından, mikroplastiklerin toprak strüktürü, su tutma kapasitesi ve besin elementlerinin hareketi üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Mikroplastiklerin toprakların fiziksel özelliklerine etkileri, mikroplastiklerin boyutuna, şekline, türüne ve miktarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Daha küçük mikroplastikler, daha büyük mikroplastiklerden daha fazla yüzey alanına sahiptir ve bu nedenle toprağın fiziksel özelliklerini daha fazla etkileyebilir. Ayrıca, daha sert mikroplastikler, daha yumuşak mikroplastiklerden daha fazla toprağın agregatlarını parçalayabilir. Mikroplastikler ile ilgili yapılan çalışmalar, mikroplastiklerin toprak yapısını değiştirerek su infiltrasyonunu etkileyebileceğini ve bitki beslenmesini etkileyebileceğini göstermektedir. Mevcut bilgi birikimine

dayanarak, mikroplastiklerin toprak ekosistemine olan etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olmaktadır ve özellikle farklı mikroplastik özelliklerinin (konsantrasyon, şekil, polimer türü) toprak üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, mikroplastikler, toprak kalitesini olumsuz etkileyerek toprak verimliliğini, biyolojik çeşitliliğini ve bitki sağlığını tehdit edebilir. Mikroplastiklerin topraklara ulaşmasını önlemek için çeşitli önlemler alınabilir. Bu önlemler arasında, plastik atıkların azaltılması, geri dönüştürülmesi ve toprağa atılmaması yer almaktadır.

Kaynaklar

- Abbott, K. M., Quirk, T., & Fultz, L. M. (2022). Soil microbial community development across a 32-year coastal wetland restoration time series and the relative importance of environmental factors. *Science of the Total Environment*, 821, 153359.
- An, Q., Zhou, T., Wen, C., & Yan, C. (2023). The effects of microplastics on heavy metals bioavailability in soils: a meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 460, 132369.
- Bandow, N., Will, V., Wachtendorf, V., & Simon, F. G. (2017). Contaminant release from aged microplastic. *Environmental Chemistry*, 14(6), 394-405.
- Boots, B., Russell, C. W., & Green, D. S. (2019). Effects of microplastics in soil ecosystems: above and below ground. *Environmental science & technology*, 53(19), 11496-11506.
- Chen, Y., Leng, Y., Liu, X., & Wang, J. (2020). Microplastic pollution in vegetable farmlands of suburb Wuhan, central China. *Environmental Pollution*, 257, 113449.
- Chia, R. W., Lee, J. Y., Kim, H., & Jang, J. (2021). Microplastic pollution in soil and groundwater: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(6), 4211-4224.
- Chia, R. W., Lee, J. Y., Jang, J., Kim, H., & Kwon, K. D. (2022). Soil health and microplastics: a review of the impacts of microplastic contamination on soil properties. *Journal of Soils and Sediments*, 22(10), 2690-2705.
- de Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Till, J., Kloas, W., Lehmann, A., Becker, R., & Rillig, M. C. (2018). Impacts of microplastics on the soil biophysical environment. *Environmental science & technology*, 52(17), 9656-9665.
- Ding, L., Huang, D., Ouyang, Z., & Guo, X. (2022). The effects of microplastics on soil ecosystem: A review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 26, 100344.
- Dong, Y., Gao, M., Qiu, W., & Song, Z. (2021). Effect of microplastics and arsenic on nutrients and microorganisms in rice rhizosphere soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111899.

- Feng, X., Wang, Q., Sun, Y., Zhang, S., & Wang, F. (2022). Microplastics change soil properties, heavy metal availability and bacterial community in a Pb-Zn-contaminated soil. *Journal of hazardous materials*, 424, 127364.
- Finnegan, P. M., & Chen, W. (2012). Arsenic toxicity: the effects on plant metabolism. *Frontiers in physiology*, 3, 182.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782.
- Guo, J. J., Huang, X. P., Xiang, L., Wang, Y. Z., Li, Y. W., Li, H., Cai, O. Y. Mo, C. H., Wong, M. H. (2020). Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environment international*, 137, 105263.
- Guo, Z., Li, P., Yang, X., Wang, Z., Lu, B., Chen, W., Wu, Y., Li, G., Zhao, Z., Liu, G., Ritsema, C., Geissen, V., Xue, S. (2022). Soil texture is an important factor determining how microplastics affect soil hydraulic characteristics. *Environment International*, 165, 107293.
- Jacques, O., & Prosser, R. S. (2021). A probabilistic risk assessment of microplastics in soil ecosystems. *Science of The Total Environment*, 757, 143987.
- Jiang, X. J., Liu, W., Wang, E., Zhou, T., & Xin, P. (2017). Residual plastic mulch fragments effects on soil physical properties and water flow behavior in the Minqin Oasis, northwestern China. *Soil and Tillage Research*, 166, 100-107.
- He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163-172.
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the total environment*, 586, 127-141.
- Ingraffia, R., Amato, G., Bagarello, V., Carollo, F. G., Giambalvo, D., Iovino, M., Lehmann, A., Rillig, M. C., Frenda, A. S. (2022). Polyester microplastic fibers affect soil physical properties and erosion as a function of soil type. *Soil*, 8(1), 421-435.
- Kumar, R., Ivy, N., Bhattacharya, S., Dey, A., & Sharma, P. (2022). Coupled effects of microplastics and heavy metals on plants: Uptake,

- bioaccumulation, and environmental health perspectives. *Science of The Total Environment*, 836, 155619.
- Lei, L., Liu, M., Song, Y., Lu, S., Hu, J., Cao, C., Xie, B., Shi, H., He, D. (2018). Polystyrene (nano) microplastics cause size-dependent neurotoxicity, oxidative damage and other adverse effects in *Caenorhabditis elegans*. *Environmental Science: Nano*, 5(8), 2009-2020.
- Liu, H., Yang, X., Liu, G., Liang, C., Xue, S., Chen, H., Ritsema, C., Geissen, V. (2017). Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil. *Chemosphere*, 185, 907-917.
- Lozano, Y. M., Lehnert, T., Linck, L. T., Lehmann, A., & Rillig, M. C. (2021). Microplastic shape, polymer type, and concentration affect soil properties and plant biomass. *Frontiers in Plant Science*, 12, 616645.
- Lv, W., Zhou, W., Lu, S., Huang, W., Yuan, Q., Tian, M., Lv, W., He, D. (2019). Microplastic pollution in rice-fish co-culture system: A report of three farmland stations in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 652, 1209-1218.
- Lwanga, E. H., Beriot, N., Corradini, F., Silva, V., Yang, X., Baartman, J., ... & Geissen, V. (2022). Review of microplastic sources, transport pathways and correlations with other soil stressors: a journey from agricultural sites into the environment. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 1-20.
- Ma, J., Xu, M., Wu, J., Yang, G., Zhang, X., Song, C., Long, L., Chen, C., Xu, C., Wang, Y. (2023). Effects of variable-sized polyethylene microplastics on soil chemical properties and functions and microbial communities in purple soil. *Science of The Total Environment*, 868, 161642.
- Mishra, R. K., Mohammad, N., & Roychoudhury, N. (2016). Soil pollution: Causes, effects and control. *Van Sangyan*, 3(1), 1-14.
- Morgado, R. G., Loureiro, S., & González-Alcaraz, M. N. (2018). Changes in soil ecosystem structure and functions due to soil contamination. In *Soil pollution* (pp. 59-87). Academic Press.
- Ng, E. L., Lwanga, E. H., Eldridge, S. M., Johnston, P., Hu, H. W., Geissen, V., & Chen, D. (2018). An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of the total environment*, 627, 1377-1388.

- Pereira, P., Bogunovic, I., Muñoz-Rojas, M., & Brevik, E. C. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 7-13.
- Piehl, S., Leibner, A., Löder, M. G., Dris, R., Bogner, C., & Laforsch, C. (2018). Identification and quantification of macro-and microplastics on an agricultural farmland. *Scientific reports*, 8(1), 17950.
- Rao, D. L. N., Aparna, K., & Mohanty, S. R. (2019). Microbiology and biochemistry of soil organic matter, carbon sequestration and soil health. *Indian Journal of Fertilisers*, 15(2), 124-138.
- Rillig, M. C., Leifheit, E., & Lehmann, J. (2021). Microplastic effects on carbon cycling processes in soils. *PLoS Biology*, 19(3), e3001130.
- Rong, L., Zhao, L., Zhao, L., Cheng, Z., Yao, Y., Yuan, C., Wang, L., Sun, H. (2021). LDPE microplastics affect soil microbial communities and nitrogen cycling. *Science of the Total Environment*, 773, 145640.
- Xiao, M., Luo, Y., Zhang, H., Yu, Y., Yao, H., Zhu, Z., Chadwick, D.R., Jones, D., Chen, J., Ge, T. (2022). Microplastics shape microbial communities affecting soil organic matter decomposition in paddy soil. *Journal of Hazardous Materials*, 431, 128589.
- Qi, Y., Beriot, N., Gort, G., Lwanga, E. H., Gooren, H., Yang, X., & Geissen, V. (2020). Impact of plastic mulch film debris on soil physicochemical and hydrological properties. *Environmental Pollution*, 266, 115097.
- Qi, Y., Ossowicki, A., Yergeau, É., Vigani, G., Geissen, V., & Garbeva, P. (2022). Plastic mulch film residues in agriculture: impact on soil suppressiveness, plant growth, and microbial communities. *FEMS Microbiology Ecology*, 98(2), fiac017.
- Qian, H., Zhang, M., Liu, G., Lu, T., Qu, Q., Du, B., & Pan, X. (2018). Effects of soil residual plastic film on soil microbial community structure and fertility. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229, 1-11.
- Ya, H., Jiang, B., Xing, Y., Zhang, T., Lv, M., & Wang, X. (2021). Recent advances on ecological effects of microplastics on soil environment. *Science of The Total Environment*, 798, 149338.
- Yang, L., Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z., & Wu, C. (2021). Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Science of the Total Environment*, 780, 146546.

- Yi, M., Zhou, S., Zhang, L., & Ding, S. (2021). The effects of three different microplastics on enzyme activities and microbial communities in soil. *Water Environment Research*, 93(1), 24-32.
- Yu, Y., Battu, A. K., Varga, T., Denny, A. C., Zahid, T. M., Chowdhury, I., & Flury, M. (2023). Minimal Impacts of Microplastics on Soil Physical Properties under Environmentally Relevant Concentrations. *Environmental Science & Technology*, 57(13), 5296-5304.
- Wan, Y., Wu, C., Xue, Q., & Hui, X. (2019). Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil. *Science of the Total Environment*, 654, 576-582.
- Wang, F., Wang, X., & Song, N. (2021). Polyethylene microplastics increase cadmium uptake in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by altering the soil microenvironment. *Science of the Total Environment*, 784, 147133.
- Wang, Q., Adams, C. A., Wang, F., Sun, Y., & Zhang, S. (2022). Interactions between microplastics and soil fauna: a critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(18), 3211-3243.
- Wang, Z., Li, W., Li, W., Yang, W., & Jing, S. (2023). Effects of microplastics on the water characteristic curve of soils with different textures. *Chemosphere*, 317, 137762.
- Zhang, G. S., Zhang, F. X., & Li, X. T. (2019). Effects of polyester microfibers on soil physical properties: Perception from a field and a pot experiment. *Science of the Total Environment*, 670, 1-7.
- Zhang, S., Liu, X., Hao, X., Wang, J., & Zhang, Y. (2020). Distribution of low-density microplastics in the mollisol farmlands of northeast China. *Science of the Total Environment*, 708, 135091.
- Zhang, X., Li, Y., Ouyang, D., Lei, J., Tan, Q., Xie, L., Li, Z., Liu, T., Xiao, Y., Farooq, T. H., Wu, X., Chen, L., Yan, W. (2021). Systematical review of interactions between microplastics and microorganisms in the soil environment. *Journal of hazardous materials*, 418, 126288.
- Zhou, J., Gui, H., Banfield, C. C., Wen, Y., Zang, H., Dippold, M. A., Charlton, A., Jones, D. L. (2021). The microplastisphere: biodegradable microplastics addition alters soil microbial community structure and function. *Soil Biology and Biochemistry*, 156, 108211.

BÖLÜM 8

ŞIRNAK İLİ YAĞLI TOHURLAR POTANSİYELİ VE MEKANİZASYON DURUMU

Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK¹,
Doç. Dr. A. Konuralp ELİÇİN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10372998>

¹ Şırnak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, ORCID: 0000-0002-2743-4285

² Dicle Üniversitesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü
ORCID:0000-0003-3240-454

Sorumlu yazar: ferhatozturk21@gmail.com

Dünya genelinde enerji, yem, yağ ve kimya sanayisinin ihtiyacı olan hammaddenin önemli bir kısmı yağlı tohumlarla karşılanmaktadır. Özellikle içerdikleri yüksek orandaki protein, karbonhidrat, yağ, vitamin ve mineral maddeler sayesinde insan ve hayvan beslenmesinde ve bunula birlikte yakıt olarak kullanılan biyodizel üretilmesinde fazlaca kullanılmaktadır. Hayvansal yağların elde edilmesi ve edilse bile ihtiyacı karşılayamayacak miktarda olması insanların beslenmesi için gerekli olan yağ ihtiyacı bitkisel yağlardan karşılanmaktadır. Dünyada günümüzde yapılan ham yağ üretiminin %8'i hayvansal ürünlerden karşılanırken %92'si bitkisel yağlardan karşılanmaktadır (Arioğlu, 2016).

Yağların insan beslenmesinde bu kadar önemli olmasının sebebi insanlar için beslenmenin yanında enerji kaynağı olmalarından kaynaklanmaktadır. Özellikle yetişkin bir insanın günlük 2800-3000 kalori enerjiye ihtiyacı olduğu ve dengeli beslenmek zorunda olduğu düşünüldüğünde ihtiyacı olan enerjinin % 30-35'ini (850-900 kalori) yağlardan alması gerektiği önerilmektedir. Ülkemizde ise bu değer yaklaşık 21 kg, Hindistan'da 15 kg, Çin'de 26 kg, ABD'de 57 kg ve AB ülkelerinde ise 60 kg olarak gerçekleşmektedir (Arioğlu, 2016). Dünyada yaygın olarak tohumlarından yağ elde edilen bitkilerin başında soya, ayçiçeği, pamuk (çiğit), kolza, yerfıstığı, susam, aspir, hintyağı, haşhaş, keten, kenevir, jojoba, mısır (mısır özü), zeytin, palm (meyve ve çekirdek) ve Hindistan cevizi gelmektedir (Onat ve ark., 2017).

Yağ ihtiyacını karşılayabildiğimiz bu bitkilerden, zeytin, jojoba, palm ve Hindistan cevizi çok yıllık, geri kalanlar ise tek yıllık olarak yetiştirilmektedirler. Ülkemizde yağ elde edilmek için yetiştirilen ürünleri başında ayçiçeği gelmektedir. Ayrıca çiğit, soya, yerfıstığı, haşhaş, susam, aspir, kolza, mısır ve zeytin yine bitkisel yağ için ürettiğimiz ürünleri oluşturmaktadırlar. Bitkisel yağlar elde edildikten sonra ürünlerden geriye kalan posa hayvan beslenmesi için kullanılan ham protein değeri yüksek önemli bir yem kaynağıdır. Dünya genelinde bir yılda bir milyar ton karma yem yapıldığı ve bu yemler için 280-300 milyon küspeye ihtiyaç duyulduğu düşünüldüğünde dünya tarımı içerisinde yağlı tohum üretiminin ne kadar önemli olduğu bir kez daha anlaşılacaktır (Karakuş 2014). Tarım alanları miktarlarına bakıldığında ABD'de %21, Çin'de %19, Hindistan'da %28 ve AB ülkelerinde %30 yağlı tohum ekimi varken bu oran Türkiye'de sadece %4.0 olarak karşımıza çıkmaktadır (Anonim, 2015).

Özellikle son zamanlarda dünya genelinde yaşanan pandemi, krizler ve savaşlar nedeniyle yağlı tohumlar üreticisi olan ülkelerin arz kısmında yaşadığı sorunlar ya da piyasa ürün vermemesinden kaynaklanan nedenlerden dolayı ülkeler için yağlı tohum üretiminin ne kadar önemli ve stratejik bir durum olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ülkemizde yağ sektöründe kullanılan bitkiler olarak yetiştirilen ayçiçeği, pamuk, soya, yerfıstığı, susam, kolza, aspir, haşhaş, mısır, keten ve zeytin gibi bitkilerin ekim alanlarının korunması ve daha genişletilmesi gerekmektedir. Söz konusu bu ürünlerden ayçiçeği, pamuk, haşhaş, mısır ve keten doğrudan yağ elde edebilmek amacıyla yetiştirilen bitkilerdir. Ülkemiz yağlı tohumlu bitkiler ekim alanları incelendiğinde 2018 yılı değerlerine göre 3.9 milyon ton olan Türkiye yağlı tohum üretiminin % 88 gibi önemli bir kısmını ayçiçeği (%49) ve pamuk (%39) tohumunun oluşturduğu görülmektedir. Türkiye'nin bölgeler bazında yağlı tohumlu bitkiler ekim alanlarına bakıldığında, ayçiçeği ekiminde Marmara bölgesi %49 ile ilk sırada gelmektedir. Marmara bölgesini sırasıyla %30 ile İç Anadolu, %9.5 ile Karadeniz, %9 ile Akdeniz ve %4.5 ile diğer bölgelerin takip ettiği görülmektedir. Yine yağlı tohumlardan Soya ekim alanlarına bakıldığında %64 ile Akdeniz bölgesinin ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Akdeniz bölgesini %6 ile Karadeniz ve %4 ile Güneydoğu Anadolu bölgesinin takip ettiği bildirilmektedir. Genel anlamda ülkemizde tarım yapılan alanların değerlendirilmesine bakıldığında yağlı tohumların 2015 yılında 8.661.000 dekar alanda ekimi yapılırken, 2022 yılında bu alan 11.566.000 dekara çıkmıştır. Yıllar itibariyle ekim alanları artmış olsa da yurt içinde yağlı tohumlara olan talep karşılanamamaktadır. Talebin artması ve üretimin talebi karşılamada yetersiz kalması yurtdışından yapılan yağlı tohum ithalatını artırmaktadır (Anonim, 2022a).

Ülkemizin yağlı tohumlar üretiminde önemli bir açığı bulunmasına rağmen, bu grubun içerisinde yer alan ve en büyük paya sahip bulunan ayçiçeği tohumluğunun tamamı hibrit olarak üretilmekte, ülkemiz tohum ihtiyacının tamamının karşılanmasının yanında önemli bir miktar da ihraç edilmektedir. Bu gruptaki türlerin tohum üretim ve dağıtımlarının tamamına yakını özel sektör firmaları tarafından yürütülmektedir. (Anonim, 2022b)

Tablo 1. Türkiye Yağlı Tohum Dağıtım Miktarları (ton)

Türler	2002	2010	2015	2020	2021	2022
Ayçiçeği Tohumu	3.072	10.558	13.814	14.858	6.072	8.146
Soya	796	1.172	2.354	3.975	4.297	2.522
Kanola	30	142	171	114	100	2.657

Şırnak ilinin yağlı tohumlar potansiyeline bakıldığında son yıllarda yerfıstığı üretiminin hızlı bir şekilde artarak devam ettiği ve ilerleyen yıllarda birinci sırayı alacağı düşünülmektedir. Yerfıstığı ülkemize en çok Akdeniz bölgesinde Adana ve Osmaniye’de yetiştirilmektedir. Osmaniye’de yetiştirilen ürün 2002 yılında Osmaniye Yerfıstığı adıyla coğrafi işaret kapsamına alınmıştır. Şırnak ili Silopi ilçesinde 2012 yılında tarımı yapılmaya başlanan yerfıstığı iyi bir şekilde uyum sağlamış ve ekim alanları her yıl artmaya devam etmiştir. Üreticiler tarafından kazancın yüksek olduğunun görülmesiyle 2017 yılında hızlı bir yükselişe geçen yerfıstığı ekim alanı Türkiye’de üçüncü sıraya yükselmiş olup Osmaniye iliyle yarışır hale gelmiştir. Özellikle son yıllarda pamuk ve mısırdan yüksek kazanç elde edilememiş olması yerfıstığına yönelime artırmıştır.

Şırnak’ta ilk yerfıstığı üretimi, 2012 yılında Silopi’nin Bostancı köyünde alternatif ürün olarak başlamıştır. Yıllar içerisinde Şırnak ilinde yetiştiriciliği yapılan yerfıstığının geldiği seviye ise resmi rakamlara göre üretimde Adana ve Osmaniye’den sonra üçüncü sıraya yerleştiğini göstermektedir. Şırnak’ta sulanabilir arazinin 75.000 da alanında yerfıstığı yetiştiriciliği yapılmaktadır. Geriye kalan arazilerde ise pamuk ve mısır ekilmektedir. Sıcak iklim bitkisi olan yerfıstığı, Şırnak’ta uygun iklim koşullarının hâkim olduğu Silopi, Cizre ve İdil ilçelerinde sulanabilen arazilerde yetiştirilmektedir. Yerfıstığı meyveleri (kapsüllerini) toprak altında olduğu için bu bölgelerin toprak yapıları nispeten hafif yapılı kumlu-tınlı olduğundan muvaffakiyetle tarımı yapılmaktadır (Arıoğlu, 2014)

Tohumlarındaki yüksek yağ oranı ve bir baklagil bitkisi olması sebebiyle yerfıstığı birçok bakımdan kıymetli bir tarla bitkisi pozisyonu taşımaktadır. Bu bağlamda ideal bir ekim nöbeti bitkisi olarak bilinen yerfıstığı, yetiştirildiği

yerlerde üreticiye ek bir gelir sağlamasıyla da gözde tarım ürünlerinden biri haline gelmiştir (Arslan ve ark., 2022; Kadiroğlu, 2022). Yerfıstığı Silopi ve Cizre ovalarında ana ürün olarak yetiştirilebildiği gibi hububattan sonra ikinci ürün olarak da yetiştirilmektedir. İlde tahıllardan sonra ekilen mısır ve pamuğa göre bir baklagil bitkisi olan yerfıstığının ekilmesi ile toprağın tek taraflı sömürülmesi engellendiği gibi, köklerinde nodozite oluşturan rhizobium bakterileri ile havanın serbest azotunu toprağa bağlayarak kendisinden sonra ekilecek bitkiye azot ve organik maddece zengin bir toprak bırakmaktadır. Her türlü kültür bitkisiyle ekim nöbetine girebilen bir bitki olan yerfıstığının ayrıca çapa bitkisi olması nedeniyle de ardında yabancı otlardan temizlenmiş ve havalanmış bir toprak bırakmaktadır (Arioğlu, 2014).

Şırnak ilinde yerfıstığı tarımında mekanizasyonda önemli bir etken haline gelmektedir. Yerfıstığı ekimi çapa bitkileri için imal edilmiş olan havalı mibzerle yerfıstığı ekimine uygun plakalar takılmasıyla yapılmaktadır. Yerfıstığında çapalama işlemi; boğaz doldurma ve yabancı otlarla mücadele edilmesi amacıyla traktör çapası ve el çapası şeklinde yapılmaktadır. Yapılan bu çapaların çoğunluğun mekanizasyonun yetersiz olmasından kaynaklı el ile yapılması ise boğaz doldurma, yabancı ot kontrolü ya da sulamanın zamanında yapılmamasına neden olmaktadır.

Mekanizasyon yetersizliği nedeniyle hasatta oluşabilecek kayıpları minimuma indirebilmek için yerfıstığı sökümü çoğunlukla kulağı çıkarılmış tek soklu pulluklarla yapılmaktadır. Tek soklu pullukla tek sıra halinde bitkiler topraktan sökülürken, arkadan gelen işçiler ise kökleri yukarı gelecek şekilde sıralayarak bitkileri tarlada kurumaya bırakmaktadırlar. Saplar iyice kuruduktan sonra makineli harman yapılmaktadır.

Şırnak ili tarımsal arazi yönüyle incelendiğinde, üretim yapılması gereken önemli orandaki tarım arazisinin nadasa ayrıldığı anlaşılmaktadır. Şırnak il ve ilçelerindeki sulama sistemleri sayısının düşük olması, nadasa bırakılan arazi alanın yüksek olma sebepleri arasında sayılabilir. Şırnak ilinde üzerinde tarımsal üretimin yapılması gereken 113.444 dönümlük arazi 2022 yılında nadasa ayrılmıştır. Bu günümüzde artan gıda ihtiyacını karşılamaya yönelik kullanılması gereken tarım arazilerinin üretim dışında tutulması nedeniyle istenmeyen bir durum anlamına gelmektedir. Hem işletme ve bölge, hem de ülke ekonomisi bakımından olumsuz olan bu durumun giderilmesi, sulama kaynaklarından azami faydanın sağlanması için teknolojik ve

yatırımların kullanılması, tarımsal üretim açısından önemlidir. Şırnak ilinde arazi kullanımını incelendiğinde Güçlükönak, Beytüşşebap ve Uludere ilçeleri üzerinde yetiştiricilik yapılan toplam tarım alanı yönüyle en düşük araziye sahip ilçeleri oluşturmuşlardır. Şırnak il ve ilçelerinde kullanılan tarım alet ve makineleri incelendiğinde 11 yıllık süreç içerisinde eskiden kullanılan karasaban, hayvanla çekilen pulluk ve hayvanla çekilen hububat ekim makinesi sayılarında yaklaşık % 70 seviyesinde önemli derecede azalma olsa da, Güçlükönak ve Uludere’de hala önemli sayılabilecek oranda kullanılmaktadır. Diğer taraftan traktör pulluk çeşitleri, kültivatör, tırmık çeşitleri gibi toprak işleme makinelerinin sayısında ciddi artışlar mevcuttur. Toplam tarım alet ve makine varlığı bakımından 2012-2022 yılları arasında en fazla artışın % 89 oranıyla Silopi ilçesinde gerçekleştiği, Silopi’yi %45 artışla İdil ilçesi ve %27 ile Cizre’nin izlediği görülmektedir. Bir işletmenin üretim potansiyelini belirlemek için kullanımdaki mevcut alet ve makinelerin tamamı değerlendirilmelerde dikkate alınmaz. Bunun yerine traktörle kullanılan alet ve makine varlığına bakılarak karşılaştırmalar yapılır (Toraman, 2023).

Tarımsal mekanizasyon, tarımsal üretim yapan işletmelerin hem üretken hem de kârlı olmasını sağlayarak kaynakların ve çevrenin korunmasına katkıda bulunduğu çok açık bir sonuçtur. Şırnak ili genelinde yerfıstığı hasat makinesi sayılarına bakıldığında yerfıstığı üretim alanlarına paralel olarak 2012 yılında 1 adet olan hasat makinesi sayısının 35’e çıktığı belirtilmektedir (Toraman, 2023).

SONUÇ

Şırnak ilinin bulunduğu bölge ve tarımsal üretim alanları bakımından değerlendirildiğinde yerfıstığı tarımı için çok uygun bir alan olduğu görülmektedir. Özellikle çiftçilerin her yıl artarak yerfıstığı üretimi yapmaları, yerfıstığının çiftçiler arasında benimsendiğini ve mısır ile pamuğa karşı daha çok tercih edildiğini göstermektedir. Özellikle sulanamayan alanların sulamaya açılmasıyla bu alanların daha da artacağı görülmektedir. Ancak yerfıstığı üreticiliği yapan kişilerin bu ürüne karşı yabancı olmalarından dolayı tohumdan hasata kadar bütün teknik bilgilerin verilebileceği eğitimlere tabi tutulmaları gerekmektedir. Özellikle sertifikalı tohum kullanmaları yönünde bilinçlendirilmeleri gerekmektedir. Sertifikalı tohum kullanılmadığında verim düşüklüğü ile hastalık ve zararlılardan kaynaklı kayıpların artacağı konusunda bilinçlendirilmeleri gerekmektedir.

Şırnak ilinde tarım alet ve makine kullanımında yıllara bağlı olarak artış olduğu belirlenmiş olmasına rağmen halen yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir. Özellikle yerküstü hasat makinelerinin daha fazla sayıda olmasına ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Günümüzde önemi gittikçe artan bir dönemde tarımsal üretimde kalite verim artışının ana unsuru olan mekanizasyon düzeyinin istenilen düzeyde olmaması işletme ekonomisi ile birlikte bölge ve ülke ekonomisi için olumsuz bir durumdur. Tarımsal üretimdeki artışın diğer önemli bir unsuru olan su kaynaklarının uygun koşullarda tasarruflu kullanılarak etkili ve yaygın kullanılmasını sağlayan sulama tesis ve makinelerin il için düşük seviyede kaldığı tespit edilmiştir. Hem yerküstü yetiştiriciliği ile ilgili tüm paydaşların bilinçlendirilmesi hem de tarımsal mekanizasyon yönünden zenginleştirilmesi ekonomik anlamda daha fazla kazanç elde edilmesini sağlayacak ve elde edilen kazançla döngüsel olarak bölgesel kalkınmaya katkı sunacakken aynı zamanda çiftçi ve işletmelerin ekonomik seviyelerini yükseltecektir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) İstatistik Bölümü İnternet Sitesi (<http://www.fao.org>).
- Anonim, 2022a. Türkiye İstatistik Kurumu
- Anonim, 2022b. TİGEM, 2022 Yılı Tohumculuk Sektör Raporu
- Arıoğlu, H.H. (2014). Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı. Çukurova Ün. Ziraat Fakültesi Yayınları, Genel Yayın No:220, Adana.201s.
- Arıoğlu H., 2016. Türkiye’de Yağlı Tohum ve Ham Yağ Üretimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 2016, 25 (Özel sayı-2):357-368
- Arslan, H., Ekin, Z., Mekin, Y. (2022). The Effect of Different Sowing Times on the Yield and Yield Components of Peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Siirt Conditions. ISPEC Journal of Agricultural Sciences,6: 247-259.
- Kadiroğlu, A. (2022). Yerfıstığı Yetiştiriciliği. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Antalya.
- Karakuş, M.Ü., 2014. 12. Uluslararası Yem Kongresi Açılış Konuşması. Türkiye Yem Sanayicileri Birliği Dergisi, Sayı:70, Sayfa: 29-40, Ankara.
- Onat, B., Arıoğlu, H., Güllüoğlu, L., Kurt, C., Bakal, H., 2017.Dünya ve Türkiye’de Yağlı Tohum ve Ham Yağ Üretimine Bir Bakış. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, 20: 149-153.
- Toraman, M.C., 2023. Agricultural Mechanization Level of Şırnak Province and Districts. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 11(9): 1628-1638, 2023

BÖLÜM 9

KONTROLLÜ SALINIMLI GÜBRELER: MATERYAL SEÇİMİ UYGULAMALARI VE ÖNEMİ

Zir. Yük. Müh. Hasine KÜÇÜKYILDIRIM¹,
Prof. Dr. Salih AYDEMİR²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10373010>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
Şanlıurfa, Türkiye. hasineelci7@gmail.com, Orcid ID: 0000-0001-5822-9439

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
Şanlıurfa, Türkiye. salihaydemir@harran.edu.tr Orcid ID: 0000-0002-3236-8438

GİRİŞ

Son yıllarda kontrollü yavaş salımlı gübreler (KSG), tarımda verimli besin yönetimi için sürdürülebilir bir çözüm olarak popülerlik kazanmıştır. Tarımsal üretim sürecinde mineral gübrelerin yoğun olarak kullanılıyor olmasıyla meydana gelen besin kayıpları da yüksek seviyede seyretmektedir (Barrows ve Kilmer, 1963; Sharpley ve ark., 2001; De Jong ve ark., 2009; Dutta ve ark., 2016). Bu durum bir sorun olarak, sadece ekonomik anlamda değil, aynı zamanda çevresel sorunlar açısından da ciddi bir etkiye sahiptir. Bu etki, maliyeti artırmak yanında, gübrelerin besin bileşenlerinin toprak içinde daha derinlere nüfuz etmesi ve toprak ile yeraltı sularının kirlenmesine yol açmaktadır (Bertol ve ark., 2017; Vatn ve ark., 2006; Drury ve ark., 2014). Ayrıca, bazı bileşenler büyük ölçüde sera gazları olarak atmosfere salınır, bu da iklim değişimine olumsuz etkide bulunur (Parton ve ark., 2001; Uzoma ve ark., 2015; Congreves ve ark., 2016a; Rochette ve ark., 2018). Bu geri dönüşü olmayan besin kaybı sorunu ve çevresel kirliliği azaltma çabaları kapsamında geliştirilmeye çalışılan KSG'ler son zamanlarda artan bir ilgi görmektedir (He ve ark., 2018; Holly ve ark., 2018). Gübrelerden bitki besinlerinin kontrollü ve yavaş salınımı, aşırı gübrelemenin ve çevresel kirliliğin riskini azaltmanın yanı sıra bitkilerin düzenli ve dengeli bir besin kaynağı almasını sağlar. KSG'ler, bitkilere uzun bir süre boyunca temel besin maddelerini daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde sağlama konusunda modern tarım ve bahçecilik uygulamalarının vazgeçilmez bir bileşenidir. Hızlı bir şekilde besin maddelerini salan geleneksel gübrelerin aksine, KSG'ler besin maddelerini yavaşça salmaları için tasarlanmışlardır ki bu durum, besin maddelerinin kolayca sızmalarını ve çevreye potansiyel zararlarını azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Birleşmiş Milletler Tarım Örgütü (FAO) tarafından sunulan istatistik verileri, küresel tarımsal gübre kullanımının sürekli bir artış gösterdiğini rapor etmektedir. 2013'te dünya çapında kullanılan gübre miktarının 182,8 milyon ton olduğu tahmin edilirken, 2018'de bu miktarın 199,4 milyon tona yükseldiği bildiriliyor (FAO, 2015). 2018-2019 döneminde dünya genelinde yaklaşık 188 milyon ton gübre tüketilmiştir. 2023 yılına gelindiğinde ise, gübre talebinin yıllık ortalama %1,3 büyüme ile 203 milyon ton olacağı öngörülmüştür (IFA, 2019). Tarımda yaygın olarak kullanılan üç ana gübre tipi; nitrojen (N), fosfor pentoksit (P₂O₅) ve potasyum oksit (K₂O). Nitrojen (N) gübresi, tarımda en

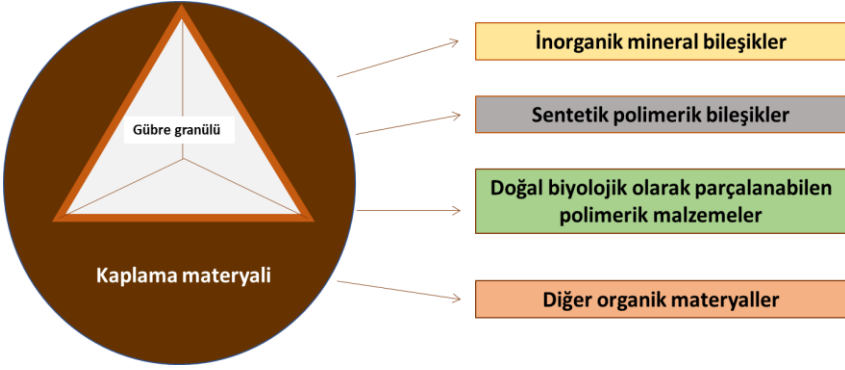
yaygın kullanılan gübredir. Farklı KSG türleri geliştirilmiş ve piyasada mevcuttur. Yavaş salınım teknikleri arasında kimyasal veya fiziksel reaksiyonlar, kaplama yöntemleri ve daha fazlası bulunmaktadır. Bu bağlamda biyolojik olarak parçalanabilen polimerlere dayalı kaplamalar, özellikle de yenilenebilir doğal polimerler, çevreye zarar vermeyen bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Bu sayede biyolojik olarak parçalanamayan malzemelerden kaynaklanan yeni bir çevre kirliliği sorunu önlenmeye çalışılmaktadır.

KSG'lerin etkinliğinin anahtarı, kaplama malzemelerinde yatmaktadır. Bu malzemeler, gübre granüllerinin etrafında koruyucu bir katman olarak görev yapar ve besin maddelerinin toprağa yavaş salınmasını kontrol eder. KSG üretiminde çeşitli kaplama malzemeleri kullanılmaktadır, her biri kendi benzersiz özelliklere ve salınım mekanizmalarına sahiptir. Bu kaplamalar, belirli bitki ve toprak gereksinimlerine uygun şekilde uyarlanabilir, bitkilere doğru besin dengesinin sağlanmasını ve çevresel etkilerin en aza indirilmesini mümkün kılar.

Bu bölümde, KSG'lerin temel yönleri ve bunların oluşturulmasında kullanılan çeşitli kaplama malzemelerine değinilerek, bunların besin yönetimini geliştirme ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmedeki rolleri vurgulanacaktır.

1. Kaplama Materyalleri

Kaplama materyalleri genellikle iki ana kategoriye ayrılabilir: İnorganik olanlar ve organik polimerler (Trenkel, 2010). İnorganik materyaller arasında kükürt, bentonit ve fosfojips gibi örnekler bulunurken, organik polimerler hem sentetik olanlar, örneğin poliüretan, polietilen, alkid reçine gibi, hem de doğal polimerler, nişasta, kitosan, selüloz gibi, bu kategoride yer alırlar (Trenkel, 2010). Ayrıca, son araştırmalar, biyokömür, reçine ve polifenol gibi organik materyallerin de kullanıldığını göstermektedir (Mumtaz ve ark., 2019; Wang ve ark., 2020; Shi ve ark., 2020). Gübre kaplama amaçlı kullanılan materyaller Şekil 1'de kategorik olarak sınıflandırılmışlardır. Yazının ilerleyen kısmında her bir kategoride yer alan materyallerle yapılmış olan çalışmalar bütün yönleri ile ele alınmış, uygulamaları ve önemlerine yer verilmiştir.



Şekil 1. Gübre kaplamasında kullanılan materyallerin kategorik sınıfları

1.1. İnorganik Mineral Bileşikler İçeren Gübre Kaplamaları

Genellikle inorganik kaplama materyalleri, kükürt ve mineraller gibi bileşenler içerir. 1961 yılında Tennessee Valley Authority (TVA) tarafından geliştirilen kükürt tabanlı bir kaplama materyali olan kükürt kaplı üre (SCU), erken dönem kaplama örneklerinden biridir. Ancak, bu tür kaplamalar genellikle suyla temas ettiğinde "patlama etkisi" olarak adlandırılan gübre besin maddesinin hemen serbest bırakılma veya "kilitlenme etkisi" olarak adlandırılan uzun süreli serbest bırakılmama olayına neden olurlar ve besin maddelerinin bitki ihtiyaçlarına göre serbest bırakılmasını engellerler.. Bu sorunu aşmak için, yaklaşık olarak %38,5-42 N, %11-15 S ve %2'nin altında polimer kaplama içeren düşük maliyetli kükürt ve polimer hibrit kaplamalar geliştirilmiştir. Ancak bazı iyileştirmelere rağmen, "patlama" ve "kilitlenme" özellikleri hala mevcuttur (Trenkel, 2010).

Son çalışmalarda, kükürt tabanlı diğer düşük maliyetli fosfojips ve jips gibi materyaller, rapor edilmiştir. Bu materyaller, suda hafifçe çözünebilme, toprak pH'sını değiştirmeme ve bitkilere sülfat iyonları sağlama gibi avantajlara sahiptir (Vashishtha ve ark., 2010). İbrahim ve arkadaşları (2014), kaplama malzemesi olarak jips ve kükürt oranlarını değiştirerek eşit miktarda jips ve kükürdün en iyi verimliliği ve en düşük üre salımını sağladığını bildirmiştir. Babadi ve arkadaşları (2015), jips/toprak ve magnezyumlu kireç kaplama kullanarak benzer sonuçlar elde etmiştir. Çalışmalarda, parafin ve poliöl gibi hidrofobik mühürleme maddeleri eklenerek verimliliğin arttığı gösterilmiştir. İki çalışmadan elde edilen üre salım sonuçları, sırasıyla 5 saat sonra 2,15 mol/L ve 2,5 mol/L üre olarak belirlenmiştir. Geleneksel üre ile

karşılaştırıldığında, bu kaplamalar hala daha hızlı bir salınım sağlasa da SCU'ya göre hızlıdır. Yu ve Li (2019) tarafından sentezlenen fosfojips/parafin KSG, Avrupa Standartlaştırma Komitesi (CEN) Görev Gücü tarafından belirlenen kontrollü salınım kriterlerini karşılayacak şekilde üre için üstün kontrollü salınım özellikleri sergilemiştir. Bu başarı, kırılğan parafin kaplamasına eklenen Span-80 adlı emülgatörden kaynaklanmıştır. Ayrıca, parafin kaplamanın parçacık boyutu ve kalınlığı arttıkça salınım hızı önemli ölçüde yavaşlamıştır.

Toprak düzenleyici olarak kullanılabilen mineraller arasında hidroksiapatit, bentonit, zeolit ve attapulgit gibi malzemeler de incelenmiştir ve bu mineraller toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirebilir ve bitki büyümesini teşvik eden iyon değişim özelliklerine sahiptirler (Dixon,1991). Kottegoda ve arkadaşları (2017), üre-hidroksiapatit (HA) nanohibrit KSG geliştirmek için nanoteknolojiyi kullanmış ve bu malzemenin su içinde üreyi yavaşça bir haftaya kadar serbest bıraktığını göstermiştir. Elhassani ve arkadaşları (2019), lignoselülozik biyokütle ile kaplanmış hidroksiapatit içeren üreyi geliştirmiş ve bu kaplamanın başlangıç salınım hızını daha da geciktirdiğini ve standart bir formülasyona göre besin maddelerinin %75'ini 55 gün boyunca sürekli olarak serbest bıraktığını göstermiştir.

Dubey ve Mailapalli (2019), farklı bağlayıcılar (mısır ve patates nişastası, bentonit, beyaz çimento, akrilik polimer) kullanarak zeolit kaplı üre gübresi üretmiştir. Araştırmalar, akrilik polimerin kararlı bir KSG oluşturduğunu ve su içinde 8 saat sonra N'nin %54'ünü yavaşça serbest bıraktığını göstermiştir. Pereira ve arkadaşları (2015), hidrofilik (poliakrilamid) veya hidrofobik (polikaprolakton) polimerle modifiye edilmiş bentonit nanokompozitleri kullanarak KSG'ler hazırlamıştır. Hidrojeli poliakrilamid, bentonit/üre nanokompoziti ile iyi etkileşime sahip olduğu için suyla rekabet ederek üre salınımını yavaşlatmaktadır. Ayrıca, bentonit, katyonlar tarafından elektriksel olarak dengelendiği için NH₄⁺ iyonlarının matrise adsorbe edilmesine izin verir. En yavaş toplam salınım oranı 8 saatte %8'dir. Bu, Xiaoyu ve arkadaşları (2013) tarafından hazırlanan üre, bentonit ve organik polimer kompozitine göre daha yavaş bir salınım hızına sahiptir. Hermida ve Agustian (2019), nişasta ve hidroksi propil metilselüloz (HPMC) bağlayıcıları kullanarak bentonit içeren KSG'yi formüle etmiş ve HPMC bağlayıcı içeren KSG, hidrofilikliği nedeniyle daha hızlı bir salınım sağlarken, nişasta içeren KSG 8

saat içinde ürenin %25'ini serbest bırakmıştır. Bu çalışma, minerallerin ve bağlayıcıların moleküller arasında Van der Waals kuvvetleri, hidrojen bağları ve elektrostatik etkileşimler yoluyla fiziksel çekim oluşturduğunu ve salınımı yavaşlattığını öne sürmektedir. Paligorskit, etil selüloz (EC) ve karboksimetil selüloz ve hidroksimetil selüloz (CMC/HEC) hidrojel ile modifiye edilmiş ve bu da serbest bırakmayı geciktirebilmektedir. Ancak, salınım, önceki çalışmalara göre çok daha yavaştır (3 günde %15) ve bu, optimal EC ve CMC/HEC hidrojel oranı ve optimal çapraz bağlayıcı içeriğinden kaynaklanmaktadır (Ni ve ark., 2011). Tablo 1, KSG'leri formüle etmek için kullanılan bazı inorganik malzemeleri ve bunların besin içeriğinin %75'ini serbest bırakmak için gereken süreyi özetlemektedir.

Tablo1. Bazı kükürt ve mineral bazlı KSG'ler

Kükürt Bazlı				
Malzeme	Modifiye	Araştırma bulguları	Salım süresi	Referanslar
Alçı	Kükürt/parafin; öğütülmüş magnezyum kireç//poliol	Hidrofobik dolgu macununun eklenmesi salınımı yavaşlatır.	Yok	(İbrahim ve ark., 2014; Babadi ve ark., 2015)
Fosfo-alçı	Parafin mumu/Span-80	Emülgatörün eklenmesi, parafin yapışmasının artması nedeniyle salınım oranını önemli ölçüde azaltır.	10 gün	(Yu ve Li, 2019)
Mineral Bazlı				
Hidroksiapatit (HA)	Lignoselülozik biyokütle	HA ile kimyasal bağ nedeniyle üre adsorpsiyonu yavaş salınımla sonuçlanır.	5 dk-3 gün	(Kattagoda ve ark., 2017; Elhassanive ark., 2019)
Bentonit	Nişasta, hidroksipropil metilselüloz (HPMC); hidrofilik	Nanokompozit üstün kontrollü bir salım sağlar. Üre salınım hızı bağlayıcı tipinden etkilenir ve	2 gün	(Xiaoyu ve ark., 2013; Hermida ve Agustion, 2019;

	polimer (poliakrilamid); hidrofobik polimer (polikaprolakton)	adsorpsiyon nedeniyle yavaşlar		Pereira ve ark., 2015)
--	---	-----------------------------------	--	---------------------------

(Lawrencia ve ark., 2021).

1.2. Sentetik Polimerik Bileşikler İçeren Gübre Kaplamaları

Kükürt ve diğer inorganik maddelerden sonra, polimer kaplama materyalleri, çevresel etkilere karşı dayanıklıdır ve gübrelere kontrollü salınımını sağlamak için uyarlanabilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Polimer kaplamaların salım desenleri, kalınlıkları ve toprak sıcaklığına bağlıdır, bu da difüzyonu etkiler (Azem ve ark., 2014). Ani azot salınım sorununu çözmek için tek veya karışık polimer malzemelerin kullanımı geliştirilmiştir.

Yang ve arkadaşları (2012), üreyi kaplamak için polistiren üzerine balmumu ve poliüretan (PU) katkılı bir malzeme hazırlamışlardır. Yapılan deneyler, aynı kaplama oranıyla PU'nun, balmumunun kaplamaya su sızmasını erken aşamada engelleyemediği, bu nedenle salınım hızını daha etkili bir şekilde azalttığını göstermektedir. Ayrıca, tablet boyutunun artması, aynı salınım hızını elde etmek için gerekli olan kaplama malzemesi miktarını azaltır, dolayısıyla üretim maliyetini düşürür. Li ve arkadaşları (2016), saf PU ve farklı morfolojilere sahip mezogözenekli silika dolgu kullanarak kaplanmış üre geliştirdi (lifli, nanoçubuk ve küresel). Farklı morfolojiler, gözenek yapısını önemli ölçüde etkileyerek, salınım hızını etkilemektedir. Çubuk benzeri morfolojinin, PU ve mezogözenekli silika arasında karışan bir ağ oluşturduğu ve içeriğinin %80'ini 80 gün boyunca serbest bırakabilen en etkili morfoloji olduğu bulunmuştur. Dai ve arkadaşları (2020), farklı hidrofobiklik seviyelerine sahip PU ve hidroksipropil-terminasyonlu polidimetilsiloksan (HP-PDMS) ile kaplanmış üre gübresi sentezledi. İçeride hidrofil ve dışarıda hidrofobik dereceli katmanlar kullanmak, ürenin difüzyon direncini artırmış ve 60 günden fazla süreyle salınım sağlanmıştır. Dereceli hidrofobik kaplama katmanları aynı salınım hızını elde etmek için gereken kaplama kalınlığını azaltır, bu da maliyeti önemli ölçüde düşürür.

Ayrıca, kontrollü salım gübresi olarak Fe_2O_3 nanodolgu ile birlikte poliyeter sülfon adlı yeni bir polimer sınıfı kullanılmıştır (Emami ve ark., 2017). Fe_2O_3 nanopartiküllerin eklenmesi, kaplama tabakasını kalınlaştırarak besin maddelerinin salımını yavaşlatmaktadır.

Ayrıca, Fe_2O_3 nanopartiküller, kapsüllerin manyetik güç kullanılarak geri kazanılmasına ve tekrar kullanılmasına izin verir, ancak salınım hızı, önceki uygulamadan kaynaklanan içerik birikimi nedeniyle 2-3 döngü sonrasında artma eğilimindedir. Çevresel endişelerin artması nedeniyle, biyo-bozunur sentetik polimerler kaplama materyalleri olarak yoğun bir şekilde araştırılmışlardır. Alifatik polimerler gibi sentetik biyo-bozunur materyaller, hidrofilik yapıya sahiptir ve hidrolitik olarak bozunabilirler. Bu, Ye ve arkadaşları (2020) ve Bi ve arkadaşları (2020) tarafından farklı alifatik polimer türlerini kaplama malzemesi olarak kullanarak onaylanmıştır. Bu çalışmalar, kaplı gübre boyutunun artırılması ve matris içinde daha küçük üre kristallerinin kullanılmasıyla bozunmanın ve salınım hızının yavaşladığını göstermiştir. Ye ve arkadaşları (2020) tarafından 3 ay sonra %82'lik bir bozunma oranı bildirilmiştir. Li ve arkadaşları (2018), malzeme özelliklerini önemli ölçüde etkileyen farklı sıvılaştırılmış bagas (LB) ile bisfenol-A diglisidil eter (BDE) oranları kullanarak biyobazlı epoksi kaplamalar formüle etmiştir. Optimum miktarda BDE eklemek, sıklığı ve hidrofobikliği artırarak salınım hızını yavaşlatmıştır.

Ayrıca, su tutma kapasitesini artırarak sulama sıklığını azaltma yeteneği nedeniyle hidrojel büyük ilgi görmektedir. Sarkar ve Sen (2018), polivinil alkol temelli hidrojel kullanarak üre salınımı sağlamıştır. Bu hidrojel, ilk günde yalnızca %15-20 üre salar ve hacminin %250 kadarına kadar şişebilir. Ayrıca, bu KSG'nin, üreye olan ilgisi nedeniyle Fe (III) iyonlarını adsorbe edebildiği ve bitkilere olan toksik etkilerini azaltabileceği bildirilmiştir. Chen ve arkadaşları (2018), hidrofilik PVA'nın salınım hızı üzerinde sınırlı etkisi olduğu sonuçları üzerine PVA/biyokömür KSG'yi formüle etti. Biyokömür, mekanik dayanıklılığı artırmak ve biyo-bozunurluğu iyileştirmek için bir destek malzemesi olarak kullanılır, çünkü mikroorganizmaları adsorbe edebilir. Diğer bitki türlerinden gelen biyokömüre göre daha az hidrofilik OH^- gruplarına sahip olan pirinç biyokömürü, ürenin daha sıkı ve yoğun bir şekilde kaplanmasına ve besin maddelerinin %60'ını 22 günde serbest bırakmasına yardımcı olmaktadır. Tablo 2, son yıllarda KSG'leri formüle etmek için kullanılan bazı sentetik

polimerleri ve bunların besin içeriğinin %75'ini serbest bırakmak için gereken süreyi özetlemektedir.

Tablo2. Bazı sentetik polimer bazlı KSG'ler

Sentetik Polimer Bazlı				
Malzeme	Modifiye	Araştırma bulguları	Salım süresi	Referanslar
Poli-stiren	Balmumu; Poliüretan	Balmumu kırılıgandır ve suyun kaplamaya nüfuz etmesini engelleyemez. Boyutun artırılması salınımı yavaşlatır ve gerekli kaplama malzemesini azaltır.	70 gün	(Yang ve ark., 2012)
Poli- (PU)	Mezogözenekli silika; Hidroksipropil ile sonlandırılmış Polidimetilsiloksan (HP-PDMS)	Dolgu morfolojisi salınım oranını etkiler. Hidrofobik gradyan katmanının uygulanması üre difüzyon direncini artırır	55–70 gün	(Li ve ark., 2016; Dai ve ark., 2020)
Biyobozunur Sentetik Polimer bazlı				
Alifatik Polyester	-	CRF'nin boyutunun artması ancak daha küçük üre kristallerinin kullanılması, parçalanabilirliği ve salınım hızını yavaşlatır	1 gün	(Ye ve ark., 2020; Bi ve ark., 2020)
Biyo bazlı Epoksi	Sıvılaştırılmış küspenin (LB) bisfenol-A diglisidil etere (BDE) farklı oranı	Optimum BDE miktarı kompaktlığı ve hidrofobikliği artırır ve salınım hızını geciktirir.	10–30 gün	(Li ve ark., 2018)

(Lawrencia ve ark., 2021).

1.3. Doğal Biyolojik Olarak Parçalanabilen Polimerler İçeren Gübre Kaplamaları

Sentetik polimerler, KSG'lerin istenen özelliklerini elde etmek için uyarlanabilir ve değiştirilebilir olma potansiyeline sahip olsa da, biyobozunmayan polimerlerin çevre üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmaktadır. Besin içeriklerini serbest bıraktıktan sonra, bu tür polimer malzemeler toprakta bir yıl içinde 50 kg/ha'ye kadar birikebilir ve bu da beyaz kirliliğe neden olabilir (Lubkowski ve ark., 2015). Bu durum, çevresel etkilere zarar vermeden biyobozunur ve çevre dostu doğal polimerlere olan araştırma ilgisini artırmaktadır. Doğal polimerler, genellikle KSG için uygun mekanik dayanıklılık ve diğer özelliklere sahip olmadığından, diğer malzemelerle birleştirilerek kompozitler oluşturmak için kullanılırlar.

Çeşitli çalışmalar, petrol tabanlı polimer kaplama malzemelerini incelemiştir. Örneğin, Yang ve arkadaşları (2013), mısır sapından elde edilen poliüretanı iç katman olarak kullanarak ve tavuk tüyü yemden süperabsorbent kullanarak çift katmanlı bir polimer kaplı üre (DPCU) KSG hazırlamışlardır. Bu çalışmada hidrojel in üre difüzyonunu etkilemediği, ancak toprakta su tutma kapasitesini artırdığını göstermiştir. Dolayısıyla, serbest bırakma hızı iç katmanın kaplama kalınlığı tarafından kontrol edilmektedir. DPCU, besin içeriğinin %75'inin 35 günde serbest bırakıldığı mükemmel bir kontrollü serbest salınım özelliğine sahiptir. Bortoletto-Santos ve arkadaşları (2016), soya fasulyesi ve hintyağı tabanlı poliüretan kaplamalarını incelemiştir. Bu çalışma, hintyağı tabanlı PU'nun üre yüzeyine daha iyi yapıştığını ve böylece uzun süreli serbest bırakma sağladığını göstermiştir. %7,5 soya fasulyesi ve %5 hintyağı tabanlı kaplama PU'nun, aynı performansı daha ince kaplama kalınlığı ve hintyağı tabanlı PU kullanarak elde edebileceğini göstermiştir. Castor yağı ile hazırlanan alkid reçinesi, hintyağı veya kauçuk yağı ile modifiye edilmiştir ve Uzoh ve arkadaşları (2019) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada, castor yağının daha düşük maliyetle üstün kontrollü serbest bırakma özellikleri sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Bortoletto-Santos ve arkadaşları (2020), hintyağı tabanlı PU'nun mısır verimini etkilemeden N₂O emisyonlarını azalttığını belirlemiştir. Ancak bu çalışma, kumlu toprak için özgüdür ve sonuçların farklı toprak tekstürlerinde farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, Liu ve arkadaşları (2018) tarafından yürütülen çalışmayla da uyumludur. Ancak, bu araştırma, gözenekliliği ve gözenek

boyutunu azaltarak serbest bırakma hızını yavaşlattığı bulunan nano-füme silika (yoğunlaştırıcı madde) içermiştir. Dong Feng ve arkadaşları (2019), soya yağı tabanlı PU kaplı üre hazırlamışlardır. Bu çalışmada kullanılan izosiyanat indeksinin, morfoloji, çapraz bağ yoğunluğu, su emilimi ve serbest bırakma hızını etkilediği bulunmuştur. Daha yüksek izosiyanat indeksi, daha yüksek çapraz bağ derecesine ve daha düşük su emilimine neden olmuş ve bu da serbest bırakma hızını yavaşlatmıştır. Bozunma oranı, sebze yağı tabanlı polioller içeriği arttıkça artmış ve 180 gün sonra %10,23 ile %29,63 arasında değişmiştir. Liu ve arkadaşları (2019) tarafından hazırlanan akrilonitril modifiye edilmiş elastik biyobaz PU kaplama, normal biyobaz PU ile karşılaştırıldığında şişme kapasitesini artırarak 80 güne kadar yavaş bir besin serbest bırakma göstermiştir.

Liu ve arkadaşları (2020), SO₂ ve öjenol kullanarak kaplama malzemesi olarak polisülfon sentezlemişler ve 30 günde %70 oranında üstün bir besin serbest bırakma göstermişlerdir. Polimerin moleküler ağırlığının (Mw) artması, nemin girişini engellediği için bozunma hızını azaltmıştır. Yang ve arkadaşları (2017), lateksi kullanarak hidrofil kaplama geliştirmişlerdir. Ancak, bu çalışma, Yang ve arkadaşlarının (2013) çalışmasının aksine, serbest bırakma hızını etkileyen ana faktörün şişme derecesi olduğunu göstermektedir. Üre içeriği, su ile kolayca H-bağları oluşturduğu ve bu da su molekülleri ile polimer zincirleri arasındaki H-bağ oluşumunu engellediği için şişme derecesini güçlü bir şekilde etkilemektedir. Riyajan ve arkadaşları (2012), doğal kauçuğa kassava nişastası ile greftlenmiş kaplama malzemeleri hazırlamışlardır. Bu malzeme, güçlü ve şişmeyi zorlaştırdığı için nişasta içeriğinin artması doğal kauçuğun hidrofobitesini azaltmış ve şişmeyi artırmıştır. NR-g-ST, şişmiş boncuklar aracılığıyla difüzyon hızını azaltan yoğun bir yapı oluşturmuştur (24 saatte %21). Cui ve arkadaşları (2020), hidrofilikliğini artırmak için iç tabaka olarak NR ve dış tabaka olarak NR-g-poliakrilamit (NR-g-PAA) kullanarak iki katmanlı bir KSG hazırlamışlardır. Bu çoklu kaplama hidrojel, şişmiş boncuklar aracılığıyla harika bir kontrollü serbest bırakma sağlamıştır (30 günde %44,37).

Nişasta, araştırma alanında en fazla ilgi gören doğal bir polimerdir, bu durum bulunabilirliği ve düşük maliyeti nedeniyle. Rychter ve arkadaşları (2016), nişasta esaslı bir KSG oluşturmuş ve plastikleştirici olarak üre kullanmıştır. Bu plastikleştirici, nem içeriğini azaltmış ve bu, matrisin mekanik

özellikleri ve kristalliği üzerinde etkili olmuştur. Daha fazla üre içeriği serbest bırakımı yavaşlatsa da, bu seviyenin yetersiz olduğu belirtilmiştir (besin maddesinin %75'i 12 saatte serbest bırakılmıştır). Bu nedenle, uzun vadeli uygulamalar için hidrofobisiteyi artırmak amacıyla daha fazla modifikasyon gerekmektedir. Niu ve Li'nin (2012) çalışması, hidrofobisitesini artıran nişasta ile greftlenmiş nişasta kullanarak yapılan bir çalışmayla uyumlu sonuçlar elde etmiştir. Bu durum, şişme yeteneğini azaltır, kapsülleme verimliliğini artırır ve besin maddesi kümülatif serbest bırakımını 30 saatte %50'ye kadar azaltır, böylece daha yavaş bir serbest bırakım sunar. Giroto ve arkadaşları (2019), nişasta/melamin/üre KSG'si geliştirdi ve daha yüksek melamin içeriğinin serbest bırakımı yavaşlattığını bildirdi (120 saatte %40). Versino ve arkadaşları (2019), nişasta temelli kaplama malzemesi geliştiren bir ekip tarafından bildirilen benzer eğilimleri rapor etti, ancak bu sefer takviye edici olarak bagas kullanıldı. Bu, mekanik özellikleri iyileştirmiş ve üre içeriğinin artırılması ve takviye edici etkileşimlerin teşvik edilmesiyle serbest bırakımı geciktirmiştir. Bu kompozit, önceki çalışmalara göre daha iyi yavaş serbest bırakım sağlamış ve ürenin %95'i 15 günde serbest bırakılmıştır.

Son yıllarda, su tutma ile ilişkilendirilen faydalar nedeniyle birçok nişasta temelli hidrojel KSG geliştirilmiştir. Jin ve arkadaşları (2013), kısmen çözünebilir nişasta/poli (akrilik asit-ko-akrilamid) süperabsorbent (SAAmF) geliştirmiştir. Nişasta ile poli (akrilik asit-ko-akrilamid) oranının artması, su emilimini azaltır çünkü 3D ağdaki açıklık azalır. Bu, 30 günde %55 daha yavaş bir serbest bırakıma yol açar. Bu sonuçlar, Xiao ve arkadaşları (2017) ile Wen ve arkadaşları (2017) tarafından benzer kümülatif serbest bırakımla uyumludur. Ancak, Wen ve arkadaşları (2017) çalışmasında hidrojel içine bentonit dahil etmişler ve bu, besin maddelerinin yolunu karmaşıklaştırarak serbest bırakımı yavaşlatan adsorpsiyonu artırmıştır. Salimi ve arkadaşları (2020), doğal kömür nanopartikülleri (NCNP) ile takviye edilmiş nişasta hidrojel sentezlemiştir. Serbest bırakma hızı, dolgu maddesi ile arayüzey polimeri arasındaki olumlu etkileşimler nedeniyle artmıştır. Besin maddesinin %70'i 21 günde serbest bırakılmıştır. Qiao ve arkadaşları (2016), iç tabaka olarak etil selüloz (EC) ve dış tabaka malzemesi olarak nişasta temelli süperabsorbent kullanarak iki katmanlı bir KSG oluşturdu. Patates nişastasının ızgara boyutunu azaltmanın ve fraktal jel boyutunu artırmanın en büyük etkisi olduğu belirtilmiştir. Bu, su emilimini artırarak yavaş emilimi teşvik eder. Dolayısıyla, farklı botanik

kökenlere sahip nişasta, morfolojiyi büyük ölçüde etkiler. Hidrofobik EC ile birlikte formülasyon, CEN EN 13266 için yeterli olmasa da serbest bırakım hızını iyileştirmektedir. Patil ve arkadaşları (2018), atık şeker kamışı bagasından elde edilen selüloz nanofibriller (CNF) kullanarak benzer çalışmaları gerçekleştirdi. Bildirilen serbest bırakım hızı tatmin edici olmasa da, karakterizasyon, bu formülasyonun düz üre ile karşılaştırıldığında 3.5 kat daha düşük yüzey alanına sahip olduğunu gösterdi ve aktif bileşenin daha fazla kullanılma potansiyeli oluşturduğunu gösterir. Tüm nişasta temelli hidrojel çalışmaları, toprakta üstün su tutma kapasitesi sağladığını göstermektedir.

Selüloz ve lignin, düşük maliyetli olarak en yaygın doğal kaynaklar olan çekici ham maddelerdir. Xie ve arkadaşları (2012), ürenin aksine daha düşük çözünürlüğe sahip yeni bir makromoleküler gübre olan poli(dimetilüre fosfat) (PDPU) geliştirdi. Tek başına PDPU'nun serbest bırakımı yavaşlatan bir fiziksel bariyer olarak işlev gördüğü kanıtlanmıştır. Ancak bu performansı daha da artırmak için buğday sapı süper emici kaplama kullanıldığında daha iyi sonuçlar elde edilir, çünkü bu hidrojel oluşumu sağlar ve besin maddelerini 30 günde %67,6 yavaşça serbest bırakır. Li ve arkadaşları (2015), benzer çalışmaları gerçekleştirdi, ancak serbest bırakımın 8 günde %85 olduğunu bildirdiler, bu da muhtemelen PDPU'ya göre ürenin hızlı çözünmesinden kaynaklanmıştır. Bortolin ve arkadaşları (2013), poliakrilamid (PAAm), metil selüloz (MC) ve montmorillonit (MMT) NP'lerinden oluşan hidrojel geliştirdi. MMT, su emilimini azaltır ve önceki çalışmalarla uyumlu olarak nanokompozit içinde adsorpsiyonu destekler, yüklemeyi artırır. Ayrıca, hidrojin hidroliz işlemi kil içeriğini artırarak gözenek boyutunu azaltır ve daha uzun bir süre boyunca ürenin desorbe edilme miktarını artırır, kullanımını maksimize eder. Wen ve arkadaşları (2016) tarafından yürütülen çalışma da bentonit eklemenin gözenekliliği ve sıklığı artırdığını gösterir, bu da tortulu bir yolu oluşturur ve difüzyonu geciktirir (30 günde %60 serbest salınım). Olad ve arkadaşları (2018), silika NP'leri ile takviye edilmiş karboksimetil selüloza dayalı bir nanokompozit formüle ettiler. Gübrelerin %56,4'ü 30 günde serbest bırakıldı. Mulder ve arkadaşları (2011), farklı ticari ligninlerle kaplama malzemesi olarak çalıştı. Sodyum keten lignini (Bioplast), hidrofobik alkenil sukşinik anhidrit (ASA) ve çapraz bağlayıcıların eklenmesi, suyu itmeye yönelik özelliklerinden dolayı yavaş serbest bırakma potansiyelini gösterir, ancak serbest bırakım hızı hala endüstriyel uygulamalar için çok yüksek bulundu.

Kitosan, kabuklu deniz ürünlerinin dış iskeletinden ve mantarların hücre duvarlarından türetilen bir polisakkarittir ve bitkilerde mantarların antifungal ve antiviral özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir (Iftime ve arkadaşları., 2019). Kitosan kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Araújo ve arkadaşları (2017), torf, humik asit, humin gibi humik maddeler kullanarak kitosan tabanlı kaplama malzemesi geliştirmiştir. Humik maddelerin türüne ve sulu ortamın pH'sına bağlı olarak, her bileşimin üre ile olası etkileşimleri nedeniyle serbest bırakım hızını farklı şekilde etkileyeceği bildirilmiştir. Huey ve arkadaşları (2017), kitosan/nişasta kompozitinde üreaz inhibitörü olan alisin kullanmışlardır. Alisinin, ürenin hidroliz hızını azalttığı ve bitkilere olan besin maddelerinin erişimini ertelediği bildirilmiştir. Adlim ve arkadaşları (2019), kitosan ile kaplanmış üre-magnezyum-doğal kauçuk kompozitini geliştirdi. Üre ve magnezyum içeren doğal kauçuk karışımı, kitosan ile kaplanmıştır. Bu çalışmada, magnezyumun üre ile etkileşime girerek sertleştiği ve kauçuk matrisine hapsediği ve ürenin serbest bırakımını sınırladığı bulgularına ulaşılmıştır. Bununla birlikte, kitosanın serbest bırakım üzerinde önemli bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Iftime ve arkadaşları (2019), toprakta suyun daha uzun süre tutulmasını ve su buharlaşma oranının azaltılmasını sağlayabilen salisilaldehit ile zenginleştirilmiş kitosan hidrojel geliştirmiştir. Üre, genellikle kitosan hidrojel içinde submikrometrik kristaller şeklinde H-bağları ile tutulur. Bu nedenle, daha büyük üre kristalleri matrise daha az sıkıca bağlandığı için daha hızlı bir serbest bırakıma yol açar. Tablo 3, KSG'leri formüle etmek için kullanılan bazı doğal polimerleri ve bunların besin içeriğinin %75'ini serbest bırakmak için gereken süreyi özetlemektedir.

Tablo 3. Bazı doğal polimer bazlı KSG'ler.

Doğal Polimer Bazlı				
Malzeme	Modifiye	Araştırma bulguları	Salım süresi	Referanslar
Lateks	-	Üre içeriği şişme derecesini etkiler ve bu da salınım oranını büyük ölçüde etkiler.	30 gün	(Yang ve ark., 2017)
Lignin	Alkenil süksinik anhidrit	Su itici özellikler, besin salınımını geciktirme	10-30 dakika	(Bortolin ve ark., 2013)

		konusunda büyük potansiyel gösterir		
Nişasta	bentonit; küspeden selüloz nanofibrili; doğal karakter NP; küspe, melamin, polivinilasetat; EC	Üre plastikleştirici görevi görebilir. Nişastanın hidrofobikliğini arttırmak için modifikasyonu ve takviye maddesinin kullanılması kontrollü salınımı geliştirebilir. Nişasta bazlı hidrojel, mükemmel su tutma kapasitesi ve toprakta tutma özelliği gösterir. Uygun bir dolgu maddesinin kullanılması, salınımı yavaşlatan etkileşimler yaratır.	6-30 gün	(Versino ve ark., 2019; Rycter ve ark., 2016; Niu ve Li, 2012; Giroto ve ark., 2019; Jin ve ark., 2013; Xiao ve ark., 2017; Wen ve ark., 2017; Salimi ve ark., 2020; Qiao ve ark., 2016; Patil ve ark., 2018)
Kitosan	Hüyük maddeler; nişasta+allisin; salisilaldehit; magnezyum+doğal kauçuk	Yavaş salınım için daha küçük üre kristalleri matris içinde daha iyi kapsüllenebilir. Kitosan güçlü etkiler sağlamaz ancak diğer materyallerle birleştirilmesi salınımı geciktiren etkileşimleri teşvik edebilir.	7-13 gün	(Iftime ve ark., 2019; Araújo ve ark., 2017; Huey ve ark., 2017; Adlim ve ark., 2019)

(Lawrencia ve ark., 2021).

1.4. Diğer Organik Malzemeleri İçeren Gübre Kaplamaları

Polimerler sınıflandırmasına dahil olmayan bir dizi organik madde üzerinde tartışmalar yürütülmüştür. Bu maddelerin kullanımı ayrıca toprak

kimyası ve biyolojisi üzerinde olumlu etkiler yapabilir, aynı zamanda iyon değişimini artırabilmektedir (Yang ve ark., 2017).

Wen ve arkadaşları (2017), su tutma özelliklerini artırmak amacıyla bentonit ile birleştirilmiş biyokömür/süper emici polimer içeren bir KSG geliştirdi. Biyokömürün güçlü adsorpsiyon yeteneği olduğu ve bu nedenle KSG uygulaması için uygun olduğu rapor edilmiştir. İçeriğin %70'inden fazlasının bir aydan uzun süren yavaş bir serbest bırakımını sunduğu belirtilmiştir. Benzer bir teori ve kümülatif serbest bırakım sonuçları Shi ve arkadaşları (2020) tarafından rapor edilmiştir. Ayrıca, uygun mineral bağlayıcının yüzey adsorpsiyonu ve organik/mineral etkileşimi yoluyla azotun tutma yeteneğini artırabileceği belirtilmiştir. Mumtaz ve arkadaşları (2019), maleik anhidrit ile kaplanmış bir KSG hazırlamış ve üre serbest bırakımını yavaşlatmak için etkili bir bariyer olduğunu bildirmiştir (14 günde %45). Bu etkinin, maleik anhidrit içindeki karbon ile üre içindeki azot arasındaki kovalent bağlardan kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca, farklı toprak dokuları altında etkili olduğu gösterilmiştir. Tablo 4, son çalışmalarda KSG'leri formüle etmek için kullanılan organik malzemeleri ve bunların besin içeriğinin %75'ini serbest bırakmak için gereken süreyi özetlemektedir.

Tablo 4. Diğer organik malzemelerden yapılan KSG kaplamaları

Diğer Organik Malzemeler				
Malzeme	Modifiye	Araştırma bulguları	Salım süresi	Referanslar
Biyokömür	Bentonit, sepiyolit	Salımı yavaşlatmak için biyokömür ve mineral bağlayıcı sayesinde iyi üre emme kapasitesi.	30 gün	(Shi ve ark., 2020; Wen ve ark., 2017)
Reçine katkı maddesi	Maleik anhidrit	Maleik anhidrit ve üre arasındaki kovalent bağ nedeniyle üre salınımına yönelik etkili bariyer. Farklı toprak dokusunda etkili bir şekilde çalışır.	4 gün	(Mumtaz ve ark., 2019)

(Lawrenci ve ark., 2021).

Avrupa Standartlaştırma Komitesi (CEN) Görev Gücü tarafından tavsiye edilen KSG kriterlerine göre, besin maddelerinin en fazla %75'i 28 gün içinde serbest bırakılmalıdır (2010). Serbest bırakma sürelerinin özetine dayanarak, kükürt, mineral ve inorganik temelli KSG'ler, besin maddelerinin dakikalar, saatler veya birkaç gün içinde hızla serbest bırakılması nedeniyle kriterleri karşılayamamaktadır. Bu durum, ana malzemelerin kırılğan doğasından kaynaklanır ve kaplamanın çatlaklara duyarlı olmasıyla ilişkilidir. Ancak, hidrofobik özelliklere sahip (Span-80) ve iyi adsorpsiyon yeteneği olan (bentonit, sepiolit) belirli dolguların kullanılması, serbest bırakım hızını uzatmaya yardımcı olmaktadır.

Öte yandan, sentetik ve doğal polimer KSG'ler için kriterleri karşılayan formülasyonlar, poliüretan, doğal kauçuk gibi belirli derecelerde hidrofobisiteye sahip olanlar veya kaplamada hidrofobik gradyanların bulunduğu formülasyonlardır. Hidrofobik dolgular (poliüretan) ve iyi adsorpsiyon yeteneğine sahip dolgular (bentonit, montmorillonit, doğal kömür, biyokömür) gübrelerin serbest bırakım hızlarını belirlemede önemli rol oynar. KSG'nin ideal özellikleri yeterince hidrofilik ve hidrofobik olmalıdır. Besin maddeleri, optimum performans için KSG matrisine iyi adsorbe olabilmelidirler.

SONUÇ

Kontrollü salınımlı gübrelerin (KSG) formülasyonunda doğal polimerlerin kullanımı, araştırmacılar arasında giderek artan bir ilgi ve önem kazanmaya devam etmektedir. Bu yaklaşım, geleneksel gübrelerin serbest bırakım hızı ve etkinliği üzerinde olumlu etkiler sağlayabilecektir. Doğal polimerler, gübrelerin serbest bırakım mekanizmalarını yönlendirmede etkili bir şekilde kullanılabilirler. Bu bağlamda, bağlayıcılar ve dolgu maddeleri KSG formülasyonlarında kilit bir rol oynamaktadır. Bu bileşenler, gübrelerin serbest bırakım desenini belirlemek için hayati öneme sahiptir. Bağlayıcılar, KSG içindeki besin maddelerini kapsüller ve matrisler oluşturarak daha kontrollü bir salınım sağlarlar. Ayrıca, bu bağlayıcılar, gübrelerin çevresel faktörlere karşı daha dirençli olmalarını sağlar. Dolgu maddeleri ise KSG yapısını stabilize eder, yoğunluğunu artırır ve gözenek boyutu özelliklerini şekillendirir. Bu, besin maddelerinin serbest bırakım hızını kontrol etmede kritik bir rol oynar. Bağlayıcılar ve dolgu maddeleri ayrıca gübre ile etkileşime girerek adsorpsiyon

süreçlerini desteklerler. Bu da besin maddelerinin daha etkili bir şekilde depolanmasını ve serbest bırakılmasını sağlar. Özellikle bağlayıcılar, gübrelerin matriste homojen bir şekilde dağılmasını sağlar, bu da serbest bırakımın daha istikrarlı olmasına katkıda bulunur.

Sonuç olarak, doğal polimerlerin KSG formülasyonlarına entegrasyonu, gübre sektöründe önemli bir ilerleme olarak görülmektedir. Bu yaklaşım, geleneksel gübrelerin verimliliğini artırmaya, çevresel olumsuz etkileri azaltmaya ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik etmeye yönelik önemli bir adımı işaret etmektedir. Araştırmacılar, doğal polimerlerin kullanımıyla tarım endüstrisinin geleceği açısından umut verici bir gelişme olan KSG'lerin daha etkili ve çevre dostu hale getirilmesi için çalışmalarını sürdürmektedirler. Çevresel düzenlemelerin sıklaşması ve doğal kaynakların korunmasına olan ihtiyaç, tarım sektöründe KSG'lere olan talebi artırmaktadır. Bu tür gübreler, çevresel sorumluluğumuzu yerine getirmemize yardımcı olurken aynı zamanda ekonomik ve tarımsal verimlilik açısından da avantajlar sunar. Gelecekte, tarımın daha sürdürülebilir hale gelmesine katkıda bulunan bu önemli bileşen, tarım uygulamalarında daha da yaygın hale gelecektir.

KAYNAKÇA

- Adlim, M.; Zarlaida, F.; Rahmayani, R.F.I.; Wardani, R. Nutrient release properties of a urea–magnesium–natural rubber composite coated with chitosan. *Environ. Technol. Innov.* 2019, 16, 100442.
- Araújo, B.R.; Romão, L.P.; Doumer, M.E.; Mangrich, A.S. Evaluation of the interactions between chitosan and humics in media for the controlled release of nitrogen fertilizer. *J. Environ. Manag.* 2017, 190, 122–131.
- Azeem B., KuShaari K., Man Z.B., Basit A., and Thanh T.H., 2014. Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *J. Controlled Release*, 181, 11-21.
- Azeem, B.; Kusaari, K.; Man, Z.B.; Basit, A.; Thanh, T.H. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *J. Control. Release* 2014, 181, 11–21.
- Babadi, F.E.; Yunus, R.; Rashid, S.A.; Salleh, M.A.M.; Ali, S. New coating formulation for the slow release of urea using a mixture of gypsum and dolomitic limestone. *Particuology* 2015, 23, 62–67.
- Barrows S.G. and Kilmer V.J., 1963. Plant nutrient losses from soils by water erosion. *Advance in Agronomy*, 15, 303-316.
- Bertol I., Luciano R.V., Bertol C., and Bagio B., 2017. Nutrient and organic carbon losses, enrichment rate, and cost of water erosion. *Ecosyst Sustain Agric.*, 2, 1-15.
- Bi, S.; Barinelli, V.; Sobkowicz, M.J. Degradable Controlled Release Fertilizer Composite Prepared via Extrusion: Fabrication, Characterization, and Release Mechanisms. *Polymers* 2020, 12, 301.
- Bi, S.; Barinelli, V.; Sobkowicz, M.J. Degradable Controlled Release Fertilizer Composite Prepared via Extrusion: Fabrication, Characterization, and Release Mechanisms. *Polymers* 2020, 12, 301.
- Bortoletto-Santos, R.; Cavigelli, M.A.; Montes, S.E.; Schomberg, H.H.; Le, A.; Thompson, A.I.; Kramer, M.; Polito, W.L.; Ribeiro, C. Oil-based polyurethane-coated urea reduces nitrous oxide emissions in a corn field in a Maryland loamy sand soil. *J. Clean. Prod.* 2020, 249, 119329.
- Bortoletto-Santos, R.; Ribeiro, C.; Polito, W.L. Controlled release of nitrogen-source fertilizers by natural-oil-based poly (urethane) coatings: The kinetic aspects of urea release. *J. Appl. Polym. Sci.* 2016, 133.

- Bortolin, A.; Aouada, F.A.; Mattoso, L.H.; Ribeiro, C. Nanocomposite PAAm/methyl cellulose/montmorillonite hydrogel: Evidence of synergistic effects for the slow release of fertilizers. *J. Agric. Food. Chem.* 2013, 61, 7431–7439.
- Chen, S.; Yang, M.; Ba, C.; Yu, S.; Jiang, Y.; Zou, H.; Zhang, Y. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by biochar-based waterborne copolymers. *Sci. Total. Environ.* 2018, 615, 431–437. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- Cheng, D., Liu, Y., Yang, G., Zhang, A., 2018. Water- and fertilizer-integrated hydrogel derived from the polymerization of acrylic acid and urea as a slow-release N fertilizer and water retention in agriculture. *J. Agric. Food Chem.* 66, 5762–5769.
- Congreves K.A., Dutta B., Grant B.B., and Smith W.N., Desjardins R.L., and Wagner-Riddle C., 2016a. How does climate variability influence nitrogen loss in temperate agroecosystems under contrasting management systems? *Agric. Ecosyst. Environ.*, 227, 33-41.
- Cui, Y.; Xiang, Y.; Xu, Y.; Wei, J.; Zhang, Z.; Li, L.; Li, J. Poly-acrylic acid grafted natural rubber for multi-coated slow release compound fertilizer: Preparation, properties and slow-release characteristics. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020, 146, 540–548.
- Dai, C.; Yang, L.; Xie, J.; Wang, T.-J. Nutrient diffusion control of fertilizer granules coated with a gradient hydrophobic film. *Colloids Surf. A* 2020, 588, 124361.
- De Jong R., Drury C.F., Yang J.Y., and Campbell C.A., 2009. Risk of water contamination by nitrogen in Canada as estimated by the IROWC-N model. *J. Environ. Manag.*, 90, 3169-3181.
- Dixon, J. Roles of clays in soils. *Appl. Clay. Sci.* 1991, 5, 489–503.
- Dong Feng, G.; Ma, Y.; Zhang, M.; You Jia, P.; Hong Hu, L.; Guo Liu, C.; Hong Zhou, Y. Polyurethane-coated urea using fully vegetable oil-based polyols: Design, nutrient release and degradation. *Prog. Org. Coat* 2019, 133, 267–275.
- Drury C.F., Tan C.S., Welacky T.W., Reynolds W.D., Zhang T.Q., Oloya T.O. et al., 2014. Reducing nitrate loss in tile drainage water with cover crops and water-table management systems. *J. Environ. Qual.*, 43, 587-598. doi: 10.2134/jeq2012.0495.

- Dubey, A.; Mailapalli, D.R. Zeolite coated urea fertilizer using different binders: Fabrication, material properties and nitrogen release studies. *Environ. Technol. Inno.* 2019, 16, 100452.
- Dutta B., Congreves K.A., Smith W.N., Grant B.B., Rochette P., Chantigny M.H., and Desjardins R.L., 2016. Application of DNDC to estimate ammonia loss from surface and incorporated urea fertilizer in temperate agroecosystems. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 106, 275-292. doi: 10.1007/s10705-016-9804-ZEMEP/CORINAIR Technical Report No. 16/2007. European Environment Agency, Denmark.
- Elhassani, C.E.; Essamlali, Y.; Aqlil, M.; Nzenguet, A.M.; Ganetri, I.; Zahouily, M. Urea-impregnated HAP encapsulated by lignocellulosic biomass-extruded composites: A novel slow-release fertilizer. *Environ. Technol. Inno.* 2019, 15, 100403.
- Emami, N.; Razmjou, A.; Noorisafa, F.; Korayem, A.H.; Zarrabi, A.; Ji, C. Fabrication of smart magnetic nanocomposite asymmetric membrane capsules for the controlled release of nitrate. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 2017, 8, 233–243.
- FAO, F., 2015. World fertilizer trends and outlook to 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Giroto, A.S.; Guimarães, G.G.; Colnago, L.A.; Klamczynski, A.; Glenn, G.; Ribeiro, C. Controlled release of nitrogen using urea-melamine-starch composites. *J. Clean. Prod.* 2019, 217, 448–455.
- He W., Yang J., Drury C., Smith W., Grant B., He P., et al., 2018. Estimating the impacts of climate change on crop yields and N₂O emissions for conventional and no-tillage in southwestern Ontario, Canada. *Agric. Syst.*, 159, 187-198.
- Hermida, L.; Agustian, J. Slow release urea fertilizer synthesized through recrystallization of urea incorporating natural bentonite using various binders. *Environ. Technol. Inno.* 2019, 13, 113–121.
- Holly M.A., Kleinman P.J., Bryant R.B., Bjerneberg D.L., Rotz C.A., Baker J.M., et al., 2018. Identifying challenges and opportunities for improved nutrient management through the USDA's Dairy Agroecosystem Working Group. *J. Dairy Sci.*, 101, 6632-6641.
- Sharpley A.N., McDowell R.W., and Kleinman P.J.A., 2001. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and

- environmental management. *Plant Soil*, 237, 287-307. doi: 10.1023/A:1013335814593
- Huey, C.E.; Yahya, W.Z.N.; Mansor, N. Allicin incorporation as urease inhibitor in a chitosan/starch based biopolymer for fertilizer application. In *Proceedings of the Conference on Biomedical and Advanced Materials*, The Bayview Hotel Langkawi, Langkawi, Malaysia, 28–29 November 2017; pp. 2187–2196.
- Ibrahim, K.R.M.; Babadi, F.E.; Yunus, R. Comparative performance of different urea coating materials for slow release. *Particuology* 2014, 17, 165–172.
- IFA, 2019. *Fertilizer Outlook 2019–2023*. Annual Conference, Montreal, 11–13 June 2019. PIT, Market Intelligence and Agriculture Services, IFA.
- Iftime, M.M.; Ailiesei, G.L.; Ungureanu, E.; Marin, L. Designing chitosan based eco-friendly multifunctional soil conditioner systems with urea controlled release and water retention. *Carbohydr. Polym.* 2019, 223, 115040.
- Jin, S.; Wang, Y.; He, J.; Yang, Y.; Yu, X.; Yue, G. Preparation and properties of a degradable interpenetrating polymer networks based on starch with water retention, amelioration of soil, and slow release of nitrogen and phosphorus fertilizer. *J. Appl. Polym. Sci.* 2013, 128, 407–415.
- Kottegoda, N.; Sandaruwan, C.; Priyadarshana, G.; Siriwardhana, A.; Rathnayake, U.A.; Berugoda Arachchige, D.M.; Kumarasinghe, A.r.; Dahanayake, D.; Karunaratne, V.; Amaratunga, G.A. Urea-hydroxyapatite nanohybrids for slow release of nitrogen. *ACS Nano* 2017, 11, 1214–1221.
- Lawrencia, D., Wong, S. K., Low, D. Y. S., Goh, B. H., Goh, J. K., Ruktanonchai, U. R., ... & Tang, S. Y. (2021). Controlled release fertilizers: A review on coating materials and mechanism of release. *Plants*, Li, L.; Sun, Y.; Cao, B.; Song, H.; Xiao, Q.; Yi, W. Preparation and performance of polyurethane/mesoporous silica composites for coated urea. *Mater. Des.* 2016, 99, 21–25.
- Li, X.; Li, Q.; Su, Y.; Yue, Q.; Gao, B.; Su, Y. A novel wheat straw cellulose-based semi-IPNs superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 2015, 55, 170–179.

- Li, Y.; Jia, C.; Zhang, X.; Jiang, Y.; Zhang, M.; Lu, P.; Chen, H. Synthesis and performance of bio-based epoxy coated urea as controlled release fertilizer. *Prog. Org. Coat* 2018, 119, 50–56.
- Liu, J.; Yang, Y.; Gao, B.; Li, Y.C.; Xie, J. Bio-based elastic polyurethane for controlled-release urea fertilizer: Fabrication, properties, swelling and nitrogen release characteristics. *J. Clean. Prod.* 2019, 209, 528–537.
- Liu, L.; Ni, Y.; Zhi, Y.; Zhao, W.; Pudukudy, M.; Jia, Q.; Shan, S.; Zhang, K.; Li, X. Sustainable and Biodegradable Copolymers from SO₂ and Renewable Eugenol: A Novel Urea Fertilizer Coating Material with Superior Slow Release Performance. *Macromolecules* 2020, 53, 936–945.
- Liu, L.; Shen, T.; Yang, Y.; Gao, B.; Li, Y.C.; Xie, J.; Tang, Y.; Zhang, S.; Wang, Z.; Chen, J. Bio-based Large Tablet Controlled-Release Urea: Synthesis, Characterization, and Controlled-Released Mechanisms. *J. Agric. Food Chem.* 2018, 66, 11265–11272.
- Lubkowski, K.; Smorowska, A.; Grzmil, B.; Kozłowska, A. Controlled-release fertilizer prepared using a biodegradable aliphatic copolyester of poly (butylene succinate) and dimerized fatty acid. *J. Agric. Food. Chem.* 2015, 63, 2597–2605.
- Mulder, W.; Gosselink, R.; Vingerhoeds, M.; Harmsen, P.; Eastham, D. Lignin based controlled release coatings. *Ind. Crops. Prod.* 2011, 34, 915–920.
- Mumtaz, I.; Majeed, Z.; Ajab, Z.; Ahmad, B.; Khurshid, K.; Mubashir, M. Optimized tuning of rosin adduct with maleic anhydride for smart applications in controlled and targeted delivery of urea for higher plant's uptake and growth efficiency. *Ind. Crops. Prod.* 2019, 133, 395–408.
- Ni, B.; Liu, M.; Lu, S.; Xie, L.; Wang, Y. Environmentally friendly slow-release nitrogen fertilizer. *J. Agric. Food. Chem.* 2011, 59, 10169–10175.
- Niu, Y.; Li, H. Controlled release of urea encapsulated by starch-g-poly (vinyl acetate). *Ind. Eng. Chem. Res.* 2012, 51, 12173–12177.
- Olad, A.; Zebhi, H.; Salari, D.; Mirmohseni, A.; Tabar, A.R. Slow-release NPK fertilizer encapsulated by carboxymethyl cellulose-based

- nanocomposite with the function of water retention in soil. *Mater. Sci. Eng. C* 2018, 90, 333–340.
- Parton W.J., Holland E.A., Del Grosso S.J., Hartman M.D., Martin R.E., Mosier A.R., et al., 2001. Generalized model for NO_x and N₂O emissions from soils. *J. Geophys. Res.*, 106, 17403-17419.
- Patil, M.D.; Patil, V.D.; Sapre, A.A.; Ambone, T.A.; Torris At, A.; Shukla, P.G.; Shanmuganathan, K. Tuning controlled release behavior of starch granules using nanofibrillated cellulose derived from waste sugarcane bagasse. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2018, 6, 9208–9217.
- Pereira, E.I.; Da Cruz, C.C.; Solomon, A.; Le, A.; Cavigelli, M.A.; Ribeiro, C. Novel slow-release nanocomposite nitrogen fertilizers: The impact of polymers on nanocomposite properties and function. *Ind. Chem. Eng. Res.* 2015, 54, 3717–3725.
- Qiao, D.; Liu, H.; Yu, L.; Bao, X.; Simon, G.P.; Petinakis, E.; Chen, L. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer. *Carbohydr. Polym.* 2016, 147, 146–154.
- Riyajan, S.-A.; Sasithornsonti, Y.; Phinyocheep, P. Green natural rubber-g-modified starch for controlling urea release. *Carbohydr. Polym.* 2012, 89, 251–258.
- Rochette P., Liang C., Pelster D., Bergeron O., Lemke R., Kroebel R., et al., 2018. Soil nitrous oxide emissions from agricultural soils in Canada: Exploring relationships with soil, crop and climatic variables. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 254, 69-81.
- Rychter, P.; Kot, M.; Bajer, K.; Rogacz, D.; Šišková, A.; Kapuśniak, J. Utilization of starch films plasticized with urea as fertilizer for improvement of plant growth. *Carbohydr. Polym.* 2016, 137, 127–138.
- Salimi, M.; Motamedi, E.; Moteszarezedeh, B.; Hosseini, H.M.; Alikhani, H.A. Starch-g-poly (acrylic acid-co-acrylamide) composites reinforced with natural char nanoparticles toward environmentally benign slow-release urea fertilizers. *J. Environ. Chem. Eng.* 2020, 8, 103765.
- Sarkar, K.; Sen, K. Polyvinyl alcohol based hydrogels for urea release and Fe (III) uptake from soil medium. *J. Environ. Chem. Eng.* 2018, 6, 736–744.

- Shi, W.; Ju, Y.; Bian, R.; Li, L.; Joseph, S.; Mitchell, D.R.; Munroe, P.; Taherymoosavi, S.; Pan, G. Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. *Sci. Total Environ.* 2020, 701, 134424.
- Trenkel, M.E. *Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture*; IFA, International Fertilizer Industry Association: Berlin, Germany, 2010.
- Uzoh, C.F.; Onukwuli, O.D.; Ozofor, I.H.; Odera, R.S. Encapsulation of urea with alkyd resin-starch membranes for controlled N₂ release: Synthesis, characterization, morphology and optimum N₂ release. *Process. Saf. Environ.* 2019, 121, 133–142.
- Uzoma K.C., Smith W.N., Grant B., Desjardins R.L., Gao X., Hanisb K., et al., 2015. Assessing the effects of agricultural management on nitrous oxide emissions using flux measurements and the CAN-DNDC model. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 206, 71-83.
- Vashishtha, M.; Dongara, P.; Singh, D. Improvement in properties of urea by phosphogypsum coating. *Int. J. Chemtech. Res.* 2010, 2, 36–44.
- Vatn A., Bakken L.R., Bleken M., Baadshaug O.H., Fykse H., Haugen L.E., Lundekvam H., Morken J., Romstad E., Rørstad P.K., Skjelvag A.O., and Sogn T., 2006. A methodology for integrated economic and environmental analysis of pollution from agriculture. *Agric. Syst.*, 88, 270- 293.
- Versino, F.; Urriza, M.; García, M.A. Eco-compatible cassava starch films for fertilizer controlled-release. *Int. J. Biol. Macromol.* 2019, 134, 302–307.
- Wang, Y.; Guo, H.; Wang, X.; Ma, Z.; Li, X.; Li, R.; Li, Q.; Wang, R.; Jia, X. Spout Fluidized Bed Assisted Preparation of Poly (tannic acid)-Coated Urea Fertilizer. *ACS Omega* 2020, 5, 1127–1133.
- Wen, P.; Han, Y.; Wu, Z.; He, Y.; Ye, B.-C.; Wang, J. Rapid synthesis of a corncob-based semi-interpenetrating polymer network slow-release nitrogen fertilizer by microwave irradiation to control water and nutrient losses. *Arab. J. Chem.* 2017, 10, 922–934.
- Wen, P.; Wu, Z.; Han, Y.; Cravotto, G.; Wang, J.; Ye, B.-C. Microwave-assisted synthesis of a novel biochar-based slow-release nitrogen fertilizer with enhanced water-retention capacity. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2017, 5, 7374–7382.

- Wen, P.; Wu, Z.; He, Y.; Ye, B.-C.; Han, Y.; Wang, J.; Guan, X. Microwave-assisted synthesis of a semi-interpenetrating polymer network slow-release nitrogen fertilizer with water absorbency from cotton stalks. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2016, 4, 6572–6579.
- Xiao, X.; Yu, L.; Xie, F.; Bao, X.; Liu, H.; Ji, Z.; Chen, L. One-step method to prepare starch-based superabsorbent polymer for slow release of fertilizer. *Chem. Eng. J.* 2017, 309, 607–616. [Google Scholar]
- Xiaoyu, N.; Yuejin, W.; Zhengyan, W.; Lin, W.; Guannan, Q.; Lixiang, Y. A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. *Biosyst. Eng.* 2013, 115, 274–282.
- Xie, L.; Liu, M.; Ni, B.; Wang, Y. Utilization of wheat straw for the preparation of coated controlled-release fertilizer with the function of water retention. *J. Agric. Food. Chem.* 2012, 60, 6921–6928.
- Yang, D.; Yunguo, L.; Shaobo, L.; Huang, x.; Zhongwu, L.; Xiaofei, T.; Guangming, Z.; Lu, Z. Potential benefits of biochar in agricultural soils: A review. *Pedosphere* 2017, 27, 645–661.
- Yang, L.; An, D.; Wang, T.-J.; Kan, C.; Jin, Y. Swelling and diffusion model of a hydrophilic film coating on controlled-release urea particles. *Particuology* 2017, 30, 73–82.
- Yang, Y.; Tong, Z.; Geng, Y.; Li, Y.; Zhang, M. Biobased polymer composites derived from corn stover and feather meals as double-coating materials for controlled-release and water-retention urea fertilizers. *J. Agric. Food. Chem.* 2013, 61, 8166–8174.
- Yang, Y.-C.; Zhang, M.; Li, Y.; Fan, X.-H.; Geng, Y.-Q. Improving the quality of polymer-coated urea with recycled plastic, proper additives, and large tablets. *J. Agric. Food. Chem.* 2012, 60, 11229–11237.
- Ye, H.-M.; Li, H.-F.; Wang, C.-S.; Yang, J.; Huang, G.; Meng, X.; Zhou, Q. Degradable polyester/urea inclusion complex applied as a facile and environment-friendly strategy for slow-release fertilizer: Performance and mechanism. *Chem. Eng. J.* 2020, 381, 122704.
- Yu, X.; Li, B. Release mechanism of a novel slow-release nitrogen fertilizer. *Particuology* 2019, 45, 124–130.



ISBN: 978-625-367-475-5