

FARKLI YÖNLERİYLE PATLICANGİLLER ÜZERİNE BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Fikret YAŞAR

Doç. Dr. Özlem ÜZAL

YAZARLAR

Prof. Dr. Ahmet BALKAYA

Prof. Dr. Atilla DURSUN

Prof. Dr. Fikret YAŞAR

Prof. Dr. Ertan YILDIRIM

Prof. Dr. Melek EKİNCİ

Prof. Dr. Metin TURAN

Prof. Dr. Murat AYDIN

Prof. Dr. Murat DEVECİ

Prof. Dr. Naif GEBOLOĞLU

Prof. Dr. Özlem ALTUNTAŞ

Prof. Dr. Selda ÖRS CIRİK

Doç. Dr. Fazilet PARLAKOVA KARAGÖZ

Doç. Dr. Hayat TOPÇU

Doç. Dr. M. Zeki KARİPÇİN

Doç. Dr. Özlem ÜZAL

Doç. Dr. Refik BOZBUĞA

Doç. Dr. Sıtkı ERMİŞ

Dr. Öğr. Üy. Ayşegül DURUKAN KUM

Dr. Öğr. Üy. Esma YİĞİDER

Arş. Gör. Ahmet Hakan EKER

Arş. Gör. Lale ERSOY

Dr. Emine POLAT

Zir. Yük. Müh. Güleda ÖKTEM

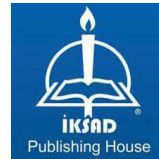
Zir. Yük. Müh. Ömer ÖZTAŞ

Zir. Müh. Beyda ANBAR

Zir. Müh. Özlem URTEKİN

Zir. Müh. Sümeyye GÜNEY

Zir. Müh. Yağmur KALETÜRK



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

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

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-486-7

Cover Design: Fikret YAŞAR, Özlem ÜZAL

December / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	1
------------	---

BÖLÜM 1

TÜRKİYE SEBZECİLİK SEKTÖRÜNDE PATLICANGİL GRUBU SEBZE TÜRLERİNİN MEVCUT DURUMU, SWOT ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE GELECEĞİ

Prof. Dr. Ahmet BALKAYA

Zir. Müh. Sümeyye

GÜNEY.....	5
------------	---

BÖLÜM 2

PATLICANGİLLER (*Solanaceae*) AİLESİNDE KÜLTÜRE ALINMA VE SOY İLİŞKİLERİ: POLİNASYON STRATEJİLERİ, KİMYASAL SAVUNMA VE SİTOGENETİK ÖRÜNTÜLER

Doç. Dr. M. Zeki KARİPÇİN.....	49
--------------------------------	----

BÖLÜM 3

PATLICANGİLLERDE TOHUM ÇİMLENME PERFORMANSINI ARTIRMAYA YÖNELİK PRİMİNG UYGULAMALARI

Doç. Dr. Sıtkı ERMİŞ

Arş. Gör. Ahmet Hakan EKER

Zir. Yük. Müh. Güleda ÖKTEM.....	67
----------------------------------	----

BÖLÜM 4

SOLANACEAE'DE DÖLLENME BİYOLOJİSİ VE PARTENOKARPI: DOMATES, BİBER, PATLICAN ÖRNEKLERİYLE

Doç. Dr. M. Zeki KARİPÇİN.....	119
--------------------------------	-----

BÖLÜM 5

PATLICANGİL SEBZE GRUBUNDA GÜBRELEME STRATEJİLERİ

Zir. Yük. Müh. Ömer ÖZTAŞ

Doç. Dr. Özlem ÜZAL

Prof. Dr. Fikret YAŞAR.....	149
-----------------------------	-----

BÖLÜM 6

PATLICANGİLLERE AİT SEBZELERİN YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KİMYASAL GÜBRE İHTİYACININ AZALTMASINDA PGPR VE ALGLERİN ROLÜ

Prof. Dr. Özlem ALTUNTAŞ

Arş. Gör. Lale ERSOY.....171

BÖLÜM 7

PATLICANDA BİYOTİK STRESLERE KARŞI ÇOKLU DAYANIKLILIK GENLERİNİN MOLEKÜLER YAKLAŞIMLARLA BELİRLENMESİ VE ISLAH PROGRAMLARINA ENTEGRASYONU

Zir. Müh. Yağmur KALETÜRK

Doç. Dr. Hayat TOPÇU

Prof. Dr. Murat DEVECİ.....185

BÖLÜM 8

PATLICANGİLLERDE SULAMA VE SU STRESİ

Dr. Öğr. Üyesi Esma YİĞİDER

Prof. Dr. Melek EKİNCİ

Prof. Dr. Selda ÖRS CIRIK

Prof. Dr. Murat AYDIN

Prof. Dr. Metin TURAN

Prof. Dr. Ertan YILDIRIM.....239

BÖLÜM 9

CRISPR/Cas9 TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK DOMATES VE PATLICAN BİTKİLERİNDE SU STRESİNE DAYANIKLI GENOTİPLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Zir. Müh. Beyda ANBAR

Doç. Dr. Hayat TOPÇU

Prof. Dr. Murat DEVECİ.....269

BÖLÜM 10

TUZ STRESİ VE GERİ KAZANIM SÜRECİNDE DOMATES BİTKİSİNDE İYON ALIMINDAKİ DEĞİŞİMLER

Prof. Dr. Fikret YAŞAR

Zir. Yük. Müh. Ömer ÖZTAŞ

Doç. Dr. Özlem ÜZAL.....319

BÖLÜM 11

PATLICANDA ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ VE ÇÖZÜM STRATEJİLERİ

Dr. Emine POLAT

Prof. Dr. Naif GEBOLOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DURUKAN KUM.....357

BÖLÜM 12

PATLICAN (*Solanum melongena* L.) ÜRETİMİNDE KÖK-UR NEMATODLARININ (*Meloidogyne* spp.) ETKİLERİ VE NEMATODLARA KARŞI DAYANIKLILIK

Zir. Müh. Özlem URTEKİN

Doç. Dr. Refik BOZBUĞA.....385

BÖLÜM 13

***SOLANACEAE* FAMILYASINDA SÜS BİTKİLERİ: MEVCUT TÜRLER, YABANI POTANSİYEL VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ**

Doç. Dr. Fazilet PARLAKOVA KARAGÖZ

Prof. Dr. Atilla DURSUN.....423

ÖNSÖZ

Patlıcangiller (Solanaceae) familyası, bitki bilimleri ve insanlık tarihi açısından kilit bir öneme sahiptir. Dünya florasında 102 cins ve yaklaşık 2480 tür ile temsil edilen bu kozmopolit aile, özellikle tropikal ve subtropikal Amerika'da muazzam bir çeşitlilik sergilerken, Türkiye florasında ise 12 cins ve 36 tür ile varlığını sürdürmektedir. Bu familyanın üyeleri arasında, küresel gıda güvenliğinin temel taşlarını oluşturan Patates (*Solanum tuberosum*), Domates (*Solanum lycopersicum*), Biber (*Capsicum* spp.), Patlıcan (*Solanum melongena*), Tütün (*Nicotiana tabacum*) ve Altın Çilek (*Physalis* spp.) gibi ekonomik değeri paha biçilmez türler bulunmaktadır. Ayrıca, dekoratif ve fitokimyasal açıdan zengin türleri barındırmasına rağmen, bazı üyelerinin içerdiği toksik bileşikler nedeniyle de dikkatli bir incelemeyi gerektirmektedir.

Elinizdeki bu eser, Patlıcangiller familyasının derinlemesine bilimsel analizine adanmıştır. Bu aile, sadece insan beslenmesindeki kritik rolü ile değil; aynı zamanda fitokimya, moleküler evrim, genetik çeşitlilik ve sürdürülebilir agroekoloji alanlarına sunduğu zengin araştırma potansiyeliyle de bilim dünyasının odağındadır. Solanaceae üyelerinin yıllık tonaj ve ekonomik değer açısından zirvede yer alması, türlerin sahip olduğu şaşırtıcı genetik esnekliğe ve bulundukları ekolojik nişlere olan üstün adaptasyon yeteneklerine dayanmaktadır.

Bu çalışmanın temel odak noktalarından biri, familyanın büyük bir kısmının evrimleştiği ve çeşitlendiği anavatan bölgelerinin ekolojik baskılarının türler üzerindeki etkisini incelemektir. Güney Amerika'daki And Dağları'nın yüksek platoları (özellikle *Solanum* cinsinin birincil gen

merkezi), Meksika ve Orta Amerika'nın tropik ve subtropik kuşakları, bu familyanın kilit türleri için gen merkezleri olarak hizmet etmiştir. Patatesin 3000-4000 metre rakımdaki dona karşı geliştirdiği dayanıklılıktan, biberin tropik ovalardaki yüksek sıcaklık ve nem gereksinimine kadar, her bir türün kendine özgü fizyolojik ve morfolojik özellikleri, köken aldıkları ekolojik stres koşullarına verdikleri biyolojik yanıtlardır.

Bu bağlamda kitap, türlerin su dengesi yönetimi, sıcaklık tolerans, besin maddesi döngüsüne tepkileri ve fotoperiyodik gereksinimleri gibi temel ekolojik taleplerini, modern tarımsal sistemler ve küresel iklim değişikliğinin artan baskısı altında ele almaktadır. Patlıcangillerin ekolojik çeşitlilikleri hakkındaki detaylı bilgi birikimi, sürdürülebilir tarım stratejilerinin geliştirilmesi, verimin optimize edilmesi ve özellikle abiyotik ve biyotik stres faktörlerine karşı dirençli yeni çeşitlerin ıslahı için hayati bir bilimsel altyapı sunmaktadır.

Bu eser, ziraat mühendisleri, botanikçiler, ekolojistler, bitki fizyologları ve genetikçiler için kapsamlı ve güncel bir başvuru kaynağı olmayı hedeflemektedir. Patlıcangillerin genetik ve ekolojik adaptasyon mekanizmalarını derinlemesine kavrayarak, onların gezegenimizin değişen çevresel koşullarına rağmen insanlığın besin güvenliğine olan kritik katkılarını sürdürmelerini sağlamanın yollarını keşfetmeyi amaçlıyoruz.

Bu kıymetli eserin ortaya çıkmasında, yoğun akademik mesaipleri arasında bilim adına değerli vakitlerini ayırarak katkı sunan 28 akademisyen ve araştırmacı bilim insanına en derin şükranlarımızı sunarız. Onların özverili çalışmaları, bu eserin bilimsel derinliğini ve kapsamını

belirlemiştir. Ayrıca, kitabın basım sürecini titizlikle üstlenen İKSAD Yayınevi'ne de teşekkürlerimizi borç biliriz.

Bu kitabın, bilimsel ve pratik açıdan en üst düzeyde yararlı olmasını temenni ediyoruz.

Saygılarımızla,

14.12.2025

Editörler

Prof. Dr. Fikret YAŞAR

Doç. Dr. Özlem ÜZAL

BÖLÜM 1

TÜRKİYE SEBZECİLİK SEKTÖRÜNDE PATLICANGİL GRUBU SEBZE TÜRLERİNİN MEVCUT DURUMU, SWOT ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE GELECEĞİ

Prof. Dr. Ahmet BALKAYA^{1*}

Zir. Müh. Sümeyye GÜNEY²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18067376>

^{1*} Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Samsun, Türkiye. abalkaya@omu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9114-615X

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı, Samsun, Türkiye. guneyysumeyye@gmail.com, Orcid ID: 0009-0008-9928-9508

*Sorumlu yazar

GİRİŞ

Türkiye sebzeçilik sektörü; günümüzde ekolojik özellikleri yanında, üretim alışkanlıkları ve mevcut sebze üretim deneyimi ile bitkisel üretim içerisinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Yetiştirilen sebze türlerinin sayısı, çeşitliliği ve birçok sebze türünde dünya ülkeleri arasında majör sebze üreticisi olması nedeniyle özel bir konumdadır (Balkaya ve ark., 2025a). Günümüzde sebze tüketimine olan iç ve dış talebin artışı, farklı sektördeki sanayicilerin sebzeçilik sektörüne yaptıkları yatırımlarla sebzeçilik faaliyetleri ülkemizde aile sebzeçiliğinden modern sebzeçiliğe doğru bir yönelişin olmasını sağlamıştır (Yanmaz ve ark., 2020). Bunun sonucu olarak, günümüzde sebzeçilik sektörü birçok insanın istihdam alanı olmuştur. Ülkemiz farklı ekolojik koşullara sahip olduğu için her bölgede sebzeçilik aynı düzeyde gelişme göstermemiştir (Balkaya ve ark., 2025a). İklim çeşitliliğinin fazla olduğu kıyı bölgelerde diğer bölgelere göre sebzeçiliğin yayılımı yanında, yetiştirme tekniği yönünden de belirgin farklılıklar vardır.

Türkiye sebzeçilik sektörü, yaklaşık 33.5 milyon ton sebze üretim değeri ile Çin, Hindistan ve Amerika Birleşik Devletleri'nden sonra dünyada 4. sırada yer almaktadır (TÜİK, 2024). Özellikle son 30-40 yıllık dönemde tarımsal üretim içerisinde sebze türlerine ait üretim miktarlarının payı sürekli olarak artış göstermiştir. Türkiye'nin 1961-2024 yılları arasındaki dönemde sebze ekiliş alanı ve sebze üretim miktarı değerlerindeki değişimler, Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Türkiye'nin Sebze Üretiminin Yıllara Göre (1961-2024) Değişimi

Yıl	Üretim (ton)	Alan (ha)
1961	6.618.315	547.700
1980	13.028.270	725.400
2000	24.605.162	999.200
2010	25.900.999	802.000
2015	29.552.290	808.000
2020	31.196.717	779.000
2021	31.753.466	755.000
2022	31.589.309	718.000
2023	31.787.928	712.000
2024	33.572.402	741.000

(TÜİK 2024)

Tablo 1 incelendiğinde 1961-2000 yılları arasında sebze üretim alanı ve miktarında düzenli bir artış olduğu belirlenmiştir. Türkiye’de 1980’li yıllardan sonra ekonomik modelin değişimi, serbest piyasa ekonomisine geçişle birlikte izlenen tohum ve girdi ithalatının etkisiyle çeşitlerin iyileştirilmesi, üretim tekniklerinde modernleşme sebzeçilik sektörünün büyümesinde olumlu yönde etkili olmuştur (Balkaya ve ark., 2020a). Sebze üretimi 2010’lu yıllarda 802.000 ha alanda yaklaşık 25.9 milyon ton iken, 2024 yılında 741.000 ha alanda 33.5 milyon tonun üzerine çıkmıştır (Tablo 1). Ülkemizde en fazla üretilen sebze türleri, meyvesi yenen sebze türleri olup toplam üretimimizin yaklaşık %77’sini oluşturmaktadır.

Bu bölümde, Türkiye sebzeçilik sektöründe ekonomik yönden önemli bir paya sahip olan patlıcangil grubu sebze türlerinin (domates, biber ve patlıcan) üretim potansiyelinin açıkta tarla ve örtü altında mevcut durumu, sebze işleme sanayinde kullanım durumu ile mevcut durumunun SWOT analizi (güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve

tehditler) ile değerlendirilmesi ve gelecekte hedeflerin neler olması gerektiği irdelenmiştir.

1. SEBZECİLİK SEKTÖRÜNDE PATLICANGİL GRUBU SEBZE TÜRLERİNİN EKONOMİK ÖNEMİ

1.1. Patlıcangil Grubu Sebze Türlerinin Türkiye Toplam Ekiliş Alanı, Üretim Miktarı ve Bölgelere Göre Dağılımları

1.1.1. Domates

Dünya genelinde ve ülkemizde domates en çok üretilen bitkisel ürünler arasında yer almaktadır. Yüksek adaptasyon yeteneği ile domates, açık tarla yetiştiriciliğinin yanında örtü altında yetiştirilmesi ve gıda sanayiinde işlenebilir bir ürün olması nedenleriyle ekvatordan kuzey ve güney yarım kürelerin en uç noktalarına kadar her yerde kolaylıkla üretilmekte ve tüketilmektedir (Abak ve İlbi, 2022). FAO istatistiklerine göre 188 ülkede domates yetiştiriciliği yapılmaktadır. Dünya domates üretim miktarı 2022 yılında yaklaşık 186,6 milyon ton iken 2023 yılında bu değer yaklaşık 192.3 milyon tona yükselmiştir (Tablo 2).

Dünya genelinde hem ekiliş alanı hem de üretim miktarları son yıllarda düzenli olarak artış göstermiştir. Bu artış son 10 yıllık dönemde ekiliş alanında %12 ve üretimde ise %23 oranında gerçekleşmiştir (Tablo 2). Ülkeler bazında dünya domates üretimi incelendiğinde, Çin 70.1 milyon ton ile ilk sırada yer almakta ve toplam domates üretiminin yaklaşık %36.5'ini karşılamaktadır. Hindistan ise 20.4 milyon tonluk domates üretimiyle ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye ise FAO verilerine göre

166.323 ha alanda 13.3 milyon tonluk domates üretim değeri ile Dünya’da üçüncü sırada yer almaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Ülkelere Göre Domates Üretim Alan ve Miktarının Yıllara Göre Değişimi

Ülkeler	2022		2023	
	Üretim alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)
Çin	1.139.503	68.298.136	1.156.408	70.119.694
Hindistan	843.000	20.694.000	849.000	20.425.000
Türkiye	158.719	13.000.000	166.323	13.300.000
ABD	110.076	10.234.317	122.135	12.370.057
Mısır	843.000	6.367.592	155.874	6.211.016
İtalya	97.610	6.136.380	99.000	6.016.050
Meksika	89.748	4.217.897	89.637	4.394.807
Brezilya	54.341	3.818.784	59.010	4.166.017
İspanya	45.150	3.651.940	50.090	3.968.460
Nijerya	997.501	3.600.784	1.097.111	3.803.598
Dünya	5.244.101	186.628.501	5.412.458	192.317.973

(FAO, 2025)

Türkiye’de domates üretimi bölgelere göre incelendiğinde, 2023-2024 yetiştirme döneminde hem üretim alanı hem de miktarı yönünden belirgin artışın yaşandığı görülmektedir (Tablo 3). 2023 yılında toplam 1.66 milyon dekar alanda 13.3 milyon ton olan üretim, 2024 yılında 1.83 milyon dekara ve 14.6 milyon tonluk bir üretim hacmine ulaşmıştır (Tablo 3). Bu artış, hem domates ekiliş alanının artması ve hem de nitelikli hibrit çeşitlerin kullanılmasıyla birlikte verimlilikteki artışın bir sonucu olarak değerlendirilebilir.

Akdeniz Bölgesi, domates üretim miktarı bakımından ilk sırada yer almaktadır. 2024 yılında 325.861 dekar alanda yaklaşık 4 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Bu üretim değeri, toplam üretimin yaklaşık %27.3’lük kısmını karşılamaktadır. Marmara Bölgesi (%24.5)

ve Ege bölgesi (%22.8), Akdeniz Bölgesiyle birlikte Türkiye domates üretiminin en önemli diğer üretim merkezleri olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 3. Bölgelere Göre Domates Üretim Alan ve Miktarının Yıllara Göre Değişimi

Bölgeler	2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Akdeniz	314.214	3.929.979	325.861	3.992.682
Marmara	394.694	3.009.978	450.515	3.590.942
Ege	358.475	2.935.941	412.504	3.334.291
İç Anadolu	301.777	1.965.352	308.949	2.023.670
Doğu Anadolu	106.255	580.953	112.843	630.909
Güneydoğu Anadolu	104.205	462.434	127.880	616.285
Karadeniz	83.614	415.363	84.692	428.221
Toplam	1.663.234	13.300.000	1.823.244	14.617.000

(TÜİK, 2024)

İç Anadolu Güney Doğu Karadeniz Bölgesi ise domates üretiminde en düşük paya sahip bölge konumundadır (Tablo 3). TÜİK (2024) yılı verilerine göre Türkiye domates üretiminde Antalya ili, yaklaşık 2.6 milyon tonluk üretimiyle lider konumundadır. Antalya'yı Bursa (1.7 milyon ton), Manisa (1.2 milyon ton) ve İzmir (1.1 milyon ton) illeri izlemektedir (Tablo 4).

Marmara Bölgesi'nde yürütülen açık tarla sebzeçiliğinde üretimin ağırlıklı olarak sebze sanayiine yönelik olduğu görülen Bursa ili (Duman ve ark., 2020), tüm yıllar boyunca açık ara en yüksek üretim alanı ve üretim miktarına sahip il olarak öne çıkmakta; 2022'de 135.462 da olan üretim alanını 2024'te 181.331 da'a, 1.265.206 ton olan üretim miktarını ise 1.537.492 ton'a yükselterek bölgenin ve ülkenin en güçlü üretim merkezi konumunu sürdürmektedir.

Tablo 4. İllere Göre Domates Üretim Alan ve Miktarının Yıllara Göre Değişimi

İller	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Antalya	170.939	2.548.601	169.225	2.600.555	171.504	2.629.425
Bursa	161.193	1.430.773	190.541	1.528.024	211.091	1.724.932
Manisa	115.793	985.066	129.618	1.095.978	154.099	1.249.158
İzmir	100.560	855.050	115.083	890.681	144.241	1.105.659
Konya	109.057	849.970	140.927	963.305	141.272	948.310
Mersin	73.964	854.465	62.243	759.305	59.623	718.849
Çanakkale	76.204	611.926	72.061	577.281	76.337	599.508
Balıkesir	56.835	511.666	62.605	535.461	89.775	837.381
Muğla	45.141	552.871	38.296	469.803	37.515	464.209
Şanlıurfa	43.151	240.688	44.307	257.482	66.990	394.566

(TÜİK, 2025)

Ege Bölgesi illeri arasında Manisa, üretimde yıllar boyunca İzmir'in üzerinde seyrederek bölgesinin lideri olarak dikkat çekmektedir; üretim alanı 91.199 dekardan 130.578 dekara, üretim miktarı ise 847.541 tondan 1.120.064 tona ulaşmıştır. İzmir ili ise Ege Bölgesi'nde Manisa'nın ardından ikinci sırada yer almakla birlikte üretim alanını 2022–2024 arasında 83.053 dekardan 114.769 dekara, üretim miktarını ise 735.450 tondan 918.829 tona yükselterek üretimde istikrarlı bir artış eğilimi sergilemektedir (Tablo 5).

Tablo 5. Salçalık Domates Üretiminde Öne Çıkan İller

İller	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Bursa	135.462	1.265.206	163.924	1.358.771	181.331	1.537.492
Manisa	91.199	847.541	104.410	957.565	130.578	1.120.064
İzmir	83.053	735.450	97.267	770.034	114.769	918.829

(TÜİK, 2025)

Sofralık domates üretiminde Akdeniz Bölgesi'nin belirleyici bir konuma sahip olduğu görülmekte olup, bölge içerisinde özellikle Antalya'nın öne çıktığı söylenebilir. Antalya, söz konusu yıllar boyunca hem üretim alanında hem de üretim miktarında diğer illerin oldukça üzerinde seyrederek bölgenin açık ara lideri konumunu korumuştur; üretim alanı 2022'de 169.689 da iken 2024'te 170.404 dekara, üretim miktarı ise 2.542.322 tondan 2.624.200 tona yükselmiştir. Mersin, 59.623 da alanda 718.849 ton üretimle üretim kapasitesi açısından bölgenin ikinci önemli ilidir. Muğla ise bölgenin üçüncü sıradaki ili olup 37.480 da alanda 464.064 ton üretim gerçekleştirmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Sofralık Domates Üretiminde Öne Çıkan İller

İller	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Antalya	169.689	2.542.322	168.125	2.595.330	170.404	2.624.200
Mersin	73.964	854.465	62.243	759.305	59.623	718.849
Muğla	45.060	552.505	38.241	469.595	37.480	464.064

(TÜİK, 2025)

1.1.2. Biber

Dünya biber üretim miktarı ve tüketimi son yıllarda düzenli olarak artış göstermektedir. 2022 yılında biber üretim miktarı yaklaşık 37.3 milyon ton iken 2023 yılında bu değer yaklaşık 38.3 milyon tona yükselmiştir (Tablo 7). Ülkeler bazında incelendiğinde, dünya üretiminde Çin ilk sırada yer almakta ve toplam üretimin yaklaşık %44.7 gibi önemli bir kısmını karşılamaktadır. Diğer majör biber üreticisi ülkeler ise Meksika (3.68 milyon ton), Türkiye (3.08 milyon ton) ve Endonezya (3.06 milyon ton) şeklinde sıralanmıştır (Tablo 7). Bu dört ülke, dünya toplam biber üretiminin yaklaşık %70 oranında büyük bölümünü karşılamaktadır.

Tablo 7. Ülkelere Göre Biber Üretim Alan ve Miktarının Yıllara Göre Değişimi

Ülkeler	2022		2023	
	Üretim alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)
Çin	760.367	17.158.086	762.480	17.104.871
Meksika	156.932	2.577.010	173.134	3.681.061
Türkiye	76.398	3.018.775	76.223	3.081.010
Endonezya	334.545	3.020.262	338.636	3.061.260
İspanya	22.260	1.533.280	21.670	1.389.830
Mısır	62.139	1.142.696	57.683	1.065.143
Nijerya	103.915	771.844,8	104.538	773.962,1
Cezayir	15.113	497.430,7	17.481	624.969,6
ABD	18.615	621.512	18.616	576.743
Tunus	17.639	425.000	18.079	444.948,1
Dünya	2.057.536	37.346.331	2.065.408	38.310.351

(FAO,2025)

Kuru biber üretiminde ise ilk sırayı Hindistan (2.1 milyon ton) almakta onu Tayland (350 bin ton), Çin (314.000 ton) ve Pakistan (148.000 ton) izlemektedir (Abak ve Onus, 2022). Ülkemizde kuru biber üretimi 2024 yılında 346.287 ton olup, bu üretimin 300.459 tonunu Güneydoğu Anadolu Bölgesi karşılamaktadır; bu miktar toplam üretimin yaklaşık %86.8'ine karşılık gelmektedir. Bölge içinde Şanlıurfa 154.267 ton ile toplam üretimin %44.6'sını, Gaziantep 95.502 ton ile %27.6'sını ve Kilis 50.570 ton ile %14.6'nı karşılamaktadır (TÜİK, 2024).

Türk mutfağının olmazsa olmazları içinde yer alan biber tüm bölgelerimizde ve illerimizde değişen oranlarda üretilmektedir. TÜİK (2025) verilerine göre biber üretim alanı 2022 yılında 763.977 dekar iken 2024'te 855.076 dekara ulaşmış; buna paralel olarak biber üretim miktarı da 3.270.404 tondan 3.716.136 tona yükselmiştir. Tüm bölgeler içerisinde Akdeniz Bölgesi açık ara en yüksek taze biber üretim hacmine sahiptir (Tablo 8). 2024 yılı itibarıyla Akdeniz Bölgesinde 218.676 dekar alanda 1.426.314 ton taze biber üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu sonuç,

bölgenin Türkiye toplam taze biber üretiminin yaklaşık üçte birini tek başına karşıladığını göstermektedir. Marmara Bölgesi ise 2024 yılında 1.189.132 tonla ülke üretiminde ikinci sıraya yerleşmiştir (Tablo 8). Ege Bölgesi hem üretim alanı hem de üretim miktarı açısından son yıllarda devamlı olarak artış göstermiş, taze biber üretim değeri 2024'te 420.826 tona ulaşmıştır.

Genel olarak bakıldığında, Türkiye'nin biber üretiminde son üç yılda hem üretim alanı miktarı hem de verimlilik artışı yönünde güçlü bir ivme mevcuttur. Akdeniz bölgesi başta olmak üzere Marmara ve Ege bölgeleri, biber üretimin ağırlık merkezini oluştururken; Güneydoğu Anadolu, Karadeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde ise üretim potansiyellerin son yıllarda artış gösterdikleri saptanmıştır (Tablo 8).

Salçalık (kappa) biber üretiminde Çanakkale, 73.854 da ekim alanı ve 363.238 ton üretimle en yüksek değere sahip il olarak öne çıkmaktadır. Adana, biber üretimini 2023 yılında 222.753 tondan 2024 yılında 267.285 tona yükseltmiştir. Antalya ise 197.651 ton olan üretimini 210.375 tona çıkarmıştır (Tablo 9).

Tablo 8. Bölgelere Göre Biber Üretim Alan ve Miktarının Yıllara Göre Değişimi

Bölgeler	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Akdeniz	197.473	1.348.727	186.154	1.333.090	218.676	1.426.314
Marmara	191.620	920.928	198.112	990.906	233.809	1.189.132
Ege	124.441	363.918	125.285	376.572	147.067	420.826
İç Anadolu	38.244	83.947	39.280	91.262	43.085	103.402
Güneydoğu Anadolu	99.751	236.554	99.741	244.498	99.093	261.253
Karadeniz	76.777	243.990	78.940	251.572	78.777	236.232
Doğu Anadolu	35.671	72.340	34.722	76.005	34.569	78.977
Toplam	763.977	3.270.404	762.234	3.363.905	855.076	3.716.136

(TÜİK, 2025)

Dolmalık biberde Antalya, 180.822 ton üretimle birinci sırada yer alırken, 22.614 ton üretimle Manisa ikinci sırada bulunmaktadır (Tablo 10). Benzer şekilde sivri biber üretiminde de Antalya, 34.328 da alanda 280.352 ton üretimle liderliği korumuştur. Bu ili; 20.030 da alanda 173.482 ton üretimle Mersin ve 26.656 da alanda 101.071 ton üretimle Bursa takip etmiştir (Tablo 11). Charleston biber üretiminde de Antalya, 9.192 da ekim alanı ve 102.663 ton üretimle ilk sırada yer alırken; Samsun, 5.606 da alanda 17.711 ton üretimle ikinci sırada yer almıştır (Tablo 12).

Tablo 9. İllere Göre Salçalık Biber Üretimi

Salçalık, Kıyık Biber	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Çanakale	70.970	326.796	71.331	344.326	73.854	363.238
Adana	21.465	163.095	24.915	222.753	34.479	267.285
Antalya	20.081	206.841	18.342	197.651	19.715	210.375
Bursa	25.299	92.865	29.238	110.099	50.944	202.470
Balıkesir	21.342	63.225	20.539	61.066	31.894	120.917

(TÜİK, 2024)

Tablo 10. İllere Göre Dolmalık Biber Üretimi

Dolmalık Biber	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Antalya	18.549	177.296	16.152	162.049	19.286	180.822
Manisa	4.698	12.491	4.809	12.714	9.224	22.614
Mersin	1.664	11.505	2.823	18.643	2.360	15.435
İzmir	3.133	11.940	2.879	10.547	2.688	9.187
Bursa	2.212	10.200	2.102	5.990	1.372	4.310

(TÜİK, 2024)

Tablo 11. İllere Göre Sivri Biber Üretimi

Sivri Biber	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Antalya	30.612	251.711	30.544	259.730	34.328	280.352
Mersin	29.112	262.384	25.018	218.003	20.030	173.482
Bursa	21.572	64.318	25.875	77.376	26.656	101.071
Manisa	14.891	40.404	14.615	38.316	12.971	31.434
İzmir	8.115	23.623	8.415	24.034	8.520	22.281

(TÜİK, 2024)

Tablo 12. İllere Göre Çarliston Biber Üretimi

Çarliston Biber	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Antalya	10.854	120.828	10.009	112.214	9.192	102.663
Samsun	6.414	20.463	6.242	19.771	5.606	17.711
Balıkesir	1.781	5.535	1.614	5.196	1.725	5.551
Edirne	1.430	1.547	1.343	1.466	1.342	1.466
Kütahya	150	450	200	600	200	600

(TÜİK, 2024)

1.1.2 Patlıcan

Dünya üzerinde Asya ülkeleri başta olmak üzere Akdeniz, Ortadoğu ve Amerika kıtası dâhil geniş bir alanda patlıcan yetiştiriciliği yapılmaktadır (Geboloğlu ve Ellialtıoğlu, 2022). FAO (2023) yılı verilerine göre dünya patlıcan üretimi 2023 yılında 1.92 milyon ha alanda 60.79 milyon ton değerine ulaşmıştır (Tablo 13). Üretimde ilk sırayı 831.869 ha alan ve 39.24 milyon ton ile Çin yer almıştır. Bu miktar, dünya toplam üretiminin yarısından fazlasını tek başına karşılamaktadır. Diğer önemli patlıcan üreticisi ülkeler ise Hindistan (12.79 milyon ton), Mısır (1.85 milyon ton) ve Türkiye (817.591 bin ton) olarak sıralanmıştır (Tablo 13). Ülkemiz bu üretim miktarı ile dünya patlıcan üretiminde 4.sırada yer almıştır.

Ülkemizde patlıcan üretimi en fazla Akdeniz Bölgesinde yapılmaktadır. TÜİK verilerine göre bölge, 2024 yılında toplam 424.446 tonluk üretim değeri ile toplam patlıcan üretiminin yaklaşık %51'ini tek başına karşılamıştır (Tablo 14). Diğer önemli patlıcan üreticisi olan bölgeler ise Ege Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi olarak sıralanmıştır.

Tablo 13. Ülkelere Göre Patlıcan Üretim Alan ve Miktarının Yıllara Göre Değişimi

Ülkeler	2022		2023	
	Üretim alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)
Çin	821.586	38.281.208	831.869	39.244.168
Hindistan	675.000	12.765.000	681.000	12.792.000
Mısır	65.653	1.972.593	63.468	1.859.439
Türkiye	16.675	781.242	16.662	817.591
Endonezya	50.400	691.738,4	49.458	699.896,3
Bangladeş	54.205	618.542	54.903	681.196
İran	19.145	595.942,9	19.193	596.545
Filipinler	21.963	248.151,4	22.006	238.597,2
Sudan	11.774	88.581,75	11.673	88.411,45
Fildişi Sahili	16.000	88.056	16.000	86.470,45
Dünya	1.912.257	59.848.127	1.922.783	60.793.941

(TÜİK, 2025)

Tablo 14. Bölgelere Göre Patlıcan Üretim Alan ve Miktarının Yıllara Göre Değişimi

Bölgeler	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Akdeniz	56.792	431.200	55.994	450.140	51.731	424.446
Ege	22.952	91.609	23.235	960.61	23.911	128.298
Güneydoğu Anadolu	31.658	99.228	33.425	110.193	35.471	116.753
Marmara	18.989	61.544	17.469	59.741	16.111	61.906
Karadeniz	17.804	49.977	16.962	50.790	14.890	45.834
İç Anadolu	10.400	28.815	11.077	29.790	10.106	28.009
Doğu Anadolu	8.156	18.869	8.457	20.876	8.513	21.758
Toplam	166.751	781.242	166.619	817.591	160.733	827.004

(TÜİK, 2025)

TÜİK (2025) yılı üretim verilerine göre Türkiye patlıcan üretiminde il bazında ilk sırayı 261.735 ton ile Antalya almıştır (Tablo 15). Diğer önemli majör patlıcan üreticisi iller ise sırasıyla 104.636 ton ile Mersin, 46.537 ton ile Gaziantep ilidir.

Tablo 15. İllere Göre Patlıcan Üretim Alan ve Miktarının Yıllara Göre Değişimi

İller	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (ton)
Antalya	19.705	208.231	21.396	235.276	23.866	261.735
Mersin	15.228	140.953	15.657	146.255	10.909	104.636
Gaziantep	13.295	37.185	14.350	41.847	15.545	46.537
Manisa	6.079	14.667	5.910	14.294	6.456	43.959
Muğla	5.027	37.412	4.910	38.954	4.837	39.402
Bursa	8.231	28.071	7.435	27.401	6.751	31.239
Adana	9.145	50.492	7.169	38.429	5.434	29.188
Şanlıurfa	5.003	23.122	5.171	25.377	5.440	26.970
Diyarbakır	6.818	21.138	7.155	24.960	7.565	24.703
İzmir	4.124	13.690	4.781	16.127	5.476	21.337

(TÜİK, 2025)

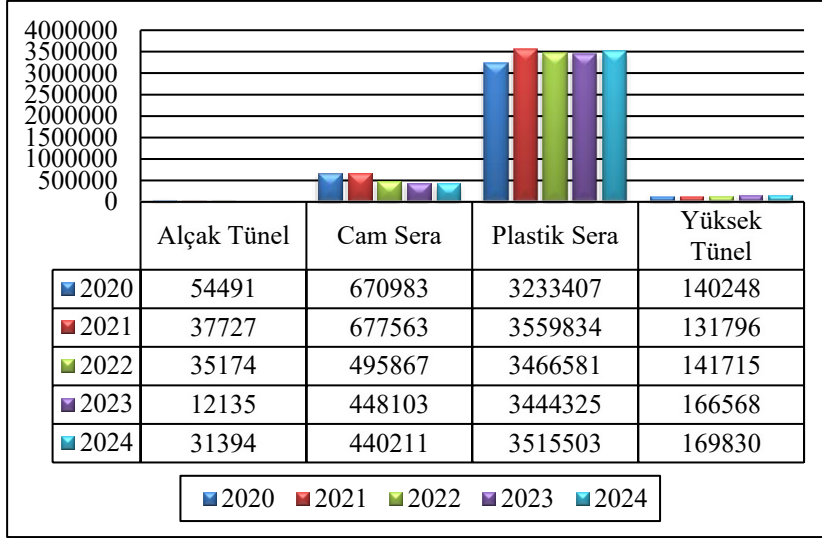
1.2 Patlıcangil Grubu Sebze Türlerinin Türkiye Örtüaltı Üretim Potansiyeli

1.2.1. Domates

Örtüaltı sebze yetiştiriciliği, birim alandan yüksek verim ve gelir elde edilmesi ve aynı zamanda bitkisel üretimi yılın her mevsimine yayarak, yıl içerisinde düzenli bir işgücü kullanımı sağlaması nedeniyle tarım sektörümüz içerisinde önemli bir yere sahiptir (Kandemir ve ark., 2016). Domates üretimi açıkta ve örtü altında olmak üzere iki farklı üretim yapısına sahiptir. Örtüaltı sebze yetiştiriciliğinde ilk sırada domates bulunmaktadır. Toplam domates üretimimizin yaklaşık % 28.4'i (4.156.938 ton), örtüaltında gerçekleştirilmektedir (TÜİK, 2025). Domates üretim miktarının, toplam örtüaltı sebze üretimi içindeki payı ise %52'dir. Domates üretiminin 2020-2024 yılları arasında örtü altı

yetiştiricilik tiplerine göre (alçak tünel, yüksek tünel, cam sera, plastik sera) gösterdiği değişim Şekil 1 de gösterilmiştir.

Tarımsal üretim 2024 yılı istatistik verilerine göre örtüaltında en fazla plastik seralarda domates üretimi yapılmaktadır. 2020 yılında 3.233.407 ton olan plastik sera domates üretimi, 2024 yılında 3.515.503 ton'a ulaşarak yaklaşık %9 oranında artış göstermiştir. Bu artış, örtü altı domates üretiminde plastik seranın ana üretim şekli olduğunu göstermektedir. Cam seralarda domates üretimi 2020'de 670.983 ton iken, 2024 yılında 440.211 ton'a gerileyerek %34 azalma göstermiştir (Şekil 1). Yüksek tünelde domates üretimi ise 2020'de 140.248 ton iken 2024'te 169.830 ton'a yükselmiştir. Alçak tünelde domates üretiminde yıllara göre belirgin bir dalgalanma söz konusudur. 2020'de 54.491 ton olan domates üretimi, 2023 yılında 12.135 ton'a kadar gerilemiş, ancak 2024'te 31.394 ton'a yeniden yükselmiştir. Toplamda beş yıllık süreçte alçak tünelde domates yetiştiriciliğinde yaklaşık %42 oranında bir azalma söz konusudur (Şekil 1).



Şekil 1. Yıllara Göre Örtü Altı Domates Üretim Miktarı (Ton), (TÜİK, 2025)

Tablo 16’da Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2022-2024 yılları arasında bölgeler bazında örtüaltı domates ekiliş alanı (dekar) ve üretim miktarı (ton) gösterilmiştir. Ülkemizde serada domates üretimi Antalya merkezli olarak daha çok Akdeniz Bölgesinde yoğunlaşmıştır, Bu bölge hem örtüaltı domates ekiliş alanında ve hem de üretim miktarında Türkiye toplamına en yüksek katkıyı sağlamaktadır. 2024 yılı itibariyle Akdeniz Bölgesi’nin 203.542 dekar alanda 3.270.302 ton üretim gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu üretim ile Akdeniz bölgesi toplam örtü altı üretiminin yaklaşık %78.7 sini tek başına karşılamaktadır. Ege Bölgesi yaklaşık %15.91’lik örtü altı üretim payı ile Akdeniz’den sonra en yüksek üretim kapasitesine sahip ikinci bölge konumundadır. 2024 yılı verilerine göre 36.773 da alanda 661.167 tonluk üretim miktarına sahiptir (Tablo 16).

Tablo 16. Bölgelere Göre Örtüaltı Domates Ekiliş Alanları ve Üretim Miktarı

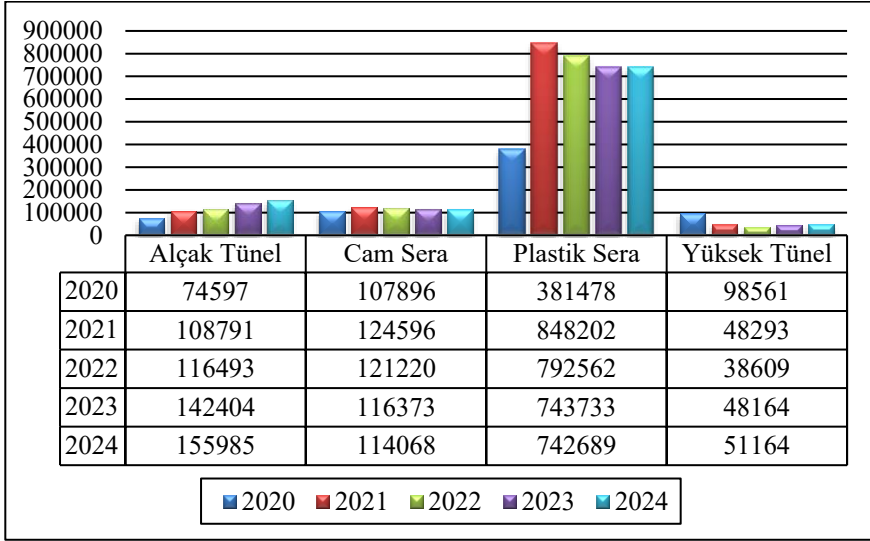
Bölgeler	2022		2023		2024	
	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (t)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (t)	Üretim alanı (da)	Üretim miktarı (t)
Akdeniz	203.649	3.211.473	197.612	3.220.823	203.542	3.270.302
Ege	38.880	696.475	36.274	642.593	36.773	66.1167
Karadeniz	7.752	110.296	6.680	81.428	6.976	84.512
Marmara	5.784	65.983	6.459	74.250	6.997	81.113
İç Anadolu	1.580	29.346	1.696	24.712	2.101	31.735
Doğu Anadolu	859	14.396	907	14.869	960	15.562
Güneydoğu Anadolu	617	10.544	535	11.618	549	11.709
Toplam	259.121	4.138.513	250.163	4.070.293	257.898	4.156.100

(TÜİK, 2025)

Son yıllarda jeotermal enerji kullanılan Denizli, İzmir Dikili ve benzeri yörelerde de gelişmektedir (Abak ve İlbi, 2022). Ayrıca yaz aylarında yüksek rakımlı yaylalarda yaz dönemi domates yetiştiriciliği de yapılmaktadır.

1.2.2. Biber

TÜİK istatistik verilerine göre 2024 yılında örtüaltında 105.433 da alanda biber üretimi gerçekleşmiştir. Toplam 8.058.187 ton Türkiye örtüaltı sebze üretiminde biberin payı 1.063.906 ton ile yaklaşık %13.2'sini oluşturmaktadır (TÜİK, 2025). Örtüaltı biber üretimi, domateste olduğu gibi özellikle plastik seralarda yoğunlaşmıştır. 2020 yılında plastik serada 381.478 ton olan biber üretimi, 2021 yılında 848.202 ton'a ulaşmıştır. Ancak sonraki yıllarda plastik seralarda biber üretimi kademeli olarak azalarak 2024'te 742.689 ton seviyesine gerilemiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Yıllara Göre Örtü Altı Biber Üretim Miktarı (Ton), (TÜİK, 2025)

Cam seralarda ise biber üretimi 2020 yılında 107.896 ton iken, 2021’de 124.596 ton’a yükselmiştir. Ancak bu artış 2022 yılından itibaren tersine dönmüş, üretim 2024 yılında 114.068 ton’a kadar düşmüştür (Şekil 2). Alçak tünel sisteminde 2020 yılında 74.597 ton olan biber üretimi, 2024 yılına kadar her yıl düzenli artış göstererek 155.985 ton’a ulaşmıştır. Beş yıllık süreçte üretim miktarı yaklaşık %109 oranında artmıştır. Yüksek tünel sisteminde ise 2020 yılında 98.561 ton olan üretim, 2021’de 48.293 ton’a düşmüştür. 2022 yılında 38.609 ton ile en düşük seviyesine ulaşan üretim, takip eden yıllarda yeniden artış eğilimine girerek 2024 yılında 51.164 ton olmuştur (Şekil 2).

Örtü altı biber yetiştiriciliği en fazla Akdeniz Bölgesi’nde (1.037.648 ton) yapılmaktadır. Bölge üretimi, ülke üretiminin %97’den fazlasını karşılamaktadır (Tablo 17).

Tablo 17. Bölgelere Göre Örtüaltı Biber Ekiliş Alanları ve Üretim Miktarı

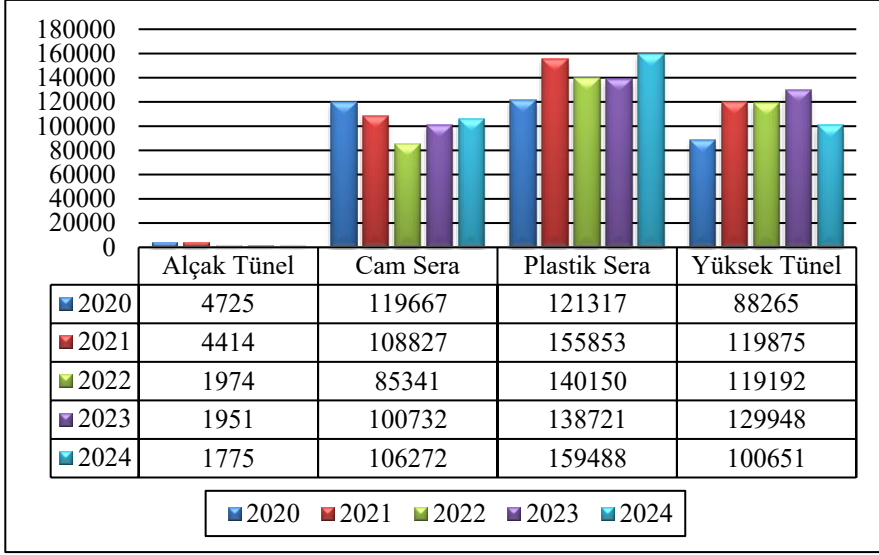
Bölgeler	2022		2023		2024	
	Ekiliş alanı (da)	Üretim miktarı (t)	Ekiliş alanı (da)	Üretim miktarı (t)	Ekiliş alanı (da)	Üretim miktarı (t)
Akdeniz	98.667	1.040.183	96.084	1.020.850	100.197	1.037.648
Ege	2.273	10.787	2.342	10.749	1.485	7.529
Marmara	1.433	6.970	1.416	7.140	1.262	6.513
Karadeniz	1.586	6.635	1.707	7.219	1.727	7.404
Güneydoğu Anadolu	396	3.267	446	3.465	464	3.541
Doğu Anadolu	97	616	119	658	122	694
İç Anadolu	123	426	173	593	176	577
Toplam	104.575	1.068.884	102.287	1.050.674	105.433	1.063.906

(TÜİK, 2025)

1.2.3. Patlıcan

Ülkemizde 2024 yılı verilerine göre örtüaltında 29.163 da alanda 3.681.866 ton patlıcan üretimi yapılmıştır (TÜİK, 2025). 2020-2024 döneminde örtü altı patlıcan üretiminde toplam üretim içinde en büyük payı domates ve biberde olduğu gibi plastik seralar almıştır. 2020 yılında 121.317 ton olan plastik serada patlıcan üretimi, 2024 yılında 159.488 ton'a yükselmiş ve %31 oranında artış göstermiştir (Şekil 3). Bu dönemde toplam örtü altı patlıcan üretiminin yaklaşık %43.32'si plastik seralarda yapılmıştır. Cam seralarda üretim 2020'de 119.667 ton iken 2024 yılında 106.272 ton'a düşmüştür. Toplam üretim içindeki payı yaklaşık %28,86 civarındadır (Şekil 3). Yüksek tünelde patlıcan üretimi

2020 yılında 88.265 ton iken 2024 yılında 100.651 ton olarak gerçekleşmiştir. Toplam örtüaltı patlıcan üretiminin yaklaşık %27.4'ünü yüksek tüneller oluşturmuştur.



Şekil 3. Yıllara Göre Örtü Altı Patlıcan Üretim Miktarı (Ton), (TÜİK, 2025)

Örtüaltı patlıcan yetiştiriciliği, TÜİK verilerine göre 2024 yılında en fazla Akdeniz Bölgesi'nde (325.152 ton) yapılmıştır. Bölge üretimi, ülke üretiminin yaklaşık %88.3'ünü karşılamaktadır. Bu bölgeyi, 37.397 ton ile Ege Bölgesi izlemektedir (Tablo 18).

Tablo 18. Bölgelere Göre Örtüaltı Patlıcan Ekiliş Alanları ve Üretim Miktarı

Bölgeler	2022		2023		2024	
	Ekiliş alanı (da)	Üretim miktarı (t)	Ekiliş alanı (da)	Üretim miktarı (t)	Ekiliş alanı (da)	Üretim miktarı (t)
Akdeniz	27.717	312.209	27.786	334.173	25.528	325.152
Ege	2.203	30.046	2.374	32.256	2.666	37.397
Marmara	44	197	74	286	120	735
Karadeniz	606	2.581	623	2.721	631	2.830
Güneydoğu Anadolu	113	1.130	133	1.330	140	1400
Doğu Anadolu	34	382	36	419	43	502
İç Anadolu	22	112	31	167	35	170
Toplam	30.739	346.657	31.057	371.352	29.163	368.186

(TÜİK, 2025)

1.3. Türkiye’de Patlıcangil Grubu Sebze Türlerinin Yeterlilik Düzeyi Ve Kişi Başına Tüketim Miktarları

Yeterlilik derecesi; bir bölgedeki kullanılabilir üretimin (iç üretim), o bölgenin talebini ya da yurt içi kullanımını (insan, hayvan ve endüstrinin tüm ihtiyaçlarını) ne ölçüde karşıladığını gösteren bir göstergedir (Balkaya ve ark., 2025a).

Bu oranın 100’ün altında olması, üretimin yurt içi talebi tam olarak karşılayamadığını; 100’ün üzerinde olması ise iç ihtiyacın karşılanabildiğini ve dolayısıyla ihraç edilebilir ya da stoklanabilir miktarların bulunduğunu göstermektedir. Tablo 19’da 2020-2023 yılları arasında Türkiye’de domates, biber ve patlıcanın yeterlilik dereceleri verilmiştir.

Tablo 19. Patlıcangil Grubu Sebze Türlerinin Yeterlilik Derecesi (%)

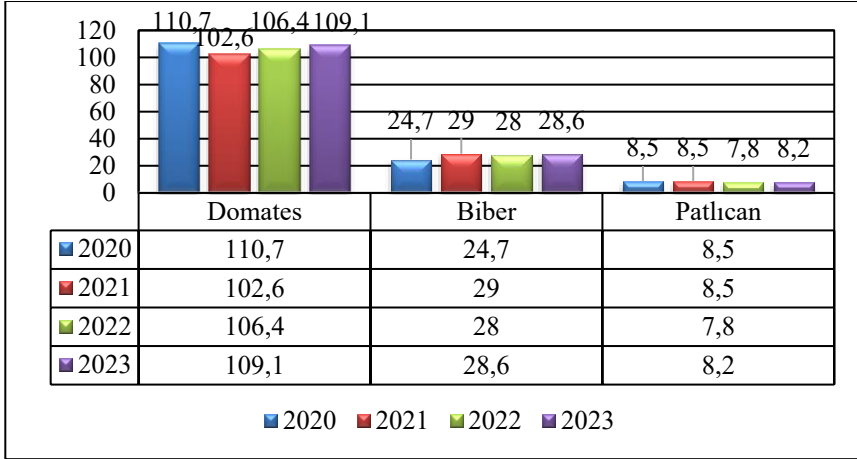
Türler	2020	2021	2022	2023
Domates	117	123,7	117,5	117,1
Biber	112,7	111,3	111,6	111,5
Patlıcan	104,4	103,3	104,5	103,9

(TÜİK, 2025)

Domatesin yeterlilik oranı tüm yıllarda %117'nin üzerinde seyretmiştir. 2021 yılında %123,7 ile en yüksek değere ulaşmıştır. Bu durum, Türkiye'nin domatesten kendine yeterli ve dış satım kapasitesi yüksek bir ülke olduğunu göstermektedir. Biberde yeterlilik oranı ise son yıllarda %111-113 aralığında sabit bir seyir göstermiştir. Domatese göre biraz daha düşük olsa da, yine iç talebin üzerinde üretim yapıldığı anlaşılmaktadır. Patlıcanın yeterlilik oranı diğer türlere göre daha düşük olmakla birlikte, incelenen tüm yıllarda %100'ün üzerinde kalmıştır (Tablo 19). Bu durum, Türkiye'nin patlıcanda da ihtiyacını karşılayabildiğini ancak ihracat fazlasının sınırlı olduğunu göstermektedir.

Türkiye'de kişi başına düşen yıllık taze domates, biber ve patlıcan tüketimi miktarları Şekil 4'de sunulmuştur. 2023 yılında kişi başına taze domates tüketimi, 109,1 kg olarak belirlenmiştir. Kişi başına düşen taze biber tüketimi 2020-2023 yılları arasında 24,7 ile 28,6 kg arasında değişim göstermiştir. Tüketicinin en fazla görüldüğü yıl 2021 yılı olmuştur. Patlıcan tüketim miktarları incelendiğinde ise domates ve bibere kıyasla daha az miktarlarda tüketildiği ve 2020-2023 yılları

arasında kişi başına ortalama 8,25 kg tüketim gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4: Kişi Başına Düşen Tüketim Miktarı (Kg), (TÜİK, 2025)

1.4. Patlıcangil Grubu Sebze Türlerinin Yıllara Göre İhracat Ve İthalat Miktarlarının Değişimi

Dünyada dış ticareti en fazla yapılan sebze türü domatestir. 2023 yılında taze domates global dış ticaret hacmi miktar olarak 8.015.549,3 ton, değer olarak ise 11.802.636 bin dolar olarak gerçekleşmiştir (FAO, 2025). Türkiye'nin 2021-2023 yılları arasında dış ticaretinde meydana gelen değişimler incelendiğinde (Tablo 20), başlıca ürünleri olan domates, biber ve patlıcanın ihracat ve ithalat miktarlarında son yıllarda belirgin değişimler yaşandığı tespit edilmiştir.

Domates ihracatı, Türkiye'nin toplam sebze ihracatında miktar üzerinden yaklaşık %40, parasal değer üzerinden ise %50'lik paya sahiptir (Abak ve İlbi, 2022). 2021 yılında 2.574.375 ton olan domates

ihracatı, 2022’de 2.286.366 ton’a, 2023’te ise 1.999.047 ton’a gerilemiştir. Bu düşüş, üç yıllık süreçte yaklaşık %22 oranında bir azalmaya karşılık gelmektedir. Türkiye’nin domates ihracatında en büyük ticari pazar, Ukrayna olup, onu Romanya, Suriye, Rusya Federasyonu ve Bulgaristan izlemektedir (TÜİK, 2025). Domates ithalat miktarları ise 2021 yılında 156.960 ton, 2022 yılında 414.381 ton, 2023 yılında ise 125.220 ton olarak gerçekleşmiştir (Tablo 20).

Tablo 20. Bazı Solanaceae türlerinin İhracat ve İthalat Miktarının Yıllara Göre Değişimi

	2021		2022		2023	
	İhracat miktarı (ton)	İthalat miktarı (ton)	İhracat miktarı (ton)	İthalat miktarı (ton)	İhracat miktarı (ton)	İthalat miktarı (ton)
Patlıcan	25.987	29	33.527	51	30.094	6
Biber	312.213	4.453	311.809	3.577	316.350	4.345
Domates	2.574.375	156.960	2.286.366	414.381	1.999.047	125.220

(TÜİK, 2025)

FAO istatistiklerine göre 2023 yılında dünya biber dış ticaret hacmi 1.133.035,01 tondur ve parasal karşılığı ise 3.338.479 bin dolar kadardır (FAO, 2025). Önemli biber ihracatçı ülkeler sırasıyla Meksika, İspanya ve Hollanda’dır. İthalatı en fazla olan ülkeler ise ABD, Almanya, İngiltere, Kanada ve Fransa’dır (Abak ve Onus, 2022). Biber ihracatı, 2021 yılında 312.213 ton, 2022 yılında 311.809 ton ve 2023 yılında 316.350 ton olarak gerçekleşmiştir. İthalat miktarları da benzer biçimde düşük kalmış; 2021 yılında 4.453 ton olan ithalat, 2023 yılında 4.345 tona gerilemiştir (Tablo 20). Türkiye’nin Dünyada biber dış ticaretinde pazardaki payı üretim miktarında % 3 ve parasal miktarı ise % 2’dir.

Üretilen çeşitlerin hedef pazarların talep ettiği tiplere yönelmesi ve üretim-pazarlama süreçlerinde daha sağlıklı, planlı ve profesyonel stratejilerin uygulanması durumunda ihracatın birkaç kat artırılması mümkündür. Ancak baharatlık kırmızı biberde dış satım açısından benzer bir avantajın bulunduğunu söylemek güçtür (Abak ve Onus, 2022).

Patlıcan uluslararası ticareti yapılan önemli bir sebze türüdür. Dünyada 2023 yılında 497.928,59 ton olan dış ticaret hacminin toplam değeri 628.110 bin dolar olarak gerçekleşmiştir. Dünyada en fazla patlıcan ihracatı yapan ülkeler sırasıyla İspanya (174.512.32 t), Meksika (82.120.29 t) ve Hollanda (53.161.83 ton) olarak sıralanmıştır. Türkiye ise 31.047.51 ton patlıcan ihracatı ve bunun karşılığında 20.900 bin dolar gelir ile dünya patlıcan ihracatı sıralamasında 4.sırayı almaktadır (FAO, 2025).

Patlıcan ihracatı 2021 yılında 25.987 ton olarak gerçekleşmiş, 2022 yılında 33.527 ton'a yükselmiş ve 2023 yılında 30.094 ton olarak kaydedilmiştir (Tablo 20). Bu veriler, dönem boyunca yaklaşık %16'lık bir ihracat artış trendine işaret etmektedir. İthalat miktarları ise oldukça sınırlı olup, 2021 yılında 29 ton, 2022'de 51 ton ve 2023'te yalnızca 6 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, Türkiye'nin patlıcan üretiminde kendine yeterlilik düzeyinin yüksek olduğunu ve dış pazarlara ihracat potansiyelini koruduğunu göstermektedir.

Patlıcan ve biber ürünlerinde ithalat miktarlarının yok denecek düzeyde olması, ülkenin bu ürünlerde tam anlamıyla kendine yeter durumda olduğunu ve iç üretim kapasitesinin yüksekliğini ortaya koymaktadır.

2. PATLICANGİL GRUBU SEBZE TÜRLERİNDE ÜRÜN SEGMENTLERİNE GÖRE KAYIT ALTINA ALINMIŞ OLAN ÇEŞİTLERİN DAĞILIŞLARI

Domateste çeşitlerin sınıflandırılması farklı kriterler esas alınarak yapılmaktadır. Büyüme tiplerine göre bodur ve sırik, tüketim şekillerine göre sofralık ve sanayi, yetiştirme şekillerine göre tarla ve sera çeşitleri gibi sınıflandırılmaktadır (Abak ve İlbi, 2022). Ayrıca bu sınıflandırmalara göre her bir grupta, meyve şekilleri, renkleri, sertlikleri ve iriliklerine vb. göre farklı domates segmentleri bulunmaktadır.

Ülkemizde sebze çeşit tescil işlemleri, 1964 yılında başlamıştır. Bu yıl tescil edilen 37 çeşitten 9'u domates çeşiti olmuştur (Öktem ve Ermiş, 2021). Türkiye Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü 2025 yılı kayıtlarına göre standart tohumluk kayıt listesinde domateste toplam 1.157 çeşit bulunmaktadır. Çeşitlerin büyük bir kısmı hibrit çeşitlerden oluşmaktadır (TTSM, 2025). Bu çeşit listesi incelendiğinde sırik domates çeşitlerinin, bodur domates çeşitlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Türkiye'de irilik bakımından domates çeşitleri 6 grupta toplanmaktadır (Abak ve İlbi, 2022). Bunlar sırasıyla kiraz (cherry) domatesleri, erik (plum) domatesleri, kokteyl (cocktail) domatesleri, salkım domatesleri, tekli (tane) domatesler ve beef domateslerdir. Meyve renkleri çoğunlukla kırmızı renkte olmakla birlikte, pembe, turuncu, sarı, kahverengi, siyah ve mor renkli domates çeşitleri de bulunmaktadır.

Biber çeşitleri ve çeşit grupları kullanım amaçlarına göre sofralık, baharatlık ve süs biberleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Sofralık

biberlerin bir kısmı salça ve turşu sanayinde de değerlendirilmektedir. Taze sofralık biberlerin büyük bir kısmı tatlıdır. Sofralık biberlerin özellikleri ülkelerin mutfak özelliklerine göre belirgin farklılıklar göstermektedir (Abak ve Onus, 2022). Türkiye Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü 2025 yılı kayıtlarına göre standart tohumluk kayıt listesinde biberde toplam 859 biber çeşiti bulunmaktadır (TTSM, 2025). Bu çeşitlerin büyük bir kısmı sivri, kapy, dolma biber ve Charleston biber çeşitlerinden oluşmaktadır. Son yıllarda üç burun, kıl biber, blok dolma vb. farklı ürün segment gruplarında çeşit sayıları da artmaya başlamıştır.

Turşuluk biberler oldukça büyük bir çeşitlilik göstermektedir. Acı turşu yapımı için kullanılanlar süs biberi, Arnavut biberi, biberiye, domates biberi gibi adlandırılmaktadır (Abak ve Onus, 2022). Son yıllarda Jalepono tipi biberlerde turşu sanayinde kullanılmaya başlamıştır.

Ülkemizde yetiştirilen baharatlık biberlerin tamamı *C. annuum* türüne girmektedir. En önemlileri Maraş, Antep ve Urfa biberidir. Her üçü de farklı düzeylerde acılığa sahiptir. Afrika, G. Amerika ve bazı Uzakdoğu ülkelerinde cayenne, serrano, jalepeno, tabasco, haberono, scocht bonnet tipi baharatlık biber tipleri bulunmaktadır (Abak ve Onus, 2022).

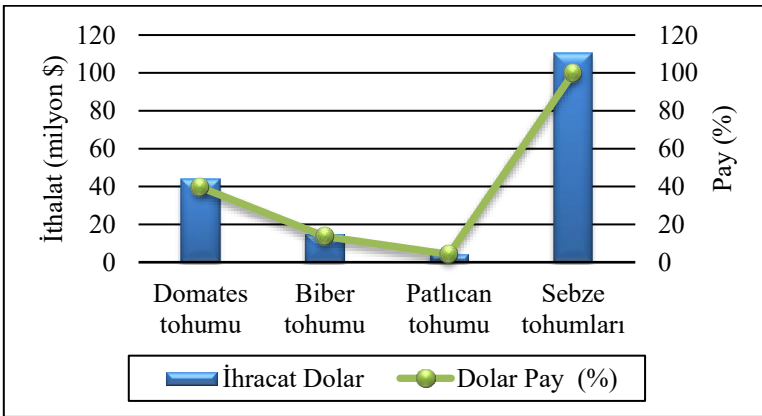
Patlıcan bitkisi, morfolojik özellikleri yönünden oldukça zengin bir genetik çeşitliliğe sahiptir (Çakır ve ark., 2017). Patlıcanda meyve şekli, meyve rengi ve meyve büyüklüğü çeşit ayırımında en önemli morfolojik özelliklerdir (Gebeloğlu ve Ellialtıoğlu, 2022). Dünya genelinde *S.melongena* türüne ait patlıcanlar meyve tiplerine göre sırasıyla alacalı

(graffiti) patlıcan, beyaz patlıcan, yeşil patlıcan, Hint patlıcanları, İtalyan patlıcanları, Çin ve Japon patlıcanları ve Tayland patlıcanları şeklinde sınıflandırılmaktadır (Anonim, 2021). Ülkemizde daha çok İtalyan patlıcanları olarak grupta yer alan uzun silindirik, topan yuvarlak, mor veya siyaha yakın olan patlıcanlar yetiştirilmektedir (Gebeloğlu ve Ellialtıoğlu, 2022). Türkiye Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü 2025 yılı kayıtlarına göre patlıcanda 113 çeşit bulunmaktadır (TTSM, 2025). Çeşitlerin büyük kısmı silindirik, koyu renkli mor veya siyah renklidir. Örtüaltında meyveleri 20-25 cm boyunda uzun, 5-7 cm meyve kalınlığında, düzgün, silindirik yapılı, meyve ucu hafif küt olan çeşitler daha çok tercih edilmektedir (Geboloğlu ve Ellialtıoğlu, 2022). Açıkta patlıcan yetiştiriciliğinde son yıllarda hibrit çeşitlerin kullanımı artmaya başlamıştır.

3. PATLICANGİL GRUBU SEBZE TÜRLERİNDE TOHURLUK DIŞ TİCARET VERİLERİ

Dünyada 1970'lerde yaklaşık 1 milyar dolar olan tohum ticareti, 1980'lerin ortalarına doğru büyük bir artış göstermiş ve 2023 yılında 62,69 milyar dolara ulaşmıştır. Ticari pazar büyüklüğünün, 2024 yılında 66,94 milyar dolara ulaşacağı belirtilmiştir (Anonim, 2024; Balkaya ve ark., 2025b). Sebze tohum üretimi, tarım sektörü içerisinde en dinamik ve gelişmeye açık alanlardan birisini oluşturmaktadır Sebze tohumculuk sektöründe faaliyet gösteren şirket sayısı ise 340'a ulaşmıştır. Ülkemizde son yıllarda yerli tohumluk üretiminin artırılmasına yönelik önemli adımlar atılmıştır.

Sebze tohumu üretimi 2023 yılında 2.991 ton olarak gerçekleşmiştir (Balkaya ve ark, 2025b). Türkiye toplam tohumluk dış ticaret açığının yarısını sebze tohumlukları oluşturmaktadır (Karaağaç ve ark., 2024). 2018 yılında 94 milyon \$ olan sebze tohumluğu ithalatı, 2024 yılında 110 milyon dolar seviyesine ulaşmıştır. Sebze tohum ithalatı en fazla yapılan ilk 5 sıradaki türler ise domates, biber, hıyar, havuç ve maruldur (International Trade Centre, 2024) Sebze tohumlukları içerisinde *Solanaceae* grubuna ait domates, biber ve patlıcan türlerinin tohumlukları, 2024 yılında toplam ithalatın %57'sini oluşturarak 63 milyon dolar değerine ulaşmıştır (TÜİK, 2025, Şekil 5). Domates tohum ithalatı, incelenen yılların tamamında en yüksek parasal değere sahip tür olmuştur. Bu sonuçlar, sebze tohumluğu ithalatının yarısından fazlasının domates, biber ve patlıcan tohumluklarından oluştuğunu göstermektedir.

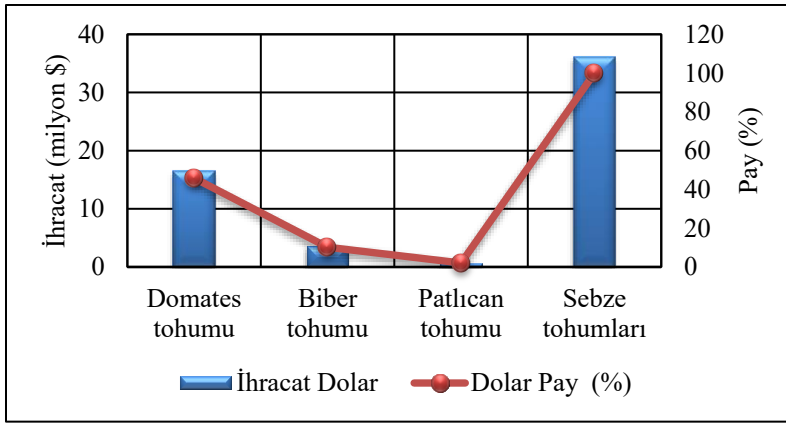


Şekil 5. Tüm Sebze Türleri ve Patlicangil Grubu Sebze Türleri Tohumluklarına Ait İthalat Değerleri, (TÜİK, 2025)

İhracat değerleri incelendiğinde 2024 yılı itibariyle sebze tohumluğu ihracatı 36 milyon \$'a ulaşmıştır. Sebze türleri içerisinde domates, biber, hıyar, kabak ve soğan ilk 5 sırayı oluşturan ve en fazla ihracat

getirisi olan (International Trade Centre, 2024) *Solanaceae* grubuna ait domates, biber ve patlıcan türlerinin toplam tohumluk ihracatı 21 milyon \$ olup payı % 58 civarındadır (TÜİK, 2025, Şekil 6).

Sebze tohumu ihracatımız parasal değer olarak 2024 yılında 2005 yılına göre %560 oranında artmıştır. Oransal olarak çok yüksek bir artış olsa da ihracatımız 2005-2023 yılları arasındaki periyodun tamamında parasal değer olarak ithalatımızdan düşük olmuştur (Balkaya ve ark., 2025b). Sebze tohumu temininde dışa bağımlılığı en aza indirebilmek için gerekli önlemlerin alınması ve diğer ülkelerle rekabet edebilirliğin artırılabilmesi Türkiye sebze tohumculuğu için büyük önem taşımaktadır.



Şekil 6. Tüm Sebze Türleri ve Patlıcangil Grubu Sebze Türleri Tohumluklarına Ait İhracat Değerleri, (TÜİK, 2025)

4. PATLICANGİL GRUBU SEBZE TÜRLERİNİN ÜLKEMİZDE İŞLENMİŞ ÜRÜN OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Sebze işleme sektörü, tarım endüstrisinin kritik bir parçasıdır ve gıda üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin sebze işleme

sektörüne hammadde sağlayan sebze üretimi, sadece ekonomik değil, aynı zamanda sosyal ve kültürel açılarından da büyük bir öneme sahiptir (Balkaya ve ark., 2025a). Sebze işleme sektörü genel olarak, taze sebzelerin işlenmesi, paketlenmesi ve dağıtımını da kapsayan geniş bir alanı içermektedir. Salça ve konserve ihracatı 2023 yılında 939 milyon dolar, kuru sebze meyve ihracatı ise 1265 milyon dolar ve dondurulmuş meyve sebze ihracatı da 201 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir (Balkaya ve ark., 2025a; TÜİK 2024).

Türkiye’de yetişen sebzelerin yıllara göre değişmekle birlikte %20-30’u işlenmektedir. En çok işlenen sebze ürünleri arasında domates (salça, sos, ketçap, konserve, kurutulmuş domates) ilk sırada yer almaktadır. 2023 yılında salçalık domates üretimi 6.505.600 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2025). Sanayi tipi domates üretimi hammaddeye yakınlık nedeniyle Marmara ve Ege Bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Ülkemizde sadece domates salçası işleyen kayıtlı 35 tesis bulunmakta ve bu tesislerin salça üretimi genel olarak 100.000 tonu bulmaktadır (TİM, 2024). Son yıllarda kurutulmuş domates üretim miktarı 30 bin tona ulaşmıştır (Duman ve ark., 2021).

Biber farklı şekillerde (turşu, biber salçası, dolma biber, közlenmiş biber, kurutulmuş biber, toz biber) sebze işleme endüstrisinde değerlendirilmektedir. Tek başına veya diğer sebze türleriyle karışık olarak konserve sanayinde; ayrıca biber geleneksel ürünlerimizden tarhana, sucuk ve pastırma yapımında kullanılmaktadır (Abak ve İlbi, 2022). Salçalık biber üretimi, 2023 yılında 1.602.457 ton ’dur (TÜİK,

2025). Salçalık biberde son yıllara 3 yılda üretim oranı %53,09 oranında artış göstermiştir (Balkaya ve ark., 2020b).

Türk mutfağında geniş bir kullanım imkanı olan patlıcan, sebze işleme endüstrisinde turşu, reçel, konserve ve kurutulmuş olarak değerlendirilmektedir.

5. PATLICANGİL GRUBU SEBZE TÜRLERİNDE MEVCUT DURUMUN SWOT ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Üretim ve tüketimdeki gelişmeler ve rekabet edebilirlik içsel dinamikler kadar dışsal etkilere göre de belirlenmektedir. Üretimi talebe göre yönlendirmek ve özellikle AB ve uluslararası anlaşmaları dikkate almak artık günümüzde zorunluluk haline gelmiştir. Bu nedenle içsel dinamiklerimiz olan güçlü ve zayıf yönlerimizi belirleyerek, dışsal etkiler karşısında ortaya çıkan tehditleri bilerek ve bunları birer fırsat haline dönüştürerek üretimimizi yönlendirmek gerekmektedir (Keskin ve ark., 2007). Türkiye’de domates, patlıcan ve biber üretiminin potansiyelinin değerlendirilmesi ve sektörün ihtiyaçlarının neler olduğunun ortaya konulması amacıyla bir SWOT analizi gerçekleştirilmiştir. Güçlü ve zayıf yönleri Tablo 21’de, Fırsatlar ve Tehditler ise Tablo 22’de sunulmuştur.

Tablo 21. Türkiye’de Domates, Patlıcan ve Biber Üretiminin Potansiyelinin Güçlü ve Zayıf Yönleri

<u>GÜÇLÜ YÖNLER</u>	<u>ZAYIF YÖNLER</u>
✓ Ülkemizin hem örtü altı ve hem de açık tarla üretimleri yönünden domates, biber ve patlıcan yetiştiriciliğine uygun ve farklı ekolojik bölgelere sahip olması. ✓ Patlıcangil grubu sebze türlerinin orijini olmamasına rağmen, bu türlerde yerel genetik çeşitlilik yönünden oldukça zengin olması. ✓ Dünya sebze üretiminde domates ve biberde 3. sırada ve patlıcan üretiminde ise 4.sırada majör üretici olarak yer alması. ✓ Türkiye sebze üretiminde en büyük payın bu 3 türe (domates, biber ve patlıcan) ait olması ✓ Ülkemizde tüm üretici ve tüketicilere yönelik olarak patlıcangil grubu sebze türlerinin çok sayıda farklı ürün segmenti ve çeşitlere sahip olması ✓ Türkiye’de domates, biber ve patlıcanın üretim yeterlilik dereceleri %100’ün üzerindedir. Kendi vatandaşına yetecek şekilde yeterli üretim mevcuttur. ✓ Türk mutfağında farklı şekillerde değerlendirilebilme imkânlarının fazla olması ve kişi başına tüketim miktarlarının AB ülkelerine göre daha yüksek olması.	✓ Sebze üretiminde önemli bir payı bulunan domates, biber ve patlıcan fiyatlarındaki istikrarsız ortamın bazı yıllar üreticiler üzerinde oluşturdğu olumsuz etkiler ✓ Tarımsal üretim girdi (tohum, gübre ve kimyasal ilaç vb.) maliyetlerin artış göstermesi. ✓ Sebze tohumlukları içerisinde domates, biber ve patlıcan türlerinin tohumlukları, 2024 yılında toplam sebze tohum ithalatının %57’sini oluşturarak 63 milyon dolar değerine ulaşmıştır. Domates tohum ithalatı incelenen yılların tamamında en yüksek parasal değere sahip tür olmuştur. Bu sonuçlar, sebze tohumluğu ithalatının yarısından fazlasının domates, biber ve patlıcan tohumluklarından oluştuğunu göstermektedir. ✓ Birçok bölgede (Karadeniz, Marmara, Doğu Anadolu vb.) üreticisi başına düşen arazi miktarının göreceli olarak küçük olması ve bunun sonucunda modern üretim tekniklerinin uygulanamaması ✓ Birçok bölgede üretim planlamasının yeterince uygulanmaması, özellikle örtüaltında sürekli tek ürün yetiştiricilik yapılması ✓ İhracatta ürün ve ülke çeşitliliğin yeterince sağlanamaması

✓ Örtüaltı sebze üretiminde, patlıcangil grubu sebze türlerin majör ürünler olması ve ürün kalitelerinin çok yüksek olması ✓ En çok işlenen sebze ürünleri arasında domates (salça, sos, ketçap, konserve, kurutulmuş domates) ve biberin (turşu, biber salçası, dolma biber, közlenmiş biber, kurutulmuş biber, toz biber) ilk sıralarda yer alması. ✓ Sanayi üretimi salça kullanımının evlerde yaygınlaşması ✓ Sebze ihracatında domates, biber ve patlıcanın payının çok yüksek olması. Özellikle domates, Türkiye sebze ihracatında miktar üzerinden yaklaşık %40, parasal değer üzerinden ise %50'lik pay ile ilk sırada yer almaktadır. ✓ Patlıcangil grubu sebzelerin üretiminde tecrübeli üretici sayısının oldukça fazla olması ✓ Son yıllarda hazır fide üretiminin artış göstermesi özellikle bu tesislerde domates ve patlıcanda aşılı fide üretim potansiyelinin artması ✓ Sebze türleri içerisinde domates ve biber tohum ihracatında ilk 5 sırada yer alan ve en fazla ihracat getirisi olan türlerdir	✓ Sebze işleme sektörü giderek talebin arttığı bir sektör olmakla birlikte beraberinde pek çok sorunu da getirmektedir. Üretimin iklime bağlı olması, enerji maliyetleri, kalite kontrol, lojistik sorunlar ve rekabet gibi zorluklarla mücadele etmektedir. ✓ İşleme döneminde uygun miktar ve kalitede ürün temininde yaşanan sıkıntılar ✓ Devlet tarafından sebze üreticisine özel bir ek destek verilmemesi ✓ Bazı domates, biber ve patlıcan üreticilerin üretimi artırmaya yönelik aşırı girdi (büyümeyi düzenleyici, ilaç ve gübre) kullanımı ✓ Üretim ve ürün üzerindeki yüksek vergiler ✓ Üreticinin pazarlama kanalında etkin olmaması (üretici birliklerinin ve kooperatiflerin yeterli düzeyde etkin çalışmaması) ✓ Özellikle domates ve biber gibi meyvesi tüketilen sebzelerde yüksek kalıntı miktarından dolayı ihracat yapılan ülkelerin duyduğu güvensizlik ✓ Patlıcangil grubu sebze türlerinde birçok bölgede özellikle açıkta yetiştiricilikte
--	---

✓ Son yıllarda domates, biber ve patlıcanda coğrafik işaret alınan yerel köy çeşitlerinin sayısının artması	üreticiden tüketiciye kadar üretim kayıpları oldukça yüksektir. ✓ Özellikle örtüaltı ve sanayi sebzeciliğinde kaliteli işçi yetersizliği. ✓ Yüksek lojistik maliyetleri ✓ Sanayi sebzeciliğinde sözleşmeli üretimde var olan aksaklıklar
---	---

Tablo 22. Türkiye’de Domates, Patlıcan ve Biber Üretiminde Fırsatlar ve Tehditler

<u>FIRSATLAR</u>	<u>TEHDİTLER</u>
✓ Türkiye’de yıl boyu domates, biber ve patlıcan üretimine imkân olması ✓ Uygun iklim koşulları. ✓ Yenilenebilir enerji (jeotermal vb.) kaynaklarının varlığı. Son yıllarda Jeotermal enerji kaynakları kullanılan örtüaltı sebze üretim potansiyelin artması ve bu üretimde patlıcangil grubu sebzelerin yüksek paya sahip olması ✓ Sürdürülebilir tarımda İyi tarım domates, biber ve patlıcan yetiştiriciliği uygulamalarındaki gelişmelerin kalite ve standartlara olumlu yönde etkisi ✓ Dünyada gıda güvenliği ile ilgili gelişmeler ve organik tarım ürünlerine talebin artması ✓ Son yıllarda özellikle patlıcangil grubu sebze türlerinde biyotik ve abiyotik stres faktörlerine toleransı yüksek nitelikli çeşitlerin geliştirilmesi ve bu çeşitlere olan talep artışı ✓ Arap ülkeleri ve Türk Cumhuriyetlerine yönelik pazarlama ✓ Sebze işleme endüstrisinin gelişmesiyle birlikte özellikle domates ve biberde yüksek düzeyde iç ve dış talep ile üretimin artacak olması	✓ İklim değişiklikleri ve ekolojik dengenin bozulması ✓ Küresel ekonomik krizden etkilenen değişken ekonomik ortamın, Patlıcangil grubu sebze üretimi üzerine olumsuz etkileri ✓ Çin’in düşük maliyetli ürünlerle piyasaya girmesi ve dünya ticaretinde etkin olması ✓ Yabancı firmaların ülkemizde sebze üretimi yapmaya başlaması ✓ İhracatta ülke çeşitliliğin az olması nedeniyle bu durumun karşı ülkeler tarafından tehdit unsuru olarak kullanılabilmesi ✓ Özellikle domates ve biberde hibrit tohum kullanımı konusunda yabancı firmalara kısmi bağımlılığın halen devam etmesi ✓ Türkiye Cumhuriyetleri’nde çok fazla seranın kurulması sonucunda, Rusya’ya ihracat potansiyelimiz düşmektedir. ✓ Üretimimizin çok yoğun olması nedeniyle, yurtdışından

✓ Sebzeçilik sektörünün büyüklüğü; Türkiye'nin tüketimi yüksek genç nüfusa sahip olması ve taze sebze tüketme alışkanlığı ✓ Coğrafi işaret ile uluslararası markalaşma ✓ Henüz değerlendirilmemiş olan sebze üretim alanlarının varlığı. ✓ Rusya ve Avrupa ülkelerine yakınlık ✓ Avrupa ülkelerinde kış sezonunda domates, biber ve patlıcan üretiminin çok az olması	ülkemize tohum kaynaklı hastalıkların ve farklı zararlıların girmesi
---	--

6. ÜLKEMİZDE PATLICANGİL GRUBU SEBZE TÜRLERİNİN YETİŞTİRİCİLİĞİNDE GELECEĞE BAKIŞ

Tarımın en karlı dallarından birisi olan sebze yetiştiriciliği son yıllarda sürekli dinamik bir gelişme içerisinde. Ülkemizde domates, biber ve patlıcan gibi sebze yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı Akdeniz, Ege, Marmara, İç Anadolu Bölgesinin bir bölümünde verim yönünden yurt dışındaki düzeylere ulaşılmış durumdadır (Balkaya ve ark., 2025a). Verimin artışında yetiştiricilik modeline odaklı çeşitlerin kullanımının yayılması, çeşit özelliklerine uygun yetiştirme tekniklerindeki modernleşme, üretici ve tüketicinin bilinçlenmesi, üretimin pazar odaklı yapılmasının rolü büyüktür. Biyotik ve abiyotik stres faktörlerine dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi konusunda özellikle domates, biber ve patlıcan türlerinde yerli ıslah firmalarının AR-GE alt yapıları desteklenerek nitelikli patlıcangil grubu çeşitlerin geliştirilmesi ve tarımsal üretimde kullanımlarının teşvik edilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Ayrıca bu türlerde ürün pazar satış olanaklarının artırılması, küçük çiftçilerin desteklenmesi, üreticilerin kooperatifleşmeye yönlendirilmesi ile sorunun çözümlenebileceği

düşünülmektedir (Yanmaz ve ark., 2015). Geleceğe yönelik olarak bu ürünlerde yeni pazar arayışlarına hız verilmelidir. Ayrıca sebze tarımında girdi masrafları her geçen yıl artış göstermektedir. Bu amaçla sebze üreticilerinin girdi masraflarını destekleyecek teşvikler artırılmalıdır.

Örtüaltı üretimde domates, hıyar, biber, patlıcan, kavun, karpuz ve kabak en çok yetiştirilen sebzelerdir. Seraların yaklaşık yarısına yakınında ise, domates yetiştirilmektedir. Örtüaltında sebze yetiştiriciliği ürünlerin tarlada yetiştirildiği dönemler dışında yoğunlaşması nedeni ile karlı bir faaliyettir. Bununla birlikte, özellikle serada üretimin yüksek maliyetli olması ve teknik bilgiye dayalı üretim yapılması zorunluluğu ile daha fazla bilgi ve sermaye gerektiren bir yetiştirme sistemi olması, seracılığın iklimin daha uygun olduğu Akdeniz bölgesinde yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Türkiye'nin toplam sebze üretim miktarının yıllara göre değişmekle birlikte %36-40'ini ve son yıllarda toplam sebze ihracatının yaklaşık %50'sini domates oluşturmaktadır. Domates biber ve patlıcan gibi dünya üretiminde önemli bir potansiyele sahip olduğumuz türlerde ihracatın artırılmasına yönelik tüm çabalar desteklenmeli ve teşvik edilmelidir. Türkiye bu pazarda yer alabilecek rekabetçi güce sahiptir. Ancak ihraç edilecek bu sebze türlerinde standart ürün kalitesinin devamlılığının sağlanması gereklidir.

Gıda sanayi içinde en fazla işlenen sebzelerin başında gelen domates ve biber meyve ve sebze işleme sanayinde ve bu sanayinin tüm alt

dallarında hammadde olarak kullanılmaktadır. İşlenmiş sebze ürünleri, sebzeçilik sektörünün orta vadede gelişimini artıracak en önemli ürün segmentleri olacaktır (Balkaya ve ark., 2025a).

Yukarıda ayrıntılı olarak belirtilen tüm sorunların çözümü, Türkiye'nin sebze üretiminde dünyada daha güçlü bir üretici ülke konumuna gelmesine olanak sağlayacaktır. Bu konuda özellikle üniversite-sanayi iş birliklerinin artması ve kamunun maddi destekleri büyük bir önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- Abak, K., & İlbi, H. (2022). Sebze Islahı Cilt III: Solanaceae (Patlıcangiller). Domates Islahı. Abak, K., Balkaya, A., Ellialtıoğlu, Ş.Ş., & Düzyaman, E. (edt.). ISBN: 978-625-430-116-2. Ankara.
- Abak, K., & Onus, A. N. (2022). Sebze Islahı Cilt III: Solanaceae (Patlıcangiller). Biber Islahı. Abak, K., Balkaya, A., Ellialtıoğlu, Ş.Ş., & Düzyaman, E. (edt.). ISBN: 978-625-430-116-2. Ankara.
- Anonim. (2021). A guide to different eggplant varieties. Kitchn (the-kitchn.com).
- Anonim. (2024). Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü, Milli Çeşit Listesi (Sebze Çeşitleri), <https://www.tarimorman.gov.tr/>
- Balkaya, A., Akbudak, N., Kuşvuran, Ş., Yıldırım, E., Yaşar, F., Pirinç, V., ... & Atasoy, S. (2025a). Türkiye Sebzecilik Sektörünün Mevcut Durumu, Hedefler ve Stratejiler. Türkiye Ziraat Mühendisliği X. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-1, 594.
- Balkaya, A., Arın, L., Duman, İ., Kaymak, H.Ç., Mavi, K., ... & Atasoy, S. (2025b). Bahçe Bitkileri Tohumculuk Sektörünün Dünü, Bugünü ve Geleceği. Türkiye Ziraat Mühendisliği X. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-2, 885.
- Balkaya, A., Duman, İ., Arın, L., Özcan, M., Demir, İ., Kandemir, D., Zengin, S., Ermiş, S., Sarıbaş, Ş. 2020. Bahçe Bitkilerinde Tohum Üretimi, Mevcut Durum Ve Gelecek. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi; Cilt II, 339-370. Ankara.
- Çakır, Z., Balkaya A., Sarıbaş S., & Kandemir D. (2017). The morphological diversity and fruit characterization of Turkish eggplant (*Solanum melongena* L.) populations. Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics, 3(2), 34-44.
- Duman, I., Bozokalfa, K., Kaygısız, & Aşçıoğlu. T. (2021). Açık Alanda Yetiştiricilik. In: Domates Yetiştiriciliği. Özzambak ME, Duman I (Eds.). Tarım Türk Dergisi, 82-105. ISBN: 978-625-00-0203-2.
- Duman, İ., Tüzel, Y., & Appelman, D. J. (2020). Türkiye’de sebze üretiminde tür ve çeşit tercihleri. Journal of Agriculture Faculty of Ege University 169-178. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.837441>

- FAO, (2023). Uluslararası Gıda ve Tarım İstatistikleri (<https://www.fao.org/faostat>). Erişim tarihi: 26.10.2025.
- FAO, (2025). Uluslararası Gıda ve Tarım İstatistikleri (<https://www.fao.org/faostat>). Erişim tarihi: 26.10.2025.
- Geboloğlu N., & Ellialtıoğlu, Ş.Ş. (2022). Sebze Islahı Cilt III: Solanaceae (Patlıcangiller). Patlıcan Islahı. Abak, K., Balkaya, A., Ellialtıoğlu, Ş.Ş., & Düzyaman, E. (edt.). ISBN: 978-625-430-116-2. Ankara.
- International Trade Centre. (2024). Trade Map: Trade statistics for international business development. <https://www.trademap.org/Index.aspx>. Erişim Tarihi: 22.11.2025.
- Kandemir, D., Kurtar, S.E., & Demirsoy, M. (2016). Türkiye örtüaltı domates yetiştiriciliğindeki gelişmeler. Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi, 5(17): 22-27.
- Karaağaç, O., Ögütçü, F., Özkan, İ. & Yiğit, Ü. (2024). Sebze Tohumluk Kontrol Ve Sertifikasyon Sisteminin Aşamaları. Sebze Tohum Üretimi ve Teknolojisinde Güncel ve Yenilikçi Yaklaşımlar, Edt. A. Balkaya, L. Arın, İksad Yayınları, 179-220.
- Keskin, G., Nazlı, C., Elçi, S., Özüdoğru, T., & Valk, O. (2007). Türkiye Domates Alt Sektör Analizi. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Yayın, (162).
- Öktem, G., & Ermiş, S. (2021). Ülkemizde tescilli sebze çeşitlerinin mevcut durumu ve tescil sistemi. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(özel sayı), 3447-3454.
- TTSM, (2025). Tescilli ve Üretim İzinli Çeşitler Listesi. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü. <https://www.tarimorman.gov.tr/>. (Erişim tarihi: 08.11.2025).
- TÜİK, (2024). Bitkisel Üretim İstatistikleri <https://biruni.TÜİK.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>. (Erişim tarihi: 10.11.2025).
- TÜİK, (2025). Bitkisel Üretim İstatistikleri <https://biruni.TÜİK.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>. (Erişim tarihi: 20.11.2025).
- Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM), (2024). Türkiye'nin İhracat Verileri. <https://tim.org.tr>. Erişim tarihi: 21.11.2025.
- Yanmaz, R., Balkaya, A., Akan, S., Kaymak, H. Ç., Sarıkamış, G., Önal Ulukapı, K., ... & Açıkgöz, F. E. (2020). Sebzecilik Sektörü: Dünü,

bugünü ve geleceği. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi, 13-17.

Yanmaz, R., Duman, İ., Yaralı, F., Demir, K., Sarıkamış, G., Sarı, N., Balkaya, A., Kaymak, H.Ç., Akan, S., & Özalp, R. (2015). Sebze üretiminde değişimler ve yeni arayışlar. Türkiye ZMO VIII. Türkiye Ziraat Müh. Teknik Kongresi. Bildiriler Kitabı. Cilt 1, 579-605.

BÖLÜM 2

PATLICANGİLLER (*Solanaceae*) AİLESİNDE KÜLTÜRE ALINMA VE SOY İLİŞKİLERİ: POLİNASYON STRATEJİLERİ, KİMYASAL SAVUNMA VE SİTOGENETİK ÖRÜNTÜLER

Doç. Dr. M. Zeki KARİPÇİN¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18067406>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Siirt, Türkiye.
zkaripcin@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0105-6052

GİRİŞ

Patlıcangiller (*Solanaceae*), morfolojik, kimyasal ve ekolojik açıdan son derece çeşitli bir bitki ailesidir. Aile; domates, patates, biber ve patlıcan gibi temel gıda türlerinin yanı sıra tütün ve physalis gibi ekonomik/tıbbi öneme sahip cinsleri de içerir. Çiçek biyolojisindeki özgün yapılar (ör. porikidal anterler ve titreşimli tozlaşma) ile meyve özellikleri (renk, tat ve kapsaisin gibi bileşikler) bitki-tozlayıcı ve bitki-dağıtıcı etkileşimlerini biçimlendirir. Sekonder metabolitlerin zenginliği (tropan alkaloidleri, glikoalkaloidler vb.) ise hem savunma stratejilerinin tarihsel gelişimini, hem de farmasötik uygulamaları açıklayan bir model sunar. Genomik ve sitogenetik çalışmaların hızla artması, bu ailenin filogenetik örüntülerinin tarımsal uyarlanabilirlik ve ıslah hedefleriyle birlikte okunmasını mümkün kılmaktadır.

Bu derleme; (i) başlıca kültür türlerinin kültüre alınma yolları ve köken merkezleri, (ii) polinasyon ve tohum yayılım stratejileri, (iii) kimyasal savunma ve sekonder metabolitler, (iv) karyotip–genomik örüntüler ve işlevsel sonuçları başlıklarını bütüncül bir çerçevede ele alır.

1. SOLANACEAE FAMILYASINDA ÇEŞİTLİLİK, KÖKEN VE KÜLTÜRE ALMA DİNAMİKLERİ

Ailenin taksonomik kapsamına ilişkin farklı çalışmaların bildirdiği nicel görünüm, aşağıda özetlenmiştir. Patlicangiller (*Solanaceae*) familyasında yaklaşık 90–103 cins ve 2.280–2.729 tür bulunduğu çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir. Bu bağlamda, cins ve tür zenginliğine dair rapor edilen aralıklar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Patlicangillerde Cins ve Tür Sayıları

Kaynak	Cins (Genera) Sayısı	Tür (Species) Sayısı
(2025, World Flora Online verileri. wfoplantlist.org) URL-1	~103 cins	~2.729 tür
NCBI PMC (“ <i>Solanaceae</i> VII” makalesi, Poczar ve ark., 2022)	~99 cins	~2.700 tür
Science Direct (Olmstead ve ark., 2007)	~100 cins	~2.500 tür
<i>Solanaceae</i> source (World Flora Online) URL-2	~103 cins	~2.662 tür (2021 güncellemesi)
Britannica URL-3	~102 cins	~2.280 tür (yaklaşık)
Lucid Central (Güney Afrika kaynaklı) URL-4	~90 cins	~2.600 tür

Solanaceae türlerinin en fazla çeşitliliğe sahip olduğu bölgelerin Orta ve Güney Amerika olduğuna değiniliyor. Ayrıca Avustralya ve Afrika’nın da tür çeşitliliğinde önemli merkezler olduğu belirtilmiş, daha spesifik olarak, “Güney Amerika, günümüzde yaşayan *Solanaceae* türlerinin çeşitlilik merkezi olarak tanımlanıyor ve türlerin ilk ayrışan hatlarının sadece Yeni Dünya’da bulunduğu belirtiliyor (Särkinen ve ark., 2013). Basu ve ark. (2014)’ı ise *Solanaceae*’nin en büyük tür çeşitliliğinin tropik Güney Amerika’da görüldüğünü ve burasının *Solanaceae* ailesi için ana orijin bölgesi olarak kabul edildiğini aktarıyor. *Solanaceae*’nin başlıca kültür türleri, domates (*Solanum lycopersicum*), patates (*S.*

tuberosum), patlıcan (*S. melongena*) ve biber (*Capsicum* spp.) birçok kıtada yaygın olarak yetiştirilmekte ve küresel gıda sisteminde belirgin paya sahiptir. FAO verilerine göre domates, 2022’de dünyada en fazla üretilen sebzedir; patates, 100’den fazla ülkede yetiştirilmektedir; patlıcan dünya genelinde (özellikle tropik–subtropik bölgelerde) yaygın kültür bitkisidir; biber üretimi de dünya çapında milyon tonlar düzeyindedir (FAO 2024; FAO 2008; Sulli ve ark., 2021). Geniş çeşitliliğe sahip *Solanaceae* familyası dünya genelinde yaygın biçimde üretilmekte ve beslenmede temel rol oynamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Patlicangillerde (*Solanaceae*) kültür türleri, zehirli yabancı otlar ve akraba türlerden örnekler (A–F): A, *Solanum laciniatum*; B, *Datura stramonium*; C, *Solanum lycopersicum*; D, *Nicotiana tabacum*; E, *Nolana humifusa*; F, *Solanum tuberosum*.
Fotoğraf kredileri şekil açıklamasında verilmiştir (Poczai ve ark., 2022).

Domates (*Solanum lycopersicum*)’in kültüre alma süreci And Dağları civarında özellikle Peru, Ekvador ve Bolivya’da başlamış olmakla birlikte, bu yarı kültüre alınmış formlar daha sonra Mesoamerica’ya

özellikle Meksika'ya geçirilmiş ve burada günümüzdeki kültüre alınmış çeşitlere ("SLL") dönüşecek şekilde yeniden kültüre alınmıştır. Biber (*Capsicum* türleri) söz konusu olduğunda, kültüre alma sürecinin Meksika ve Guatemala'dan Kolombiya'ya uzanan bir coğrafi kuşakta gerçekleştiği; ayrıca And Dağları'nda (Peru ve Bolivya) bağımsız kültüre alma olaylarının da olduğu belirtilmektedir (Heiser, 1995; Brücher, 1988; Mata-Nicolás ve ark., 2020; Tablo 2).

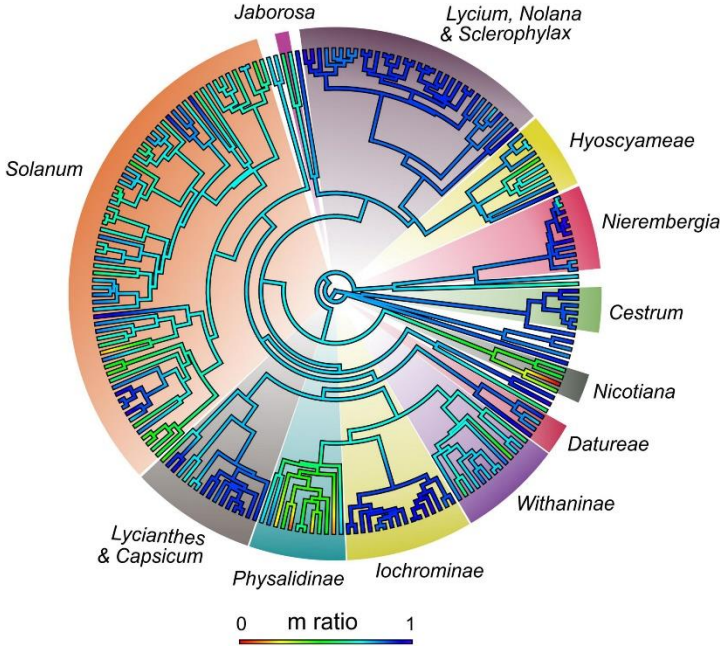
Patlıcan (*Solanum melongena*), genetik analizler ışığında en az iki bağımsız kültüre alma süreci geçirmiş olup; bunlardan biri Hindistan, diğeri ise Güneydoğu Asya (Güney Çin/SE Asya) kökenlidir (Meyer ve ark., 2012; URL-5). Bu da Hindistan ve Asya bölgelerinin patlıcan kültürü ve çeşitliliği açısından tarihsel ve tarımsal açıdan önemli merkezler olduğunu göstermektedir. Solanaceae türlerinde gerçekleşen kültüre alma süreçleri, bu türlerin farklı çevresel mikroiklim koşullarına adaptasyonunu çözümlmek için kritik birer model sunar. Özellikle biyoteknolojik ve ıslah yaklaşımları çerçevesinde kuraklık, tuzluluk, sıcak stresine karşı adaptasyonun anlaşılmasında bu kültüre alma ve uzun dönemli uyarlanma süreçleri yol göstericidir (Haliński ve ark., 2019; Gasparini ve ark., 2024; Tablo 2).

Tablo 2. Başlıca *Solanaceae* Türlerinin Kültüre Alınma Merkezleri ve Ekolojik Adaptasyonları

Tür (Species)	Kültüre Alınma Merkezi	Ekolojik / Adaptif Özellik	Kaynak
Patates (<i>Solanum tuberosum</i>)	Güney Peru & Kuzey Bolivya (Titicaca Gölü çevresi), ~7.000 yıl önce	Soğuk iklime adaptasyon; yumrulara nişasta depolama; yüksek rakımlarda yetiştirme kapasitesi	Xu ve ark., 2011; Spooner ve ark. 2013.
Domates (<i>Solanum lycopersicum</i>)	İlk kültüre alma: And Dağları (Ekvador–Peru); kültüre alma sürecinin tamamlanması: Meksika	Meyvede renk değişimi (karotenoid/likopen); buzz pollination'a bağımlı polinasyon	The Tomato Genome Consortium 2012; Blanca ve ark., 2012
Pathcan (<i>Solanum melongena</i>)	Güney ve Güneydoğu Asya (Hindistan, Myanmar, Çin)	Yüksek sıcaklık ve kurak koşullara uyum; böcek zararlılara karşı glikoalkaloid savunması	Meyer ve ark., 2012; Gramazio ve ark., 2014
Biber (<i>Capsicum annuum</i> ve diğerleri)	Mesoamerica (Meksika–Guatemala); ayrıca And bölgesi bağımsız kültüre alma	Kapsaisin → memelileri caydırır, kuşlarla tohum yayılımını teşvik eder (directed deterrence)	Pickersgill, 2007; Tewksbury & Nabhan, 2001
Tütün (<i>Nicotiana tabacum</i>)	Güney Amerika (özellikle And bölgesi)	Nikotin üretimiyle herbivorlara karşı kimyasal savunma; kuraklığa orta düzey adaptasyon	Knapp ve ark., 2004; Dewey & Xie, 2013
Yer kirazı (<i>Physalis peruviana</i>)	And Dağları (Peru, Kolombiya)	Fizyolojik olarak soğuk gecelere tolerans; meyveler kuşlarla tohum yayılımına uyumlu	Morton, 1987; Compendium, 2019

Solanaceae'da kromozom morfolojisi ve karyotip bileşimi, soylar arasında dikkate değer farklılıklar sergilemektedir. Deanna ve ark. (2022), aile filogenisi üzerinde 'm oranı'nı görselleştirerek kladlar arasında karyotip mimarisinin dağılımını ortaya koymuştur (Şekil 2). Bu

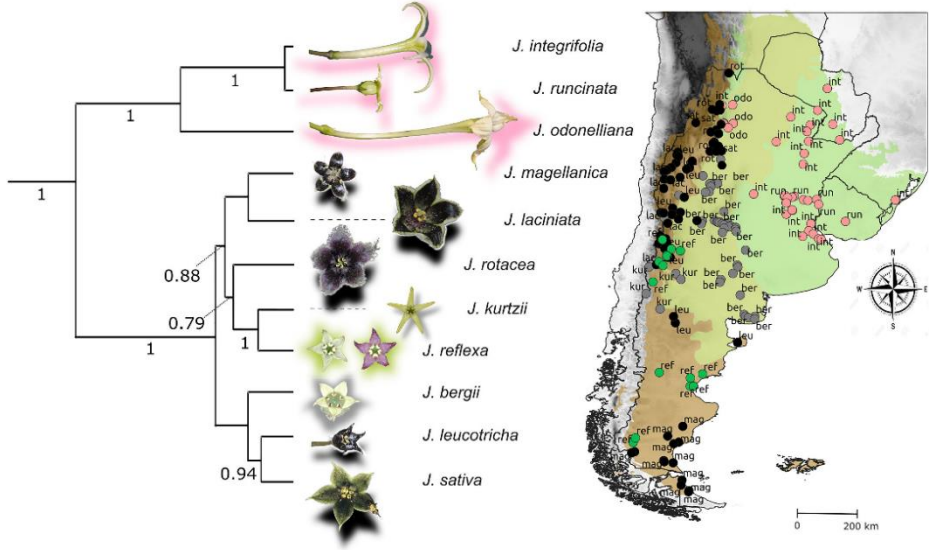
haritalama, sitogenetik değişimlerin filogenetik bağlamdaki süreklilik ve kaymalarını özetleyen bir çerçeve sunar; ayrıntılı yöntem ve tanımlar için ilgili çalışmanın *Methods* bölümüne bakılmalıdır.



Şekil 2. *Solanaceae*'de *m oranı* (metasantrik kromozom/toplam kromozom) değerlerinin aile filogenisi üzerinde ısı haritası (Deanna ve ark., 2022).

Solanaceae familyasında tüp biçimli ya da porikidal (anterin yalnızca küçük bir delikten açıldığı) anter morfolojisi yaygındır; bu düzenleniş, çoğu türde titreşimli tozlaşma (buzz pollination) ile uyumlu bir yapı sergiler. Bu tür tozlaşma stratejisinde arılar, özellikle *Bombus* (yaban arısı) gibi titreşim üreten böcekler, çiçeklere tutunarak kas kasılmalarıyla çiçeği titreştirir; böylece porikidal anterlerden polen salıverilir. Örneğin domates (*Solanum lycopersicum*) gibi *Solanaceae* türlerinde buzz pollination kritik bir mekanizmadır ve bu, bitkinin üretkenliği açısından önemli bir rol oynar (Buchmann, 1983; Woodcock, 2012; De Luca &

Vallejo-Marín, 2013). Aşağıda, *Jaborosa* cinsinde çiçek rengi, filogenetik ilişkiler ve coğrafi dağılım birlikte gösterilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. *Jaborosa* (*Solanaceae*) türlerinde çiçek rengi, filogenetik ilişkiler ve coğrafi dağılım (Moré ve ark., 2020).

Capsicum türlerinde tozlaşma mekanizması karmaşık olup çoğunlukla kendine tozlaşır, böcek ziyareti verimi yükseltir. Özellikle bal arıları (*Apis mellifera*) ve yaban arıları (*Bombus* spp.) biber çiçeklerinin polen transferinde önemli rol oynamaktadır. Açık koşullarda arı ziyaretleri meyve ve tohum verimini belirgin biçimde artırır. Çiçek morfolojisi gereği polen kısa mesafede rüzgârla taşınabilir, ancak bu durum rüzgârla tozlaşma anlamına gelmez. Bu nedenle *Capsicum*'da böcek ziyareti birincil, rüzgâr etkisi ikincil/sınırlı bir faktördür (Free, 1993; Pickersgill, 2007; Magalhães ve ark., 2024). Örneğin, Kenya'daki bir çalışmada, böceklerin serbest tozlaşmaya izin verilen kontrollere kıyasla açık polinasyondaki verimi belirgin şekilde artırdığı rapor edilmiştir (%50-66 civarında artışlar gözlemlenmiştir) (Wanza Soli ve ark., 2020).

2. EKOLOJİK UYARLANIM

2.1. Kimyasal Savunma (tropan alkaloidleri ve diğerleri)

Solanaceae'de tropan alkaloidleri (ör. Atropin/skopolamin; Atropa, Datura, Hyoscyamus) ve glikoalkaloidler (ör. *Solanin/çakonin*; *tomatin*) bitki-otçul etkileşimlerinde temel kimyasal savunma bileşenleridir. Bu bileşiklerin kökeni ve savunmadaki rolleri, ailenin ekolojik uyumuyla birlikte ele alınmış ve otçul böcekler ile memelilere karşı caydırıcılık fonksiyonu güçlü biçimde gösterilmiştir (De-la-Cruz ve ark., 2021; Akiyama ve ark., 2023; Winkiel ve ark., 2023; Pérez-Mesa ve Roda, 2025). Örnek: *Datura stramonium*'da tropan alkaloidlerinin yüksek düzeyi böcek otçullara karşı etkili savunma ile ilişkilendirilmiştir; patatestede (*S. tuberosum*) glikoalkaloid biyosentezinin savunma genleri (ör. JRE4) tarafından düzenlendiği ve patojen/otçul baskısını sınırladığı gösterilmiştir (De-la-Cruz ve ark., 2021).

2.2. Meyve Rengi ve Tohum Yayılımı

Solanaceae'de meyve rengi (karotenoid/antosiyanın temelli), frugivor çekimi ve tohum yayılımı ile eşgüdümlü biçimde şekillenmiş bir özelliktir; renk ve diğer meyve özellikleri (boyut/sertleşme zamanı) frugivor tercihleriyle koreledir (Knapp, 2002; Wang ve ark., 2015; Gonzali ve ark., 2021).

Capsicum'da kapsaisinin yönlendirilmiş caydırıcılık (directed deterrence) hipotezine uygun biçimde memeli tohum-yiycileri caydırırken kuş dağıtıcıları etkilemediği deneysel olarak gösterilmiştir; böylece kuşlar tohumları etkili biçimde yayarken, memeliler kaynaklı tohum yıkımı azalır (Tewksbury & Nabhan, 2001; Levey ve ark., 2006).

2.3. Abiyotik Strese Uyum ve Model Türler

Solanaceae üyeleri (özellikle domates, patates ve *Nicotiana benthamiana*) abiyotik stres (kuraklık, tuzluluk, ısı) yanıtlarının çözümlenmesinde model sistem olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Domates ve patates genomlarının referans düzeyde çözümlenmesi, stres yanıtı gen ağlarının ve ıslah hedeflerinin aydınlatılmasında temel bir platform sağlamıştır (Xu ve ark., 2011; The Tomato Genome Consortium, 2012).

Özetle, Patlıcangiller (*Solanaceae*), gıda güvenliği, endüstri ve tıbbi uygulamalar açısından dünya ölçeğinde kritik konumda bulunan, morfolojik ve ekolojik açıdan son derece çeşitli bir bitki ailesidir. Bu derleme, *Solanaceae*'nin kültüre alınma tarihçesi ile ekolojik ve uyumsal dinamikleri arasındaki kesişimi sentezleyerek; polinasyon biyolojisi, kimyasal savunma sistemleri ve sitogenetik ve genomik örüntüler üzerinden bütüncül bir çerçeve sunmaya çalışmaktadır. Öncelikle başlıca kültür türlerinin (ör. domates, patates, biber, patlıcan) kültüre alınma yolları ve coğrafi merkezleri ile bu süreçlerin meyve morfolojisi, sekonder metabolit profilleri ve tarımsal uyarlanabilirlik üzerine etkileri ele alınmaktadır. Bazı cinslerde bağımsız kültüre alınma olaylarına işaret eden bulguların, insan seçilimi ve yerel mikroiklim baskılarının etkileşimini yansıttığı vurgulanmaktadır.

Polinasyon ekolojisi bölümünde, porikidal anter morfolojisi ve titreşimli tozlaşma (buzz pollination) gibi kilit mekanizmaların *Solanaceae* familyasında ne ölçüde yaygın olduğu ve tozlayıcı topluluklarının (özellikle *Bombus* spp. başta olmak üzere arılar) üreme başarısı üzerindeki belirleyici rolü tartışılmaktadır. Bununla bağlantılı olarak,

çiçek rengi/sinyal bileşenleri ve tozlayıcı “iklimleri”nin (pollinator climates) filogenetik bağlamda nasıl çeşitlendiğini gösteren örnek çalışmalar üzerinden morfo-ekolojik uyumun filogenetik yansımaları özetlenmektedir. Meyve özelliklerinin (renk, tat, kapsaisin gibi bileşenler) tohum yayılımı ve etkileşim ağları üzerindeki işlevsel sonuçları da, frugivor tercihleri ve “yönlendirilmiş caydırıcılık” hipotezleri ekseninde gözden geçirilmektedir.

Sitogenetik ve genomik kısımda, karyotip mimarisinin (ör. metasantrik oranı) kladal ölçekte dağılımını görselleştiren yaklaşımların filogenetik çıkarımlarla birlikte okunmasının, karakterin tarihsel gelişimi ve türleşme örüntülerinin anlaşılmasına nasıl katkı sunduğu değerlendirilmektedir. Referans genomların (ör. domates, patates) ve model türlerin (ör. *Nicotiana benthamiana*) sunduğu olanaklarla, abiyotik streslere (kuraklık, tuzluluk, sıcaklık) ve biyotik etmenlere (patojen/otçul) yanıt veren gen ağlarının haritalanması ve ıslah hedeflerinin tanımlanması olanaklı hâle gelmiştir.

Özellikle, kültüre alınma geçmişi ile ekolojik–filogenetik uyumun bir arada ele alınmasının, iklim değişikliğinin hızlandığı günümüzde dayanıklı ve sürdürülebilir üretim sistemleri için stratejik bir yol haritası sunduğu savunulmaktadır. Makale; (i) kültüre alınma merkezleri ile adaptif özellikleri eşleyen bir tablo ve (ii) çeşitlilik, polinasyon–filogeni ve sitogenetik örüntüleri özetleyen şekiller aracılığıyla, *Solanaceae* araştırmalarında bütünleştirici bir referans çerçeve sunmayı amaçlamıştır.

SONUÇ

Bu derleme, Patlıcangiller (*Solanaceae*) ailesinde kültüre alma tarihçesi ile ekolojik–filogenetik dinamiklerin aynı çatı altında okunmasının, hem temel bilim hem de uygulamalı ıslah açısından güçlü bir çerçeve sunduğunu göstermektedir. Çiçek morfolojisindeki özgünlükler (özellikle porikidal anterler ve titreşimli tozlaşma), meyve özelliklerinin işlevsel çeşitliliği ve sekonder metabolit zenginliği, insan seçilimi ve yerel çevresel baskılarla etkileşime girerek tür-içi ve türler arası büyük bir fenotipik alan yaratmıştır. Sitogenetik ve genomik verilerin (örn. karyotip mimarisi, referans genomlar, fonksiyonel ağ analizleri) bu biyolojik örüntülerle birleştirilmesi, karakterlerin filogenetik değişim hızını ve yönünü açıklamada belirleyici olmaktadır.

Ailenin başlıca kültür türlerinde (domates, patates, biber, patlıcan) kültüre alınma yolları ve merkezleri, polinasyon stratejileriyle birlikte



ele alındığında; tozlayıcı topluluklarının bileşimi, meyve/kimyasal savunma ilişkileri ve genetik arka plan arasındaki eşleşmelerin üretkenlik ve adapte olabilirlik üzerinde doğrudan etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu

bağlamda, derlemede sunulan şekiller (çeşitlilik panoraması, karyotip ısı haritası ve Jaborosa örneği) ile sentez tablolarının birlikte okunması, soy-düzeyindeki farklılıkların işlevsel sonuçlarını görünür kılmaktadır. Önümüzdeki dönemde araştırma öncelikleri, (i) yabani akraba

havuzunun daha sistematik örneklenmesi ve karakterizasyonu, (ii) genomik verilerle standartlaştırılmış fenotipleme ve ortam verisi entegrasyonu, (iii) tozlayıcı ağlarının coğrafi ve iklimsel gradyanlar boyunca uzunlamasına izlenmesi, (iv) sekonder metabolit yollarının nedensel (gen düzenleme/ters genetik) testleri, (v) karyotip özelliklerinin filogenetik bağlamda nicel karşılaştırmalarıdır. Bu bütünleşik yaklaşım, iklim değişikliğinin hızlandığı bir çağda, stres-tolerant ve sürdürülebilir üretim sistemlerine giden ıslah hedeflerinin tanımlanmasını hızlandıracaktır.

Solanaceae'de kültüre alınma, polinasyon ve tohum yayılımı stratejileri, kimyasal savunma ve sitogenetik mimari tekil başlıklar olarak değil, çok katmanlı bir biyolojik mozaik olarak ele alındığında anlam kazanır. Makale, söz konusu katmanları eşleyen bir referans çerçeve sunarak hem yeni hipotezlerin geliştirilmesine hem de uygulamalı ıslah programlarında karar destek süreçlerine katkı sağlamayı amaçlamıştır. Bu çalışma, *Solanaceae*'de kültüre alma, polinasyon ve tohum yayılımı, kimyasal savunma ve sitogenetik ve genomik başlıklarını bir araya getirerek, hem kuramsal hem uygulamalı çalışmalara zemin hazırlanmıştır.

KAYNAKÇA

- Akiyama, R., Umemoto, N., & Mizutani, M. (2023). Recent advances in steroidal glycoalkaloid biosynthesis in the genus *Solanum*. *Plant Biotechnology*, 40(3), 185-191.
- Basu, S., Zandi, P., Cetzal-Ix, W., & Sengupta, R. (2014). *Solanaceae*: The nightshade family. *The Encyclopedia of Earth*, 1-20.
- Brücher, H. (1988). *Useful Plants of Neotropical Origin and their Wild Relatives*. Springer-Verlag, New York.
- Blanca, J., Cañizares, J., Cordero, L., Pascual, L., Diez, M. J., & Nuez, F. (2012). Variation revealed by SNP genotyping and morphology provides insight into the origin of the tomato. *PloS one*, 7(10), e48198.
- Buchmann, S.L. (1983). Buzz pollination in angiosperms. In: Jones CE, Little RJ (eds). *Handbook of Experimental Pollination Biology*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 73–113.
- Compendium, C.I.S. (2019). *Physalis peruviana* (Cape gooseberry). Detailed coverage of invasive species threatening livelihoods and the environment worldwide. CAB International, Wallingford, UK.
- De-la-Cruz, I.M., Hallab, A., Olivares-Pinto, U., Tapia-López, R., Velázquez-Márquez, S., Piñero, D., ... & Núñez-Farfán, J. (2021). Genomic signatures of the evolution of defence against its natural enemies in the poisonous and medicinal plant *Datura stramonium* (*Solanaceae*). *Scientific Reports*, 11(1), 882.
- De Luca P.A., Vallejo-Marín, M. (2013). What's the 'buzz' about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination. *Current Opinion in Plant Biology* 16(4): 429–435. DOI:10.1016/j.pbi.2013.05.002
- Dewey, R.E., & Xie, J. (2013). Molecular genetics of alkaloid biosynthesis in *Nicotiana tabacum*. *Phytochemistry*, 94, 10-27.
- Deanna, R., Acosta, M.C., Scaldaferrro, M., & Chiarini, F. (2022). Chromosome evolution in the family Solanaceae. *Frontiers in Plant Science*, 12, 787590.
- Faostat. (2008/2024). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Erişim Tarihi: 31 Ağustos 2025.
- Free, J.B. (1993). *Insect Pollination of Crops*. Academic Press, London.

- Gasparini, K., Figueiredo, Y.G., Araújo, W.L., Peres, L.E., & Zsögön, A. (2024). De novo domestication in the *Solanaceae*: advances and challenges. *Current Opinion in Biotechnology*, 89, 103177.
- Gonzali, S., & Perata, P. (2021). Fruit colour and novel mechanisms of genetic regulation of pigment production in tomato fruits. *Horticulturae*, 7(8), 259.
- Gramazio, P., Prohens, J., Plazas, M., Andújar, I., Herraiz, F.J., Castillo, E., ... & Vilanova, S. (2014). Location of chlorogenic acid biosynthesis pathway and polyphenol oxidase genes in a new interspecific anchored linkage map of eggplant. *BMC plant biology*, 14(1), 350.
- Haliński, Ł.P., Topolewska, A., Rynkowska, A., Mika, A., Urańska, M., Czerski, M., & Stepnowski, P. (2019). Impact of plant domestication on selected nutrient and anti-nutrient compounds in *Solanaceae* with edible leaves (*Solanum* spp.). *Genetic resources and crop evolution*, 66(1), 89-103.
- Heiser, C.B. (1995). Peppers: *Capsicum* (*Solanaceae*). In: Smartt, J. and Simmonds, N.W. (eds) *Evolution of Crop Plants*. Longman Scientific & Technical, Harlow, UK; 449–451.
- Knapp, S. (2002). Tobacco to tomatoes: a phylogenetic perspective on fruit diversity in the *Solanaceae*. *Journal of Experimental Botany*, 53(377), 2001-2022.
- keys.lucidcentral.org (2025). South African Plant Families: *Solanaceae* (erişim: 01.09.2025)
- Knapp, S., Chase, M.W., & Clarkson, J. J. (2004). Nomenclatural changes and a new sectional classification in *Nicotiana* (*Solanaceae*). *Taxon*, 53(1), 73-82.
- Levey, D.J., Tewksbury, J.J., Cipollini, M.L., & Carlo, T.A. (2006). A field test of the directed deterrence hypothesis in two species of wild chili. *Oecologia*, 150(1), 61-68.
- Magalhães, I.C.S., Muniz, I.M.B., de Souza, G.T., da Rocha Souza, M., & de Castro, C.C. (2024). What is known about chili pepper pollination. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(4), e74147-e74147.
- Mata-Nicolás, E., Montero-Pau, J., Gimeno-Paez, E., Garcia-Carpintero, V., Ziarsolo, P., Menda, N., ... & Díez, M.J. (2020). Exploiting the diversity

- of tomato: the development of a phenotypically and genetically detailed germplasm collection. Horticulture research, 7.
- Meyer, R.S., Karol, K. G., Little, D.P., Nee, M.H., & Litt, A. (2012). Phylogeographic relationships among Asian eggplants and new perspectives on eggplant domestication. Molecular phylogenetics and evolution, 63(3), 685-701.
- Moré, M., Ibañez, A.C., Drewniak, M.E., Cocucci, A.A., & Raguso, R.A. (2020). Flower diversification across “pollinator climates”: Sensory aspects of corolla color evolution in the florally diverse South American genus *Jaborosa* (Solanaceae). Frontiers in plant science, 11, 601975.
- Morton, J.F. (1987). Fruits of warm climates. Creative Resource Centre Inc. Miami. pp. 431-434.
- Olmstead, R.G., & Bohs L.A. (2007). Summary of molecular systematic research in *Solanaceae*: 1982-2006. In: Spooner D.M., Bohs L., Giovannoni J., Olmstead R.G., Shibata D., editors. vol. 745. ISHS Acta Horticulturæ; Leuven: pp. 255–268. (VI International Solanaceae Conference: Genomics Meets Biodiversity).
- Pérez-Mesa, P. A., & Roda, F. (2025). Alkaloid evolution in the *Solanaceae*. Current Opinion in Plant Biology, 85, 102727.
- Pickersgill, B. (2007). Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics. Annals of Botany 100(5): 925–940.
- Poczai, P., D’Agostino, N., Deanna, R., & Portis, E. (2022). *Solanaceae* VII: biology, genetics, and evolution. Frontiers in genetics, 13, 932421.
- Särkinen, T., Bohs, L., Olmstead, R. G., & Knapp, S. (2013). A phylogenetic framework for evolutionary study of the nightshades (*Solanaceae*): a dated 1000-tip tree. BMC evolutionary biology, 13(1), 214.
- Sulli, M., Barchi, L., Toppino, L., Diretto, G., Sala, T., Lanteri, S., ... & Giuliano, G. (2021). An eggplant recombinant inbred population allows the discovery of metabolic QTLs controlling fruit nutritional quality. Frontiers in Plant Science, 12, 638195.
- Spooner, D.M. (2013). *Solanum tuberosum* (potatoes). Brenner’s Encyclopedia of Genetics, Elsevier, 481-483.
- Tewksbury, J.J., & Nabhan, G.P. (2001). Directed deterrence by capsaicin in chillies. Nature, 412(6845), 403-404.

- The Tomato Genome Consortium (2012). The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution. *Nature* 485, 635–641 (2012). <https://doi.org/10.1038/nature11119>
- URL 1. <https://wfoplantlist.org/taxon/wfo-7000000654-2024-12?page=1>
- URL 2. about.worldfloraonline.org Erişim Tarihi: 31 Ağustos 2025.
- URL-3 *Encyclopedia Britannica*. Erişim Tarihi: 30 Ağustos 2025.
- URL-4 keys.lucidcentral.org. Erişim Tarihi: 30 Ağustos 2025.
- URL-5 https://www.helsinki.fi/en/news/life-sciences/how-eggplants-became-asian-genomes-and-elephants-tell-story?utm_source=chatgpt.com. Erişim Tarihi: 31 Ağustos 2025.
- Xu, X., Pan, S.K., Cheng, S., Zhang, B., Mu, D., Ni, P., ... & Visser, R. G. F. (2011). Genome sequence and analysis of the tuber crop potato. *Nature*, 475(7355), 189–195. <https://doi.org/10.1038/nature10158>
- Wang, L., Li, J., Zhao, J., & He, C. (2015). Evolutionary developmental genetics of fruit morphological variation within the *Solanaceae*. *Frontiers in Plant Science*, 6, 248.
- Wanza Soli, E. , Gladys, K. & Esther, N. (2020) Insect Pollinator Diversity and Their Influence on Yield and Quality of *Capsicum annuum* Linné (Solanaceae), Machakos, Kenya. *Open Journal of Animal Sciences*, 10, 545-559. doi: 10.4236/ojas.2020.103035.
- Winkiel, M.J., Chowański, S., Gołębiowski, M., Bufo, S. A., & Słocińska, M. (2023). *Solanaceae* glycoalkaloids disturb lipid metabolism in the *Tenebrio molitor* beetle. *Metabolites*, 13(12), 1179.
- Woodcock, T. S. (2012). Pollination in the Agricultural landscape. Best management practices for crop pollination, 1-113.

BÖLÜM 3

PATLICANGİLLERDE TOHUM ÇİMLENME PERFORMANSINI ARTIRMAYA YÖNELİK PRİMİNG UYGULAMALARI

Doç. Dr. Sıtkı ERMİŞ^{1*}

Arş. Gör. Ahmet Hakan EKER²

Zir. Yük. Müh. Güleda ÖKTEM³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18067433>

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Eskişehir, Türkiye. ermis@ogu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-4919-921X

² Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Rize, Türkiye. ahmethakan.eker@erdogan.edu.tr, Orcid ID: 0009-0009-4516-976X

³ Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü, Ankara, Türkiye. guledaoktem@gmail.com, Orcid ID: 0000-0002-1749-4903

*Sorumlu yazar

GİRİŞ

Patlıcangiller (Solanaceae) familyası, yaklaşık 100 cins ve 2700'den fazla türüyle dünya bitki çeşitliliğinin en önemli temsilcilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Liu ve ark., 2025; Poczai ve ark., 2023). Bu familya, gerek gıda güvenliği gerekse ekonomik değer açısından küresel tarımda kritik bir role sahiptir. Solanaceae türleri arasında yer alan domates (*Solanum lycopersicum*), biber (*Capsicum* spp.), patlıcan (*Solanum melongena*) ve patates (*Solanum tuberosum*), günümüzde hem temel sebze üretiminde hem de işlenmiş gıda sektöründe en yaygın kullanılan türlerdir (Gebhardt, 2016). Bu türler, yüksek besin içerikleri, farklı iklimlere uyum sağlayabilme kapasiteleri ve geniş tüketim alanları sayesinde dünya çapında milyonlarca hektarda yetiştirilme alanı bulmaktadır (Knapp, 2002; Padmanabhan ve ark., 2016).

Solanaceae familyası yalnızca ekonomik değeri yüksek kültür türlerini değil, aynı zamanda toksik veya farmasötik özelliklere sahip türleri de barındırmaktadır (Samuels, 2015). Örneğin tütün (*Nicotiana tabacum*), dünya çapında en yaygın tarımı yapılan endüstriyel bitkilerden biridir ve içerdiği nikotin bileşikleriyle hem bağımlılık yaratan bir ürün hem de bitki biyoteknolojisinde model organizma olarak önem kazanmıştır (Mushtaq ve ark., 2020; Shoji, ve ark., 2024). Benzer şekilde banotu (*Hyoscyamus niger*), içerdiği tropan alkaloidleri nedeniyle farmasötik açıdan değer taşıırken, toksik özellikleriyle de bilinmektedir (Zafar ve ark., 2023). Bunun yanında Solanaceae familyasının süs bitkileri de dikkate değerdir. Petunya (*Petunia* spp.), boyalı dilçiçeği (*Salpiglossis sinuata*) ve kadeh sarmaşığı (*Solandra maxima*), estetik görünümleri

sayesinde peyzaj ve süs bitkileri endüstrisinde önemli bir yere sahiptir (Olmstead ve ark., 2008; Poczai ve ark., 2023).

Dünya genelinde sebze üretiminde en büyük payı domates ve biber oluşturmaktadır. Bu türler yalnızca küresel ölçekte değil, aynı zamanda Türkiye tarımı açısından da stratejik öneme sahiptir. Türkiye, domates, biber ve patlıcan üretiminde önde gelen ülkelerden biri olup, özellikle domates üretiminde dünya sıralamasında ilk üç arasında yer almaktadır (FAOSTAT, 2025). Ekolojik çeşitlilik, üretici deneyimi ve yüksek verimlilik düzeyleri, sebze üretiminde Türkiye'yi avantajlı bir konuma getirmektedir (Kadakoğlu ve Gül, 2023). Bu türler yalnızca yüksek üretim hacimleriyle değil, aynı zamanda içeriklerindeki vitaminler, mineraller, antioksidanlar ve biyoaktif bileşikler sayesinde beslenmede stratejik bir konuma sahiptir. Özellikle domates, içerdiği likopen ve C vitamini ile antioksidan özellikler sunarken; biber ise yüksek kapsaisin, karotenoid ve fenolik bileşenleriyle sağlık açısından fonksiyonel değer taşımaktadır (Martínez-Valverde ve ark., 2002; Sanatombi, 2023).

Patlıcangillerde başarılı üretimin ilk basamağı olan tohum çimlenmesi ve fide çıkışı çeşitli sınırlayıcı faktörlerle karşı karşıyadır. Çimlenme süreci; tuzluluk (Özcoban ve Demir, 2006; Demir ve Mavi, 2008) kuraklık (Kurniawan ve ark., 2025; Sun ve ark., 2025), düşük sıcaklık (Ranil ve ark., 2015) gibi çevresel stresler ile tohumun genetik yapısı ve fizyolojik durumuna bağlı olarak ciddi şekilde olumsuz etkilenebilmektedir. Yetersiz çimlenme oranı, düzensiz fide çıkışı ve düşük fide kalitesi yalnızca verimi azaltmakla kalmamakta; aynı zamanda yeniden ekim, ek tohum kullanımı ve işçilik gereksinimini

artırarak üretim maliyetlerini yükseltmekte ve üreticilere ekonomik kayıplar yaşatmaktadır (Reed ve ark., 2022).

Son yıllarda bu sorunların çözümüne yönelik olarak tohum priming teknolojileri öne çıkmaktadır. Tohum priming, çimlenme öncesi kontrollü imbibisyon ve metabolik aktivasyon süreçlerini içeren bir ön işlem tekniği olup, tohumların hem çimlenme hızını hem de çıkış homojenliğini artırmaktadır (Taylor ve ark., 1998). Bu teknoloji sayesinde tohumlar, stres koşullarında bile daha hızlı ve uniform bir şekilde çimlenebilmekte, böylece erken gelişim aşamalarında bitkilerin abiyotik ve biyotik toleransı artmaktadır (Zulfiqar, 2021). Özellikle Solanaceae türlerinde priming uygulamalarının; osmotik stres toleransını güçlendirdiği, fide gücünü artırdığı ve tarımsal verimliliğe olumlu katkılar sağladığı pek çok çalışmada rapor edilmiştir (Delian ve ark., 2017; Mahmood, ve ark., 2025; Park ve ark., 2025a).

Priming uygulamalarının en önemli avantajlarından biri, düşük maliyetli ve çevre dostu olmasıdır. Kimyasal girdilere bağımlılığı azaltan bu yöntem, sürdürülebilir tarım yaklaşımlarına da uyum sağlamaktadır (Biswas ve ark., 2023). Ayrıca hormon (GA_3 , salisilik asit), ozmotik ajanlar (PEG, mannitol), biyostimülantlar (deniz yosunu ekstraktı, humik asit) ve doğal ürünler (odun sirkesi, bitki ekstraktları) ile gerçekleştirilen farklı priming yöntemleri sayesinde, çimlenme ve fide çıkışı performansı daha da iyileştirilebilmektedir (Gonzales, 2015; Villa e Vila ve ark., 2024; MacDonald ve Moihan, 2025)

Bu kitap bölümünde, Solanaceae familyasında tohum priming uygulamaları kapsamlı bir şekilde ele alınacaktır. Öncelikle çimlenme fizyolojisi ve stres faktörleri üzerinde durulacak; ardından hidropriming,

osmopriming, halopriming, hormonal priming, biyopriming ve kimyasal priming gibi farklı yöntemlerin patlicangillerdeki uygulanabilirliği tartışılacaktır. Ayrıca güncel araştırmaların ortaya koyduğu veriler ve ticari uygulamalardaki potansiyeller değerlendirilerek, gelecekteki araştırma perspektifleri bütüncül bir bakış açısıyla sunulacaktır.

1. PATLICANGİLLERDE TOHUM ÇİMLENMESİ VE FİZYOLOJİSİ

Tohum çimlenmesi, tüm bitkilerde canlılığın yeniden başlamasını simgeleyen karmaşık bir fizyolojik süreç olmakla birlikte, Patlicangiller (Solanaceae) familyasında bu süreç familyaya özgü anatomik ve fizyolojik özelliklerle şekillenmektedir (Commander ve ark., 2008). Domates, biber ve patlıcan gibi türlerde çimlenme; sıcaklık, ışık, osmotik denge ve oksidatif sinyalleme mekanizmalarına yüksek düzeyde duyarlıdır. Bu türlerde çimlenme aşaması; tuzluluk nedeniyle ortaya çıkan iyon toksisitesi, osmotik stres ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı birikimi sonucunda belirgin şekilde yavaşlayabilmekte ya da tamamen baskılanabilmektedir (Mahmood ve ark., 2025). Bu familyaya ait tohumlarının çevresel streslere verdiği yanıt, türler arasında farklılık gösteren morfolojik ve fizyolojik özelliklerle de şekillenmekte ve bu nedenle çimlenme davranışı oldukça hassas bir düzenleme gerektirmektedir (Park ve ark., 2025a).

Bu familyaya ait tohumlarda su alım aşaması, metabolizmanın yeniden etkinleşmesiyle birlikte ROS oluşumunu tetiklemektedir (Bailly, 2019). Düşük düzeyde üretilen ROS, dormansinin kırılmasını kolaylaştırmakta, enerji metabolizmasını uyarmakta ve hormon dengesinde değişim yaratarak çimlenmeyi başlatmaktadır (Bailly, 2019). Bu süreçte ROS;

ABA ile ilişkili baskılayıcı sinyallerin zayıflamasını sağlarken GA sentezini güçlendirmekte, hidrolaz enzimlerinin sentezini teşvik etmektedir (Kranner ve ark., 2010). Ayrıca Solanaceae tohumlarında orta düzeyde ROS birikimi, hücre duvarı gevşemesine yol açan oksidatif modifikasyonları tetikleyerek embriyo hücrelerinin genişlemesini desteklemektedir (Bailly, 2019).

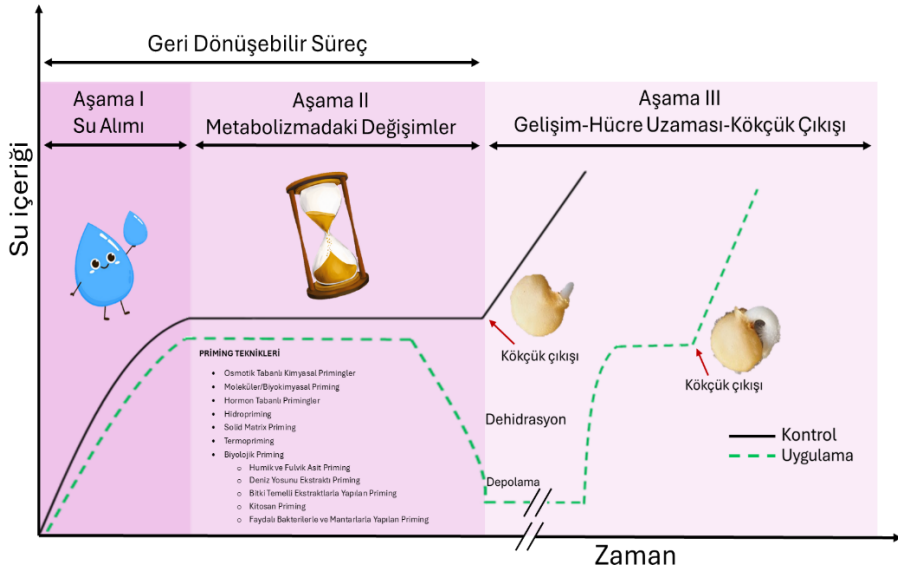
ROS'lar aerobik metabolizmanın doğal yan ürünleri olmakla birlikte, çimlenme sürecinde hem sinyal molekülleri hem de oksidatif stres etmenleri olarak çift yönlü bir role sahiptirler (El-Maarouf-Bouteau ve Bailly, 2008). Çimlenme sırasında en yaygın olarak üretilen ROS türleri arasında süperoksit anyonu (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali ($\bullet OH$) bulunmaktadır (Bailly, 2004). ROS üretimi fizyolojik sınırların üzerine çıktığında lipid peroksidasyonu, protein oksidasyonu, nükleik asit hasarı ve membran bütünlüğünün bozulması gibi ciddi oksidatif zararlar ortaya çıkabilmektedir (Gill ve Tuteja, 2010; Sood, 2025). Bu durum özellikle yaşlanmış, düşük kaliteli veya uygunsuz koşullarda depolanmış Solanaceae familyasına ait türlerde belirginleşmekte; yaşlanma ile birlikte antioksidan savunma kapasitesinin zayıflaması ROS–antioksidan dengesinin daha kolay bozulmasına yol açmaktadır (Demirkaya, 2013; Nickas ve ark., 2024).

Patlicangiller familyasına ait tohumlar, bu oksidatif baskıyı sınırlamak ve metabolik kararlılığı sürdürmek amacıyla oldukça gelişmiş bir antioksidan savunma ağı kullanmaktadır. Bu savunma sisteminin temel bileşenleri arasında süperoksit dismutaz (SOD), süperoksit anyonunu (O_2^-) hidrojen peroksit'e dönüştürerek oksidatif zincirin ilk basamağını düzenlemekte; katalaz (CAT), biriken H_2O_2 'yi hızla su ve oksijene

ayrıştırarak hücrel toksisiteyi azaltmaktadır. Askorbat peroksidaz (APX), askorbatı elektron donörü olarak kullanarak H_2O_2 'nin detoksifikasyonunu gerçekleştirmekte; glutatyon redüktaz (GR) ise askorbat–glutatyon döngüsünü yenileyerek hücrel redoks homeostazının devamlılığını sağlamaktadır (Gill ve Tuteja, 2010; Hernández ve ark., 2021).

Patlicangiller familyasına ait tohumlarda çimlenme süreci, imbibisyon sonrası ortaya çıkan reaktif oksijen türlerinin (ROS) kontrollü üretimi ile bu molekülleri zararsız hâle getiren antioksidan savunma sistemi arasındaki hassas denge tarafından düzenlenmektedir (Şekil 1) (Li ve ark., 2022). Solanaceae familyasında özellikle patlıcan, biber ve domates tohumlarında orta düzeyde ROS birikimi, hücre duvarı gevşemesine yol açan oksidatif modifikasyonları tetikleyerek embriyo hücrelerinin genişlemesini kolaylaştırarak ve kökçük çıkışını hızlandırmaktadır (Airaki ve ark., 2015; Anand ve ark., 2019).

Sonuç olarak, ROS yalnızca oksidatif hasarın göstergesi değil, aynı zamanda çimlenme sürecinin merkezinde yer alan bir düzenleyici sinyal bileşenidir. ROS üretimi ile antioksidan detoksifikasyon arasındaki dinamik denge, yararlı oksidatif sinyalleme ile zararlı oksidatif stres arasındaki eşiği belirlemektedir (Jeevan Kumar ve ark., 2015). Bu denge, tohumun yaşam döngüsündeki en kritik biyokimyasal parametrelerden biridir ve modern tohum teknolojilerinde (seed enhancement/tohum iyileştirme) çimlenme kalitesini belirlemede temel bir hedef haline gelmiştir (Taylor ve ark., 1998).



Şekil 1: Solanaceae Familyası Tohumlarında Çimlenmenin Aşamaları İle Priming Uygulamasının Bu Aşamalardaki Gelişim Hızına Etkisinin Şematik Gösterimi.

2. PATLICANGİLLERDE TOHUM PRİMING UYGULAMALARI

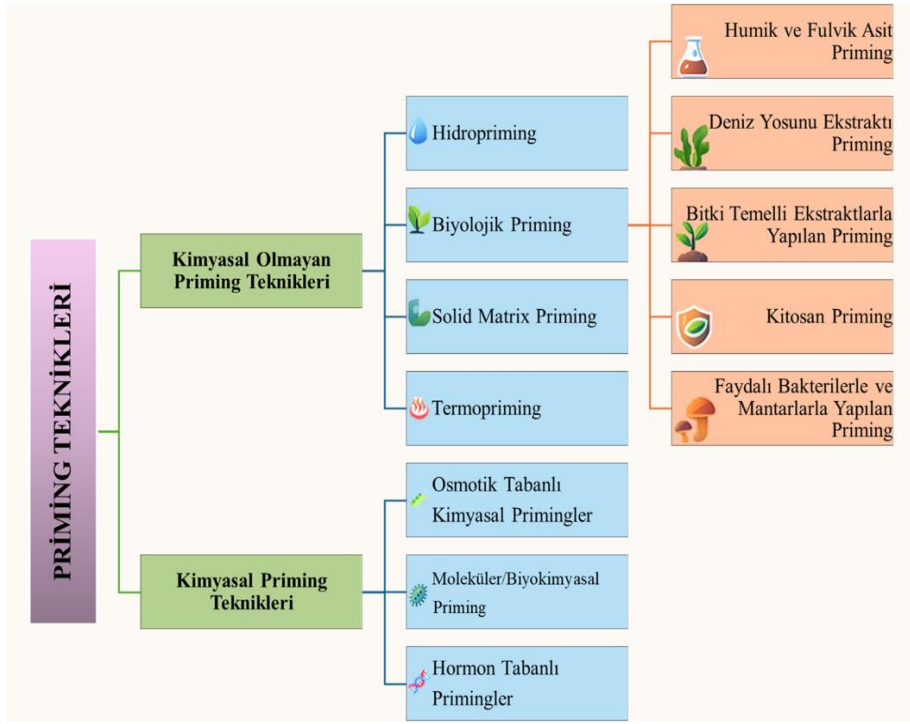
Patlıcangiller (Solanaceae) familyasında üretimde en kritik aşamalarından biri, tohumun hızlı, homojen ve güçlü bir şekilde çimlenmesidir. Domates, biber ve patlıcan gibi türlerde erken dönem gelişimin başarısı, hem fide kalitesini hem de sezon boyunca elde edilecek verimi doğrudan belirlemektedir (Forti ve ark., 2020; Granata ve ark., 2024; Karaca, 2025). Ancak bu türlerin tohumları tuzluluk, kuraklık, düşük sıcaklık, oksidatif stres ve patojen baskısı gibi çok çeşitli çevresel koşullara karşı oldukça hassas bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, özellikle stres altında çimlenme performansını artırmaya yönelik yenilikçi tohum teknolojilerine duyulan ihtiyaç her geçen gün daha da belirginleşmektedir.

Tohum priming teknolojileri, bu sorunlara karşı geliştirilen en etkili ve uygulanabilir yöntemlerden biridir. Priming; kontrollü imbibisyon, erken metabolik aktivasyon ve radikül çıkışı gerçekleşmeden sürecin durdurulması prensibiyle çalışan bir ön işlem tekniğidir (Zulfiqar, 2021). Bu sayede tohum, stres koşullarında dahi hızlı ve senkronize şekilde çimlenebilecek “fizyolojik olarak uyanmış” bir yapıya ulaşmaktadır. Priming uygulanmış Solanaceae tohumları; daha hızlı su alımı, daha güçlü enerji metabolizması ve daha etkili antioksidan yanıt sayesinde yüksek çimlenme oranı ve daha uniform fide çıkışı sergilemektedir (Forti ve ark., 2020; Hosseinifarahi ve ark., 2022; Mahmood, 2025).

Günümüzde priming uygulamaları yalnızca suya dayalı klasik yöntemlerle sınırlı kalmayıp; biyostimülantlar, doğal ürünler ve mikroorganizmalar gibi geniş bir müdahale alanını kapsamaktadır. Bu bölümde, hem geleneksel priming yöntemleri hem de Patlicangillerde başarıyla uygulanan biyostimülant ve biyolojik temelli modern priming teknikleri ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

3. PATLICANGİLLERDE KULLANILAN PRİMING TEKNİKLERİ

Solanaceae familyasında kullanılan tohum priming uygulamaları genel olarak kimyasal ve kimyasal olmayan teknikler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Şekil 2’de sunulan bu başlıklar, izleyen bölümde ayrıntılı olarak açıklanacaktır.



Şekil 2: Solanaceae Familyasındaki Tohum Priming Tekniklerinin Sınıflandırılması

3.1. Kimyasal Olmayan Priming Teknikleri

3.1.1. Hidropriming

Hidropriming, tohumların kontrollü bir şekilde suya maruz bırakılarak erken hidrasyon sürecinin başlatıldığı, ancak radikül çıkışı gerçekleşmeden sürecin durdurulduğu en basit ve en çevre dostu priming yöntemlerinden biri olarak tanımlanmaktadır (Farooq ve ark., 2006). Bu yaklaşım, özellikle Solanaceae familyasına ait domates, biber ve patlıcan gibi türlerde, tohumların su potansiyeline duyarlı çimlenme fizyolojisi nedeniyle priming uygulamaları yaygın biçimde benimsenmiştir (Cheng ve Bradford, 1999; Kaewduangta ve ark., 2016). Hidropriming uygulanan tohumlarda suyun hücrelere düzenli şekilde alınması,

metabolizmanın yeniden etkinleşmesini hızlandırmakta; protein sentezi, DNA onarımı ve enerji metabolizmasının erken aktivasyonu gibi çimlenmenin başlangıç süreçlerini tetiklemektedir (Macovei ve ark., 2025). Bu olay, özellikle düşük sıcaklık ve su stresi gibi çimlenmeyi geciktiren koşullar altında daha belirgin hale gelmektedir. Domates biber ve patlıcan tohumlarında hidropriming'in çimlenme hızını artırdığı, çıkışı senkronize ettiği ve erken fide gelişimini güçlendirdiği birçok çalışmada ortaya konulmuştur (Adediran ve ark., 2015; Ray ve Bordolui, 2022; Nobre ve ark., 2024).

3.1.2 Biyolojik Priming

Biyolojik priming, bitkilerde temel fizyolojik süreçleri optimize ederek tohum çimlenmesini ve gelişmesini teşvik eden bir ön işlem tekniğidir (Rosa ve ark., 2025). Biyolojik priming, stres ve patojenlerin bulunduğu zorlu çevresel koşullarda dahi tohumların başarılı bir şekilde çimlenmesine olanak tanımaktadır (da Silva, 2016). Bu ön işlem tekniği sürdürülebilir tarımda tohum kalitesini ve bitki performansını artırmaya yönelik yeni bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Jatana ve ark., 2024; Anumala ve ark., 2025; Rao ve ark., 2023).

Biyolojik priming teknikleri arasında en yaygın ve önem arz eden teknikler; humik ve fulvik asit priming, deniz yosunu ekstrakt priming, bitki temelli ekstraktlarla yapılan priming, kitosan priming, faydalı bakteri ve mantarlarla yapılan priming teknikleridir (du Jardin, 2015). Bu ön işlem teknikleri Solanaceae familyasında özellikle domates, biber ve patlıcan türlerinin tohumlarında denenmiş ve başarılı sonuçlar rapor edilmiştir. (Mahmood ve ark., 2025; Jatana ve ark., 2024)

3.1.2.1 Humik ve Fulvik Asit Priming

Humik maddeler (Humik ve Fulvik Asit) topraktaki organik materyallerin %65-70 ile yeryüzündeki en büyük karbon havuzunu oluşturmaktadırlar (Friedel ve Scheller, 2002; Canellas ve ark. 2015). Bu maddeler tohum gelişimi ve çimlenmesini olumlu yönde teşvik etmektedir (Mammadova, 2023). Solanaceae familyasında bu ön işlem tekniği domates, biber ve patlıcanda test edilerek olumlu raporlar belirtilmiştir.

Domateste ve patlıcanda 4 gr/kg oranında uygulanan humik asit konsantrasyonunda tohumların çimlenmesinde anlamlı artışlar tespit edilirken, biber tohumlarında da humik maddelerin uygulamasıyla çimlenmenin, erken kök ve sürgün gelişiminin arttığı bildirilmiştir (Nisar ve ark. 2025; Šerá ve Novák, 2022). Bu duruma ek olarak tuz stresi altında domates (Türkmen ve ark., 2004) ve biber (Gülser ve ark., 2010) tohumlarında humik asidin çimlenme oranlarını arttırdığı tespit edilmiştir.

3.1.2.2 Deniz Yosunu Ekstraktı Priming

Deniz yosunları, pigmentasyonlarına göre kahverengi, kırmızı veya yeşil olarak sınıflandırılır ve dünya okyanuslarının kıyı bölgelerinde yaşayan yaklaşık 9.000 tür makroalgden oluşur. Yaklaşık 2.000 türle kahverengi deniz yosunları en yaygın gruptur (Khan ve ark. 2009). Bu ön işlem yöntemi Solanaceae familyasından domates ve biberde sürdürülebilir tarımsal üretim için başarıyla test edilmiştir. *Acanthophora spicifera*, *Gracilaria ornata*, *Codium taylorii*, *Caulerpa serrulata* ve *Sargassum vulgare*'den elde edilen deniz yosunu ekstraktlarının biber ve domates

tohumlarında çimlenmeyi arttırdığı ve homojen fide gelişimini sağladığı belirtilmiştir (Ali ve ark. 2023). *Ascophyllum nodosum* ile muamele edilen domates ve biber tohumlarında ise tuzluluk stresine karşı, stresi hafifletici etkisi raporlanmıştır (Ali ve ark. 2018).

3.1.2.3 Bitki Temelli Ekstraktlarla Yapılan Priming

Bitki temelli ekstraktlarla yapılan priming uygulamalarında kullanılacak olan materyal bitkinin; kök, sürgün, tohum, yaprak gibi farklı kısımlarından üretilirler. Bu kısımlar uygulama yapılan bitkilerde biyotik-abiyotik strese tolerans, antifungal ve antimikrobiyal etkiler göstermesine, besin kaynaklarının verimli kullanımına, bitki gelişimine, tohum çimlenmesinde artışa ve fotosenteze yardımcı olurlar (Ali ve ark. 2019; Ahmed ve ark., 2020).

Bitki temelli ekstraktlarla yapılan priming uygulamaları Solanaceae familyasından patlıcan, biber ve domates tohumlarının çimlenmesi hususunda dikkat çeken sonuçlar sunmaktadır. Biber tohumlarında moringa yapraklarından elde edilen ekstrakt (*Moringa olifera*) ile muamele edilen tohumların çimlenme yüzdesinin, hızının, indeksinin ve çimlenme hızının artırdığını göstermiştir (Hala ve ark. 2017; Yuniati ve ark. 2023) Domates tohumlarında *Phyllanthus emblica*, *Prosopis juliflora*, *Acacia nilotica*, *Sapindus mukorossi*, *Terminalia arjuna* ve *Azadirachta indica* yaprak ekstraktları ile muamele gören tohumlarda çimlenme yüzdesinin ve hızının artışında anlamlı sonuçlar raporlanmıştır (Abdelhameed ve ark. 2025; Jat ve Shivani, 2025). Patlıcan tohumlarının; *Moringa olifera* ve sulu sarımsak ekstraktı gibi bitki temelli ekstraktlarla yapılan ön işlem tekniği; çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi gibi çimlenme özelliklerinde belirgin

iyileşmeler sağlarken tuzluluk stresine direnç gösterebildiği tespit edilmiştir. (Ali ve ark. 2019; Jawaid ve ark. 2023)

3.1.2.4 Kitosan Priming

Kitosan (2-amino-2-deoksi- β -D-glukozamin), böceklerin, karideslerin, ıstakozların ve yengeçlerin dış iskeletlerinde; ayrıca mantarların hücre duvarlarında, nematod yumurtalarında ve bağırsak zarlarında yaygın olarak bulunan doğal bir bileşiktir. 1980'li yıllarda tespit edilip bitki uyarıcı olarak tanımlandıktan sonrasında Solanaceae familyasında araştırma konusu olmuştur (Türk, 2019; Balusamy ve ark., 2022). Domates tohumlarında uygulanan kitosan priming hastalıklara, stres koşullarına direnç ve çimlenme parametrelerinde anlamlı artış sağlamaktadır (Özkurt ve Bektaş, 2022; Akram ve ark., 2025). Benzer etkiler ve sonuçlar biber ve patlıcan türlerinde de rapor edilmiş olup kitosan priming tohum çimlenme parametrelerini arttırıcı etki göstermektedir (Alhulaybi, 2023)

3.1.2.5 Faydalı Bakterilerle ve Mantarlarla Yapılan Priming

Faydalı bakteriler ile gerçekleştirilen priming, bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) ile tohumların ön işlemden geçirilmesini sonucunda bitki gelişimini ve dayanımını arttırıcı özelliklerin tespit edildiği sürdürülebilir bir yöntemdir. (Singh ve ark., 2024) Bu priming metodu sayesinde, PGPR ile muamele görmüş tohumlarda çimlenmenin arttığı, fidelerin homojen şekilde ve kök sistemlerinin daha sağlıklı olarak geliştiği tespit edilmiştir. (Singh ve ark. 2024; Van Oosten ve ark. 2017) Faydalı bakteriler ile gerçekleştirilen biyopriming uygulaması, tohumların spesifik olarak seçilen biyopriming ajanının bulunduğu

çözeltiye batırılması akabinde radikula çıkışı gerçekleşmeden önce çözeltiden çıkartılıp kurutulması ile gerçekleştirilir. (Ashraf ve Foolad, 2005) Bu işlemde seçilecek olan biyopriming ajanının etkinliği bakteriyel suşların bitki kök salgılarıyla olan etkileşimi ve bitkinin doğrudan kendi genetiği ile alakalıdır (Droque ve ark., 2013). Domateste faydalı bakteriler ile yapılan uygulamaların, oksin üretimini teşvik ederek tohum çimlenmesini ve fide gelişimini teşvik ettiği, *Pseudomonas aeruginosa* gibi PGPR ile yapılan muamelede sodyum florür stresi altında bile domates tohumlarının çimlenme ve büyüme parametrelerini geliştirdiğini belirtilmiştir (Singh ve ark. 2024; Pappalettere ve ark., 2024). *Pseudomonas* ve *Bacillus* türleriyle yapılan primingin biberde hem olgun hem de olgunlaşmamış tohumlarda çimlenme kalitesini artırdığını göstermiştir (Yıldırım ve ark. 2021). Patlıcanda PGPR ile yapılan primingin çimlenme ve fide gelişimini iyileştirdiğini rapor edilmiştir (Fiodor ve ark. 2023).

Çoğu bitki, besin alımını artırmak ve biyotik ile abiyotik stres koşullarına karşı savunma mekanizmalarını güçlendirmek için faydalı mikroorganizmalarla simbiyotik etkileşim kurarlar (Wei ve ark.2019). Karşılığında bitkiler karbon ve azotlarının bir kısmını salgılayıp, rizosfer, endosfer ile filosfer gibi yaşam alanları sağlayarak toprak mikrobiyal topluluklarının gelişimini destekler (Sasse ve ark. 2018). *Arbusküler Mikorizal Funguslar*, *Endofitik Funguslar*, *Trichoderma türleri* tarımsal anlamda en çok kullanılan faydalı mantarlardır.

Bu simbiyotik etkileşimlerin en dikkat çekici tarımsal örneklerinden biri, yüksek ekonomik değere sahip olan Solanaceae familyasıdır. Domates, biber ve patlıcan gibi ürünlerde faydalı mantarların toprakta priming

amacıyla kullanılması, çimlenme başarısını artırmakta ve stres koşullarına karşı toleransı güçlendirmektedir (Giovannini ve ark. 2024; Pehlivan ve ark. 2018). Domates tohumlarında *Trichoderma asperellum* uygulaması ile tohumlarda çimlenmenin daha başarılı olduğu, *Fusarium Oxysporum*'a karşı direnç kazandığı belirtilmiştir (Sehim ve ark. 2023). Domates tohumlarında *Arbusküler Mikorizal Funguslar*'ın uygulanması su ve kuraklık streslerine karşı bitkilerin direnç geliştirmesini de sağlamaktadır (Giovannini ve ark., 2024). Benzer etkiler patlıcan ve biber tohumlarında da gözlemlenmiştir. *Arbusküler Mikorizal Funguslar*'ın ve *Trichoderma*'nın patlıcan ve biber tohumlarına uygulanması homojen ve sağlıklı fide oluşumu ile gelişmiş kök yapısına sahip olmalarını sağlamıştır. (Shaik ve Singh, 2022; Cardarelli ve ark., 2022).

3.1.3 Solid Matrix Priming

Tohumların doğrudan suya temas ettirilmeden, nem taşıyıcı katı bir madde (vermikülit, perlit, kil, kömür, vb.) yardımıyla kontrollü bir şekilde su alımının sağlandığı ön uygulama Solid matrix priming (SMP) olarak adlandırılmaktadır (Taylor ve ark., 1988). Diğer priming uygulamalarında olduğu gibi bu priming metoduyla da radikula çıkışı olmadan tohumlar metabolik olarak çimlenmeye hazır hale getirilerek, çimlenme hızı, homojenitesi ve fide çıkışının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. SMP genellikle stres koşullarında fide çıkışını ve vigoru düşük olan yaşlanmış tohum partilerinde vigorun iyileştirilmesi amacıyla uygulanan bir priming metodudur (Ermiş ve ark., 2016).

Sistematik geliştirilmesi ve tanımlanması 1980'li yılların sonunda başlayan (Taylor ve ark., 1988) bu metod günümüze kadar birçok sebze

türünde (domates, biber, patlıcan, lahana, havuç, kereviz, karpuz, vb.) kullanılmaktadır. Ayrıca biyostimülantlar, bazı mikroorganizmalar ve oksijen uygulamalarıyla da birlikte kullanılabilir olması sebebiyle çalışılacak türe ve stres koşullarına göre uygulamalar daha da kullanışlı hale gelebilmektedir (Muhie ve Demir, 2023). Khan (1992) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda katı matrislerle yapılan bu ön uygulamanın tohumların su alımının daha kontrollü şekilde yapılabilmesi nedeniyle osmotik solüsyonlarla yapılanlardan daha verimli olduğu bildirilmiştir.

Katı matris ortamları genel olarak organik ve inorganik olarak ayrılmaktadır. Organik katı matrisler (Leonardit, Agro-lig, Sphagnum yosunu, odun talaşı gibi) yüksek su tutma kapasitesine sahip oldukları ve %90–95’ten fazlası osmotik bileşenlerden oluştuğu için dengeli bir priming uygulamasına zemin oluşturmaktadırlar. Organik katı matrislerin osmotik yapısı, tohumun metabolik faaliyetlerini radikül çıkışı olmadan hazırlık evresine taşıması sebebiyle tercih edilmektedir (Khan, 1992).

İnorganik katı matrisler ise su potansiyelini ağırlıklı olarak taşıyıcılar aracılığıyla kontrol altında tutan minarel içerikli materyallerdir. Gözenekli yapıları ve fiziksel su tutma kapasiteleri sayesinde imbibisyon hızını dengeli bir şekilde ayarlayarak tohumun aşırı su alımı nedeniyle zarar görmesini engelleyen vermikülit, perlit, cocopeat, diyatom toprak, kil gibi materyaller bu gruba girmektedir (Khan, 1992; Taylor ve ark. 1988; Ermiş ve ark., 2016). Khan (1992), SMP uygulamalarının yığın yoğunluklarının $\geq 0.3 \text{ g/cm}^3$ olması gerektiğini belirtmiştir. Organik ve inorganik matris ortamları, her ne kadar farklı çalışma prensiplerine sahip olsalar da SMP uygulamalarındaki temel amaç olan kontrollü su

alımının sağlanması için yeterli ve dengeli ortam sağlamada önemli rol oynamaktadırlar.

Katı matris ortamlarının seçiminde en önemli faktör yüksek su tutma ve düşük matris potansiyeline sahip olmalarıdır. Bununla beraber kullanılan materyalin çözünebilir madde bırakmaması ve toksik etki yapmaması da büyük önem taşımaktadır. Özellikle organik kimyasal atıkların çözeltiye karışması, tuz içeriğine sahip olması gibi durumlar istenmeyen koşulları doğurmaktadır. Bu gibi durumlarda tohum kabuğu zarar görmekte ve SMP uygulamalarında başarı oranı düşmektedir (Eshkab ve Harris, 2020). Ayrıca katı matrisler, uygulama yapılacak tohumlarla uyumlu olarak seçilmelidir. Örneğin; patlıcan ve biber için kum (Venkatasubramanian ve Umarani, 2007), brokoli, karnabahar için vermikülit (Wu ve ark, 2022), kereviz için kalsine kil (Parera ve ark., 1993), domates, havuç ve soğan için Leonardit (Taylor ve ark., 1988), lahana (Ermış ve ark, 2016) ve pırasa için vermikülit (Özden ve ark., 2018), karpuz için leonardit (Mavi ve Atak, 2016) kullanılan SMP uygulamalarında çimlenme ve/veya fide çıkışının arttığını bildirmişlerdir.

3.1.4 Termopriming

Termopriming, tohumların ekimden önce belirli sıcaklıkta oksijence zengin saf su içerisinde ve karanlık ortamda belirli sürelerde maruz bırakıldığı bir yöntemdir. Bu işlem, çimlenme sırasında ortaya çıkan termo-inhibisyonu azaltır ve zorlu çevresel koşullarda çimlenme başarısını artırır. Yöntem, tohumların ekim öncesinde farklı sıcaklık derecelerinde işleme tabi tutulmasını içerir; genellikle düşük sıcaklık uygulamaları daha iyi sonuçlar verir. Daha az yaygın olmakla birlikte,

yüksek sıcaklık kullanımı sıcak iklimlerde gelişen bitkiler için faydalı olabilmektedir. Çalışmalar, özellikle tuzlu toprak koşullarında, bu tekniğin tohum gelişimi ve çimlenme oranlarında orta düzeyde iyileşmeler sağlayabileceğini göstermiştir (Özmen ve Kenanoğlu, 2020; Sarma ve Paul, 2024).

Solanacea familyası içinde özellikle patlıcan, domates ve biber tohumlarında yapılan çalışmalar, tohum çıkış parametrelerinde olumlu sonuçlar doğurmaktadır. Patlıcan tohumlarını 50 °C’de 15 ve 30 dakika muamele etmek tohum çıkış parametrelerinde olumlu sonuçlar göstermektedir (Özmen ve Kenanoğlu, 2020). Buna ek olarak patlıcan tohumlarında 45°C sıcaklıkta 10 dakikada yapılan muamelenin de bir başka çalışma da en optimal seviye olduğu belirtilmiştir (Duran, 2016). Domates tohumlarında nemli ve kuru muamele karşılaştırılmasında 50,55 ve 60°C’de 15, 30 ve 60 dakikada yapılan uygulamanın kuru tohumlarda daha olumlu sonuçlar doğurduğu da tespit edilmiştir (Khalil ve ark., 1983).

3.2 Kimyasal Priming Teknikleri

3.2.1. Osmotik Tabanlı Kimyasal Primingler

Osmoprimer ve haloprimer tohumların PEG, mannitol ile KNO_3 , CaCl_2 , NaCl , KCl gibi tuz çözeltileri gibi düşük su potansiyeline sahip ortamlarda yavaş ve kontrollü bir şekilde su almasını sağlayan bir ön işlem tekniğidir (Bradford, 1986). Bu kontrollü hidrasyon sayesinde tohum, su emiliminin ilk iki aşamasını (imbibisyon ve metabolik aktivasyon dönemi) güvenli bir şekilde tamamlamakta ve kökçük çıkışı başlamadan önce işlem durdurulduğu yeniden kurutulmaktadır.

depolanabilmektedir (Farooq ve ark., 2005). Kontrollü su alımı, embriyonun aşırı su stresine maruz kalmasını engellediği gibi DNA onarımı, protein sentezi, enerji metabolizmasının yeniden aktifleşmesi ve oksidatif dengenin kurulması gibi çimlenmenin başlamasında kritik rol oynayan metabolik hazırlığın da daha uyumlu biçimde gerçekleşmesini sağlamaktadır (Varier ve ark., 2010).

Osmotik çözeltilerle gerçekleştirilen bu kontrollü su alımı sırasında hücresel metabolizma yeniden aktive olmakta; protein sentezi hızlanmakta, DNA onarım mekanizmaları devreye girmekte ve mitokondriyal aktivite ile ATP üretimi belirgin şekilde artmaktadır (Hasanović ve ark., 2025). Bununla birlikte, priming sürecinde redoks düzenleyici ağ da erken dönemden itibaren harekete geçmektedir. Özellikle askorbat–glutasyon döngüsünün uyarılması, süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) gibi temel antioksidan enzimlerin aktivitesinin artması, hücre içi reaktif oksijen türlerinin güvenli seviyelerde tutulmasını sağlamaktadır (Yin ve ark., 2014). Bu antioksidan yanıt sayesinde, oksidatif hasarın önüne geçerek hem depo dokuların bütünlüğünü korumakta hem de çimlenme için gereken metabolik süreçlerin daha stabil bir ortamda ilerlemesini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle osmopriming, özellikle çevresel streslerin tetiklediği oksidatif yükü hafifletmede etkili bir biyokimyasal hazırlık aşaması olarak değerlendirilmektedir (Soeda ve ark., 2005).

Halopriming, osmopriming ile benzer şekilde kontrollü hidrasyon sağlamakla birlikte, kullanılan tuz çözeltilerinin (KNO_3 , CaCl_2 , NaCl , KCl vb.) doğrudan iyonik ve besinsel etkileri nedeniyle fizyolojik yanıtı farklı bir düzeyde şekillendirmektedir. Özellikle KNO_3 ile yapılan

halopriming, nitrat redüktaz aktivitesini artırmakta, ABA/GA hormonal dengesini çimlenme lehine düzenlemekte, çeşitli enzimleri aktive etmekte ve besin alımını hızlandırarak çimlenme metabolizmasını çok yönlü biçimde uyarmaktadır (Hernandez ve ark., 2021). K^+ iyonu, osmotik düzenleyici ve enzim kofaktörü olarak hücre içi su dengesini stabilize etmekte, erken kök ve sürgün gelişimini desteklemektedir (Duermeyer ve ark., 2018). $CaCl_2$ ile yapılan halopriming ise kalsiyumun membran stabilitesi, sinyal iletimi ve ROS detoksifikasyonundaki yapısal rolü nedeniyle zar bütünlüğünün korunmasına ve erken stres toleransının güçlenmesine katkı sağlamaktadır (Theerakulpisut ve ark., 2016). Halopriming sırasında tuz çözeltilerinin oluşturduğu hafif iyonik stresin, tohumları stres tolerans yollarına önceden hazırladığı; antioksidan enzim aktivitelerini, iyon taşınımını ve erken metabolik yanıtları güçlendirerek çimlenme sonrası çevresel streslere karşı daha dayanıklı fide oluşumuna zemin hazırladığı bildirilmektedir (Afzal ve ark., 2008).

Osmopriming ve halopriming etkinliği, kullanılan madde türüne, konsantrasyonuna ve süreye bağlı olarak değişebilmekle birlikte, Solanaceae familyasında bu yöntemin özellikle domates tohumlarında kapsamlı şekilde test edildiği bilinmektedir. Farklı dozlarda PEG-6000 ile osmopriming yapılan domates tohumlarında düşük PEG dozlarının çimlenme hızı, kök ve sürgün gelişimi belirgin iyileşmeler sağladığı, buna karşın yüksek PEG dozlarının su potansiyelini aşırı düşürerek tohum gücünü olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Akram ve ark., 2025). Benzer şekilde, biber tohumlarında PEG-4000 ile yapılan osmopriming uygulamalarının çimlenme hızını artırdığı, fotosentetik pigmentleri

güçlendirdiği ve antioksidan enzim aktivitelerini belirgin şekilde yükselterek kuraklık koşullarında fide dayanıklılığını geliştirdiği gösterilmiştir (Ullah ve ark., 2025). Patlıcan tohumlarında yapılan çalışmalar da PEG-6000 uygulamasının çimlenme oranı, fide uzunluğu ve vigor indeksini yükselttiğini, düşük su potansiyeli koşullarında dahi doku canlılığını koruduğunu göstermektedir (Kaur ve ark., 2023).

Domates tohumlarında KNO_3 temelli halopriming uygulamalarının çimlenme hızı, çimlenme yüzdesi, kök-sürgün uzunluğu ve fide vigorunu belirgin şekilde artırdığı birçok çalışmada rapor edilmiştir. Özellikle 25 mM KNO_3 uygulamasının T_{50} 'yi kısalttığı, çözünebilir şeker birikimini ve α -amilaz aktivitesini yükselterek erken metabolik hazırlığı güçlendirdiği belirtilmiştir (Nawaz ve ark., 2011). Benzer şekilde, farklı tuz konsantrasyonlarıyla yapılan halopriming, antioksidan enzim aktivitelerini artırarak domates fidelerinin tuzluluk koşullarında daha yüksek canlılık ve stres toleransı göstermesine katkı sağlamaktadır (Vaktabhai ve ark., 2017). Biber tohumlarında NaCl çözeltileriyle yapılan halopriming uygulamalarının çimlenme performansını anlamlı biçimde iyileştirdiği, özellikle %10 NaCl konsantrasyonunun çimlenme oranı, çimlenme hızı ve vigor indeksinde en yüksek artışı sağladığı bildirilmiştir (Hasara ve ark., 2024). Patlıcan tohumlarında yapılan çalışmalar, düşük konsantrasyonlu tuz çözeltilerinin çimlenme ve erken fide gelişimi üzerinde düzenleyici etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle 25 mM KCl uygulamasının çimlenme oranı, çimlenme hızı, fide uzunluğu ve tohum vigor indeksini artırdığı; buna karşın daha yüksek NaCl ve KCl dozlarının osmotik stres oluşturarak çimlenmeyi baskıladığı bildirilmektedir (Arifin ve ark., 2020). Genel

olarak değerlendirildiğinde, osmopriming daha çok metabolik aktivasyon ve oksidatif denge üzerinde etkili olurken, halopriming iyon homeostazı ve stres hazırlığı yoluyla Solanaceae türlerinde çimlenme ve erken fide gelişimini çok yönlü olarak güçlendirmektedir.

3.2.2 Moleküler/Biyokimyasal Priming

Moleküler veya biyokimyasal kimyasal priming, tohumların çimlenme öncesi dönemde düşük dozlarda belirli sinyal molekülleri, antioksidanlar, hormon benzeri düzenleyiciler veya redoks-aktif bileşiklerle muamele edilerek metabolik hazırlığın hedefe yönelik biçimde uyarıldığı bir priming metodudur (MacDonald and Mohan 2025). Osmotik temelli priming yöntemlerinden farklı olarak, bu yaklaşım tohumdaki su alımını değil; hücre içindeki sinyal ağlarını, redoks dengesini ve stres yanıt sistemlerini erken dönemde harekete geçirmeyi hedeflemektedir (Ullah ve ark., 2025).

Bu kapsamda salisilik asit (SA) (Hanieh ve ark., 2013), hidrojen peroksit (H_2O_2), (Bouallegue ve ark., 2025), askorbik asit (AsA) (Terzaghi ve De Tullio, 2023), melatonin (Rajora ve ark., 2022), prolin (Karalija ve ark., 2024) ve trehaloz (Zafar ve ark., 2024) gibi moleküller en sık kullanılan ajanlar olup, her biri çimlenme metabolizmasını farklı biyokimyasal yollar üzerinden düzenlemektedir. Bu moleküllere ek olarak glutathione (GSH), nitric oxide (NO) donörleri (ör. SNP), polyaminler (putresin, spermidin, spermine) ve glycine betaine gibi redoks-aktif ve hücre içi sinyal düzenleyiciler de priming etkisi gösteren diğer önemli ajanlar arasında yer almaktadır. Bu bileşikler tohum dokularında antioksidan sistemin güçlendirilmesini, mitokondriyal enerji üretiminin hızlanmasını, hormon benzeri sinyal akışlarının tetiklenmesini ve stresle

ilişkili genlerin ön-aktif edilmesini sağlayarak çimlenme hızını, çıkış uniformitesini ve erken fide büyümesini belirgin biçimde iyileştirmektedir.

Bu tip moleküler düzeydeki priming ajanlarının ortak özelliği, tohum fizyolojisinde stres öncesi bir hazırlık durumu yaratmalarıdır. Bu süreçte redoks sinyalizasyonu, oksidatif dengeyi düzenleyen antioksidan ağlar, enerji metabolizmasının erken aktivasyonu ve stresle ilişkili genlerin ekspresyonundaki ön-uyarılma birlikte çalışarak tohumun çimlenme eşliğini düşürmektedir (Rajora ve ark., 2022; Bouallegue ve ark., 2025). Böylece tohumlar hem optimum koşullarda daha hızlı ve üniform çimlenmekte hem de su stresi, tuzluluk, soğuk ve yaşlanma gibi olumsuz çevresel faktörlere karşı daha dayanıklı fizyolojik yapıya kavuşmaktadır. Bu mekanik avantajlar nedeniyle kimyasal priming, farklı bitki familyalarında yaygın olarak uygulanmakla birlikte, çimlenme fizyolojisi çevresel streslere oldukça duyarlı olan Solanaceae türlerinde özellikle etkili bir strateji olarak karşımıza çıkmaktadır.

Salisilik asit, düşük dozlarda uygulandığında tohumlarda süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi temel antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak oksidatif dengeyi güçlendiren etkili bir sinyal molekülüdür. Antioksidan sistemdeki bu erken aktivasyon, çimlenmenin başlangıç safhalarındaki metabolik süreçleri hızlandırmakta ve tohumun stres koşullarına karşı fizyolojik dayanıklılığını artırmaktadır. Solanaceae türlerinde yapılan çalışmalar, salisilik asit priminginin hem domates hem de biber ve patlıcan tohumlarında çimlenme hızını artırdığını, ortalama çimlenme süresini (dolayısıyla T_{50} 'yi) kısalttığını ve erken fide büyümesini belirgin

biçimde iyileştirdiğini ve stres koşullarını azalttığını göstermektedir (Ghoohestani ve ark., 2012; Ahmed ve ark., 2020; Jawaid ve ark., 2023).

Hidrojen peroksit (H_2O_2), bitki hücrelerinde yalnızca reaktif oksijen türü olarak zararlı etkiler oluşturan bir molekül olmamakla birlikte aynı zamanda düşük konsantrasyonlarda uygulandığında çimlenme metabolizmasını düzenleyen güçlü bir sinyal bileşeni olarak görev yapmaktadır (Neill ve ark., 2002). Düşük doz H_2O_2 tohumda imbibisyonu hızlandırmakta, mitokondriyal aktivasyonu uyarmakta ve antioksidan savunma sistemini erken dönemde aktive ederek çimlenme eşiğini düşürmektedir (Bouallegue ve ark., 2025). Solanaceae türlerinde yapılan çalışmalar bu mekanizmayı açık bir biçimde doğrulamaktadır. Domates tohumlarında H_2O_2 primingi, çimlenme oranı, çimlenme hızı ve fide gelişimini artırmakta; özellikle düşük sıcaklık ve tuzluluk koşullarında α -amilaz aktivitesini yükselterek nişasta mobilizasyonunu hızlandırmaktadır (Ghoohestani ve ark., 2012; Saidi ve ark., 2024). Biberde yapılan uygulamalar, H_2O_2 'nin kök ve sürgün uzunluğunu artırdığını, klorofil düzeylerini koruduğunu ve stres altında SOD, CAT, APX aktivitelerini yükselterek oksidatif hasarı azalttığını göstermektedir (Gammoudi ve ark., 2020). Patlıcan tohumlarında ise H_2O_2 priming, özellikle tuzluluk koşullarında çimlenme hızı ve fide biyokütlesini artırmakta, aynı zamanda Na^+ ve Cl^- birikimini azaltarak iyon toksisitesine karşı dayanıklılığı önemli ölçüde yükseltmektedir (Jawaid ve ark., 2023).

Askorbik asit (AsA), tohumlarda askorbat–glutatyon döngüsünün merkezi bileşeni olarak görev yapan güçlü bir antioksidandır ve düşük dozlarda uygulandığında çimlenmenin erken evrelerinde redoks

dengeğini düzenleyen etkili bir priming ajanı olarak öne çıkmaktadır (Terzaghi ve De Tullio, 2023). Solanaceae familyasında yapılan çalışmalar, AsA priminginin domates, biber ve patlıcan tohumlarında çimlenme hızını artırdığını, ortalama çimlenme süresini kısalttığını ve erken fide gelişimini iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca AsA uygulaması tuzluluk, kuraklık ve düşük sıcaklık gibi stres koşulları altında oksidatif hasarı azaltarak tohum ve fide fizyolojisinin korunmasına güçlü katkı sağlamaktadır (Mi ve ark., 2025; Bouallegue ve ark., 2025).

Melatonin (MT), bitki hücrelerinde hem güçlü bir antioksidan hem de stres sinyal molekülü olarak görev yapan indolamin yapılu bir bileşik olup düşük dozlarda uygulandığında tohumların çimlenme metabolizmasını çok yönlü biçimde düzenleyen etkili bir priming ajanı olarak öne çıkmaktadır. (Liu ve ark., 2022) MT priming, özellikle askorbat-glutasyon döngüsü, mitokondriyal enerji üretimi, ROS detoksifikasyonu ve stres toleransı ile ilişkili genlerin ekspresyonunu erken dönemde aktive ederek tohum gücünü belirgin şekilde artırmaktadır (Farooq ve ark., 2021; Karaca ve ark., 2023; Karaca ve Korkmaz, 2025). Melatonin, Solanaceae familyasında yer alan türlerde çimlenme metabolizmasını düzenleyen ve stres toleransını artıran güçlü bir priming ajanı olarak öne çıkmaktadır. Domates tohumlarında melatonin uygulamalarının yaşlanma ve çevresel stres koşullarında vigor kaybını azalttığı, antioksidan enzim aktivitelerini (SOD, CAT, APX) artırarak çimlenme hızı ve erken fide gelişimini iyileştirdiği gösterilmiştir (Karaca ve ark., 2023). Benzer şekilde biber tohumlarında melatonin primingi, düşük sıcaklık stresinin neden olduğu metabolik

yavaşlamayı azaltmış; çimlenme yüzdesi, çıkış performansı ve fide dayanıklılığında belirgin artış sağlamıştır (Korkmaz ve ark., 2017). Patlıcanda ise melatonin uygulaması tuzluluk stresine bağlı ROS birikimini düşürmüş, antioksidan savunmayı güçlendirmiş ve fide büyümesini destekleyerek iyon toksisitesine karşı fizyolojik dayanıklılığı artırmıştır (Zhang ve ark., 2025).

Prolin, trehaloz, nitrik oksit ve glutatyon gibi güncel ve giderek daha fazla ilgi gören biyokimyasal priming ajanları, Solanaceae türlerinde çimlenme ve erken fide gelişimini destekleyen güncel yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Prolin ve trehaloz, tohumun su alımı sırasında hücreleri koruyarak kuraklık tuzluluk ve ağır metal gibi stres koşullarında metabolik süreçlerin daha dengeli ilerlemesini sağlamaktadır (Kaur ve ark., 2017; Fu ve ark., 2020; Zafar ve ark., 2024). Nitrik oksit (Amooaghaie ve Nikzad, 2013) ve glutatyon ise antioksidan savunmayı güçlendirerek oksidatif stresin erken dönemde azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Kasana ve ark., 2025).

3.2.3. Hormon Tabanlı (Hormonal) Priming

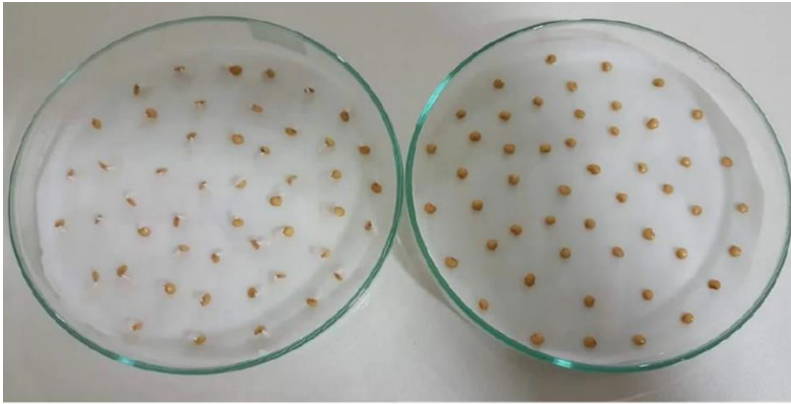
Hormon tabanlı priming, tohumların çimlenme öncesi dönemde düşük doz bitki büyüme düzenleyicileriyle (GA₃, ABA, kinetin, salisilik asit, etilene brassinosteroidler) muamele edilerek embriyoda metabolik aktivasyon, hücre bölünmesi ve hormon dengesinin hedefe yönelik biçimde düzenlenmesini amaçlayan bir priming yöntemidir (Rhaman ve ark., 2020). Bu yaklaşım özellikle Solanaceae familyası gibi çimlenme fizyolojisi çevresel koşullara duyarlı türlerde tohum gücünü artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Liu, 1996). Hormon priming, tohumlardaki endojen hormon düzeylerini modüle ederek α -amilaz

aktivitesi, nişasta mobilizasyonu, hücre uzaması, embriyo büyümesi ve erken kök-sürgün gelişimi gibi süreçleri hızlandırmakta; böylece çimlenme hızında artış, T_{50} 'nin kısalması ve çıkış üniformitesinde iyileşme sağlamaktadır (Rhaman ve ark., 2020). Ayrıca büyüme düzenleyicileri düşük dozlarda uygulandığında stres koşullarında (düşük sıcaklık, tuzluluk, kuraklık) antioksidan sistemleri güçlendirmekte ve embriyonun fizyolojik dayanıklılığını artırmaktadır.

Gibberellik asit (GA_3), dormansinin kırılması ve çimlenme sürecinin başlatılmasında kritik rol oynayan temel bitki büyüme düzenleyicilerinden biridir. GA_3 priming, tohumların düşük konsantrasyondaki GA_3 çözeltileriyle belirli süre muamele edilmesi yoluyla embriyoda metabolik aktivasyonun hızlandırılmasını ve çimlenme eşiğinin düşürülmesini amaçlamaktadır. GA_3 , özellikle α -amilaz sentezini uyararak nişasta ve depo karbonhidratlarının daha hızlı mobilize edilmesini sağlamakta; bu da embriyoya enerji arzını artırarak radikula çıkışını ve embriyo büyümesini hızlandırmaktadır (Wang ve ark., 2021). Bu mekanizma sonucunda çimlenme hızı artmakta, T_{50} kısalmakta ve çıkış üniformitesi iyileşmektedir (Behera, 2016).

Solanaceae familyasında yapılan çalışmalar, GA_3 primingin domates, biber ve patlıcan tohumlarında çimlenme oranı ve erken fide gelişimi üzerinde belirgin iyileştirmeler sağladığını göstermektedir (Behera, 2016; Jyoti ve ark., 2016, Fregonezi ve ark., 2024). GA_3 , düşük sıcaklık, tuzluluk ve kuraklık gibi stres koşullarında antioksidan savunmayı güçlendirerek oksidatif hasarı azaltmakta ve embriyonun fizyolojik dayanıklılığını artırmaktadır (Rhaman ve ark., 2020). Bununla birlikte GA_3 'ün etkisi doz bağımlıdır; yüksek konsantrasyonlar çimlenme

metabolizmasını baskılayabilmekte veya fide gelişiminde anormal uzamalara yol açabilmektedir. Khan (1980)'ın klasik çalışmaları, aşırı GA₃ uygulamasının embriyodaki ABA–GA dengesini bozarak hipokotil ve kotiledon dokularında kontrolsüz hücre uzamasını tetiklediğini, buna karşılık radikula gelişimi ve karbonhidrat mobilizasyonunun geri planda kaldığını göstermiştir. Bu hormon dengesizliği, erken vigor kaybı, zayıf kök sistemi ve heterojen fide gelişimi gibi istenmeyen sonuçlara neden olabilmektedir. Bu nedenle GA₃ priming uygulamalarında tür ve çeşit bazında optimum konsantrasyon ve uygulama süresinin belirlenmesi önem taşımaktadır (Şekil 3).



Primingli tohum

Primingsiz tohum

Şekil 3. Priming Uygulanmış Ve Uygulanmamış Tohumlarda Çimlenme Başlangıcının Karşılaştırılması.

Absisik asit (ABA), tohum gelişimi, olgunlaşması ve dormansi süreçlerinde temel rol oynayan bir fitohormondur. Embriyo ve endosperm dokularında ABA birikimi; çimlenmenin erken başlamasını engellediği gibi su kaybının azaltılması, depo besinlerinin (nişasta, protein, lipid) stabilize edilmesi ve olgun tohumların saklanabilmesine katkı sağlamaktadır (Sano ve Marion-Poll, 2021). Dormansi döneminde

ABA düzeyinin yüksek olması, tohum kabuğu, endosperm, embriyo kompleksini çimlenmeye karşı dirençli bir yapıya dönüştürmekte; böylece enzim aktivitesi, su alımı ve hücresel büyüme baskılanmaktadır. Bu durum çevresel koşullar (sıcaklık, ışık, nem) uygun hale gelinceye kadar çimlenmenin geciktirilmesini sağlayan adaptif bir mekanizma oluşturur (Ali ve ark., 2022). Çimlenmenin başlatılabilmesi için ABA düzeyinin azalması ve buna karşılık gibberellin (GA) etkisinin artması gerekmektedir. GA, endosperm hücre duvarlarının gevşetilmesi, hidrolitik enzim aktivasyonu ve embriyo büyümesinin başlatılmasında kritik rol oynamaktadır; dolayısıyla ABA–GA dengesi, bir tohumun çimlenip çimlenmeyeceğini belirleyen temel mekanizmalardan biridir (Rodríguez-Gacio ve ark., 2009). Solanaceae türlerinde ABA’nın tohum dormansisi, embriyo gelişimi ve çimlenmenin baskılanmasındaki rolü ayrıntılı biçimde ortaya konmuş olsa da, ABA’nın doğrudan ‘priming ajanı’ olarak kullanıldığı klasik tohum priming uygulamaları oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmaların büyük bir kısmı, ABA’nın tohum çimlenmesindeki inhibitör etkisini, ABA–GA dengesini ve dormansi düzenleyici gen ağlarının (ABI3, ABI4, ABI5 vb.) işleyişini anlamaya yöneliktir.

Sitokinin bitki hücrelerince üretilen ve hücrelerin birbiri ile iletişimi sağlayan ve hücre içi hareketi uyaran moleküllerdir. Kinetin (KIN) ise, sitokinin sınıfına ait bir bitki büyüme düzenleyicisi olup, düşük dozlarda uygulandığında tohumlarda hücre bölünmesi, protein sentezi ve metabolik aktivasyon süreçlerini yeniden güçlendiren etkili bir priming ajanı olarak işlev görmektedir (Li ve ark., 2021). Kinetin primingi, embriyodaki erken metabolik aktivasyonu ve hücresel büyüme

kapasitesini artırarak çimlenmenin başlangıç fazlarını hızlandırmaktadır. Stres koşullarında kinetin uygulaması, antioksidan savunmayı güçlendirmekte, çıkış oranlarını artırmakta ve erken fide gelişimini desteklemektedir (Nimir ve ark., 2015). Domates tohumlarında kinetin primingi çimlenme hızını, çimlenme yüzdesini ve fide vigorunu belirgin biçimde artırmakta; özellikle düşük sıcaklık ve tuzluluk gibi stres koşullarında kök-sürgün gelişimini iyileştirdiği rapor edilmiştir (Zeb ve ark., 2018). Patlıcan tohumlarında ise kinetinin etkisi daha sınırlı olup, modern priming protokollerini kullanan çalışma sayısı oldukça azdır; mevcut veriler kinetin etkisinin doz ve uygulama süresine yüksek derecede bağlı olduğunu göstermektedir.

Salisilik asit (SA), bitkilerde doğal olarak bulunan, hem hormon benzeri sinyalizasyon hem de biyotik ve abiyotik streslere karşı savunma görevini üstlenen bir fenol bileşiktir. SA priming olarak uygulandığında, özellikle çimlenme oranı, radikula çıkışı ve kök büyümesi ile fide vigoru üzerinde olumlu etkiler göstermektedir (Wei ve ark., 2015). Bu etkiler, özellikle tuzluluk ve su stresi gibi çevresel kısıtlamalar altında belirginleşmektedir. SA priming, antioksidan sistemlerin aktivasyonunu sağlayarak hücre membranını korur ve oksidatif hasarı azaltmaktadır. Ayrıca, SA'nın absisik asit (ABA) ve gibberellin (GA) gibi diğer hormonlarla etkileşimi, tohumun dormansi kırılmasını ve çimlenme sürecini koordine ederek fidelerin stres koşullarına uyumunu artırmaktadır (Wang ve ark., 2010).

Biber (*Capsicum annuum*) gibi Solanaceae türlerinde yapılan çalışmalar, SA priming'in fidelerde su potansiyelini koruduğunu, tuz ve kuraklık stresine karşı direnç sağladığını ve fide canlılık oranını artırdığını

göstermiştir (Khan ve ark., 2009b; Ahmed ve ark., 2020). Özellikle serada üretim, kurak veya tuzlu topraklarda ekim gibi sınırlı çevresel koşullarda, SA priming, patlıcan tohumlarının hem çimlenme performansını hem de genç fide dayanıklılığını artıran pratik, ekonomik ve uygulanabilir biyoteknik yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda SA, hem erken gelişim evresinde büyüme ve kök-sürgün dengesini destekleyen hem de stres toleransını artıran çok işlevli bir hormon-dışı sinyal molekülü olarak öne çıkmaktadır (Wei ve ark., 2017).

4. SONUÇ

Tohum priming teknolojileri, Solanaceae familyasında çimlenme başarısızlığının temel nedenleri olan tuzluluk, kuraklık, düşük sıcaklık, oksidatif stres ve yaşlanmaya bağlı vigor kaybını azaltmada güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. Domates, biber ve patlıcan gibi türlerde çimlenmenin imbibisyon, metabolik aktivasyon ve radikula çıkışı aşamalarında ortaya çıkan fizyolojik hassasiyetler, priming uygulamalarıyla önemli ölçüde dengelenmektedir.

Bu kitap bölümünde ortaya konulduğu üzere; hydropriming, osmopriming, halopriming, solid matrix priming, biyolojik priming, ve moleküler-biyokimyasal kimyasal priming uygulamaları, Solanaceae tohumlarında su alımı, enerji metabolizması, antioksidan savunma, hormon dengesi ve hücre içi sinyal ağları üzerinde belirgin düzenleyici etkiler göstermektedir. Özellikle H_2O_2 , salisilik asit, askorbik asit, melatonin, prolin, trehaloz, NO ve GSH gibi modern moleküler priming ajanlarının; redoks dengesini stabilize ederek erken metabolik aktivasyonu güçlendirdiği, stres toleransını artırdığı ve çıkış homojenliğini iyileştirdiği çok sayıda çalışma ile desteklenmiştir.

Hormon tabanlı priming uygulamaları ise (GA_3 , kinetin, ABA, brassinosteroidler) tohum fizyolojisinin temel düzenleyicilerine doğrudan etki ederek α -amilaz aktivitesi, nişasta mobilizasyonu, embriyo büyümesi ve kök–sürgün gelişimini hızlandırmaktadır. Ancak hormonların tür ve çeşit bazında yüksek dozlarda inhibitör etki gösterebileceği dikkate alınmalı; optimum doz–süre kombinasyonları titizlikle belirlenmelidir.

Solanaceae familyasında priming uygulamalarının ortak çıktıları şu şekilde özetlenebilir:

- Çimlenme hızında belirgin artış (T_{50} 'nin kısalması)
- Çıkış homojenliğinde iyileşme
- Stres koşullarında (tuz, soğuk, kuraklık, yaşlanma) daha yüksek canlılık
- Kök–sürgün gelişiminde güçlenme ve fide vigorunda artış
- ROS–antioksidan dengesi ve hormon homeostazının stabilize edilmesi

Bununla birlikte literatürde hâlâ önemli bilgi boşlukları bulunmaktadır. Özellikle patlıcan ve biber türlerinde kinetin, melatonin, NO, GSH, ABA gibi modern priming ajanlarının mekanistik düzeyde (transkriptomik–metabolomik) etkilerini inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Ayrıca priming uygulamalarının uzun dönem etkileri, tarladaki çıkış performansı, bitki ömrü boyunca büyüme ve verim ilişkisi ve farklı streslerin birlikte görüldüğü karmaşık çevresel koşullardaki etkinliği gelecekte daha fazla araştırılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Abdelhameed, R. E., Galilah, D. A. & Metwally, R. A. (2025). Multifaceted role of *Moringa oleifera* leaf extract as antimicrobial, growth enhancer and mitigator of salt stress in tomato seedlings. BMC Plant Biology, 25(1), 1144.
- Adediran, O. A., Tolurunse, K. D., Chancha, S. C., Ibrahim, H. & Oladiran, J. A. (2015). Germination and seedling vigour of hydroprimed stored seeds of African eggplant (*Solanum macrocarpon* L.) produced under different nitrogen fertilizer rates.
- Afzal, I., Rauf, S., Basra, S. M. A. & Murtaza, G. (2008). Halopriming improves vigor, metabolism of reserves and ionic contents in wheat seedlings under salt stress. Plant Soil Environ, 54(9), 382-388.
- Ahmed, W., Imran, M., Yaseen, M., ul Haq, T., Jamshaid, M. U., Rukh, S., Ikram, R. M., Ali, M., Ali, A., Maqbool, M., Arif, M. & Khan, M. A. (2020). Role of salicylic acid in regulating ethylene and physiological characteristics for alleviating salinity stress on germination, growth and yield of sweet pepper. PeerJ, 8, e8475.
- Airaki, M., Leterrier, M., Valderrama, R., Chaki, M., Begara-Morales, J. C., Barroso, J. B., del Rio, A. L., Palma, J. M., Corpas, F. J. & Corpas, F. J. (2015). Spatial and temporal regulation of the metabolism of reactive oxygen and nitrogen species during the early development of pepper (*Capsicum annuum*) seedlings. Annals of Botany, 116(4), 679-693.
- Akram, S., Khan, A. R. & Junaid, J. A. (2025). A multivariate analysis of seed priming agents and dosage on germination performance seedling growth and biochemical profiling in tomato. Scientific Reports, 15(1), 22991.
- Alhulaybi, Z. A. (2023). Experimental study on the influence of chitosan-based solution on eggplant and green pepper plants. Engineering Proceedings, 56(1), 61.
- Ali, O., Ramsubhag, A. & Jayaraman, J. (2018). *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis seaweed extract improves seed germination in tomato and sweet pepper under NaCl-induced salt stress. Trop. Agric, 95(2), 141-147.
- Ali, M., Hayat, S., Ahmad, H., Ghani, M. I., Amin, B., Atif, M. J. & Cheng, Z. (2019). Priming of *Solanum melongena* L. seeds enhances germination,

- alters antioxidant enzymes, modulates ROS, and improves early seedling growth: indicating aqueous garlic extract as seed-priming bio-stimulant for eggplant production. *Applied Sciences*, 9(11), 2203.
- Ali, F., Qanmber, G., Li, F. & Wang, Z. (2022). Updated role of ABA in seed maturation, dormancy, and germination. *Journal of Advanced Research*, 35, 199-214.
- Ali, O., Ramsubhag, A. & Jayaraman, J. (2023). Application of extracts from Caribbean seaweeds improves plant growth and yields and increases disease resistance in tomato and sweet pepper plants. *Phytoparasitica*, 51(4), 727-745.
- Amooaghaie, R. & Nikzad, K. (2013). The role of nitric oxide in priming-induced low-temperature tolerance in two genotypes of tomato. *Seed Science Research*, 23(2), 123-131.
- Anand, A., Kumari, A., Thakur, M. & Koul, A. (2019). Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magnetoprimered tomato seeds. *Scientific reports*, 9(1), 8814.
- Anumala, V., Rime, J., Sarma, P., Mashine, L., Chaupoo, A. S. & Singh, Y. D. (2025). Deciphering of Multifaceted Seed Priming Technologies Through Physiological and Molecular Approaches: An Updated Overview. *Plant Molecular Biology Reporter*, 1-33.
- Arifin, F. K. M., Nulit, R., Ibrahim, M. H. & Idris, L. M. (2020). Osmotic stress and specific ion toxicity effects on seed germination and early seedling growth of eggplant (*Solanum melongena* L. cv. MTe 2) incurred by various salts. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 42(5).
- Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2005). Pre-sowing seed treatment—A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in agronomy*, 88, 223-271.
- Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed science research*, 14(2), 93-107.
- Bailly, C. (2019). The signalling role of ROS in the regulation of seed germination and dormancy. *Biochemical Journal*, 476(20), 3019-3032.
- Balusamy, S. R., Rahimi, S., Sukweenadhi, J., Sunderraj, S., Shanmugam, R., Thangavelu, L., Mijakovic, I. & Perumalsamy, H. (2022). Chitosan, chitosan nanoparticles and modified chitosan biomaterials, a potential

- tool to combat salinity stress in plants. Carbohydrate Polymers, 284, 119189.
- Behera, S. (2016). A study on the effect of hormonal priming (GA3) on seed quality parameters of solanaceous vegetables. Available at SSRN 2835344.
- Biswas, S., Seal, P., Majumder, B. & Biswas, A. K. (2023). Efficacy of seed priming strategies for enhancing salinity tolerance in plants: An overview of the progress and achievements. Plant Stress, 9, 100186.
- Bouallegue, A., Horchani, F., Souissi, F., Tebini, M., Jalali, K., Ahmed, H. B., Abbes, Z. & Mhadhbi, H. (2025). Enhancement of plant growth in lentil (*Lens culinaris*) under salinity stress by exogenous application or seed priming with salicylic acid and hydrogen peroxide. PLoS One, 20(6), e0326093.
- Bradford, K. J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress. HortScience, 21(5), 1105-1112.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P. & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Scientia horticultrae, 196, 15-27.
- Cardarelli, M., Woo, S. L., Roupael, Y. & Colla, G. (2022). Seed treatments with microorganisms can have a biostimulant effect by influencing germination and seedling growth of crops. Plants, 11(3), 259.
- Cheng, Z. & Bradford, K. J. (1999). Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. Journal of Experimental Botany, 50(330), 89-99.
- Commander, L. E., Merritt, D. J., Rokich, D. P., Flematti, G. R. & Dixon, K. W. (2008). Seed germination of *Solanum* spp. (Solanaceae) for use in rehabilitation and commercial industries. Australian Journal of Botany, 56(4), 333-341.
- da Silva, I. W. (2016). Avaliação de microrganismos promotores de crescimento no tratamento de sementes de soja (*Glycine max* L.) [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul].

- Delian, E., Bădulescu, L., Dobrescu, A., Chira, L. & Lagunovschi-Luchian, V. (2017). A brief overview of seed priming benefits in tomato. *Romanian Biotechnological Letters*, 22(3), 12505-12513.
- Demir, I. & Mavi, K. (2008). Effect of salt and osmotic stresses on the germination of pepper seeds of different maturation stages. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51, 897-902.
- Demirkaya, M. (2013). Relationships between antioxidant enzymes and physiological variations occur during ageing of pepper seeds. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(2), 97-102.
- Droque, B., Combes-Meynet, E., Moëgne-Loccoz, Y., Wisniewski-Dyé, F. & Prigent-Combaret, C. (2013). Control of the cooperation between plant growth-promoting rhizobacteria and crops by rhizosphere signals. *Molecular microbial ecology of the rhizosphere*, 1, 279-293.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14.
- Duermeyer, L., Khodapanahi, E., Yan, D., Krapp, A., Rothstein, S. J. & Nambara, E. (2018). Regulation of seed dormancy and germination by nitrate. *Seed Science Research*, 28(3), 150-157.
- Duran, U. T. (2016). Patlıcan Tohumlarında Termo Priming Uygulamalarının Fide Kalitesi ve Performansı Uzerine Etkileri (Master's thesis, Bursa Uludag University (Turkey).
- El-Maarouf-Bouteau, H. & Bailly, C. (2008). Oxidative signaling in seed germination and dormancy. *Plant signaling & behavior*, 3(3), 175-182.
- Ermiş, S., Kara, F., Özden, E. & Demir, İ. (2016). Solid matrix priming of cabbage seed lots: repair of ageing and increasing seed quality. *Journal of Agricultural Sciences*, 22(4), 588-595.
- Eshkab, I. A. & Harris, P. J. (2020). Seed priming: Factors affecting efficacy. *International Review of Basic and Applied Sciences*, 8(4), 31-52.
- FAOSTAT, 2025, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, Erişim tarihi: 11 Kasım 2025.
- Farooq, M. S. M. A., Basra, S. M. A., Saleem, B. A., Nafees, M. & Chishti, S. A. (2005). Enhancement of tomato seed germination and seedling vigor by osmopriming. *Pak. J. Agri. Sci*, 42, 3-4.

- Farooq, M., Basra, S. M. A., Afzal, I. & Khaliq, A. (2006). Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. *Seed science and technology*, 34(2), 507-512.
- Farooq, M. A., Zhang, X., Zafar, M. M., Ma, W. & Zhao, J. (2021). Roles of reactive oxygen species and mitochondria in seed germination. *Frontiers in Plant Science*, 12, 781734.
- Fiodor, A., Ajijah, N., Dziewit, L. & Pranaw, K. (2023). Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1142966.
- Forti, C., Ottobriano, V., Bassolino, L., Toppino, L., Rotino, G. L., Pagano, A., Macovei, A & Balestrazzi, A. (2020). Molecular dynamics of pre-germinative metabolism in primed eggplant (*Solanum melongena* L.) seeds. *Horticulture research*, 7.
- Fregonezi, B. F., Pereira, A. E., Ferreira, J. M., Fraceto, L. F., Gomes, D. G. & Oliveira, H. C. (2024). Seed priming with nanoencapsulated gibberellic acid triggers beneficial morphophysiological and biochemical responses of tomato plants under different water conditions. *Agronomy*, 14(3), 588.
- Friedel, J. K. & Scheller, E. (2002). Composition of hydrolysable amino acids in soil organic matter and soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(3), 315-325.
- Fu, Y., Zhang, Z., Liu, J., Chen, M., Pan, R., Hu, W., Guan, Y. & Hu, J. (2020). Seed priming with spermidine and trehalose enhances chilling tolerance of rice via different mechanisms. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(2), 669-679.
- Gammoudi, N., Karmous, I., Zerria, K., Loumerem, M., Ferchichi, A. & Nagaz, K. (2020). Efficiency of pepper seed invigoration through hydrogen peroxide priming to improve in vitro salt and drought stress tolerance. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61(4), 703-714.
- Gebhardt, C. (2016). The historical role of species from the Solanaceae plant family in genetic research. *Theoretical and Applied Genetics*, 129(12), 2281-2294.

- Ghoohestani, A., Gheisary, H., Zahedi, S. M. & Dolatkahi, A. (2012). Effect of seed priming of tomato with salicylic acid, ascorbic acid and hydrogen peroxide on germination and plantlet growth in saline conditions.
- Gill, S. S. & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, 48(12), 909-930.
- Giovannini, L., Pagliarani, C., Cañizares, E., Sillo, F., Chitarra, W., De Rose, S., Zampieri, E., Ioannou, A., Spanos, A., Vita, F., González-Guzmán, M., Fotopoulos, V., Abona, V. & Balestrini, R. (2024). Mycorrhization and chemical seed priming boost tomato stress tolerance by changing primary and defence metabolic pathways. *Journal of Experimental Botany*, 76, 21, 6410–6433.
- Gonzales, L. M. R. (2015). Germination response of eggplant (*Solanum melongena* L.) seeds to different vinegar concentration as seed priming agents. *Int. J. Sci. Res. Pub*, 5, 1-4.
- Granata, A., Capozzi, F., Gaglione, A., Riccardi, R., Spigno, P., Giordano, S., Sorrentino, M.C. & Spagnuolo, V. (2024). Seed priming enhances seed germination and plant growth in four neglected cultivars of *Capsicum annuum* L. *PeerJ*, 12, e18293.
- Gülser, F., Sonmez, F. & Boysan, S. (2010). Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline conditions. *Journal of Environmental Biology*, 31(5), 873.
- Hala, H. A. E. N., El-Noor, A. & Ewais, N. A. (2017). Effect of *Moringa oleifera* leaf extract (MLE) on pepper seed germination, seedlings improvement, growth, fruit yield and its quality. *Middle East J. Agric. Res*, 6(2), 448-463.
- Hanieh, A., Mojtaba, D., Zabihollah, Z. & Vahid, A. (2013). Effect of pre-sowing salicylic acid seed treatment on seed germination and growth of greenhouse sweet pepper plants. *Indian Journal of Science and Technology*, 6(1), 3868-3871.
- Hasanović, M., Durmić-Pašić, A. & Karalija, E. (2025). Seed Priming Beyond Stress Adaptation: Broadening the Agronomic Horizon. *Agronomy*, 15(8), 1829.
- Hasara, Y. A. K., Sugathadasa, M. V. U. M., Indurugalla, I. A. Y. R., Manimekala, D. G. H. D. S. D., Galahitigama, H. & Dissanayake, D. O.

- (2024). Sodium Chloride Priming Improves Seed Germination and Initial Growth of Chili (*Capsicum annuum* L.). Journal of Agro-Technology and Rural Sciences, 4(1).
- Hernández, J. A., Díaz-Vivancos, P., Acosta-Motos, J. R. & Barba-Espín, G. (2021). Potassium nitrate treatment is associated with modulation of seed water uptake, Antioxidative Metabolism and Phytohormone Levels of Pea Seedlings. Seeds, 1(1), 5-15.
- Hosseinifarahi, M., Moazen, H. A., Amiri, A., Jowkar, M. M. & Mottaghipisheh, J. (2022). Evaluation of seed priming and culture media to improve the germination performance and quality of sweet pepper and eggplant seedlings. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 9(4), 415-428.
- Jat, D. & Shivani, K. (2025). "Evaluation of Seed Priming with botanicals on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.)". *International Journal of Novel Research and Development*, 10(10), b645-b649.
- Jatana, B. S., Grover, S., Ram, H. & Baath, G. S. (2024). Seed priming: Molecular and physiological mechanisms underlying biotic and abiotic stress tolerance. *Agronomy*, 14(12), 2901.
- Jawaid, M. Z., Khalid, M. F. & Ahmed, T. (2023). Seed Priming Mitigates the Salt Stress in Eggplant (*Solanum melongena*) by Activating Antioxidative Defense Mechanisms. Available at SSRN 4409509.
- Jeevan Kumar, S. P., Rajendra Prasad, S., Banerjee, R. & Thammineni, C. (2015). Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. *Annals of botany*, 116(4), 663-668.
- Jyoti, B., Gaurav, S. S. & Pant, U. (2016). Use of growth regulators as priming agent for improvement of seed vigour in tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of Applied and Natural Science*, 8(1), 84.
- Kadakoğlu, B. & Gül, M. (2023). Recent developments in vegetable production in the world and Türkiye. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development*, 23(3).
- Kaewduangta, W., Khaengkhan, P. & Uttaboon, P. (2016). Improved germination and vigour of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds by hydro-and osmopriming. *AJA Vol (3) Issue 4*, 70-75
- Karaca, A. (2025). Effects of Potassium Nitrate Containing Priming on Germination of Tomato (*Lycopersicon Lycopersicum* L.) Seeds Under

- Salt Stress. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 12(4), 971-978.
- Karaca, A., Ardıç, Ş. K., Havan, A., Aslan, M. Ö., Yakupoğlu, G. & Korkmaz, A. (2023). Melatonin and tryptophan effects on tomato seed deterioration during long-term storage. South African Journal of Botany, 156, 79-90.
- Karaca, A. & Korkmaz, A. (2025). Effects of melatonin and tryptophan applications on viability and germination performance of tomato seeds during and after artificial aging. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 24(2), 33-52.
- Karalija, E., Lošić, A., Demir, A. & Šamec, D. (2024). Effects of seed priming on mitigating the negative effects of increased salinity in two varieties of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Soil systems, 8(1), 35.
- Kasana, R. A., Iqbal, M., Ali, Q., Saeed, F., Rizwan, M., Perveen, R. & Yong, J. W. H. (2025). Synergistic effects of glutathione and zinc seed priming in alleviating salt stress on maize seed germination, metabolite levels, seedling vigor, and nutrient acquisition. Plant stress, 15, 100767.
- Kaur, H., Gupta, N. & Jindal, S. K. (2017). Influence of proline and ascorbic acid on seed germination behavior of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under salt stress (Doctoral dissertation, MSc Thesis, Punjab Agri. Univ).
- Kaur, J., Bedi, S., Singh, R. & Singh, T. (2023). Effect of priming on enhancing storability of high and low vigour brinjal (*Solanum melongena* L.) seeds. J Appl Hortic, 25, 48-53.
- Khalil, S., Moursy, H. A. & Saleh, S. A. (1983). Wheat plant reactions to pre-sowing heat hardening of grains. II. Changes in photosynthetic pigments, nitrogen and carbohydrate metabolism. Bulletin of Egyptian Society for Physiological Sciences, 3, 161-175.
- Khan, A. A. (1980). Hormonal regulation of primary and secondary seed dormancy. Israel Journal of Plant Sciences, 29(1-4), 207-224.
- Khan, A. A. (1992). Pre-plant physiological seed conditioning. Hort. Rev. 14: 131-181.
- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J. & Prithiviraj, B. (2009a). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. Journal of Plant Growth Regulation, 28(4), 386-399.

- Khan, H. A., Pervez, M. A., Ayub, C. M., Ziaf, K., Balal, R. M., Shahid, M. A. & Akhtar, N. (2009b). Hormonal priming alleviates salt stress in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Soil and Environment*, 28(2), 130-135.
- Knapp, S. (2002). Tobacco to tomatoes: a phylogenetic perspective on fruit diversity in the Solanaceae. *Journal of Experimental Botany*, 53(377), 2001-2022.
- Korkmaz, A., Karaca, A., Kocaçınar, F. & Cuci, Y. (2017). The effects of seed treatment with melatonin on germination and emergence performance of pepper seeds under chilling stress. *Journal of Agricultural Sciences*, 23(2), 167-176.
- Kranner, I., Minibayeva, F. V., Beckett, R. P. & Seal, C. E. (2010). What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. *New Phytologist*, 188(3), 655-673.
- Kurniawan, A., Noviandi, W. D., Maulidah, N. I., Mullatif, I. A., Rahmandhias, D. T., Karim, M. F. & Shyu, D. J. (2025). Mitigating drought stress effects in tomato through seed priming and foliar application of salicylic acid: Impacts on germination and plant growth. *Journal of Ecological Engineering*, 26(4).
- Li, S. M., Zheng, H. X., Zhang, X. S. & Sui, N. (2021). Cytokinins as central regulators during plant growth and stress response. *Plant cell reports*, 40(2), 271-282.
- Li, W., Niu, Y., Zheng, Y. & Wang, Z. (2022). Advances in the understanding of reactive oxygen species-dependent regulation on seed dormancy, germination, and deterioration in crops. *Frontiers in Plant Science*, 13, 826809.
- Liu, Y. (1996). Hormones and tomato seed germination. Wageningen University and Research. PhD thesis of Wageningen Agricultural University. 128 pages.
- Liu, G., Hu, Q., Zhang, X., Jiang, J., Zhang, Y. & Zhang, Z. (2022). Melatonin biosynthesis and signal transduction in plants in response to environmental conditions. *Journal of Experimental Botany*, 73(17), 5818-5827.
- Liu, Z., Shen, S., Li, C., Zhang, C., Chen, X., Fu, Y., Yu, T., Zhou, R., Liu, D., Yang, Q. & Song, X. (2025). SoIR: a comprehensive Solanaceae

- information resource for comparative and functional genomic study. *Nucleic Acids Research*, 53(D1), D1623-D1632.
- MacDonald, M. T. & Mohan, V. R. (2025). Chemical seed priming: Molecules and mechanisms for enhancing plant germination, growth, and stress tolerance. *Current Issues in Molecular Biology*, 47(3), 177.
- Macovei, A., Pagano, A., Duenas, C., Araujo, S. & Balestrazzi, A. (2025). Exploring the role of DNA Damage Response in seed priming to uncover key players for multi-stress tolerance. *Journal of Experimental Botany*, eaf237.
- Mahmood, C. H., Rasul, K. S. & Halshoy, H. S. (2025). Mitigating Salinity Stress in Solanaceae: The Role of Nanoparticles in Seed Germination and Growth Development. *Crops*, 5(5), 62.
- Mammadova, U. (2023). Effect of humic substances on yield and nutrient contents of Eggplant Santana (*Solanum melongena*) plants in gray-brown soil. *Eurasian Journal of Soil Science*, 12(1), 98-103.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M. J., Provan, G. & Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(3), 323-330.
- Mavi, K. & Atak, M. (2016). Effect of organic priming on seedling emergence of watermelon under low temperature stress. In *Proceedings of the 7th International Scientific Agriculture Symposium, Agrosym* (pp. 1727-1732).
- Mi, C., Hong, L., Sun, S., Zhao, S., Dou, L. & Mao, P. (2025). Ascorbic acid priming restores the seed vigor by enhancing the mitochondrial AsA-GSH cycle and related gene expression in the aged oat seeds. *Physiologia Plantarum*, 177(2), e70190.
- Muhie, S. H. & Demir, I. (2023). The effect of solid matrix priming with biostimulants on seed germination and seedling quality of carrot (*Daucus carota* L.) under abiotic stress conditions. *European Journal of Horticultural Science*, 88(2).
- Mushtaq, R., Shahzad, K., Shah, Z. H., Alsamadany, H., Alzahrani, H. A., Alzahrani, Y., Muiyaba, T., Ahmed, Z., Mansoor, S. & Bashir, A. (2020). Isolation of biotic stress resistance genes from cotton (*Gossypium arboreum*) and their analysis in model plant tobacco (*Nicotiana*

- tabacum*) for resistance against cotton leaf curl disease complex. Journal of Virological Methods, 276, 113760.
- Nawaz, A., Amjad, M., Pervez, M. A. & Afzal, I. (2011). Effect of halopriming on germination and seedling vigor of tomato. African Journal of Agricultural Research, 6(15), 3551-3559.
- Neill, S., Desikan, R. & Hancock, J. (2002). Hydrogen peroxide signalling. Current opinion in plant biology, 5(5), 388-395.
- Nickas, J., N'Danikou, S., Shango, A. J. & Kilasi, N. (2024). Viability and genetic integrity of African eggplant (*Solanum* spp.) seeds during natural ageing under cold dry storage. Seed Biology, 3(1).
- Nimir, N. E. A., Lu, S., Zhou, G., Guo, W., Ma, B. & Wang, Y. (2015). Comparative effects of gibberellic acid, kinetin and salicylic acid on emergence, seedling growth and the antioxidant defence system of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) under salinity and temperature stresses. Crop and Pasture Science, 66(2), 145-157.
- Nisar, R., Waseem, K., Zubair, M., Khan, M. I., Shereen, R., Farhan, U., Faisal, S., Ashraf, M. J. B. & Khan, N. U. (2025). Effect of Humic Acid on the Seed Germination, Plantlet and Seedling Growth of Summer Vegetables.
- Nobre, J. G. D. S. R., Araújo Neto, J. C. D., Ferreira, V. M., Melo Júnior, J. L. D. A., Melo, L. D. F. D. A. & Souto, P. C. (2024). Physiological potential of pepper seeds hydroprimed and primed with 24-epibrassinolide and subjected to salt stress. Revista Ceres, 71, e71033.
- Olmstead, R. G., Bohs, L., Migid, H. A., Santiago-Valentin, E., Garcia, V. F. & Collier, S. M. (2008). A molecular phylogeny of the Solanaceae. Taxon, 57(4), 1159-1181.
- Özçoban, M. & Demir, I. (2006). Germination performance of sequentially harvested tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seed lots during seed development under salt and osmotic stress. Journal of Central European Agriculture, 7(1), 141-148.
- Özden, E., Ermis, S., Sahin, O., Taskin, M. B. & Demir, I. (2018). Solid matrix priming treatment with O₂ enhanced quality of leek seed lots. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 46(2), 371-375.
- Özkurt, N. & Bektaş, Y. (2022). Alleviation of Salt Stress with Chitosan Foliar Application and Its Effects on Growth and Development in Tomato

- (*Solanum lycopersicum* L.). Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 9(3), 342-351.
- Özmen, K. & Kenanoğlu, B. (2020). Farklı Priming Uygulamalarının Patlıcan (*Solanum melongena* L.) Çeşitlerinin Tohumları Üzerindeki Etkinliği. International Journal of Life Sciences and Biotechnology, 3(3), 342-360.
- Padmanabhan, P., Cheema, A. & Paliyath, G. (2016). Solanaceous Fruits Including Tomato, Eggplant, and Peppers. Guelph, ON.
- Pappalettere, L., Bartolini, S. & Toffanin, A. (2024). Enhancement of tomato seed germination and growth parameters through seed priming with auxin-producing plant growth-promoting bacteria strains. Seeds, 3(3), 479-492.
- Parera, C. A., Qiao, P. & Cantliffe, D. J. (1993). Enhanced celery germination at stress temperature via solid matrix priming. HortScience, 28(1), 20-22.
- Park, K., Kim, Y., Lee, H., Jang, B. K., Kim, D. & Cho, J. S. (2025a). Seed priming with melatonin enhances chilling stress tolerance in tomato seedlings. Horticultural Plant Journal.
- Park, J. Y., Lee, H. J., Kim, H. M., Kim, J. H., Kim, D. H., Chung, G. Y., Na, C.S. & Lee, S. Y. (2025b). Seed Dormancy and Germination Characteristics in Six *Solanum* Species Distributed on the Korean Peninsula. Agronomy.
- Pehlivan, N., Saruhan-güler, N. & Alpay-karaoğlu, Ş. (2018). The effect of Trichoderma seed priming to drought resistance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 46(2), 263-272.
- Poczai, P., D'Agostino, N., Deanna, R. & Portis, E. (2023). Solanaceae VIII: biodiversity, climate change and breeding. Frontiers in Genetics, 14, 1348372.
- Rajora, N., Vats, S., Raturi, G., Thakral, V., Kaur, S., Rachappanavar, V., Kumar, M., Kesarwani A. K., Sonah, H., Sharma, R.T. & Deshmukh, R. (2022). Seed priming with melatonin: A promising approach to combat abiotic stress in plants. Plant Stress, 4, 100071.
- Ranil, R. H. G., Niran, H. M. L., Plazas, M., Fonseka, R. M., Fonseka, H. H., Vilanova, S., Andujar, I., Gramazio, P., Fita, A. & Prohens, J. (2015).

- Improving seed germination of the eggplant rootstock *Solanum torvum* by testing multiple factors using an orthogonal array design. *Scientia Horticulturae*, 193, 174-181.
- Rao, D., Yadav, S., Choudhary, R., Singh, D., Bhardwaj, R., Barthakur, S. & Yadav, S. K. (2023). Silicic and humic acid priming improves micro-and macronutrient uptake, salinity stress tolerance, seed quality, and physio-biochemical parameters in lentil (*Lens culinaris* spp. *culinaris*). *Plants*, 12(20), 3539.
- Ray, J. & Bordolui, S. K. (2022). Effect of seed priming as pre-treatment factors on germination and seedling vigour of tomato. *International Journal of Plant & Soil Science*, 34(20), 302-311.
- Reed, R. C., Bradford, K. J. & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 128(6), 450-459.
- Rhaman, M. S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C. C., Murata, Y. & Hasanuzzaman, M. (2020). Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, 10(1), 37.
- Rodríguez-Gacio, M. D. C., Matilla-Vázquez, M. A. & Matilla, A. J. (2009). Seed dormancy and ABA signaling: the breakthrough goes on. *Plant signaling & behavior*, 4(11), 1035-1048.
- Rosa, A. C. R., Verly, L. B., Miranda, G. S., Marques, C. F. P. M., Vieira, G. F. A., Carvalho, G. A., Perin, I. L. B., Caprini, H. O. G., da Silva, C. R., Andrade, J. V., Ferreira, J. C., Menini, L., Parreira, L. A. & Santos, M. F. C. (2025). Natural Bio-stimulants for Seed Growth and Development. In *Advances in Seed Quality Evaluation and Improvement* (pp. 105-126). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Saidi, W., Beltayef, H., Kalleli, F., Mechri, M., Hashem, A., Alenazi, M. M., Fatrihi, E., Cruz, C. & Hamdi, M. M. (2024). H₂O₂ seed priming to alleviate the salinity effect in tomato (*Solanum lycopersicon*). *Pak. J. Bot*, 56(6), 2059-2066.
- Samuels, J. (2015). Biodiversity of food species of the Solanaceae family: a preliminary taxonomic inventory of subfamily Solanoideae. *Resources*, 4(2), 277-322.
- Sanatombi, K. (2023). Antioxidant potential and factors influencing the content of antioxidant compounds of pepper: A review with current

- knowledge. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 22(4), 3011-3052.
- Sano, N. & Marion-Poll, A. (2021). ABA metabolism and homeostasis in seed dormancy and germination. International Journal of Molecular Sciences, 22(10), 5069.
- Sarma, H. H. & Paul, A. 2024. Techniques of Seed Priming and their Impact on Germination, Establishment and Vigour of Seeds. Vigyan Varta 5(5): 103-109.
- Sasse, J., Martinoia, E. & Northen, T. (2018). Feed your friends: do plant exudates shape the root microbiome?. Trends in plant science, 23(1), 25-41.
- Sehim, A. E., Hewedy, O. A., Altammar, K. A., Alhumaidi, M. S. & Abd Elghaffar, R. Y. (2023). *Trichoderma asperellum* empowers tomato plants and suppresses *Fusarium oxysporum* through priming responses. Frontiers in microbiology, 14, 1140378.
- Šerá, B., Novák, F. (2022). Stimulation of seed germination and early growth by humic substances on poppy, pepper, rape, and hemp. Biologia, 77(3), 641-648.
- Shaik, A. & Singh, S. (2022). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on physiology and yield of eggplant in organic soilless production system. HortScience, 57(7), 759-768.
- Shoji, T., Hashimoto, T. & Saito, K. (2024). Genetic regulation and manipulation of nicotine biosynthesis in tobacco: strategies to eliminate addictive alkaloids. Journal of Experimental Botany, 75(6), 1741-1753.
- Singh, A., Patani, A., Patel, M., Vyas, S., Verma, R. K., Amari, A., Osman, H., Rathod, L., Elboughdiri, N., Yadav, V. K., Sahoo, D. K., Chundawat, R. S. & Patel, A. (2024). Tomato seed bio-priming with *Pseudomonas aeruginosa* strain PAR: a study on plant growth parameters under sodium fluoride stress. Frontiers in Microbiology, 14, 1330071.
- Soeda, Y., Konings, M. C., Vorst, O., van Houwelingen, A. M., Stoopen, G. M., Maliepaard, C. A., Kodde, J., Bino, R. J., Groot, P.C.S. & van der Geest, A. H. (2005). Gene expression programs during *Brassica oleracea* seed maturation, osmopriming, and germination are indicators of progression of the germination process and the stress tolerance level. Plant physiology, 137(1), 354-368.

- Sood, M. (2025). Reactive oxygen species (ROS): plant perspectives on oxidative signalling and biotic stress response. *Discover Plants*, 2(1), 187.
- Sun, K., Lian, M., Hou, Y., Ge, T., Yue, X., Ye, Q., Lv, H., Dong, Q., Yuan., F., Jia, Z., Li, C. & Meng, G. (2025). From Seeds to Survival: The Role of polyamines for Improved Germination and Drought Resilience in Three Pepper Varieties. *Scientia Horticulturae*, 344, 114114.
- Taylor, A. G., Klein, D. E. & Whitlow, T. H. (1988). SMP: solid matrix priming of seeds. *Scientia Horticulturae*, 37(1-2), 1-11.
- Taylor, A. G., Allen, P. S., Bennett, M. A., Bradford, K. J., Burris, J. S. & Misra, M. K. (1998). Seed enhancements. *Seed science research*, 8(2), 245-256.
- Terzaghi, M. & De Tullio, M. C. (2023). Ascorbic acid in seeds, priming and beyond. *Seeds*, 2(4), 421-435.
- Theerakulpisut, P., Kanawapee, N. & Panwong, B. (2016). Seed priming alleviated salt stress effects on rice seedlings by improving Na⁺/K⁺ and maintaining membrane integrity. *International Journal of Plant Biology*, 7(1).
- Turk, H. (2019). Chitosan-induced enhanced expression and activation of alternative oxidase confer tolerance to salt stress in maize seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 141: 415-422.
- Türkmen, Ö., Dursun, A., Turan, M. & Erdinç, Ç. (2004). Calcium and humic acid affect seed germination, growth, and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 54(3), 168-174.
- Ullah, S., Khalid, M., Nafees, M., Amin, F., Durrani, S. K. & Ali, U. (2025). Seed Priming as a Mitigation Strategy for Drought Stress: Impacts on Germination, Growth, and Antioxidant Activity in Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 103808.
- Vaktabhai, C. K., Kumar, S. & Kumar, C. (2017). Seedling invigouration by halo priming in tomato against salt stress. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6), 716-722.

- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S. & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1), 5.
- Varier, A., Vari, A. K. & Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. *Current Science*, 450-456.
- Venkatasubramanian, A. & Umarani, R. (2007). Evaluation of seed priming methods to improve seed performance of tomato (*Lycopersicon esculentum*), eggplant (*Solanum melongena*), and chilli (*Capsicum annum*). *Seed Science and technology*, 35(2), 487-493.
- Villa e Vila, V., Piedade, S. M. D. S., Bouix, C. P., Rezende, R., Wenneck, G. S., Terassi, D. D. S., Matumoto-Pintro, P.T. & Marques, P. A. A. (2024). Use of a biostimulant based on seaweed extract as a sustainable input to enhance the quality of solanaceous seedlings. *Horticulturae*, 10(6), 642.
- Wang, S., Sui, X., Hu, L., Sun, J., Wei, Y. & Zhang, Z. (2010). Effects of exogenous abscisic acid pre-treatment of cucumber (*Cucumis sativus*) seeds on seedling growth and water-stress tolerance. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38(1), 7-18.
- Wang, Y., Wang, Y., Yang, R., Wang, F., Fu, J., Yang, W., Bai, T., Wang, S. & Yin, H. (2021). Effects of gibberellin priming on seedling emergence and transcripts involved in mesocotyl elongation in rice under deep direct-seeding conditions. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 22(12), 1002-1021.
- Wei, L. X., Lv, B. S., Wang, M. M., Ma, H. Y., Yang, H. Y., Liu, X. L., Jiang, C. J. & Liang, Z. W. (2015). Priming effect of abscisic acid on alkaline stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 90, 50-57.
- Wei, L. X., Lv, B. S., Li, X. W., Wang, M. M., Ma, H. Y., Yang, H. Y., Yang, R. F., Piao, Z. Z., Wang, Z. H., Lou, J. H., Jiang, C. J. & Liang, Z. W. (2017). Priming of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings with abscisic acid enhances seedling survival, plant growth, and grain yield in saline-alkaline paddy fields. *Field crops research*, 203, 86-93.
- Wei, F., Zhao, L., Xu, X., Feng, H., Shi, Y., Deakin, G., Feng, Z. & Zhu, H. (2019). Cultivar-dependent variation of the cotton rhizosphere and

- endosphere microbiome under field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1659.
- Wu L. Y., Y. Jun, H. Zhi-Wu, W. Yan-Hui, Z. Wei-Min. (2022). Solid matrix priming improves cauliflower and broccoli seed germination and early growth under the suboptimal temperature conditions, *PLoS One* vol. 17, (10), e0275073.
- Yildirim, K. C., Canik Orel, D., Okyay, H., Gursan, M. M. & Demir, I. (2021). Quality of immature and mature pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds in relation to bio-priming with endophytic *Pseudomonas* and *Bacillus* spp. *Horticulturae*, 7(4), 75.
- Yin, G., Xin, X., Song, C., Chen, X., Zhang, J., Wu, S., Li, R., Liu, X. & Lu, X. (2014). Activity levels and expression of antioxidant enzymes in the ascorbate–glutathione cycle in artificially aged rice seed. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 1-9.
- Yuniati, N., Mubarak, S. & Nurhadi, B. (2023). Germination performance and seedling characteristics of chili pepper after seed priming with leaf extract of *Moringa oleifera*.
- Zafar, S., Sultan, K., Perveen, S., Parveen, A., Iqbal, N. & Gohar, U. F. (2023). Henbane. In *Essentials of Medicinal and Aromatic Crops* (pp. 515-543). Cham: Springer International Publishing.
- Zafar, S., Shah, A. A., Fatima, A. M., Ahmad, K. S., Ashraf, M. A., Rasheed, R., Mehmood, A., Iftikhar, M., Hosam, E. & Shankarappa, S. (2024). Seed Priming by Trehalose Improves Tolerance of Maize Seedlings by improving the growth and physiological parameters under Cadmium Toxicity.
- Zeb, A., Khan, A., Khan, R. & Shabbir, F. (2018). Effect of different concentrations of kinetin on seed germination in tomato. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 12(2), 1-8.
- Zhang, Y., Jia, L., Wang, H., Jiang, H., Ding, Q., Yang, D., Yan., C. & Lu, X. (2025). The physiological mechanism of exogenous melatonin regulating salt tolerance in eggplant seedlings. *Agronomy*, 15(2), 270.
- Zulfiqar, F. (2021). Effect of seed priming on horticultural crops. *Scientia horticulture*, 286, 110197.

BÖLÜM 4

***SOLANACEAE*'DE DÖLLENME BİYOLOJİSİ VE PARTENOKARPI: DOMATES, BİBER, PATLICAN ÖRNEKLERİYLE**

Doç. Dr. M. Zeki KARİPÇİN¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18067455>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü Siirt, Türkiye.
zkaripcin@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0105-6052

GİRİŞ

Solanaceae familyası, yaklaşık 103 cins ve 2700'den fazla tür içeren, morfolojik ve ekolojik açıdan son derece çeşitli bir taksonomik gruptur (URL 1; Särkinen ve ark. 2013). Bu familya içinde domates (*Solanum lycopersicum* L.), biber (*Capsicum annuum* L.) ve patlıcan (*Solanum melongena* L.) küresel ölçekte en önemli sebze ürünleri arasındadır ve dünya nüfusunun vitamin, antioksidan ve diyet lifi alımına anlamlı katkı sağlar (FAO, 2024; Rosa-Martínez ve ark. 2022; Lyu ve ark. 2024).

Solanaceae, hem ekonomik önemi hem de barındırdığı model türler (domates, nicotiana, petunia vb.) sayesinde bitki biyolojisi araştırmalarında merkezi bir konuma sahiptir (Gebhardt 2016; Fernandez-Pozo ve ark., 2015; Bombarely ve ark., 2016). Familya üyelerinde görülen geniş morfolojik varyasyon; çiçek simetrisi, androecium yapısı, tozlaşma sendromları ve meyve tipi bakımından belirgindir (Hunziker, 2001; Knapp, 2004). Bu özellikler, farklı ekolojik nişlere adaptasyonun yanı sıra tozlaşma stratejileri ve döllenme biyolojisinde büyük çeşitlilik yaratmıştır (Vallejo-Marín ve ark. 2014; Vallejo-Marín 2022).

Özellikle döllenme biyolojisi, türlerin üreme başarısı ve genetik çeşitliliğini belirleyen temel süreçtir. Solanaceae'de hem öz-uyumlu (SC) hem de öz-uyumsuz (SI) sistemler bulunur ve bu sistemler arasındaki geçişler, domates kladı (soy hattı) da dâhil olmak üzere, üreme engellerinin evriminde önemli rol oynamıştır (Baek ve ark. 2015; Moreels ve ark. 2023). Domates soyu içinde SI'den SC'ye geçişler evcilleştirme öncesinde meydana gelmiş olabilir; evcilleştirme ise kendine döllenmeyi teşvik eden özelliklerin yaygınlaşmasını

(zamanlama popülasyona bağlı olarak) güçlendirmiştir (Bai & Lindhout 2007; Broz ve ark. 2021). Buna karşılık *S. habrochaites*'te SI yaygınken, *S. pennellii*'de popülasyonlar SI veya SC olabilmektedir; mekanizma S-RNase temelli gametofitik öz-uyumsuzluk (GSI) modeline uyar (Kubo ve ark. 2010; Moreels ve ark. 2023).

Doğal veya stres kaynaklı polen-pistil başarısızlığı koşullarında, bazı Solanaceae türleri partenokarpik meyve gelişimi gösterebilir; bu durumda döllenme gerçekleşmeden meyve oluşur (Gorguet ve ark., 2005; Niu ve ark., 2024). Partenokarpi, özellikle sera üretimi gibi tozlayıcıların sınırlı olduğu sistemlerde, verim stabilizasyonu ve pazar kalitesi açısından büyük önem taşır (Sharif ve ark. 2022). Bu olgunun temelinde, döllenme sonrası embriyo kaynaklı hormonal sinyallerin (özellikle auksin ve gibberellin) polenleme olmadan da yapay veya genetik yollarla taklit edilmesi yatar (Pandolfini & Molesini, 2007; Hu ve ark. 2018; Guan ve ark. 2024). Dolayısıyla Solanaceae'de döllenme biyolojisi ve partenokarpi mekanizmaları, hem evrimsel biyoloji hem de uygulamalı tarım açısından ortak bir araştırma eksenini temsil eder. Domates, biber ve patlıcan örnekleri; bu iki sürecin genetik, hormonal ve morfolojik düzeylerde nasıl etkileştiğini göstermede model konumundadır (Mazzucato ve ark. 1998; Acciarri ve ark. 2002; Tiwari ve ark. 2011).

Bu bölüm, Solanaceae familyasında döllenme biyolojisi ile partenokarpi arasındaki etkileşimi üç temel ekseninde incelemeyi amaçlamaktadır: (1) polen–pistil etkileşimleri ve öz-uyumsuzluk sistemlerinin evrimsel dinamikleri, (2) partenokarpiye aracılık eden hormonal-genetik ağlar, ve

(3) domates, biber ve patlıcanda dölleme başarısızlığının aşılmasına yönelik uygulamalı stratejiler.

1. DÖLLENME BİYOLOJİSİ

Solanaceae familyasında dölleme süreci, çiçek morfolojisi ve tozlaşma ekolojisiyle yakından ilişkilidir (Knapp, 2002; Vallejo-Marín, 2022). Familya üyelerinde genellikle beş taç yapraklı, kaynaşık korollalı çiçekler bulunur; bu yapı, polen salınımı ve transferinde buzz-tozlaşan arılara (örn. *Bombus*) uyum sağlamıştır (Anderson & Symon, 1988; Vallejo-Marín, 2022). Domates (*Solanum lycopersicum*), biber (*Capsicum annuum*) ve patlıcan (*S. melongena*) türlerinde autogami baskındır; domateste bu özellik evcilleştirme/ıslah sürecinde güçlenmiştir (Rick ve ark., 1979; Bedinger ve ark., 2017; Riccini ve ark., 2025).

1.1 Polen Canlılığı ve Stigma Reseptivitesi

Domateste polen performansı ve meyve tutumu, 20–25 °C civarında en elverişli koşulları gösterirken, 32/26 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda polen canlılığı/germinasyonu belirgin biçimde düşer (Sato ve ark., 2000). Yüksek sıcaklık, anter ve polen gelişimini bozarak (özellikle karbonhidrat metabolizması ve anter dokularında değişimler), ayrıca membran bütünlüğünü etkileyerek erkek kısırlığa yol açabilir (Pressman ve ark., 2002; Giorno ve ark., 2013; Müller ve ark., 2016).

Biberde 33–35 °C ve üzeri sıcaklıklar, polen gelişimi/germinasyonu ve polen tüpü büyümesi başta olmak üzere üreme süreçlerini bozarak meyve tutumunu düşürür (Erickson & Markhart, 2002; Yamazaki ve ark., 2024). Patlıcanda polen tüpleri ovaryuma ulaşıp dölleme genelde

polinasyondan yaklaşık 3 gün sonra tamamlanır; ovüller tipik olarak tek polen tüpü tarafından döllenir (Şekara & Bieniasz, 2008; Mizuta ve ark., 2024).

1.2 Öz-Uyumluluk (SC) ve Öz-Uyumsuzluk (SI) Sistemleri

Solanaceae, gametofitik öz-uyumsuzluk (GSI) sisteminin evrimsel model familyalarından biridir (McClure ve ark., 2011).

Bu sistemde dişi dokuda sentezlenen S-RNase enzimleri, aynı S-haplotipli polen tüplerinin RNA'sını parçalayıp büyümeyi durdurur (Kubo ve ark., 2010; McClure, 2011; Williams ve ark., 2015). *Solanum* ve *Nicotiana* türleri bu klasik S-RNase mekanizmasını sergiler (McClure & Franklin-Tong, 2006). Domatesin evcilleşmiş formları (*S. lycopersicum*) ise SI sistemini kaybederek tamamen öz-uyumlu hâle gelmiştir; bu durum ıslah sürecinde yüksek kendine verim avantajı sağlamıştır (Rick ve ark., 1979; Baek ve ark., 2015). Yabani türlerde (*S. pennellii*, *S. habrochaites*) popülasyona bağlı olarak SI veya SC görülebilir ve türler arası melezlemelerde “tek yönlü uyumsuzluk (UI)” fenomenine neden olur (Baek ve ark., 2015; Moreels ve ark., 2023).

1.3 Polen-Pistil Etkileşim Dinamikleri

Tozlaşmadan hemen sonra polen taneleri stigma eksüdasına tutunarak hidrasyonla çimlenir (Herrero & Dickinson, 1980). Pollen tüpü yönelimi, uç-odaklı Ca^{2+} gradyanı tarafından belirlenir; auksin sinyali bu süreçlerle çapraz konuşur (crosstalk_karşılıklı etkileşim) (Malhó ve ark. 2000; Pierson ve ark., 1994). *Solanum*'da gametofitik öz-uyumsuzluğun temelinde S-RNase/SLF sistemi vardır; ROS ve PME gibi hücre duvarı/sinyal bileşenleri büyüme ve SI yanıtlarıyla ilişkilidir (McClure

& Franklin-Tong, 2006; Bosch & Franklin-Tong, 2008). Domates ve patlıcanda in vitro deneyler, Ca^{2+} ve pH düzeninin polen tüpü uzamasında kritik olduğunu göstermiştir (Pierson ve ark. 1994; Camacho & Malhó, 2003).

1.4 Çevresel Faktörler ve Döllenme Başarısı

Sıcaklık stresine ek olarak, uygunsuz bağıl nem (özellikle optimal aralığın dışında) ve düşük ışık şiddeti domateste polen salımı, polen hidrasyonu/germinasyonu ve stigma reseptivitesini olumsuz etkileyerek döllenme ve meyve tutumunu düşürür (Adams ve ark., 2001; Dingley ve ark., 2022). Bu koşullarda, özellikle serada, döllenmeye bağımlılığı azaltan partenokarpi verim stabilizasyonu için avantaj sağlar (Varoquaux ve ark., 2000; Pandolfini, 2009).

2. PARTENOKARPI KAVRAMI VE SOLANACEAE'DE GÖRÜNÜMLERİ

Partenokarpi, döllenme olmaksızın ovaryumun meyveye dönüşmesi olarak tanımlanır ve Solanaceae'de domates, biber ve patlıcan gibi türlerde doğal ya da indüklenmiş biçimleriyle görülür (Gorguet ve ark., 2005 ; Subbaraya ve ark., 2020; Sharif ve ark., 2022).

Tarımsal açıdan partenokarpi; tozlayıcıların yetersizliği, yüksek/süregelen ısı stresi veya kapalı-örtüaltı koşullarında meyve tutumunu ve pazar kalitesini istikrarlı kılmak için özellikle değerlidir (Subbaraya ve ark., 2020; Gorguet ve ark., 2005; Tiwari, 2011; Acciarri ve ark., 2002).

Solanaceae’de partenokarpi hem doğal genetik varyasyon (ör. klasik pat kaynakları; AGL6/Pat-k varyantı; PAD-1 mutasyonu) hem de hormonal/biyoteknolojik yaklaşımlarla (ör. ovül-özgül auksin biyosentezi artırımı) ortaya konmuştur (Klap ve ark., 2017; Takisawa ve ark., 2018; Matsuo ve ark., 2020; Mezzetti ve ark., 2004). Domates (*Solanum lycopersicum*) partenokarpinin en kapsamlı incelendiği model olup, pat, pat-2 ve pat-3/pat-4 gibi klasik kaynaklar ‘fakültatif’ (tozlaşma olursa tohumlu, olmazsa tohumsuz) fenotipler verir (Gorguet ve ark., 2005).

Domateste ayrıca SLAGL6 genindeki doğal bir mutasyonla tanımlanan Pat-k lokusu, dölleme olmaksızın meyve başlangıcını tetikleyen güçlü bir genetik kaynaktır (Klap ve ark., 2017; Takisawa ve ark., 2018; Guan ve ark., 2024). Meyve başlangıcının moleküler düzeyde ana eksen auksin-gibberellin çapraz etkileşimidir; SIDEELLA ile SIIAA9/SIARF7 arasındaki etkileşim parthenokarpiye geçişte merkezi bir düğüm oluşturur (Hu ve ark., 2018).

Biber (*Capsicum annuum*)’de çok sayıda genotipte dölleme olmadığı koşullarda partenokarpik potansiyel gözlenmiş ve tohumların yerini kısmen alabilen karpelloid yapılar meyve gelişimini sürdürebilmiştir (Tiwari ve ark., 2011). Bazı çalışmalar, biberde partenokarpinin tek çekinik gen kontrolüyle ilişkili olabileceğini ve karpelloid yapı oluşumuyla eşgüdümlü seyrettiğini bildirmiştir; ancak bu modelin tüm *Capsicum* genotipleri için genellenmiş olmadığı bildirilmektedir (Tiwari ve ark., 2011).

Patlıcan (*Solanum melongena*) için iki güçlü kanıt hattı öne çıkar: (i) PAD-1 aminotransferaz genindeki kayıp-fonksiyon mutasyonu ile doğal partenokarpi; (ii) ovaryum-özgül DefH9-iaaM ile auksin biyosentezinin

artırılması sonucu indüklenmiş partenokarpi ve verim artışı (Matsuo ve ark., 2020). DefH9-iaaM patlıcanlarında sera ve tarla koşullarında %30–35’e varan üretkenlik artışı ve tohumuz, pazarlanabilir meyveler rapor edilmiştir (Acciarri ve ark., 2002).

Mekanistik olarak, Solanaceae’de dölleme sonrası tohum/embriyo kaynaklı auksin ve GA sinyalleri normalde meyve başlangıcını tetiklerken, bu sinyal eksenini dölleme olmadan da (genetik değişim veya dışsal uygulamalarla) aktive edilerek partenokarpik meyve elde edilebilir (Hu ve ark., 2018).

Bu çerçevede, domateste hormon/gen ağları odaklı stratejiler (ARF/IAA/DELLA eksenini hedefleyen ıslah ve düzenleme yaklaşımları) ile biber ve patlıcanda doğal/ıslahi varyasyonların kullanımı, stres altında meyve tutumu ve verim stabilitesi için ıslah ve uygulamalara giderek daha fazla entegre edilmektedir (Hu ve ark., 2018).

Solanaceae’de partenokarpi; tür-özel genetik kaynakların (pat/Pat-k/PAD-1 vb.) ve auksin-GA ekseninin yönetimiyle, stresli çevrelerde üretim güvencesi sağlayan, bilimsel temeli sağlam bir ıslah hedefidir (Gorguet ve ark., 2005; Guan ve ark., 2024).

3. DOMATES (*Solanum lycopersicum*) ÖRNEğİ

Domates, partenokarpi ve dölleme biyolojisi üzerine en kapsamlı araştırmaların yürütüldüğü model türdür (Gorguet ve ark., 2005; Hu ve ark., 2018). Domates soyunda öz-uyumsuzluktan öz-uyumluluğa geçişler ve çiçek morfolojisindeki değişimler, yüksek kendine tozlaşma başarısı ve kararlı meyve tutumunu desteklemiştir (Rick ve ark., 1979;

Barrett, 2002). Domateste polen performansı 32/26 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda azalır; özellikle serada polen başarısızlığı meyve tutumunu düşürür (Peet ve ark., 1998; Sato ve ark., 2000; Sato ve ark., 2001). Bu koşullar, partenokarpik hatların ıslahında başlıca itici güç olmuştur (Varoquaux ve ark., 2000). Partenokarpi, domateste hem doğal mutantlar hem de transgenik/düzenleme tabanlı yaklaşımlarla ayrıntılı incelenmiştir (Gorguet ve ark., 2005; Mazzucato ve ark., 1998).

3.1 Klasik Partenokarpik Genetik Kaynaklar

1950’lerden itibaren tanımlanan pat, pat-2 ve pat-3/pat-4 lokusları, “fakültatif” partenokarpi fenotipine sahiptir; yani tozlaşma varsa tohumlu, yoksa tohumuz meyveler oluştururlar. Bu lokuslar, özellikle olumsuz çiçeklenme/tozlaşma koşullarında meyve tutumunu artırma potansiyeli nedeniyle klasik ıslah çalışmalarında değerlendirilmiştir (Mazzucato ve ark., 1998; Peet ve ark., 1998; Sato ve ark., 2001; Gorguet ve ark., 2005).

3.2 Moleküler ve Hormonel Mekanizmalar

Domateste meyve başlangıcı, polenleme sonrasında tohum-embriyo kaynaklı auksin ve gibberellin (GA) sinyallerinin yükselmesiyle tetiklenir (Pandolfini, 2009). Ancak bu sinyaller, dölleme olmadan da aktive edilebilir: auksin yanıt faktörleri (ARF’ler) ve aux/IAA baskılayıcıları üzerinden işleyen genetik ağ, partenokarpiyi belirler (Wang ve ark., 2005; de Jong ve ark., 2009a). Özellikle SLARF7 ve SLIAA9 kompleksinin bozulması, ovaryumda tohum-bağımsız hücre bölünmesi ve meyve genişlemesini başlatır (Wang ve ark., 2005; Hu ve ark., 2018). Bu mekanizma, auksin–GA sinyalleşmesi arasındaki çapraz

konuşmanın (karşılıklı etkileşim/crosstalk) merkezinde yer alır; SIDEELLA proteini bu iki yolu birbirine bağlar (Hu ve ark., 2018). Hu ve arkadaşları (2018), SIDEELLA'nın SIARF7/SIIAA9 kompleksine bağlanarak auksin-GA sinyalleşmesini eş-zamanlı düzenlediğini ve bu etkileşimin partenokarpik meyve başlangıcını kontrol ettiğini moleküler düzeyde göstermiştir (Hu ve ark., 2018). Benzer şekilde, SIAGL6 geninde doğal bir mutasyonla tanımlanan Pat-k lokusu, polenleme olmadan dahi meyve gelişimi sağlayan yeni bir doğal partenokarpi kaynağıdır (Klap ve ark., 2017). Bu gen, normalde çiçek gelişimi sırasında meyve başlangıcını baskılayan MADS-box transkripsiyon faktörüdür; işlev kaybı partenokarpiye izin verir (Klap ve ark., 2017).

3.3 Uygulamalı Islah ve Endüstriyel Önemi

Partenokarpik domates hatları, tozlayıcıların yetersiz olduğu sera sistemlerinde verim kaybını azaltır ve tohumuz, düzgün şekilli meyveler üretir (Varoquaux ve ark., 2000; Pandolfini, 2009). Ayrıca bu hatlar, yüksek sıcaklık ve uygun olmayan bağıl nem koşullarında meyve tutumunun sürdürülebilmesi açısından önemli bir adaptasyon sağlar (Sharif ve ark., 2022). Günümüzde hem klasik pat/Pat-k lokuslarının introgresyonu hem de CRISPR/Cas9 tabanlı SIIAA9 (ve daha yeni çalışmalarda SIARF7/SIARF5) düzenlemeleri, hedefe yönelik ıslah programlarında kullanılmaktadır (Ueta ve ark., 2017; Nguyen ve ark., 2024).

4. BİBER (*Capsicum annuum*) ÖRNEĞİ

Biber, Solanaceae içinde hem ekonomik hem de fizyolojik açıdan en çok çalışılan türlerden biridir (Carrizo García ve ark., 2016; Wahyuni ve ark.,

2013). Tür, çoğunlukla öz-uyumlu (self-compatible) olup hem kendine hem de böcek aracılı tozlaşma gösterebilir; bu esneklik, serada ve açıkta meyve tutumunu kolaylaştırır (Bosland & Votava, 2012). Bununla birlikte, yüksek sıcaklık ve düşük nem koşullarında polen canlılığı düşer, stigma reseptivitesi azalır ve döllenme başarısı sınırlanır (Polowick & Sawhney, 1985; Erickson & Markhart, 2002). Biber için doğrudan sayısal optimum aralıklar sınırlı olarak tanımlanmıştır. Bu durumlarda partenokarpik meyve tutumu, verim ve kalite kaybını azaltan bir adaptif mekanizma olarak değerlendirilmektedir (Sharif ve ark., 2022).

4.1 Doğal ve Islahi Partenokarpi

Biberde döllenme olmadan meyve gelişimi 1970'lerden beri rapor edilmektedir (Rylski & Spigelman, 1982). Daha sonra, çeşitli genotiplerde fakültatif partenokarpi (tozlaşma olduğunda tohumlu, olmadığında tohumsuz meyve) bildirilmiştir (Honda ve ark., 2012). Bazı hatlarda partenokarpik fenotipin tek çekinik gen ile ilişkili olabileceği ve karpelloid yapıların eşlik ettiği gösterilmiştir (Tiwari ve ark., 2011). Bu genetik/agronomik model, özellikle yüksek sıcaklık koşullarında meyve tutumunu güvenceye alma amacıyla ıslah çalışmalarında değerlendirilmektedir (Honda ve ark., 2012; Knapp ve ark., 2017).

4.2 Hormonal ve Moleküler Temel

Polenleme sonrası meyve başlangıcında görevli temel sinyaller auksin ve gibberellin (GA)'dir (Pandolfini & Molesini, 2007). Biberde 4-CPA ($30-45 \text{ mg L}^{-1}$) uygulaması pazar ve toplam verimi düşürmüştür; GA_3 ($10-15 \text{ mg L}^{-1}$) ve/veya GA_3+NAA bitki kütlesini artırsa da verimi artırmamıştır (Maboko & Du Plooy, 2015). Auksin uygulaması, biberde

meyve başlangıcını tetikler ve bunu kısmen GA biyosentezini indükleyerek yapar; auxin yanıt yolunun (Aux/IAA, ARF) ve GA yolak genlerinin (örn. GA20-oxidase) ifadesinde değişimler bildirilmiştir (Tiwari ve ark., 2012). Ayrıca, transkriptom ve ifade analizleri, partenokarpik meyve gelişimi sırasında auxin yanıt (Aux/IAA, ARF) ve GA yolak genlerinde (özellikle GA20-oxidase) belirgin düzenleyici değişiklikler bulunduğunu göstermektedir (Tiwari ve ark., 2011).

4.3 Uygulama ve Tarımsal Önemi

Sera koşullarında tozlayıcı bulunmadığında veya polen fertilitesi çevresel streslerle azaldığında, partenokarpik biber erişimleri/hatları meyve tutumunu artırmak için kullanılabilir (Honda ve ark., 2012; Sharif ve ark., 2022). Tohumsuzluk, uygun genetik arka planlarda pazar açısından avantaj sağlayabilir; ancak kalite bileşenleri genotip ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Sharif ve ark., 2022; Tiwari ve ark., 2011). *Capsicum* için yayımlanan genomlar, hormon sinyal ağlarının (özellikle auksin–gibberellin eksen) gen düzeyinde incelenmesini mümkün kılmış; deneysel çalışmalarda auksinle indüklenen meyve tutumunun aşağı akımda GA biyosentezini gerektirdiği gösterilmiştir (Tiwari ve ark., 2012; Qin ve ark., 2014; Kim ve ark., 2019).

5. PATLİCAN (*Solanum melongena*) ÖRNEĞİ

5.1 Döllenme Süreci

Patlıcan çiçekleri hermafrodit olup tek bir ovaryum içinde çok sayıda ovül taşır ve çiçek tipi (stil uzunluğu) meyve tutumuyla ilişkilendirilebilir. Polonya koşullarında yürütülen sahaya dayalı bir

çalışmada, kısa-stil çiçeklerde polen tüpü sayısı ve döllenmiş ovül sayısının uzun-stil çiçeklere göre daha düşük olduğu ve bunun meyve tutumunu sınırlandığı gösterilmiştir (Şekara & Bieniasz, 2008). Aynı çalışma, açık tarlada yetiştirilen ‘Epic F1’ patlıcanda çiçek fenotipinin (stil uzunluğu) tozlaşma, döllenme ve meyve oluşumu parametreleri üzerinde belirgin etkiler yaptığını rapor etmiştir. Döllenme sonrasında ovaryum büyümesi, meyve tutumu ve verim açısından kritik aşamadır; düşük tozlaşma, polen tüpü olmaması veya düşük ovül fertilizasyonu meyve bağlamında sınırlayıcıdır (Khaleghi ve ark., 2021).

5.2 Partenokarpi Stratejileri

Patlıcanda doğal veya ıslah edilmiş partenokarpi potansiyeli araştırılmıştır. Örneğin Japonya’da geliştirilen ‘Anominori’ partenokarpik patlıcan çeşidi, hormon uygulaması veya tozlayıcı kullanmaksızın forcing kültürde ticari düzeyde verim üretebilmiştir (Saito ve ark., 2009). Anominori’nin bitkisel ve meyve özellikleri (uzun, koyu mor parlak meyve; yoğun et dokusu) hakemli dergide yayımlanarak belgelenmiştir.

Patlıcanda QTL düzeyinde partenokarpi kontrolüne ilişkin ilk moleküler haritalama çalışması, iki majör QTL (ör. Cop3.1 ve Cop8.1) için işaretleyici bağlantılar geliştirmiş ve marker-destekli seleksiyon için temel oluşturmuştur (Miyatake ve ark., 2012). Bu QTL çalışması, patlıcanda döllenmesiz meyve tutumunun nicel kontrolünü göstermektedir.

Transkriptom düzeyinde, partenokarpik ve partenokarpik olmayan patlıcan hatları karşılaştırıldığında auksin, gibberellin ve sitokin ile

ilişkili gen setlerinde anlamlı farklılaşmalar bildirilmiştir (Chen ve ark., 2017). Chen ve ark. (2017)'nin çalışması, farklı hatlarda döllemesiz meyve başlangıcı ile ilişkili diferansiyel gen ifadesi (DEG) profillerini vererek, aday yollar ve genler için hipotez üretimini desteklemektedir.

5.3 Uygulamalı Sonuçlar ve Üretim Açısından Önemi

Sera koşullarında tozlayıcı bulunmadığında veya sıcaklık/nem dalgalanmalarının polen fertilitatesini azalttığı durumlarda, partenokarpik biber erişimleri/hatları meyve tutumunu istikrarlı kılabilir (Saito ve ark., 2009; Sharif ve ark., 2022). Transgenik kanıt hattında, patlıcanda ovaryum-özgül DefH9-iaaM (auksin biyosentezi) ekspresyonu sayesinde tohumuz meyveler elde edilmiş ve hem serada hem açıkta %30–35'e varan üretkenlik artışı bildirilmiştir; pazar kalitesi korunmuştur (Acciarri ve ark., 2002). Üretimde dikkat edilmesi gerekenler: partenokarpi fenotipinin meyve şekli/pazar gereksinimleri/kalite (doku, raf ömrü vb.) üzerindeki etkileri genotip ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişebilir; bu konuda doğrudan saha verileri sınırlıdır. Marker-destekli ıslah açısından, partenokarpi QTL'lerine bağlı belirteçler ıslah döngüsünü hızlandırmak ve stres altında tutumu koruyan genotipleri yaygınlaştırmak için kullanılabilir (Miyatake ve ark., 2012). Moleküler profillemeye (RNA-seq) bulguları, özellikle auksin ve gibberellin yollarının hedeflenmesinin rasyonel olduğunu; klasik ıslah ile biyoteknolojik yaklaşımların tamamlayıcı kullanılabileceğini göstermektedir (Chen ve ark., 2017).

6. HORMONLAR, GENETİK AĞLAR VE MEKANİZMALAR

6.1 Auksin ve Gibberellin Sinyalleşmesi

Meyve başlangıcında, döllenme sonrası ovaryumda aktif olarak yükselen iki ana hormon grubundan biri auksindir (indole-3-asetik asit vb.), diğeri ise gibberellinler (GA'lar) dır; bu iki yol, özellikle *Solanum* (domates) gibi Solanaceae türlerinde etkileşim hâlinededir (De Jong ve ark., 2009a). Yapılan deneylerde, ekskize edilmiş (emaskule edilmiş) domates çiçeklerine auksin uygulandığında meyve tutumu tetiklenmiş; ancak GA biyosentez inhibitörü uygulandığında bu etkinin ortadan kalktığı görölerek auksinin etkisinin bir ölçüde GA biyosentezine bağlı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, auksin sinyalinin GA20-oxidase genlerini uyardığı ve bu sayede GA metabolizmasının aktif hale geldiği deneysel olarak gösterilmiştir. (Serrani ve ark., 2007; Serrani ve ark., 2008). Bu bilgiler, auksin sinyaliyle birlikte gibberellin düzeylerinin yükselmesinin hücre bölünmesi ve genişlemesini tetiklediği bir modelin domates meyve tutumunda geçerli olduğunu destekler (De Jong ve ark., 2009a).

6.2 Etilen, Sitokinin ve Diğer Hormonlar

Meyve oluşumu ve gelişimi sırasında ET (etilen), ABA (abscisic acid) ve sitokinler gibi diğer hormonların da rolü vardır; ancak Solanaceae'de auksin/GA eksenine göre bunların etkileri daha az ayrıntılı çalışılmıştır. Örneğin domateste meyve başlangıcının ardından ABA ve etilen düzeylerinde azalma; sitokin düzeylerinde artış gözlenmiştir (Quinet ve ark., 2019). Nitsch ve ark. (2009) bulgularına göre domates ovaryumlarında polinasyon öncesi yüksek olan ABA düzeylerinin,

döllenme sonrasında LeNCED1 ve SlCYP707A1 genlerinin karşıt düzenlenmesiyle azaldığı gösterilmiştir.

6.3 Genetik Ağlar: ARF/IAA, DELLA, AGL6

Genetik düzeyde, auksin sinyalinin algılanmasında AUX/IAA baskılayıcıları ve auksin yanıt faktörleri (ARF'ler) önemli yer tutar; özellikle SlARF7 ve SlIAA9 domatestede meyve tutumunu etkileyen anahtar genler olarak tanımlanmıştır (Wang ve ark., 2005; Hu ve ark., 2018). Gibberellin sinyalinde ise DELLA proteini GA sinyalini negatif düzenleyen bir faktör olup, auksin-GA çapraz etkileşiminde önemli bir köşe taşıdır. Örneğin domatestede DELLA-ARF/IAA etkileşimlerinin meyve başlangıcında etkili olduğu gösterilmiştir (Hu ve ark., 2018). Ayrıca, domatestede SlAGL6 (AGAMOUS-LIKE6) geninin düşük ifadesinin veya işlevinin partenokarpik meyve oluşumuna yol açabildiği; AGL6'nın yumurtalıkta döllenme sonrası hücre bölünmesi başlamadan önceki duraksamayı koruyan bir baskılayıcı olarak işlev gördüğü gösterilmiştir (Klap ve ark., 2017).

6.4 Uygulamalı Genetik ve Islah Yaklaşımları

Islah açısından, ARF/IAA ve DELLA eksenleri partenokarpi ve meyve tutumu için aday gen kümeleri olarak öne çıkar. Örneğin SlIAA9'un ekspresyonunun düşürülmesi/knock-out'u domatestede tohumuz meyve oluşumuna yol açmıştır (Wang ve ark., 2005; Ueta ve ark., 2017). Genom dizileme ve gen düzenleme teknolojilerindeki ilerlemeler, meyve başlangıcını düzenleyen gen-yolak haritalarının çıkarılmasını hızlandırmış; bu da Solanaceae'da partenokarpiye yönelik ıslah

stratejileri için zemin hazırlamıştır (de Jong ve ark., 2009b; Baranov ve ark., 2024).

7. UYGULAMALAR VE TARIMSAL PERSPEKTİFLER

7.1 Partenokarpik Hatların Tarımsal Kullanımı

Partenokarpik genotiplerin en önemli avantajı, tozlayıcıya ihtiyaç duymadan meyve oluşturabilmeleridir. Bu özellik, özellikle sera koşullarında, yüksek sıcaklık veya düşük nem gibi polen canlılığını sınırlandıran ortamlarda verim sürekliliğini sağlar (Pandolfini, 2009; Sharif ve ark., 2022). Domateste SIIAA9'un baskılanması/kaybı ve GA sinyali baskılayıcısı SIDEELLA'nın işlev kaybı, partenokarpik meyve başlangıcını tetikler; bu genlerdeki tekli ve ikili mutasyonlar emaskulasyon sonrası partenokarpi verimliliğini tekillere göre anlamlı biçimde artırır (Hu ve ark., 2018). Patlıcanda DefH9-iaaM transgenik hatları, hem serada hem de açıkta üretim koşullarında verimi artırmış; pazar kalitesi (boy, renk, kuru madde) korunmuştur (Acciarri ve ark., 2002). Biberde ise doğal/fakültatif partenokarpik erişimlerin düşük polen canlılığı dönemlerinde meyve bağlamını istikrarlı tuttuğu bildirilmiştir (Honda ve ark., 2012).

7.2 Hormonal Uygulamalar ve Pratik Üretim

Tozlaşmanın sınırlı olduğu dönemlerde hormonal uygulamalar (özellikle auksin türevleri veya GA₃) partenokarpik meyve tutumunu yapay biçimde tetikleyebilir. Domateste 4-CPA veya NAA uygulamaları çiçek başına meyve tutum oranını artırmıştır (Nitsch, 1952; Serrani ve ark., 2008). Ancak biberde yapılan saha denemelerinde 4-CPA'nın yüksek dozlarda verimi düşürdüğü, GA₃ uygulamasının ise bitki kütlesini

artırmasına karşın pazar veriminde anlamlı artış sağlamadığı bulunmuştur (Maboko & du Plooy, 2015). Dolayısıyla Solanaceae’de hormonal partenokarpi, düşük tozlaşma dönemlerinde geçici bir çözüm olsa da, sürdürülebilir bir uygulama için doz ve fenolojik zamanlama dikkatle belirlenmelidir (Pandolfini & Molesini, 2007).

7.3 Genetik İslah, Marker ve Gen Düzenleme Yaklaşımları

Modern ıslah çalışmaları, partenokarpinin genetik kontrol noktalarını hedefleyerek çevreselden bağımsız meyve tutumuna odaklanmaktadır. Patlıcanda Cop3.1 ve Cop8.1 QTL’lerinin belirlenmesi, marker-destekli seleksiyon (MAS) için temel oluşturmuştur (Miyatake ve ark., 2012). Domateste SI1AA9, ARF7/ARF5, DELLA (PROCERA) ve AGL6 genleri, CRISPR/Cas9 veya RNAi ile düzenlenmiş; tozlayıcı gereksinimi olmaksızın meyve gelişimi elde edilmiştir (Klap ve ark., 2017; Ueta ve ark., 2017; Hu ve ark., 2018). Biberde, tek çekinik genle ilişkili fakültatif partenokarpi bazı hatlarda klasik seleksiyonla sabitlenebildiği rapor edilmiştir (Tiwari ve ark., 2011). Bu bulgular, gen düzenleme ile klasik ıslahın birbirini tamamlayarak Solanaceae’de iklim stresine daha dirençli, stabil verimli hatların geliştirilmesine olanak sağladığını göstermektedir.

7.4 Gelecek Perspektifleri ve Riskler

Yeni nesil genom düzenleme teknolojileri (özellikle CRISPR/Cas9) sayesinde, hormon sinyali ve meyve gelişimi genlerinde hedefli düzenlemelerle kontrollü partenokarpi deneysel olarak elde edilmiştir (Klap ve ark., 2017; Ueta ve ark., 2017). Bununla birlikte, iklim değişikliğinin polen canlılığını azaltması ve arı aktivitesini sınırlaması

nedeniyle partenokarpik ıslahın önemi artacaktır (Sharif ve ark., 2022). Dolayısıyla, gelecekteki Solanaceae üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği, hormonal düzenleme mekanizmalarının hassas kontrolü, genetik kararlılığın korunması ve çevresel strese adaptasyon kapasitesinin dengeli entegrasyonuna bağlı olacaktır. Bu genel çerçeve, mevcut literatürle de uyumlu biçimde, Solanaceae’de üretim sürdürülebilirliğinin çok katmanlı bir ıslah yaklaşımına bağlı olduğunu göstermektedir.

SONUÇLAR VE GELECEK ARAŞTIRMA YÖNLERİ

Solanaceae familyası, morfolojik çeşitliliği ve ekonomik önemiyle yalnızca tarımsal değil, aynı zamanda gelişimsel biyoloji açısından da bir model sistemdir. Döllenme biyolojisi ve partenokarpik meyve oluşumu üzerine yapılan araştırmalar, son yirmi yılda moleküler düzeyde önemli ilerlemeler sağlamıştır (Serrani ve ark., 2008; Pandolfini, 2009; Hu ve ark., 2018). Bu çalışmalar, meyve tutumunun temelinde auksin–gibberellin ekseninde şekillenen karmaşık bir hormonal ağın bulunduğunu, ARF/IAA–DELLA–AGL6 genlerinin bu sürecin kilit noktalarında yer aldığını doğrulamıştır.

Patlıcan, biber ve domates üzerinde yapılan ıslah ve transkriptomik çalışmalar, partenokarpinin türler arasında farklı moleküler yollarla düzenlendiğini göstermektedir (Miyatake ve ark., 2012; Chen ve ark., 2017; Klap ve ark., 2017). Ancak tüm türlerde ortak eğilim, döllenme sinyali olmaksızın hücre bölünmesini sürdürebilen hormonal ve genetik kararlılık kazanımıdır. Bu durum, özellikle yüksek sıcaklık, düşük tozlayıcı aktivitesi veya stres koşullarında meyve veriminin korunması için stratejik bir avantaj sunmaktadır (Sharif ve ark., 2022).

Gelecekteki araştırmalar, üç ana eksenle yoğunlaşmalıdır:

Genetik düzenleme ve yeni nesil ıslah: CRISPR/Cas9 uygulamaları (ör. SIIAA9, ARF7, DELLA) ile domatestede kontrollü partenokarpi deneysel olarak elde edilmiştir (Ueta ve ark., 2017; Hu ve ark., 2018). Bu yaklaşımların hedef dışı (off-target) gen düzenlemeleri düşük düzeyde olsa da, farklı varyetelerde fenotipik kararlılık henüz uzun dönemli olarak sınırlı biçimde belgelenmiştir.

Hormonal etkileşimlerin çoklu düzeyde modellenmesi: Auksin, gibberellin, sitokinin ve ABA arasındaki ilişkilerin sistem biyolojisi düzeyinde modellenmesi, stres altında partenokarpi-indüksiyon stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır.

Uygulama ve regülasyon boyutu: Genetik olarak düzenlenmiş partenokarpik hatların kabulü biyogüvenlik ve etik çerçevelere bağlıdır; Avrupa ve Asya’da sınırlı saha denemeleri bildirilmiş olsa da, küresel ticarileşme hâlen kısıtlıdır (Sharif ve ark., 2022).

Sonuç olarak, Solanaceae’de dölleme biyolojisi ve partenokarpi araştırmaları, hem temel bilimde hem de uygulamalı ıslah yaklaşımlarında önemli bir dönüşüm yaratmıştır. Hormon sinyalleşmesi, genetik düzenleme ve stres biyolojisinin entegrasyonu, tozlayıcıdan bağımsız, çevreye dayanıklı ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesinde belirleyici olacaktır. Bu bağlamda, moleküler biyoloji, fizyoloji, tarla denemeleri ve biyoinformatiği buluşturan disiplinler arası işbirliği kritik önemdedir (de Jong ve ark., 2009a; Pandolfini, 2009; Hu ve ark., 2018; Sharif ve ark., 2022).

KAYNAKÇA

- Acciarri, N., Restaino, F., Vitelli, G., Perrone, D., Zottini, M., Pandolfini, T., ... & Rotino, G. L. (2002). Genetically modified parthenocarpic eggplants: improved fruit productivity under both greenhouse and open field cultivation. *BMC biotechnology*, 2(1), 4.
- Adams, S. P., Hartman, T. P. V., Lim, K. Y., Chase, M. W., Bennett, M. D., Leitch, I. J., & Leitch, A. R. (2001). Loss and recovery of Arabidopsis-type telomere repeat sequences 5'-(TTTAGGG)_n-3' in the evolution of a major radiation of flowering plants. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 268(1476), 1541-1546.
- Anderson, G. J., & Symon, D. (1988). Insect foragers on *Solanum* flowers in Australia. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 842-852.
- Baek, Y. S., Covey, P. A., Petersen, J. J., Chetelat, R. T., McClure, B., & Bedinger, P. A. (2015). Testing the SI× SC rule: Pollen-pistil interactions in interspecific crosses between members of the tomato clade (*Solanum* section *Lycopersicon*, *Solanaceae*). *American Journal of Botany*, 102(2), 302-311.
- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future?. *Annals of botany*, 100(5), 1085-1094.
- Baranov, D., Dolgov, S., & Timerbaev, V. (2024). New advances in the study of regulation of tomato flowering-related genes using biotechnological approaches. *Plants*, 13(3), 359.
- Barrett, S. C. H. (2002). Sexual interference of the floral kind. *Heredity*, 88(2), 154-159.
- Bedinger, P. A., Broz, A. K., Tovar-Mendez, A., & McClure, B. (2017). Pollen-pistil interactions and their role in mate selection. *Plant Physiology*, 173(1), 79-90.
- Bombarely, A., Moser, M., Amrad, A., Bao, M., Bapaume, L., Barry, C. S., ... & Kuhlemeier, C. (2016). Insight into the evolution of the *Solanaceae* from the parental genomes of *Petunia hybrida*. *Nature plants*, 2(6), 1-9.
- Bosch, M., & Franklin-Tong, V. E. (2008). Self-incompatibility in *Papaver*: signalling to trigger PCD in incompatible pollen. *Journal of experimental botany*, 59(3), 481-490.

- Bosland, P. W., Votava, E. J., & Votava, E. M. (2012). Peppers: vegetable and spice capsicums (Vol. 22). Cabi.
- Broz, A. K., Miller, C. M., Baek, Y. S., Tovar-Méndez, A., Acosta-Quezada, P. G., Riofrío-Cuenca, T. E., ... & Bedinger, P. A. (2021). S-RNase alleles associated with self-compatibility in the tomato clade: structure, origins, and expression plasticity. *Frontiers in Genetics*, 12, 780793.
- Camacho, L., & Malhó, R. (2003). Endo/exocytosis in the pollen tube apex is differentially regulated by Ca^{2+} and GTPases. *Journal of experimental botany*, 54(380), 83-92.
- Carrizo García, C., Barfuss, M.H.J., Sehr, E.M., Barboza, G.E., Samuel, R., Moscone, E.A., & Ehrendorfer, F. (2016). Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae). *Annals of Botany*, 118(1), 35–51. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw079>.
- Chen, X., Zhang, M., Tan, J., Huang, S., Wang, C., Zhang, H., & Tan, T. (2017). Comparative transcriptome analysis provides insights into molecular mechanisms for parthenocarpic fruit development in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Plos one*, 12(6), e0179491.
- De Jong, M., Mariani, C., & Vriezen, W. H. (2009a). The role of auxin and gibberellin in tomato fruit set. *Journal of experimental botany*, 60(5), 1523-1532.
- De Jong, M., Wolters-Arts, M., Feron, R., Mariani, C., & Vriezen, W. H. (2009b). The *Solanum lycopersicum* auksin yanıt faktörü (ARF) 7 (SlARF7) regulates auxin signaling during tomato fruit set and development. *The Plant Journal*, 57(1), 160-170.
- Dingley, A., Anwar, S., Kristiansen, P., Warwick, N. W., Wang, C. H., Sindel, B. M., & Cazzonelli, C. I. (2022). Precision pollination strategies for advancing horticultural tomato crop production. *Agronomy*, 12(2), 518.
- Erickson, A. N., & Markhart, A. H. (2002). Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. *Plant, Cell & Environment*, 25(1), 123-130.
- FAO, 2024. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fernandez-Pozo, N., Menda, N., Edwards, J. D., Saha, S., Tecle, I. Y., Strickler, S. R., ... & Mueller, L. A. (2015). The Sol Genomics Network (SGN)—from genotype to phenotype to breeding. *Nucleic acids research*, 43(D1), D1036-D1041.

- Gebhardt, C. (2016). The historical role of species from the Solanaceae plant family in genetic research. *Theoretical and Applied Genetics*, 129(12), 2281-2294.
- Giorno, F., Wolters-Arts, M., Mariani, C., & Rieu, I. (2013). Ensuring reproduction at high temperatures: the heat stress response during anther and pollen development. *Plants*, 2(3), 489-506.
- Gorguet, B., Van Heusden, A. W., & Lindhout, P. (2005). Parthenocarpic fruit development in tomato. *Plant biology*, 7(02), 131-139.
- Guan, H., Yang, X., Lin, Y., Xie, B., Zhang, X., Ma, C., ... & Hao, Y. (2024). The hormone regulatory mechanism underlying parthenocarpic fruit formation in tomato. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1404980.
- Herrero, M., Dickinson, HG. (1980). Pollen tube growth following compatible and incompatible intraspecific pollinations in *Petunia hybrida*. *Planta* 148:217–221
- Honda, I., Matsunaga, H., Kikuchi, K., Matsuo, S., & Fukuda, M. (2012). Identification of pepper (*Capsicum annuum* L.) accessions with large or small fruit that have a high degree of parthenocarpy. *Scientia Horticulturae*, 135, 68–70. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.014>
- Hu, J., Israeli, A., Ori, N., & Sun, T. P. (2018). The interaction between DELLA and ARF/IAA mediates crosstalk between gibberellin and auxin signaling to control fruit initiation in tomato. *The Plant Cell*, 30(8), 1710-1728.
- Hunziker, A. T. (2001). *Genera Solanacearum: the genera of Solanaceae illustrated, arranged according to a new system*. ARG Gantner.
- Khaleghi, S., Baninasab, B., & Mobli, M. (2021). Relationship Between Floral Morphology, Fruit Setting Behavior And Final Yield In Some Eggplant (*Solanum Melongena*) Genotypes From Iran. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 37(2), 128-135.
- Kim, J. S., Ezura, K., Lee, J., Ariizumi, T., & Ezura, H. (2019). Genetic engineering of parthenocarpic tomato plants using transient SHAA9 knockdown by novel tissue-specific promoters. *Scientific Reports*, 9(1), 18871.
- Knapp, S. (2002). Tobacco to tomatoes: a phylogenetic perspective on fruit diversity in the Solanaceae. *Journal of Experimental Botany*, 53(377), 2001-2022.

- Knapp, S., Bohs, L., Nee, M., & Spooner, D. M. (2004). Solanaceae—a model for linking genomics with biodiversity. *Comparative and functional genomics*, 5(3), 285-291.
- Klap, C., Yeshayahou, E., Bolger, A. M., Arazi, T., Gupta, S. K., Shabtai, S., ... & Barg, R. (2017). Tomato facultative parthenocarpy results from Sl AGAMOUS-LIKE 6 loss of function. *Plant biotechnology journal*, 15(5), 634-647.
- Knapp, S., Sagona, E., Carbonell, A. K. Z., & Chiarini, F. (2017). A revision of the *Solanum elaeagnifolium* clade (*Elaeagnifolium* clade; subgenus *Leptostemonum*, Solanaceae). *PhytoKeys* 84: 1–104.
- Kubo, K. I., Entani, T., Takara, A., Wang, N., Fields, A. M., Hua, Z., ... & Takayama, S. (2010). Collaborative non-self recognition system in S-RNase-based self-incompatibility. *Science*, 330(6005), 796-799.
- Lyu, J., Jin, N., Ma, X., Yin, X., Jin, L., Wang, S., ... & Yu, J. (2024). A comprehensive evaluation of nutritional quality and antioxidant capacity of different Chinese eggplant varieties based on multivariate statistical analysis. *Antioxidants*, 14(1), 10.
- Maboko, M. M., & Du Plooy, C. P. (2015). Effect of plant growth regulators on growth, yield, and quality of sweet pepper plants grown hydroponically. *HortScience*, 50(3), 383-386.
- Malhó, R., Camacho, L., & Moutinho, A. (2000). Signalling pathways in pollen tube growth and reorientation. *Annals of Botany*, 85, 59-68.
- Malhó, R. (2006). The pollen tube: a model system for cell and molecular biology studies. In *The pollen tube: A cellular and molecular perspective* (pp. 1-13). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Matsuo, S., Miyatake, K., Endo, M., Urashimo, S., Kawanishi, T., Negoro, S., ... & Fukuoka, H. (2020). Loss of function of the Pad-1 aminotransferase gene, which is involved in auxin homeostasis, induces parthenocarpy in Solanaceae plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(23), 12784-12790.
- Mazzucato, A., Taddei, A. R., & Soressi, G. P. (1998). The parthenocarpic fruit (pat) mutant of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sets seedless fruits and has aberrant anther and ovule development. *Development*, 125(1), 107-114.

- McClure, B. A., & Franklin-Tong, V. (2006). Gametophytic self-incompatibility: understanding the cellular mechanisms involved in “self” pollen tube inhibition. *Planta*, 224(2), 233-245.
- McClure, B., Cruz-García, F., & Romero, C. (2011). Compatibility and incompatibility in S-RNase-based systems. *Annals of botany*, 108(4), 647-658.
- Mezzetti, B., Landi, L., Pandolfini, T., & Spena, A. (2004). The *defH9-iaaM* auxin-synthesizing gene increases plant fecundity and fruit production in strawberry and raspberry. *BMC biotechnology*, 4(1), 4.
- Miyatake, K., Saito, T., Negoro, S., Yamaguchi, H., Nunome, T., Ohyama, A., & Fukuoka, H. (2012). Development of selective markers linked to a major QTL for parthenocarpy in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 124(8), 1403-1413.
- Mizuta, Y., Sakakibara, D., Nagahara, S., Kaneshiro, I., Nagae, T. T., Kurihara, D., & Higashiyama, T. (2024). Deep imaging reveals dynamics and signaling in one-to-one pollen tube guidance. *EMBO reports*, 25(6), 2529-2549.
- Moreels, P., Bigot, S., Defalque, C., Correa, F., Martinez, J. P., Lutts, S., & Quinet, M. (2023). Intra-and inter-specific reproductive barriers in the tomato clade. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1326689.
- Müller, F., Xu, J., Kristensen, L., Wolters-Arts, M., de Groot, P. F., Jansma, S. Y., ... & Rieu, I. (2016). High-temperature-induced defects in tomato (*Solanum lycopersicum*) anther and pollen development are associated with reduced expression of B-class floral patterning genes. *PLoS One*, 11(12), e0167614.
- Nitsch, J. P. (1952). Plant hormones in the development of fruits. *The Quarterly Review of Biology*, 27(1), 33-57.
- Nitsch, L. M. C., Oplaat, C., Feron, R., Ma, Q., Wolters-Arts, M., Hedden, P., ... & Vriezen, W. H. (2009). Absciscic acid levels in tomato ovaries are regulated by *LeNCED1* and *SlCYP707A1*. *Planta*, 229(6), 1335-1346.
- Niu, S., He, Y., Yan, S., Sun, Z., Cai, R., & Zhang, Y. (2024). Histological, transcriptomic, and gene functional analyses reveal the regulatory events underlying gibberellin-induced parthenocarpy in tomato. *Horticultural Plant Journal*, 10(1), 156-170.

- Nguyen, C. C., Van Vu, T., Shelake, R. M., Nguyen, N. T., Khanh, T. D., Kim, W. Y., & Kim, J. Y. (2024). Generation of parthenocarpic tomato plants in multiple elite cultivars using the CRISPR/Cas9 system. *Molecular Breeding*, 44(2), 13.
- Pandolfini, T., Molesini, B. (2007). Spena, A. Molecular dissection of the role of auxin in fruit initiation. *Trends Plant Sci.* 12, 327–329.
- Pandolfini, T. (2009). Seedless Fruit Production by Hormonal Regulation of Fruit Set. *Nutrients*, 1(2), 168-177. <https://doi.org/10.3390/nu1020168>
- Peet, M. M., Sato, S., & Gardner, R. G. (1998). Comparing heat stress effects on male-fertile and male-sterile tomatoes. *Plant, cell & environment*, 21(2), 225-231.
- Pierson, E. S., Miller, D. D., Callaham, D. A., Shipley, A. M., Rivers, B. A., Cresti, M., & Hepler, P. K. (1994). Pollen tube growth is coupled to the extracellular calcium ion flux and the intracellular calcium gradient: effect of BAPTA-type buffers and hypertonic media. *The Plant Cell*, 6(12), 1815-1828.
- Polowick, P. L., & Sawhney, V. K. (1985). Temperature effects on male fertility and flower and fruit development in *Capsicum annum* L. *Scientia Horticulturae*, 25(2), 117–127.
- Pressman, E., Peet, M. M., & Pharr, D. M. (2002). The effect of heat stress on tomato pollen characteristics is associated with changes in carbohydrate concentration in the developing anthers. *Annals of botany*, 90(5), 631-636.
- Qin, C., Yu, C., Shen, Y., Fang, X., Chen, L., Min, J., ... & Zhang, Z. (2014). Whole-genome sequencing of cultivated and wild peppers provides insights into *Capsicum* domestication and specialization. *Proceedings of the national academy of sciences*, 111(14), 5135-5140.
- Quinet, M., Angosto, T., Yuste-Lisbona, F. J., Blanchard-Gros, R., Bigot, S., Martinez, J. P., & Lutts, S. (2019). Tomato fruit development and metabolism. *Frontiers in plant science*, 10, 1554.
- Riccini, A., Olivieri, F., Farinon, B., Bitton, F., Diouf, I., Carretero, Y., ... & Mazzucato, A. (2025). New QTLs involved in the control of stigma position in tomato. *BMC Plant Biology*, 25(1), 423.
- Rick, C. M., Fobes, J. F., & Tanksley, S. D. (1979). Evolution of mating systems in *Lycopersicon hirsutum* as deduced from genetic variation in

- electrophoretic and morphological characters. *Plant Systematics and Evolution*, 132(4), 279-298.
- Rosa Martínez, E. (2022). Characterization and enhancement of genetic resources for the improvement of nutritional and organoleptic quality in solanaceae vegetable crops (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Rylski, I., & Spigelman, M. (1982). Effects of different diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. *Scientia Horticulturae*, 17(2), 101–106.
- Särkinen, T., Bohs, L., Olmstead, R. G., & Knapp, S. (2013). A phylogenetic framework for evolutionary study of the nightshades (Solanaceae): a dated 1000-tip tree. *BMC evolutionary biology*, 13(1), 214.
- Sato, S., Peet, M. M., & Thomas, J. F. (2000). Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. *Plant, cell & environment*, 23(7), 719-726.
- Sato, S., Peet, M. M., & Gardner, R. G. (2001). Formation of parthenocarpic fruit, undeveloped flowers and aborted flowers in tomato under moderately elevated temperatures. *Scientia Horticulturae*, 90(3-4), 243-254.
- Saito, T., Yoshida, T., Monma, S., Matsunaga, H., Sato, T., Saito, A., & Yamada, T. (2009). Development of the parthenocarpic eggplant cultivar ‘Anominori’. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 43(2), 123-127.
- Sękara A., Bieniasz M. (2008): Pollination, fertilization and fruit formation in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Acta Agrobotanica*, 61: 107–113.
- Serrani, J. C., Fos, M., Atarés, A., & García-Martínez, J. L. (2007). Effect of gibberellin and auxin on parthenocarpic fruit growth induction in the cv Micro-Tom of tomato. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(3), 211-221.
- Serrani, J. C., Ruiz-Rivero, O., Fos, M., & García-Martínez, J. L. (2008). Auxin-induced fruit-set in tomato is mediated in part by gibberellins. *The Plant Journal*, 56(6), 922-934.
- Sharif, R., Su, L., Chen, X., & Qi, X. (2022). Hormonal interactions underlying parthenocarpic fruit formation in horticultural crops. *Horticulture Research*, 9, uhab024.

- Subbaraya, U., Rajendran, S., Simeon, S., Suthanthiram, B., & Somasundram, S. M. (2020). Unravelling the regulatory network of transcription factors in parthenocarp. *Scientia Horticulturae*, 261, 108920.
- Takisawa, R., Nakazaki, T., Nunome, T., Fukuoka, H., Kataoka, K., Saito, H., ... & Kitajima, A. (2018). The parthenocarpic gene Pat-k is generated by a natural mutation of SLAGL6 affecting fruit development in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *BMC Plant Biology*, 18(1), 72.
- Tiwari, A., Vivian-Smith, A., Voorrips, R. E., Habets, M. E., Xue, L. B., Offringa, R., & Heuvelink, E. P. (2011). Parthenocarpic potential in *Capsicum annuum* L. is enhanced by carpelloid structures and controlled by a single recessive gene. *BMC plant biology*, 11(1), 143.
- Tiwari, A., Offringa, R., & Heuvelink, E. (2012). Auxin-induced fruit set in *Capsicum annuum* L. requires downstream gibberellin biosynthesis. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31(4), 570-578.
- Ueta, R., Abe, C., Watanabe, T., Sugano, S. S., Ishihara, R., Ezura, H., ... & Osakabe, K. (2017). Rapid breeding of parthenocarpic tomato plants using CRISPR/Cas9. *Scientific reports*, 7(1), 507.
- URL1. wfoplantlist.org. Erişim Tarihi; 10 Eylül 2025
- Vallejo-Marín, M., Walker, C., Friston-Reilly, P., Solis-Montero, L., & Igic, B. (2014). Recurrent modification of floral morphology in heterantherous *Solanum* reveals a parallel shift in reproductive strategy. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1649), 20130256.
- Vallejo-Marín, M., Pereira Nunes, C. E., & Russell, A. L. (2022). Anther cones increase pollen release in buzz-pollinated *Solanum* flowers. *Evolution*, 76(5), 931-945.
- Varoquaux, F., Blanvillain, R., Delseny, M., & Gallois, P. (2000). Less is better: new approaches for seedless fruit production. *Trends in biotechnology*, 18(6), 233-242.
- Wahyuni, Y., Ballester, A. R., Sudarmonowati, E., Bino, R. J., & Bovy, A. G. (2013). Secondary metabolites of *Capsicum* species and their importance in the human diet. *Journal of natural products*, 76(4), 783-793.
- Wang, H., Jones, B., Li, Z., Frasse, P., Delalande, C., Regad, F., ... & Bouzayen, M. (2005). The tomato Aux/IAA transcription factor IAA9 is involved

in fruit development and leaf morphogenesis. *The Plant Cell*, 17(10), 2676-2692.

Williams, J. S., Wu, L., Li, S., Sun, P., & Kao, T. H. (2015). Insight into S-RNase-based self-incompatibility in *Petunia*: recent findings and future directions. *Frontiers in plant science*, 6, 41.

Yamazaki, A., Takezawa, A., Nishimura, K., Motoki, K., Nagasaka, K., Nakano, R., ... & Hosokawa, M. (2024). Pollen Dispersion is a Key Factor for Autonomous Fruit Set under High Temperatures in the *Capsicum annuum* 'Takanotsune'. *The Horticulture Journal*, 93(1), 49-57.

BÖLÜM 5

PATLICANGİL SEBZE GRUBUNDA GÜBRELEME STRATEJİLERİ

Zir. Yük. Müh. Ömer ÖZTAŞ^{1*}
Doç. Dr. Özlem ÜZAL²
Prof. Dr. Fikret YAŞAR³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18067493>

*¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Van, Türkiye. omeroztas3065@gmail.com, Orcid ID:0000-0001-9034-5675

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. ozlemuzal@yyu.edu.tr, Orcid ID:0000-0002-1538-820X

*Sorumlu yazar

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. fyasar@yyu.edu.tr, Orcid ID:0000-0001-6598-8580

GİRİŞ

Solanaceae familyası, mutfaklarımızın adeta temel direği haline gelmiş üç sebzeyi; domatesi, biberi ve patlıcanı bünyesinde barındırır. Bu türler, sofralarımıza hem taze halleriyle hem de işlenmiş ürünler olarak çok yoğun bir şekilde girmekte, bu da onları hem üreticiler hem de ticari işletmeler açısından büyük bir ekonomik güç haline getirmektedir. Taksonomik açıdan baktığımızda, *Solanaceae*, dünyanın hemen her köşesine yayılmış, yaklaşık 90 farklı cins ve 2500'den fazla türe ev sahipliği yapan familyadır (Şalk ve ark., 2008). Bu familyanın küresel tarımdaki yeri, üretim rakamlarıyla çok net bir şekilde ortaya konuluyor. 2022 yılı küresel üretim verilerine göre, domates, biber ve patlıcanın toplam üretimi 291.8 milyon ton gibi etkileyici bir hacme ulaşmıştır. Bu toplamın en büyük payı, 194.2 milyon tonluk üretimle domatese aittir. Türkiye, domates üretiminde dünya sıralamasında üçüncü sırada yer almıştır. Benzer şekilde, küresel biber üretiminde (38.3 milyon ton) ve yaklaşık 802 bin ton olarak kayıtlara geçen patlıcan üretiminde de gözlemlenmekte; ülkemiz, her iki kategoride de dördüncü sıradaki yerini korumaktadır (FAO, 2022). Bu veriler, söz konusu bitkilerin dünya tarım sistemi içindeki hayati önemini ve ülkemiz için taşıdığı stratejik değeri tartışmasız bir şekilde gözler önüne sermektedir. Ancak, sadece yüksek verim elde etmek yetmez; aynı zamanda kaliteli ürün yetiştirmek de esastır. Bu da, bitkilerin ihtiyaç duyduğu besinleri yeterli ve dengeli bir şekilde almasıyla doğrudan bağlantılıdır. Dolayısıyla, doğru ve bilimsel temellere dayanan gübreleme uygulamaları, *Solanaceae* yetiştiriciliğinde hem verimliliği hem de ürün kalitesini zirveye taşıyan en temel unsurlardan biridir. Bu derlemede, *Solanaceae* familyasına

mensup domates, biber ve patlıcan bitkilerinin besin gereksinimlerini incelemek ve bu konudaki güncel bilimsel çalışmaları bir araya getirerek bütüncül bir bakış açısı sunmaktır.

1. DOMATES

1.1.Kökeni ve Yayılım Süreci

Domatesin (*Solanum lycopersicum*) genetik kökeninin, Güney Amerika'nın batı kıyılarında, özellikle Peru ve çevresindeki bölgeler olduğu genel kabul görmektedir. Ancak, bu bitkinin anavatanından küresel yayılımının zaman çizelgesi ve güzergâhlarına dair bilgilerde henüz tam bir kesinlik sağlanamamıştır (Şalk ve ark., 2008). Akademik camiadaki tartışmalar, yayılım sürecinin kronolojisi ve yöntemleri hakkında farklı hipotezlerin varlığını sürdürdüğünü ve konunun halen aktif bir araştırma alanı olduğunu göstermektedir.

1.2. Toprak istekleri

Domates, toprak seçimi konusunda şaşırtıcı derecede esnek bir yapıya sahiptir. Ancak, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı, bitkinin gelişim hızını ve nihai verimini belirgin bir şekilde etkiler.

Hafif (Kumlu) Topraklar: Bu tür topraklarda bitki, genellikle daha erken gelişme eğilimi gösterir. Ancak, kumlu toprakların besin ve su tutma kapasitesinin düşüklüğü nedeniyle, çoğu zaman beklenen verimin altında kalınır (Şalk ve ark., 2008).

Ağır Bünyeli (Killi) Topraklar: Killi topraklarda ise ilk gelişim aşaması biraz daha yavaş ilerler. Fakat süreç istikrarlı bir şekilde devam ettiğinde, bitki daha fazla dallanır ve bu da daha yüksek verim

potansiyeli anlamına gelir. Ayrıca, killi topraklarda yetişen domateslerin görsel kalitesinin daha iyi olduğu ve raf ömrünün uzadığı da gözlemlenmiştir (Şalk ve ark., 2008).

1.3. Domatesin Gübreleme Stratejisi ve Yapılan Güncel Çalışmalar

Aşağıda, tarla koşullarında yetiştirilen sofralık domatesler için hazırlanmış örnek gübreleme programları sunulmuştur. Ancak, bu programların sadece birer yol gösterici olduğu unutulmamalıdır. Zira, bir bitkiye uygulanacak en doğru ve en verimli gübreleme programı, ancak yetiştirme yapılacak alandan alınan toprak örneklerinin detaylı ve kapsamlı analizleri sonucunda hazırlanan raporlara dayanarak oluşturulabilir. Burada paylaşılan öneriler, toprakta organik madde ve bazı temel besin elementlerinin eksik olduğu varsayımıyla genel bir çerçeve çizmek amacıyla hazırlanmıştır (Zengin, 2022).

Tablo 1. Tarla Koşullarında Yetiştirilen Domates Bitkisinde, Damla Sulama Sistemi Aracılığıyla Yapılan Gübre Uygulamaları.

Zaman	Dekar (1.000 m ²)
Fide dikimi öncesi toprak hazırlığında taban gübrelemesi	Dekara 100-200 kg leonardit ve 25 kg 6.16.6+(10 SO ₃) +%20 organik madde ve mikro elementle zenginleştirilmiş organomineral kompoze gübre taban gübresi olarak önerilmektedir.
Yaprak gübrelemesi	Çiçeklenme başlangıcında, dekara 300 gr üre (%46 N) ve 150 gr kombine mikro besin karışımı, yayıcı-yapıştırıcı ile birlikte pülverizatörle uygulanmalıdır. Uygulama, serin ve rüzgârsız akşam saatlerinde yapılmalı; ilk uygulama meyve tutumunun erken döneminde başlatılıp, 10 gün arayla iki defa tekrarlanmalıdır.
Meyvelerde görülen çiçek burnu çürüklüğünün engellenmesi ve aynı zamanda hasat sonrası	100 litre suda 1 kg kalsiyum nitrat (15.5 N, %26.5 CaO) eritilir. Hazırlanan bu çözelti, yayıcı-yapıştırıcı eklenerek pülverizatörle özellikle meyvelere püskürtülmelidir.

muhafaza süresinin (raf ömrünün) artırılması için	Uygulamaya meyveler küçükken başlanmalı, serin ve rüzgârsız havalarda, 10 gün arayla 2-3 kez tekrarlanmalıdır.
Mayıs ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	6 kg MAP (%12 N, %61 P ₂ O ₅), 8 L UAN-32 (%32 N), 5 kg magnezyum sülfat (%16 MgO), 2 L Hümik asit, , 0.5 kg çinko sülfat (%23Zn), 0.5 kg mangan sülfat (%27 Mn) ve 0.5 kg Etidot- 67 bor (%20.8B), 1L nitrik asit
Haziran ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	8 kg MAP, 12 L UAN-32, 2 L Hümik asit, 6 kg potasyum sülfat (%50 K ₂ O) 1 L nitrik asit
Temmuz ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	4 kg MAP, 12 L UAN-32, 2 L hümik asit, 9 kg potasyum sülfat, 1L nitrik asit
Ağustos ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	6 L UAN-32, 6 kg potasyum sülfat, 1 L nitrik asit

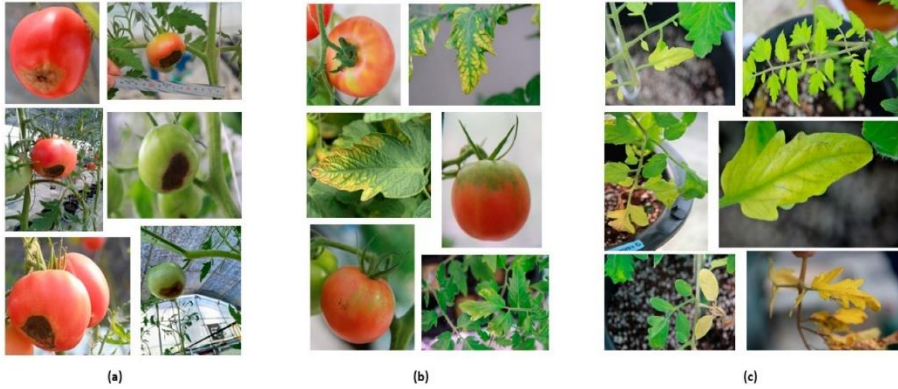
* Mono Amonyum Fosfat (MAP), UAN (Üre Amonyum Nitrat), (Zengin, 2022).

Li ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışmada, sera domatesi yetiştiriciliğinde optimal sulama ve azot dozajlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. İki yıllık deneysel süreçte, sulama seviyeleri kümülatif buharlaşmanın %50, %70 ve %90'ı olarak, azot uygulama oranları ise dört farklı düzeyde (0, 150, 300 ve 450 kg ha⁻¹) standardize edilmiştir. Analizler, sulama rejiminin kümülatif buharlaşmanın %70'i düzeyinde tutulmasının, fotosentetik aktiviteyi ve yaprak alanı indeksini teşvik ederek kök ve meyve biyokütlesinde anlamlı artış sağladığını ve nihayetinde verimde yaklaşık %13.5'lik bir iyileşme kaydettiğini ortaya koymuştur. Azot yönetimi açısından ise, 300 kg ha⁻¹ dozajının, en yüksek verim, su kullanım etkinliği ve azot kullanım etkinliği değerlerini sağladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, sulamanın %70 ve azotun 300 kg ha⁻¹ olarak uygulandığı optimal strateji, domatesin fizyolojik gelişimini maksimize ederek hem verimliliği hem de kaynak kullanım verimliliğini en üst düzeye çıkaran yönetim biçimi olarak tanımlanmıştır.

Suarez ve ark., 2025 yılında gerçekleştirilen çalışmada, biyo-kömür oranı ve gübre kaynağının domatesin büyüme dinamikleri, hayatta kalma oranı, verim ve karlılık üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma bulguları, tavuk gübresi uygulamasının, bitkinin gövde çapı, boyu ve pazarlanabilir ürün miktarında biyo-kömür uygulamasına kıyasla belirgin bir artış sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, biyo-kömürün yüksek dozda (dönüm başına 15-20 ton) kullanımıyla meyve kusurlarında %47'ye varan bir azalma kaydedilmiş, bu da ürün kalitesinin önemli ölçüde iyileştiğini göstermiştir. Ekonomik anlamda ise, tavuk gübresi ile en yüksek biyo-kömür dozunun (dönüm başına 20 ton) birlikte kullanıldığında, 2.08'lik kümülatif fayda-maliyet oranı ile en yüksek karlılık potansiyelinin elde edildiğini işaret etmektedir.

Jing ve ark., (2025)'nın tuz stresi altındaki domatesin optimum N:P:K gübreleme oranının verimini ve kalitesi ile ilgili yaptıkları çalışmada; tuz stresi (2.0 EC) koşulları altında domates meyve kalitesini maksimize etmek ve çevresel etkileri minimize etmek amacıyla, Azot (N), Fosfor (P) ve Potasyum (K) besinlerinin optimum oranlarını belirlemeyi hedeflemiştir. Çalışmada, en yüksek Azot dozu ($8,00 \text{ mmol/L}^{-1}$), bitkinin vejetatif gelişimini desteklemesine rağmen, toprak elektriksel iletkenliğini ve pH'ını yükselterek tek meyve ağırlığını ve kaliteyi düşürmüştür; buna karşın, düşük Fosfor dozu ($0,67 \text{ mmol/L}^{-1}$) ve orta Potasyum dozu ($12,00 \text{ mmol/L}^{-1}$) seviyeleri hem bitki gelişimini hem de kaliteyi olumlu etkilemiştir. Sonuç olarak Azot: Fosfor: Potasyum 'un 2:1,33:12 dozlar uygulandığında domates verimini ve meyvedeki ferulik asit gibi önemli metabolitlerin konsantrasyonlarını artırarak, tuz stresi üzerindeki en etkili dozlar olduğu tespit edilmiştir.

Redoy ve ark.,2025 yılında yaptıkları çalışmada; Altı hafta boyunca yüksek ($100 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$) ve düşük ($10 \text{ mg L}^{-1} \text{ N}$) gübreleme koşulları altında domates fidelerinin büyümesi ve Azot kullanım verimliliği üzerindeki Fulvik Asit (FA) ve Arbusküler Mikorizal Mantar (AMF) bazlı biyostimülanların etkilerini incelemiştir. Düşük Azot seviyesinde uygulamalar arasında anlamlı bir fark gözlenmezken, yüksek Azot koşulu altında AMF'nin tek başına veya Fulvik Asit ile kombinasyon halinde uygulanması, bitkilerde artan canlılık, gelişmiş taze ve kuru biyokütle birikimi ile Azot Alım Verimliliğinde (NUpE) ve görünür Azot Geri Kazanımında (ANR) iyileşme sağlamıştır. Özellikle Fulvik Asit ve AMF'nin birlikte kullanımı, kök bölgesi substratında beta-glukozidaz gibi mikrobiyal hücre dışı enzim aktivitesini belirgin şekilde artırarak taze kök kütlesi birikimini teşvik etmiş ve Azot alımı ile bitki performansı üzerindeki sinerjik etkilerini kanıtlamıştır.



Şekil 1. Besin Eksikliğinin Belirtileri. (a) Kalsiyum Eksikliği; (b) Potasyum Eksikliği; (c) Azot Eksikliği. Ham Görüntüler Farklı Çevresel Koşullar Altında Toplanmış (Tran ve ark.,2019).

2. BİBER

2.1.Kökeni ve Yayılım Süreci

Biber bitkisi, Amerikan kıtasının tropikal ve subtropikal bölgeleri anavatanı olduğu bilinmektedir. Amerika'nın keşfinden sonra, Kristof Kolomb tarafından önce İspanya oradan da 16. yüzyılda Avrupa'ya yayılmaya başlamıştır. Akdeniz çevresi ülkelerde biber yetiştiriciliği popülerlik kazanmış ve buradan 1548 yılında İngiltere'ye ulaşmış ve orta Avrupa'da yetiştirilen önemli bir ürün haline gelmiştir (Şalk ve ark., 2008).

2.2. Toprak İstekleri

Biber yetiştiriciliğinde toprak istekleri fazla seçici olmamakla beraber kumlu veya killi topraklarda yetiştiricilik yapılabilir. İdeal toprak istekleri tınlı topraklar veya kumlu-tınlı ve killi-tınlı topraklardır. Toprağın organik maddece zengin, su tutma kapasitesi yüksek ve havalanabilen topraklar ideal topraklardır. pH' nın 6-7 arasında olması tavsiye edilir (Şalk ve ark., 2008).

2.3. Biberin Gübreleme Stratejisi ve Güncel Çalışmalar

Biber tarımında yüksek verim ve kalite hedefleniyorsa, bitki besleme programının doğru kurgulanması esastır. Biber, vejetatif ve generatif gelişme dönemlerinde yüksek besin ihtiyacı olan bir bitkidir. Bu sebeple, dikim öncesinde mutlaka toprak analizi yapılmalı ve elde edilen sonuçlara göre toprağın eksiklikleri taban gübrelemesi ile giderilmelidir. Büyüme periyodu boyunca ise bitkinin fenolojik evrelerine (fide, çiçeklenme, meyve tutumu vb.) paralel olarak, değişen ihtiyaçlarını

karşılacak şekilde bir üst gübreleme programı titizlikle uygulanmalıdır.

Tablo.2 Tarla Koşullarında Yetiştirilen Biber Bitkisinde, Damla Sulama Sistemi Aracılığıyla Yapılan Gübre Uygulamaları

Zaman	Dekar (1.000 m²)
Fide dikimi öncesi toprak hazırlığında taban gübrelemesi	Dekara 100-200 kg leonardit ve 25 kg 6.16.6+(10 SO ₃) +%20 organik madde ve mikro elementle zenginleştirilmiş organomineral kompoze gübre taban gübresi olarak önerilmektedir.
Yaprak gübrelemesi	Çiçeklenme başlangıcında, dekara 300 gr üre (%46 N) ve 150 gr kombine mikro besin karışımı, yayıcı-yapıştırıcı ile birlikte pülverizatörle uygulanmalıdır. Uygulama, serin ve rüzgârsız akşam saatlerinde yapılmalı; ilk uygulama meyve tutumunun erken döneminde başlatılıp, 10 gün arayla iki defa tekrarlanmalıdır.
Meyvelerde görülen çiçek burnu çürüklüğünün engellenmesi ve aynı zamanda hasat sonrası muhafaza süresinin (raf ömrünün) artırılması için	100 litre suda 1 kg kalsiyum nitrat (15.5 N, %26.5 CaO) eritilir. Hazırlanan bu çözelti, yayıcı-yapıştırıcı eklenerek pülverizatörle özellikle meyvelere püskürtülmelidir. Uygulamaya meyveler küçükken başlanmalı, serin ve rüzgârsız havalarda, 10 gün arayla 2-3 kez tekrarlanmalıdır.
Mayıs ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	5 kg MAP (%12 N, %61 P ₂ O ₅), 10 L UAN-32 (%32 N), 4 kg magnezyum sülfat (%16 MgO), 2 L Hümkik asit, 1 kg demir sülfat (%19Fe) 0.5 kg çinko sülfat (%23 Zn) ve 0.5 kg Etidot- 67 bor (%20.8B), 1L nitrik asit
Haziran ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	7 kg MAP, 10 L UAN-32, 2 L Hümkik asit, 6 kg potasyum sülfat (%50 K ₂ O) 1 L nitrik asit
Temmuz ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	3 kg MAP, 10 L UAN-32, 2 L hümkik asit, 7 kg potasyum sülfat, 1L nitrik asit
Ağustos ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	5 L UAN-32, 7 kg potasyum sülfat, 1 L nitrik asit

* Mono Amonyum Fosfat (MAP), UAN (Üre Amonyum Nitrat), (Zengin, 2022).

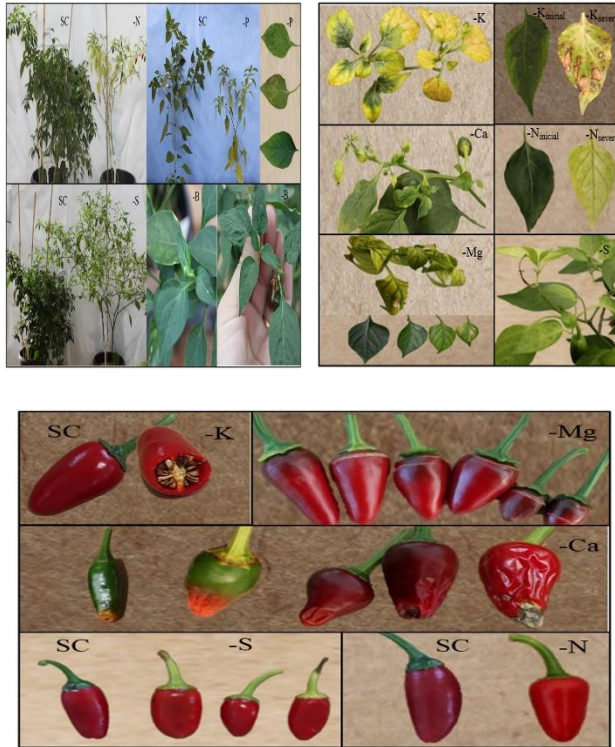
Kartal ve Şahin. 2025'te Mikoriza ve Organik Gübre Uygulamalarının Biber (*Capsicum annuum* L.) Fidelerinin Gelişimi Üzerindeki Etkisi ile ilgili yaptıkları çalışmada; %10, %20 ve %30 oranlarında vermikompost ilave edilerek organik maddenin ve mikorizal simbiyozun kök gelişimine katkısını ölçmek amacıyla, her bir fide ünitesine tohum ekimi öncesinde 1 gram mikoriza inokulumu etkisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, standart besin ihtiyacını karşılamak üzere bazı deneme grupları, elektriksel iletkenliği 1.0 dS/m olarak ayarlanan besin solüsyonu ile düzenli olarak sulanmıştır. Elde edilen bulgular, tekil uygulamaların fide gelişimi üzerinde olumlu etkiler olmasına rağmen, birden fazla uygulamanın bir arada yürütüldüğü gruplarda sağlandığı tespit edilmiştir. Vermikompost, mikoriza ve besin solüsyonun birlikte uygulandığı uygulamalarda gövde çapı parametresi en iyi değer sağladığını belirlenmiştir.

Hossain ve ark.,2025'nin *Capsicum Annuum*'un büyümesini, verimini ve besin değerini artırmak: Mikro besin verimliliğinin ve çeşit performansının değerlendirilmesi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada, Sikarpuri, Sakata-653 ve Picnic adında üç farklı biber çeşidi kullanılmıştır. Bu çeşitlere mikro besin gübreleri üç farklı şekilde verildi: bir gruba gübre toprağa serpildi, diğerine yapraktan sprej olarak uygulandı, üçüncü gruba ise gübrenin yarısı toprağa serpilip diğer yarısı yapraktan sprej olarak verildi. Elde edilen bulgular, en iyi kombinasyonun Picnic biber çeşidine, gübrenin yarısının topraktan, yarısının da yapraktan uygulandığı yöntem olduğu belirlenmiştir.

Yadav ve ark.,2025' te Tatlı biber yetiştiriciliğinde en ideal besleme reçetesini bulmak amacıyla, farklı gübre türleri ve dozları bir arada incelenmiştir. Çalışmada, standart olarak tavsiye edilen kimyasal gübre

dozunun tamamı, %75'i veya %50'si gibi farklı oranlar; hektar başına 20 tonluk geleneksel ahır gübresi; hektar başına 2.5 tonluk solucan gübresi ve bitki köklerini güçlendiren faydalı bakteriler (PGPR) çeşitli kombinasyonlarla uygulanmıştır. Sonuçlar, en iyi sonuçlar, tavsiye edilen tam doz kimyasal gübrenin, 20 ton ahır gübresi ve faydalı bakterilerle birlikte kullanıldığı gruptan geldiğini göstermiştir.

Omar ve ark. 2025'da Organik besin maddeleri ve biyo gübrelerin tatlı biberin vejetatif ve fizyolojik büyümesi üzerindeki etkisi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada; 0, 2 ml/L, 4 ml/L dozları kullanılmıştır. 4 ml/L dozu hem organik besin maddeleri hem de biyo gübre de en iyi sonuçları elde etmiştir.



Şekil 2. Biberde Besin Elementi Noksanlığı (da Silva ve ark., 2019).

3. PATLICAN

3.1.Kökeni ve Yayılım Süreci

Patlicanın anavatanı, iri meyveli tiplerin orijinlerinin Hindistan'dan küçük meyveli tiplerin orijini ise Çin olduğu iddia ediliyor. Patlicanın Çin üzerinden Amerika kıtasına gitmiş olabileceğini belirtenler olduğu gibi Amerika kıtasına gitmiş olabileceğini belirtenler olduğu gibi, Amerika'nın keşfinden sonra Avrupalı göçmenler tarafından götürülmüş olabileceğini düşünülmektedir (Şalk ve ark., 2008).

3.2. Toprak İstekleri

Patlican geniş bir toprak serisinde yetiştirilebilir, fakat en uygun toprak tipi, birçok sebze için olduğu gibi, derin çabuk ısınan kumlu-tın ve kirli-tın yapılı topraklardır. toprak organik maddece zengin ve su tutma kapasitesi yüksek olmalıdır. Optimum toprak pH' sı 5.5-7.2 arasındadır (Şalk ve ark., 2008).

3.3. Patlicanın Gübreleme Stratejisi ve Yapılan Güncel Çalışmalar

Patlican topraktan fazla miktarda besin maddesi kaldırdığı için toprağı iyi analiz edilmesi ve toprakta kullanılabilir besin maddeleri miktarının bilinmesi gerekir (Şalk ve ark., 2008).

Tablo.3 Tarla Koşullarında Yetiştirilen Patlıcan Bitkisinde, Damla Sulama Sistemi Aracılığıyla Yapılan Gübre Uygulamaları

Zaman	Dekar (1.000 m²)
Sonbaharda	İyi yanmış 4 ton ahır gübresi veya 150 kg leonardit ile birlikte 25 kg toz kükürt verilip derin bir sürümle toprak iyi ve karıştırılmalıdır.
Fide dikimi öncesi toprak hazırlığında taban gübrelemesi	150 kg leonardit, 25 kg 6.16.6. + (10 SO ₃) + 20 organik madde ve mikro elementle zenginleştirilmiş organomineral kompoze gübre taban gübresi olarak önerilmektedir.
Yaprak gübrelemesi	Çiçeklenme başlangıcında, dekara 2 hafta ara ile 2-3 kez pülverizatörle dekara 300 gr üre (%46 N) ve 150 gr kombine mikro besin karışımı, yayıcı-yapıştırıcı olarak akşam vakti serin ve rüzgârsız havada püskürtülmelidir.
Meyvelerde görülen çiçek burnu çürüklüğünün engellenmesi ve aynı zamanda hasat sonrası muhafaza süresinin (raf ömrünün) artırılması için	100 litre suda 1 kg kalsiyum nitrat (15.5 N, %26.5 CaO) eritilir. Hazırlanan bu çözelti, yayıcı-yapıştırıcı eklenerek pülverizatörle özellikle meyvelere püskürtülmelidir. Uygulamaya meyveler küçükken başlanmalı, serin ve rüzgârsız havalarda, 7 gün arayla 2-3 kez tekrarlanmalıdır.
Mayıs ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	7 kg MAP (%12 N, %61 P ₂ O ₅), 5 L UAN-32 (%32 N), 2 L Hümkik asit, 1 kg demir sülfat (%19Fe) 0.5 kg çinko sülfat (%23 Zn) ve 0.5 kg Etidot- 67 bor (%20.8B), 1L nitrik asit
Haziran ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	5 kg MAP, 10 L UAN-32, 2 L Hümkik asit, 7 kg potasyum sülfat (%50 K ₂ O) 1 L nitrik asit
Temmuz ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	5 kg MAP, 10 L UAN-32, 2 L Hümkik asit, 7 kg potasyum sülfat, 1L nitrik asit
Ağustos ayında, damla sulama sistemi aracılığıyla	5 L UAN-32, 4 kg potasyum sülfat

* Mono Amonyum Fosfat (MAP), UAN (Üre Amonyum Nitrat), (Zengin, 2022).

Kareem ve ark., 2025 yılında yürüttüğü araştırma, patlıcanın vejetatif büyümesi, verimi ve meyve kalitesi üzerindeki potasyum gübresi uygulamaları ile hümkik asidin yapraktan uygulanması incelemiştir. Çalışma kapsamında, patlıcan için önerilen tam potasyum dozu olan 120

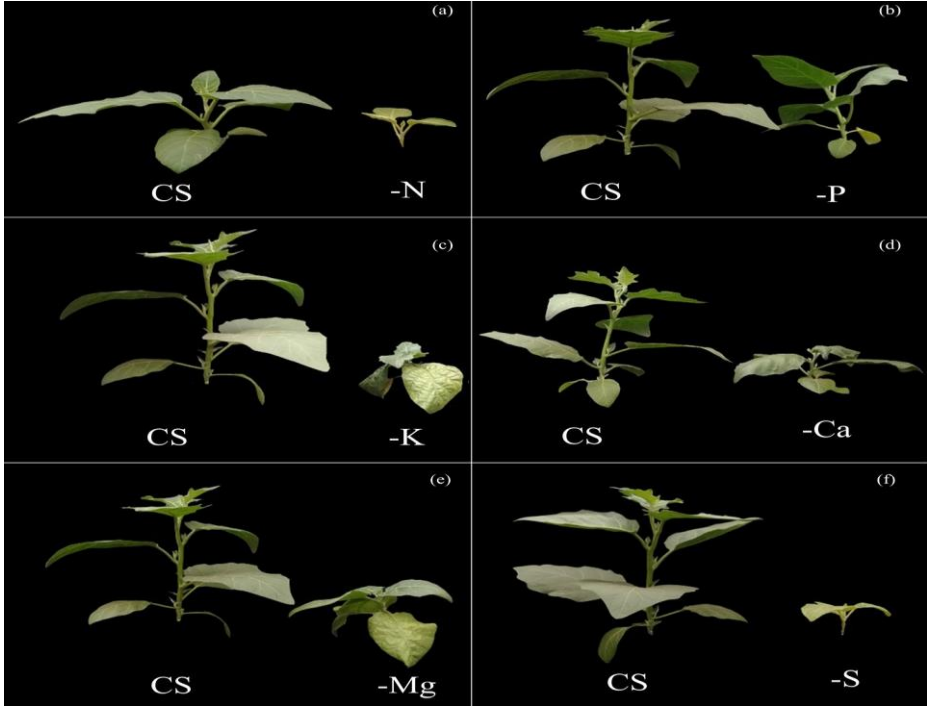
kg K, farklı uygulama stratejilerine tabi tutulmuştur: tek seferde tam doz, ikiye bölünmüş tam doz, tek seferde yarım doz (60 kg K) ve ikiye bölünmüş yarım doz. Buna ek olarak, hümik asit, 0, 5 ve 10 ml L⁻¹ su konsantrasyonlarında yapraktan püskürtme yöntemiyle uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, incelenen tüm parametreler açısından, 120 kg K dozunun iki eşit parçaya bölünerek uygulanması ile 10 ml L⁻¹ konsantrasyonundaki hümik asit uygulamasının istatistiksel olarak en anlamlı üstünlüğü sağladığını net bir şekilde ortaya koymuştur.

Mahardika ve ark., 2025 yılında yürüttükleri çalışması, beyaz patlıcanın (*Solanum melongena* L.) büyüme ve verim performansını, organik gübre ile kükürt (S) ve çinko (Zn) ile zenginleştirilmiş NPK gübresinin farklı dozajları altında incelemiştir. Elde edilen bulgular, her iki gübre tipinin de bitki gelişimini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırdığını göstermiştir. En yüksek vejetatif büyümeyi teşvik eden optimal uygulamalar, 30 ton/hektar organik gübre (O3) ve 600 kg/hektar NPK gübresi (Z3) olarak belirlenmiştir; bu dozlar bitki boyunu 62,95 cm'ye ve yaprak sayısını 14,78'e yükseltmiştir. Generatif gelişim açısından ise, 30 ton/hektar organik gübre uygulaması bitki başına 14,67 meyve verimi sağlarken, 600 kg/hektar NPK gübresi uygulaması bitki başına 56,07 meyve ile en yüksek verim potansiyelini ortaya koymuştur.

Ramadhani ve ark., (2026), patlıcan (*Solanum melongena* L.) bitkisinin büyüme ve verim potansiyelini artırmada deniz yosunu özütü bazlı biyostimülan uygulamasının etkisini ve optimal konsantrasyonunu araştırmıştır. Rastgele Blok Deneme (RBD) deseninde yürütülen bu faktöriyel çalışmada, Ecklonia maxima deniz yosunu özütünden elde edilen ticari bir ürünün dokuz farklı konsantrasyonu (K0: 0.0 ml/L

kontrol grubundan K8: 4.5 ml/L') test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, biyostimülan uygulamasının hem vejetatif hem de generatif parametreler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki yarattığını göstermiştir. En iyi vejetatif özellikler 1.0 ml/L (K1), 1.5 ml/L (K2) ve 2.0 ml/L (K3) konsantrasyonlarında gözlemlenirken, optimal generatif özellikler ve verim artışı 1.0 ml/L (K1), 1.5 ml/L (K2), 2.5 ml/L (K4) ve 4.0 ml/L (K7) konsantrasyonlarında elde edilmiştir. Bu bulgular, deniz yosunu özütü biyostimülanlarının patlıcan yetiştiriciliğinde çevresel stres koşullarına karşı toleransı artırarak ve bitki gelişimini destekleyerek verimliliği önemli ölçüde iyileştirmede etkili bir araç olduğunu teyit etmektedir.

Naisanu., 2025 tarihli çalışması, patlıcan (*Solanum melongena* L.) bitkisinin büyüme ve verim performansını artırmada budama uygulamasının ve NPK gübresinin farklı dozlarının etkileşimini faktöriyel bir desenle incelemiştir. Araştırmada iki ana faktör kullanılmıştır: budama (yapılan/yapılmayan) ve NPK gübresi dozu (0, 10, 15 ve 20 g/bitki). Elde edilen bulgular, budama ve NPK gübrelemesinin patlıcan bitki boyu üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. En üstün sonuçlar, budama uygulamasının ve 20 g/bitki NPK gübre dozunun (P1N3) birleşiminden elde edilmiştir. Bu optimal kombinasyon, bitki boyunu 84.99 cm'ye, yaprak alanını 285.3 cm²'ye, meyve sayısını 96'ya ve meyve ağırlığını 798 g'a ulaştırarak, budama ve yüksek doz NPK gübrelemesinin sinerjik etkisinin patlıcanın hem vejetatif gelişimini hem de ticari verimini maksimize ettiğini kanıtlamıştır.



Şekil.3 Patlıcan Besin Makro Besin Eksikliklerinin Görünümü (Teixeira ve ark., 2021)

SONUÇ

Patlıcangiller familyası (Solanaceae), domates, biber ve patlıcan gibi temel ürünleriyle küresel tarım ve gıda güvenliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu derleme, Patlıcangiller yetiştiriciliğinde verimlilik ve kaliteyi belirleyen gübreleme stratejilerinin, geleneksel yaklaşımlardan hassas ve entegre besin yönetimi ilkelerine doğru evrildiğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Modern tarımsal üretimde başarı, artık yalnızca gübre dozajlarını yükseltmekle değil, kaynak kullanım verimliliğini maksimize eden bütüncül bir yönetim anlayışıyla doğrudan ilişkilidir. Zira, bilimsel araştırmalar, hedeflenen yüksek verim potansiyeline ulaşmanın anahtarının, bitkinin fizyolojik taleplerine uygun, dinamik ve optimize edilmiş uygulama protokollerinden

geçtiğini açıkça göstermektedir. Örneğin, domates yetiştiriciliğinde sulama ve azot dozajlarının kesin hassasiyetle ayarlanması hem nihai verimi hem de su ve azotun geri kazanım etkinliğini zirveye taşımaktadır. Bu durum, gübrelemenin mekanik bir ekleme işleminden, çevresel değişkenler ve bitkinin fenolojik evreleri dikkate alınarak titizlikle yürütülen bir hassas tarım sürecine dönüştüğünün en güçlü göstergesidir. Entegre Besin Yönetimi (EBY) felsefesi, Patlicangiller tarımında tartışmasız bir üstünlük kurmuştur. Mineral gübrelerin yanında, tavuk gübresi ve biyo-kömür gibi organik materyallerin kullanımı, sadece besin sağlamakla kalmayıp, toprak sağlığını iyileştirerek ve meyve kusurlarını azaltarak ürün kalitesini yükseltmektedir. Biberde kimyasal gübrelerin organik gübreler ve faydalı bakteriler (PGPR) ile kombine edilmesiyle elde edilen sinerjik etkiler, EBY'nin verim potansiyelini nasıl katladığını gözler önüne sermektedir. Ayrıca, modern tarımın vazgeçilmezi olan biyostimülanlar, özellikle stres koşulları altında bitkinin canlılığını, biyokütle birikimini ve besin alım verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Mikorizal mantarlar ve Fulvik Asit gibi biyolojik ajanlar, bitkinin doğal savunma mekanizmalarını güçlendirerek ve kök bölgesindeki mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek, gübreleme programlarının etkinliğini maksimize etmede kritik bir rol oynamaktadır. Patlicangiller yetiştiriciliğinde geleceğin stratejisi, toprak analizine dayalı kesinlik ile organik ve biyolojik girdilerin esnek entegrasyonuna dayanmak zorundadır. Bu bilimsel ve bütüncül yaklaşım, sadece birim alandan elde edilen verimi artırmakla kalmayacak, aynı zamanda ürünlerin besin değerini ve raf ömrünü yükselterek, Patlicangillerin ekonomik ve besinsel değerini sürdürülebilir bir şekilde geleceğe taşıyacaktır. Bu

yaklaşım, hem üreticinin karlılığını artıracak hem de tüketicinin sofrasına daha sağlıklı ve kaliteli ürünler sunulmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- da Silva, M.P.S., Mendonça Freitas, M.S., Cesar Santos, P., de Carvalho, A.J.C. & Jorge, T.S. (2019). *Capsicum annuum* var. *annuum* under macronutrients and boron deficiencies: Leaf content and visual symptoms: Journal Of Plant Nutrition, 42 (5), 417-427.
- FAO (2023). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü "The State of Food Security and Nutrition in the World". <https://www.fao.org/publications/home/fao-flagship-publications/the-state-of-food-security-and-nutrition-in-the-world/en> Erişim Tarihi: 04.12.2025.
- Hossain, M. M., Azad, M. A. K., Soren, E. B., Alam, M. N., Ahmed, M. S., Islam, M. S., ... & Monira, S. (2025). Enhancing growth, yield, and nutritional value of *Capsicum annuum*: evaluating micronutrient efficiency and varietal performance. Journal of Agriculture and Food Research, 101945.
- Jing, L., Li, J., Tian, Y., Wu, L., Gao, Y., & Cao, Y. (2025). Optimum N: P: K Ratio of Fertilization Enhances Tomato Yield and Quality Under Brackish Water Irrigation. Plants, 14(16), 2496.
- Kareem, B. S., Naser, M. A., & Issa, F. H. (2025). Effect of Splitting Potassium Fertilizer and Humic Acid on Eggplant Growth, Yield and Quality. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1449, No. 1, p. 012119). IOP Publishing.
- Kartal, H., & Şahin, S. (2025). Mikoriza ve Organik Gübre Uygulamalarının Biber (*Capsicum annuum* L.) Fidelerinin Gelişimi Üzerindeki Etkisi. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 13(2), 398-405.
- Li, H., Gong, X., Han, Q., Zhong, Y., Cui, H., Qiang, X., ... & Liu, H. (2025). Optimal irrigation and nitrogen rate enhancing yield, quality, water

- productivity, and nitrogen use efficiency by promoting physiological growth in greenhouse tomato. *Journal of Plant Nutrition*, 1-23.
- Mahardika, I. B. K., Situmeang, Y. P., & Prakerti, N. L. A. D. (2025). Effects of Organic Fertilizer and Sulfur-and Zinc-Enriched NPK Fertilizer on the Growth and Yield of White Eggplant (*Solanum melongena* L.). *AJARCADE* (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment), 9(3), 328-332.
- Naisanu, J. (2025). Effect of Pruning and NPK Fertilizer Application on Eggplant Plant Growth and Yield (*Solanum melongena* L.). *Journal of Education and Tropical Science*, 1(2), 11-17.
- Omar, S. A., & Fadala, L. T. (2025). Effect of Organic Nutrients and Biofertilizers on Vegetative and Chemo-Physiological Growth of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1538, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.
- Ramadhani, A., Aryodya, A. D. A. F., & Maharani, P. N. (2026). The Effect of Seaweed Extract Biostimulant on Growth and Yield of Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Agricultural Science*, 9(2), 237-258.
- Redoy, M. H., Al Mamun, M., Cooley, A. L., Darby, E., & Islam, T. (2025). Enhancing nitrogen uptake efficiency and tomato plant growth in soilless substrates using fulvic acids and mycorrhizal biostimulants. *Scientia Horticulturae*, 348, 114212.
- Suarez, E., Diaz-Perez, J. C., Acharya, N., Cassity-Duffey, K., Sintim, H. Y., & McAvoy, T. (2025). Biochar rate and fertilizer source influence tomato growth, mortality, yield, and profitability. *Horttechnology*, 35(4), 574-583.
- Şalk, A., Arın, L., Deveci, M. & Polat, S. (2008). Özel sebzecilik. Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi, 448.
- Teixeira, G. C. M., Prado, R. D. M., Oliveira, K. S., Buchelt, A. C., Rocha, A. M. S., & Santos, M. D. S. (2021). Nutritional deficiency in scarlet

eggplant limits its growth by modifying the absorption and use efficiency of macronutrients. Plos one, 16(6), e0252866.

Tran, T. T., Choi, J. W., Le, T. T. H., & Kim, J. W. (2019). A comparative study of deep CNN in forecasting and classifying the macronutrient deficiencies on development of tomato plant. Applied Sciences, 9(8), 1601.

Yadav, P., Kumar, J., Singh, H. S., & Silas, V. J. (2025). Impact of Integrated Nutrient Management on Growth and Yield of Capsicum (*Capsicum annuum* L. var. Grossum). Journal of Experimental Agriculture International, 47(7), 407-412.

Zengin, M. (2022). Bitki Besleme ve Gübreleme, Atlas Akademi Kitabevi, Basım sayısı:1, Sayfa sayısı:307, ISBN:978-605-7839-95-4.

BÖLÜM 6

PATLICANGİLLERE AİT SEBZELERİN YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KİMYASAL GÜBRE İHTİYACININ AZALTMASINDA PGPR VE ALGLERİN ROLÜ

Prof. Dr. Özlem ALTUNTAŞ^{1*}

Arş. Gör. Lale ERSOY¹

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18067562>

¹ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Malatya/TÜRKİYE,
ozlem.altuntas@ozal.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-6508-7368;
lale.ersoy@ozal.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0215-704X

*: Sorumlu yazar

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve sanayileşme süreci, tarım alanlarında verimliliği artırmak için kimyasal gübre kullanımının artmasına yol açmıştır. Günümüzde tarım alanlarında kimyasal gübre kullanımı en üst düzeydedir. Başka bir deyişle, verilen gübre miktarını artırarak verimi artırmak mümkün değildir. Ancak bitkisel üretimde geleneksel yetiştiricilik tamamen kimyasal girdilere bağımlıdır; bu da ekilen tarım arazilerinin uzun yıllar boyunca çoraklaşmasına ve tuzlanmasına, kısacası sağlıklı toprağın kaybolmasına neden olmuştur. Bu nedenle, agronomistler toprak sağlığını korumak için, tarımsal üretim sistemini sürdürülebilir bir şekilde artırmayı destekleyen ve genel çevre sağlığı üzerinde minimum olumsuz etkiye sahip alternatif çevre dostu stratejiler aramaktadır. Ayrıca, son yıllarda iklim değişiklikleri nedeniyle yaşanan kuraklık, toprak iyileştirme çalışmalarını olumsuz etkilemiştir. Birçok bitki türünün kökleri düşük emilim gücüne sahip olduğundan, toprağa uygulanan gübrenin çoğu, bitkiye ulaşmadan önce sulama suyuyla başka bir yere taşınmaktadır. Bu nedenle, bitkilerin emilim gücünü artırmak için yeni yöntemler geliştirmek gerekmektedir. Tarımsal üretimde biyogübre adı verilen faydalı mikroorganizmaların kullanımı, kimyasal gübre uygulamalarına çevre dostu bir alternatiftir. Çevresel etkiyi en aza indiren ve mahsul verimliliğini artıran sürdürülebilir tarım uygulamalarına olan talebin artması nedeniyle kimyasal gübre kullanımını azaltmak için patlıcanlarda biyogübre olarak kullanılan mikroorganizmalar üzerine yapılan araştırmalar, önemli bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmıştır (Sharma ve ark., 2022; Kour, 2024). Son yıllarda, bu alan, öncelikle kimyasal gübrelere odaklanmaktan, besin

maddelerinin kullanılabilirliğini ve bitki sağlığını iyileştiren azot bağlayıcı bakteriler, fosfat çözücü mikroorganizmalar ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) gibi çeşitli mikrobiyal aşı maddelerinin araştırılmasına yol açmıştır (Das, 2019; Mustafa ve ark., 2022). Bu değişim, toprak bozulmasına, sera gazı emisyonlarına ve ekonomik maliyetlere katkıda bulunan ayrıca kimyasal gübrelere olan bağımlılığı azaltma konusundaki acil ihtiyacı ele almaktadır (Hindersah ve ark., 2020; Wang ve ark., 2024). Solanaceae familyasına ait bitkiler, yani domates (*Solanum lycopersicum*), patates (*S. tuberosum*) ve biber (*Capsicum spp.*), küresel sebze üretiminin %20'sinden fazlasını oluşturmaktadır (Licciardello ve ark.,2024).

Küresel olarak, azalan ekilebilir arazi ve iklim değişikliği patlicangiller familyası sebzelerinin yetiştiriciliğine zorluklar getirmekte ve biyogübreleri verim ve kaliteyi sürdürmek için umut verici bir alternatif haline getirmektedir (Sharma ve ark., 2022; Patel ve ark., 2024). Biyogübrelerin kullanımı, istenen toprak mikroorganizmalarının biyolojik aktivitelerini iyileştirmeye yardımcı olur ve bitki büyümesini, verimi ve meyve ve tohumların kalitesini artırmaya yardımcı olur. Ayrıca, biyogübreler ucuz besin kaynaklarıdır, çevre dostudur ve sebze ürünlerinin verimliliğini %2 ila %45 oranında artırma potansiyeline sahiptir (Wani ve ark., 1994). Bakteriler, mantarlar ve algler gibi bu mikroorganizmalar, besin maddelerinin kullanılabilirliğini artırmak, toprak yapısını iyileştirmek ve patojenlere karşı koruma sağlamak için bitkilerle simbiyotik bir ilişki kurarlar. Kimyasal gübrelere sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif olan biyogübeler, dünya çapında önem kazanmaktadır (Sokra ve ark., 2025).

1. PGPR

Kimyasal gübrelerin, pestisitlerin ve aşırı sulamanın yoğun kullanımı toprak sağlığını tehlikeye atmaktadır. Bu uygulamalar biyolojik çeşitliliği ve tarımsal ekosistemlerin dengesini bozarak toprak verimliliğinin ve üretkenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Toprak verimliliği, mikrobiyal aktivite tarafından belirlenir ve mikrobiyal topluluklar organik madde ayrışması, besin döngüsü (örneğin fosfor, azot, kükürt mineralizasyonu), pestisit bozunması ve toprak agregasyonu gibi süreçlerde önemli bir rol oynar (Picariello ve ark., 2021).

Biyolojik çeşitlilik açısından önemli bir bölge olan rizosfer, çeşitli mikroorganizmaları, özellikle bitki büyümesini destekleyen rizobakterileri (PGPR'ler) barındırır (Andy ve ark., 2020). Bitki köklerini kolonize eden ve bitki büyümesini artıran bakterilere bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) denir (Sun ve Shahrajabian, 2025). Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), kök bölgesinde yaşayan ve bitki büyümesini olumlu yönde etkileyebilme yeteneğine sahip bir bakteri grubudur (Sun ve ark., 2019, Wenli ve ark., 2021a,b; Wenli ve ark., 2020).

PGPR'ler; toprak yapısının oluşumuna katkıda bulunma, temel elementlerin döngüsünü sağlama, organik maddelerin ayrışmasını gerçekleştirme, gerçek büyüme düzenleyicilerini üretme, mineral besin maddelerinin çözünürlüğünü artırma, bitki büyümesini uyarma, organik kirleticilerin parçalanmasını sağlama, bitki ve toprak patojenlerinin biyolojik kontrolünü gerçekleştirme, kök gelişimini teşvik etme, ayrıca tuz, kuraklık, ağır metaller ve yüksek konsantrasyonlardaki çeşitli kirleticilere karşı direnç ile düşük sıcaklık toleransı gibi abiyotik

streslere karşı direnç mekanizmalarını aktive etme işlevlerine sahiptir (Soleymani ve Shahrajabian, 2017; Shahrajabian ve Sun, 2022; Shahrajabian ve ark., 2022a,b,c).

PGPR'ler, besin alımını iyileştirerek, fitohormonlar üreterek, fosfatları çözünür hale getirerek ve fitopatojenlere karşı biyolojik mücadele faaliyeti sağlayarak bitki büyümesini destekler (Andy ve ark., 2020). Bununla birlikte, PGPR topluluklarının bileşimi ve işlevselliği, tarım uygulamalarından güçlü bir şekilde etkilenir (Ahmed ve Tariq, 2023). Organik tarım sistemleri, genellikle daha fazla toprak bozulması ve mikrobiyal çeşitlilik kaybıyla ilişkilendirilen geleneksel sistemlere kıyasla, daha yüksek mikrobiyal biyolojik çeşitlilik ve direnç sağlar (Stagnari ve ark., 2014; Masmoudi ve ark., 2023).

Tablo 1. Solanaceae Familyasında Farklı PGPR Suşlarının Etkisi (Sun ve Shahrajabian, 2025)

Mikororgaanizma (PGPR)	Bitki çeşidi	Verim ve Kalite Artışı	Kaynakça
<i>Bacillus sp.</i> M9 <i>Bacillus cereus</i> K46 <i>Bacillus subtilis</i> K47	Habanero tipi biber (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.)	Bitki büyümesi ve gelişimini teşvik ederek sera koşullarında toplam verimi önemli ölçüde yükseltmiştir.	Samaniego-Gómez et al. (2023)
<i>Bacillus spp.</i>	Domates (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	PGPR uygulaması bitkinin kök ve sürgün uzunluğu, biyokütle artışı olumlu yönde etkilemiştir	Singh ve Siddiqui (2010); Terefe ve ark. (2009)
<i>Arthrobacter</i> suşları TF1 ve TF7	Domates (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Bu suşların uygulanması, tuz stresi altında tohum çimlenmesini, fide canlılık indeksini, fide uzunluğunu ve yaş/kuru ağırlıkları anlamlı biçimde artırmıştır.	Fan ve ark., 2016

<i>Arthrobacter sp.</i>	Domates (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Bitki büyümesini teşvik etme potansiyeli yüksek olup, etkili bir biyogübre ve PGPR adayı olarak değerlendirilmiştir.	Banerjee ve ark.,2010
<i>Pseudomonas chlororaphis</i> PA23	Biber (<i>Capsicum annuum</i> L.)	Fidelerinin büyümesini önemli ölçüde artırdı.	Nakkeeran ve ark.,2006

2. MİKROALGLER

Mikroalgler, prokaryotik siyanobakterileri ve ökaryotik mikroorganizmaları (örneğin, yeşil algler ve diyatomlar) kapsayan, mikroskobik ve tek hücreli organizmalardan oluşan oldukça çeşitli bir canlı grubudur (Fernandes ve ark., 2020). Fotosentetik özellikleri sayesinde mikroalgler, karbondioksiti (CO₂) biyokütle ve besin maddeleri, biyoyakıtlar ile çeşitli yüksek katma değerli bileşikler gibi geniş bir ürün yelpazesine verimli bir biçimde dönüştürebilen potansiyel biyoteknolojik hücre fabrikaları olarak değerlendirilmektedir (Osorio-Reyes, ve ark., 2023; Sun ve ark., 2023). Tarımsal uygulamalar açısından mikroalgler, içeriklerinde bulunan zengin mikro ve makro besin elementleri, bitki büyüme düzenleyicileri (fitohormonlar) ve çeşitli biyoaktif bileşikler sayesinde, bitki-toprak mikrobiyomu etkileşimleri yoluyla toprak ekosisteminde olumlu biyokimyasal etkiler oluşturan etkili biyogübre adayları olarak giderek artan bir ilgi görmektedir (Osorio-Reyes, ve ark., 2023). Ayrıca, mikroalglerin fosfor ve azot gibi besin elementlerini etkin bir şekilde geri kazanma ve sınırlı besin koşullarında dahi büyüebilme yetenekleri, sürdürülebilir tarım açısından önemli avantajlar sunmaktadır (De Souza ve ark., 2019). Bununla birlikte, mikroalgler topraktaki organik madde birikimine

katkıda bulunarak toprak yapısının iyileşmesine, nem tutma kapasitesinin artmasına ve genel verimliliğin yükselmesine katkı sağlar. Ürettikleri fitohormonlar, polisakkaritler ve diğer metabolitler aracılığıyla bitki gelişimini desteklemeleri, tarımsal üretim açısından ek faydalar sağlamaktadır (De Souza ve ark., 2019; Guo ve ark., 2020).

Tablo 2. Solanacea Familyasında Mikroalg ve Siyanobakterilerin Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi (Gonçalves ve ark., 2023).

Mikroalg Siyanobakteri	Bitki Türleri	Etkiler	Kaynak
<i>Spirulina platensis</i>	<i>Solanum lycopersicum</i> (Domates) ve <i>Capsicum annuum</i> (Biber)	Bitki büyümesini artırır; kök ağırlığında artış sağlar; boğum sayısı ve boğum boyutlarında artış gözlemlenir.	Elarroussi ve ark.2016)
<i>Monoraphidium sp.</i>	<i>Solanum lycopersicum</i> (Domates)	Topraktan nitrat sızmasını azaltır; bitki büyümesi sentetik gübre uygulamalarıyla karşılaştırılabilir düzeydedir.	Jimenez ve ark., 2020
<i>Arthrospira platensis</i> , <i>Dunaliella salina</i> ve <i>Porphyridium sp.</i>	<i>Solanum lycopersicum</i> (Domates)	Bitki büyümesini teşvik eder; boğum sayısını artırır; karotenoid, klorofil ve protein içeriğini yükseltir.	Rachidive ark.,2020
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Solanum lycopersicum L.</i> (Domates)	Bitki büyümesini ve verimi artırır; makro ve mikro besin elementlerinin bitki tarafından alınabilirliğini yükseltir.	Suchithra ve ark.,2022
<i>Acutodesmus dimorphus</i>	<i>Solanum lycopersicum L.</i> (Domates)	Tohum çimlenmesi, kök ve yaprak	Garcia-Gonzalez ve Sommerfeld, 2016

Mikroalg ve siyanobakteri uygulamaları, toprak sağlığı ve bitki koruma üzerindeki etkilerinin yanı sıra, bitki büyümesi ve gelişimini de teşvik

edebilmektedir. Bu etki; çimlenme oranlarında artış, kök uzunluğunun uzaması, yaprak sayısının çoğalması ve yaprak alanının genişlemesi gibi bitkisel özelliklerdeki iyileşmelerle gözlemlenmektedir (Gonçalves, 2021). Literatürde yer alan çeşitli çalışmalar, Spirulina ve Chlorella temelli gübrelerin bitki gelişimini önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur (Wuang ve ark., 2016).

SONUÇ

PGPR, bitki büyümesini büyüme düzenleyicileri, besin alımının artırılması, patojenlere karşı antagonizm ve azot fiksasyonu gibi çeşitli mekanizmalarla desteklemektedir. Ancak açık alan uygulamalarında etkileri değişken olduğundan, bu mikroorganizmaların etkinliğini artırmak için formülasyon ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Mikroalgler de toprak kalitesini artıran, streslere karşı koruyan ve büyümeyi teşvik eden biyoaktif bileşikler içermektedir; ancak mikroalg bazlı biyogübrelerin başarısı maliyet etkin üretim ve uygun teknolojilere bağlıdır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, A., & Tariq, A. (2023). Rhizosphere: An Ideal Site for PGPR Screening: Rhizosphere: An Ideal Site for PGPR Screening. *Futuristic Biotechnology*, 07-11. <https://doi.org/10.54393/fbt.v3i01.32>.
- Andy, A. K., Masih, S. A., & Gour, V. S. (2020). Isolation, screening and characterization of plant growth promoting rhizobacteria from rhizospheric soils of selected pulses. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 27, 101685.
- Banerjee, S., Palit, R., Sengupta, C., & Standing, D. (2010). Stress induced phosphate solubilization by 'Arthrobacter' Sp. And 'Bacillus' sp. isolated from tomato rhizosphere. *Australian Journal of crop science*, 4(6), 378-383.
- Chi, Y., You, Y., Wang, J., Chen, X., Chu, S., Wang, R., Zhang, X., Yin, S., Zhang, D. & Zhou, P. (2022). Two plant growth-promoting bacterial Bacillus strains possess different mechanisms in affecting cadmium uptake and detoxification of *Solanum nigrum* L. *Chemosphere*. 305:135488. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135488>.
- Garcia-Gonzalez, J., & Sommerfeld, M. (2016). Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. *Journal of applied phycology*, 28(2), 1051-1061.
- Das, H. K. (2019). Azotobacters as biofertilizer. *Advances in applied microbiology*, 108, 1-43.
- De Souza, M. H. B., Calijuri, M. L., Assemany, P. P., de Siqueira Castro, J., & de Oliveira, A. C. M. (2019). Soil application of microalgae for nitrogen recovery: A life-cycle approach. *Journal of cleaner production*, 211, 342-349.
- Elarroussi, H., Elmernissi, N., Benhima, R., El Kadmiri, I. M., Bendaou, N., Smouni, A., & Wahby, I. (2016). Microalgae polysaccharides a promising plant growth biostimulant. *J. Algal Biomass Utiln*, 7(4), 55-63.
- Fan, P., Chen, D., He, Y., Zhou, Q., Tian, Y., & Gao, L. (2016). Alleviating salt stress in tomato seedlings using *Arthrobacter* and *Bacillus megaterium* isolated from the rhizosphere of wild plants grown on saline-alkaline lands. *International journal of phytoremediation*, 18(11), 1113-1121.

- Fernandes, I., Pinto, R., Aguiar, R., & Correia, R. (2020). Perspective Application of the Circular Economy in the Blue Biotechnology: Microalgae as Sources of Health Promoting Compounds. *Glob. J. Nutr. Food Sci*, 3.
- Gonçalves, A. L. (2021). The use of microalgae and cyanobacteria in the improvement of agricultural practices: a review on their biofertilising, biostimulating and biopesticide roles. *Applied Sciences*, 11(2), 871.
- Gonçalves, J., Freitas, J., Fernandes, I., & Silva, P. (2023). Microalgae as biofertilizers: a sustainable way to improve soil fertility and plant growth. *Sustainability*, 15(16), 12413.
- Guo, S., Wang, P., Wang, X., Zou, M., Liu, C., & Hao, J. (2020). Microalgae as biofertilizer in modern agriculture. In *Microalgae biotechnology for food, health and high value products* (pp. 397-411). Singapore: Springer Singapore.
- Hindersah, R., Kamaluddin, N. N., Samanta, S., Banerjee, S., & Sarkar, S. (2020). Role and perspective of Azotobacter in crops production. *SAINS TANAH-Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 17(2), 170-179.
- Jimenez, R., Markou, G., Tayibi, S., Barakat, A., Chapsal, C., & Monlau, F. (2020). Production of microalgal slow-release fertilizer by valorizing liquid agricultural digestate: growth experiments with tomatoes. *Applied Sciences*, 10(11), 3890.
- Kumari, R., Kaur, I., & Bhatnagar, A. K. (2011). Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Journal of Applied Phycology*, 23(3), 623-633.
- Licciardello, G., Doppler, M., Sicher, C., Bueschl, C., Ruso, D., Schuhmacher, R., & Perazzolli, M. (2024). Metabolic changes in tomato plants caused by psychrotolerant Antarctic endophytic bacteria might be implicated in cold stress mitigation. *Physiologia Plantarum*, 176(3), e14352.
- Masmoudi, F., Alsafran, M., Jabri, H. A., Hosseini, H., Trigui, M., Sayadi, S., ... & Saadaoui, I. (2023). Halobacteria-based biofertilizers: a promising alternative for enhancing soil fertility and crop productivity under biotic and abiotic stresses—a review. *Microorganisms*, 11(5), 1248.

- Khan, A. R., Mustafa, A., Hyder, S., Valipour, M., Rizvi, Z. F., Gondal, A. S., ... & Daraz, U. (2022). *Bacillus* spp. as bioagents: uses and application for sustainable agriculture. *Biology*, 11(12), 1763.
- Nakkeeran, S., Kavitha, K., Chandrasekar, G., Renukadevi, P., & Fernando, W. G. D. (2006). Induction of plant defence compounds by *Pseudomonas chlororaphis* PA23 and *Bacillus subtilis* BSCBE4 in controlling damping-off of hot pepper caused by *Pythium aphanidermatum*. *Biocontrol Science and Technology*, 16(4), 403-416.
- Osorio-Reyes, J. G., Valenzuela-Amaro, H. M., Pizaña-Aranda, J. J. P., Ramírez-Gamboa, D., Meléndez-Sánchez, E. R., López-Arellanes, M. E., ... & Martínez-Ruiz, M. (2023). Microalgae-based biotechnology as alternative biofertilizers for soil enhancement and carbon footprint reduction: Advantages and implications. *Marine Drugs*, 21(2), 93.
- Kour, D., Rana, K. L., Yadav, A. N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., ... & Saxena, A. K. (2020). Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 23, 101487.
- Patel, B. H., Trivedi, R., & Bergi, J. (2024). Application of Phototrophic Microorganisms as Biofertilizer Isolated from South Gujarat, India. *Asian Research Journal of Agriculture*, 17(2), 324-335.
- Picariello, E., Baldantoni, D., Muniategui-Lorenzo, S., Concha-Graña, E., & De Nicola, F. (2021). A synthetic quality index to evaluate the functional stability of soil microbial communities after perturbations. *Ecological Indicators*, 128, 107844.
- Rachidi, F., Benhima, R., Sbabou, L., & El Arroussi, H. (2020). Microalgae polysaccharides bio-stimulating effect on tomato plants: Growth and metabolic distribution. *Biotechnology reports*, 25, e00426.
- Samaniego-Gámez, B. Y., Valle-Gough, R. E., Garruña-Hernández, R., Reyes-Ramírez, A., Latournerie-Moreno, L., Tun-Suárez, J. M., ... & Moreno-Valenzuela, O. A. (2023). Induced systemic resistance in the *Bacillus* spp.—*capsicum chinense* Jacq.—PepGMV interaction, elicited by defense-related gene expression. *Plants*, 12(11), 2069.
- Shahrajabian, M. H., Cheng, Q., & Sun, W. (2022). The effects of amino acids, phenols and protein hydrolysates as biostimulants on sustainable crop

- production and alleviated stress. *Recent Patents on Biotechnology*, 16(4), 319-328.
- Shahrajabian, M. H., & Sun, W. (2022). Sustainable approaches to boost yield and chemical constituents of aromatic and medicinal plants by application of biostimulants. *Recent Advances in Food Nutrition & Agriculture*, 13(2), 72-92.
- Shahrajabian, M. H., Cheng, Q., & Sun, W. (2023). Using bacteria and fungi as plant biostimulants for sustainable agricultural production systems. *Recent Patents on Biotechnology*, 17(3), 206-244.
- Shahrajabian, M. H., Sun, W., & Cheng, Q. (2022). The importance of flavonoids and phytochemicals of medicinal plants with antiviral activities. *Mini-Reviews in Organic Chemistry*, 19(3), 293-318.
- Sharma, M., Delta, A. K., Brar, N. S., Yadav, A., Dhanda, P. S., Baslam, M., & Kaushik, P. (2022). Rhizophagus irregularis and Azotobacter chroococcum uphold eggplant production and quality under low fertilization. *International Journal of Plant Biology*, 13(4).
- Singh, P., & Siddiqui, Z. A. (2010). Biocontrol of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by the isolates of *Bacillus* on tomato. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 43(6), 552-561.
- Sokra, I., Meta, H., Chanra, R., Linan, H., Pang, T., & Sarun, H. (2025). Optimizing glucose utilization in *Trichoderma asperellum* wild-type (wt) to promote growth and efficiency in treating cashew wounds after pruning. *Journal of Agriculture and Technology*, 1(1), 1-12.
- Soleymani, A., & Shahrajabian, M. H. (2017). Effects of planting dates and row distance on sugar content, root yield and solar radiation absorption in sugar beet at different plant densities. *Romanian Agricultural Research*, (34).
- Stagnari, F., Perpetuini, G., Tofalo, R., Campanelli, G., Leteo, F., Della Vella, U., ... & Pisante, M. (2014). Long-term impact of farm management and crops on soil microorganisms assessed by combined DGGE and PLFA analyses. *Frontiers in microbiology*, 5, 644.
- Suchithra, M. R., Muniswami, D. M., Sri, M. S., Usha, R., Rasheeq, A. A., Preethi, B. A., & Dineshkumar, R. (2022). Effectiveness of green microalgae as biostimulants and biofertilizer through foliar spray and soil

- drench method for tomato cultivation. *South African Journal of Botany*, 146, 740-750.
- Wenli, S., Shahrajabian, M. H., & Huang, Q. (2020). Soybean seeds treated with single walled carbon nanotubes (SwCNTs) showed enhanced drought tolerance during germination. *Int. J. Adv. Biol. Biomed. Res.*, 8, 9-16. Sun W, Shahrajabian MH
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Cheng, Q. (2019). The insight and survey on medicinal properties and nutritive components of shallot. *Journal of Medicinal Plants Research*, 13(18), 452-457.
- Wenli, S., Shahrajabian, M. H., & Cheng, Q. I. (2021a). Nitrogen fixation and diazotrophs—a review. *Rom Biotechnol Lett*, 26(4), 2834-2845.
- Wenli, S, Shahrajabian, M. H., & Cheng, Q. (2021b). Archaea, bacteria and termite, nitrogen fixation and sustainable plants production. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(2), 12172-12172.
- Sun, W., & Shahrajabian, M. H. (2025). Biostimulant and beyond: *Bacillus* spp., the important plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)-based biostimulant for sustainable agriculture. *Earth Systems and Environment*, 1-34.
- Sun, Z., Chen, H., Sun, L., & Wang, Q. (2023). Converting carbon dioxide to high value-added products: Microalgae-based green biomanufacturing. *GCB Bioenergy*, 15(4), 386-398.
- Terefe, M., Tefera, T., & Sakhuja, P. K. (2009). Effect of a formulation of *Bacillus firmus* on root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infestation and the growth of tomato plants in the greenhouse and nursery. *Journal of invertebrate pathology*, 100(2), 94-99.
- Wang, T., Xu, J., Chen, J., Liu, P., Hou, X., Yang, L., & Zhang, L. (2024). Progress in microbial fertilizer regulation of crop growth and soil remediation research. *Plants*, 13(3), 346.
- Wani, S. P., & Lee, K. K. (1992). Role of biofertilizers in upland crop production. *Fertilisers, organic manures, recyclable wastes and biofertilisers*. (Ed. HLS Tandon) pp, 91-112.
- Wuang, S. C., Khin, M. C., Chua, P. Q. D., & Luo, Y. D. (2016). Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal research*, 15, 59-64.

BÖLÜM 7

PATLICANDA BİYOTİK STRESLERE KARŞI ÇOKLU DAYANIKLILIK GENLERİNİN MOLEKÜLER YAKLAŞIMLARLA BELİRLENMESİ VE ISLAH PROGRAMLARINA ENTEGRASYONU

Zir. Müh. Yağmur KALETÜRK¹

Doç. Dr. Hayat TOPÇU²

Prof. Dr. Murat DEVECİ^{1*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18067580>

^{11*}Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, yagmurkaleturk0@gmail.com, Orcid ID: 0009-0003-9316-5823; muratdeveci@nku.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3675-9062

²Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, hayattopcu@nku.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3108-4393

*Sorumlu yazar

GİRİŞ

Solanaceae familyası (Patlıcangiller) yaklaşık 90 cinse dağılmış, 3000-4000 arasında tür içeren büyük bir bitki topluluğudur (Gebhardt, 2016; Geboloğlu ve Ellialtıoğlu, 2022). *Solanaceae* üyeleri, çoğunlukla Güney Amerika'da yoğunlaşmış, dünyanın her tarafında yayılmışlardır. Birçok bitkinin yenilebilir ya da içilebilir olması (örneğin *Capsicum* (biber), *Physalis philadelphica* (tomatillo), *Lycopersicon esculentum* (domates), *Solanum melongena* (patlıcan) ve *Solanum tuberosum* (patates) ve kötü dumanlı *Nicotiana tabacum* (tütün)) familyanın ekonomik önemini oluşturur (Simpson, 2012). Ayrıca patlıcan, zengin antioksidan içeriği ve diyet lifi ile insan sağlığına katkı sağladığı bildirilmiştir (Silva ve ark., 2020). Özellikle karotenoidler, fenolik bileşikler ve klorojenik asit açısından yüksek içeriğe sahip olan patlıcan, serbest radikallerle savaşmada ve kronik hastalık riskini azaltmada etkili bir sebze olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, patlıcanın farklı renk ve çeşitleri, besin değerini çeşitlendirmekte ve farklı mutfak kültürlerinde yaygın kullanımını desteklemektedir.

2023 yılı itibarıyla FAO'nun (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) verilerine göre, dünya genelinde patlıcan üretimi yaklaşık 61 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin büyük bir kısmı Çin ve Hindistan kaynaklıdır. Çin, dünya üretiminin yaklaşık %64'ünü, Hindistan ise %21'ini karşılamaktadır. Türkiye, dünya genelinde patlıcan üretiminde dördüncü sırada yer almaktadır. 2023 yılı itibarıyla Türkiye'nin patlıcan üretimi yaklaşık 832.938 ton olarak kaydedilmiştir (FAO, 2025). Türkiye'de patlıcan üretimi, özellikle Ege ve Marmara bölgelerinde yoğunlaşmış olup hem iç tüketim hem de ihracat için önemli bir

ekonomik değer taşımaktadır. Kültürel olarak da patlıcan, Türk mutfağında çeşitli yemeklerde temel bir sebze olarak yer almakta, tüketici talebinin yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır (TÜİK, 2025).

Patlıcan (*Solanum melongena* L.), ekonomik açıdan değerli bir sebze olup yaklaşık 1500 yıldır kültürü yapılmasına (Gebhardt ,2016) rağmen hem biyotik hem de abiyotik stres koşullarının baskısı altında yetiştirilmektedir (Doganlar ve ark., 2002; Alas ve ark., 2022). Bu stres faktörleri önemli verim kayıplarına yol açarken, özellikle bakteriyel ve fungal solgunluk hastalıkları ile kök-ur nematodlarına karşı duyarlıdır.

Fungal ve bakteriyel ajanlar kök ve damar dokularını hedef alırken, nematodlar bitkinin su ve besin alımını engelleyerek dolaylı verim kayıplarına yol açmaktadır. Ayrıca bu biyotik etmenler, patlıcanın meyve kalitesini de düşürmekte ve ekonomik kayıpları artırmaktadır. Bu stres faktörleri, bitkide fotosentez etkinliğini, su ve besin iletimini, büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkileyerek ciddi ürün kayıplarına yol açar. Patlıcan gibi geniş üretim alanına sahip türlerde, biyotik streslerin etkisi özellikle fungal, bakteriyel, viral ve insekt kaynaklı hastalık ve zararlılar üzerinden ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle biyotik stres faktörlerinin tanımlanması ve dayanıklı genotiplerin geliştirilmesi, sürdürülebilir üretim için kritik öneme sahiptir. Bu etmenler, tek başlarına veya birlikte enfeksiyon oluşturarak bitki sağlığını ciddi şekilde tehdit eder. Günümüzde entegre hastalık yönetimi ve dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, bu biyotik streslerle mücadelede en etkili yaklaşımlar olarak ön plana çıkmaktadır.

Geleneksel ıslah yöntemleri, bu tür kompleks ve çoklu stres faktörlerine karşı dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesinde zaman alıcı ve sınırlı

kalmaktadır. Gelişen teknoloji ile moleküler markörlerin kullanımının artması ile daha kısa sürede daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir (Semagn ve ark., 2006). Özellikle moleküler markörler ile biyotik ve abiyotik strese dayanıklı bitkilerin belirlenmesi, ıslah sürecinin kısaltılmasında oldukça önemli bir role sahiptir (Kanlıtepe ve ark., 2010). Doğal dayanıklılık genleri, hastalıkların kontrolünde en çevre dostu yöntemdir. Son yıllarda gerçekleştirilen QTL (Kantitatif Özellik Lokusu) haritalama, GWAS (Genom Çapında İlişkilendirme Çalışmaları), BSA-seq (Bulk segregant Analizi) ve transkriptom analizleri, patlıcanda dayanıklılık gen bölgelerinin ortaya çıkarılmasına önemli katkılar sağlamıştır (Geboloğlu ve Ellialtıoğlu, 2022). SSR (Simple sequence repeats), SNP (Single Nucleotide polymorphism), SCAR (Sequence Characterized Amplified Region) ve CAPS (Cleaved Amplified Polymorphic Sequences) gibi markör tipleri; dayanıklılık genlerinin hızlı bir şekilde belirlenmesinde ve MAS (Markör Destekli Seleksiyon) uygulamalarında başarıyla kullanılmaktadır (Collard ve Mackill, 2008).

Bugüne kadar pek çok bitki türünde biyotik stresle ilgili moleküler çalışma mevcuttur. Örneğin; Domateste (*Solanum lycopersicum*), domates sarı yaprak kıvrıcıklık virüsü (TYLCV) dayanıklılığını sağlayan Ty-3 geni başta olmak üzere direnç genleri, SCAR ve HRM (Yüksek Çözünürlüklü Erime Eğrisi Analizi) gibi markörler kullanılarak ıslah materyaline hızla aktarılmış, böylece dayanıklı hibrit çeşitlerin geliştirilmesi hızlanmıştır (Jung ve ark., 2015). Benzer şekilde Patateste (*Solanum tuberosum* L.), yabani akraba türlerinden elde edilen genetik çeşitlilik kullanılarak, geç yanıklık (Ph genleri) ve patates virüsü X

(PVX) gibi önemli biyotik stres faktörlerine karşı dayanıklılık genleri SSR ve SNP markörleri aracılığıyla kültür çeşitlerine başarıyla aktarılmıştır; bu da hastalıklara dayanıklı çeşit geliştirme çalışmalarını hızlandırmıştır (Arvas ve ark., 2018; Relatives, 2011).

Ayrıca, yabani *Solanum* türleri, biyotik streslere karşı önemli genetik kaynaklar olarak değerlendirilmektedir. Bu türlerin kültür formlarıyla melezlenmesi, yeni ve dayanıklı hatların geliştirilmesinde potansiyel sağlamaktadır (Acquaah, 2007).

Ayrıca, patlıcanın farklı genotipleri ve kültivarları, değişen iklim koşullarına karşı farklı dayanıklılık seviyeleri sergileyerek ıslah programları için zengin bir genetik kaynak oluşturmaktadır. Bu durum hem sürdürülebilir üretim hem de kaliteli ve güvenli gıda arzı açısından kritik önem taşımaktadır. İşte bu derlemede amaç; Patlıcanın küresel tarım ve beslenme ekonomisindeki vazgeçilmez yerini vurgulamakla birlikte, fungal, bakteriyel ve viral ajanlar ile böcekler ve nematodlar gibi temel biyotik stres faktörlerinin neden olduğu verim ve kalite kayıplarına karşı geliştirilen güncel genetik stratejileri kapsamlı bir şekilde incelemektir; bu kapsamda, tek genli direncin ötesine geçerek sürdürülebilir koruma sağlayan gen piramitlemesi yaklaşımının moleküler temellerini, QTL/GWAS (Quantitative trait locus/ genome-wide association) haritalama ve RNA-seq (RNA Sequencing) analizleri gibi modern genomik metodolojileri detaylandırmak, Türkiye'deki uygulamalı ıslah programlarının gen kaynaklarını ve fenotipleme protokollerini değerlendirmek ve son olarak CRISPR/Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) ve Pangenom gibi geleceğin teknolojilerinin patlıcanda biyotik streslere karşı kalıcı ve

geniş spektrumlu dirençli çeşitlerin geliştirilmesindeki kritik rolünü ortaya koymaktır.

1. PATLICANDA TEMEL BİYOTİK STRESLER

Patlıcan üretimi hem tarımsal verim hem de ürün kalitesi açısından çeşitli biyotik ajanların baskısı altındadır. Biyotik ajanlar, bitkilerde doğrudan veya dolaylı olarak hastalık ve zarara yol açan canlı organizmalardır ve fungal, bakteriyel, viral patojenler ile böcekler gibi çeşitli gruplardan oluşur. Bu etmenler, tek başlarına veya birlikte enfeksiyon oluşturarak bitkinin büyümesini, meyve gelişimini ve verimini önemli ölçüde olumsuz etkileyebilir.

1.1. Patlıcanda Fungal Hastalıklar

Patlıcan verimliliği çeşitli toprak kaynaklı patojenlerden ciddi şekilde etkilenir; bunlar arasında solgunluk hastalığının başlıca etkeni *Fusarium oxysporum* ve *Fusarium solani* bulunur (Sarnaik ve ark., 2025). Toprak kökenli olan hastalık, bitki artıklarında ve toprakta uzun yıllar canlı olarak kalabildiğinden, şartlar hastalık için uygun olduğunda gelecek yıl ekilen yeni bitkide de solgunluk görülebilir (Tutar ve Erkılıç, 2016). Bunun yanı sıra, patlıcanda kök çürüklüğüne ve yaprak lekelerine yol açan *Phytophthora capsici* ve *Rhizoctonia solani* gibi diğer fungal ajanlar da önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Bhat ve ark., 2021). *Alternaria solani* ve *Colletotrichum* türleri ise özellikle meyve ve yaprak dokularında leke ve çürüklük oluşturarak, hastalığın ilerlemesiyle verimde ciddi düşüşler meydana getirir (Haider, 2020). Ayrıca *Verticillium dahliae*, bitki köklerinden giriş yaparak iletim dokularına ulaşır ve damar tıkanıklığı yoluyla bitkide solgunluk, yaprak dökülmesi

ve büyüme geriliğine neden olur; enfeksiyon özellikle toprak sıcaklığı ve nemi uygun olduğunda hızla yayılır ve hastalığın şiddetini artırır (Fradin ve Thomma, 2006).

Toprak kaynaklı solgunluk mantarı patojeni *Verticillium dahliae* Kleb. (VT) tarafından neden olunan *Verticillium* solgunluğu, ülkemizin patlıcan yetiştirme alanlarında üretimi sınırlayan en önemli bitki hastalıklarından biridir (Çolak Ateş, 2020; Altınok ve ark., 2012; Derviş ve ark., 2009; Uslu-Kıran ve ark., 2007). *Verticillium dahliae* Kleb., toprağa bulaşan bir mantar patojenidir ve 10 yıldan fazla bir süre boyunca toprakta mikrosclerotia formunda kalarak solgunluğa neden olur; enfekte olmuş bitkilerin iletim demetlerini tıkar (Agrios, 2005). Enfekteli bitkilerde ksilemde gözlenen kahverengileşme, *Fusarium* solgunluğunda floem dokusuna kadar ulaşabilirken, *Verticillium* solgunluğunda ksilem dokusuyla sınırlı kalmaktadır (Stravato vd., 1993; Altınok ve Kamberoğlu, 2005; Altınok ve ark., 2012). *V. dahliae*, patlıcan yetiştirilen bölgelerde yaygındır ve konakçı bitkilerde semptomlarını belirlemek zordur; patojen diğer solgunluk patojenleriyle kolayca karıştırılabilir (Agrios, 2005).

Fusarium oxysporum ile mücadelede; enfekteli olmayan toprak ve bitki ile kimyasal fungusit kullanımı, ekim nöbeti veya dayanıklı çeşit kullanımı başlıca yöntemlerdir (Agrios, 1988; Jones ve ark., 1982; Simith ve ark., 1988; Boyacı ve Abak, 2008). Ayrıca biyolojik kontrol ajanları, örneğin *Trichoderma* türleri ve yararlı bakteri şuşları, patlıcan kök sistemini koruyarak fungal patojenlerin etkisini azaltmada etkili olmaktadır (El-Deriny ve ark.,2024). Hastalık yönetiminde toprak

drenajının iyileştirilmesi, uygun sulama teknikleri ve kültürel önlemler de verim kayıplarını minimize etmek için önemlidir.

Kültürel önlemler ve kimyasal mücadele, *V. dahliae*'ye karşı çok etkili değildir ve bu yöntemler kalıcı ve ekonomik değildir. Bu nedenle, *V. dahliae*'nin uygun kontrolü, kimyasal kontrolün diğer hedef olmayan canlılar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltan organik ve entegre tarım sistemleri dahil olmak üzere alternatif yaklaşımlar gerektirir (Çolak ve ark., 2018; Çolak, 2020). Günümüzde ıslah çalışmaları öncelikle dayanıklı ve dirençli çeşitlerin geliştirilmesine yöneliktir. Kimyasal kontrolün olumsuz etkileri nedeniyle güvenilir direnç kaynaklarına acilen ihtiyaç duyulmaktadır (Scott, 2005).

1.2. Patlıcanda Bakteriyel Hastalıklar

Ralstonia solanacearum, patlıcan ve domates gibi önemli sebze bitkileri de dahil olmak üzere çok sayıda bitkide öldürücü bir bakteriyel solgunluk hastalığına neden olur (Phukan ve ark., 2019). Bakteriyel solgunluk hastalığı, neden olduğu *R. solanacearum*, 54 botanik aileden 450'den fazla türü etkileyen çok sayıda bitki türü için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. (Manda ve ark., 2020). Toprak kaynaklı bir bakteridir. Doğal koşullar altında, bu patojen konukçu bitkileri kök yoluyla enfekte eder, ksilem damarlarında kolonize olur ve daha sonra konukçularında solmaya neden olacak şekilde sistemik olarak yayılır (Genin, 2010).

Dirençli çeşitlerin yetiştirilmesi ve teşvik edilmesi, bakteriyel solgunluğu yönetmenin en etkili yöntemlerinden biridir. Dirençli genlerin QTL (kantitatif özellik lokusu) haritalamasının yapılması,

bakteriyel solgunluğa karşı bitki direncinin üremesini önemli ölçüde artırabilir (Xiao ve ark., 2024)

1.3. Patlıcanda Viral Hastalıklar

Viral hastalıklara karşı kimyasal mücadelenin olmaması, patlıcan üretiminde bu hastalıkların önemini artırmaktadır (Fidan ve Sarıkaya, 2020). Patlıcanda viral hastalıklar hem verim kaybına hem de ürün kalitesinde düşüşe yol açarak ekonomik zararlar oluşturur. Özellikle meyvelerde deformasyon, nekroz ve renk değişiklikleri sıkça gözlenmektedir (Fidan ve Sarıkaya, 2020).

Bemisia tabaci (beyaz sinek), patlıcanda en yaygın viral vektörlerden biridir ve çok sayıda virüs cinsine vektörlük yapabilmektedir. Bu virüslerden kaynaklanan hastalıklar, ürünlerde verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Taşınma şekilleri farklılık gösteren Begomovirus, Crinivirus, Ipomovirus, Carlavirus ve Torradovirus cinslerine ait virüsler, beyazsinekler aracılığıyla bitkiden bitkiye taşınmaktadır (Lapidot ve Polston, 2010).

Patlıcanda En Yaygın Viral Etmenlerden Bazıları Şunlardır:

- *Tomato spotted wilt virus* (TSWV, *Tospovirus*): Yapraklarda mozaik, nekroz ve meyve deformasyonuna neden olarak ciddi verim kayıplarına yol açar (Best, 1968).
- *Cucumber mosaic virus* (CMV, *Cucumovirus*): Patlıcanda yaprak sararması, küçülme ve meyve kalitesinde bozulmaya yol açar (Yin ve ark., 2024).

- *Potato virus Y* (PVY, *Potyvirus*): Yapraklarda mozaik, buruşukluk ve büyüme geriliği ile verim kaybı meydana getirir (Mostafa ve Hossain, 2024).

Virall hastalıkların kontrolü genellikle kültürel önlemler ve dayanıklı çeşitlerin kullanımına dayanmaktadır. Örneğin, temiz tohum ve fidelerin kullanılması, enfekte bitkilerin tarladan uzaklaştırılması, beyazsinek popülasyonunun biyolojik veya mekanik yollarla kontrol edilmesi etkili yöntemler arasında yer alır (Fidan ve Sarıkaya, 2020; Janssen ve Ruiz, 2016). Ayrıca, moleküler markör destekli seleksiyon (MAS) ve genetik kaynaklardan yararlanılarak dayanıklı patlıcan çeşitlerinin geliştirilmesi, viral hastalıkların uzun vadeli yönetiminde kritik öneme sahiptir (Lin ve ark., 2025).

1.4. Patlıcanda Zararlılar

Patlıcanda önemli zararlılar arasında yer alan *Tuta absoluta* (domates güvesi), yaprak bitleri (*Aphis gossypii* ve *Myzus persicae*), kırmızı örümcek (*Tetranychus urticae*) ve beyazsinek (*Bemisia tabaci*) bulunmaktadır.

Yaprak Bitleri (*Aphis gossypii*)

Yaprak bitleri özellikle seracılık ve açık alanda patlıcan üretimi için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae), yüksek çoğalma hızı, çoklu konukçu yapısı ve virüsleri vektörleme kapasitesiyle dikkat çeker. Bu böcekler bitkinin yaprak, gövde ve genç sürgünlerinde özsuyu emerek beslenir; bu durum yaprak kıvrılması, sararma, yaprak dökülmesi ve bitki gelişiminin gerilemesiyle sonuçlanabilir (Blackman ve Eastop, 2000). Ayrıca yaprak bitleri

tarafından taşınan virüsler (örneğin PVY, CMV) üretimde ciddi kayıplar oluşturabilir (Ziegler- Graff, 2020).

Kırmızı Örümcek (*Tetranychus urticae*):

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae), sıcak ve kuru koşullarda hızla popülasyon oluşturabilen bir akar zararlıdır. Patlıcanda yaprak altı yüzeylerinde kolonileşir; yaprak özsuyu emilimi sonucunda yapraklar bronzlaşır, bronz lekeler oluşur, erken dökülme gerçekleşir ve meyve tutumu azalabilir (Sandeep ve ark., 2024). Türkiye’de yapılan seracılık çalışmaları, *T. urticae*’nin özellikle yaz dönemi sera koşullarında yoğun olarak bulunduğunu ve ekonomik zarar eşiklerinin aşıldığını göstermiştir (Göksel, 2023). Ayrıca, aşırı sıcak ve düşük nem koşulları akarın gelişimini teşvik etmektedir (Abdallah ve ark., 2019).

Yönetim stratejileri olarak biyolojik kontrol (örneğin *Phytoseiulus persimilis* kullanımında başarı bildirilmiştir), yapışkan tuzaklar ve entegre akar yönetimi öne çıkar. Islah açısından, yaprak yapısı ve bitki fizyolojisiyle ilişkili tolerans genlerinin tanımlanması önerilmektedir.

***Tuta absoluta* (Domates Güvesi)**

Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae), ilk olarak domateste büyük kayıplara yol açan, ancak ardından sebze kültürlerinde, özellikle *Solanum melongena* (patlıcan) gibi Solanaceae üyelerinde alternatif konukçu olarak yaygınlaşan bir zararlıdır. Larvalar yaprak, sürgün ve meyve dokularında galeriler açarak doğrudan beslenme sonucu fotosentez kapasitesini azaltır, yaprak dökülmesine neden olur ve meyve tutumunu engeller (Desneux ve ark., 2010; Chen ve ark., 2023). Bu

durum, özellikle tedbir alınmadığında %80–100’e varan verim kayıplarına yol açabilir (Chen ve ark., 2023).

Patlıcanda bu türün davranışı üzerine güncel çalışmalarda, *T. absoluta*’nın patlıcan üzerinde domatese eşdeğer ya da daha yüksek üreme kapasitesine sahip olabileceği gösterilmiştir (Aslan ve ark., 2025). Bu bulgu, patlıcan üretiminde bu zararlının öneminin daha yüksek olduğunu ve kontrol önlemlerinin sadece domates için değil patlıcan için de mutlaka düşünülmesi gerektiğini vurgular.

Türkiye’de ise zararlının ilk kaydı domates bitkisinde yapılmış, ardından sebze seralarında ve açık alanlarda patlıcan da dahil olmak üzere Solanaceae türlerinde görülmüştür (Kılıç, 2010). Bu yayılım hem sera hem de açık alanda üretim yapan patlıcan yetiştiriciliği için bir uyarı niteliğindedir.

Kontrol stratejileri bakımından; galerilerin erken fark edilmesi, feromon tuzakları, biyolojik kontrol ajanlarının entegrasyonu ve tolerant/dirençli hatların geliştirilmesi önerilmektedir. Patlıcanda ıslah açısından, larval saldırıya karşı yaprak ve sürgün yapısının özellikleri (örneğin kalınlığı, tüy yoğunluğu) değerlendirilmiş olup, bu özelliklerin dayanıklılık geliştirmede hedef alınabileceği öne çıkmaktadır (Ponti ve ark., 2021). Bu bağlamda, dayanıklılık ıslahı programlarında *T. absoluta*’ya karşı gen kaynaklarının taranması, fenotipleme protokollerinin oluşturulması ve markör destekli seleksiyonun (MAS) devreye alınması büyük önem taşımaktadır.

Beyazsinek (*Bemisia tabaci*)

Beyazsinek (*Bemisia tabaci* Gennadius, Hemiptera: Aleyrodidae) sebze ve süs bitkilerinde dünya çapında yaygın ve yıkıcı bir zararlıdır. Nimf ve ergin formları bitki özsuyunu emerek doğrudan beslenme yoluyla zarara yol açar; ayrıca salgıladıkları şekerli “bal” (honeydew) maddesi üzerine gelişen kurumaya neden olan mantar oluşumlarını tetikler ve pek çok virüsü vektör olarak taşır (Sani ve ark., 2020). Özellikle kültür patlicanı (*Solanum melongena* L.) için beyazsineğin hem beslenmeyle hem de virüs taşıma kapasitesiyle üretim ve kalite açısından ciddi risk oluşturduğu literatürde vurgulanmaktadır (Varma, 1963).

Türkiye özelinde, Akdeniz ve Ege bölgelerinde sera ve açık alanda patlıcan üretimi esnasında Beyazsinek 'in yoğunlukları yüksek bulunmuştur. Örneğin Adana-Çukurova bölgesinde yapılan çalışmada, patlıcanda haftalık ortalama verilere göre *B. tabaci* yumurta ve nimf yoğunluklarının ağustos-eylül döneminde yükseldiği; buna karşın doğal düşmanların parazitoid oranlarının düşük seyrettiği raporlanmıştır (Malık ve Karut, 2012). Bu durum, kontrol zorluklarını ve zararın artma riskini göstermektedir. Ayrıca Türkiye’de diğer çalışmalar, *B. tabaci* popülasyonlarının farklı genotip ve biyotiplerini ortaya koyarak patlıcan ve diğer sebzelerde kimyasal mücadeleye karşı direnç geliştiğini bildirmiştir (Dağlı ve ark., 2020).

Patlıcanda beyazsineğin yol açtığı zararlar üç ana başlık altında özetlenebilir: (1) Doğrudan emgi yoluyla fizyolojik bozulma: Böcek yaprak ve bitki sapı özsuyunu çekerek bitkinin fotosentez gücünü, besin transferini ve genel gelişimini düşürür; (2) Balımsı madde ve kurumaya bağlı kalite kaybı: Beyazsinek tarafından salgılanan maddeler üzerine

kurumayla gelişen mantarlar meyve yüzeyinde lekelenme, pazar değeri düşüşü ve kalite kaybına neden olur; (3) Virüslerin vektörlüyü: Beyazsinek, özellikle Begomovirus, Crinivirus, Carlavirus ve Torradovirus gibi çok sayıda virüsü taşıyarak patlıcanda verim ve kalite kaybını daha da derinleştirir (Abubakar ve ark., 2022). Bu üç etki bir arada bulunduğu patlıcan üretiminde ciddi ekonomik kayıplar ortaya çıkar. Örneğin beyazsinek ile taşınan virüs enfeksiyonlarının, sebze türlerinde %20-%100 arasında verim düşüşüyle sonuçlanabildiği bildirilmiştir (Abubakar ve ark., 2022).

Kontrol açısından beyazsinek yönetimi, patlıcanda entegre yaklaşımlar gerektirir. Kimyasal mücadele yaygın olsa da Türkiye’de kayıtlı popülasyonlarda birçok insektiside karşı direnç geliştiği bildirilmiştir (Dağlı ve ark., 2020). Bu nedenle kültürel önlemler (serada havalandırma, alt tabaka yenileme, alt örtü kontrolü), biyolojik kontrol (parazitoid ve predatörlerin kullanımı) ve bitki ıslahı (beyazsineğe karşı toleranslı/dirençli genotiplerin geliştirilmesi) birlikte ele alınmalıdır.

Patlıcanda görülen bu geniş yelpazedeki fungal, bakteriyel, viral ve zararlı baskıları, geleneksel tarım uygulamalarının ve kimyasal mücadelenin sınırlılıklarını açıkça ortaya koymaktadır. Kimyasal pestisitlerin kullanımı çevreye olan olumsuz etkileri, maliyetleri ve patojenlerde hızla gelişen direnç nedeniyle uzun vadede sürdürülebilir bir çözüm olmaktan uzaktır. Bu durum, bitki ıslahının en temel ve çevre dostu stratejisine, yani doğal dayanıklılık kaynaklarının genetik potansiyelini kullanmaya olan ihtiyacı kritik bir seviyeye taşımıştır. Bu bağlamda, biyotik streslere karşı kalıcı ve geniş spektrumlu direnç geliştirmek için, patlıcanın ve yabani akrabalarının genetik mirasındaki

savunma mekanizmalarını anlamak ve bu mekanizmaları kodlayan genleri modern ıslah programlarına entegre etmek hayati önem taşımaktadır.

2. DAYANIKLILIK GENETİĞİ: KLASİK GENETİKTEN MODERN GENOMİK YAKLAŞIMLARA

Bitkilerde direnç mekanizmalarının genetik temeli, öncelikle klasik Mendelyen genetik yaklaşımlarına dayanmıştır. Örneğin, bir kültür bitkisinde tek bir dominant veya resesif “R” geninin patojenle karşılaşmada güçlü bir savunma sağladığı durumlar klasik genetik çalışmalarla tanımlanmıştır. Öte yandan, bitki patojen etkileşimlerinde tek genli direnci sağlayan "R" (Direnç) genlerinin büyük çoğunluğunun, nükleotit bağlayıcı bölge (NB) ve lösün zengini tekrar (LRR) dizilerinden oluşan (NBS-LRR) bir yapıya sahip olduğu ve bu genlerin patojeni "gene-for-gene" esasına göre tanıdığı moleküler düzeyde kanıtlanmıştır (Jones ve Dangl, 2006). Ancak kültür bitkilerinde, özellikle çoklu patojen baskısına maruz kalan türlerde, direnç genleri genellikle poligenik (çok genli) yapıda, çevre ile etkileşimli ve karmaşık olarak kalıtılmaktadır. Kültür patlicanı için de bu durum geçerlidir. Örneğin, yüksek kaliteli bir kromozom seviyesinde patlican genomu temelinde yapılan çalışmada 26 QTL hotspot’u bulunmuş olup 71 farklı özellik için 210 bağ işaretleyici ilişkilendirilmiştir (Wei ve ark., 2020). Bu durum, klasik tek gen modellerinin yetersiz kaldığını açıkça göstermektedir. Modern genomik yaklaşımlar, bu karmaşıklığı ele alarak dayanıklılık genetiğini daha sistematik şekilde çözümleme imkânı sunmaktadır.

Bu yaklaşımlar içerisinde QTL (Kantitatif Özellik Lokusu) haritalama öne çıkar. Örneğin, patlıcanda bakteriyel solgunluk (*Ralstonia solanacearum*) direncine karşı yapılan bir BSA-seq tabanlı analizde, kromozom 5'te 62–72 Mb aralığında aday bölge tanımlanmış ve bu bölgeye ait 276 gen arasında SMEL4_05g015980.1 ve SMEL4_05g016110.1 genleri aday genler olarak öne çıkarılmıştır (Xiao ve ark., 2024). Bu tür analizler, dayanıklılık genlerinin klasik yöntemle göre çok daha ayrıntılı haritalanmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, doğal popülasyonlar üzerinde yapılan GWAS çalışmaları da doğal genetik çeşitliliği kullanarak daha küçük etki büyüklüğüne sahip genlerin tanımlanmasına olanak vermektedir (Rosa-Martinez ve ark., 2023). Bu sayede, dayanıklılık genetiği yalnızca “tek gen” çerçevesinde değil, çok genli, gen-çevre etkileşimli ve genetik çeşitliliğe dayalı bir paradigma ile ele alınmaktadır.

Genetik kaynakların belirlenmesi ve ıslah materyali olarak kullanılması da büyük önem taşır. Patlıcan ıslahında dayanıklılık kaynaklarının genişletilmesi, özellikle *Solanum* cinsinin yabani akrabalarının kullanılmasıyla sağlanır; bu türler genellikle yüksek düzeyde biyotik stres toleransı taşırken, kültür çeşitleriyle melezlemede yüksek kısırılık ve istenmeyen morfolojik özelliklerin (genetik eritme) aktarılması gibi zorluklar ortaya çıkmaktadır. Ancak genetik haritalama ve moleküler takibe dayalı geri çaprazlama teknikleri, bu engellerin aşılmasında ve yabani direnç genlerinin aktarılmasında kilit rol oynamaktadır (Knapp ve Prohens, 2019). Genetik çeşitlilik üzerine yapılan bir derleme, kültür patlıcanında ve yabani türlerde SSR ve SNP markörleriyle geniş çeşitlilik bulunduğunu ve bu çeşitliliğin direnç ıslahında materyal olarak

kullanılabileceğini göstermiştir (Oladosu ve ark., 2021). Bu tür genetik kaynakların tanımlanması, ıslah programlarının genetik temeli haline gelmektedir.

Modern ıslah programlarında klasik fenotip-seçim temelli yöntemlerden genomik destekli stratejilere geçiş yaşanmaktadır. Bu QTL ve GWAS çalışmaları ile tanımlanan genetik bölgelerdeki polimorfizmler, ıslah programlarında geleneksel fenotipleme yükünü azaltan ve istenmeyen genlerin elenmesini sağlayan Markör Destekli Seleksiyon (MAS) stratejileri için doğrudan bir temel oluşturur. Özellikle patlıcanda TYLCV (Domates Sarı Yaprak Kıvrıcıklığı Virüsü) veya nematod direnci gibi tek veya az sayıda genin kontrol ettiği özelliklerde, uygun işaretleyicilerin kullanımıyla seleksiyon verimliliği kritik ölçüde artırılmıştır (Collard ve Mackill, 2008).

QTL bulguları, gen aile analizleri ve transkriptom profilleri gibi veriler, markör destekli seleksiyon (MAS) ve genomik seçim (GS) uygulamalarına entegre edilmektedir. Bu yaklaşımlara ek olarak, transkriptom analizleri (RNA-seq) ve ekspresyon QTL (eQTL) haritalaması, stres altındaki bitki savunma yollarını kodlayan genlerin ifadesindeki nicel değişiklikleri ortaya çıkararak, dayanıklılıktan sorumlu temel biyokimyasal yolların ve düzenleyici gen ağlarının aydınlatılmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Akter ve ark., 2025). Özellikle, yüksek yoğunluklu genotipleme verileri ve geniş popülasyonlarda oluşturulmuş genetik bağlantı haritaları, dayanıklılık genlerinin daha verimli şekilde kullanılmasına olanak tanımaktadır. GS (Genomik Seçim), poligenik olarak kontrol edilen ve çevre koşullarından yoğun etkilenen karmaşık dayanıklılık özelliklerinde (örneğin nematod

toleransı), tüm genom çapındaki işaretleyicileri kullanarak fenotipik performansı daha yüksek bir hassasiyetle tahmin etme yeteneği sayesinde ıslah süresini kısaltmada devrim niteliğinde bir potansiyel sunmaktadır (Crossa ve ark., 2017).

Bu bağlamda, klasik genetik yöntemlerden modern genomik yaklaşımlara geçiş, patlıcan gibi çok stresli ortamlarda üretim yapan kültür türlerinde sürdürülebilir direnç geliştirme açısından kritik bir adımdır.

3. MOLEKÜLER MARKÖRLER VE METODOLOJİLER

Bitki ıslah programlarında, dayanıklılık genlerinin tanımlanması ve bunların pratik ıslah hatlarına aktarılması için kullanılan yöntemler büyük değişim geçirmiştir. Özellikle *Solanum melongena* gibi geniş üretim alanına sahip türlerde, biyotik streslere karşı çoklu dayanıklılığın kazanılması amacıyla moleküler markörler ve genetik haritalama yöntemleri vazgeçilmez araçlardır (Collard ve Mackill, 2008).

3.1. Markör Tipleri ve Genotipleme Yaklaşımları

RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA): Rastgele primerler kullanılarak genomda polimorfik bölgelerin amplifikasyonuna dayanır. Düşük maliyetli olması avantajları arasındadır, ancak tekrarlanabilirliği ve spesifikliğı sınırlıdır. Patlıcanda özellikle fungal solgunluk etmenlerine (örneğin *Fusarium oxysporum*) karşı ilk ön tarama çalışmaları kapsamında kullanılmıştır (Mutlu ve ark., 2008,).

RAPD markörleri, patlıcan genotiplerinde *Fusarium* solgunluğuna karşı genetik çeşitliliğı belirlemek ve dirençli bireyleri hızlıca ayırt etmek

amacıyla erken dönem ıslah programlarında başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Örneğin, Boyacı ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, *Fusarium solgunluğuna* karşı direncin tek bir dominant gen tarafından kontrol edildiği belirlenmiş ve bu genin markör destekli seleksiyonu için zemin hazırlanmıştır. Ayrıca, farklı patlıcan genotiplerinin genetik mesafelerini ve *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae*'ya karşı olan tepkilerini ilişkilendirmek için RAPD ve ISSR markörleri birlikte kullanılarak, genotiplerin moleküler karakterizasyonunun ilk adımları atılmış ve yüksek hastalık prevalansına sahip genotiplerin genetik ayrımı sağlanmıştır (Ali ve ark., 2011).

ISSR (Inter-Simple Sequence Repeat): Mikrosatellit bölgeler arasındaki DNA fragmentlerini hedef alır. Yüksek polimorfizm gösterir ve yabani *Solanum* türleri ile kültür çeşitleri arasındaki genetik farklılıkların değerlendirilmesinde etkin olarak uygulanmıştır (Aguilera ve ark., 2011).

Özellikle *Solanum melongena* ve *S. torvum* gibi yabani akrabalar arasındaki melezleme havuzlarında ISSR markörleri kullanılarak, yüksek genetik varyasyonun tespiti sağlanmış ve direnç ıslahı için potansiyel ebeveynler belirlenmiştir. Oladosu ve ark. (2021), bu markörleri kullanarak yabani türlerin kültür patlıcanına göre daha zengin bir genetik çeşitliliğe sahip olduğunu ve bu çeşitliliğin biyotik stres direnci için değerli bir gen havuzu oluşturduğunu göstermiştir. Patlıcan germplazmındaki genetik çeşitliliği incelemek amacıyla ISSR markörlerinin kullanımı, Ali ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada coğrafi köken ve morfolojik özelliklerle tutarlı bir kümeleme

yapısı ortaya koymuş, böylece ıslah materyalinin seçimine rehberlik etmiştir.

SSR (Simple Sequence Repeat): Kısa tekrar dizilerinin bulunduğu mikrosatellit bölgeleri hedefler; yüksek tekrarlanabilirlik ve ko-dominan özelliği ile tercih edilir. Patlıcanda SSR markörleri, genetik çeşitliliğin analizi ve QTL haritalama çalışmalarında yaygın biçimde kullanılmıştır (Barchi ve ark.,2011).

SSR tabanlı yüksek yoğunluklu genetik haritalar oluşturularak, özellikle kök-ur nematoduna (*Meloidogyne incognita*) karşı dirençten sorumlu önemli QTL bölgeleri, patlıcan ve yabani akrabaları arasındaki F2 popülasyonlarında hassasiyetle lokalize edilmiştir. Gramazio ve ark. (2019), bu haritalama sayesinde yabani türlerden gelen direnç özelliklerinin kültür çeşitlerine aktarımını kolaylaştıracak markörleri tanımlamışlardır. Vilanova ve ark. (2012), patlıcan genomunda dağılmış 100'den fazla SSR markörü kullanarak farklı genotiplerin genetik çeşitliliğini analiz etmiş ve genetik mesafeler ile direnç özellikleri arasındaki korelasyonları belirlemiştir. Bu çalışma, SSR markörlerinin patlıcan germplazmasının etkin karakterizasyonu ve korunması için temel bir araç olduğunu kanıtlamıştır.

SNP (Single Nucleotide Polymorphism): Tek bir nükleotid değişikliği üzerinden yüksek çözünürlüklü markör sağlar. Patlıcanda SNP'lerin geliştirilmesi, genom çaplı genotipleme ve gen-fenotip eşleştirmesinde önemli ilerlemeler sunmuştur (Barchi ve ark., 2011). İkinci nesil dizileme teknolojileri kullanılarak geliştirilen yüksek yoğunluklu SNP çipleri, farklı *Solanum* türlerini kapsayan geniş bir genetik çeşitlilik panelinde kullanılmış; Cericola ve ark. (2014), bu sayede patlıcan

genomundaki genetik yapının ve popülasyon ilişkilerinin daha derinlemesine anlaşılması ve yüksek çözünürlüklü haritalama için gerekli bilgi sağlanmıştır. Yüksek verimli genotipleme (HTP) sistemleriyle elde edilen SNP verileri, patlıcanda verim, kalite ve hastalıklara karşı dayanıklılık gibi kantitatif özelliklerin genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (GWAS) ile hızlı ve hassas bir şekilde haritalanmasına olanak tanımıştır. Barchi ve ark. (2019), bu markörleri kullanarak patlıcanın adaptasyon özelliklerini kontrol eden birden fazla lokusun belirlenebileceğini göstermiştir.

Genotipleme ve Genotip–Fenotip Eşleştirme: Bu yöntemler, markör verilerinin fenotipik özelliklerle ilişkilendirilmesini sağlar. Özellikle QTL haritalama, GWAS (genom-genom ilişkilendirme çalışmaları) ve BSA-seq (Bulked Segregant Analysis) gibi yaklaşımlar, patlıcanda çoklu dayanıklılık genlerinin belirlenmesinde etkin biçimde kullanılmaktadır (Gaccione ve ark., 2023).

Patlıcanda bakteriyel solgunluğa (*Ralstonia solanacearum*) karşı dirençli ve duyarlı havuzlar kullanılarak yapılan BSA-seq tabanlı yeni bir çalışmada, Xiao ve ark. (2024), dirençten sorumlu aday genlerin yer aldığı kromozom 5 üzerindeki dar bir QTL bölgesini hassasiyetle tespit etmiştir. Bu yaklaşım, karmaşık özelliklerin hızlı haritalanmasında geleneksel haritalamaya üstünlüğünü kanıtlamıştır. Genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (GWAS), yabani patlıcan akrabalarından gelen ve farklı adaptasyon özelliklerine sahip genetik varyasyonu kullanarak, özellikle soğuğa ve kuraklığa dayanıklılık gibi zorlu tarımsal özelliklerin genetik temelini aydınlatmıştır. Barchi ve ark. (2019) çalışması, bu yaklaşımların patlıcanda birden fazla stres toleransına

katkıda bulunan genetik bölgeleri ortaya çıkarma potansiyelini göstermiştir.

Düşük Maliyetli Genotipleme Teknikleri: Özellikle ıslah programlarında yüksek sayıda hat ve genetik materyalin taranması gerektiğinde, KASP (Kompetitif Allele-Specific PCR) gibi yöntemler yüksek doğruluk ve maliyet etkinliğiyle öne çıkmaktadır (Rahman ve ark., 2023).

Patlıcangiller (Solanaceae) ailesinde, domates sarı yaprak kıvrıcıklığı virüsüne (TYLCV) ve diğer fungal hastalıklara karşı dayanıklılık genleri için geliştirilen KASP markörleri, González-Cabezuelo ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada, ıslah programlarında binlerce bitkiyi hızlı ve ekonomik bir şekilde tarayarak seleksiyon verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır. Patlıcan ıslahında yaygın bir virüs olan biber mozaik virüsüne (Pepper mottle virus) karşı direnç geni için geliştirilen spesifik KASP markörleri, Barchi ve ark. (2019) tarafından ticari çeşitlerin geliştirilmesi için markör destekli seleksiyonu hızlandırmış ve KASP'ın pratikliğini kanıtlamıştır.

3.2. QTL Haritalama, GWAS ve BSA-seq Yaklaşımları

QTL haritalama çalışmaları, fenotipik varyasyondan sorumlu genetik bölgelerin belirlenmesini sağlar. Patlıcanda yapılan haritalama çalışmaları, 26'yı aşkın QTL hotspot'u tanımlamış ve 71 farklı özellik için yaklaşık 210 markörle ilişkilendirilmiştir (Wei ve ark., 2020). Bu, direnç ve morfolojik özelliklerin çoğunun poligenik kontrol altında olduğunu ve klasik tek gen modellerinin yetersizliğini açıkça göstermektedir.

Bu karmaşık yapıya odaklanan çeşitli araştırmalar, patlıcandaki önemli stres özelliklerinin genetik temelini aydınlatmıştır. Örneğin, kök-ur nematoduna (*Meloidogyne incognita*) karşı dirençten sorumlu önemli QTL bölgeleri, patlıcan ve yabani akrabaları (*Solanum torvum*) arasındaki F2 populasyonlarında SSR markörleri kullanılarak hassasiyetle lokalize edilmiştir (Gramazio ve ark., 2014); bu çalışma, yabani türlerden gelen direnç özelliklerinin kültür çeşitlerine aktarımını kolaylaştıran markörleri tanımlamıştır. Benzer şekilde, Kaushik ve ark. (2018) tarafından gerçekleştirilen bir QTL çalışması, meyve şekli, boyutu ve verim gibi morfolojik ve kantitatif özelliklerle ilişkili birden fazla QTL'i haritalamıştır, bu da ıslahın çoklu özellikler bazında yönetilmesi gerektiğini doğrular. Özellikle yüksek sıcaklık stresi altında, patlıcanın fenolojik ve verimle ilişkili tepkileri, geniş bir rekombinant inbred hattı (RIL) popülasyonu kullanılarak haritalanmış ve ısı toleransı ile ilişkili yeni QTL'ler tanımlanmıştır (Kumar ve ark., 2021).

Biyoteknolojik yaklaşımlarda ise, bakteri kaynaklı solgunluk (*Ralstonia solanacearum*) direncinde yapılan bir BSA-seq analizinde, kromozom 5 üzerinde 62–72 Mb aralığında aday bölge tanımlanmış ve bu bölgede SMEL4_05g015980.1 ile SMEL4_05g016110.1 genleri öne çıkmıştır (Wang ve ark., 2024). Bu tür çalışmalar, dayanıklılık genlerin çok daha ince haritalanmasına ve aday genlerin hızlıca belirlenmesine imkân tanımaktadır. Wang ve ark. (2022) tarafından yapılan ek bir BSA-seq çalışması ise, *Verticillium* solgunluğuna karşı dirençten sorumlu QTL'leri başarıyla haritalamış ve bu hastalık direncinde rol oynayan potansiyel genleri (örneğin NBS-LRR tipi direnç genleri) lokalize ederek, dayanıklılık ıslahına moleküler bir çerçeve sağlamıştır.

Bu çalışmaların yanı sıra, Genom Çapında İlişkilendirme Çalışmaları (GWAS) ise doğal genetik çeşitliliği kullanarak daha küçük etki büyüklüğüne sahip genlerin tanımlanmasına olanak vermektedir. GWAS, dayanıklılık genetiğini yalnızca “tek gen” çerçevesinde değil, çok genli ve çevre–gen etkileşimli bir paradigma içinde ele almaktadır. Örneğin, Rosa-Martinez ve ark. (2023) tarafından yapılan bir GWAS çalışması, geniş bir patlıcan germplazm koleksiyonunda *Verticillium dahliae*’ye karşı dirençle ilişkili yeni DArTseq lokusları ve SNP’leri başarıyla tanımlamış ve bu lokusların hassasiyetle genom üzerinde yerlerini belirlemiştir. Ek olarak, Cericola ve ark. (2014), yüksek yoğunluklu SNP verilerini kullanarak patlıcan genomundaki genetik yapıyı ve popülasyon ilişkilerini derinlemesine analiz etmiş; bu da gelecekteki GWAS ve genomik seçim (GS) uygulamaları için temel bir veri havuzu oluşturmuştur. Bu genomik yaklaşımların tümü, patlıcan ıslah programlarında verimliliği artırmak ve çevresel stres koşullarına karşı sürdürülebilir çeşitler geliştirmek için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir.

3.3. Islah Programlarında Moleküler Destekli Seleksiyon (MAS) ve Markör Destekli Geri Melezleme (MABC)

MAS, hedeflenen gen veya Kantitatif Özellik Lokusu (QTL) ile güçlü biçimde bağlantılı markörlerin kullanılmasıyla fenotipik seçimi genotip düzeyine taşır. Bu sayede erken jenerasyonlarda istenen özellikleri taşıyan bireylerin seçilmesi sağlanır. MAS’ın başlıca avantajları şunlardır: erken dönemde seçime imkân vermesi, çevresel etkilerden daha az etkilenmesi ve karma genetik kontrol altındaki karakterlerde dahi artan doğruluk sunması.

MAS'ın başarısı için üç kritik bileşen gereklidir: (1) Hedef özellik ile çok güçlü bağlantılı işaretleyicinin bulunması, (2) Markör–gen birlikteliğinin düşük rekombinasyon gösteren yapıda olması ve (3) İşaretleyicinin kullanılacak materyal (popülasyon) içindeki geçerliliğinin doğrulanmış olması.

Patlıcanda özellikle toprak kaynaklı fungal ve bakteriyel solgunluklara karşı oluşturulan dayanıklı materyallerde MAS'ın uygulanması büyük önem taşımaktadır. Örneğin, kök-ur nematoduna (*Meloidogyne incognita*) karşı dirençli olduğu bilinen yabani akraba türlerden (*Solanum torvum*) kültüre direnç genlerinin aktarımı sırasında MABC tekniği kilit rol oynamıştır. Bu teknik sayesinde, yabani türlerden gelen direnç geni dışındaki istenmeyen genetik yük (genetik sürüklenme), selektif olarak elimine edilmiş ve ıslah süreci hızlandırılmıştır (Gramazio ve ark., 2014). Benzer şekilde, Mutlu ve ark. (2008) tarafından *Fusarium* solgunluğuna karşı dirençli bir patlıcan hattında RAPD ve SRAP markörleri kullanılarak direnç genine bağlı işaretleyiciler geliştirilmiş ve bu işaretleyiciler daha sonra SCAR markörlerine dönüştürülerek MAS uygulamalarında pratik hale getirilmiştir. Bu gelişme, *Fusarium* solgunluğu direncinin erken fidan aşamasında taranmasına olanak tanıyarak ıslah döngülerini önemli ölçüde kısaltmıştır.

MAS, direnç genlerinin birikimli hale getirilmesinde (piramitleme) de etkilidir. Örneğin, birden fazla hastalığa karşı direnç genlerini (örn., *Fusarium* ve *Verticillium* solgunluklarına karşı) tek bir elit hatta toplamak için MABC programları hem hedef genin takibini hem de istenen ebeveyn genomunun hızlıca geri kazanımını sağlamıştır (Collard

ve Mackill, 2008). Ancak, çok sayıda küçük etkili gen içeren poligenik karakterlere karşı MAS tek başına yeterli olmayabilir; bu durumda MAS, genomik seçim (GS) veya klasik fenotip-seçim yöntemleriyle entegre edilmelidir (Zhang ve ark., 2025). Özellikle verim, kalite ve çevresel stres toleransı gibi karmaşık kantitatif özelliklerde, tüm genom çapındaki işaretleyicileri kullanan GS yönteminin, MAS'a göre daha yüksek tahmin hassasiyeti sunduğu ve ıslah süresini kısaltmada önemli bir potansiyel taşıdığı kabul edilmektedir (Crossa ve ark., 2017). Sonuç olarak, patlıcan ıslahında MAS ve MABC, niteliksel ve oligojenik direnç özelliklerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde yeni çeşitlere aktarılması için temel araçlar olmaya devam etmektedir.

3.4. Yeni Nesil Yaklaşımlar: Genomik Seçim ve Fonksiyonel Doğrulama

Genomik Seçim (GS), tüm genom çapındaki genetik belirleyiciler kullanılarak fenotipik özelliklerin tahmin edildiği bir stratejidir. Bu yaklaşım, özellikle poligenik ve çevreyle yoğun etkileşimli özelliklerde yüksek bir tahmin doğruluğu sunar (Meuwissen, ve ark., 2001).

Patlıcanda GS'nin kullanımı henüz sınırlı olmakla birlikte, MAS ile entegre edildiğinde hem belirli direnç genlerinin varlığı kontrol edilebilmekte hem de genetik arka plandaki diğer katkılar dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşım, dayanıklı çeşitlerin geliştirme süresini anlamlı biçimde kısaltabilmektedir (Lin ve ark., 2025).

Buna ek olarak, RNA-seq/transkriptom analizleri, pangenom çalışmaları, CRISPR/Cas9 tabanlı gen düzenleme gibi ileri teknolojilerle belirlenen

aday genlerin fonksiyonel doğrulanması ve direkt ıslah materyaline aktarılması yönünde yeni olanaklar sunmaktadır.

4. ÇOKLU DAYANIKLILIK: GENLERİ BİRLEŞTİRME (PYRAMİDİNG)

Patlıcanda biyotik streslere karşı kalıcı direnç geliştirebilmek için, moleküler haritalama ve genotipleme araçları, tek bir gen yerine birden çok dayanıklılık genini birleştiren ileri bir ıslah stratejisini, yani çoklu dayanıklılık yaklaşımını zorunlu kılmaktadır.

4.1. Gen Piramitleri ile Dayanıklı Direnç Geliştirme Stratejisi

Bitkilerde biyotik streslere karşı uzun süreli ve güvenilir direnç geliştirme hedeflendiğinde, tek bir direnç genine güvenmek sıklıkla yetersiz kalmaktadır Bunun sebebi ise, patojenler hızla evrimleşebilir ve bu genin etkisini kırabilir. Bu nedenle, gen piramitlemesi (gene pyramiding) stratejisi, birden çok dayanıklılık geninin veya QTL'nin tek bir genotipe birleştirilmesini hedefleyen güçlü bir yaklaşımdır (Mundt, 2018). Bu strateji sayesinde, patojenin tek bir genetik bariyeri aşması yerine, birden çok savunma hattıyla karşılaşması ve böylece dayanıklılığın daha kalıcı hâle gelmesi prensibine dayanır.

Markör destekli seleksiyonunun (MAS) yaygınlaşmasıyla gen piramitlemesi daha uygulanabilir hâle gelmiştir. Özellikle dayanıklılık genleri arasında bilinen markörlerin bulunması ile, farklı ebeveynlerden gelen bu genlerin birleştirilmesi sonucunda “piramitlenmiş” hatlar oluşturulur (Chukwu ve ark., 2019). Örneğin bir incelemede, piramitlemiş hatların tek genli hatlara göre çoklu patojen ırklarına karşı daha yüksek direnç gösterdiği vurgulanmıştır (Dormatey ve ark., 2020).

Bu yaklaşım hem biyotik hem abiyotik stresler açısından sürdürülebilir tarım için kritik bir araç olarak görülmektedir.

Uygulamada gen piramitlemesi şu adımları içerir: (1) hedef gen/QTL'lerin tanımlanması, (2) uygun ebeveynlerin seçimi, (3) çaprazlama ve ardışık nesillerde MAS ile uygun gen kombinasyonlarının seçimi, (4) piramitlenen hatların fenotipik ve genetik doğrulaması. Bu süreç, özellikle sebze türlerinde hızlı ilerlemeyi sağlayan bir yöntemdir. *Brassica* ile yapılan bir çalışmada CRa ve CRd genlerinin piramitlemesi ile çoklu patotipe karşı dirençli yeni hatlar geliştirilmiştir (Li ve ark., 2022).

Patlıcan gibi çoklu biyotik streslerin baskısı altında olan kültür türlerinde de gen piramitlemesi stratejisi oldukça uygundur. Örneğin, farklı solgunluk patojenlerine karşı tanımlanmış QTL'ler, kültür çeşitlerinde birleştirilerek “çoklu dirençli” hatlarının geliştirilmesi patlıcan için oldukça uygulanabilir bir stratejidir. Dayanıklılık kaynaklarından aktarılan genlerin yeniden düzenlenmesi ve moleküler markörler ile belirlenmesi, piramitleme sürecinin etkinliğini artırmaktadır. Sonuç olarak, gen piramitlemesi; dayanıklılığın genetik temellerini güçlendirerek ıslah programlarının verimliliğini artırmakta ve tarımsal üretimde daha dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır.

5. UYGULAMALI ISLAH PROGRAMLARI: TÜRKİYE ÖRNEKLERİ, GEN KAYNAKLARI, FENOTİPLEME PROTOKOLLERİ

Türkiye, patlıcan üretiminde dünya çapında önemli bir yere sahip olup, yerel adaptasyon göstermiş genotipler ve ıslah programları açısından da zengin bir potansiyel taşımaktadır. Bu bağlamda, uygulamalı ıslah programlarının geliştirilmesi hem gen kaynaklarının değerlendirilmesi hem de fenotipleme ve seleksiyonun kurumsallaşması açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle Türkiye'deki devlet-araştırma enstitüleri ve üniversiteler, yerli çeşitlerin ıslah edilmesi, yabancı türlerin gen kaynaklarının taranması ve üretim sistemlerine uygun yeni genotiplerin geliştirilmesi yönünde uzun yıllardır çalışmalar yürütmektedir (Boyacı ve ark., 2017; BATEM, 2019).

5.1. Türkiye Örnekleri: Islah, Gen Kaynakları ve Moleküler Uygulamalar

Türkiye, patlıcanın genetik çeşitliliği açısından zengin bir coğrafyada yer alır ve bu durum, ulusal ıslah programlarını çeşitlendiren kapsamlı araştırmalara yol açmıştır. Geleneksel ıslah faaliyetlerinde, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü (BATEM) tarafından yürütülen çalışmalar öne çıkmaktadır. BATEM'in "Nitelikli F₄ İn-bred Hatların Geliştirilmesi ve Tohum Teknolojisi" projesi, özellikle uzun ve oval meyve tipli sera üretimine uygun hatlar geliştirmeyi amaçlamış; yerel gen kaynaklarını yabancı hatlarla kombine ederek 'BATEM Filizi' gibi tescilli hibrit çeşitleri sektöre kazandırmıştır (BATEM, 2019). Ayrıca, Türkiye'deki patlıcan ıslah projelerinde üretilmiş hibrit hatların üreticiye adaptasyonu, verim ve kalite yönünden analiz edilmiştir (Boyacı ve ark., 2017).

İslah programlarının başarısı, geniş ve iyi tanımlanmış genetik çeşitliliğe bağlıdır. Türkiye’de bu amaçla, yerel "heirloom" ve yöresel patlıcan genotipleri üzerinde moleküler düzeyde kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Ankara Üniversitesi tarafından yürütülen bir genetik çeşitlilik çalışmasında, Türkiye’nin farklı bölgelerinden toplanmış 28 genotip üzerinde SSR ve RAPD markör analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, yerel patlıcan genotiplerinin genetik akrabalık ilişkilerini ve çeşitlilik düzeyini belirlemektir. Sonuç olarak, genotiplerin coğrafi kökenlerine bakılmaksızın yüksek bir genetik çeşitlilik gösterdiği ve bu varyasyonun verim ile kalite özelliklerinin iyileştirilmesi için ıslah programlarına entegre edilmesi gerektiği belirlenmiştir (Demir ve ark., 2010). Bu tür analizler, yerel hatların ıslah programlarına kazandırılmasını sağlama yönünde önemli bir temel oluşturmuştur. Benzer şekilde, Yamula patlıcanı gibi benzersiz yerel çeşitler ISSR ve SRAP gibi moleküler markörler kullanılarak detaylı karakterizasyona tabi tutulmuş, yüksek düzeyde polimorfizm (%73-77) tespit edilmiş ve bu genotiplerin ıslah programları için değerli bir kaynak olduğu doğrulanmıştır (Uysal ve ark., 2023; Pınar ve ark., 2017).

Türkiye'deki ıslah çalışmalarının bir diğer kritik ayağı, yabancı genotiplerin ve moleküler destekli seçilimin kullanıldığı dayanıklılık ıslahıdır. Patlıcanda en zararlı etmenlerden biri olan *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae*’ya karşı direnç kaynakları belirlenmiş; bu çalışmalarda direnç genlerine bağlı moleküler markörler (RAPD, SRAP ve SCAR) geliştirilerek, yerel ıslah programlarında Markör Destekli Seleksiyon (MAS) uygulamasına somut bir zemin hazırlanmıştır (Boyacı ve Abak, 2008; Mutlu ve ark., 2008). Aynı şekilde, *Verticillium*

dahliae'nin neden olduğu solgunluğa karşı dayanıklılık ıslahında ise, yabancı türler (*Solanum torvum* ve *S. sodomium*) kullanılarak melezlemeler ve seleksiyonlar yapılmış; dayanıklı kültür formları (örneğin DK-5 hattı) belirlenerek, geleneksel ıslah yollarıyla elde edilemeyen dayanıklılık genlerinin kültüre aktarılması sağlanmıştır (Başay, 2006; Boyacı ve ark., 2020). Bu yabancı akrabaların kullanılması, patlıcan ve yakın türler arasındaki genetik transferin önemini vurgulamıştır. Bu entegre yaklaşımlar, Türkiye'deki patlıcan ıslahının yerel çeşitliliğin korunması ve moleküler teknolojilerin kullanımı ile uluslararası standartlara ulaşmasını hedeflemektedir.

5.2. Fenotipleme Protokolleri, Uygulamalı Yöntemler ve Değerlendirme

Fenotipleme, ıslah programlarının çekirdeğini oluşturur; doğru ve güvenilir değerlendirme yapmak için standartlaştırılmış protokoller gereklidir. Patlıcan için morfolojik özelliklerin ölçülmesi, fenotipik çeşitliliğin haritalanması ve seleksiyon kriterlerinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Uluslararası düzeyde geliştirilen “EGGNET” ve “IBPGR” descriptor setleri (tanımlayıcılar) patlıcan için temel bir çerçeve sunsa da (Kaushik ve ark., 2016), modern ıslah, yüksek verimli ve otomatik fenotipleme (fenomik) yöntemlerine yönelmiştir.

Modern fenotipleme yaklaşımları, özellikle meyve kalitesi ve verim bileşenlerinin detaylı ve hızlı analizini sağlamaktadır. Örneğin, Abebe ve ark. (2023) tarafından yapılan yenilikçi bir çalışmada, patlıcanın kompleks meyve morfolojisini (şekil, boyut, ağırlık ve renk) hassas bir şekilde ölçmek için 2D ve 3D görüntüleme teknikleri kullanılmıştır. Bu çalışma, özellikle meyve yüzey alanının ve hacminin, geleneksel

ölçümlere kıyasla meyve verimi ile daha yüksek korelasyon gösterdiğini kanıtlamış, bu da otomatik fenotipleme sistemlerinin ıslah sürecini hızlandırabileceğini ortaya koymuştur.

Fenotipleme protokolleri, biyotik streslerin yanı sıra abiyotik streslere karşı dayanıklılığın belirlenmesinde de kritik rol oynamaktadır. Patlicanın kuraklık ve tuzluluk gibi çevresel faktörlere adaptasyonu, geleneksel morfolojik indeksler (örneğin bitki boyu, biokütle) ve fizyolojik parametreler (örneğin klorofil içeriği, fotosentetik verimlilik) kullanılarak değerlendirilmektedir. Bu alanda, Hannachi ve ark. (2021) yaptıkları detaylı fenotipleme çalışmasında, farklı patlıcan genotiplerinin tuz stresi altındaki performansını fenolojik aşamalarda ve hasat sonu kalite parametrelerinde ölçmüşlerdir. Çalışmanın sonuçları, bazı yerel genotiplerin tuz toleransında belirgin farklılıklar gösterdiğini ve bu genotiplerdeki yüksek orandaki prolin birikiminin stres altındaki fizyolojik adaptasyonun güçlü bir fenotipik belirteci olduğunu göstermiştir. Bu tür detaylı fenotipleme çalışmaları, ıslah programlarının yalnızca morfolojik değil, aynı zamanda fizyolojik dayanıklılığa dayalı olarak da yüksek verimli hatları seçmesini sağlamaktadır.

6. YENİ TEKNOLOJİLER VE GELECEK: RNA-SEQ, PANGENOM, CRISPR/CAS, MICROBIOME YAKLAŞIMLARI

RNA-seq (RNA sekanslama), patlicanın hastalık/zararlı cevabında, kalite özelliklerinde ve biyotik/abiyotik tolerans özelliklerinde diferansiyel gen ekspresyonunu (DEG) yüksek çözünürlükte ortaya koyar. Bu teknik, aday genlerin ve ilgili biyolojik yolların saptanmasında doğrudan kullanılarak ıslah süreçlerini moleküler düzeyde desteklemektedir. Son yıllarda patlıcanda yapılan RNA-seq

çalışmaları, meyve kabuğu özellikleri, soğuk/tuza dayanım ve patojen saldırısı sonrası gen ifadelerini ortaya koyarak önemli genetik mekanizmaları aydınlatmıştır.

Örneğin, meyve kabuğu özelliklerine odaklanan bir çalışmada, Wang ve ark. (2024) tarafından binlerce DEG (Farklı Eksprese Edilen Gen) tanımlanmış; ERF, MYB, NAC ve WRKY gibi Transkripsiyon Faktörü (TF) aileleri ve flavonoid-biyosentez yolları, kabuk parlaklığı ile ilişkili aday mekanizmalar olarak öne çıkmıştır.

Patlıcanın çevresel streslere tepkisini anlamak için transkriptom analizleri yaygınlaşmıştır. Gong ve ark. (2024) tarafından yürütülen bir çalışma, patlıcanın düşük sıcaklık (soğuk) toleransına verdiği cevabı RNA-seq ile incelemiştir. Bu çalışma, soğuk stresi altındaki gen ekspresyon dinamiklerini ortaya koymuş ve soğuğa tepkide rol oynayan yeni TF'ler ile sinyal iletim yollarını tanımlayarak, soğuk direnci ıslahı için moleküler hedefler sağlamıştır.

Biyotik stres tarafında ise, transkriptom analizi patlıcanın hastalıklara karşı savunma mekanizmasını çözmek için kullanılmıştır. Li ve ark. (2024), patlıcanın yaygın bir fungal hastalığı olan *Verticillium dahliae* enfeksiyonuna karşı verdiği tepkiyi incelemiştir. Araştırma, patojen saldırısı sonrasında patlıcanın savunma yanıtında yer alan PR genleri (Patojenite İlişkili Genler), salisilik asit (SA) ve jasmonik asit (JA) sinyal yollarına ait genlerin yüksek oranda eksprese edildiğini göstermiştir. Bu genlerin ifade haritası, dayanıklılık mekanizmalarının genetik temelini anlamada ve dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesinde kritik bilgiler sunmuştur.

Bu kapsamlı RNA-seq çalışmaları, patlıcan ıslahının geleceği için yalnızca verim ve kalite özelliklerini değil, aynı zamanda abiyotik ve biyotik streslere karşı dayanıklılığı da hedefleyen hassas genetik araçlar sunmaktadır.

6.1. Pangenom Yaklaşımı — Kayıp/Örten Varyantları Açığa Çıkarma

Tek bir referans genom, tür içi çeşitliliğin tamamını taşımaz; pangenom analizleri ile bulunan yeni gen kopyaları, büyük yapısal varyantlar ve paralog çeşitlenmeleri ortaya çıkararak geleneksel referans genomda kayıp veya örten (accessory/dispensable) genetik varyantları açığa çıkarır (Golicz ve ark., 2020). Bu durum, özellikle domestikasyon sırasında kültüre alınan patlıcanda kaybedilen nadir ama değerli allelleri (örneğin direnç genlerini) keşfetmek için kritik öneme sahiptir.

Son yıllarda *Solanum melongena* ve onun yakın yabani akrabalarını kapsayan güçlü pangenom kaynakları geliştirilmiştir. You ve ark. (2024) tarafından yayımlanan kapsamlı bir patlıcan pangenom analizinde, 9 yeni kromozom ölçekli genom ve daha önce yayımlanan 5 genom entegre edilerek bir pangenom grafiği oluşturulmuştur. Bu çalışma, tek bir referans genomda bulunmayan 816 yeni genin tanımlanmasını sağlamış ve popülasyon içinde %53,7 gibi yüksek bir sıklıkta bulunan 12.4 Mb'lık büyük bir inversiyonun (bir yapısal varyant) meyve rengiyle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, bakteriyel solgunluğa karşı dirençle bağlantılı potansiyel genetik mutasyonlar (örneğin SmCYP82D47 geninde erken durdurma kodonu) ve Kopya Sayısı Varyasyonları (CNV) tespit edilmiştir.

Benzer şekilde, *Solanum* cinsini (African eggplant dahil) kapsayan daha geniş pangenom çalışmaları, gen duplikasyonu ve ardından gelen paralog çeşitlenmelerinin domestikasyon tarihindeki rolünü vurgulamaktadır (Benoit ve ark., 2025). Bu çalışmalar, klâsik meyve organ sayısını düzenleyen CLAVATA3 (CLV3) gibi kilit domestikasyon genlerinin duplikasyon ve yapısal varyantlar aracılığıyla nasıl farklı evrimsel yörüngeler izlediğini göstermiştir. Pangenomlar, kültür çeşitleri ile yabani akrabalar arasındaki özgün genleri ve hat-özgü paralogları göstererek, ıslahçıya yeni gen kaynakları ve hedefleme noktaları sağlar.

Islah uygulaması: Pangenomdan elde edilen erişyon-özgü direnç genleri veya SV göstergeleri, ıslah materyalinde marker tasarımına ve kapsayıcı SNP/polimorfizm panellerine (ör. 50K SNP array) doğrudan entegre edilebilir; böylece nadir ama etkili allellerin gözden kaçırılması sınırlandırılmaktadır (You ve ark., 2024; Benoit ve ark.,2025).

6.2. CRISPR/Cas9 ve İleri Gen Düzenleme, Fonksiyonel Doğrulama ve Tasarım

CRISPR/Cas9 sistemleri, aday genlerin fonksiyonel doğrulaması ve istenen fenotiplerin oluşturulması için pratik araçlardır. Patlıcanda CRISPR tabanlı ilk çalışmalar SmPDS (phytoene desaturase) gibi görsel rapor genleri üzerinde başarıyla uygulanmış; SmPDS kesimleri albino fenotipi vererek yöntemin işlerliği doğrulanmıştır (Phad ve ark., 2024).

Ancak, CRISPR/Cas9 teknolojisi patlıcanda hızla ticari ve ıslah uygulamalarına kaymaktadır. Örneğin, Cammareri ve ark., (2024) tarafından yapılan öncü bir çalışmada, patlıcanın meyve rengi üzerindeki birincil düzenleyici gen olan SmMYB1 hedeflenmiştir. Bu çalışmada

CRISPR/Cas9 kullanılarak SmMYB1 geninde başarılı kesimler yapılmış ve genin susturulmasıyla mor meyve renginden beyaz meyve rengine geçiş fenotipi elde edilmiştir. Bu sonuç, CRISPR'ın patlıcanda istenen ticari özellikleri (örneğin pazar tercihlerine göre renk değişimi) hızla düzenleyebileceğini ve SmMYB1 geninin meyve rengi için kilit bir kontrol noktası olduğunu fonksiyonel olarak doğrulamıştır.

İslah uygulaması: RNA-seq ve pangenom ile saptanan aday genlerin önce CRISPR ile fonksiyonel doğrulanması (SmMYB1 örneğinde olduğu gibi), ardından hedeflenen, çok-lokuslu düzenlemeler (ör. direnç-piramitleme için birkaç R/QTL geninin aynı zamanda düzenlenmesi) ıslah süresini kısaltır. Bununla birlikte düzenleme stratejisi tasarlanırken paraloglar ve pangenom varyantları göz önünde bulundurulmalıdır (Benoit ve ark., 2025).

6.3. Microbiome / Rhizosphere Yaklaşımları, QTL-Mikrobiota İlişkileri

Toprak mikrobiyomu, bitki direncinde doğrudan rol oynamaktadır. Güncel çalışmalarda, patlıcan gibi Solanaceae türlerinde belirli Kantitatif Özellik Bölgelerinin (QTL), bitkinin kök salgılarına etki ederek yararlı bakteri topluluklarını "çağırıldığı" ve bu mikrobiyota ile patojenleri (özellikle bakteriyel solgunluk gibi) baskıladığı gösterilmiştir (Gong ve ark., 2024).

Bu yaklaşım, patlıcanın çevresel baskılara ve hastalıklara karşı gösterdiği direncin yalnızca genetik koddan değil, aynı zamanda kök çevresindeki yaşam birliğinden de kaynaklandığını ortaya koymaktadır.

Patlıcan ve yakından ilişkili türlerde yapılan detaylı mikrobiyom analizlerinde, tuz stresi gibi abiyotik stres koşullarına maruz kalan bitkilerin rizosferinde stres azaltıcı yeteneklere sahip bakteri taksonlarının zenginleştiği tespit edilmiştir. Örneğin, bazı *Bacillus* ve *Pseudomonas* suşlarının tuzlu koşullarda patlıcan fidelerinin büyümesini desteklediği ve stres biyobelirteçlerini azalttığı görülmüştür (Sarker ve İslam, 2024). Bu fenotipik iyileşmenin, kök salgılarındaki değişimin bir sonucu olduğu ve bu durumun rizosferdeki yararlı mikroorganizmaların selektif olarak seçilmesine yol açtığı anlaşılmıştır.

Biyotik direnç konusunda, domates gibi yakın akrabalarda yapılan çalışmalar, dirençli hatların kök salgılarının patojen büyümesini engelleyen bileşikleri daha fazla salgıladığını ve bu sayede *Fusarium* solgunluğuna karşı dirençli mikrobiyal toplulukları teşvik ettiğini göstermiştir (Zhou ve ark., 2022). Patlıcan ıslahı için bu bulgular, genetik QTL'lerin, mikrobiyomu manipüle etme yeteneği (microbiome-shaping ability) açısından değerlendirilmesi gerektiği fikrini desteklemektedir.

Islah uygulaması: Geleneksel genetik hedeflerin yanında "mikrobiyom-uyumlu" evreler geliştirmek, yani QTL'lerin yararlı mikrobiyal konsorsiyumları destekleyecek şekilde seçilmesi, bütünleşmiş bir ıslah stratejisi sunar. Bu yaklaşım, genetik direnç + sürdürülebilir mikroeolojik baskı kombinasyonunu mümkün kılarak, özellikle topraktan bulaşan patojenlere karşı uzun süreli koruma sağlar (Gong ve ark., 2024).

7. GELECEK PERSPEKTİFLERİ: TÜRKİYE İÇİN STRATEJİ (GEN KAYNAĞI KORUMA, REFERANS GENOTİPLER, ÇİFTLİK-DENEY UYGULAMALARI)

Patlıcan üretiminde biyotik stresler, özellikle fungal, bakteriyel ve viral patojenler ile insektler ve nematodlar hem verim hem de kalite kaybına yol açmaktadır. Türkiye’de mevcut ıslah programları, yerel çeşitlerin yanı sıra yabancı *Solanum* türlerini de kullanarak dayanıklılık geliştirme çabalarını sürdürmektedir. Ancak, biyotik streslere karşı sürdürülebilir çözümler geliştirebilmek için moleküler teknolojileri ve saha uygulamalarını entegre eden stratejik yaklaşımlar gereklidir.

7.1. Gen Kaynağı Koruma ve Karakterizasyon

Yerel patlıcan genotipleri ve yabancı *Solanum* türleri, biyotik streslere karşı potansiyel dayanıklılık genleri içermektedir. Bu gen kaynaklarının korunması ve moleküler düzeyde karakterize edilmesi, gelecekteki ıslah programlarının temelini oluşturacaktır. Türkiye’de gen bankalarının güçlendirilmesi ve in situ/on-farm koruma alanlarının oluşturulması, genetik çeşitliliğin kaybolmasını önleyecek kritik bir adımdır (Karagöz ve ark., 2010). Ayrıca, pangenom analizleriyle belirlenen erisyon-özgü direnç allellerinin (özellikle R genlerinin) derlenmesi, koruma çabalarını bilimsel olarak yönlendirmelidir (You ve ark., 2024).

7.2. Referans Genotipler ve Fenotipleme Standardizasyonu

Biyotik stres araştırmalarında kullanılacak standardize edilmiş referans genotiplerin belirlenmesi, dayanıklılık çalışmalarının karşılaştırılabilir ve güvenilir olmasını sağlar. Uluslararası kabul görmüş patojen testleri ve standart fenotipleme protokollerinin yerel genotiplere uygulanması

kritik öneme sahiptir. Daha da önemlisi, patlıcanın farklı üretim bölgelerinde bulunan yerel patojen ve zararlı ırklarına karşı en iyi yanıtı veren genotiplerin "ulusal referans" olarak belirlenmesi, hızlı moleküler tarama (örneğin SNP panel) ve CRISPR/Cas tabanlı gen düzenleme çalışmaları için sağlam bir temel oluşturacaktır (Camareri ve ark.,2024; Kaushik ve ark., 2016).

7.3. Saha-Deney Uygulamaları ve Entegrasyon

Laboratuvar ve sera koşullarında elde edilen dayanıklılık verilerinin sahada (çiftlik koşullarında) doğrulanması, Türkiye'nin farklı iklim ve üretim bölgelerine uygun stratejilerin geliştirilmesini sağlar. Genomik Destekli Seleksiyon (GDS) ve Markör Destekli Seleksiyon (MAS) yöntemleri, saha uygulamaları ile entegre edildiğinde, çoklu biyotik streslere karşı dayanıklı patlıcan çeşitlerinin geliştirilmesini hızlandırabilir (Gong ve ark., 2024). Ayrıca, Mikrobiyom / Rizosfer yaklaşımlarıyla saptanan "mikrobiyom-uyumlu" hatların (yani yararlı mikrobiyal konsorsiyumları destekleyen hatların) saha deneyleri ile desteklenmesi, Entegre Zararlı Yönetimi (IPM) ve sürdürülebilir çevre dostu üretim yöntemlerinin adaptasyon kapasitesini artıracaktır (Sarker ve Islam, 2024).

SONUÇ

Bu derleme, patlıcan (*Solanum melongena* L.) üretiminde fungal, bakteriyel, viral patojenler, nematodlar ve zararlılar başta olmak üzere biyotik stres faktörlerinin yarattığı tehditlere karşı sürdürülebilir ve kalıcı genetik çözümlere olan acil ihtiyacı güçlü bir şekilde ortaya koymaktadır. Patojenlerin hızla evrimleşme yeteneği ve kimyasal

mücadelenin kısıtlılıkları dikkate alındığında, ıslah programları tek genli direncin ötesine geçerek moleküler markörler yardımıyla hızlandırılan Gen Piramitlemesi stratejisini benimsenmelidir. Piramitleme, birden fazla dayanıklılık genini tek bir genotipe birleştirerek dayanıklılığın hem kalıcılığını hem de çoklu patotipe karşı geniş spektrumlu etkinliğini artırmaktadır. Türkiye, yerel heirloom (yöresel) genotipleri ve yabancı *Solanum* akrabaları sayesinde bu piramitleme çalışmaları için eşsiz ve zengin bir genetik çeşitlilik havuzuna sahiptir; mevcut BATEM ve üniversite programları, standardize edilmiş fenotipleme protokolleri kullanarak bu kaynakları aktif olarak karakterize etmektedir. Gelecek nesil ıslah programlarının hızı ve hassasiyeti, RNA-seq, Pangenom ve CRISPR/Cas9 teknolojilerinin entegrasyonu ile sağlanacaktır. Pangenom analizi, yabancı akrabalarındaki nadir hat-özü paralog varyantlarını ve direnç genlerini ortaya çıkarırken; RNA-seq ve eQTL (Expression quantitative trait loci) çalışmaları, stres altındaki gen ekspresyonlarını aydınlatacaktır. Bu kapsamlı genomik bilgi akışı, CRISPR/Cas9 genom düzenleme araçları ile birleştirildiğinde, tespit edilen kritik aday genlerin doğrudan ve hassas bir şekilde düzenlenmesini mümkün kılarak, dayanıklı çeşit geliştirme sürecini geleneksel metotlara kıyasla önemli ölçüde hızlandıracaktır. Sonuç olarak, Türkiye'nin patlıcan üretimindeki küresel konumunu koruyabilmesi için, gen kaynaklarının etkin korunması, Markör Destekli Seleksiyon (MAS) yöntemlerinin yaygınlaştırılması ve ileri genom düzenleme stratejilerinin uygulaması ile ıslah programlarına entegre edilmesi gerekmektedir. Bu entegre ve ileri teknoloji odaklı yaklaşım, hem yerel üreticilerin rekabet gücünü artıracak hem de biyotik stres baskısına karşı tarımsal güvenliği güçlendirecektir.

KAYNAKÇA

- Abdallah, A. M., Ismail, M. S. M., AboGhalia, A. H. & Soliman, M. F. M. (2019). Factors affecting population dynamics of *Tetranychus urticae* and its predators on three economic plants in Ismailia, Egypt. *International Journal of Tropical Insect Science*, 39(2), 115-124.
- Abebe, A.M., Kim, Y., Kim, J., Kim, S.L. & Baek, J. (2023). Bahçe bitkilerinde görüntü tabanlı yüksek verimli fenotipleme. *Bitkiler*, 12 (10), 2061.
- Abubakar, M., Koul, B., Chandra, K., Raut, A. & Yadav, D. (2022). Whitefly (*Bemisia tabaci*) management (WFM) strategies for sustainable agriculture: A review. *Agriculture*, 12(9), 1317.
- Acquaah, G. (2007). *Principle of plant genetics and breeding*. 2007. Australia (AU): Blackwell Publishing. Book. ISBN9780470664766, eISBN9781118313718, Pages; i - xvi
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. Elsevier. (Book). Author: George N. Agrios. ISBN:978-0-12-044565-3. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02037-6>
- Agrios, G. N. (1988). *Plant Pathology* 3rd (ed) Academic Press. San Diego, 920.
- Aguilera, J. G., Pessoni, L. A., Rodrigues, G. B., Elsayed, A. Y., Da Silva, D. J. & De Barros, E. G. (2011). Genetic variability by ISSR markers in tomato (*Solanum lycopersicon* Mill.). *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6(2), 243-252.
- Akter, T., Maqsood, H., Castilla, N., Song, W. & Chen, S. (2025). Systems Biology Applications in Revealing Plant Defense Mechanisms in Disease Triangle. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(15), 7318.
- Alas, E., Öztekin, G. B. & Boyacı, H. F. (2022). Türkiye patlıcan üretiminin mevcut durumu. *Bahçe*, 51(Özel Sayı 1) 13. *Sebze Tarımı Sempozyumu*, 435-447.
- Ali, Z., Xu, Z. L., Zhang, D. Y., He, X. L., Bahadur, S. & Yi, J. X. (2011). Molecular diversity analysis of eggplant (*Solanum melongena*) genetic resources. *Genetics and Molecular Research*, 10(2), 1141-1155.

- Altınok, H., Boyacı, H.F. & Topçu, V. (2012). Prevalence of *Fusarium* and *Verticillium* Wilts in Greenhouse Eggplant Production Areas of Antalya, Mersin and Samsun Provinces and Geographical Distribution of the Virulence of the Isolates. Atatürk Univ., J. of the Agricultural Faculty, 43 (2): 107-115.
- Altınok, H.H. & Kamberoğlu, M.A. (2005). Adana ve Mersin illerinde patlıcan üretim alanlarında *Fusarium* ve *Verticillium* solgunluk hastalıklarının yaygınlığı ve şiddeti. Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Derg., 20 (4): 1-8.
- Arvas, Y. E., Aksoy, H. M. & Kaya, Y. (2018). Patates bitkisinde biyoteknolojik çalışmalar. International Journal of Life Sciences and Biotechnology, 1(1), 37-47.
- Aslan, B., Birgücü, A. K. & Aslan, E. G. (2025). Impact of host switching at different larval instars on the performance of the polyphagous pest *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Scientific Reports, 15(1), 10803.
- Barchi, L., Lanteri, S., Portis, E., Acquadro, A., Valè, G., Toppino, L. & Rotino, G. L. (2011). Identification of SNP and SSR markers in eggplant using RAD tag sequencing. BMC genomics, 12(1), 304.
- Barchi, L., Pietrella, M., Venturini, L., Minio, A., Toppino, L., Acquadro, A. & Rotino, G. L. (2019). A chromosome-anchored eggplant genome sequence reveals key events in Solanaceae evolution. Scientific reports, 9(1), 11769.
- Barchi, L., Toppino, L., Valentino, D., Bassolino, L., Portis, E., Lanteri, S. & Rotino, GL (2018). QTL analizi, mantar solgunluklarına karşı dirençle ilgili yeni patlıcan lokuslarını ortaya koyuyor. Euphytica, 214 (2), 20.
- Benoit, M., Jenike, K. M., Satterlee, J. W., Ramakrishnan, S., Gentile, I., Hendelman, A. & Lippman, Z. B. (2025). *Solanum* pan-genetics reveals paralogues as contingencies in crop engineering. Nature, 1-11.
- Best, R. J. (1968). Tomato spotted wilt virus. Advances in virus research, 13, 65-146.
- Bhat, M., Anwar, A., Amin, Z., Jan, R., Shabir, Z., Gupta, S. & Rashid, R. J. (2021). Integrated Management of Brinjal (*Solanum melongena* L.) Diseases. In Innovative Biotic Stress Management Strategies in Crops. CRC Press. 265-280.

- Blackman, R. L. & Eastop, V. F. (2000). Aphids on the world's crops: an identification and information guide. 2nd Edition, ISBN: 978-0-471-85191-2. 476
- Boyacı, H. F. & Abak, K. (2008). Patlıcanlarda *Fusarium* solgunluğuna dayanıklılık kaynakları ve dayanıklılığın kalıtımı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17-3.
- Boyacı, H. F., Gümrükçü, E., Cebeci, E. & Göroğlu, E. (2020). Bazı patlıcan genotiplerinin *Verticillium dahliae*'ya karşı reaksiyonlarının belirlenmesi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi. BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlar, Diğer Özel Kurumlarca Desteklenen Proje, 2020-2020
- Boyacı, H. F., Gumrukcu, E., Unlu, A., Ellialtıoglu, S. S. & Abak, K. (2017). Assessment Results and Reflections of Some Eggplant Breeding Projects Performed in Turkey. International Journal of Applied, 6(1), 1-8.
- Boyacı, H. F., Unlu, A. & Abak, K. (2011). Genetic analysis of resistance to wilt caused by *Fusarium* (*Fusarium oxysporum melongenae*) in eggplant (*Solanum melongena*). Indian Journal of Agricultural Sciences, 81(9), 812-15.
- Cammareri, M., Frary, A., Frary, A. & Grandillo, S. (2024). Genetic and biotechnological approaches to improve fruit bioactive content: a focus on eggplant and tomato anthocyanins. International Journal of Molecular Sciences, 25(12), 6811.
- Cericola, F., Portis, E., Lanteri, S., Toppino, L., Barchi, L., Acciarri, N. & Rotino, G. L. (2014). Linkage disequilibrium and genome-wide association analysis for anthocyanin pigmentation and fruit color in eggplant. BMC genomics, 15(1), 896.
- Chen, T., Chen, L., Wang, J., Cheng, J., Yi, S., Hafeez, M. & Lu, Y. (2023). Development of attractants and repellents for Tuta absoluta based on plant volatiles from tomato and eggplant. Frontiers in Sustainable Food Systems, 7, 1155317.
- Chukwu, S. C., Rafii, M. Y., Ramlee, S. I., Ismail, S. I., Oladosu, Y., Okporie, E. & Jalloh, M. (2019). Marker-assisted selection and gene pyramiding

- for resistance to bacterial leaf blight disease of rice (*Oryza sativa* L.). Biotechnology & Biotechnological Equipment, 33(1), 440-455.
- Çolak, A.A., Fidan, H., Özarslandan, A. & Ata, A. (2018). Determination of the resistance of certain eggplant lines against *Fusarium* wilt, Potato Y Potyvirus and root-knot nematode using molecular and classic methods. Fresenius Environmental Bulletin, 27(11), 7446-7453.
- Çolak Ateş, A. (2020). Investigation of resistance to *Verticillium* wilt disease (*Verticillium dahliae* Kleb.) in eggplant genotypes. Plant Protection Bulletin, 60(4), 5-11.
- Collard, B. C., & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 363(1491), 557-572.
- Crossa, J., Pérez-Rodríguez, P., Cuevas, J., Montesinos-López, O., Jarquín, D., De Los Campos, G. & Varshney, R. K. (2017). Genomic selection in plant breeding: methods, models, and perspectives. Trends in Plant Science, 22(11), 961-975.
- Dağlı, F., Yükselbaba, U., Ikten, C., Topakcı, N., & Gocmen, H. (2020). Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* (Genn.) Populations collected from the Mediterranean and Aegean regions of Turkey. Applied Ecology and Environmental Research, 18(6).
- Demir, K., Bakır, M., Sarıkamış, G. & Acunalp, S. (2010). Türkiye'den patlıcan (*Solanum melongena*) germ plazmasının SSR ve RAPD belirteçleriyle genetik çeşitliliğinin değerlendirilmesi. Genetik ve Moleküler Araştırma, 9 (3), 1568-1576.
- Derviş, S., Yetisir, H., Yıldırım, H., Tok, F.M., Kurt, S. & Karaca, F. (2009). Genetic and pathogenic characterization of *Verticillium dahliae* isolates from eggplant in Turkey. Phytoparasitica, 37, 467-476
- Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K. A., Burgio, G., Arpaia, S., Narváez-Vasquez, C. A. & Urbaneja, A. (2010). Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. Journal of pest science, 83(3), 197-215.

- Doganlar, S., Frary, A., Daunay, M.C., Lester, R.N. & Tanksley, S.D. (2002). Conservation of gene function in the Solanaceae as revealed by comparative mapping of domestication traits in eggplant. *Genetics*, 161(4):1713-1726.
- Dormatey, R., Sun, C., Ali, K., Coulter, J. A., Bi, Z. & Bai, J. (2020). Gene pyramiding for sustainable crop improvement against biotic and abiotic stresses. *Agronomy*, 10(9), 1255.
- El-Deriny, M. M., Wahdan, R. H., Fouad, M. S. & Ibrahim, D. S. (2024). Integrated Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria with *Trichoderma Viride* on Root Knot Nematode Infected Eggplant. *Pakistan Journal of Nematology*, 42(2).
- FAO, (2024). FAOSTAT Production Databases. Erişim adresi: <http://www.fao.org/faostat> (Erişim tarihi:16.10.2025).
- Fidan, H. & Sarıkaya, P. (2020). Antalya ili patlıcan (*Solanum melongena*) yetiştiriciliğinde sorun olan virüs hastalıkları. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 33(1), 27-35.
- Fradin, E. F. & Thomma, B. P. (2006). Physiology and molecular aspects of *Verticillium* wilt diseases caused by *V. dahliae* and *V. albo-atrum*. *Molecular plant pathology*, 7(2), 71-86.
- Gaccione, L., Martina, M., Barchi, L. & Portis, E. (2023). A compendium for novel marker-based breeding strategies in eggplant. *Plants*, 12(5), 1016.
- Gebhardt, C. (2016). The historical role of species from the Solanaceae plant family in genetic research. *Theoretical and Applied Genetics* 129: 2281-2294.
- Geboloğlu, N. & Ellialtıoğlu, Ş. Ş. (2022). Patlıcan ıslahı. *Sebze ıslahı*, 3, 319-446.
- Genin S. (2010). *Ralstonia solanacearum*'da konak aralığını ve bitkilere adaptasyonunu kontrol eden moleküler özellikler. *Yeni Fitol.* 187:920–8.
- Göksel, P. (2023). Yerli bir *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) popülasyonunun farklı sebze türlerinde iki noktalı kırmızı örümcek, [*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)]'e karşı kullanıma potansiyelinin belirlenmesi. (PhD Thesis). Bursa Uludağ Üniversitesi. 2023-07-20.

- Golicz, A. A., Bayer, P. E., Bhalla, P. L., Batley, J. & Edwards, D. (2020). Pangenomics comes of age: from bacteria to plant and animal applications. *Trends in Genetics*, 36(2), 132-145.
- Gong, C., Wang, Z., Li, Z., Sun, B., Luo, W., Luo, S. & Li, T. (2024). A QTL of eggplant shapes the rhizosphere bacterial community, co-responsible for resistance to bacterial wilt. *Horticulture Research*, 11(2), uhad272.
- González-Cabezuelo, J. M., Capel, J., Abad, J., Tomás, D. M., Fernández-Muñoz, R., Moriones, E. & Lozano, R. (2012). Genotyping selection for resistance against tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) conferred by Ty-1 and Ty-3 genes in tomato. *Molecular Breeding*, 30(2), 1131-1142.
- Gözen, V., Keskin, L., Çelik, N., Tepe, A. & Fidan, H. (2019). The Development of Qualified F4 Inbred Lines Cucumber Breeding Programmes and Technology Project (Rapor No. TAGEM/BBAD/10/A09/P01/13). Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) & Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü (BATEM).
- Gramazio, P., Prohens, J., Plazas, M., Andújar, I., Herraiz, F. J., Castillo, E. & Vilanova, S. (2014). Location of chlorogenic acid biosynthesis pathway and polyphenol oxidase genes in a new interspecific anchored linkage map of eggplant. *BMC plant biology*, 14(1), 350.
- Gramazio, P., Yan, H., Hasing, T., Vilanova, S., Prohens, J. & Bombarely, A. (2019). Whole-genome resequencing of seven eggplant (*Solanum melongena*) and one wild relative (*S. incanum*) accessions provides new insights and breeding tools for eggplant enhancement. *Frontiers in plant science*, 10, 1220.
- Haider, E. (2020). Assessment of phytoextracts against leaf spot of brinjal caused by *Alternaria alternata* (fr.) Keissler. University of Agriculture, Faisalabad.
- Hannachi, S., Werbrouck, S., Bahrini, I., Abdelgadir, A. & Affan Siddiqui, H. (2021). NaCl stresi altında in vitro seçilmiş patlıcan somaklonal varyantlarının agronomik, fizyolojik ve biyokimyasal karakterizasyonu. *Bitkiler*, 10 (11), 2544.

- Janssen, D. & Ruiz, L. (2016). Viruses transmitted by the whitefly *Bemisia tabaci* in organic greenhouse crops. Current situation and risks in Europe. BioGreenHouse Factsheet. <https://edepot.wur.nl/373607>
- Jones, J. D. & Dangl, J. L. (2006). The plant immune system. *nature*, 444(7117), 323-329.
- Jones, J. P., Jones, J. B. & Miller, W. (1982). *Fusarium* Wilt on Tomato. Fla. Dept. Agric. & Consumer Serv., Div. Of Plant Industry, Plant Pathology Circular No: 237.
- Jung, J., Kim, H. J., Lee, J. M., Oh, C. S., Lee, H. J. & Yeam, I. (2015). Gene-based molecular marker system for multiple disease resistances in tomato against Tomato yellow leaf curl virus, late blight, and *verticillium* wilt. *Euphytica*, 205(2), 599-613.
- Kanlıtepe, Ç. V., Aras, S. & Duman, D. C. (2010). Bitki Islahında Moleküler Belirteçlerin Kullanımı ve Gen Aktarımı. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 67(1), 33-43.
- Karagöz, A., Zencirci, N., Tan, A., Taşkın, T., Köksel, H., Sürek, M. & Özbek, K. (2010). Bitki genetik kaynaklarının korunması ve kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 1, 155-177.
- Kaushik, P., Plazas, M., Prohens, J., Vilanova, S. & Gramazio, P. (2018). Diallel genetic analysis for multiple traits in eggplant and assessment of genetic distances for predicting hybrids performance. *Plos one*, 13(6), e0199943.
- Kaushik, P., Prohens, J., Vilanova, S., Gramazio, P. & Plazas, M. (2016). Phenotyping of eggplant wild relatives and interspecific hybrids with conventional and phenomics descriptors provides insight for their potential utilization in breeding. *Frontiers in Plant Science*, 7, 677.
- Kılıç, T. (2010). First record of *Tuta absoluta* in Turkey. *Phytoparasitica*, 38: 243-244.
- Knapp, S., Aubriot, X. & Prohens, J. (2019). Eggplant (*Solanum melongena* L.): taxonomy and relationships. In *The eggplant genome* Cham: Springer International Publishing. 11-22.
- Kumar, A., Rai, A. C., Rai, A., Rai, K. K. & Rai, V. P. (Eds.). (2021). *Stress Tolerance in Horticultural Crops: Challenges and Mitigation Strategies*. Editor: Ajay Kumar, Avinash Chandra Rai, Ashutosh Rai,

- Krishna Kumar Rai, Ved Prakash Rai. Book, Woodhead Publishing. Elsevier, 414 pages.
- Lapidot, M. & Polston, J. E. (2010). Biology and epidemiology of Bemisia-vectored viruses. Bemisia: bionomics and management of a global pest. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 227-231.
- Li, G., Mo, Y., Lv, J., Han, S., Fan, W., Zhou, Y. & Zhao, K. (2024). Unraveling *verticillium* wilt resistance: insight from the integration of transcriptome and metabolome in wild eggplant. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1378748.
- Li, X., Wei, Y., Ma, Y., Cao, G., Ma, S., Zhang, T. & Piao, Z. (2022). Marker-assisted pyramiding of CRa and CRd genes to improve the clubroot resistance of Brassica rapa. *Genes*, 13(12), 2414.
- Lin, Z., Li, Y., Riaz, A., Sudheesh, S., Yazdifar, S., Atieno, J. & Kaur, S. (2025). Assessing the utility of genomic selection to breed for durable Ascochyta blight resistance in chickpea. *The Plant Genome*, 18(2), e70023.
- Malik, A. A. Y. & Karut, K. (2012). Çukurova Bölgesi'nde *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) â nin farklı kültür bitkilerinde parazitlenme durumu. *Turkish Journal of Entomology*, 36(1), 59-68.
- Manda, R. R., Addanki, V. A. & Srivastava, S. (2020). Bacterial wilt of solanaceous crops. *International Journal of Chemical Studies*, 8(6), 2752-2759.
- Meuwissen, T. H. E., Hayes, B. J. & Goddard, M. E. (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics*, 157(4), 1819-1829. <https://www.genetics.org/content/157/4/1819>
- Mostafa, M., & Hossain, M. M. (2024). The impact of climate factors on the epidemiology and management of Potato virus Y. *Online J Biol Sci.* Department of Plant Pathology, Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Gazipur, Bangladesh. 24 (4): 858.876.
- Mundt, C. C. (2018). Pyramiding for resistance durability: theory and practice. *Phytopathology*, 108(7), 792-802.
- Mutlu, N., Boyacı, FH, Göçmen, M. & Abak, K. (2008). Patlıcanda Fusarium solgunluğuna dayanıklılık geni ile bağlantılı SRAP, SRAP-RGA,

- RAPD ve SCAR belirteçlerinin geliştirilmesi. Teorik ve Uygulamalı Genetik, 117 (8), 1303-1312.
- Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Arolu, F., Chukwu, S. C., Salisu, M. A., Olaniyan, B. A. & Muftaudeen, T. K. (2021). Genetic diversity and utilization of cultivated eggplant germplasm in varietal improvement. *Plants*, 10(8), 1714.
- Phad, A. P., Takate, U. B., Rawal, S. K., Pyati, P. S., & Lomate, P. R. (2024). Targeted gene knockout via CRISPR/Cas9: precise genome editing in eggplant (*Solanum melongena*) through phytoene desaturase gene disruption. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 27(2), 249-259.
- Phukan, T., Kabyashree, K., Singh, R., Sharma, P. L., Singh, N., Barman, A. & Ray, S. K. (2019). *Ralstonia solanacearum* virulence in eggplant seedlings by the leaf-clip inoculation. *Phytopathology Research*, 1(1), 23.
- Pınar, H., Coşkun, Ö. F., Uysal, E., Gülşen, O., & Yetişir, H. (2017). Farklı yamula patlıcanı genotiplerinin genetik benzerliklerinin ISSR moleküler markır yardımıyla belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 157-162.
- Ponti, L., Gutierrez, A. P., de Campos, M. R., Desneux, N., Biondi, A. & Neteler, M. (2021). Biological invasion risk assessment of *Tuta absoluta*: mechanistic versus correlative methods. *Biological Invasions*, 23(12), 3809-3829.
- Rahman, M. Z., Hasan, M. T., & Rahman, J. (2023). Kompetitive allele-specific PCR (KASP): an efficient high-throughput genotyping platform and its applications in crop variety development. In *Molecular Marker Techniques: A Potential Approach of Crop Improvement*. Singapore: Springer Nature Singapore. 25-54.
- Relatives, W. C. (2011). Genomic and Breeding Resources. *Legume Crop and Forages*. Legume Crops and Forage, Editors: Chittaranjan Kole. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14387-8>
- Rosa-Martínez, E., Villanueva, G., Şahin, A., Gramazio, P., García-Martínez, M. D., Raigón, M. D. & Plazas, M. (2023). Characterization and QTL identification in eggplant introgression lines under two N fertilization levels. *Horticultural Plant Journal*, 9(5), 971-985.

- Sandeep, V., Chinmayi, S. & Bellanki, A. (2024). Two-spotted spider mite: Biology, damage symptoms and integrated pest management in crop ecosystem. *Vigyan Varta*, 5, 163-165.
- Sani, I., Ismail, S.I, Abdullah, S., Jalinaz, J., Jamian, S. & Saad, N. (2020). Beyaz sinek, *Bemisia tabaci*'nin (Hemiptera: Aleyrodidae) biyolojisi ve kontrolünün, özellikle entomopatojenik mantarların kullanıldığı biyolojik kontrole özel bir atıfla incelenmesi. *Böcekler*, 11 (9), 619.
- Sarker, A. & Islam, T. (2024). Unlocking the Interaction and Mechanistic Insights into Plant Probiotic Bacteria for Sustainable Mitigation of Soil Salinity Stress. In *Soil Bacteria: Biofertilization and Soil Health*. Singapore: Springer Nature Singapore. 559-579.
- Sarnaik, R., Shelake, J. & Waghmare, M. (2025). *Fusarium* wilt of brinjal: impact, pathogenicity, and sustainable management strategies. *Discover Plants*. 2:244
- Scott J.W. (2005). Perspective on tomato disease resistance breeding: past, present and future. *Acta Horticulturae*, 695.
- Semagn, K., Bjørnstad, Å., & Ndjioudjop, M. N. (2006). An overview of molecular marker methods for plants. *African journal of biotechnology*, 5(25), 2540-2568.
- Silva, G. F. P., Pereira, E., Melgar, B., Stojković, D., Sokovic, M., Calhelha, R. C. & Barros, L. (2020). Eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) and bio-residues as a source of nutrients, bioactive compounds, and food colorants, using innovative food technologies. *Applied Sciences*, 11(1), 151.
- Simith, J. M., Dunez, D. H. & Phillips, R. A. (1988). European handbook of plant diseases. Lelliott and S. A. Archer, Eds. Blackwell Scientific Publications: Oxford Sh: 583.
- Simpson, M. G. (2012). Bitki sistematiği (Editorler, Zeki Aytaç, Bahar Kaptaner İğci). Ankara: Palme Yayıncılık. ISBN978-605-133-350-2
- Stravato, M.V., Cappelli, C. & Polverari, A., (1993). *Fusarium oxysporum* f. sp. *melongenae* agent of wilting of aubergine. *Informatore Fitopatologico.*, 43:10, 51-54.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2024). Bitkisel üretim istatistikleri, 2024.
- Tutar Kara, F. & Erkılıç, A. (2016). Patlıcanda Solgunluk Hastalıkları (*Verticillium Dahliae* ve *Fusarium Oxysporum* F.Sp. *Melongenae*)'Na

- Karşı Mikorizal Fungusların ve Abiyotik Uyarıcıların Etkilerinin Belirlenmesi. Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. 34-5.
- Uslu-Kıran, S., Ellialtıoğlu, Ş., Dolar, F.S., Üstün, A.S., Mehmetoğlu, Ü. & Bayraktar, H. (2007). Patlıcanda *Verticillium* solgunluğuna dayanıklılık ile kallus kültüründe solavetivon birikimi arasındaki ilişkinin incelenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12 (1), 45-53.
- Uysal, E., Yigit, M., Pakashtica, V. & Pinar, H. (2023). Türkiye Yerli Patlıcan (*Solanum melongena* L.) Popülasyonlarının Moleküler ve Morfolojik Karakterizasyonu. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 10(1), 167-179.
- Varma, P. M. (1963). Transmission of plant viruses by whiteflies. European Journal of Plant Pathology. 109: 195–219
- Vilanova, S., Manzur, J. P. & Prohens, J. (2012). Development and characterization of genomic simple sequence repeat markers in eggplant and their application to the study of diversity and relationships in a collection of different cultivar types and origins. Molecular Breeding, 30(2), 647-660.
- Wang, B., Chen, X., Huang, S., Tan, J., Zhang, H., Wang, J. & Zhang, M. (2024). Bulk segregant analysis sequencing and RNA-Seq analyses reveal candidate genes associated with sepal color phenotype of eggplant (*Solanum melongena* L.). Plants, 13(10), 1385.
- Wang, H., Nie, Z., Wang, T., Yang, S. & Zheng, J. (2024). Comparative transcriptome analysis of eggplant (*Solanum melongena* L.) peels with different glossiness. Agronomy, 14(12), 3063.
- Wei, Q., Wang, J., Wang, W., Hu, T., Hu, H. & Bao, C. (2020). A high-quality chromosome-level genome assembly reveals genetics for important traits in eggplant. Horticulture research, 7.
- Xiao, X. O., Lin, W., Nie, H., Duan, Z. & Liu, K. (2024). QTL Mapping for Bacterial Wilt Resistance in Eggplant via Bulk Segregant Analysis Using Genotyping by Sequencing. Agronomy, 14(6), 1159.
- Yin, Z., Zieniuk, B. & Pawelkiewicz, M. (2024). Climate change effects on cucumber viruses and their management. Agriculture, 14(11), 1999.
- You, Q., Peng, Z., Li, Z., Jiang, Y., Wan, P., Zhao, Y., Zhao, W., Zhang, S., Cheng, H., Chen, C., Heng, Z., Hu, M., Zhou, Y., Gaut, B., Sun, B., Li,

- T., & Liao, Y. (2024). Pangenome analysis uncovers large hidden structural variants underlying fruit color and bacterial wilt resistance in eggplant. DOI: 10.21203/rs.3.rs-5083502/v1 (Ön baskı).
- Zhang, Y., Zhu, S., Zhou, J. & Wang, F. (2025). Review of Genetic Mapping and Marker-Assisted Selection in Potato Breeding. *Molecular Plant Breeding*, 16.
- Zhou, X., Wang, J., Liu, F., Liang, J., Zhao, P., Tsui, C. K. & Cai, L. (2022). Cross-kingdom synthetic microbiota supports tomato suppression of *Fusarium* wilt disease. *Nature communications*, 13(1), 7890.
- Ziegler-Graff, V. (2020). Molecular insights into host and vector manipulation by plant viruses. *Viruses*, 12(3), 263.

BÖLÜM 8

PATLICANGİLLERDE SULAMA VE SU STRESİ

Dr. Öğr. Üyesi Esmâ YİĞİDER¹, Prof. Dr. Melek EKİNCİ²,
Prof. Dr. Selda ÖRS CİRİK³, Prof. Dr. Murat AYDIN¹,
Prof. Dr. Metin TURAN⁴, Prof. Dr. Ertan YILDIRIM^{2*}

1 Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Erzurum, Türkiye, esma.yigider@atauni.edu.tr, 0000-0002-6896-0193; maydin@atauni.edu.tr, 0000-0003-1091-0609; ertanyil@atauni.edu.tr, 0000-0003-3369-0645

2 Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Erzurum, Türkiye, ekincim@atauni.edu.tr, 0000-0002-7604-3803; ertanyil@atauni.edu.tr, 0000-0003-3369-0645

3 Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum, Türkiye, seldaors@atauni.edu.tr, 0000-0001-6789-8642

4 Yeditepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Tarım Ticareti ve İşletmeciliği, İstanbul, Türkiye, m_turan25@hotmail.com, 0000-0002-4849-7680

*: Sorumlu yazar

GİRİŞ

Solanaceae insanlar için önemli bir gıda kaynağı olmasından kaynaklanan hayati öneme ve geniş ekonomik değere sahip sebze türlerini içeren bir familyadır. Dünyada Antarktika dışındaki her kıtada bulunmasına rağmen, en büyük tür çeşitliliği Orta ve Güney Amerika'da görülmektedir. Yaklaşık 100 cins ve 2500 türden oluşan *Solanaceae* familyası aynı zamanda insan sağlığına fayda sağlayabilen çeşitli biyolojik olarak aktif bileşiklere sahip olmasıyla da dikkat çekmektedir (Motti, 2021). Bu familyanın hem kültüre alınmış hem de yabani türleri, aynı zamanda günlük sağlık sorunlarının önlenmesinde önemli rol oynayan fonksiyonel gıdalar olarak ve çeşitli hastalıkların tedavisinde fayda sağlayabilecek zengin biyoaktif bileşikler içermelerinden dolayı da dikkate alınmaktadır (Svobodová ve Kuban, 2018).

Solanaceae familyasının gıda, ilaç ve fonksiyonel gıdalar açısından sahip olduğu özellikler göz önüne alındığında, bu değerli ürünlerin sürdürülebilirliğini sağlamak için, dünya tarımında suyun israfçı kullanımına son vererek tarımsal su kullanım verimliliğini (WUE) artırmak önemli bir konudur. Küresel tatlı suyun %70'ini tüketen tarımsal sulama, dünya tarımı için vazgeçilmez bir gereklilik olurken artan su rekabeti nedeniyle, tarımsal WUE'yi optimize etmek zorunlu olmuştur. Bu, birim arazi başına verimlilikten, tüketilen birim su başına verimliliğe geçişi gerektirmiş ve suyu koruyarak maksimum ürün büyümesini teşvik etme hedeflenmiştir (De Pascale ve ark., 2011).

Domates, biber ve patlıcan gibi sebzelerde bitki büyümesinin optimum seviyelerde olması ve yüksek verim elde edilmesi için su koşullarının bitki ihtiyacı doğrultusunda belirli seviyelerde olması gerekmektedir.

Kurak ve yarı kurak bölgelerde sebze yetiştiriciliğindeki su kıtlığını aşmak için yeni ve su tasarruflu sulama teknikleri uygulanmaktadır. Bu tekniklerin başarısı, sebze verimini düşürmeyecek eşik su açığı düzeyini belirlemeye ve bitkilerin uyum mekanizmalarını anlamaya bağlıdır. Bu amaçla, su stresini erken teşhis eden ve toprak ile atmosferin kümülatif etkisini değerlendiren bitki bazlı su stresi göstergelerinin tanımlanması büyük önem taşımaktadır (Parkash ve Singh, 2020). Su kıtlığının yoğun olarak yaşandığı bölgelerde, hem kısıtlı sulama hem de uygun sulama planlaması, suyu verimli kullanmak ve sebze üretimini sürdürmek için önemlidir. Su stresi ve su kısıtı eşiğini belirlemek için, geleneksel toprak nemi yöntemlerinden bitki temelli yaklaşımlara kadar çeşitli metotlar kullanılmaktadır (Costa ve ark., 2007). Su stresindeki bitkilerde daha düşük buharlaşma-terleme ile birlikte yaprak solması, bodur büyüme, yaprak alanı/gövde çapı azalması gibi belirgin semptomların yanı sıra stoma iletkenliği, fotosentez ve yaprak sıcaklığı gibi fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerde değişiklikler meydana gelir. Bu nedenle bitki temelli ölçümler, hem bitki su durumunun doğrudan hem de su açığına hassas süreçlerin dolaylı ölçümünü içermektedir (Waśkiewicz ve ark., 2016; Costa et al., 2007).

Kurak ve yarı kurak bölgelerde sebze yetiştiriciliğinde su tasarruflu sulama yöntemleriyle birlikte yersiz sulama bitkilerde su stresine yol açmaktadır. Sebzeler, sık köklere sahip olmaları ve yüksek oranda (%80-95) su içermeleri nedeniyle diğer tarım ürünlerine göre su stresine daha hassas olup, verim ve kalitede ciddi düşüş riskini beraberinde getirir (Kumar ve ark., 2012). Bu nedenle, sürdürülebilir sebze üretimi için bitkilerin su stresine tepki ve uyum mekanizmalarını anlamak hayati

önem taşımaktadır. Uygun olmayan sulama yöntemleri ve sulama seviyeleri verimde düşüş, kalitede kayıplar ve su israfına neden olmaktadır. Bu çalışmada Solanaceae familyası sebzelerinin su ihtiyacı, kullanılan sulama yöntemleri ve su stresine verdikleri tepkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

1. PATLICANGİLLERDE SU İHTİYACI VE SULAMA YÖNTEMLERİ

Sebzeler, diğer tarımsal ürünlere göre birim su başına daha yüksek ekonomik değere ve verimliliğe sahiptir. Ticari sebze üretiminde hem yüksek verim hem de kaliteli ürün elde etmek için sulama önemlidir (De Pascale ve ark., 2011). Solanaceae sebzeleri yetiştiriciliğinde iklim, toprak tipi, kullanılabilir su, iş gücü ve piyasa taleplerine bağlı olarak yaygın olarak yüzey, damla sulama ve yağmurlama sistemleri gibi yöntemler ile sulama yapılmaktadır.

Dünyada sulanan alanların yaklaşık %83'ünde yüzey sulama yapılmakta olup, çok eski yıllara dayanan geleneksel ve modern sistemleri içeren en yaygın sulama yöntemidir. Bu yöntemde, su tarla yüzeyinden akarak toprağa sızmaktadır ve sebzelerde daha çok karık sulama şeklinde uygulaması yapılır (Pereira ve Gonçalves, 2018). Düz arazilerde düşük maliyet ve enerji ile kullanılabilen yüzey sulama yönteminde yüksek su sızması, tarla boyunca suyun değişkenlik göstermesi, arazi tesviyesinin zorunluluğu gibi kısıtlamalar söz konusudur (Pereira ve Gonçalves, 2018). Özellikle su tasarrufunda önemli bir potansiyele sahip olan damlama sulama yeni modern teknolojinin kullanımı ile yeraltı suyunun aşırı kullanımını azaltır, damlatıcılar ile bitki ihtiyacı doğrultusunda suyu ve gübreyi doğrudan bitki kök bölgesine verir. Sık aralıklarla az miktarda

suyun kullanılmasının yanı sıra, işçilik maliyetinin düşürülmesi ve gübre verimliliğini de artırmaktadır (Bansal ve ark., 2021). Damla sulama ile sağlanan su, işçilik ve enerji tasarrufunun yanı sıra artan ürün kalitesi, azalan yabancı ot gelişimi gibi faydaları bulunmaktadır. Bununla birlikte ilk kurulum ve tesis masrafları ve uygun malzeme bulunması gibi zorlukları da söz konusudur (Jadav ve ark., 2024). Suyun basınçla havaya püskürtülmesi şeklinde uygulanan yağmurlama sulama mikro iklim üzerinde olumlu bir etki yapmakta, yüksek sulama randımanı ve engebeli alanlarda da kullanılabilme fırsatı sunmaktadır. Bununla birlikte ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, damlacıklardan ve ıslak toprak yüzeylerinden buharlaşma, bitki örtüsünden istenmeyen terleme, rüzgarla sürüklenme ve sızıntı durumu vardır (Chauhdary ve ark., 2023).

Solanaceae sebzeleri, köklerinden aldığı suyun yaklaşık %90'ını terleme yoluyla atmosfere geri verdiklerinden büyümeleri için çok fazla suya ihtiyaç duyarlar. Bu yüksek su tüketimi nedeniyle, uygun büyüme ve yüksek verim elde etmek için yeterli su yönetimi kritik önem taşır. Özellikle farklı büyüme dönemlerinde yaşanan su stresi, verimi önemli ölçüde düşürür ve yetersiz su yaprak alanı ve boy gibi bitki büyümesini engeller (Ahmad ve ark., 2019). Genel olarak bu üç sebze türü için yapılacak sulama programında meyve bağlama dönemine kadar azaltılmış sulama, meyve oluşumu ile düzenli ve ihtiyaca göre artırılan sulamalar yapılmaktadır (Günay, 2005; Çetin ve ark., 2002). Sulama yöntemi olarak ise yukarıdan, yüzeyden, damla veya alt sulama sistemleri kullanılmaktadır. Dünya genelinde en fazla kullanılan yüzey sulama yöntemlerinin yerine günümüzde geleneksel yüzey sulama yöntemlerine göre %50-80 oranında su tasarrufu sağlayan damlama

sulama tercih edilmektedir (Maisiri ve ark., 2005). Domates, biber ve patlıcan yetiştiriciliğinde sulama kalitesi ve verimliliği, ürün verim ve kalitesini belirlemektedir. İdeal bir sulama için sulama suyunun sıklığı ve miktarı, iklim ve hava koşulları, bitki çeşidi, büyüme aşaması, kök yapısı, toprağın su tutma kapasitesi gibi birçok faktör göz önünde tutulmalıdır. Bu sebze türlerinde aşırı sulama ile kök çürüklükleri, meyve çatlamaları, çeşitli patojen enfeksiyonların oluşmasına neden olurken, yetersiz sulama bitki büyüme ve gelişiminde azalmaya, meyvelerde acılaşma gibi fizyolojik bozukluklara neden olmaktadır (Rubatzky ve Yamaguchi, 1997; Savvas ve ark., 2008).

Domateste düzenli ve yeterli sulama, verimi artırır, kaliteyi iyileştirir ve meyvelerin büyümesini desteklerken, çiçek burnu çürüklüğünü ve kabukta çatlamayı önler. Domateste toprak orta derecede nemli olacak şekilde sulama yapılmalıdır. Bununla birlikte aşırı sulama, bitkide sararma ve çiçek dökülmesine neden olur. Yetiştiricilik yapılan bölge ekolojik koşullarına bağlı olarak değişmekle birlikte, yaz döneminde 3-4 günde bir, ilkbahar döneminde ise 10-15 günlük aralıklarla yapılan sulamalar yeterli olabilmektedir. Ayrıca kaliteli ve verimli bir domates üretiminde çiçeklenme ve meyve verme dönemlerinde sulama önemli olup muhakkak yapılmalıdır (Ahmad ve ark., 2019). Çünkü domateste sulama için en kritik dönem çiçeklenme ve meyve tutum dönemidir (Liu ve ark., 2019). Geleneksel olarak, domates yetiştiriciliği karık sulama ile yapılırken, günümüzde damla sulama sağladığı gelişmiş su uygulama verimliliği ve hassas yerleştirme nedeniyle kullanımı hızla artmıştır. Domates yetiştiriciliğinde, sera üretiminin ürün verimi, sulama suyu verimliliği ve meyve kalitesi açısından açık tarla koşulların göre daha iyi

performans göstermekte, kullanılan damla sulamalı ile birlikte yaklaşık %20-25 su tasarrufu sağlayabilmektedir (Salokhe ve ark., 2005). Nemli tropik koşullarda altında yapılan domates üretiminde bitkinin terlemesinin (ET_c) %75'i oranında uygulanan damla sulamanın en ideal miktar olduğu tespit edilmiştir. Bu oran, hem maksimum domates verimini hem de en yüksek su kullanım verimliliğini sağlamıştır. Bitkinin gerçek su ihtiyacının buharlaşma-terleme denklemleri kullanılarak, sera içinden doğrudan mikroklima ölçümleri ile hesaplanmasının bitkinin çevresel koşullara göre değişen anlık ihtiyacının daha hassas belirlenebileceği belirtilmektedir (Salokhe ve ark., 2005). Sanayilik domates için ideal sulama programı, sadece verim ve net geliri değil, aynı zamanda salça kalitesini de belirleyecektir. Bu nedenle en iyi sulama yönetiminin seçilmesi toprak, iklim, su kaynakları ve tarımsal uygulamalar dahil olmak üzere birçok çevresel ve kültürel faktöre bağlıdır (Kuşcu ve ark., 2014).

Patlıcan, orta derinlikte köklere sahip olup, düzenli sulamaya ihtiyaç duyar. Sulama sıklığı mevsime göre değişmekle birlikte, yazın 4-5 günde bir, daha serin dönemde ise 10-15 günde bir sulama yapılmalıdır (Ahmad ve ark., 2019). Patlıcan bitkisinde su ihtiyacı, ürün büyümesinin farklı aşamalarında kademeli olarak artmakta olup, özellikle çiçeklenme, meyve verme ve hasat kritik dönemlerdir (Perween ve Ansari, 2021). Patlıcanda en yüksek kök aktivitesinin meyve evresinde görüldüğü, dönüşümlü sulamanın (her seferinde farklı sıraların sulanması), kök aktivitesini en yüksekte tuttuğu ve en yüksek toplam verimi sağladığının belirlendiği bir çalışmada, dönüşümlü sulama ile geleneksel ve sabit sulamaya göre daha yüksek verimle birlikte, su kullanım etkinliği ve su

verimliliğinde de en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir (Du Shenja, 2018). Serada patlıcan yetiştiriciliğinde, $kcp=0.75$ sulama programının, aşırı sulamadan kaçınarak hem en yüksek verimi hem de en iyi WUE sağlayan en uygun yöntem olduğu belirlenmiştir (Senyigit ve ark., 2011). Tarlada yapılan araştırmada, 'Pala' patlıcan çeşidi için hafif kısıtlı sulama verim ve meyve boyutunu korurken kaliteyi artırmıştır. Ancak, en yüksek WUE ise %20,4 su tasarrufu sağlayan orta düzey kısıtlama ile elde edilmiştir. Araştırmacılar, patlıcan sulama stratejisinin yalnızca verime değil, su tasarrufu ile verim ve kalite arasında denge kurmaya odaklanması gerektiğini belirtmişlerdir (Kırnak ve ark., 2002). Sürdürülebilir patlıcan üretimi için optimize edilmiş damla sulama yöntemi önemlidir. Patlıcan yetiştiriciliğinde damla sulamanın karık sulamaya göre daha üstün olduğu kanıtlanmış olup, %75 su miktarı ile yapılan damla sulama ile %25 su tasarrufu sağlanırken, aynı zamanda karık sulamaya kıyasla %23 daha yüksek verim ve en yüksek WUE elde edilmiştir (Aujla ve ark., 2007). Doğu Akdeniz'de yapılan patlıcan yetiştiriciliğinde, yüzey damla sulama sistemi, yüzey altı damlaya göre daha yüksek verim sağladığı, en yüksek verimin tam sulama ile elde edildiği belirlenmiştir. Ancak, en yüksek WUE, yüzey altı damla sisteminde kısıtlı sulamayla ve yüksek verim için su stres indeksinin 0,18-0,20 aralığında tutulmasıyla yapılan sulama planlamasının uygun olduğu görülmüştür (Çolak ve ark., 2015).

Biberde iyi bir büyüme ve verim için sulama dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Aşırı sulama, bitkinin uzamasına ve çiçeklerin dökülmesine yol açarken, yazın 4-5 gün, soğuk havalarda ise 10-12 gün aralıklarla özellikle çiçeklenme ve meyve gelişimi dönemlerinde sulama

yapılmalıdır (Ahmad ve ark., 2019). Yetersiz sulama çiçek ve meyve dökümlerine neden olur (Ferrara ve ark., 2011). Biber özellikle çiçeklenme ve meyve verme döneminde su kıtlığına, aynı zamanda aşırı toprak nemine ve yetersiz toprak havalandırmasına karşı hassas olup, dolmalık biberde aşırı sulama bitki büyümesinde veya meyve veriminde azalmaya neden olmaktadır (Kabir ve ark., 2021). Damla sulama ile yetiştirilen dolmalık biberde sık sulama aralıkları ve yüksek su miktarı ($K_{cp3}=1.00$) kombinasyonunun hem verimi hem de meyve kalitesini arttığı görülmüştür (Sezen ve ark., 2006). Mačkić ve ark. (2023), en yüksek biber verimi ve buharlaşma su kullanım verimliliğinin yüzeysel damla sulama ile ve tava buharlaşması varyantında elde edildiğini, sulama suyu kullanım verimliliği, buharlaşma terlemesi ve sulama türü hesaplama yönteminin ve sulama şeklinin kullanılabileceğini bununla birlikte pan-buharlaşma esaslı hesaplamanın öncelikli kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Damla sulama altında yetiştirilen biber bitkilerinde yüzey sulama yapılan bitkilere göre daha fazla dal sayısı ve bitki boyuna sahip olduğu, yüzey sulama uygulanan bitkide kök kütlelerinin, damla sulama uygulanan bitkide ise toplam kök uzunluğunun daha fazla olduğu görülmekle birlikte uygulanan su miktarı arttıkça kök inceliğinin de azaldığı belirlenmiştir (Antony ve Singandhupe, 2004). Biberde verimi ve bileşenleri üzerine üç sulama seviyesinin (%50, %75, %100 ETc) ve iki ekim yönteminin (normal ve çift sıra) etkilerinin incelendiği bir çalışmada, en yüksek verimin tam sulama ve çift sıra ekim uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir. Bu çalışmada, sulama miktarındaki azalmanın, özellikle çift sıra ekimde verimde çok daha büyük bir düşüşe neden olabileceği ve bu nedenle çift sıra ekimin yüksek su kısıtı altında riskli olduğu belirtilmiştir (Gadissa ve Chemed, 2009).

Genel olarak bu üç sebze türünde en ideal sulama; suyun bitkinin gelişim dönemine göre uygun zamanda ve ihtiyaca göre yeterli miktarda verilmesi, damlama sulama veya son teknolojik gelişmeler doğrultusunda daha hassas sulama sistemlerinin kullanılması üretimin kaliteli ve verimli olmasını sağlamasının yanı sıra ekonomi açısından da önemli katkılar sağlayacaktır.

2. SU STRESİ VE KISITLI SULAMALAR

Tarımsal üretimde su stresi veya su kısıtı bitki büyüme ve gelişmesini, verim ve kalitesini olumsuz etkileyen önemli faktörlerdir. Çimlenmeden ürün oluşumuna kadar bitki büyümesinin her aşamasında etkileri olan su eksikliği bitkilerde moleküler ve hücresel düzeydeki tepki mekanizmaları ile, uzun süreli su kısıtı ve şiddetli kuraklık fotosentezde azalmayla birlikte büyüme sürecini tamamen bozması, verim ve kaliteyi düşürmesi ile ilgili sonuçlar doğurmaktadır (Ondrasek, 2013; Ingrao ve ark., 2023). Bu nedenle araştırmalar bitki-su ilişkisinin kapsamlı olarak anlaşılması, kuraklığa toleranslı çeşitlerin ıslah edilmesi, sürdürülebilir, modern ve suyun verimli kullanacağı tarımsal sulama sistemlerinin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Dünyada ve ülkemizde ekonomik değeri yüksek sebze türlerinden olan domates, biber ve patlıcanda su stresi ve kısıtlı sulama ile meydana gelen fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal tepkilerin, verim ve kalite performanslarının bilinmesi ve bu anlamda gerekli önlemlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Su stresi bitkisel üretimde tohum çimlenmesi, fide gelişimi, su alımı ve kuru madde taşınması, sürgün ve kök gelişimi, fotosentetik aktivite, çiçeklenme, dölleme, meyve oluşumu vb. gibi birçok fizyolojik ve biyokimyasal tepkimeyi olumsuz etkiler (Anjum ve ark., 2017;

Bhattacharya, 2021). Kuraklık ile birlikte bitkide antioksidan savunma sistemi ile reaktif oksijen türleri (ROS) arasındaki denge bozulur ve ROS artışı ile birlikte protein ve diğer hücresel bileşenlerin yapısında değişimler meydana gelir (Hussain ve ark., 2019).

Domateste kuraklık stresi meyve sayısı ve boyutunda azalma ve dolayısıyla önemli verim kayıplarını beraberinde getirmektedir (Cui ve ark., 2019). Ayrıca kurak koşullarda yetişen domateslerde çiçek burnu çürüklüğü, meyve kabuğu çatlaması gibi çeşitli fizyolojik bozukluklar meydana gelmektedir (Suzuki, 2019; Maurya ve ark., 2024). Diğer bitkilerde olduğu gibi domateste de bitki boyu, gövde çapı, yaprak büyüklüğü, kök ve sürgün gelişiminde azalma meydana gelmektedir (Ors ve ark., 2021; Ekinci ve ark., 2024). Domateste kuraklık stresi ile azalan karbondioksit asimilasyonu ve klorofil içeriği ile fotosentetik aktivitede azalma, stoma kapanması ile gaz alışverişinde azalma ve bitki büyümesinde aktif hormon içeriğinde azalmalar ile önemli zararlanmalar meydana gelmektedir (Pirasteh-Anosheh ve ark., 2016; Liang ve ark., 2020; Jensen ve ark., 2024). Domateste kuraklık ile ROS birikimi, hücre zarı yapısında bozulma ve zararlanma meydana gelmektedir. Bütün bunların yanında bitkide stres toleransını sağlamak için stres koşullarında prolin, çözünür şekerler ve antioksidan enzim aktivite içeriğinde artış meydana getirmektedir (Zhou ve ark., 2019; Patanè ve ark., 2022). Nihayetinde, kuraklık stresi ile domatesin büyümesi, fizyolojik işlevleri, verim ve meyve kalitesi olumsuz etkilenmekte, bu etkileri azaltmak için ise kuraklığa toleranslı çeşitlerin belirlenmesi ve uygun sulama tekniklerinin ve stratejilerinin kullanılması önemli olmaktadır.

Hao ve ark. (2019), domatesin fide ve özellikle meyve büyüme dönemi gibi kritik olmayan büyüme aşamalarında hafif su stresi uygulamasının, tam sulamaya kıyasla fizyolojik indeksler üzerinde önemli olumsuz bir etki oluşturmadığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bu durumun su tasarrufu açısından bu dönemlerde kısıtlı sulama yapılabileceğini belirtmişlerdir. Domateste vejetatif büyüme aşamasında kısıtlı sulama uygulamasının, meyve kalitesini artırmak ve WUE'yi yükseltmek için uygun bir strateji olduğu ve bu aşamada yapılan kısıtlı sulama, domates verimini önemli ölçüde tehlikeye atmadan fayda sağlayabileceği belirtilmiştir. Araştırmacılar, domates yetiştiriciliğinde su tasarrufu ve daha kaliteli ürün elde etmek için stratejik olarak erken büyüme dönemlerinde sulamayı kısıtlanmasının mümkün olabileceğini ifade etmişlerdir (Cui ve ark., 2019). Bununla birlikte domates generatif dönemde su eksikliğine karşı hassas olup bu durum çiçek tomurcuklarının ve açık çiçeklerin kaybıyla sonuçlanan fizyolojik bozukluklara ve meyve tutumunda azalmaya neden olur (Tejada-Alvarado ve ark., 2023).

Domateste verim tepki faktörünün (k_y) 0,99 ile 1,05 arasında ve verimdeki azalmanın doğrudan su kullanımındaki azalmayla orantılı olduğu belirtilmekte olup, toplam üretim ile su kullanımı arasında uygun bir denge kurmak için WUE'yi artırmaya yönelik stratejiler gerektiği belirtilmektedir (Khapte ve ark., 2019). Costa ve ark. (2007), WUE'yi artırmanın en uygun yolunun kuraklığa toleranslı çeşit kullanılması ve verimli sulama tekniklerinin kullanılmasıyla sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Nangare ve ark. (2016) ise domates yetiştiriciliğinde WUE artırmak için tüm büyüme dönemi boyunca düzenli ve hafif su

kısıtlaması uygulamasının ($0,8 \times ET_c$) veya kritik bir dönem olan çiçeklenmeyi takip eden vejetatif dönemde daha şiddetli kısıtlamaya ($0,6 \times ET_c$) gidilmesini önermiştir. Araştırmacılar su kıtlığında, bitki için en hassas aşamaların çiçeklenme ve ardından meyve gelişimi dönemi olduğunu, bu nedenle bu aşamalarda su yönetiminin dikkatli yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Domateste verim ve net geliri en üst düzeye çıkarmak için tam sulama ($100\%ET_c$) ideal olup, özellikle çiçeklenme ve meyve gelişimi döneminde meydana gelen su kısıtlamaları verimi ciddi ölçüde azaltmaktadır. Bununla birlikte, su sıkıntısı olan bölgelerde, kısıtlı sulama stratejileri ekonomik sürdürülebilirlik için önemlidir. Meyvelerde olgunlaşma başlayana kadar tam sulama yapıp ardından sulamayı keserek sadece %5 verim kaybı karşılığında %33 su tasarrufu ve ideal bir su kullanım verimliliği (IWUE) artışı sağlanabileceği belirtilmektedir (Kuşcu ve ark., 2014). Domateste yapılan bir çalışmada, su stresi genellikle verimi düşürse de, sadece çiçeklenme döneminde uygulanan stresin bitkilerin daha büyük meyvelerle strese girmeyen bitkilere yakın toplam verim elde etmesini sağladığı, fakat oluşan meyvelerin daha açık renkli ve düşük çözünür katı madde içeriğine sahip olduğu görülmüştür (Nuruddin ve ark., 2003). Domateste, gelişimin tüm aşamaları su eksikliğine aynı derecede duyarlı değildir; özellikle çiçeklenme ve meyve tutumu dönemleri verim açısından en hassas zamanlardır. Düşük sulama oranları genellikle verimi ve meyve boyutunu azalttığından, üretiminde maliyet ve kirliliği azaltmak için yetersiz sulama yapıldığında verim kaybı riski meydana gelmektedir. Bu nedenle sulama suyunun akılcıca kullanılacağı sulama teknikleri dikkate alınmalıdır.

Patlıcan yetiştiriciliğinde kuraklık stresi veya yetersiz sulama ciddi olumsuzluklara yol açmaktadır. Kuraklık ile birlikte morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişimler kalite ve verim düşüşlerine neden olmaktadır. Patlıcanda su stresi ile biyokütle ve yaprak alanında azama, gövde ve kök gelişiminin azalması ve şiddetli su kaybı ile birlikte erken yaşlanma ve yaprak dökümü meydana gelmektedir (Sarker ve ark., 2005; Ekinci ve ark., 2021; Abbas ve ark., 2023; Li ve ark., 2024). Patlıcan bitkilerindeki su stresi ile birlikte stoma kapanması ve fotosentez hızında düşüş, turgor basıncının azalması, hücre bölünmesi ve genişlemesinin azalması büyümedeki yavaşlamanın diğer bir nedenleridir (Sarker ve Hara, 2011; Fu ve ark., 2013; Delfin ve ark., 2021). Su stresi ile patlıcan bitkilerinde artan ROS üretimi meydana getirdiği oksidatif stres ile birlikte malondialdehit (MDA), hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi bileşiklerin artmasına neden olur (Ekinci ve ark., 2021; Kıran ve Baysal Furtana, 2023). Bütün bu değişimler neticesinde kuraklık stresindeki patlıcan bitkilerinde verimin düştüğü, meyve çapı ve ağırlığının olumsuz etkilendiği görülmekle (Karam ve ark., 2011; Díaz-Pérez ve Eaton, 2015; Wakchaure ve ark., 2020) birlikte meyvedeki su miktarını azaltarak besin maddelerinin konsantrasyonunun artırabileceği de belirtilmektedir (Kırnak ve ark., 2002; Li ve ark., 2024). Patlıcan yetiştiriciliğinde su stresinin şiddeti, süresi ve bitki gelişim aşaması ile bitkide görülen etkiler değişmektedir. Chakhchar ve ark. (2025), kuraklık ile patlıcanda biyokütlenin yaklaşık %61 oranında azaldığını, fotosentetik pigmentleri, su potansiyeli, stoma iletkenliği ve bağıl su içeriğini düşürdüğünü, patlıcan bitkilerinin kuraklık stresini prolin birikimi, ozmoregülasyon, antioksidan kapasite mekanizmaları ve fizyolojik düzenlemeler ile yönettiğini vurgulamışlardır.

Kuraklığın patlıcandaki bu olumsuz etkilerinin azaltılmasında su kullanım verimliliğini artırmak önemli bir stratejidir. Kumlu killi tınlı toprakta yetiştirilen patlıcanda %75 tarla kapasitesinde yapılan sulamanın en yüksek verim ve sulama suyu kullanım etkinliği (IWUE) sağladığı belirlenmiştir (Ouma ve ark., 2024). Patlıcan yetiştiriciliğinde tam sulama (%100) ile verimin en yüksek olduğu, %75 kısıtlı sulamanın en yüksek WUE ve IWUE'yi sağladığı bu nedenle sera koşullarındaki patlıcan yetiştiriciliğinde etkili olabileceği belirtilmiştir (Ayas, 2017). Bu sonuçlara göre sera koşullarındaki patlıcan yetiştiriciliğinde ekonomik ve ekolojik açıdan %75 kısıtlı sulamanın etkili olabileceği belirtilmekle birlikte, açık tarla koşullarında kısıtlı sulamanın verim ve su verimliliği üzerindeki etkileri, uygulandığı döneme ve yöntemle bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Tarlada patlıcan yetiştiriciliğinde damlama sistemi ile uygulanan kısıtlı sulamanın uygulandığı döneme ve miktarına bağlı olarak meyve verimini %12-60 arasında azalttığı, verim düşüşünün aksine yetersiz sulamanın meyve ortalama ağırlığı, kuru madde içeriği ve su verimliliğini artırdığı görülmüştür (Karam ve ark., 2011). Özellikle çiçeklenme ve meyve olgunlaşma dönemlerinde suyun önemi daha fazla olup, bu dönemlerde maruz kalınan kuraklık verim kayıplarında artışın fazla olmasına neden olur. Nitekim, araştırmacılar çiçeklenmeden iki hafta önce uygulanan kısıtlı sulamanın (%80) su tasarrufunda etkili olduğu ve verimdeki düşüşün az olabildiğini belirtmişleridir (Karam ve ark., 2011). Bütün bu sonuçlar verim ve su tasarrufunda su uygun su kısıtının faydaları olabileceğini göstermekle beraber, meyve kalitesi ve hastalıklar açısından da önemli etkileri olabileceği bilinmektedir. Patlıcan yetiştiriciliğinde tam sulama değerlerinden %10, %20 ve %30 azaltılarak yapılan sulamalar ile

protein, karbonhidrat ve nem içeriğinde değişimlerin olduğu, kısıtlı sulamanın meyve sertliğini ve pazarlanabilir verimi artırıp, hastalık sıklığını azalttığı belirlenmiştir. Özellikle %10'luk bir kısıtlı sulamanın (90ETc), hem kaliteli meyve üretimi hem de sulama suyu tasarrufu açısından etkili olabileceği belirtilmiştir (Darko ve ark., 2019). Bütün bu değerlendirmeler neticesinde kısıtlı sulamanın genel etkilerinin yanı sıra farklı büyüme dönemlerinde de farklı sonuçlar gösterebileceği ve bu hassasiyete göre düzenlemeler de yapılmalıdır. Li ve ark. (2024), patlıcanda farklı büyüme dönemlerinde (fide, çiçeklenme-meyve verme ve ilk meyve) sulama seviyesi düşükçe bitkide büyüme ve fotosentetik aktivitenin düştüğü, verimin azaldığı fakat C vitamini, çözünür şeker ve lif içeriğinde artış olduğunu belirttiler. En yüksek verimin tarla kapasitesinin %80'i şeklinde yapılan sulamadan sağlandığı bununla birlikte meyve dönemini en hassas dönem olduğu, fide ve çiçeklenme aşamasında %60 sulamanın, meyve verme aşamasında ise %80 sulamanın büyüme, verim, kalite ve su verimliliği açısından uygun olduğu belirtilmiştir. Patlıcan yetiştiriciliğinde su stresi ve kısıtlı sulama durumlarında sulama başarısı, su verimliliği, meyve kalitesi ve farklı büyüme dönemlerine göre sulama yöntemlerinden özellikle damlama sulama gibi sistemler dikkate alınarak en uygun programlar oluşturulmaktadır. Nitekim, patlıcan yetiştiriciliğinde damlama sulama ile bitkilere yapılan kısıtlı sulamalarda belirlenecek optimum seviyeler olumlu etkiler sağlayabilmektedir. Cantürk ve ark. (2023), tüketilen enerji miktarlarını değerlendirdiklerinde %50 sulamanın patlıcan üretimi için optimal seviyeler olabileceğini belirlemişlerdir. Araştırmalar sürdürülebilir patlıcan yetiştiriciliğinde bitki büyümesi, verim, kalite ve

çevresel faktörlerin bir dengede olması gerektiğini göstermektedir. Bunun içinde sulamada verimli su kullanımı üzerinde durulmaktadır.

Solanaceae sebzelerinden biber kuraklık stresine en duyarlılarından biridir. Yetersiz sulama veya su stresi verim ve kalitenin düşmesi ile sonuçlanan bir dizi bozukluklara neden olmaktadır. Kuraklık stresinin biberdeki önemli etkilerinden biri verimdeki düşüş olup, su yetersizliğinden özellikle çiçek ve meyve dökümü, meyvelerin küçük kalması bunda en büyük etkindir (Ferrara ve ark., 2011; Mardani ve ark., 2017; Mahmood ve ark., 2021; Ntanasi ve ark., 2025). Domates ve patlıcan da olduğu gibi biberde de kuraklık stresi yaprak alanının azalmasına, yaş ve kuru ağırlığın düşmesine ve büyümenin yavaşlamasına neden olur (Yildirim ve ark., 2019; Yıldırım ve ark., 2022; Araz ve ark., 2025). Kuraklık stresi ile biber bitkilerinde klorofil içeriğinde düşüşler ile birlikte bitki su kaybını azaltmak için stomalarını kapatır, CO₂ alımının kısıtlanmasıyla da fotosentetik aktivite azalır (Delfine ve ark., 2001; Campos ve ark., 2004; Araz ve ark., 2025). Stres ile hücre içi ozmotik denge bozulur, prolin gibi maddelerin sentezi artar, antioksidan savunma mekanizması devreye girerek katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX) gibi enzimlerin aktivitesinde genellikle artış yönünde değişiklikler meydana gelir (Anjum ve ark., 2012; Mahmood ve ark., 2021; Araz ve ark., 2025).

Su stresinin olumsuz etkileri çok iyi bilinmekle birlikte çalışmalar kontrollü su kısıtı uygulamaları üzerinde yoğunlaşmıştır. Biber bitkilerine uygulanan farklı sulama (%20, %40 ve %60 eksik sulama) seviyelerinde, sulama seviyesi düştükçe evapotranspirasyon (ETC) ve verimde azalma artmıştır. Bununla birlikte %20 kısıtlı sulama ile ürün

verim ve WUE de önemli bir değişimin olmadığı, bu nedenle suyun kısıtlı olduğu alanlarda bu miktarın biber yetiştiriciliğinde rahatlıkla kullanılabileceği belirlenmiştir (Mardani ve ark., 2017). Bulgular biber yetiştiriciliğinde kısıtlı sulama uygulamalarının dikkatli bir şekilde planlanmasını göstermekle birlikte, farklı kısıt seviyeleri ve uygulama zamanlarının etkileri netleştirilmelidir. Nitekim biberde özellikle hasat sırasındaki şiddetli su kısıtı (%50) çiçek ucu çürüklüğünün yanı sıra pazarlanabilir verimde düşüşe neden olmaktadır. Bununla birlikte hasat sırasında %25 azaltılmış sulama verimde az da olsa düşüşe neden olsa da su tasarrufu açısından optimum dengeyi sağlamıştır (Abdelkhalik ve ark., 2020). Biber yetiştiriciliğinde sulama miktarının yanı sıra su verimliliği açısından sulama yöntemlerinin de iyi seçilmesi esastır. Guang-Cheng ve ark. (2010), serada acı biber yetiştiriciliğinde zaman-mekan açığı sulama yöntemlerinin tam sulamaya göre su tüketimini önemli ölçüde azalttığını, WUE'nin ve meyvede toplam çözünebilir katı madde içeriğinin artarak kaliteli biber üretiminin gerçekleştirilebileceğini rapor etmişlerdir. Yine serada acı biberde kısıtlı sulama ve kısmi kök bölgesi kurutma tekniğinin yetiştiricilikte kullanılan su tüketimini azaltarak kök sürgün oranında neden olduğu artışla bitkinin strese adaptasyonunu sağladığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada kısıtlı sulama ile meyve kalitesinin artan katı madde miktarından dolayı olduğunu ve kısmi kök bölgesi kurutma işleminin IWUE'yi artırmada etkili olduğu da görülmüştür (Shao ve ark., 2008). Yüzey ve yüzey altı damla sulamanın tam sulama, kısıtlı sulama ve kısmi kök bölgesi kurutma gibi yöntemlerle dolmalık biberde uygulanması ile artan su stresi indeksi ile birlikte verim, meyve ağırlığı ve bitkisel özelliklerin olumsuz etkilendiği görülmüştür. Araştırmacılar kısıtlı açık

sulama ve %75 sulamanın tam sulamaya göre su tasarrufu açısından ve sürdürülebilir dolmalık biber üretimi için alternatif bir uygulama olacağını belirtmişlerdir (Çolak ve ark, 2023). Bunlar ve burada belirtmediğimiz diğer birçok çalışmada biber yetiştiriciliğinde kontrollü su kısıtı uygulaması ile WUE artışı sağlanmakta, su tasarrufunun yanı sıra bitki büyüme ve gelişmesinin kritik dönemlerindeki şiddetli su stresinin ise önemli zararlara neden olduğu görülmektedir. Bu nedenle yetiştiriciliği yapılan bitkinin fizyolojik ihtiyaçları ve çevresel faktörler dikkate alınarak sulama stratejilerinin doğru planlanması gerekmektedir.

SONUÇ

Tüketim açısından sofralarımızda yaygın olarak yer alan domates, biber ve patlıcan ekonomi açısından üreticisine de önemli bir gelir kaynağıdır. Değişen iklim koşulları diğer tarımsal üretimlerde olduğu gibi bu sebze türlerinin yetiştiriciliğinde de önemli etkilere neden olmaktadır. Gerek çevresel koşulların değişmesi gerekse su gibi kaynakların azalması bu sebzelerin yetiştiriciliğinde yeni yöntemler ve stratejilerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Özellikle suyun daha ekonomik kullanıldığı ama ürünlerin verim ve kalitesinde zararlanmanın olmadığı sulamalar üzerinde durulmaktadır. Teknolojinin de gelişmesiyle bitki ihtiyacı doğrultusunda hassas sensörlerle sulama suyu miktarının belirlenmesi, kolay uygulanabilir sulama yöntemlerinin araştırılması bu anlamda üzerinde durulması gereken konulardır. Ayrıca su kısıtına ve su stresine toleransı yüksek çeşitlerin geliştirilmesi de özellikle su kaynaklarının az olduğu bölgelerde yetiştiriciliğin devam ettirebilmesi açısından önemli bir konudur. Bugüne kadar bu sebze türlerinde yapılmış çok sayıda

çalışma bulunmakta olup, araştırmacılar değişen teknoloji ve yöntemler doğrultusunda çalışmalarını devam ettirmelidir.

KAYNAKÇA

- Abbas, K., Li, J., Gong, B., Lu, Y., Wu, X., Lü, G., & Gao, H. (2023). Drought stress tolerance in vegetables: the functional role of structural features, key gene pathways, and exogenous hormones. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), 13876.
- Abdelkhalik, A., Pascual, B., Nájera, I., Domene, M. A., Baixauli, C., & Pascual-Seva, N. (2020). Effects of deficit irrigation on the yield and irrigation water use efficiency of drip-irrigated sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under Mediterranean conditions. *Irrigation science*, 38(1), 89-104.
- Ahmad, L., Qayoom, S., Afroza, B., Bhat, O. A., & Mushtaq, N. (2019). Water requirement of solanaceous vegetable crops in Kashmir valley. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 35(4), 1-7
- Anjum, S. A., Farooq, M., Xie, X. Y., Liu, X. J., & Ijaz, M. F. (2012). Antioxidant defense system and proline accumulation enables hot pepper to perform better under drought. *Scientia Horticulturae*, 140, 66-73.
- Anjum, S. A., Ashraf, U., Zohaib, A., Tanveer, M., Naeem, M., Ali, I., Tabassum, T., & Nazir, U. (2017). Growth and development responses of crop plants under drought stress: a review. *Zemdirbyste-Agriculture*, vol. 104, No. 3 (2017), p. 267–276, DOI 10.13080/z-a.2017.104.034
- Antony, E., & Singandhupe, R. B. (2004). Impact of drip and surface irrigation on growth, yield and WUE of capsicum (*Capsicum annum* L.). *Agricultural water management*, 65(2), 121-132.
- Araz, O., Ekinci, M., & Yildirim, E. (2025). Physiological, biochemical and molecular response of pepper genotypes exposed to water deficit. *Journal of Crop Health*, 77(1), 46.
- Aujla, M. S., Thind, H. S., & Buttar, G. S. (2007). Fruit yield and water use efficiency of eggplant (*Solanum melongena* L.) as influenced by different quantities of nitrogen and water applied through drip and furrow irrigation. *Scientia Horticulturae*, 112(2), 142-148.
- Ayas, S. (2017). The effects of irrigation regimes on the yield and water use of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Toprak Su Dergisi*, 6(2), 49-58.

- Bansal, G., Mahajan, A., Verma, A., & Singh, D. B. (2021). A review on materialistic approach to drip irrigation system. *Materials Today: Proceedings*, 46, 10712-10717.
- Bhattacharya, A. (2021). Effect of soil water deficit on growth and development of plants: a review. *Soil Water Deficit and Physiological Issues in Plants*, 393-488.
- Campos, H., Trejo, C., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Conde-Martinez, F. V., & Cruz-Ortega, M. R. (2014). Stomatal and non-stomatal limitations of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under water stress and re-watering: Delayed restoration of photosynthesis during recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 98, 56-64.
- Cantürk, A., Cemek, B., Taşan, M., & Taşan, S. (2023). Effect of deficit irrigation on yield, water productivity, energy indices and economic productivity in eggplant cultivation. *Gesunde Pflanzen*, 75(5), 1579-1589.
- Chakhchar, A., Aitougounane, M., Afalo, K., Boutabaa, A., El Bouhi, R., Ait Zidan, M., Chabbar, A., & El Modafar, C. (2025). Integrating morpho-physiological and biochemical traits to assess drought stress and recovery tolerance in eggplant. *Notulae Scientia Biologicae*, 17(3), 12427-12427.
- Chauhdary, J. N., Li, H., Jiang, Y., Pan, X., Hussain, Z., Javaid, M., & Rizwan, M. (2023). Advances in sprinkler irrigation: a review in the context of precision irrigation for crop production. *Agronomy*, 14(1), 47.
- Costa, J. M., Ortuño, M. F., & Chaves, M. M. (2007). Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49(10), 1421-1434.
- Cui, J., Shao, G., Lu, J., Keabetswe, L., & Hoogenboom, G. (2019). Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. *Scientia Agrícola*, 77, e20180390.
- Çetin, Ö., Yıldırım, O., Uygan, D., & Boyacı, H. (2002). Irrigation scheduling of drip-irrigated tomatoes using class A pan evaporation. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 26(4), 171-178.
- Çolak, Y. B., Yazar, A., Çolak, İ., Akça, H., & Duraktekin, G. (2015). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for eggplant under varying

- irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 372-382.
- Çolak, Y. B., Yazar, A., Yıldız, M., Tekin, S., Gönen, E., & Alghawry, A. (2023). Assessment of crop water stress index and net benefit for surface- and subsurface-drip irrigated bell pepper to various deficit irrigation strategies. *The Journal of Agricultural Science*, 161(2), 254-271.
- De Pascale, S., Dalla Costa, L., Vallone, S., Barbieri, G., & Maggio, A. (2011). Increasing water use efficiency in vegetable crop production: from plant to irrigation systems efficiency. *HortTechnology*, 21(3), 301-308.
- Delfin, E. F., Drobnitch, S. T., & Comas, L. H. (2021). Plant strategies for maximizing growth during water stress and subsequent recovery in *Solanum melongena* L.(eggplant). *PLoS One*, 16(9), e0256342.
- Delfine, S., Loreto, F., & Alvino, A. (2001). Drought-stress effects on physiology, growth and biomass production of rainfed and irrigated bell pepper plants in the Mediterranean region. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 126(3), 297-304.
- Darko, R. O., Yuan, S., Kumi, F., & Quaye, F. (2019). Effect of deficit irrigation on yield and quality of eggplant. *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol*, 4, 1325-1333.
- Díaz-Pérez, J. C., & Eaton, T. E. (2015). Eggplant (*Solanum melongena* L.) plant growth and fruit yield as affected by drip irrigation rate. *HortScience*, 50(11), 1709-1714.
- Du Shenja, B. G. (2018). Effects of irrigation method on the growth and yield of eggplant. *Journal of Horticulture*, 2376-0354.
- Ekinci, M., Yildirim, E., & Turan, M. (2021). Ameliorating effects of hydrogen sulfide on growth, physiological and biochemical characteristics of eggplant seedlings under salt stress. *South African Journal of Botany*, 143, 79-89.
- Ekinci, M., Yildirim, E., Ors, S., Turan, M., Şimşek, D., & Inci, Y. (2024). Change in plant growth and some bioactive components of the tomato under water deficit with exogenous chrysin treatment. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 48(5), 760-774.
- Ferrara, A., Lovelli, S., Di Tommaso, T., & Perniola, M. (2011). Flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under water stress. *Journal of Agronomy*, 10(1), 12-19.

- Fu, Q. S., Yang, R. C., Wang, H. S., Zhao, B., Zhou, C. L., Ren, S. X., & Guo, Y. D. (2013). Leaf morphological and ultrastructural performance of eggplant (*Solanum melongena* L.) in response to water stress. *Photosynthetica*, 51(1), 109-114.
- Gadissa, T., & Chemeda, D. (2009). Effects of drip irrigation levels and planting methods on yield and yield components of green pepper (*Capsicum annuum*, L.) in Bako, Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1673-1678.
- Guang-Cheng, S., Na, L., Zhan-Yu, Z., Shuang-En, Y., & Chang-ren, C. (2010). Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under Time-Space deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 126(2), 172-179.
- Günay, A. (2005). Sebze yetiştiriciliği. Cilt-II, Meta Basımevi, İzmir.
- Hao, S., Cao, H., Wang, H., & Pan, X. (2019). The physiological responses of tomato to water stress and re-water in different growth periods. *Scientia Horticulturae*, 249, 143-154.
- Hussain, S., Rao, M. J., Anjum, M. A., Ejaz, S., Zakir, I., Ali, M. A., Ahmad, N., & Ahmad, S. (2019). Oxidative stress and antioxidant defense in plants under drought conditions. In *Plant abiotic stress tolerance: agronomic, molecular and biotechnological approaches* (pp. 207-219). Cham: Springer International Publishing.
- Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisingh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8).
- Jadhav, M. M. A., & Jadhav, M. Y. J. (2024). The Drip Irrigation System. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 8(4), 1-5.
- Jensen, N. B., Ottosen, C. O., Fomsgaard, I. S., & Zhou, R. (2024). Elevated CO₂ induce alterations in the hormonal regulation of stomata in drought stressed tomato seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 212, 108762.
- Kabir, M. Y., Nambeesan, S. U., Bautista, J., & Díaz-Pérez, J. C. (2021). Effect of irrigation level on plant growth, physiology and fruit yield and quality in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae*, 281, 109902.

- Karam, F., Saliba, R., Skaf, S., Breidy, J., Rouphael, Y., & Balendonck, J. (2011). Yield and water use of eggplants (*Solanum melongena* L.) under full and deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 98(8), 1307-1316.
- Khapte, P. S., Kumar, P., Burman, U., & Kumar, P. (2019). Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. *Scientia Horticulturae*, 248, 256-264.
- Kirnak, H., Tas, I., Kaya, C., & Higgs, D. (2002). Effects of deficit irrigation on growth, yield and fruit quality of eggplant under semi-arid conditions. *Australian Journal of Agricultural research*, 53(12), 1367-1373.
- Kıran, S., & Baysal Furtana, G. (2023). Responses of eggplant seedlings to combined effects of drought and salinity stress: Effects on photosynthetic pigments and enzymatic and non-enzymatic antioxidants. *Gesunde Pflanzen*, 75(6), 2579-2590.
- Kumar, R., Solankey, S. S. S., & Singh, M. S. (2012). Breeding for drought tolerance in vegetables. *Vegetable Science*, 39(01), 1-15.
- Kuşçu, H., Turhan, A., & Demir, A. O. (2014). The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. *Agricultural Water Management*, 133, 92-103.
- Li, X., Qiang, X., Yu, Z., Li, S., Sun, Z., He, J., Han, L., Li, Q., & He, L. (2024). Effects of different water stresses under subsurface infiltration irrigation on eggplant growth and water productivity. *Scientia Horticulturae*, 337, 113548.
- Liang, G., Liu, J., Zhang, J., & Guo, J. (2020). Effects of drought stress on photosynthetic and physiological parameters of tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 145(1), 12-17.
- Liu, J., Hu, T., Feng, P., Wang, L., & Yang, S. (2019). Tomato yield and water use efficiency change with various soil moisture and potassium levels during different growth stages. *PloS one*, 14(3), e0213643.
- Mačkić, K., Bajić, I., Pejić, B., Vlajić, S., Adamović, B., Popov, O., & Simić, D. (2023). Yield and water use efficiency of drip irrigation of pepper. *Water*, 15(16), 2891.
- Mahmood, T., Rana, R. M., Ahmar, S., Saeed, S., Gulzar, A., Khan, M. A., Wattoo, F.M., Wang, X., Branca, F., Mora-Poblete, F., Sousa Mafra, G.,

- & Du, X. (2021). Effect of drought stress on capsaicin and antioxidant contents in pepper genotypes at reproductive stage. *Plants*, 10(7), 1286.
- Maisiri, N., Senzanje, A., Rockstrom, J., & Twomlow, S. J. (2005). On farm evaluation of the effect of low cost drip irrigation on water and crop productivity compared to conventional surface irrigation system. *Physics and Chemistry of the Earth, parts A/B/C*, 30(11-16), 783-791.
- Mardani, S., Tabatabaei, S. H., Pessarakli, M., & Zareabyaneh, H. (2017). Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. *Journal of plant nutrition*, 40(10), 1453-1464.
- Maurya, H. K., Mitra, D. S., Lata, R., Yadav, G. C., & Sundar, S. (2024). A Review on common physiological disorder of tomato and their management. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(11), 221-231.
- Motti, R. (2021). The Solanaceae family: Botanical features and diversity. In *The wild solanums genomes* (pp. 1-9). Cham: Springer International Publishing.
- Nangare, D. D., Singh, Y., Kumar, P. S., & Minhas, P. S. (2016). Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agricultural Water Management*, 171, 73-79.
- Ntanasi, T., Karavidas, I., Savvas, D., Spyrou, G. P., Giannothanasis, E., Consentino, B. B., Papasotiropoulos, V., Sabatino, L., & Ntatsi, G. (2025). Physiological and Yield Responses of Pepper (*Capsicum annuum* L.) Genotypes to Drought Stress. *Plants*, 14(13), 1934.
- Nuruddin, M. M., Madramootoo, C. A., & Dodds, G. T. (2003). Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *HortScience*, 38(7), 1389-1393.
- Ondrasek, G. (2013). Water scarcity and water stress in agriculture. In *Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment: Volume 1* (pp. 75-96). New York, NY: Springer New York.
- Ors, S., Ekinçi, M., Yildirim, E., Sahin, U., Turan, M., & Dursun, A. (2021). Interactive effects of salinity and drought stress on photosynthetic characteristics and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings. *South African Journal of Botany*, 137, 335-339.

- Ouma, G., Wanyama, J., Kabenge, I., Jjagwe, J., Diana, M., & Muyonga, J. (2024). Assessing the effect of deficit drip irrigation regimes on crop performance of eggplant. *Scientia Horticulturae*, 325, 112648.
- Patanè, C., Cosentino, S. L., Romano, D., & Toscano, S. (2022). Relative water content, proline, and antioxidant enzymes in leaves of long shelf-life tomatoes under drought stress and rewatering. *Plants*, 11(22), 3045.
- Parkash, V., & Singh, S. (2020). A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. *Sustainability*, 12(10), 3945.
- Pereira, L. S., & Gonçalves, J. M. (2018). Surface irrigation. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.248>
- Perween, T., & Ansari, A. M. 2021. Water management in eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivation. In *Solanum Melongena: Production, Cultivation and Nutrition*, pp. 125. Boca Raton, FL, USA: Nova Science Publishers, Inc.
- Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., & Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. *Water stress and crop plants: A Sustainable Approach*, 1, 24-40.
- Rubatzky, V. E., & Yamaguchi, M. (1997). Tomatoes, peppers, eggplants, and other solanaceous vegetables. In *World Vegetables: Principles, Production, and Nutritive Values* (pp. 532-576). Boston, MA: Springer US.
- Salokhe, V. M., Babel, M. S., & Tantau, H. J. (2005). Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agricultural Water Management*, 71(3), 225-242.
- Sarker, B. C., Hara, M., & Uemura, M. (2005). Proline synthesis, physiological responses and biomass yield of eggplants during and after repetitive soil moisture stress. *Scientia Horticulturae*, 103(4), 387-402.
- Sarker, B. C., & Hara, M. (2011). Effects of elevated CO₂ and water stress on the adaptation of stomata and gas exchange in leaves of eggplants (*Solanum melongena* L.). *Bangladesh Journal of Botany*, 40(1), 1-8.
- Savvas, D., Ntatsi, G., & Passam, H. C. (2008). Plant nutrition and physiological disorders in greenhouse grown tomato, pepper and eggplant. *Eur. J. Plant Sci. Biotechnol*, 2(1), 45-61.

- Senyigit, U., Kadayifci, A., Ozdemir, F. O., Oz, H., & Atilgan, A. (2011). Effects of different irrigation programs on yield and quality parameters of eggplant (*Solanum melongena* L.) under greenhouse conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10(34), 6497-6503.
- Sezen, S. M., Yazar, A., & Eker, S. (2006). Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agricultural Water Management*, 81(1-2), 115-131.
- Shao, G. C., Zhang, Z. Y., Liu, N., Yu, S. E., & Xing, W. G. (2008). Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial rootzone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot pepper. *Scientia Horticulturae*, 119(1), 11-16.
- Suzuki, K. (2019). Physiological disorders and their management in greenhouse tomato cultivation at high temperatures. In *Adaptation to Climate Change in Agriculture: Research and Practices* (pp. 81-96). Singapore: Springer Singapore.
- Svobodová, B., & Kuban, V. (2018). Solanaceae: A family well-known and still surprising. In *Phytochemicals in vegetables: A valuable source of bioactive compounds* (pp. 296-372). Bentham Science Publishers.
- Tejada-Alvarado, J. J., Meléndez-Mori, J. B., Vilca-Valqui, N. C., Neri, J. C., Ayala-Tocto, R. Y., Huaman-Huaman, E., Ambler Gill, E.R., Oliva, M., & Goñas, M. (2023). Impact of wild solanaceae rootstocks on morphological and physiological response, yield, and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under deficit irrigation conditions. *Heliyon*, 9(1).
- Wakchaure, G. C., Minhas, P. S., Meena, K. K., Kumar, S., & Rane, J. (2020). Effect of plant growth regulators and deficit irrigation on canopy traits, yield, water productivity and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) grown in the water scarce environment. *Journal of Environmental Management*, 262, 110320.
- Waśkiewicz, A., Gładysz, O., Beszterda, M., & Goliński, P. (2016). Water stress and vegetable crops. *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*, 2, 393-411.
- Yildirim, E., Ekinci, M., Kul, R., Turan, M., & Gür, A. (2019). Mitigation of drought stress effects on pepper seedlings by exogenous methylamine application. *International Letters of Natural Sciences*, 76(4), 10-20.

- Yildirim, E., Ekinci, M., Turan, M., Ağar, G., Ors, S., Dursun, A., Kul, R., & Akgül, G. (2022). Physiological and biochemical changes of pepper cultivars under combined salt and drought stress. *Gesunde Pflanzen*, 74(3), 675-683.
- Zhou, R., Kong, L., Yu, X., Ottosen, C. O., Zhao, T., Jiang, F., & Wu, Z. (2019). Oxidative damage and antioxidant mechanism in tomatoes responding to drought and heat stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41(2), 20.

BÖLÜM 9

CRISPR/Cas9 TEKNOLOJİSİ KULLANILARAK DOMATES VE PATLİCAN BİTKİLERİNDE SU STRESİNE DAYANIKLI GENOTİPLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Zir. Müh. Beyda ANBAR¹

Doç. Dr. Hayat TOPÇU²

Prof. Dr. Murat DEVECİ^{1*}

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18067739>

¹Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, anbarbeyda22@gmail.com, Orcid ID: 0009-0001-8288-1256; muratdeveci@nku.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3675-9062

²Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Tekirdağ, Türkiye, hayattopcu@nku.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-3108-4393

*Sorumlu yazar

GİRİŞ

Dünya nüfusunda yaşanan artışla birlikte kişi başına tüketilen su miktarı da artmıştır. Dünya nüfusu 1700’lü yıllarda 700 milyon dolayında iken, su tüketimi yaklaşık 110 m³ olup, bunun da yaklaşık %90’ının tarımda sulama amaçlı kullanıldığı, 1990’lı yıllara gelindiğinde ise tüketilen su miktarının 40 kat arttığı belirtilmektedir (Kılıç, 2008). Buna rağmen mevcut su kaynaklarının değişmemiş olması bitki yetiştiriciliğinde kısıtlı koşullarda sulamanın yapılmasını zorunlu kılmıştır. Dünyada kullanılabilen alanların farklı stres faktörlerine göre etkilenme oranları dikkate alındığında; kuraklık %26 oranla en yüksek paya sahip olup, bunu %20 oranla mineral madde stresi, %15 oranla soğuk ve don stresi izlemektedir. Bunlardan kalan %29’luk alanın diğer stres faktörlerinden etkilendiği, toplam kullanılabilen alanların sadece %10’luk kısmının herhangi bir stres etkisi altında olmadığı belirtilmiştir (Kalefetoğlu ve Ekmekçi, 2005; Örs ve Ekinci, 2015).

Domates, (*Lycopersicum esculentum*; 2n=2x=24), tüm dünyada yetiştirilen Solanaceae familyasının en önemli sebze türlerinden biridir. Güney Amerika ve Meksika’ya özgüdür. Genetik ve ıslah deneyleri için klasik bir materyal olması nedeniyle domates üzerinde kapsamlı çalışmalar yapılmıştır Domates ıslahında uzun yıllar boyunca geleneksel yöntemler (fenotipik seleksiyon, melezleme, saf hat ıslahı ve arka çaprazlama gibi) temel stratejiler olarak kullanılmıştır. Bu yöntemler, özellikle verim artışı, hastalık ve zararlılara dayanıklılık, meyve kalitesi ve raf ömrü gibi özelliklerin geliştirilmesinde önemli katkılar sağlamıştır (Miller ve Tanksley, 1990; Foolad, 2007). Son yıllarda ise modern genetik yöntemler geleneksel ıslahı tamamlayıcı bir biçimde

kullanılmaktadır. Moleküler markörler, genom haritalama, QTL analizleri, genom dizileme ve gen düzenleme teknolojileri sayesinde domatesin genetik çeşitliliği ve evrimsel geçmişi daha iyi anlaşılmıştır (Aflitos ve ark., 2014; Lin ve ark., 2014). Bu yaklaşımlar, ıslah programlarında hedef genlerin belirlenmesi ve hızlı seçim yapılmasını kolaylaştırmıştır. Ayrıca biyoteknolojik yöntemler kapsamında *in vitro* kültür, somatik embriyo rejenerasyonu ve *Agrobacterium* aracılı genetik transformasyon gibi teknikler, özellikle stres toleransı ve hastalık direnci genlerinin aktarımında etkin şekilde uygulanmaktadır (Niazian ve Shariatpanahi, 2020; Sandhya ve ark., 2022). Bu gelişmeler, domatesi klasik ıslahın ötesine taşıyarak hem temel genetik araştırmalarda hem de sürdürülebilir tarım uygulamalarında model bir tür haline getirmiştir. Ayrıca domatesin genetik kaynakları ve üreme biyolojisi de tartışılmaktadır. Erken gelişme ve toplam verimin artırılması, çeşitli domates ıslah programlarında domates ıslahının ortak amacıdır. TÜİK verilerine göre, Türkiye'nin 2023 yılı itibarıyla sebze üretimi yaklaşık 31,8 milyon tondur. Türkiye'de en fazla üretimi yapılan sebze olan domates, üretim miktarı açısından 2023 yılı toplam sebze üretiminde %40,88 (13 milyon 300 bin ton) paya sahiptir. Türkiye 2023 yılı domates ekim alanları iller bazında sıralandığında Bursa'nın yaklaşık 19 bin ha ile ilk sırada olduğu görülmektedir. Bursa'yı 2023 yılında yaklaşık 17 bin ha ile Antalya ve 14 bin ha ile Konya takip etmektedir. İl bazında domates üretimine bakıldığında Antalya %19,6 pay ile ilk sırada gelmektedir. Antalya'yı %11,5 pay ile Bursa, %8,2 pay ile Manisa takip etmektedir (TÜİK, 2025). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'nın 2023 yılı verilerine göre, dünya genelinde domates üretimi yaklaşık 192 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Üretim açısından ülkeler

sıralandığında lider açık ara Çin, yaklaşık 67–70 milyon ton üretimiyle ilk sırada yer almaktadır. Bunu yaklaşık 20–21 milyon ton ile Hindistan, ardından yaklaşık 13 milyon ton ile Türkiye takip etmektedir. Ayrıca ABD yaklaşık 10 milyon ton üretim ile yüksek sıralarda yer almakta, İtalya ise 6-7 milyon ton düzeyinde üretimiyle Avrupa'nın önemli domates üreticileri arasında bulunmaktadır (FAO, 2025). Domates, biyoteknolojik çalışmalar için önemli bir konu haline gelmiştir; hem *in vitro* doku kültürü teknikleri hem de genetik transformasyon protokolleri üzerine çok sayıda çalışma yayımlanmıştır. *Agrobacterium*-aracılı transformasyon ve optimizasyon çalışmaları, farklı explant tipleri ile rejenerasyon verimliliğini önemli ölçüde artırmış ve transgenik domates elde etmeyi güvenilir hale getirmiştir (Sandhya ve ark., 2022). Ayrıca bazı laboratuvarlar, Micro-Tom gibi model çeşitlerde yüksek verimli transformasyon protokolleri ve hatta doku-kültür-serbest (*in planta* veya tohumu dayalı) dönüştürme yöntemleri geliştirmiştir; bu yaklaşımlar transformasyon süresini kısaltma ve genetik mühendislik iş akışlarını hızlandırmada önemli rol oynamaktadır (Zhong ve ark., 2025). Gen düzenleme (özellikle CRISPR/Cas9=Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/CRISPR-associated protein 9) domateste hem direnç genleri hem de meyve kalitesi hedefleri için hızla uygulanmaktadır; CRISPR ile patojenlere karşı direnç, meyve bileşimi ve raf ömrü gibi karakterlerde başarılı düzenlemeler raporlanmıştır. Bu alandaki güncel değerlendirmeler CRISPR uygulamalarının domates ıslahında pratik potansiyel taşıdığını göstermektedir (Shawky ve ark., 2024). Domateste genetik çalışmalara bakıldığında, geniş ölçekli genom dizileme projeleri ve toplu genetik çeşitlilik analizleri domatesin evcilleşme tarihçesini, genetik erozyonunu ve yabancı akrabaların ıslaha

katkı potansiyelini ortaya koymuştur (Lin ve ark., 2014; Aflitos ve ark., 2014). Bununla paralel olarak, QTL haritalama ve GWAS çalışmaları meyve ağırlığı, şekli, et kalınlığı, Brix (şeker), verim ve hastalık dirençleri gibi üretim ve kalite karakterleri için faydalı lokusları tanımlamış; sonuçlar hem geleneksel ıslah hem de moleküler-yönlendirmeli seçimi (marker-assisted selection / genomic selection) desteklemektedir (Kim ve ark., 2021). Ayrıca meta-QTL (MQTL) ve geniş çaplı sentez çalışmalar, farklı çalışmalar arasında tekrarlanan güvenilir QTL bölgelerini belirleyerek ıslahçıların hedeflemeye uygun konsolide kromozomal bölge setleri elde etmesini sağlamıştır. Bu, özellikle meyve verimi ve kaliteye yönelik stabil genetik bölgelerin belirlenmesinde etkilidir (Rashidzade ve ark., 2025).

Patlıcan (*Solanum melongena* L.) ve domates (*Solanum lycopersicum* L.), ülkemizin kurak ve yarı kurak birçok bölgesinde açıkta ve örtü altında yoğun olarak yetiştiriciliği yapılan yazlık sebze türleridir. 2023 yılı itibarıyla FAO'nun (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) verilerine göre, dünya genelinde patlıcan üretimi yaklaşık 61 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin büyük bir kısmı Çin ve Hindistan'dan kaynaklanmaktadır. Çin, dünya üretiminin yaklaşık %64'ünü, Hindistan ise %21'ini karşılamaktadır. Türkiye, dünya genelinde patlıcan üretiminde dördüncü sırada yer almaktadır. 2023 yılı itibarıyla Türkiye'nin patlıcan üretimi yaklaşık 832.938 ton olarak kaydedilmiştir (FAO, 2025). Yetiştiriciliğin yoğun olarak yapıldığı ve kuraklık sorununun potansiyel olarak mevcut olduğu bölgelerde, oluşan bu kuraklığa karşı bazı kültürel önlemler alınabilmekte ise de bu önlemler sınırlı ve maliyetlidir. Bu bakımdan kuraklığa dayanımı yüksek

genotiplerin belirlenmesi ve ıslah programlarında kullanılması en etkili yöntemdir. Patlıcan botanik olarak *Solanum melongena* L. olarak isimlendirilmektedir. Ilıman iklimlerde tek yıllık, tropik iklimlerde ise ufak bir ağaç şeklinde büyüyen birkaç yıllık bir kültür bitkisidir. (Çetinkaya ve ark., 2009; Balkaya, 2016; Alas ve ark., 2022). Patlıcanın menşei konusunda kesin bir görüş birliği bulunmamakla birlikte, bazı genetik ve tarihsel çalışmalar Hindistan'ın bir birincil evcilleşme bölgesi olduğunu, ardından Çin ve Güneydoğu Asya'nın ikincil merkezler olarak rol oynadığını öne sürmektedir (Weese ve Bohs, 2010; Wang ve ark., 2008). Mevcut tarımsal veriler ve iklim göstergeleri ışığında domates ve patlıcan yetiştiriciliğinde kuraklık başta olmak üzere abiyotik stres faktörlerinin artışı, geleneksel kültürel önlemlerin tek başına yeterli olmadığı ve entegre/yenilikçi direnç stratejilerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Abbas ve ark., 2023). Bu durumda ıslah programları yalnızca verimi artırmayı hedeflemekten öteye geçmiş; kısıtlı su koşullarına kalıcı genetik dayanıklılık kazandırmaya yönelmiştir. Klasik ıslah yöntemlerinin zaman alıcı ve genetik olarak sınırlı sonuçlar vermesi, araştırmacıları genetik müdahaleyi hızlandıran ve yüksek hassasiyet sunan biyoteknolojik çözümlere odaklanmaya itmiştir. Moleküler markörler, bitki genomlarındaki genetik çeşitliliği ve belirli özellikleri doğrudan DNA seviyesinde tespit etmeye yarayan güçlü araçlardır (Sharma ve ark., 2019). Bu markörler, fenotipik özelliklerden bağımsız olarak genotipler arasındaki farklılıkları ortaya çıkarabilmekte ve genetik haritalama, markör destekli seçilim (MAS) ile ıslah çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Mammadov ve ark., 2012). Örneğin, SSR (Simple Sequence Repeat) markörleri, kısa tekrar dizilerini hedef alarak yüksek polimorfizm ve kodominant özellik sunar;

böylece domates ve biber gibi sebzelerde hastalık direnç genlerinin belirlenmesi ve çeşit tanımlama çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Brake ve ark., 2022). RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) markörleri, rastgele primerlerle PCR amplifikasyonu yaparak genetik çeşitliliği hızlı bir şekilde ortaya koyarken, dominant yapısı ve düşük tekrarlanabilirliği nedeniyle dikkatli kullanılmalıdır (Joshi ve ark., 1999). AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) markörleri, restriksiyon enzimleri ve PCR kombinasyonunu kullanarak yüksek çözünürlükte polimorfizmler saptar ve sebzelerde genetik haritalama ve çeşitlilik analizlerinde etkin şekilde uygulanmaktadır (Amiteye ve ark., 2021). Bunun yanı sıra, SNP (Single Nucleotide Polymorphism) markörleri, DNA'daki tek nükleotid değişikliklerini tespit ederek yüksek doğruluk ve yoğunlukta veri sağlar, bu da QTL analizi ve markör yardımcı seçimde büyük avantaj sunmaktadır (Adadze ve ark., 2025). Tüm bu moleküler markör sistemleri, sebzelerde istenilen özelliklerin hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit edilmesini ve yeni çeşitlerin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Sharma ve ark., 2019; Mammadov ve ark., 2012).

Bitki genomunu yüksek doğrulukla hedefleyebilen ve istenen dayanıklılık genlerini hızla devreye alabilen CRISPR/Cas9 sistemi, kuraklık stresi problemlerine karşı genetik direnç geliştirmede öne çıkan en umut verici araçlardan biridir; literatürde CRISPR ile domatesta stomatal davranış, kök/bitki su ilişkisi ve stres regülasyon yollarına etki eden genlerin düzenlenmesiyle kuraklığa artan tolerans sağlandığı raporlanmıştır (Li ve ark., 2022; Tiwari ve ark., 2023; Tran ve ark., 2023; Maioli ve ark., 2024). CRISPR/Cas9 genom düzenleme yöntemi, basit

tasarım ve kolay klonlama yöntemlerini içermektedir. Cas9 enzimi, genomdaki birden fazla bölgeyi hedefleyen farklı rehber RNA'lar (gRNA) ile birden fazla gen bölgesine müdahale edebilmektedir. Bu çoklu rehber kullanımı, gen düzenleme verimliliğini artırmaktadır (McCarty ve ark., 2020). CRISPR/Cas9 modülünde hedef özgüllüğünü geliştirmek ve hedef dışı bölünmeyi azaltmak için birkaç farklı modifiye Cas9 kaseti kullanılmaktadır. Örneğin, alternatif Cas9 proteinleri ve gRNA mimarileri, sistemin doğruluğunu artırmaktadır (Wu ve ark., 2014). Ayrıca, farklı bakteri türlerinden elde edilen Cas9 enzimlerinin mevcudiyeti, gen düzenleme yöntemlerinin özgüllüğünü ve verimliliğini artırmak için yeni seçenekler sunmaktadır (Herring-Nicholas, ve ark., 2024).

1. KURAKLIK STRESİ VE BİTKİLERDE FİZYOLOJİK ETKİLERİ

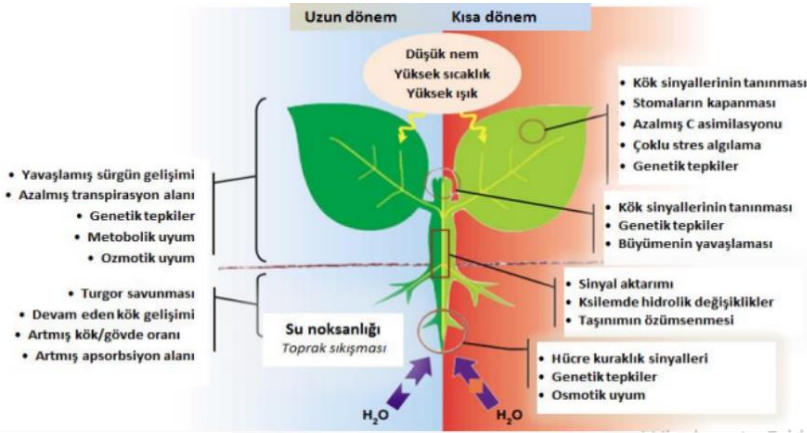
Kuraklık; meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olmak üzere dört alt başlığa ayrılmıştır. Kuraklık meteorolojik kuraklık olarak başlar, tarımsal ve hidrolojik kuraklık olarak gelişir ve sosyo-ekonomik kuraklık olarak etkileri gözle görülür hale gelir. Meteorolojik kuraklık, yağış esaslı olup uzun bir süre yağışın normal değerlerinin altına düşmesi olarak tanımlanırken, tarımsal kuraklık toprakta bitkinin ihtiyacını karşılayacak miktarda su bulunmaması olarak tanımlanır (Mengü ve ark., 2011; Örs ve Ekinci, 2015; Leng ve ark., 2015; Shi ve ark., 2022). Artan nüfus ve buna bağlı gıda gereksinimi, dünya çapında tarıma çok fazla yük getirmektedir. Ancak, tarımsal üretim sürekli olarak küçük arazi mülkiyeti, uygun mekanizasyonun eksikliği ve çeşitli abiyotik ve biyotik streslerin ortaya çıkması gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir

(Mishra ve ark., 2021). Kuraklık stresi, her yıl tarımsal üretkenlikte büyük gerilemelere neden olan bir abiyotik strestir. Yağışlardaki azalma ve kuraklık dönemlerinin sıklığının artması nedeniyle su kıtlığı, kuraklık koşullarına yol açar. Genellikle kuraklığa tuzluluk, ısı ve patojen saldırısı gibi diğer zararlı etkiler eşlik eder. (Kopecká ve ark., 2023). Buna yanıt olarak bitkiler, azalmış terleme ve fotosentez hızı, ozmotik ayarlamalar, baskılanmış kök ve sürgün büyümesi, reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimi, değiştirilmiş stres sinyal yolları ve yaşlanma gibi çeşitli fizyolojik ve morfolojik değişikliklere uğrarlar (Seleiman ve ark., 2021). Bu değişiklikler bitkide kalıcı hasara neden olabilir ve bu nedenle azaltma stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

1.1. Bitkilerin Kuraklık Stresine Verdiği Yanıt

Bitkiler kuraklığa dayanmak için reaktif oksijen türlerinin sentezi, etilen ve absisik asit gibi stres hormonlarının üretimi, kök ve sürgün morfolojisindeki değişiklikler gibi farklı stres faktörleri ile başa çıkma mekanizmaları kullanırlar (Etesami ve ark., 2015; Chiappero ve ark., 2019; Bhat ve ark., 2021; Ahluwalia ve ark., 2021). Bu mekanizmalar bitkilerde kısa ve uzun vadeli tepkilerle sonuçlanır. Kısa vadeli tepkiler genellikle stres süresi çok kısa olduğunda ortaya çıkmaktadır. Kısa vadeli tepkiler arasında karbon asimilasyonunda azaltma, stomaların kapanması, ozmotik düzenleme, büyümenin engellenmesi, hidrolik değişiklikler, sinyal iletimi ve hücre kuraklığı sinyalleri yer almaktadır (Bandurska ve ark., 2022). Bu tepkiler, normal koşullara kısa sürede dönülmesi koşuluyla, genellikle bitkilere fazla zarar vermez. Uzun süreli stres, daha tehlikeli ve kalıcı yaralanmalara ve hatta bitkilerin ölümüne yol açar. Uzun vadeli tepkiler arasında ise baskılanmış sürgün büyümesi,

metabolik adaptasyonlar, sınırlı terleme alanı, çekirdek kaybı ve yaşlanma yer almaktadır (Kaur ve Asthir, 2017; Ahluwalia ve ark., 2021).



Şekil 1. Bitki Kuraklık Stresi Uzun Dönem (Sol) ve Kısa Dönem (Sağ) Reaksiyonları (Chavez ve ark., 2003; Örs ve Ekinçi, 2015)

1.2. Patlıcan ve Domateste Kuraklık Toleransına İlişkin Gözlenen Mekanizmalar

Bitkilerde kuraklık gibi abiyotik strese yanıt olarak morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal düzeylerde çok sayıda adaptif mekanizma (karbon asimilasyonunun azalması, stomatal kapanma, osmotik düzenleme, kök-sürgün büyümesinin baskılanması, ROS artışı ve ilgili enzim aktivitelerinin değişmesi) harekete geçmektedir (Conti, 2023). Son yıllarda bitkilerde gen düzenleme teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, özellikle CRISPR/Cas9 sistemi, domates (*Solanum lycopersicum*) gibi önemli model türlerde kuraklık ve su stresi toleransının artırılmasında umut verici bir araç haline gelmiştir. Bu teknoloji, hedef genlerin yüksek doğrulukla kesilmesi veya

susturulmasına olanak tanıyarak, stres altında bitkilerin verdiği fizyolojik ve moleküler tepkilerin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır (Tiwari ve ark., 2023; Angon ve ark., 2023)

Bu bağlamda, Kıran ve ark., (2015) domates, patlıcan ve kavun genotiplerinin kuraklığa karşı gösterdikleri morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal tepkilerin kendi aralarındaki ilişkilerini incelenildiği; kuraklık stresine dayanım seviyelerini belirlenmek üzere seçilen dörder adet domates (TR-68516, Rio Grande, TR-63233, TR-63233, H-2274), patlıcan (Mardin-Kızıltepe, Burdur-Merkez, Artvin-Hopa, Kemer) ve kavun (Midyat, Şemame, Yuva, Ananas) genotipinde; stres koşulları altındaki bitki yaş ve kuru ağırlığı, yaprak alanı, nispi nem, yaprak su potansiyeli, klorofil, Ca, Zn, Mn ve Fe içeriği ile Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon redüktaz (GR) ve askorbat peroksidaz (APX) enzim aktiviteleri arasındaki istatistiksel ilişkileri araştırmış ve üç türde yapılan korelasyon analizleri, skala değerlendirmesinin kuraklığa dayanımı gösteren önemli bir parametre olduğunu göstermiştir. Stres altındaki bitkilerde, bitki yaş ve kuru ağırlığı ile yaprak alanı ve nispi nem oranı arasında; ayrıca skala değeri ile stoma iletkenliği arasında negatif bir korelasyon ortaya çıkmıştır. Kuraklık stresi bitkilerdeki MDA miktarında ve SOD, GR, APX ve CAT enzim aktivitelerinde artışa neden olmuştur. CAT ve GR enzim aktiviteleri ile skala arasında yüksek düzeyde bir negatif korelasyon olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda skala değerlendirmesinin diğer tüm özellikler ile ilişkili olan önemli bir parametre niteliği ile ön plana çıktığını ve skala değeri ile bitki yaş ağırlığı, yaprak alanı, yaprak su potansiyeli, stoma iletkenliği, K ve MDA içeriği değerlerinin yanı sıra

antioksidatif enzim aktivitelerinin de diğer fizyolojik ve morfolojik karakterlerle birlikte domates, patlıcan ve kavun genotiplerinde kuraklık stresine tolerans özelliği üzerinde etkili birer kriter olarak değerlendirilebileceği sonucuna varmışlardır.

Kıran ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada, patlıcan ve domateste kuraklık toleransının genetik temelini aydınlatan skala değerlendirmesi, yaprak su potansiyeli ve antioksidatif enzimler gibi kritik biyolojik mekanizmaları ortaya koymaktadır. Ancak, bu fizyolojik tepkileri yöneten ve dayanıklılığı kalıcı kılacak genetik varyantların bitki genomuna hızlıca entegre edilmesi, geleneksel ıslah metotlarıyla yıllar süren ve maliyetli bir süreçtir. Bu zorluklar ve patlıcan ıslahında biyoteknolojik araçların diğer türlere göre geç kullanılması (Alas ve ark., 2022), araştırmacıları tespit edilen bu fizyolojik tolerans mekanizmalarının genetik temelini doğrudan ve verimli bir şekilde düzenlemeye olanak tanıyan yeni teknolojilere yöneltmiştir. İşte bu noktada, genetik müdahaleyi kökten değiştiren CRISPR/Cas9 genom düzenleme teknolojisi devreye girerek, klasik ıslahın kısıtlamalarını aşma potansiyeli sunmuştur (Baltacı ve Arslan, 2020).

Li ve ark., (2019) tarafından yürütülen bir çalışmada, domateste savunma ve stres yanıtlarında görevli SINPR1 geninin işlevi CRISPR/Cas9 yöntemiyle devre dışı bırakılmıştır. Elde edilen slnpr1 mutantlarının, kontrol bitkilerine kıyasla kuraklık koşullarında daha düşük hayatta kalma oranına, artmış yaprak solgunluğuna ve daha yüksek oksidatif stres göstergelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Mutant bitkilerde stomatal kapanmanın zayıfladığı, malondialdehit (MDA) ve hidrojen

peroksit (H_2O_2) düzeylerinin yükseldiği, buna karşılık SOD ve CAT gibi antioksidan enzim aktivitelerinin azaldığı rapor edilmiştir. Ayrıca, kuraklığa yanıt veren genlerin (SIGST, SIDREB, SIDHN) ifadelerinin baskılandığı saptanmıştır. Bu bulgular, SINPR1 geninin domateste kuraklık toleransının önemli bir düzenleyicisi olduğunu ortaya koymaktadır (Li ve ark., 2019).

Bununla birlikte, Tiwari ve ark., (2023) tarafından hazırlanan kapsamlı bir derleme, CRISPR/Cas9 teknolojisinin domates ıslahındaki genel kullanımını ele almış ve abiyotik stres faktörlerine (ısı, tuzluluk, kuraklık) karşı dayanıklılığın artırılmasına yönelik stratejileri özetlemiştir. Çalışmada, domatesin genetik çeşitliliğinin sınırlı olması nedeniyle klasik ıslah yöntemlerinin yetersiz kaldığı, bu nedenle CRISPR tabanlı hedefli düzenlemelerin büyük potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, çoklu gen hedefleme (multiplex editing), taban düzenleme (base editing) ve Cas12a gibi yeni sistemlerin, stres toleransına ilişkin kompleks gen ağlarının aynı anda düzenlenmesine olanak tanıdığı belirtilmiştir.

Diğer taraftan, Angon ve ark., (2023) çalışması, CRISPR teknolojisinin yalnızca domates değil, farklı bitki türlerinde de kuraklık ve tuzluluk streslerinin etkilerini azaltmada kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu derlemede, CRISPR tabanlı gen düzenleme yaklaşımlarının su tutma kapasitesi, stomatal kontrol, ozmotik düzenleme ve ROS detoksifikasyonu gibi mekanizmaları hedef alarak bitkilerde stres toleransını artırdığı vurgulanmıştır. Domateste SINPR1 genine ilişkin çalışmalar örnek olarak gösterilmiş ve bu genin düzenlenmesinin

bitkinin su stresi koşullarındaki performansını önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir.

2. CRISPR/Cas9 TEKNOLOJİSİNİN TEMELLERİ

Moleküler biyoteknolojinin gelişimiyle birlikte, bitki ıslahında klasik yöntemlerin sınırları belirginleşmiş ve DNA düzeyinde bilgi sağlayan moleküler markör sistemleri önemli bir dönüm noktası olmuştur. Moleküler markörler, genetik varyasyonu DNA dizisi üzerinden doğrudan tespit edebilme yeteneğiyle, fenotipik seçime göre daha hassas, hızlı ve çevre koşullarından bağımsız bir yaklaşım sunar (Collard ve Mackill, 2008). Genetik haritalama, kantitatif karakter lokuslarının (QTL) belirlenmesi, genetik çeşitliliğin değerlendirilmesi, ebeveyn seçimi ve markör-yardımlı seleksiyon (MAS) gibi birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmışlardır (Xu ve Crouch, 2008). Başlangıçta RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) ve RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) gibi sistemlerle başlayan bu süreç, daha sonra SSR (Simple Sequence Repeat), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) ve SNP (Single Nucleotide Polymorphism) markörlerinin geliştirilmesiyle hız kazanmıştır (Varshney ve ark., 2005). Özellikle SSR ve SNP markörleri, yüksek polimorfizm düzeyi ve tekrarlanabilirlikleri sayesinde bitki ıslahında vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir.

Markör destekli seleksiyon (MAS), ıslah programlarında hedeflenen genlerin veya QTL'lerin varlığını genotip düzeyinde tespit ederek seleksiyon sürecini kısaltmayı amaçlar. Bu yöntemle, özellikle karmaşık kalıtıma sahip özelliklerde, örneğin hastalık direnci veya kuraklık

toleransı gibi karakterlerde, fenotipik testler yapılmadan bireylerin genetik olarak seçilmesi mümkün hale gelmiştir (Collard ve Mackill, 2008). Markörler, çevre koşullarına bağımlı olmayan genetik göstergeler sunduğu için, klasik ıslahın önemli dezavantajlarını ortadan kaldırır. Ayrıca markör temelli haritalama, genlerin kromozom üzerindeki konumlarını belirleyerek, ıslahçıların belirli genetik bölgeleri izlemelerine olanak tanır (Bhandari ve ark., 2017). Bununla birlikte, MAS uygulamaları bazı sınırlamalar da taşımaktadır. Markörlerin etkinliği, genetik arka plan, çevresel koşullar ve markör ile hedef gen arasındaki bağlantı derecesine bağlıdır. Markörler genellikle karakterin kendisini değil, o karakterle bağlantılı DNA bölgelerini temsil ettiğinden, “linkage drag” adı verilen istenmeyen genetik bölgelerin taşınması sıkça karşılaşılan bir sorundur (Collard ve Mackill, 2008). Ayrıca, özellikle çok gen tarafından kontrol edilen karmaşık özelliklerde, markör-karakter ilişkilerinin tam olarak tanımlanamaması seçimin doğruluğunu düşürebilir (Ribaut ve Ragot, 2007).

Bununla birlikte, markör sistemlerinin en önemli kısıtlarından biri, ıslah sürecinin hâlâ dolaylı bir biçimde yürütülmesidir. Markörler, genin varlığını veya yakınlığını gösterebilse de doğrudan gen üzerinde değişim yapma imkânı sağlamazlar. Ayrıca, markör haritalarının oluşturulması, yüksek maliyetli laboratuvar altyapısı ve büyük veri analizleri gerektirir. Bu durum, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki ıslah programlarının etkinliğini kısıtlamaktadır (Nadeem ve ark., 2018). Dolayısıyla, genetik varyasyonun yalnızca tanımlanması değil, aynı zamanda yönlendirilmesi ihtiyacı, gen düzenleme teknolojilerine olan ilgiyi artırmıştır.

Bu noktada, CRISPR/Cas9 teknolojisi, genetik mühendisliğinde devrim niteliğinde bir dönüm noktası oluşturmuştur. İlk olarak bakterilerin adaptif bağışıklık sisteminde keşfedilen bu mekanizma (Jinek ve ark., 2012), Cas9 adlı bir endonükleaz enzimin, rehber RNA (sgRNA) tarafından belirlenen hedef DNA bölgesini tanıyarak çift zincirli kesik oluşturması prensibine dayanır. Bitki hücresinde oluşan bu kesik, hücrenin doğal DNA onarım mekanizmaları olan Non-Homologous End Joining (NHEJ) veya Homology Directed Repair (HDR) yollarıyla onarılır. NHEJ genellikle küçük ekleme veya silinmelere (indel) yol açarak gen fonksiyonunun bozulmasına neden olurken, HDR mekanizması belirli DNA sekanslarının yönlendirilmiş bir biçimde eklenmesini mümkün kılar (Bortesi ve Fischer, 2015). Bu yönüyle CRISPR/Cas9 sistemi, DNA düzeyinde doğrudan, hızlı ve kesin değişikliklerin yapılmasına olanak tanır.

Moleküler markörler ile CRISPR teknolojisi arasındaki temel fark, birinin genetik varyasyonu tanımlaması, diğerinin ise onu yönlendirebilmesidir. Markör sistemleri, genetik bilginin tespitiyle sınırlı kalırken, CRISPR/Cas9 teknolojisi genetik bilginin doğrudan yeniden yazılmasını mümkün kılar (Son ve Park, 2022). Ayrıca, CRISPR teknolojisiyle oluşturulan mutasyonlar transgenik olmadan da elde edilebilmekte, yani hedef gen değiştirildiğinde bitkinin genomuna yabancı DNA aktarılmadan genetik çeşitlilik oluşturulabilmektedir (Bortesi ve Fischer, 2015). Bu durum hem tüketici kabulü hem de yasal düzenlemeler açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Klasik ıslah yöntemlerinin uzun zaman alması, maliyetinin yüksek olması nedeniyle biyoteknolojik yöntemler hızlı bir şekilde ıslah çalışmalarına entegre

edilmiştir. Ancak patlıcan ıslah çalışmalarında diğer türlere göre entegrasyona oldukça geç başlamıştır. İlk olarak 1973 yılında başlatılan patlıcanda anter kültürü çalışmalarında, katlanmış haploid bitki elde edilebilecek bir protokol 1982’de INRA tarafından geliştirilebilmiştir. Ülkemizde 1991 yılında yapılan çalışmalarla bazı patlıcan çeşitlerinin anter kültürüne tepkileri araştırılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. (Karakullukçu, 1991; Karakullukçu ve Abak, 1992) Ancak besin ortamı, kültüre alım metotları, genotip vb. gibi başarıyı etkileyen faktörler için modifikasyon çalışmaları günümüzde hala devam etmektedir (Ellialtıoğlu ve ark., 2012; Geboloğlu ve ark., 2017; Boncukçu ve Geboloğlu, 2018; Vural ve ark., 2019; Vural ve Ari, 2020; Vural, 2021; Alas ve ark., 2022).

Son yıllarda, genom düzenlemenin RNA-programlanabilir CRISPR/Cas9 teknolojisi araştırmacıların dikkatini çekmiş ve basit aynı zamanda zahmetsiz bir süreç olması nedeniyle çok kısa bir sürede çok yol kat etmiştir. CRISPR ilk olarak Japon araştırmacılar tarafından 1987’de *Escherichia coli*’deki iap genleriyle çalışırken, küçük ara parçalarla aralıklı, oldukça homolog tekrarların küçük bir uzantısı olarak tanımlanmıştır (Ishino ve ark., 1987; Chaudhuri ve ark., 2022). Yıllar sonra, 2005’te, üç bağımsız çalışma bu ara parça dizilerinin virüs veya plazmidler gibi harici hareketli genetik elemanlardan elde edildiğini kanıtlamıştır. CRISPR’ın çeşitli diğer bakteri ve arkelerde de mevcut olduğu bulunmuştur (Mojica ve ark., 2000; Chaudhuri ve ark., 2022) ve bu öncelikle bakteriyel adaptif savunma mekanizması olarak görev yapmaktadır (Makarova ve ark., 2006; Barrangou ve ark., 2007; Chaudhuri ve ark., 2022).

2.1. CRISPR/ Cas9' un Diğer Geleneksel Gen Düzenleme Yöntemlerinden Farkı

CRISPR interferansı (CRISPRi), RNA interferansın (RNAi) aksine daha derin bir baskılama etkisine sahiptir (Gilbert ve ark., 2015; Chaudhuri ve ark., 2022). Muhtemelen RNAi ve Cas9 nükleaz aracılı düzenleme arasındaki en çarpıcı fark, RNAi'nin gen ifadesinin geçici olarak baskılanmasına neden olabilmesi, Cas9 nükleazının ise hedef DNA'da kalıcı hasara neden olabilmesidir (Boettcher ve McManus 2015; Chaudhuri, 2022). Daha önce geliştirilen gen düzenleme araçları çinko parmak nükleazları (ZFN'ler) (Urnov ve ark., 2005; Shukla ve ark., 2009; Liu ve ark., 2007) ve transkripsiyon aktivatörü benzeri efektör nükleazlar (TALEN'ler) (Christian ve ark., 2010; Bedell ve ark., 2012; Gao ve ark., 2016; Ain ve ark., 2015) ile karşılaştırıldığında, CRISPR/Cas daha verimlidir ve aynı anda birden fazla hedef geni düzenleyebilir. Bu avantajlara dayanarak, CRISPR/Cas'ın uygulamaları hızla gelişmektedir. ZFN ve TALEN gen düzenleme araçları proteinlerle geçerli dizileri ararken, CRISPR/Cas rehber RNA'ya (gRNA) bağlıdır. Transkripsiyon aktivatörü benzeri efektör nükleazlar (TALEN) ve CRISPR/Cas9 ile karşılaştırıldığında, Zinc-finger nucleaz (ZFNs)'ların yapımı pahalıdır ve bu yüksek afiniteli DBD (DNA bağlayıcı bölge)' leri oluşturmak için yoğun iş gücü gerekmektedir. TALEN'ler, yapım sonrası önemli ölçüde daha az iyileştirmeye ihtiyaç duydukları için bu durumu aşabilir, ancak yapay DNA bağlayıcı proteinler üretmek için küçük yapı taşlarının uzun birleştirme sürecine bağımlıdırlar. Bununla birlikte, teknik olarak karmaşık olmayan bir genom düzenleme sistemine hizmet ettiği için en

yeni CRISPR/Cas9 aracılığıyla bu uzun süreç aşılabılır (Lozano-Juste ve Cutler, 2014; Chaudhuri ve ark., 2022). Aynı geni hedeflemek için birden fazla gen düzenleme teknolojisi kullanılmıştır ve CRISPR/Cas aracılı gen düzenleme sonuçlarının daha doğru olduğu belirlenmiştir.

3. DOMATES (*Solanum lycopersicum*)’TE CRISPR/Cas9 UYGULAMALARI

Domates (*Solanum lycopersicum* L.), gerek besin içeriği gerekse model bitki olarak genetik çalışmalar için sunduğu avantajlar nedeniyle, modern bitki biyoteknolojisinde en çok çalışılan türlerden biridir. Bitkisel üretimde verim, kalite ve stres toleransını artırmaya yönelik klasik ıslah yöntemleri uzun yıllar temel yaklaşım olmuş, ancak bu yöntemlerin genetik varyasyonla sınırlı olması, çevresel etkilerden güçlü biçimde etkilenmesi ve zaman alıcı yapısı nedeniyle, 1990’lı yıllardan itibaren moleküler düzeyde tekniklerin geliştirilmesi zorunluluk hâline gelmiştir (Varshney ve ark., 2005; Collard ve Mackill, 2008). Bu dönemde geliştirilen moleküler markör sistemleri, genetik varyasyonu doğrudan DNA dizisi düzeyinde belirleme imkânı sunarak, ıslah çalışmalarında büyük kolaylık sağlamıştır. RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), SSR (Simple Sequence Repeat) ve SNP (Single Nucleotide Polymorphism) gibi markör tipleri; domateste genetik çeşitliliğin değerlendirilmesi, QTL haritalama, ebeveyn seçimi ve markör-yardımlı seleksiyon (MAS) süreçlerinde yoğun olarak kullanılmıştır (Xu ve Crouch, 2008; Bhandari ve ark., 2017). Bu moleküler markörler sayesinde özellikle verim, meyve kalitesi ve stres toleransı gibi kantitatif karakterlerin genetik temeli daha net ortaya

konmuştur. Ancak markörlar yalnızca genetik varyasyonu tanımlama işlevi görmüş, doğrudan gen düzenlemesi yapma imkânı sunmamıştır (Nadeem ve ark., 2018). Bu nedenle, markör tabanlı ıslahın tamamlayıcısı olarak transgenik bitki üretim teknikleri geliştirilmiş ve gen transferi aracılığıyla domateste yeni genetik özelliklerin kazandırılması mümkün olmuştur. *Agrobacterium tumefaciens* aracılı transformasyon, domates genomuna hedef genlerin yerleştirilmesinde yaygın biçimde kullanılan bir yöntem olmuştur (Hamza ve Chupeau, 1993). Bununla birlikte, bu tür transgenik uygulamalar uzun süreli regülasyon süreçleri, toplumda GDO algısı ve rastgele gen entegrasyonu nedeniyle sınırlı kalmıştır (Bortesi ve Fischer, 2015). 2000’li yılların başında RNA girişimi (RNAi) temelli tekniklerin ortaya çıkışı, gen susturma mekanizmaları üzerinden bitkilerde hedef genlerin ekspresyonunun azaltılmasına olanak tanımıştır (Baulcombe, 2004). Domateste RNAi uygulamaları, özellikle etilen sentezi, meyve olgunlaşması, renk pigmentasyonu ve stres yanıtı gibi süreçlerde önemli genlerin fonksiyonel analizi için kullanılmıştır (Giovannoni, 2007). Ancak RNAi sisteminin kalıcı ve kesin mutasyonlar oluşturmaması, gen susturmanın bazen kısmi veya geçici olması, genetik mühendisliğinde daha hassas ve kalıcı yöntemlere duyulan ihtiyacı gündeme getirmiştir (Arora ve Narula, 2017). Bu eksiklikler, hedef genlerde doğrudan, kalıcı ve spesifik değişiklikler yapabilen gen düzenleme teknolojilerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Bu bağlamda CRISPR/Cas9 teknolojisi, gen düzenlemede devrim yaratmıştır. Sistem, bakterilerin bağışıklık mekanizmasından uyarlanmış olup, Cas9 endonükleaz enziminin rehber RNA (sgRNA) tarafından yönlendirilmesiyle hedef DNA bölgesinde çift zincirli kesik oluşturmaya dayanır (Jinek ve ark.,

2012). Bitki hücrelerinde bu kesik, NHEJ veya HDR mekanizmalarıyla onarılır; bu sayede gen susturma, ekleme ya da düzenleme yapılabilir (Bortesi ve Fischer, 2015).

Domateste CRISPR/Cas9 teknolojisi, özellikle meyve olgunlaşması, stres toleransı, hastalık direnci ve verim özelliklerinin iyileştirilmesi gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. Örneğin, RIN (RIPENING INHIBITOR) ve NOR (NON-RIPENING) genlerinde yapılan düzenlemeler, domates meyvesinin olgunlaşma sürecini modifiye etmiş ve raf ömrünü uzatmıştır (Ito ve ark., 2015; Gao ve ark., 2019). Benzer şekilde, SLGL6 geninin düzenlenmesiyle parthenokarpik (çekirdeksiz) meyve oluşumu sağlanmıştır (Ueta ve ark., 2017). Hastalık direncine yönelik çalışmalarda ise Mlo ve Pto genlerinin düzenlenmesiyle külleme ve bakteriyel lekelenme hastalıklarına karşı dayanıklılık kazandırılmıştır (Nekrasov ve ark., 2017). CRISPR/Cas9'un domates ıslahındaki en önemli avantajlarından biri, hedef gen düzenlemelerinin transgenik olmayan biçimde (transgene-free) elde edilebilmesidir. Bu, düzenleme sonrasında genomdan Cas9 taşıyıcı dizilerinin çıkarılmasıyla mümkündür (Zsögön ve ark., 2018). Böylece, toplumun GDO karşıtlığına yönelik kaygılar azaltılmakta ve yasal düzenlemelerde kolaylık sağlanmaktadır. Ayrıca, CRISPR/Cas9 ile aynı anda birden fazla genin düzenlenmesi (örneğin meyve büyüklüğü, renk ve dayanıklılık genlerinin kombine modifikasyonu) klasik ıslah yöntemleriyle yıllar sürecektir genetik kombinasyonların kısa sürede elde edilmesine olanak tanır (Brooks ve ark., 2014).

Wang ve ark., (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, SIMAPK3 geni CRISPR/Cas9 domates bitkilerinde kuraklık tepkisinde hücre zarlarını

oksidatif hasardan koruyarak ve stresle ilişkili genlerin transkripsiyonunu düzenleyerek rol oynadığını ortaya koymuştur ve mutant bitkiler su stresi uygulandığında kontrollere göre daha şiddetli solma belirtileri göstermiştir. Ayrıca bu mutant bitkilerde H_2O_2 (Hidrojen peroksit) birikimi, membran hasarı ve antioksidan enzim aktivitelerinde düşüş gözlenmiştir; stres ile ilişkili genlerin (örneğin SILOX, SIGST, SIDREB) ekspresyonlarında bozulmalar olmuş ve sonuç olarak; SIMAPK3'ün domates bitkilerinde kuraklık tepkisinde hücre zarlarını oksidatif hasardan koruyarak ve stresle ilişkili genlerin transkripsiyonunu düzenleyerek rol oynadığını göstermektedir. Lv ve ark., (2024) yaptıkları bir çalışmada, SIGT30 adlı tri-helix transkripsiyon faktörü CRISPR/Cas9 ile knock-out (genin tamamen işlevsiz hale getirilmesi) yapılmıştır.

Bu düzenleme sonucunda bitkide yapraklarda stoma yoğunluğu azalmış, bu da su kaybını azaltmış, endoreduplikasyon yoluyla hücre büyüklüğü ve sayısı değişmiş, meyve perikarpında hücre büyüklüğü ve meyve ağırlığı artmıştır. Böylece hem kuraklığa karşı direnç hem de meyve verimi yönünden avantaj sağlanmıştır. SINPR1 geninin CRISPR/Cas9 aracılığıyla mutasyona uğratılması sonucu domates bitkilerinde su stresi toleransının azaldığı bulunmuştur. Mutant bitkilerde stomatal açıklık daha büyük, elektrolit sızıntısı, MDA (malondialdehid) ve H_2O_2 seviyeleri daha yüksek, antioksidan enzim aktiviteleri daha düşük olmuştur. Ayrıca su stresi ile ilişkili gen ifadeleri (örneğin SIGST, SIDHN, SIDREB) baskılanmıştır. CRISPR/Cas9 ile SILBD40 geninin knock-out uygulaması, domates bitkilerinde stomatal iletim düşüklüğü ve su kaybının azalması gibi fenotiplerle birlikte, sulamanın kesilmesi

durumunda bitkilerin su stresine karşı daha dayanıklı hale gelmesi ile sonuçlanmıştır. Benzer şekilde SLARF4 geninin düzenlenmesi sulama yapılmayan sürelerden sonra yeniden sulama sonrası bitkilerin daha hızlı toparlanma gösterdiği bir fenotip ile ilişkilendirilmiştir. Seçgin ve ark., (2021), Türkiye’de ticari domates çeşitlerinde *Agrobacterium tumefaciens* aracılığıyla CRISPR/Cas9 sisteminin aktarımı için en uygun koşulları belirlemiştir. Çalışmada eksplant tipi, hormon kombinasyonları, antibiyotik konsantrasyonu ve vektör seçimi optimize edilmiştir. Bu araştırma, CRISPR uygulamalarında başarılı transformasyon ve rejenerasyonun ülkemiz koşullarında da mümkün olduğunu göstermektedir. Elde edilen protokol, özellikle su stresiyile ilişkili genlerin düzenlenmesine yönelik sonraki uygulamalara altyapı sağlamıştır. Seçgin ve ark., (2022), domateste aconitase (ACO) gen ailesini genom çapında tanımlamış ve bu genlerin abiotik stres koşulları (tuz ve mannitol ile oluşturulan su stresi) altında işlevlerini değerlendirmiştir.

Çalışmada bazı SIACO genleri CRISPR/Cas9 ile hedeflenmiş ve mutasyon hattı oluşturulmuştur. Elde edilen mutasyonlu bitkilerde, kontrol bitkilerine kıyasla MDA içeriği, prolin birikimi ve antioksidan aktivite değerlerinde farklılıklar gözlenmiştir. Sonuçlar, ACO genlerinin stres toleransında önemli rol oynadığını ve CRISPR/Cas9 sisteminin fonksiyonel gen karakterizasyonu için etkin şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

4. PATLICAN (*Solanum melongena*)’DA CRISPR/Cas9 UYGULAMALARI

CRISPR/Cas9 tabanlı gen düzenleme teknolojisi, son on yılda bitki biyoteknolojisinde önemli bir devrim yaratmış olsa da, bu teknolojinin patlıcan (*Solanum melongena* L.) üzerinde uygulamaları halen oldukça sınırlıdır. Solanaceae familyasının genetik olarak yakın türlerinden biri olan domates üzerinde kuraklık ve diğer abiyotik stres faktörleriyle ilişkili gen düzenleme çalışmaları hızla artarken, patlıcan özelinde yapılan CRISPR uygulamaları çoğunlukla polifenol oksidaz gen ailesi (PPO), pigment biyosentezi, meyve kalitesi veya bitki rejenerasyonu gibi fizyolojik özelliklere odaklanmıştır (Maioli ve ark., 2020; Moglia ve ark., 2019). Su stresi veya kuraklık toleransı ile doğrudan ilişkili genlerin hedeflendiği spesifik CRISPR/Cas9 çalışmaları ise literatürde oldukça az sayıdadır.

Bu durumun başlıca nedenleri arasında; patlıcanın *Agrobacterium* aracılı gen transformasyonuna karşı düşük duyarlılığı, yüksek fenolik bileşik içeriğinin kallus oluşumunu engellemesi ve *in vitro* rejenerasyon kapasitesinin sınırlı olması yer almaktadır (Bhat ve ark., 2024; Vural ve Ari, 2020). Bu teknikteki zorluklar, kuraklık stresine ilişkin genlerin (ör. DREB, NCED, P5CS, AREB) düzenlenmesine yönelik uygulamaların başarı oranını düşürmektedir. Ayrıca, patlıcanın genetik altyapısının domatese göre daha kompleks olması ve yeterli sayıda fonksiyonel genom çalışmalarının yeni yeni yayınlanmaya başlaması (Wei ve ark., 2020; Barchi ve ark., 2021; Fang ve ark., 2025) hedef gen seçimini güçleştirmektedir.

Son yıllarda yapılan bazı genom temelli çalışmalar, yabancı patlıcan türlerinde (*S. torvum*, *S. indicum* ve *S. macrocarpum*) desikasyon toleransı, reaktif oksijen türlerinin (ROS) detoksifikasyonu ve fotosistem II stabilitesi gibi mekanizmaların daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur (Khapte ve ark., 2024). Bu tür bulgular, gelecekte CRISPR/Cas9 veya türev teknolojilerin (CRISPR/Cas12a, Base Editing, Prime Editing) yabancı türlerdeki bu avantajlı allellerin kültür çeşitlerine aktarılmasında kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak mevcut durumda, patlıcanda su stresine yönelik gen düzenleme çalışmaları, henüz “öncül metodolojik denemeler” düzeyinde olup fonksiyonel gen karakterizasyonu aşamasındadır.

Dolayısıyla, literatürdeki bu eksiklik, patlıcanın su stresine karşı adaptasyon mekanizmalarının moleküler düzeyde çözülmesi açısından büyük bir araştırma boşluğuna işaret etmektedir. Bu boşluğun doldurulması, yalnızca patlıcan için değil, benzer genomik yapıya sahip diğer Solanaceae türlerinde de kuraklık toleransının moleküler ıslahı için temel oluşturacaktır. Patlıcanda kuraklıkla ilişkili genlerin hedeflenmesi yönündeki sınırlı ancak artan sayıda çalışma (Moglia ve ark., 2019; Bhat ve ark., 2024; Khapte ve ark., 2024) bu alandaki potansiyelin varlığını göstermektedir. Ancak gelecekte, yüksek rejenerasyon kapasitesine sahip yerel genotiplerin kullanımı, promotör mühendisliği ve çoklu hedef düzenlemelerini içeren stratejilerle bu teknolojinin daha etkin uygulanabilir hâle gelmesi beklenmektedir.

4.1. Patlıcan Genomunun Özellikleri

Yüksek kaliteli kromozom düzeyinde referans genomların yayımlanması, patlıcanın genomik analizleri ve hedef belirleme çalışmaları için güçlü bir temel oluşturmuştur. Wei ve ark., (2020) tarafından yayımlanan *S. melongena* yüksek kaliteli kromozom düzeyinde, patlıcan genomunda tür/çeşite özgü gen aileleri, genişlemiş gen kümeleri ve tarımsal açıdan önemli özelliklerle ilişkili bölgelerin haritalanmasını sağlamıştır. Bu çalışma sayesinde fonksiyonel gen keşfi, QTL bağlama ve aday gen seçimi (özellikle stres yanıtı, kök gelişimi ve metabolik yollara dair genler) daha güvenilir hale gelmiştir. Daha sonraki çalışmalarda (67/3 referans hattı üzerinde yapılan Hi-C destekli iyileştirmeler) pangenomik yaklaşımlar patlıcan çeşitleri arasındaki yapısal varyasyonları, genom içi tekrar dizilerini ve agronomik önem taşıyan lokusların farklılaşmasını göstermiştir; bu da hedef genleri belirlerken referans seçiminin önemini belirler (Barchi ve ark., 2021). Ayrıca, güncel literatürde telomer-to-telomer (T2T) düzeyinde daha yeni tam genom dizisinin yayımlanması (2024–2025) fonksiyonel genetik çalışmaların çözünürlüğünü daha da artırmaktadır. Bu gelişmeler CRISPR hedef tasarımı off-target risklerinin daha doğru tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır (Fang ve ark., 2025).

4.2. Patlıcanda CRISPR Tabanlı Yeni Varyetelerin Geliştirilmesi

Patlıcanda CRISPR/Cas tabanlı yeni varyetelerin geliştirilmesi son yıllarda hız kazanmış ve bu alandaki ilk başarılı uygulamalar, gen fonksiyonunun doğrulanması ve doğrudan kaliteli hasat özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine odaklanmıştır. Örneğin, SmelPPO gen ailesine (SmelPPO4/5/6) eşzamanlı olarak müdahale edilerek meyve eti

kararmasının (browning) azaltılması, CRISPR/Cas9'un güncel haliyle patlicanda uygulanabileceğini ve ticari kaliteyi doğrudan etkileyebileceğini göstermiştir; bu çalışma hem hedeflenen çoklu genlerin eşzamanlı kırılabilceğini hem de oluşturulan mutasyonların T1–T2 kuşaklarında stabil olarak aktığını ortaya koymuştur (Maioli ve ark., 2020). Phyteone desaturase (PDS) gibi “görsel fenotip” veren hedeflerin CRISPR ile kırılması, patlicanda gen düzenleme sistemlerinin kurulması ve optimizasyonu için standart bir demonstrasyon uygulaması olmuş; yakın zamanda SmPDS hedefli çalışmalarla etkili albino fenotipler elde edildiği bildirilmiştir (Phad ve ark., 2024). Bu deneysel çalışmalar, *Agrobacterium* aracılı transformasyon protokollerinin etkinliğini doğrularken (özellikle kotiledon eksplantlarının kullanımı), aynı zamanda gRNA tasarımı, hedef bölge seçimi ve potansiyel off-target taramalarının (amplicon/derin dizileme ile) zorunlu olduğunu pratik olarak göstermiştir (Maioli ve ark., 2020; Phad ve ark., 2024).

Patlicanda kuraklık toleransı gibi karmaşık, çok genli niteliklere yönelik CRISPR stratejileri birkaç ana yaklaşıma dayanır: (1) negatif regülatörlerin knock-out edilmesi (stres yanıtlarını baskılayan negatif düzenleyiciler ya da stomatal kapanmayı olumsuz etkileyen faktörler) ile bitkinin su stresi dönemindeki performansının artırılması; (2) promotör ve düzenleyici bölgelerin dizayn-düzeltilmesiyle gen ekspresyon profilinin stres koşullarına uyumlu hale getirilmesi; (3) multiplex (aynı anda birden fazla gRNA) düzenleme ile birbirini tamamlayan yol komponentlerinin eşzamanlı optimizasyonu; (4) base-editing ve prime-editing gibi transgene-az/-yok yaklaşımlarla hedefli nükleotid düzeyinde hassas değişiklikler yapılarak yan etki ve pleiotropinin minimize

edilmesi; (5) RNP (ribonükleoprotein) ve VIGE (virus-induced genome editing) gibi DNA-taşıyıcı olmayan teslim sistemlerinin kullanımıyla transgenik dizilerin genomda kalmamasının sağlanması (Zafar ve ark., 2020; Chen ve ark., 2021; Lee ve ark., 2024; Ramesh ve ark., 2024). Bu stratejiler, hem literatürde genel olarak ileri sürülen ilkelerle hem de Solanaceae üyesi türlerde uygulamalı deneyimlerle desteklenmektedir (Zafar ve ark., 2020; Chen ve ark., 2021).

Patlıcanda uygulanmış özgül stratejiler ve deneysel kanıtlar şunlardır: meyve eti kararması (PPO) azaltımı için çoklu PPO genlerinin eşzamanlı knock-out'u (Maioli ve ark., 2020) hem kaliteyi iyileştirmiş hem de off-target bakımından güvenli tasarımların mümkün olduğunu göstermiştir; SmPDS çalışmaları ise (Phad ve ark., 2024) CRISPR protokollerinin optimizasyonu (gRNA verimliliği, rejenerasyon protokolleri, segreg edilen transgene-free hatların oluşturulması) açısından model teşkil etmiştir. Hastalık dayanıklılığı açısından, patlıcan için CRISPR uygulamaları henüz sınırlı sayıda olsa da patojen hedef gen ortologlarının düzenlenmesinin birçok bitkide duyarlılık azalttığı gösterilmiş; *Phytophthora* spp. ve diğer mantar/patogenlere karşı dayanıklılığı artırmaya yönelik hedeflerin belirlenmesi ve doğrulaması güncel çalışmalarda ele alınmaktadır (Ferrero, 2024). Bunların yanı sıra, patlıcanda kullanılacak CRISPR hedeflerinin seçimini kolaylaştıran ve off-target tahminlerini geliştiren pangenom ve yüksek kalite referans genomlarının (T2T/uzun dizilemeli, telomer-to-telomere türündeki çözümler) son yıllardaki yayınlanması, hedeflenmiş bölge özgüllüğünü artırmakta ve korunan tekrarlar/çoklu gen aileleri söz konusu olduğunda

potansiyel off-targetleri daha güvenilir biçimde elimine etmeyi mümkün kılmaktadır (Barchi ve ark., 2023; Gramazio ve ark., 2019).

Metodolojik açıdan, patlıcanda yeni varyeteler geliştirirken kullanılabilecek pratik iş akışı şöyledir: yüksek-kalite pangenom referansı ve yabancı relatif verilerinden (*S. insanum*, *S. incanum* vb.) yararlanarak aday gen ve allel tanımlanması; stres altında ekspresyon verileri (RNA-seq) ile potansiyel hedeflerin (DREB, NAC, PP2C, negatif ABA feedback genleri, stomatal regülatörleri) daraltılması; in-silico gRNA tasarımı ve off-target taraması T2T referansları kullanılarak gerçekleştirilmesi; *Agrobacterium*-aracılı ve/veya RNP-tabanlı (DNA-free) transfer ile transformasyonun yapılması; editlerin amplicon-derin dizileme ile doğrulanması; T1–T2 kuşaklarında fenotipik ve fizyolojik testlerin (stoma davranışı, PSII verimliliği, su potansiyeli, osmotik uyum, prolin/şeker birikimi, antioksidan enzim aktiviteleri) yapılması; son olarak transgenik öğelerin segregasyonu ile transgene-free hatların seçilmesi (Hamza ve Chupeau, 1993; Maioli ve ark., 2020; Phad ve ark., 2024). Ayrıca VIGE ve PVX/TRV tabanlı geçici editleme yaklaşımları, özellikle elit hatlarda restorasyon/regenerasyon zorluğu varsa veya hızlı fenotip testleri isteniyorsa, transgenik entegrasyonu olmadan hedeflerin test edilmesine olanak verir (Lee ve ark., 2024).

Uygulamada dikkat edilmesi gereken noktalar da literatürde vurgulanmıştır: çok üyeli gen ailelerine (ör. PPO) müdahale ederken birbirine yakın lokasyonlarda bulunan paraloglar nedeniyle “linked off-target” riski artar; bu yüzden hem gRNA seçimi hem de geniş ölçekli genom taraması ile risklerin minimize edilmesi gerekir (Maioli ve ark.,

2020). Karmaşık kuraklık toleransı gibi poligenik özelliklerde tek bir gen hedefi genellikle yeterli olmaz; bu nedenle multiplex ve yol-düzeyinde kombinatorial tasarımlar veya promoter/çeper düzenleyici bölgelerin ince ayarı tercih edilmelidir (Hafeez ve ark., 2021; Chen ve ark., 2021). Ayrıca, yabancı relatif türlerden alınan adaptif allellerin (*S. torvum*, *S. macrocarpon* kökenli su-stres tolerans allelleri) CRISPR aracılığıyla kültür genomuna taşınması (allele-replacement veya promoter swap) stratejileri, klasik melezleme ve markör-yardımlı seçimin (MAS) ötesinde hız ve hassasiyet sağlayabilir (Shi ve ark., 2022; Khapte ve ark., 2024).

5. CRISPR/CAS9 TEKNOLOJİSİNİN SINIRLAMALARI VE ZORLUKLAR

CRISPR/Cas9 sistemi, gen düzenlemede devrim niteliğinde bir araç olarak görülmesine rağmen, özellikle bitki biyoteknolojisinde uygulamaya geçişte çeşitli teknik, biyolojik, çevresel ve düzenleyici sınırlamalar bulunmaktadır. Domates (*Solanum lycopersicum*) ve patlıcan (*Solanum melongena*) gibi Solanaceae familyası üyelerinde bu sınırlamalar hem transformasyon verimliliği hem de rejenerasyon kapasitesi bakımından belirgin şekilde hissedilmektedir (Gao ve ark., 2023; Sun ve ark., 2006).

5.1. Doku Kültürü ve Transformasyon Verimliliği Sorunları

Domates ve patlıcanda gen düzenleme çalışmalarının en büyük pratik engellerinden biri, rejenerasyon ve transformasyon verimliliğinin düşük olmasıdır. Domatesin çoğu genotipinde *Agrobacterium*-aracılı

transformasyon %40-60 verimle başarı sağlarken (Sun ve ark., 2006), patlıcanda bu oran %5–15 civarında kalmaktadır (Maioli ve ark., 2020).

Bu durum, genetik altyapı farklılıkları, kültür ortamı bileşenleri (bitki hormon dengesi) ve fenolik bileşiklerin oksidasyonu gibi faktörlerle ilişkilidir. Özellikle patlıcan dokularında yüksek fenolik içeriğin kallus oluşumunu ve sürgün rejenerasyonunu engellediği bilinmektedir. Bu nedenle, su stresıyla ilişkili bazı genlerin (DREB, P5CS, NCED) düzenlenmesi hedeflendiğinde, rejenerasyon kapasitesi yüksek yerel genotiplerin veya yabancı akrabalardan türetilen hatların kullanılması önerilmektedir (Bhat ve ark., 2024).

5.2. Çevresel ve Ekonomik Faktörler

CRISPR teknolojisinin tarımsal ölçekte uygulanabilirliği yalnızca laboratuvar başarısına değil, aynı zamanda çevresel koşullar ve ekonomik sürdürülebilirliğe de bağlıdır.

Düzenlenmiş hatların kuraklık stresi altında performansının, sera koşulları ile açık alan koşulları arasında farklılık gösterebildiği bilinmektedir. Kontrollü ortamlarda başarılı görünen genotiplerin, sahada değişken sıcaklık, nem, toprak tuzluluğu ve mikrobiyal etkileşimler altında farklı tepkiler vermesi mümkündür (Gao ve ark., 2023).

Ekonomik açıdan ise, gen düzenleme çalışmalarının yüksek başlangıç maliyetleri, patent lisans ücretleri ve laboratuvar altyapı gereksinimleri, özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu teknolojinin yaygınlaşmasını sınırlandırmaktadır. Bununla birlikte, uzun vadede su stresine dayanıklı

çeşitlerin geliştirilmesi, verim kayıplarını azaltarak tarımsal üretim maliyetlerini düşürebilir.

6. GELECEK PERSPEKTİFLERİ

CRISPR teknolojisinin ileri versiyonları (Cas12, Cas13, Base Editing, Prime Editing), klasik CRISPR/Cas9 sisteminin bazı sınırlamalarını aşmak için, yeni nesil düzenleme araçları geliştirilmektedir. CRISPR/Cas12a (Cpf1) sistemi, daha uzun PAM dizisi tanıma kapasitesi ve tek gRNA ile çoklu hedefleme potansiyeli sayesinde patlıcan ve domates gibi karmaşık genomlu türlerde avantaj sağlayabilir (Tang ve ark., 2022).

Cas13 sistemi ise RNA düzeyinde düzenleme yapabilme özelliğiyle stres altında geçici gen ekspresyon değişimlerini kontrol etmede önemlidir. Ayrıca Base Editing ve Prime Editing teknolojileri, çift iplik kırığı oluşturmada nokta mutasyon veya küçük ekleme/silinme (INDEL) işlemleri yapılmasına olanak tanır. Bu sistemler, su stresiyle ilişkili bazı genlerde (NCED, DREB, CBF) hassas düzenleme yapılmasına imkân vermektedir.

6.1. Yapay Zekâ Destekli Gen Düzenleme Yaklaşımları

Son yıllarda yapay zekâ (AI) ve makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar, CRISPR hedef bölgesi seçimini, off-target tahminini ve gRNA etkinliğini optimize etmekte kullanılmaktadır (Kim ve ark., 2023). Domates ve patlıcan genomları için geliştirilen in silico veri tabanları (Sol Genomics Network, Eggplant Genome Database) bu tür algoritmalarla entegre edilerek su stresiyle ilişkili gen ağlarının (gene regulatory networks) modellenmesini mümkün kılmaktadır. Böylece,

hangi genlerin düzenlenmesinin kuraklık stresine karşı en etkili tepkiyi vereceği önceden tahmin edilebilir.

6.2. Kuraklığa Dayanıklı Yeni Nesil Solanaceae Çeşitlerinin Geliştirilmesi

Gelecekte CRISPR teknolojisi, klasik ıslah ve markör destekli seleksiyon (MAS) yöntemleriyle entegre edilerek çoklu stres toleransı taşıyan Solanaceae varyetelerinin geliştirilmesini sağlayacaktır. Örneğin domatestede SIGT30, SIARF4 ve SINPR1 genlerinin; patlıcanda ise SmDREB2, SmNCED, P5CS ve NAC ailesi genlerinin düzenlenmesi, su stresi adaptasyonunda umut vadeden hedeflerdir (Lv ve ark., 2025; Moglia ve ark., 2019). Yabani akrabalardan (*S. incanum*, *S. torvum*) elde edilen allellerin CRISPR ile kültür çeşitlerine aktarılması, doğal varyasyonların kullanımı açısından ekolojik sürdürülebilirliği destekler.

SONUÇ

Günümüzde artan küresel sıcaklık, düzensiz yağış rejimleri ve azalan su kaynakları, tarımsal üretimi doğrudan tehdit eden temel faktörler arasındadır. Bu koşullar altında, Solanaceae familyasının önemli üyeleri olan domates (*Solanum lycopersicum*) ve patlıcan (*Solanum melongena*), özellikle kuraklık stresine karşı duyarlılıkları nedeniyle hem verim hem de kalite açısından ciddi kayıplar yaşamaktadır. Klasik ıslah yöntemleriyle kuraklığa dayanıklı genotiplerin geliştirilmesi uzun zaman almakta, yüksek maliyet gerektirmekte ve çevresel koşullara bağlı değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle CRISPR/Cas9 tabanlı genom düzenleme teknolojileri, hedefe yönelik, hızlı ve maliyet etkin çözümler sunarak ıslah çalışmalarında yeni bir çağ başlatmıştır. Domatestede

yürütülen çalışmalar, SIMAPK3, SIGT30, SIARF4, SINPR1 ve SILBD40 gibi genlerin düzenlenmesiyle kuraklık stresine karşı dayanıklılığın artırılabilceğini göstermektedir. Bu çalışmalar, stres koşullarında stomatal iletkenlik, ozmotik denge, antioksidan enzim aktivitesi ve yeniden sulama sonrası toparlanma gibi fizyolojik parametrelerde belirgin iyileşmeler sağlamıştır. Ancak patlıcan üzerinde yapılan CRISPR uygulamaları henüz başlangıç aşamasındadır ve çoğunlukla PPO, pigment biyosentezi ve meyve kalitesi gibi özelliklere odaklanmıştır. Patlıcanda su stresi ile doğrudan ilişkili genlerin düzenlenmesi üzerine yürütülen çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, son dönemde SmDREB2, SmNCED ve P5CS genlerine odaklanan araştırmalar, bu alandaki potansiyelin varlığını ortaya koymuştur.

Bununla birlikte, transformasyon verimliliğinin düşüklüğü, yüksek fenolik içerik nedeniyle kallus gelişiminin sınırlanması, rejenerasyon kapasitesi eksiklikleri ve off-target mutasyon riski gibi teknik zorluklar hâlâ aşılması gereken temel engellerdir. Bilimsel açıdan, CRISPR/Cas9'un sunduğu olanakların yeni nesil versiyonlarla (Cas12a, Cas13, Base Editing, Prime Editing) daha da genişletilmesi mümkündür. Bu sistemler, klasik Cas9'a göre daha yüksek özgüllük, daha düşük off-target oranı ve çoklu hedefleme kapasitesi sunarak domates ve patlıcan gibi karmaşık genomlu türlerde başarı şansını artıracaktır. Özellikle promotör mühendisliği ve dokuya özgü promotör kullanımı, su stresiyle ilişkili genlerin hassas biçimde düzenlenmesine imkân tanıyabilir. Gelecekte CRISPR teknolojisinin, markör destekli seleksiyon (MAS) ve yapay zekâ destekli genom analizi ile entegre edilmesi, çok yönlü stres toleransı taşıyan yeni Solanaceae varyetelerinin geliştirilmesini mümkün

kılacaktır. Yapay zekâ tabanlı algoritmalar, hedef genlerin seçimi, gRNA tasarımı ve off-target tahmini konularında araştırmacılara rehberlik edecek; böylece gen düzenleme süreçleri daha sistematik ve güvenilir hâle gelecektir. Sonuç olarak, CRISPR/Cas9 teknolojisi domates ve patlıcan gibi ekonomik değeri yüksek türlerde kuraklık stresine dayanıklı genotiplerin geliştirilmesi için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Bu teknolojinin etkin şekilde kullanılabilmesi, disiplinler arası iş birliği, güçlü bir biyoinformatik altyapı ve genetik çeşitliliği koruyan ulusal ıslah stratejilerinin oluşturulmasıyla mümkündür. Yabani patlıcan türlerinin (*S. torvum*, *S. incanum*) genetik kaynak olarak değerlendirilmesi, yerel genotiplerin adaptif avantajlarının korunması ve moleküler ıslah çalışmalarında kullanılacak temel veri setlerinin oluşturulması, Türkiye'nin sürdürülebilir tarımsal üretim hedeflerine katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, CRISPR/Cas9 ve türev teknolojilerinin, kuraklık stresine karşı dayanıklı, yüksek verimli ve çevresel açıdan sürdürülebilir yeni domates ve patlıcan çeşitlerinin geliştirilmesinde önümüzdeki on yılın en etkili biyoteknolojik araçlarından biri olması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- Abbas, K., Li, J., Gong, B., Lu, Y., Wu, X., Lü, G. & Gao, H. (2023). Drought Stress Tolerance in Vegetables: The Functional Role of Structural Features, Key Gene Pathways, and Exogenous Hormones. *International journal of molecular sciences*, 24(18), 13876.
- Adedze, Y. M. N., Xu, Y., Liu, S., Zhao, Y., Mo, C., Zhang, R. & Zhang, J. (2025). An advanced 10K SNP panel for genotyping tomato (*Solanum lycopersicum* L.) via targeted genome sequencing. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1582241.
- Aflitos, S., Schijlen, E., de Jong, H., de Ridder, D., Smit, S., Finkers, R., Wang, J., Zhang, G., Li, N., Mao, L., Bakker, F., Dirks, R., Breit, T., Gravendeel, B., Huits, H., Struss, D., Swanson-Wagner, R., van Leeuwen, H., van Ham, R. C. H. J., Fito, L., Guignier, L., Sevilla, M., Ellul, P., Ganko, E., Kapur, A., Reclus, E., de Geus, B., van de Geest, H., Te Lintel Hekkert, B., van Haarst, J., Smits, L., Koops, A., Sanchez-Perez, G., van Heusden, A.W., Visser, R., Quan, Z., Min, J., Liao, L., Wang, X., Wang, G., Yue, Z., Yang, X., Xu, N., Schranz, E., Smets, E., Vos, R., Rauwerda, J., Ursem, R., Schuit, C., Kerns, M., van den Berg, J., Vriezen, W., Janssen, A., Datema, E., Jahrman, T., Moquet, F., Bonnet, J. & Peters, S. (100 Tomato Genome Sequencing Consortium). (2014). Exploring genetic variation in the tomato (*Solanum section Lycopersicon*) clade by whole-genome sequencing. *The Plant Journal*, 80(1), 136-148.
- Ahluwalia, O., Singh, P. C. & Bhatia, R. (2021). A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*, 5, 100032.
- Ain, Q. U., Chung, J. Y. & Kim, Y. H. (2015). Current and future delivery systems for engineered nucleases: ZFN, TALEN and RGEN. *Journal of Controlled Release*, 205, 120-127.
- Alas, E., Öztekin, G. B. & Boyacı, H. F. (2022). Türkiye Patlıcan Üretiminin Mevcut Durumu. *Bahçe*, 51, 435-447.
- Amiteye, S. (2021). Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding. *Heliyon*, 7(10).

- Angon, P. B., Mondal, S., Akter, S., Sakil, M. A. & Jalil, M. A. (2023). Roles of CRISPR to mitigate drought and salinity stresses on plants. *Plant Stress*, 8, 100169.
- Arora, L. & Narula, A. (2017). Gene editing and crop improvement using CRISPR-Cas9 system. *Frontiers in plant science*, 8, 1932.
- Balkaya, A. (2016). Aşılı patlıcan üretiminde kullanılan anaçların verim ve kalite üzerine etkileri. *Tarım Gündem Dergisi*, 6:24-28.
- Baltacı, A. M., & Arslan, M. (2020). Bitki ıslahında CRISPR/Cas9 uygulamaları. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 3(2), 32-40.
- Bandurska, H. (2022). Drought stress responses: coping strategy and resistance. *Plants*, 11(7), 922.
- Barchi, L., Rabanus-Wallace, M. T., Prohens, J., Toppino, L., Padmarasu, S., Portis, E., Rotino, G. L., Stein, N., Lanteri, S. & Giuliano, G. (2021). Improved genome assembly and pan-genome provide key insights into eggplant domestication and breeding. *The Plant journal : for cell and molecular biology*, 107(2), 579–596.
- Barchi, L., Aprea, G., Rabanus-Wallace, M. T., Toppino, L., Alonso, D., Portis, E., Lanteri, S., Gaccione, L., Omondi, E., van Zonneveld, M., Schafleitner, R., Ferrante, P., Börner, A., Stein, N., Díez, M. J., Lefebvre, V., Salinier, J., Boyaci, H. F., Finkers, R., Brouwer, M., Bovy, A. G., Rotino, G. L., Prohens, J., & Giuliano, G. (2023). Analysis of > 3400 worldwide eggplant accessions reveals two independent domestication events and multiple migration-diversification routes. *The Plant Journal*, 116(6), 1667-1680.
- Barrangou, R., Fremaux, C., Deveau, H., Richards, M., Boyaval, P., Moineau, S. & Horvath, P. (2007). CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes. *Science*, 315(5819), 1709-1712.
- Baulcombe, D. (2004). RNA silencing in plants. *Nature*, 431(7006), 356-363.
- Bedell, V. M., Wang, Y., Campbell, J. M., Poshusta, T. L., Starker, C. G., Krug II, R. G. & Ekker, S. C. (2012). *In vivo* genome editing using a high-efficiency TALEN system. *Nature*, 491(7422), 114-118.
- Bhandari, H. R., Bhanu, A. N., Srivastava, K., Singh, M. N. & Shreya, H. A. (2017). Assessment of genetic diversity in crop plants-an overview. *Adv. Plants Agric. Res*, 7(3), 279-286.

- Bhat, M. A., Mir, R. A., Kumar, V., Shah, A. A., Zargar, S. M., Rahman, S. & Jan, A. T. (2021). Mechanistic insights of CRISPR/Cas-mediated genome editing towards enhancing abiotic stress tolerance in plants. *Physiologia plantarum*, 172(2), 1255-1268.
- Bhat, M. A., Rather, R. A. & Mir, R. R. (2024). Advances in genome editing for abiotic stress tolerance in vegetable crops: focus on Solanaceae family. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1423119.
- Boettcher, M., McManus, M.T. (2015). Choosing the right tool for the job: RNAi, TALEN, or CRISPR. *Mol Cell* 58:575–585.
- Bolotin, A., Quinquis, B., Sorokin, A., Ehrlich, S.D. (2005). Clustered regularly interspaced short palindrome repeats (CRISPRs) have spacers of extrachromosomal origin. 1066:2551–2561.
- Bortesi, L. & Fischer, R. (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology advances*, 33(1), 41-52.
- Brake, M., Al-Qadumii, L., Hamasha, H., Migdadi, H., Awad, A., Haddad, N. & Sadler, M. T. (2022). Development of SSR markers linked to stress responsive genes along tomato chromosome 3 (*Solanum lycopersicum* L.). *BioTech*, 11(3), 34.
- Brooks, C., Nekrasov, V., Lippman, Z. B. & Van Eck, J. (2014). Efficient gene editing in tomato in the first generation using the clustered regularly interspaced short palindromic repeats/CRISPR-associated9 system. *Plant physiology*, 166(3), 1292-1297.
- Chaudhuri, A., Halder, K. & Datta, A. (2022). Classification of CRISPR/Cas system and its application in tomato breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(2), 367-387.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P. & Pereira, J.S. (2003). Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30: 239–264.
- Chen, S., Zhang, N., Zhou, G., Hussain, S., Ahmed, S., Tian, H., & Wang, S. (2021). Knockout of the entire family of AITR genes in Arabidopsis leads to enhanced drought and salinity tolerance without fitness costs. *BMC Plant Biology*, 21(1), 137.
- Chiappero, J., del Rosario Cappellari, L., Alderete, L. G. S., Palermo, T. B. & Banchio, E. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading

- to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Industrial Crops and Products*, 139, 111553.
- Christian, M., Cermak, T., Doyle, E. L., Schmidt, C., Zhang, F., Hummel, A. & Voytas, D. F. (2010). Targeting DNA double-strand breaks with TAL effector nucleases. *Genetics*, 186(2), 757-761.
- Collard, B. C. & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 557-572.
- Conti, V., Parrotta, L., Romi, M., Del Duca, S. & Cai, G. (2023). Tomato biodiversity and drought tolerance: A multilevel review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(12), 10044.
- Çetinkaya, Ş., Yılmaz, S., Arı, N., Ünlü, A., Fırat, A. F., Tekşam, İ. & Aktaş, A. (2009). Örtüaltı patlıcan yetiştiriciliği. *Batı Akdeniz Araştırma Enstitüsü, Antalya*, 104.
- Doksöz Boncukçu, S. & Geboloğlu, N. (2018). Effect of genotype, stress conditions and media on androgenic performance of eggplant. In XXX International Horticultural Congress IHC2018: II International Symposium on Micropropagation and *In Vitro* Techniques 1285 (pp. 185-192).
- Eckerstorfer, M. F., Engelhard, M., Heissenberger, A., Simon, S. & Teichmann, H. (2019). Plants developed by new genetic modification techniques—comparison of existing regulatory frameworks in the EU and non-EU countries. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 26.
- Ellialtıoğlu, Ş., Başay, S. & Kuşvuran, Ş. (2012). Patlıcanda polen dimorfizmi ve anter kültürü ilişkisinin incelenmesi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 5(1), 149-152
- Etesami, H., Alikhani, H. A. & Mirseyed Hosseini, H. (2015). Indole-3-acetic acid and 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase: bacterial traits required in rhizosphere, rhizoplane and/or endophytic competence by beneficial bacteria. *Bacterial metabolites in sustainable agroecosystem*, 183-258.
- Fang, H., Wu, J., Xie, L., Li, Y., Huang, J., Yan, X. & Wang, P. (2025). Telomere-to-telomere genome assembly of eggplant (*Solanum melongena* L.) promotes gene fine localization of the green stripe (GS)

- in pericarp. International Journal of Biological Macromolecules, 284, 138094.
- FAO (2024). FAOSTAT Üretim Veritabanları. Çevrimiçi adres: <http://www.faostat.fao.org> (Erişim tarihi 16.09.2025).
- Ferrero, M., Valentino, D., Milani, A. M., Comino, C., Lanteri, S., Acquadro, A., & Moglia, A. (2024). Enhancing tolerance to *Phytophthora* spp. in eggplant through DMR6–1 CRISPR/Cas9 knockout. *Plant Stress*, 14, 100691.
- Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International journal of plant genomics*, (1), 064358.
- Gao, F., Shen, X. Z., Jiang, F., Wu, Y. & Han, C. (2016). DNA-guided genome editing using the *Natronobacterium gregoryi* Argonaute. *Nature biotechnology*, 34(7), 768-773.
- Gao, Y., Zhang, C. & He, Y. (2023). Optimizing CRISPR/Cas9-mediated gene editing in Solanaceae crops: recent progress and challenges. *Plant Biotechnology Reports*, 17, 325–338.
- Gao, Y., Zhu, N., Zhu, X., Wu, M., Jiang, C. Z., Grierson, D. & Qu, G. (2019). Diversity and redundancy of the ripening regulatory networks revealed by the fruitENCODE and the new CRISPR/Cas9 CNR and NOR mutants. *Horticulture Research*, 6.
- Geboloğlu, N., Boncukçu, S. D., Durna, P. & Bayram, M. (2017). Patlıcanda şeker, bal ve büyüme düzenleyicilerin anter kültüründe embrioid oluşumuna etkisi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 275-280.
- Gilbert, L. A., Horlbeck, M. A., Adamson, B., Villalta, J. E., Chen, Y., Whitehead, E. H., & Weissman, J. S. (2014). Genome-scale CRISPR-mediated control of gene repression and activation. *Cell*, 159(3), 647-661.
- Giovannoni, J. J. (2007). Fruit ripening mutants yield insights into ripening control. *Current opinion in plant biology*, 10(3), 283-289.
- Gramazio, P., Yan, H., Hasing, T., Vilanova, S., Prohens, J., & Bombarely, A. (2019). Whole-genome resequencing of seven eggplant (*Solanum melongena*) and one wild relative (*S. incanum*) accessions provides new insights and breeding tools for eggplant enhancement. *Frontiers in plant science*, 10, 1220.

- Hafeez, A. N., Arora, S., Ghosh, S., Gilbert, D., Bowden, R. L., & Wulff, B. B. (2021). Creation and judicious application of a wheat resistance gene atlas. *Molecular Plant*, 14(7), 1053-1070.
- Hamza, S. & Chupeau, Y. (1993). Re-evaluation of conditions for plant regeneration and Agrobacterium-mediated transformation from tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of Experimental Botany*, 44(12), 1837-1845.
- Ishino, Y., Shinagawa, H., Makino, K., Amemura, M. & Nakata, A. (1987). Nucleotide sequence of the iap gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in Escherichia coli, and identification of the gene product. *Journal of bacteriology*, 169(12), 5429-5433.
- Ito, Y., Nishizawa-Yokoi, A., Endo, M., Mikami, M. & Toki, S. (2015). CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of the RIN locus that regulates tomato fruit ripening. *Biochemical and biophysical research communications*, 467(1), 76-82.
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A. & Charpentier, E. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *science*, 337(6096), 816-821.
- Joshi, S. P., Ranjekar, P. K. & Gupta, V. S. (1999). Molecular markers in plant genome analysis. *Current Science*, 230-240.
- Kalefetoğlu, T., & Ekmekçi, Y. (2005). Bitkilerde kuraklık stresinin etkileri ve dayanıklılık mekanizmaları. *GÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 18(4), 723-740.
- Karakullukçu, Ş. & Abak, K. (1992). Bazı patlıcan çeşitlerinin anter kültürüne tepkileri. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı*, 42, 7-12.
- Karakullukçu, Ş. (2022). Değişik patlıcan genotiplerinde *in vitro* androgenesis ve haploid bitki oluşumunu uyarıcı bazı etmenler üzerinde araştırmalar (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi (Turkey)).
- Kaur, G. & Asthir, B. (2017). Molecular responses to drought stress in plants. *Biologia plantarum*, 61(2), 201-209.
- Khapte, P. S., Changan, S. S., Kumar, P., Singh, T. H., Singh, A. K., Rane, J. & Reddy, K. S. (2024). Deciphering desiccation tolerance in wild eggplant species: Insights from chlorophyll fluorescence dynamics. *BMC Plant Biology*, 24(1), 702.
- Kılıç, S. (2008). Küresel iklim değişikliği sürecinde su yönetimi, İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 39: 161-186.

- Kıran, S., Kuşvuran, Ş., Özkay, F. & Ellialtıoğlu, Ş. Ş. (2015). Domates, patlıcan ve kavun genotiplerinin kuraklığa dayanım durumlarını belirlemeye yönelik olarak incelenen özellikler arasındaki ilişkiler. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 9-25.
- Kim, H., Lee, H. & Park, J. (2023). Artificial intelligence-assisted CRISPR design: enhancing specificity and reducing off-target effects. *Trends in Biotechnology*, 41(8), 987–999.
- Kim, M., Nguyen, T. T. P., Ahn, J. H., Kim, G. J. & Sim, S. C. (2021). Genome-wide association study identifies QTL for eight fruit traits in cultivated tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Horticulture Research*, 8.
- Kopecká, R., Kameniarová, M., Černý, M., Brzobohatý, B. & Novák, J. (2023). Abiotic stress in crop production. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 6603.
- Kumar, M., Prusty, M. R., Pandey, M. K., Singh, P. K., Bohra, A., Guo, B. & Varshney, R. K. (2023). Application of CRISPR/Cas9-mediated gene editing for abiotic stress management in crop plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1157678.
- Lee, S. Y., Kang, B., Venkatesh, J., Lee, J. H., Lee, S., Kim, J. M. & Kang, B. C. (2024). Development of virus-induced genome editing methods in Solanaceous crops. *Horticulture research*, 11(1), uhad233.
- Leng, G., Tang, Q. & Rayburg, S. (2015). Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. *Global and Planetary Change*, 126, 23-34.
- Li, R., Liu, C., Zhao, R., Wang, L., Chen, L., Yu, W. & Shen, L. (2019). CRISPR/Cas9-Mediated SINPR1 mutagenesis reduces tomato plant drought tolerance. *BMC plant biology*, 19(1), 38.
- Li, R., Zhang, L., Wang, L. & Zhou, X. (2019). CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of tomato SLARF4 improves water use efficiency and drought tolerance. *Plant Biotechnology Journal*, 17(3), 664–676.
- Li, Y., Wu, X., Zhang, Y. & Zhang, Q. (2022). CRISPR/Cas genome editing improves abiotic and biotic stress tolerance of crops. *Frontiers in Genome Editing*, 4, 987817.
- Lin, T., Zhu, G., Zhang, J., Xu, X., Yu, Q., Zheng, Z. & Huang, S. (2014). Genomic analyses provide insights into the history of tomato breeding. *Nature genetics*, 46(11), 1220-1226.

- Liu, X., Wu, S., Xu, J., Sui, C. & Wei, J. (2017). Application of CRISPR/Cas9 in plant biology. *Acta pharmaceutica sinica B*, 7(3), 292-302.
- Lozano-Juste, J., Cutler, S.R. (2014). Plant genome engineering in full bloom. *Trends Plant Sci* 19:284–287.
- Ly, D., Zhao, J. & Huang, Z. (2025). CRISPR-based genome editing for drought adaptation in Solanaceae crops: emerging strategies and perspectives. *Theoretical and Applied Genetics*, 138(2), 211–229.
- Ly, H., Wang, X., Dong, X., Gao, M., Dong, D., Li, C., Jing, S., Guo, Y. D. & Zhang, N. (2025). CRISPR/Cas9 edited S1GT30 improved both drought resistance and fruit yield through endoreduplication. *Plant, cell & environment*, 48(4), 2581–2595.
- Maioli, A., De Marchi, F., Valentino, D., Gianoglio, S., Patono, D. L., Miloro, F. & Moglia, A. (2024). Knock-out of SIDMR6-1 in tomato promotes a drought-avoidance strategy and increases tolerance to Late Blight. *Plant Stress*, 13, 100541.
- Maioli, A., Gianoglio, S., Moglia, A., Acquadro, A., Valentino, D., Milani, A. M. & Comino, C. (2020). CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of the eggplant polyphenol oxidase gene family. *Frontiers in Plant Science*, 11, 607161.
- Maioli, A., Gianoglio, S., Moglia, A., Acquadro, A., Valentino, D., Milani, A. M., Prohens, J., Orzaez, D., Granell, A., Lanteri, S. & Comino, C. (2020). Simultaneous CRISPR/Cas9 editing of three PPO genes reduces fruit flesh browning in *Solanum melongena* L. *Frontiers in Plant Science*, 11, 607161.
- Maioli, A., Gianoglio, S., Moglia, A., Acquadro, A., Valentino, D., Milani, A. M. & Comino, C. (2020). Simultaneous CRISPR/Cas9 editing of three PPO genes reduces fruit flesh browning in *Solanum melongena* L. *Frontiers in plant science*, 11, 607161.
- Makarova, K. S., Grishin, N. V., Shabalina, S. A., Wolf, Y. I. & Koonin, E. V. (2006). A putative RNA-interference-based immune system in prokaryotes: computational analysis of the predicted enzymatic machinery, functional analogies with eukaryotic RNAi, and hypothetical mechanisms of action. *Biology direct*, 1(1), 7.

- Mammadov, J., Aggarwal, R., Buyyarapu, R. & Kumpatla, S. (2012). SNP markers and their impact on plant breeding. *International journal of plant genomics*, 2012(1), 728398.
- Manghwar, H., Lindsey, K., Zhang, X. & Jin, S. (2020). CRISPR/Cas system: recent advances and future prospects for genome editing. *Trends in Plant Science*, 25(10), 1039–1057.
- McCarty, N. S., Graham, A. E., Studená, L. & Ledesma-Amaro, R. (2020). Multiplexed CRISPR technologies for gene editing and transcriptional regulation. *Nature communications*, 11(1), 1281.
- Mengü, G.P., Anaç, S. & Özçakal, E. (2011). Kuraklık yönetim stratejileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 48 (2): 175-181.
- Miller, J. C. & Tanksley, S. D. (1990). RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. *Theoretical and applied genetics*, 80(4), 437-448.
- Moglia, A., Acquadro, A., Eljounaidi, K., Milani, A. M., Cagliero, C. & Comino, C. (2019). Genome editing in eggplant: Current state and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(12), 3070.
- Mojica, F.J.M., Díez-Villaseñor, C., Soria, E. & Juez, G. (2000). Biological significance of a family of regularly spaced repeats in the genomes of Archaea, Bacteria and mitochondria. *Mol Microbiol* 36:244– 246.
- Nadeem, M. A., Nawaz, M. A., Shahid, M. Q., Doğan, Y., Comertpay, G., Yıldız, M. & Baloch, F. S. (2018). DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 32(2), 261-285.
- Nekrasov, V., Wang, C., Win, J., Lanz, C., Weigel, D. & Kamoun, S. (2017). Rapid generation of a transgene-free powdery mildew resistant tomato by genome deletion. *Scientific reports*, 7(1), 482.
- Niazian, M. & Shariatpanahi, M. E. (2020). In vitro-based doubled haploid production: recent improvements. *Euphytica*, 216(5), 69.
- Örs, S. & Ekinçi, M. (2015). Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim*, 32(2), 237-250.
- Page, A., Gibson, J., Meyer, R. S. & Chapman, M. A. (2019). Eggplant domestication: pervasive gene flow, feralization, and transcriptomic divergence. *Molecular biology and evolution*, 36(7), 1359-1372.

- Phad, A. P., Takate, U. B., Rawal, S. K., Pyati, P. S. & Lomate, P. R. (2024). Targeted gene knockout via CRISPR/Cas9: precise genome editing in eggplant (*Solanum melongena*) through phytoene desaturase gene disruption. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 27(2), 249-259.
- Pourcel, C., Salvignol, G. & Vergnaud, G. (2005). CRISPR elements in *Yersinia pestis* acquire new repeats by preferential uptake of bacteriophage DNA, and provide additional tools for evolutionary studies 653–663.
- Ramesh, S. V., Rajesh, M. K., Das, A., & Hebbar, K. B. (2024). CRISPR/Cas9–based genome editing to expedite the genetic improvement of palms: challenges and prospects. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1385037.
- Rashidzade, M., Shajari, M., Barnett, J., Razifard, H. & Caicedo, A. L. (2025). Genome-wide meta-QTL approach identifies consensus loci associated with agriculturally important tomato fruit traits. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik*, 138(10), 255.
- Ribaut, J. M. & Ragot, M. (2007). Marker-assisted selection to improve drought adaptation in maize: the backcross approach, perspectives, limitations, and alternatives. *Journal of experimental botany*, 58(2), 351-360.
- Sandhya, D., Jogam, P., Venkatapuram, A. K., Savitikadi, P., Peddaboina, V., Allini, V. R. & Abbagani, S. (2022). Highly efficient *Agrobacterium*-mediated transformation and plant regeneration system for genome engineering in tomato. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(6), 103292.
- Secgin, Z., Kavay, M. & Yildirim, K. (2021). Optimization of *Agrobacterium*-mediated transformation and regeneration for CRISPR/Cas9 genome editing of commercial tomato cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(6), 704-716.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y. & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259.
- Shawky, A., Hatawsh, A., Al-Saadi, N., Farzan, R., Eltawy, N., Francis, M., Abousamra, S., Ismail, Y. Y., Attia, K., Fakhouri, A. S. & Abdelrahman, M. (2024). Revolutionizing Tomato Cultivation: CRISPR/Cas9 Mediated Biotic Stress Resistance. *Plants*, 13(16), 2269.

- Shi, X., Ding, H., Wu, M., Shi, M., Chen, F., Li, Y. & Yang, Y. (2022). A comprehensive drought monitoring method integrating multi-source data. *PeerJ*, 10, e13560.
- Shukla, V. K., Doyon, Y., Miller, J. C., DeKolver, R. C., Moehle, E. A., Worden, S. E. & Urnov, F. D. (2009). Precise genome modification in the crop species *Zea mays* using zinc-finger nucleases. *Nature*, 459(7245), 437-441.
- Son, S. & Park, S. R. (2022). Challenges facing CRISPR/Cas9-based genome editing in plants. *Frontiers in plant science*, 13, 902413.
- Soria, E. (2005) Intervening sequences of regularly spaced prokaryotic repeats derive from foreign genetic elements 174–182.
- Sun, H. J., Uchii, S., Watanabe, S. & Ezura, H. (2006). A highly efficient transformation protocol for Micro-Tom, a model cultivar for tomato functional genomics. *Plant and Cell Physiology*, 47(3), 426-431.
- Tang, X., Liu, G., Zhou, J., Ren, Q. & You, Q. (2022). CRISPR/Cas12 and Cas13 systems: expanding the toolbox for precise genome and transcriptome engineering. *Molecular Plant*, 15(1), 1–23.
- Tiwari, J. K., Singh, A. K. & Behera, T. K. (2023). CRISPR/Cas genome editing in tomato improvement: Advances and applications. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1121209.
- Tran, M. T., Son, G. H., Song, Y. J., Nguyen, N. T., Park, S., Thach, T. V. & Kim, J. Y. (2023). CRISPR-Cas9-based precise engineering of SIHyPRP1 protein towards multi-stress tolerance in tomato. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1186932.
- TÜİK, (2025). Türkiye İstatistik Kurumu, Çevrimiçi adres: <https://www.tuik.gov.tr>. (Erişim tarihi 16.09.2025).
- Ueta, R., Abe, C., Watanabe, T., Sugano, S. S., Ishihara, R., Ezura, H. & Osakabe, K. (2017). Rapid breeding of parthenocarpic tomato plants using CRISPR/Cas9. *Scientific reports*, 7(1), 507.
- Urnov, F. D., Miller, J. C., Lee, Y. L., Beausejour, C. M., Rock, J. M., Augustus, S. & Holmes, M. C. (2005). Highly efficient endogenous human gene correction using designed zinc-finger nucleases. *Nature*, 435(7042), 646-651.

- Varshney, R. K., Graner, A. & Sorrells, M. E. (2005). Genic microsatellite markers in plants: features and applications. *TRENDS in Biotechnology*, 23(1), 48-55.
- Vural, G. E. & Ari, E. (2020). Triple synergistic effect of maltose, silver nitrate and activated charcoal on high embryo yield of eggplant (*Solanum melongena* L.) anther cultures. *Scientia Horticulturae*, 272, 109472.
- Vural, G. E. (2021). Farklı Led spektrumlarının patlıcan anterlerinde haploid bitki oluşumuna etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2), 29-33.
- Vural, G. E., Ari, E., Zengin, S. & Ellialtıoglu, S. S. (2019). Development of androgenesis studies on eggplant (*Solanum melongena* L.) in Turkey from past to present. *Sustainable Crop Production*.
- Wang, J. X., Gao, T. G. & Knapp, S. (2008). Ancient Chinese literature reveals pathways of eggplant domestication. *Annals of botany*, 102(6), 891-897.
- Wang, L., Chen, L., Li, R., Zhao, R., Yang, M., Sheng, J. & Shen, L. (2017). Reduced Drought Tolerance by CRISPR/Cas9-Mediated SIMAPK3 Mutagenesis in Tomato Plants. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(39), 8674–8682.
- Wang, T., Zhang, H., Zhu, H. (2017). CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of tomato MAPK3 reveals its role in drought stress response. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 154–164.
- Weese, T. L. & Bohs, L. (2010). Eggplant origins: Out of Africa, into the Orient. *Taxon*, 59(1), 49-56.
- Wei, Q., Wang, J., Wang, W., Hu, T., Hu, H. & Bao, C. (2020). A high-quality chromosome-level genome assembly reveals genetics for important traits in eggplant. *Horticulture Research*, 7, 1–13.
- Wu, X., Kriz, A. J. & Sharp, P. A. (2014). Target specificity of the CRISPR-Cas9 system. *Quantitative biology*, 2(2), 59-70.
- Xu, Y. & Crouch, J. H. (2008). Marker-assisted selection in plant breeding: From publications to practice. *Crop science*, 48(2), 391-407.
- Zafar, S. A., Zaidi, S. S. E. A., Gaba, Y., Singla-Pareek, S. L., Dhankher, O. P., Li, X. & Pareek, A. (2020). Engineering abiotic stress tolerance via CRISPR/Cas-mediated genome editing. *Journal of Experimental Botany*, 71(2), 470-479.

- Zhong, H., Elumalai, S., Li, C., Liu, W., Dong, S. & Que, Q. (2025). Development of high-throughput tissue culture-free plant transformation systems. *The Plant Journal*, 121(1), e17163.
- Zsögön, A., Cernak, T., Voytas, D. & Peres, L. E. P. (2017). Genome editing as a tool to achieve the crop ideotype and de novo domestication of wild relatives: case study in tomato. *Plant Science*, 256, 120-130.

BÖLÜM 10

TUZ STRESİ VE GERİ KAZANIM SÜRECİNDE DOMATES BİTKİSİNDE İYON ALIMINDAKİ DEĞİŞİMLER

Prof. Dr. Fikret YAŞAR¹

Zir. Yük. Müh. Ömer ÖZTAŞ^{2*}

Doç. Dr. Özlem ÜZAL³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18067806>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. fyasar@yyu.edu.tr, Orcid ID:0000-0001-6598-8580

^{2*} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Van, Türkiye. omeroztas3065@gmail.com, Orcid ID:0000-0001-9034-5675

³ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye. ozlemuzal@yyu.edu.tr, Orcid ID:0000-0002-1538-820X

*Sorumlu yazar

GİRİŞ

Domates (*Solanum lycopersicum* L.), *Solanaceae* familyasına ait ılıman ve sıcak iklim koşullarında yetişen önemli bir sebze türüdür. Kökeni Güney ve Orta Amerika'ya dayanan bu bitki, günümüzde özellikle Akdeniz kuşağındaki yarı kurak bölgelerde hem açık tarla hem de sera koşullarında yaygın olarak yetiştirilmektedir. Besin değeri açısından oldukça zengin olan domates; vitaminler, mineraller ve güçlü bir antioksidan olan likopen bakımından önemli bir kaynaktır. Bu özellikleri nedeniyle dünya genelinde en fazla üretilen sebzeler arasında yer almaktadır. Küresel ölçekte domates üretim verilerine bakıldığında, 2022 yılı itibarıyla Çin 68.2 milyon tonluk üretimi ile ilk sırada gelmekte, onu 20.6 milyon ton ile Hindistan izlemektedir. Türkiye ise 13.0 milyon tonluk üretim miktarı ile dünya sıralamasında üçüncü konumdadır (FAO, 2023). Ülkemizde domates tarımına uygun iklim koşullarına sahip olan Marmara, Ege ve Akdeniz bölgeleri, bu üretimin büyük bir bölümünü karşılamaktadır. Türkiye'de taze sebze üretimi ve tüketiminde domates başı çekmektedir. TÜİK (2023) verilerine göre toplam domates üretimi 13.192.390 ton olarak kaydedilmiş olup, bu miktarın 8.935.697 tonu sofralık tüketime ayrılmıştır. Üretilen domateslerin yaklaşık %25'lik kısmı işlenmekte, geri kalanı ise taze olarak değerlendirilmektedir. İşlenen domatesin %80'i salça üretiminde kullanılırken, kalan kısmı konserve, turşu, ketçap ve reçel gibi gıda sanayi ürünlerine işlenmektedir. Ekonomik açıdan tarımsal üretimde önemli bir paya sahip olan domates, üretici bölgelerdeki çiftçiler için temel gelir kaynaklarından birini oluşturmakta ve ülke ekonomisine değer katmaya devam etmektedir.

Domates gibi ekonomik açıdan oldukça değerli olan birçok kültür bitkisi, tuzluluk stresine karşı duyarlılık göstermekte olup, domates yetiştiriciliğinde toprak ve sulama suyundaki tuz konsantrasyonu hem verim hem de kalite parametreleri üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Tuzluluğun bitki büyümesi üzerindeki sınırlayıcı etkileri temelde üç ana mekanizma ile açıklanabilir: kök bölgesindeki düşük su potansiyeline bağlı olarak bitkinin su alımının kısıtlanması ve su stresi yaşanması; sodyum (Na^+) ve klorür (Cl^-) iyonlarının bitki dokularında toksik düzeyde birikerek iyon toksisitesine yol açması; ve besin maddelerinin alımı ile taşınmasında meydana gelen bozulmalar sonucu, özellikle potasyum (K^+) ve kısmen kalsiyum (Ca^{2+}) gibi elementlerde eksikliklerin ortaya çıkması şeklindedir (Karanlık, 2001; Marín-Guirao ve ark.,2022). Söz konusu iyon toksisitesi, su eksikliği ve beslenme dengesizliği gibi faktörler, kök bölgesindeki yüksek tuz konsantrasyonu ile birleşerek domates bitkisinin normal büyüme ve gelişim süreçlerini ciddi şekilde engellemektedir.

Domates geniş bir iklim kuşağında yetişebilme adaptasyonuna sahip olmakla birlikte, üretimi özellikle tuzluluğun kısıtlayıcı faktör olduğu sıcak ve kurak bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu bölgeler domates yetiştiriciliği için uygun ekolojik koşullar sunsa da yüksek tuz konsantrasyonu ciddi bir verim kaybı sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ticari domates genotiplerinin tamamına yakını, tüm gelişim evrelerinde tuz stresine karşı duyarlılık göstermektedir. Tuz stresi altında tohum çimlenmesi, vejetatif büyüme ve generatif gelişim önemli ölçüde azalmakta, bu durum doğrudan ürün kayıplarına yol açmaktadır (Maas, 1986). Toprak çözeltisinin elektriksel iletkenlik

değeri 2.5 dS/m'yi aştığında meyve veriminde düşüş başlamakta (Maas, 1990), bu eşik değerin üzerinde her 1 dS/m'lik artış ise yaklaşık %10'luk verim kaybına neden olmaktadır (Saranga ve ark., 1991). Domates bitkisi orta düzeydeki tuz konsantrasyonlarına bile duyarlılık göstermekte olup, tohum çimlenmesinden üreme aşamasına kadar tüm gelişim dönemleri tuz stresinden olumsuz etkilenmekte ve ekonomik anlamda önemli kayıplar ortaya çıkmaktadır (Babu ve ark., 2011). Tuz stresine dayanıklı domates genotiplerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalarda ise, bazı türlerde tuz toleransından sorumlu genlerin bulunamaması, bir karakterin çoklu genler tarafından kontrol edilmesi ve çok sayıda bitkide gen taraması yapmanın teknik zorlukları gibi engellerle karşılaşmakta, bu durum da ıslah çalışmalarının başarı şansını sınırlandırmaktadır.

Bu çalışmada, 19T1.8648 F1 domates çeşidinde tuz stresi koşullarında ve sonrasındaki geri kazanım sürecinde, makro ve mikro element içeriklerindeki değişimler incelenmiştir. Bitkilerin farklı tuz konsantrasyonlarına maruz kalmasıyla ortaya çıkan besin elementi alım ve birikim düzenindeki farklılıklar analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Araştırma, domates bitkisinin tuz stresine karşı geliştirdiği iyon düzenleme ve element dengeleme mekanizmalarını ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. Stres sonrası iyileşme döneminde, besin elementlerinin seviyelerinin nasıl normale döndüğü belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, tuz toleransında kritik rol oynayan mineral beslenme stratejilerine ışık tutmaktadır.

1. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada, bitkisel materyal olarak Argeto Sebze Tohumları firmasından tedarik edilen 19T1.8648 F1 hibrit domates çeşidi kullanılmıştır. Çalışma, kontrollü bir iklim odasında su kültürü yöntemiyle yürütülmüş olup sıcaklık $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, bağıl nem %65-70 ve aydınlatma koşulu 16/8 saat aydınlık /karanlık fotoperiyot olacak şekilde normal atmosfer koşulları sağlanmıştır.

Araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Fizyoloji Laboratuvarı'nda, normal atmosfer koşullarının split klimalı bir iklim odasında sağlandığı kontrollü bir ortamda ve su kültürü sisteminde yürütülmüştür. Tohumlar torf ile pomza karışımıyla doldurulmuş 40x25x5 cm boyutlarındaki plastik kaplara ekilmiştir. Alt yüzeyinde drenajı sağlamak amacıyla 9 adet delik bulunan bu kaplara ilk aşamada çeşme suyu verilmiş, ardından sıcaklığın $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemin %65-70 olduğu iklim odasına yerleştirilmiştir. Çimlenme sürecinde ortam neminin korunması için üzeri nemli kağıtla örtülen kaplar düzenli olarak kontrol edilmiş ve hafif sulamalarla kurumanın önüne geçilmiştir. Kotiledon yapraklarının yatay konuma geldiği ve ilk gerçek yaprakların görülmeye başlandığı fidelerde sulama, çeşme suyu yerine Hoagland besin çözeltisi (Hoagland ve Arnon, 1938) ile yapılmaya başlanmıştır. İkinci gerçek yaprağın oluşumunu takiben fideler, su kültürü sistemine alınmıştır. Bu sistemde, üzerinde fide başına bir delik bulunan özel plastik tablalar kullanılmış ve fideler kökleri besin çözeltisi içinde kalacak şekilde, sünger parçalarıyla sabitlenerek 25x25x18 cm boyutlarındaki plastik küvetlere yerleştirilmiştir. Besin çözeltisinin havalandırılması bir akvaryum pompası ve ince plastik

hortumlar aracılığıyla sağlanmıştır. Fideler, su kültüründe iki hafta boyunca büyütülmüş ve 4-5 gerçek yaprağa ulaşan bireylere tuz uygulaması başlatılmıştır. Tuz uygulaması öncesi (0. gün) kontrol örnekleri alındıktan sonra, besin çözeltisine 25, 50, 75 ve 100 mM konsantrasyonlarında NaCl ilave edilerek tuz stresi oluşturulmuştur. Uygulama süresince her hafta yenilenen besin çözeltileriyle tuz konsantrasyonlarının sabit kalması sağlanmıştır. Bitkilerden örnekler, tuz uygulamasının 3., 6. ve 9. günlerinde alınmıştır. Tuz uygulama periyotlarının ardından bitkiler tuzsuz Hoagland besin çözeltisine geri aktararak geri kazanım süreci başlatılmış ve bu süreçte örneklemeler 15 gün içinde, 7 gün arayla olmak üzere iki kez daha tekrarlanmıştır. Deneme boyunca yetiştirme alanındaki sıcaklık, nem, ışık ve sterilizasyon koşulları sürekli olarak kontrol altında tutulmuştur.

1.1. Mineral element analizleri

İyon analizleri için derin dondurucuda (-80°C) muhafaza edilen yaprak örneklerinden 200 mg alınarak yaş yakma yöntemi uygulanmıştır. Örneklerin üzerine 10 mL 0.1 N nitrik asit (HNO₃) ilave edildikten sonra, kapaklı plastik kaplar içerisinde bir hafta süreyle oda sıcaklığında ve karanlık ortamda bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda, örnekler 24 saat boyunca bir çalkalayıcıda sürekli olarak çalkalanmıştır. Elde edilen ekstraktlardaki kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), potasyum (K), sodyum (Na), demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn) ve çinko (Zn) konsantrasyonları, Kacar (1994)'de belirtilen protokole uygun olarak atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüştür. Klorür (Cl⁻) iyonu analizi ise, gümüş iyonları ile kolorimetrik-amperometrik titrasyon prensibiyle çalışan bir kloridometre (Buchler–Cotlove

chloridometer) aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm bu ölçümler sonucunda, yaprak örneklerindeki iyon içerikleri $\mu\text{g}/\text{mg}$ (taze ağırlık) cinsinden hesaplanmış ve ifade edilmiştir (Taleisnik ve ark., 1997).

1.2. İstatistik analizi

Elde edilen veriler değerlendirilmesi için Statgraphics istatistik analiz paket programında varyans analizi ile istatistiksel olarak önemli bulunan deneme konuları Duncan testi ($P \leq 0.05$) ile gruplandırılmıştır.

2. BULGULAR

2.1. Yapraklardaki Ca iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Üç günlük tuz uygulama döneminde, kontrol grubu ile tüm tuz konsantrasyonları (25, 50, 75 ve 100 mM) arasında bitki yapraklarındaki kalsiyum (Ca) miktarı bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlemlenmemiştir. Tüm gruplar benzer kalsiyum seviyeleri sergilemiştir. Bununla birlikte, geri kazanım döneminin 7. gününde, 25, 50 ve 75 mM tuz uygulanan gruplarda kalsiyum içeriği istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalmış ve en düşük değerlere ulaşmıştır. Kontrol grubu ve 100 mM uygulama grubu ise bu düşüşten daha az etkilenmiştir. Geri kazanım döneminin 15. gününe gelindiğinde ise, kontrol grubundaki bitkilerde kalsiyum birikimi belirgin şekilde artarak en yüksek değere ulaşmıştır. 50, 75 ve 100 mM tuz uygulanan gruplarda kalsiyum seviyelerinde kısmi bir toparlanma görülürken, 25 mM tuz uygulamasına maruz kalan grupta kalsiyum birikiminin hala sınırlı kaldığı ve kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük seviyede kaldığı tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. 3 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Ca Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D.	3.25 AB	3.82 AB	3.38 AB	3.94 AB	4.02 AB
G.K.D. 7.GÜN	3.85 AB	2.58 B	2.85 B	2.94 B	3.27 AB
G.K.D.15.GÜN	5.25 A	2.78 B	4.50 AB	3.97 AB	3.70 AB

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Altı günlük tuz uygulama döneminde kontrol ve tüm tuz konsantrasyonlarındaki (25, 50, 75, 100 mM) bitkilerin yaprak kalsiyum içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmezken, geri kazanım sürecinin 7. gününde 25 mM uygulamasında kalsiyum birikiminde geçici bir artış görülmüş, 15. günde ise kontrol, 75 mM ve 100 mM gruplarında yüksek kalsiyum seviyeleri korunurken, 25 mM ve 50 mM uygulamalarına maruz kalan bitkilerde kalsiyum içeriğinin belirgin şekilde azalarak en düşük seviyelere indiği görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. 6 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Ca Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	4.10 A-C	4.15 A-C	4.60 A	4.31 AB	4.02 A-C
G.K.D. 7.GÜN	3.32 A-C	4.36 A	3.37 A-C	3.14 A-C	3.84 A-C
G.K.D.15.GÜN	4.51 A	2.22 BC	2.09 C	4.69 A	4.91 A

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Dokuz günlük tuz uygulama döneminde kontrol grubu ile tüm tuz konsantrasyonlarındaki (25, 50, 75, 100 mM) bitkilerin yaprak kalsiyum içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmezken, geri kazanım sürecinin 7. gününde 75 mM uygulamasında kalsiyum birikiminde artış görülmüş, 15. günde ise kontrol, 50 mM, 75 mM ve 100 mM gruplarında yüksek kalsiyum seviyeleri korunurken, 25 mM uygulamasına maruz kalan bitkilerde kalsiyum içeriğinin belirgin şekilde azalarak en düşük seviyeye indiği tespit edilmiştir. (Tablo 3).

Tablo 3. 9 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Ca Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	3.31 AB	3.83 A	4.15 A	3.91 A	3.99 A
G.K.D. 7.GÜN	3.66 AB	3.68 AB	3.95 A	4.65 A	3.69 AB
G.K.D.15.GÜN	4.67 A	2.12 B	4.37A	3.83 A	4.52 A

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

2.2. Yapraklardaki Mg iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Üç günlük tuz uygulama dönemi ve sonrasındaki geri kazanım döneminde bitki yapraklarında tespit edilen magnezyum (Mg) miktarları incelendiğinde hem uygulama döneminde hem de geri kazanım döneminin 7. ve 15. günlerinde farklı tuz konsantrasyonlarına (kontrol, 25, 50, 75, 100 mM) maruz kalan bitkiler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir. Tüm uygulama gruplarında Mg değerleri benzer seyretmiş ve aynı istatistiksel grupta yer almıştır (Tablo 4).

Tablo 4.3 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Mg Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D.	0.88 A	0.85 A	0.87 A	0.94 A	1.02 A
G.K.D. 7.GÜN	0.82 A	0.64 A	0.76 A	0.75A	0.77 A
G.K.D.15.GÜN	1.02 A	0.73 A	0.98 A	0.95 A	0.77 A

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Altı günlük tuz uygulaması sırasında bitkilerin yaprak Mg içeriği önemli ölçüde değişmemiştir. Ancak geri kazanım döneminde, özellikle 15. günde, düşük tuz konsantrasyonlarına (25 ve 50 mM) maruz kalan bitkilerde Mg miktarı belirgin şekilde azalırken, yüksek tuz konsantrasyonlarındaki (75 ve 100 mM) bitkilerde ise Mg seviyelerinin korunduğu veya arttığı gözlemlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. 6 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Mg Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	0.95 AB	0.90 AB	0.92 AB	1.01 A	0.99 A
G.K.D. 7.GÜN	0.92 AB	0.76 A-C	0.80 A-C	0.79 A-C	0.84 AB
G.K.D.15.GÜN	0.85 AB	0.41 C	0.55 BC	1.03 A	1.06 A

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Dokuz günlük tuz uygulama dönemi ve takip eden geri kazanım döneminin 7. ve 15. günlerinde, bitki yapraklarındaki Mg miktarı

üzerinde farklı tuz konsantrasyonlarının (Kontrol, 25, 50, 75, 100 mM) istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olmadığı görülmektedir. Tüm uygulama gruplarında ve dönemlerde ölçülen Mg değerleri benzer seviyelerde seyretmiş ve aynı harf ile gösterilen ortalamalar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Tablo 6).

Tablo 6. 9 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Mg Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	0.79 A	0.91A	1.00 A	0.93 A	1.03A
G.K.D. 7.GÜN	0.88 A	0.96 A	0.83A	0.90 A	0.84 A
G.K.D.15.GÜN	0.99 A	0.90 A	0.93 A	0.94 A	0.89A

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)
U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

2.3. Yapraklardaki K iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Üç günlük tuz uygulama dönemi ve sonrasındaki geri kazanım döneminin 7. ve 15. günlerinde, bitki yapraklarındaki potasyum içeriği üzerinde farklı tuz konsantrasyonlarının (Kontrol, 25, 50, 75, 100 mM) istatistiksel açıdan anlamlı bir etki oluşturmadığını göstermektedir. Tüm uygulama gruplarında ve dönemlerde ölçülen potasyum değerleri, istatistiksel olarak aynı grupta yer almış ve aralarında bir fark bulunmamıştır (Tablo 7).

Tablo 7. 3 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen K Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D.	3.39 A	2.38 A	2.87 A	3.41 A	3.09A
G.K.D. 7.GÜN	2.43 A	2.85 A	2.36 A	2.57 A	2.50A
G.K.D.15.GÜN	3.74 A	2.55 A	3.08 A	3.04 A	2.85 A

Aynı harf taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Altı günlük tuz uygulama dönemi ve sonrasındaki geri kazanım döneminin 7. ve 15. günlerinde, bitki yapraklarındaki potasyum (K) içeriğinin farklı tuz konsantrasyonlarına (Kontrol, 25, 50, 75, 100 mM) verdiği tepkiyi ortaya koymaktadır. Uygulama döneminde tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamakta ve K değerleri benzer seviyelerde seyretmektedir. Ancak geri kazanım döneminin 15. gününde, özellikle 25 mM tuz uygulanan grupta K değeri belirgin şekilde düşmüştür (Tablo 8).

Tablo 8. 6 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen K miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	3.45 A	3.35 A	3.34 A	3.46 A	4.04 A
G.K.D. 7.GÜN	3.08 A	2.75 AB	3.18 A	3.08 A	2.33 A
G.K.D.15.GÜN	2.80 AB	1.18 B	2.27 AB	3.64 A	3.90 A

Aynı harf taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Dokuz günlük tuz uygulama dönemi ve sonrasındaki geri kazanım döneminin 7. ve 15. günlerinde, bitki yapraklarındaki potasyum (K) konsantrasyonunun uygulanan tuz stresinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Uygulama döneminde, artan tuz konsantrasyonuna (özellikle 75 ve 100 mM) bağlı olarak potasyum içeriğinde kontrole kıyasla belirgin bir artış gözlemlenmiş ve en yüksek değer 75 mM tuz uygulanan grupta kaydedilmiştir. Ancak geri kazanım dönemine geçilmesiyle birlikte bu durum tersine dönmüş; 7. günde 75 mM uygulanan grupta K miktarı önemli ölçüde azalmış ve 15. günde ise 25 mM tuz uygulanan grupta en düşük seviyeye ulaşmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. 9 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen K Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	2.62 C-E	3.44 B-D	3.97 AB	4.78 A	4.00 AB
G.K.D. 7.GÜN	3.84 AB	3.77 A-C	2.67 C-E	1.88 E	2.88 B-E
G.K.D.15.GÜN	3.06 B-D	1.79 E	3.62 B-D	2.48	2.58 DE

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

2.4. Yapraklardaki Na iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Üç günlük tuz uygulama döneminde bitki yapraklarında sodyum (Na) birikiminin, artan tuz konsantrasyonlarına (25, 50, 75, 100 mM) bağlı olarak kontrol grubuna kıyasla yükseldiği, ancak istatistiksel olarak gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Geri kazanım döneminde ise, özellikle 7. günde 100 mM uygulamasında geçici bir artış gözlemlenirken, 15. gün sonunda tüm uygulama gruplarında Na

birikiminde genel bir azalma eğilimi tespit edilmiş ve en belirgin düşüş 100 mM tuz uygulanan bitki grubunda kaydedilmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. 3 Günlük tuz uygulama dönemi ve geri kazanım döneminde bitki yapraklarında belirlenen Na miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D.	1.02 AB	1.28 A	1.25 A	1.22 AB	1.18 AB
G.K.D. 7.GÜN	0.71 AB	0.84 AB	0.92 AB	0.72 AB	1.02 AB
G.K.D.15.GÜN	0.92 AB	0.79 AB	0.92 AB	1.02 AB	0.68 B

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Altı günlük tuz uygulama döneminde, artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak bitki yapraklarında sodyum (Na) birikiminin istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle 100 mM uygulamasında en yüksek Na birikimi kaydedilirken, kontrol grubuna kıyasla tüm tuz konsantrasyonlarında birikimin belirgin düzeyde yüksek olduğu tespit edilmiştir. Geri kazanım döneminin 7. gününde, yüksek tuz gruplarında Na birikiminde kısmi bir azalma eğilimi görülmekle birlikte, 75 ve 100 mM uygulamalarında birikim halen yüksek seviyelerde seyretmiştir. 15. gün sonunda ise tüm tuz gruplarında Na birikiminde önemli düşüşler kaydedilmiş, en belirgin azalmanın 50 mM grubunda olduğu tespit edilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11.6 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Na Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	0.99 B-E	1.08 B-D	1.11 B-D	1.43 AB	1.89 A
G.K.D. 7.GÜN	0.76 DE	0.99 B-E	1.21 B-D	1.29 BC	1.41 AB
G.K.D.15.GÜN	1.06 B-D	0.53 EF	0.22 F	0.85 C-E	1.21 B-D

Aynı harf taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Dokuz günlük tuz uygulama döneminde, artan tuz konsantrasyonlarına paralel olarak bitki yapraklarında sodyum (Na) birikiminin istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığı belirlenmiş olup, en yüksek birikim 100 mM uygulamasında gözlemlenmiştir. Geri kazanım döneminde ise, 7. günde özellikle 25 mM grubunda birikimde beklenmedik bir artış kaydedilirken, 15. gün sonunda tüm uygulama gruplarında Na birikiminde genel bir azalma eğilimi tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 100 mM uygulamasında birikimin nispeten yüksek seviyede kalması, uzamış tuz stresinin bitkilerde Na kısmen sınırlandırdığını ve geri kazanım sürecinin daha yavaş işlediğini göstermektedir (Tablo 12).

Tablo 12.9 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Na Miktarı (%)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	0.80 C-E	1.06 A-E	1.45 AB	1.46 AB	1.70 A
G.K.D. 7.GÜN	0.70 E	1.42 A-C	1.17 A-E	1.12 A-E	1.14 A-E
G.K.D.15.GÜN	0.62 E	0.88 B-E	0.77 DE	0.96 B-E	1.40 A-D

Aynı harf taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

2.5. Yapraklardaki Fe iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Üç günlük tuz uygulama döneminde, artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak bitki yapraklarında demir (Fe) içeriğinin kontrol grubuna kıyasla yükseldiği, ancak istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenirken, geri kazanım döneminin 7. gününde yalnızca 25 mM uygulamasında Fe içeriğinin nispeten yüksek seviyede kaldığı tespit edilmiştir. 15. günde ise, 100 mM uygulamasında Fe birikiminde belirgin bir artış kaydedilerek bu grubun diğer uygulamalardan istatistiksel olarak ayrıldığı görülmüştür (Tablo 13).

Tablo 13.3 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Fe Miktarı (ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D.	135.76 B	148.78 AB	160.79 AB	157.88 AB	159.48 AB
G.K.D. 7.GÜN	102.74 B	159.90 AB	120.92 B	146.24 B	128.14 B
G.K.D.15.GÜN	177.84 AB	156.90 AB	143.79 B	158.59 AB	249.83 A

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Altı günlük tuz uygulama döneminde, 75 mM konsantrasyonunda bitki yapraklarında demir (Fe) içeriğinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış gözlemlenirken, diğer uygulama gruplarında kontrol grubuna kıyasla belirgin bir farklılık tespit edilmemiştir. Geri kazanım dönemine geçildiğinde, 7. günde tüm uygulama gruplarında Fe içeriğinde genel bir azalma eğilimi kaydedilmiş ve istatistiksel olarak homojen bir dağılım sergilenmiştir. 15. günde ise 50 ve 75 mM gruplarında Fe içeriğinde

kısmi bir toparlanma görülmekle birlikte, bu değerlerin uygulama dönemindeki seviyelere ulaşamadığı anlaşılmaktadır (Tablo 14).

Tablo 14.6 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Fe Miktarı(ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	143.80 B	171.12 AB	163.22 AB	241.74 A	147.87 B
G.K.D. 7.GÜN	120.87 B	136.80 B	118.10 B	120.43 B	127.29 B
G.K.D.15.GÜN	156.95 B	135.69 B	176.93 AB	167.88 AB	138.12 B

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Dokuz günlük tuz uygulama döneminde bitki yapraklarında demir (Fe) içeriğinin tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak istatistiksel açıdan anlamlı bir değişim göstermediği, ancak geri kazanım döneminin 7. gününde 25 mM uygulamasında artış ve 75 mM uygulamasında ise belirgin bir azalma kaydedildiği gözlemlenmiştir. Geri kazanım sürecinin 15. gününde ise tüm uygulama gruplarında, kontrol grubunda dahil, Fe içeriğinde dikkat çekici bir artış tespit edilmiş ve özellikle 25, 50 ve 100 mM uygulamalarında en yüksek değerler ölçülmüştür (Tablo 15).

Tablo 15. 9 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Fe Miktarı (ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	127.31 DE	120.96 DE	127.00 DE	139.65 C-E	152.26 B-E
G.K.D. 7.GÜN	145.55 B-E	174.11 A-D	144.98 B-E	112.97 E	160.69 B-E
G.K.D.15.GÜN	197.39 AB	214.87 A	216.04 A	186.10 A-C	224.13 A

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

2.6. Yapraklardaki Cu iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Üç günlük tuz uygulama döneminde, artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak bitki yapraklarında bakır (Cu) içeriğinin kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı şekilde arttığı ve en yüksek değer 50 mM uygulamasında gözlemlendiği tespit edilmiştir. Geri kazanım döneminde ise 7. günde tüm gruplarda Cu içeriğinde kademeli bir azalma başlarken, 15. günde bu düşüşün daha belirgin hale geldiği ve tüm uygulama gruplarının kontrol grubuna yakın seviyelere indiği görülmüştür. (Tablo 16).

Tablo 16. 3 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Cu Miktarı (ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	27.63 D	32.41 A-C	34.12 A	33.20 AB	32.47 A-C
G.K.D. 7.GÜN	22.73 EF	26.40 DE	28.33 CD	28.88 B-D	29.41 B-D
G.K.D.15.GÜN	21.52 F	25.39 D-F	21.85 EF	25.21 D-F	22.62 EF

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Altı günlük tuz uygulama döneminde, kontrol grubuna kıyasla artan tuz konsantrasyonlarının (25, 75 ve 100 mM) bitki yapraklarında bakır (Cu) birikimini istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırdığı, 50 mM uygulamasının ise nispeten daha düşük bir birikime neden olduğu gözlemlenirken; geri kazanım döneminde, özellikle 7. günde tüm gruplarda Cu miktarının genel olarak azalma eğilimine girdiği, ancak 15. günde yüksek tuz uygulamasına (100 mM) maruz kalan bitkilerde Cu birikiminin tekrar arttığı ve kalıcı bir etki oluşturduğu tespit edilmiştir (Tablo 17).

Tablo 17. 6 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Cu Miktarı (ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	26.27 BC	36.57 A	29.26 B	35.58 A	35.55 A
G.K.D. 7.GÜN	21.56 D-F	20.50 EF	24.59 C-E	26.77 BC	23.57 C-F
G.K.D.15.GÜN	20.14 F	23.04 C-F	22.87 C-F	25.25 B-D	26.61 BC

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Dokuz günlük tuz uygulama dönemi ve takip eden geri kazanım sürecinde, bitki yapraklarında belirlenen bakır (Cu) miktarının istatistiksel analizi, uygulama döneminde 75 mM tuz konsantrasyonunun en yüksek Cu birikimine sebep olduğunu, geri kazanımın 7. gününde 100 mM uygulamasının etkisinin belirgin şekilde sürdüğünü, ancak geri kazanım döneminin 15. gününde tüm uygulama gruplarında bakır birikiminin başlangıç değerlerine kıyasla belirgin şekilde azaldığını ve

özellikle 100 mM tuz uygulamasında en düşük seviyeye ulaştığını göstermiştir (Tablo 18).

Tablo 18. 9 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Cu Miktarı (ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	28.57 B-D	31.94 AB	3.96 AB	36.79 A	32.67 AB
G.K.D. 7.GÜN	24.16 D-F	23.20 D-F	25.51 C-F	22.12 EF	30.78 A-C
G.K.D.15.GÜN	26.84 B-E	21.77 EF	22.10 EF	21.59 EF	19.62 F

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)
U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

2.7. Yapraklardaki Mn iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Üç günlük tuz uygulama döneminde, 25 mM uygulamasının bitki yapraklarında mangan (Mn) birikimini önemli ölçüde artırarak en yüksek değere ulaştırdığı, 100 mM uygulamasının da orta düzeyde bir artış gösterdiği, buna karşılık diğer uygulamaların kontrol grubuna benzer seviyelerde kaldığı görülmekte; geri kazanım dönemine geçildiğinde ise 7. ve 15. günlerde tüm uygulama gruplarındaki Mn miktarlarının istatistiksel olarak birbirine yakın ve nispeten düşük seviyelere indirgediği görülmüştür (Tablo 19).

Tablo 19: 3 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Mn Miktarı(ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D.	295.15 C	611.29 A	225.63 C	290.76 C	485.83 AB
G.K.D. 7.GÜN	234.614 BC	275.76 C	255.77 C	237.08 C	255.40 C
G.K.D.15.GÜN	318.09 C	279.88 C	237.30 C	214.38 C	239.53 C

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)
U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Altı günlük tuz uygulama döneminde 50 ve 100 mM uygulamalarının bitki yapraklarında mangan (Mn) birikimini önemli ölçüde artırdığı, buna karşılık 25 mM uygulamasının ise en düşük değeri gösterdiği tespit edilmiş; geri kazanım döneminde ise 7. günde tüm gruplarda Mn seviyelerinin düştüğü, 15. günde ise özellikle 50 mM uygulamasında nispeten yüksek bir birikimin devam ettiği gözlemlenmiştir (Tablo 20).

Tablo 20. 6 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Mn Miktarı (ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	368.74 AB	191.55 DE	413.96 A	242.06 C-E	433.63 A
G.K.D. 7.GÜN	217.98 DE	168.18 E	272.80 B-D	236.46 C-E	259.99 C-E
G.K.D.15.GÜN	211.06 DE	230.97 DE	338.47 A-C	285.28 B-D	218.58 DE

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)
U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Dokuz günlük tuz uygulama döneminde kontrol grubunun en yüksek mangan (Mn) birikimine sahip olduğu, buna karşılık 75 mM uygulamasının en düşük değeri gösterdiği görülürken; geri kazanım döneminin 7. gününde 50 ve 100 mM uygulamalarında Mn birikiminde artış gözlemlenmiş, 15. günde ise 100 mM uygulamasının en yüksek Mn seviyesine ulaştığı görülmüştür (Tablo 21).

Tablo 21. 9 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Mn Miktarı (ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	363.95 A	245.42 B-E	294.92 A-D	209.14 DE	297.90 A-D
G.K.D. 7.GÜN	260.17 B-E	207.16 DE	322.12 AB	240.91 B-E	307.99 A-C
G.K.D.15.GÜN	291.40 A-D	216.89 C-E	261.62 B-E	179.53 E	382.89 A

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

2.8. Yapraklardaki Zn iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Üç günlük tuz uygulama döneminde, 25, 75 ve 100 mM uygulamalarının bitki yapraklarında çinko (Zn) birikimini kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde artırdığı, ancak geri kazanım döneminin hem 7. hem de 15. günlerinde tüm uygulama gruplarındaki Zn miktarlarının kontrol grubuyla benzer seviyelere düştüğü ve istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermediği belirlenmiştir (Tablo 22).

Tablo 22. 3 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Zn Miktarı(ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D.	83.23 B	128.86 A	112.35 AB	117.52 A	125.51 A
G.K.D. 7.GÜN	36.59 C	42.87 C	44.70 C	43.36 C	41.30 C
G.K.D.15.GÜN	43.36 C	49.91 C	41.12 C	51.22 C	38.17 C

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Altı günlük tuz uygulama döneminde, 25, 50, 75 ve 100 mM uygulamalarının bitki yapraklarında çinko (Zn) birikimini kontrol grubuna kıyasla anlamlı şekilde artırdığı, özellikle 100 mM uygulamasının en yüksek değere ulaştığı gözlemlenirken; geri kazanım döneminin 7. gününde tüm uygulama gruplarında Zn miktarlarının belirgin şekilde azaldığı, 15. günde ise 50 mM uygulamasının nispeten yüksek Zn seviyesini korumuştur (Tablo 23).

Tablo 23. 6 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Zn Miktarı (ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	49.39 B	65.16 A	63.37 A	61.68 A	69.13 A
G.K.D. 7.GÜN	35.82 D-G	29.46 G	38.90 C-F	44.39 BC	36.77 C-G
G.K.D.15.GÜN	33.00 FG	38.89 C-F	42.11 B-D	33.89 E-G	41.38 C-E

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Dokuz günlük tuz uygulama döneminde 25, 50, 75 ve 100 mM uygulamalarının bitki yapraklarında çinko (Zn) birikimini kontrol grubuna kıyasla anlamlı şekilde artırdığı tespit edilirken; geri kazanım döneminin 7. gününde 100 mM uygulamasının diğer tuz gruplarına göre daha yüksek Zn seviyesi koruduğu, 15. günde ise tüm gruplarda Zn birikiminin yeniden arttığı ve kontrol grubunun da dahil olduğu tüm uygulamalarda benzer seviyelere ulaştığı gözlemlenmiştir (Tablo 24).

Tablo 24. 9 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Zn Miktarı (ppm)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	41.79 B-F	53.59 A	50.35 A-C	52.77 A	57.97 A
G.K.D. 7.GÜN	38.29 D-F	33.53 F	36.09 EF	35.10 F	40.39 C-F
G.K.D.15.GÜN	52.07 AB	47.30 A-D	49.19 A-D	46.19 A-E	48.65 A-D

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

2.9. Yapraklardaki Cl iyonu miktarında meydana gelen değişimler

Üç günlük tuz uygulama döneminde, artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak bitki yapraklarında klor (Cl) birikiminin anlamlı şekilde arttığı, en yüksek değer 100 mM uygulamasında gözlemlendi; geri kazanım döneminde ise 7. günde 50 mM uygulamasının en yüksek Cl seviyesini koruduğu, 15. günde ise 50 ve 75 mM uygulamalarındaki yüksek Cl birikiminin devam ettiği görülmüştür (Tablo 25).

Tablo 25. 3 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Cl Miktarı ($\mu\text{g}/\text{mg T.A}$)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	0.95 E	2.13 B	2.07 BC	2.42 AB	2.72 A
G.K.D. 7.GÜN	1.04 E	1.46 DE	2.56 AB	2.19 B	2.16 B
G.K.D.15.GÜN	1.07 E	1.61 CD	2.28 AB	2.24 AB	2.06 BC

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Altı günlük tuz uygulama döneminde, artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak bitki yapraklarında klor (Cl) birikiminin önemli ölçüde arttığı, 75

mM uygulamasının en yüksek değere ulaştığı gözlemlenirken; geri kazanım döneminde 7. günde 100 mM uygulamasının en yüksek Cl seviyesini koruduğu, 15. günde ise tüm uygulama gruplarında Cl birikiminin azalma eğilimi göstermesine rağmen başlangıç değerlerinin üzerinde seyrettiği tespit edilmiştir (Tablo 26).

Tablo 26. 6 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Cl Miktarı ($\mu\text{g}/\text{mg}$ T.A)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	1.00 H	3.02 BC	2.82 CD	4.02 A	3.53 AB
G.K.D. 7.GÜN	0.87 H	1.77 FG	2.17 D-F	2.27 D-F	3.92 A
G.K.D.15.GÜN	1.16 GH	2.69 C-E	2.02 EF	2.83 CD	2.51 C-E

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

Dokuz günlük tuz uygulama döneminde, artan tuz konsantrasyonuna paralel olarak bitki yapraklarında klor (Cl) birikiminin anlamlı şekilde arttığı ve en yüksek değer 100 mM uygulamasında gözlemlendiği tespit edilmiştir. Geri kazanım döneminde ise ilginç bir şekilde 7. günde tüm tuz uygulamalarında Cl birikiminin daha da arttığı ve 100 mM uygulamasında maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlenirken, 15. günde tüm uygulama gruplarında Cl birikiminin azalma eğilimi gösterdiği, ancak yine de kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde yüksek kaldığı belirlenmiştir (Tablo 27).

Tablo 27. 9 Günlük Tuz Uygulama Dönemi Ve Geri Kazanım Döneminde Bitki Yapraklarında Belirlenen Cl Miktarı ($\mu\text{g}/\text{mg}$ T.A)

DÖNEMLER	UYGULAMALAR				
	KONT.	25	50	75	100
U.D	1.011 F	2.49 C	3.89 C	3.90 C	4.94 B
G.K.D. 7.GÜN	1.07 F	2.65 D	3.48 C	4.86 B	5.69 A
G.K.D.15.GÜN	0.77 F	1.69 E	1.79 E	3.46 C	2.44 D

Aynı harfi taşıyan ortalamalar arasında fark yoktur. ($p \leq 0.001$)

U.D; Uygulama dönemi, G.K.D; Geri kazanım dönemi

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Küresel öneme sahip bir sebze mahsulü olan domates (*Solanum lycopersicum* L.), verim ve kalite açısından abiyotik stres koşullarından, özellikle de tuzluluk stresinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu çalışmada, farklı süre ve şiddetteki tuz stresinin domates bitkisinin mineral iyon dengesi üzerindeki dinamik etkileri ve sonrasındaki iyileşme süreçleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, bitkilerin iyon dengesini sağlama mekanizmalarının stresin süresi ve yoğunluğuna bağlı olarak önemli değişkenlik gösterdiğine işaret etmektedir. Söz konusu mekanizmalardaki bu değişkenliğin, tuz stresinin bitki fizyolojisi üzerinde yol açtığı yapısal ve fonksiyonel bozukluklarla doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir.

Tuz stresi kurak ve yarı kurak bölgelerde bitkinin büyümesini etkileyerek ürün veriminde azalmalara neden olan önemli stres faktörlerinden biridir. NaCl, su potansiyelini azaltmakta ve hücredeki iyon dengesini bozarak da bitki gelişimini olumsuz etkilemektedir. Irshad ve ark. (2002), tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda tuz

stresi altındaki bitkilerde köklerin su alma yeteneklerinde önemli azalmalar meydana geldiğinden, kök gelişimi ve gövde uzamasında gerilemenin olduğu, stres altındaki bitkilerin gövde çapları azaldığı, boylarının da kontrole göre küçük kaldığı, yaprak alanı ve generatif evreye geçişte çiçeklenme ve meyve verimi de olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Yine Akdoğan ve Özkan (2000), Romero-Aranda ve ark. (2001), Yaşar (2003), Cavalcanti ve ark., (2007), Üzal (2009), Öztaş (2018), Yasar ve ark. (2019) gibi araştırmacılar tuz stresi altındaki bitkilerin gelişiminin olumsuz şekilde etkilendiğini rapor etmişlerdir.

Tuz stresinin bu olumsuz etkilerinin altında yatan temel mekanizmalardan biri, bitkilerin kalsiyum dengesinde yaşanan bozulmalardır. Kalsiyum (Ca), hücre zarının bütünlüğünün ve geçirgenliğinin korunmasında, aynı zamanda bir ikinci haberci olarak stres sinyal iletiminde kritik bir role sahiptir (White ve Broadley, 2003). Çalışmamızda, özellikle orta düzey tuz konsantrasyonlarında (25-75 mM) geri kazanımın 7. gününde gözlemlenen Ca azalışı, tuz stresinin Ca^{2+} iyonlarının alımını ve ksilem ile taşınımını inhibe ettiğini düşündürmektedir. Türkan ve Demiral (2009), tuz stresi altındaki bitkilerde Ca^{2+} taşınımının engellendiğini ve bunun hücre duvarı stabilitesi üzerinde olumsuz etkileri olabileceğini belirtmişlerdir.

Kalsiyum dengesindeki bu bozulmanın yanı sıra, tuz stresinin bitki metabolizması üzerindeki bir diğer kritik mineral etkisi magnezyum (Mg) düzeylerinde gözlemlenmektedir. Bitki yapraklarındaki Mg içeriğinin tuz stresine tepkisinin, stres süresi ve iyileşme periyoduyla birlikte dinamik bir şekilde değiştiğini ortaya koymaktadır. Üç günlük kısa süreli stresin Mg seviyelerini değiştirmemesi, bitkilerin kısa vadede

iyon dengesini koruyabildiği görüşüyle örtüşmektedir (Cakmak ve Kirkby, 2008). Altı günlük stresi takip eden iyileşme döneminde, düşük tuz konsantrasyonlarındaki bitkilerde Mg'nun azalması, buna karşılık yüksek tuz gruplarında korunması, tuz şiddetinin besin elementlerinin yeniden dağılım süreçlerini farklı şekilde etkilediğini düşündürmektedir. Bu durum, farklı stres düzeylerinin besin dinamiğinde farklı desenler oluşturabileceğini gösteren önceki bulgularla uyumludur (Cakmak ve Kirkby, 2008). Dokuz günlük uzun süreli stres ve sonrasında ise tüm gruplarda Mg düzeylerinin benzer seyretmesi, bitkilerin uzun vadede dengeli bir mineral durumuna ulaşmış olabileceğine işaret etmektedir.

Tuz stresinin magnezyum alımı üzerindeki bu etkilerinin ötesinde, potasyum iyon dengesinde meydana gelen bozulmalar bitki fizyolojisi üzerinde çok daha yıkıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Potasyum (K^+), hücredeki en önemli katyon olup, osmotik düzenleme, enzim aktivasyonu ve stomal hareketlerden sorumludur. Tuz stresinin en belirgin etkilerinden biri, Na^+ iyonlarının K^+ alım yerine geçmesi ve Na^+/K^+ oranının bozulmasıdır (Assaha ve ark., 2017). Çalışmamızda, 9 günlük uzun süreli stresi takiben görülen geçici K artışı, bitkinin osmotik ayarlama için K^+ biriktirmeye çalıştığının bir göstergesi olabilir. Geri kazanım döneminde K seviyelerinin normale dönme eğilimi, stres ortadan kalktığında Na^+/K^+ dengesi yeniden sağlama çabalarıyla açıklanabilir (Assaha ve ark., 2017). Tuz stresinde Na^+/K^+ dengesindeki bu bozulma, beraberinde sodyum iyonlarının dokularda birikimini getirmektedir.

Sodyum (Na) birikimi, tuz stresinin en doğrudan ve zararlı sonuçlarındandır. Bulgularımız, Na birikiminin tuz konsantrasyonu ve

uygulama süresi ile arttığını, ancak geri kazanım döneminde tüm gruplarda belirgin bir düşüş olduğunu göstermiştir. Bu düşüş, bitkilerin Na' u uzaklaştırmak veya nötralize etmek için çeşitli mekanizmalar geliştirdiğinin kanıtıdır. Bu mekanizmalar arasında Na' un köklerde dışlanması ve yapraklardaki tuz bezleri veya trikomlarından salgılanması sayılabilir (Acosta-Motos ve ark.,2017; van Zelm ve ark., 2020). Bununla birlikte, 9 günlük yüksek tuz uygulamasını takiben geri kazanımda Na birikiminin nispeten yüksek kalması, uzun süreli stresin bu detoksifikasyon mekanizmalarının kapasitesini aşabileceğini veya enerji tükenmesine yol açabileceğini düşündürmektedir (Munns ve Gilliam, 2015).

Mikro elementler (Fe, Cu, Mn, Zn) bitki metabolizması için vazgeçilmez olmakla birlikte, tuz stresi bunların alımını ve dağılımını çok yönlü bir şekilde etkiler. Çalışmamızda, demir (Fe) içeriğinin özellikle 75 mM tuz konsantrasyonunda ve 6 günlük uygulamada belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, tuz stresinin bitkilerde demir kimyasına ve taşınmasına bağlı olarak Fe alımında geçici bir uyarım yapabileceğini düşündürmektedir. Benzer şekilde, Masood ve ark. (2012) çalışmasında, orta düzey tuz stresinin demir indirgenme kapasitesini ve yaprak Fe içeriğini kısa süreliğine artırabildiği rapor edilmiştir. Ancak, geri kazanım döneminde Fe seviyelerinin genel olarak azalma eğilimi, bitkinin bu geçici değişimi düzenleyebildiğini göstermektedir.

Demirde olduğu gibi, bakır (Cu) birikiminde de tuz stresine benzer bir geçici tepki gözlemlenmiştir. Bakır (Cu) birikiminde ise, tuz konsantrasyonuna bağlı olarak özellikle kısa süreli uygulamalarda (3 ve

6 gün) bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu artış, tuz stresinin ağır metal alımını veya bitki dokularındaki dağılımını değiştirebileceğine işaret eder. Adrees ve ark. (2015) tarafından yapılan bir derlemede, tuzluluk gibi abiyotik streslerin bitkilerde ağır metal alımını ve birikimini artırabileceği, bunun da iyon dengesizliği ve oksidatif stresi tetikleyebileceği belirtilmiştir. Geri kazanım sürecinde Cu seviyelerinin çoğunlukla kontrol değerlerine yaklaşması, bitkilerin esneklik kabiliyetini yansıtmaktadır.

Farklı süre ve şiddetteki tuz stresinin bitkilerde mangan (Mn) dinamiği üzerinde değişken etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Kısa süreli tuz stresini takiben geri kazanım döneminde Mn seviyelerinin normale dönüş hızı, bitkilerin dengeleyici mekanizmalarını sürdürmedeki başarısını ortaya koymaktadır. Ancak orta ve uzun süreli tuz stresinde, özellikle yüksek dozlarda, Mn birikimindeki değişimlerin geri kazanım sürecinde de devam etmesi, uzun süreli stresin iyon düzenleme sistemlerinde kalıcı değişikliklere yol açabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgular, tuz stresinin mineral besin dengesi üzerindeki karmaşık etkilerini vurgulayan Munns ve Tester (2008) ile Türkan ve Demiral (2009) çalışmalarıyla uyum içindedir.

Çinko (Zn) birikimindeki artışın, uygulama süresi ve konsantrasyonuna bağlı olmakla birlikte genellikle geçici olduğunu ve geri kazanım döneminde iyonların yeniden sağlandığını göstermektedir. Kısa süreli (3 gün) tuz stresi takiben Zn seviyelerinin hızla kontrol değerlerine dönmesi, bitkilerin iyon dengesini korumaya yönelik hızlı düzenleyici mekanizmaları harekete geçirebildiğini düşündürmektedir. Daha uzun süreli (6 ve 9 gün) stres koşullarında ise, özellikle yüksek

konsantrasyonlarda (100 mM), Zn birikiminin daha belirgin ve geri kazanımın daha yavaş seyretmesi, şiddetli veya uzun süreli stresin iyon taşınım sistemlerini veya hücresel bağlama kapasitesini daha fazla etkileyebileceği şeklinde yorumlanabilir. Ancak, tüm uygulamalar geri kazanım dönemi sonunda Zn seviyelerinin kontrol gruplarıyla benzer seviyelere ulaşması veya yaklaşması, bitkilerin etkin iyon denge mekanizmalarına sahip olduğunun güçlü bir göstergesidir. Bu durum, literatürde benzer şekilde, çeşitli abiyotik stres koşullarında bitkilerin ağır metal homeostazını sağlamak için geçici akümüilasyon ve ardından detoksifikasyon stratejileri geliştirdiğini bildiren çalışmalarla uyumludur. Türkan ve Demiral (2009) yaptıkları derlemede, tuz stresi altında bazı bitki türlerinde Zn konsantrasyonunun arttığını, bunun bir adaptasyon mekanizması olabileceğini ifade etmişlerdir.

Klor (Cl) birikimi, tuz stresinin en belirgin göstergesi olarak öne çıkmış ve tuz konsantrasyonu ile doğru orantılı bir artış sergilemiştir. Cl iyonunun yüksek birikimi, iyon toksisitesine ve osmotik dengesizliğe yol açabilir. Munns ve Tester (2008) bu durumu, tuz toleransının önündeki temel engellerden biri olarak tanımlamıştır. Geri kazanım sürecinde bile Cl birikiminin nispeten kademeli olarak azalması veya yüksek seviyeleri koruması, bu iyonun dokulardan uzaklaştırılmasının daha zor olduğunu düşündürmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmanın bulguları, farklı süre ve şiddetteki tuz stresinin domates bitkisinin mineral iyon dengesi üzerinde dinamik ve çok boyutlu etkileri

olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen veriler ışığında ulaşılan temel sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

1. **Tuz Stresinin Temel Etkisi: İyon Dengesizliği ve Toksisite:** Çalışma, tuz stresinin en belirgin ve doğrudan sonucunun, dokularda sodyum (Na^+) ve klor (Cl^-) iyonlarının birikimi olduğunu göstermiştir. Bu birikim, osmotik dengenin bozulmasının yanı sıra iyon toksisitesine yol açarak hücresel işlevleri doğrudan inhibe etmekte ve bitki gelişimini ciddi şekilde kısıtlamaktadır.
2. **Makro Element Dengesinde Ciddi Aksamalar:** Stres, bitki fizyolojisi için hayati öneme sahip makro elementlerin düzenini bozmaktadır. Na^+ iyonlarının potasyum (K^+) alım yerine geçmesi, Na^+/K^+ oranını bozarak osmotik düzenleme ve enzim aktivasyonunu aksatmaktadır. Eşzamanlı olarak, kalsiyum (Ca^{2+}) alımındaki azalma, hücre zarı bütünlüğünü ve stres sinyal iletimini zayıflatmakta; magnezyum (Mg) düzeylerindeki değişimler ise fotosentez verimliliğini tehdit etmektedir.
3. **Mikro Element Dinamiğinde Strese Bağlı Değişkenlik:** Demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn) ve çinko (Zn) gibi mikro elementlerin alımı ve birikimi, tuz stresinden karmaşık bir şekilde etkilenmiştir. Özellikle kısa süreli ve orta şiddetli stres koşullarında gözlemlenen geçici artışlar, bitkilerin bu dönemde gösterdiği dinamik metabolik tepkilerin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır.
4. **İyileşme Kapasitesi, Stresin Süresi ve Şiddeti ile Sınırlıdır:** Geri kazanım (iyileşme) dönemine ait bulgular,

bitkilerin stres ortadan kalktığında iyon dengesini yeniden tesis etmeye yönelik aktif mekanizmalar (Na^+ dışlama, iyon taşınımı) geliştirdiğini ortaya koymuştur. Ancak, bu toparlanma kapasitesi, maruz kalınan stresin süresi ve yoğunluğu arttıkça azalmakta, uzun süreli yüksek stres bitkinin detoksifikasyon ve onarım sistemlerini yetersiz bırakabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi FYL-2019-7940 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18.
- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., ... & Irshad, M. K. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 119, 186-197.
- Akdoğan, S., & Özkan, İ. (2000). Gelişmenin değişik dönemlerinde uygulanan su noksanlığı geriliminin biber bitkisi (*capsicum annum l.*)'nin tuza duyarlılığı üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 6, 1-8.
- Assaha, D. V., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R., & Yaish, M. W. (2017). The role of Na⁺ and K⁺ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. *Frontiers in physiology*, 8, 509.
- Babu, M. A., Nahed, B. V., DeMoya, M. A., & Curry, W. T. (2011). Is trauma transfer influenced by factors other than medical need? An examination of insurance status and transfer in patients with mild head injury. *Neurosurgery*, 69(3), 659-667.
- Cakmak, I., & Kirkby, E. A. (2008). Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiologia plantarum*, 133(4), 692-704.
- Cavalcanti, F. R., Lima, J. P. M. S., Ferreira-Silva, S. L., Viégas, R. A., & Silveira, J. A. G. (2007). Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. *Journal of plant physiology*, 164(5), 591-600.
- FAO (2023). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü "The State of Food Security and Nutrition in the World".
<https://www.fao.org/publications/home/fao-flagship-publications/the->

- state-of-food-security-and-nutrition-in- the-world/en Erişim Tarihi: 12.07.2025.
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1938). The water-culture method for growing plants without soil.
- Irshad, M., Yamamoto, S., Eneji, A. E., Endo, T., & Honna, T. (2002). Urea and manure effect on growth and mineral contents of maize under saline conditions. *Journal of Plant nutrition*, 25(1), 189-200.
- Kacar, B. (1994). Bitki ve toprağın kimyasal analizleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı.
- Karanlık, S., 2001. Değişik buğday genotiplerinde tuz stresine dayanıklılık ve dayanıklılığın fizyolojik nedenlerinin araştırılması. (Doktora tezi) Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Maas, E. V., & Grieve, C. M. (1990). Spike and leaf development of salt-stressed wheat. *Crop Science*, 30(6), 1309-1313.
- Maas, E. V., Poss, J. A., & Hoffman, G. J. (1986). Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. *Irrigation Science*, 7(1), 1-11.
- Marín-Guirao, J. I., Martín-Expósito, E., García-García, M. D. C., & de Cara-García, M. (2022). Alternative mulches for sustainable greenhouse tomato production. *Agronomy*, 12(6), 1333.
- Masood, A., Shah, N. A., Zeeshan, M., & Abraham, G. (2006). Differential response of antioxidant enzymes to salinity stress in two varieties of Azolla (*Azolla pinnata* and *Azolla filiculoides*). *Environmental and Experimental Botany*, 58(1-3), 216-222.
- Munns, R., & Gilliam, M. (2015). Salinity tolerance of crops—what is the cost?. *New phytologist*, 208(3), 668-673.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1), 651- 681.

- Öztaş, Ö., 2018. Tuz Stresi Altındaki Biber Bitkisine Potasyum Uygulamalarının Etkisinin Araştırılması., Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Romero-Aranda, R., Soria, T., & Cuartero, J. (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant science*, 160(2), 265-272.
- Saranga, Y., Zamir, D., Marani, A., & Rudich, J. (1991). Breeding tomatoes for salt tolerance: field evaluation of *Lycopersicon* germplasm for yield and dry-matter production.
- Taleisnik, E., Peyrano, G., & Arias, C. (1997). Response of *Chloris gayana* cultivars to salinity. Germination and early vegetative growth. *Tropical Grasslands*, 31, 232-240.
- Türkan, I., & Demiral, T. (2009). Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 2-9.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), "Tarım İstatistikleri", 2023. <https://www.tuik.gov.tr/> Erişim Tarihi: 12.07.2025.
- Üzal, Ö., 2009. Tuz Stresi Altında Yetiştirilen Bazı Çilek Çeşitlerinde Jasmonik Asitin Bitki Gelişimi ve Antioksidant Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkisi. (Doktora Tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual review of plant biology*, 71(1), 403-433.
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2003). Calcium in plants. *Annals of botany*, 92(4), 487-511.
- Yasar, F., Oztas, O., & Uzal, O. (2019) Investigation of Relationships between Salt Stress, Potassium Application and Macro Element Uptake in Pepper Plant. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (11):13-17.

Yaşar, F., 2003. Tuz Stresi Altındaki Patlıcan Genotiplerinde Bazı Antioksidant Enzim Aktivitelerinin in vitro ve in vivo Olarak İncelenmesi. (doktora tezi basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bil. Enst., Van.

BÖLÜM 11

PATLICANDA ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ VE ÇÖZÜM STRATEJİLERİ

Dr. Emine POLAT¹

Prof. Dr. Naif GEBOLOĞLU^{2*}

Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DURUKAN KUM³

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18068305>

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye, eminep0511@gmail.com, Orcid ID: 0000-0001-5839-9921

² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye, naif.gebologlu@gop.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-2495-7088

³ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat, Türkiye, aysegul.durukan@gop.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-5193-0628

* Sorum yazar

GİRİŞ

Dünya nüfusundaki artış ve buna paralel olarak yükselen gıda talebi, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini küresel ölçekte kritik bir konu haline getirmektedir. Ancak iklim değişikliği, su kaynaklarındaki azalma, toprak kalitesinin bozulması ve çeşitli çevresel baskıların yoğunlaşması, bitkisel üretimde verim ve kaliteyi tehdit eden abiyotik stres faktörlerinin etkisini giderek artırmaktadır (FAO, 2023a). Bitkilerin büyüme ve gelişimini sınırlandıran abiyotik stres koşulları arasında su yetersizliği, düşük ve yüksek sıcaklıklar, iyonik bozulmalar, yüksek pH seviyeleri ve ağır metal birikimleri gibi pek çok unsur yer almakta olup, bu faktörler fotosentezden besin elementi alımına, su dengesinden hücrel metabolizmaya kadar birçok temel fizyolojik süreci etkilemektedir (Munns ve Tester, 2008). Abiyotik streslerin ortak noktası, bitkinin normal fizyolojik işleyişini bozarak oksidatif yükü artırması, iyon ve su homeostazını etkilemesi ve sonuçta büyüme ile verimi sınırlandırmasıdır (Tester ve Davenport, 2003).

Küresel ölçekte değerlendirildiğinde, pek çok tarım alanı çeşitli abiyotik stres faktörlerinin etkisi altındadır ve bu durum özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde daha belirgin hale gelmiştir (FAO, 2023a). Akdeniz Havzası gibi su kaynaklarının sınırlı, sıcaklık dalgalanmalarının yüksek ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda bitkisel üretim, çevresel streslerin etkilerine daha açık durumdadır (Fiori ve ark., 2014). Türkiye gibi Akdeniz Havzasında yer alan ülkelerde düzensiz yağış rejimi, buharlaşma oranlarının yüksekliği ve sulama kaynaklı toprak bozulmaları, kültür bitkilerinin farklı abiyotik stres koşullarıyla karşılaşma olasılığını artırmaktadır (Kaya ve ark., 2019). Bunun

sonucunda üretim sürecinde su stresi, iyon dengesizlikleri, besin elementi yetersizlikleri ve pH değişimleri gibi faktörler bir arada ortaya çıkabilmekte ve bitkinin stres yükünü daha da ağırlaştırmaktadır.

Abiyotik stres faktörlerinin bitki fizyolojisi üzerindeki etkilerine ilişkin literatürde pek çok bulgu bulunmaktadır. Osmotik baskının köklerden su alımını sınırlaması, iyon toksisitesinin hücre metabolizmasını bozması, yüksek pH'nın besin elementlerinin bitki tarafından kullanımını kısıtlaması ve ağır metal birikimlerinin hücresel hasarını tetiklemesi bu etkiler arasında yer almaktadır (Mittler, 2002). Ortaya çıkan fizyolojik bozulmalar, fotosentez oranının düşmesi, klorofil kayıpları, membran hasarı, oksidatif yük artışı ve büyüme gerilemesi şeklinde kendini göstermektedir. Buna ek olarak, stres koşullarında bitkilerin savunma mekanizmaları da aktive olmakta; iyon taşıma düzeni, osmotik birikimi, antioksidan sistemler ve hormonal yanıtlar gibi çok boyutlu süreçler devreye girmektedir (Schwarz ve ark., 2010; Albacete ve ark., 2015).

Abiyotik streslere karşı dayanıklılığın artırılmasına yönelik geleneksel yaklaşımlar arasında uygun çeşit seçimi, sulama yönetimi, toprak ıslahı ve kimyasal düzenleyicilerin kullanımı bulunmaktadır (Qadir ve ark., 2019). Bununla birlikte, bu yöntemlerin çoğu zaman sınırlı etkinlik göstermesi, maliyetli olması veya çevresel yan etkiler oluşturması, araştırmacıları daha etkili ve sürdürülebilir çözümlere yöneltmiştir. Sebze yetiştiriciliğinde yaygınlaşan aşılama tekniği de bu kapsamda önem kazanan çağdaş yöntemlerden biridir. Aşılama, kök sisteminin güçlendirilmesi, su ve besin alımının artırılması, iyon dengesinin düzenlenmesi ve oksidatif savunmanın desteklenmesi yoluyla bitkinin stres koşullarına adaptasyonunu geliştirebilmektedir (Lee, 1994; Colla

ve ark., 2010; Rouphael ve ark., 2008). Bu teknikle elde edilen olumlu etkiler arasında fotosentetik aktivitenin korunması, osmolit birikiminin artırılması ve antioksidan enzim sistemlerinin güçlendirilmesi gibi temel adaptif mekanizmalar yer almaktadır (Schwarz ve ark., 2010; Colla ve ark., 2010).

Patlıcan (*Solanum melongena* L.), dünya genelinde yaygın üretimi ve ekonomik önemi olan bir tür olup özellikle Akdeniz Havzası'nda önemli bir yere sahiptir (Daunay ve Janick, 2007; FAO, 2023a). Bununla birlikte patlıcan fizyolojik olarak çeşitli abiyotik stres faktörlerine karşı duyarlı bir türdür (Colla ve ark., 2013). Abiyotik stres koşullarında patlıcanda büyüme, iyon dengesi, beslenme durumu, klorofil içeriği ve verim gibi özelliklerde belirgin değişimler meydana gelmektedir (Savvas ve Lenz, 2000; Kaya ve ark., 2019).

Bu bölümde patlıcan yetiştiriciliğinde etkili olan abiyotik stres faktörleri incelenecek ve bu stres faktörlerine karşı alternatif çözüm yolları üzerinde durulacaktır.

1. PATLICANIN ANAVATANI, SİSTEMATİĞİ, YAYILIŞI VE EKONOMİK ÖNEMİ

Patlıcan (*Solanum melongena* L.), *Solanaceae* familyasının önemli türlerinden biri olup, özellikle Asya, Orta Doğu ve Akdeniz ülkelerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. *Solanum* cinsinin *Leptostemonum* alt cinsinde yer alan *S. melongena* dışında Afrika kökenli *S. aethiopicum* ve *S. macrocarpon* türleri sınırlı ölçüde yetiştirilmektedir (Sekara ve ark., 2007).

Patlıcanın anavatanı uzun süre Hindistan–Myanmar–Çin bölgesi olarak kabul edilmiştir. Çin’de M.Ö. 5. yüzyıla dayanan kayıtlar (Wang ve ark., 2008) ve Hindistan’da 4500 yıl öncesine ait bulgular (Kashyap ve Weber, 2016) bu görüşü desteklemiştir. Ancak modern genetik çalışmalar, patlıcanın atasının Afrika/Orta Doğu kökenli *S. incanum* olduğunu göstermektedir. Weese ve Bohs (2010) ile Knapp ve ark. (2013), *S. incanum*’un Asya’ya taşındığını, burada evrimleşerek *S. insanum*’a dönüştüğünü ve kültür patlıcanı *S. melongena*’nın da bu türden geliştiğini belirtmektedirler. Patlıcanın dünya üzerindeki yayılışı tarihsel ticaret yolları sayesinde gerçekleşmiştir. Arapların 12. yüzyılda İber Yarımadası’nda yetiştiriciliğe başlamasıyla Avrupa’ya giriş yapmış, 15. yüzyılda İtalya ve Fransa’da yaygınlaşmıştır (Daunay ve Janick, 2007; Zhukovsky, 1958). Anadolu’ya gelişi ise 16. yüzyıl sonlarına denk gelmektedir (Janick ve ark, 2007).

Patlıcan ekonomik açıdan dünya genelinde önemli bir sebzedir. FAOSTAT (2023a) verilerine göre 94 ülkede yetiştiriciliği yapılmakta olup, 1.92 milyon hektar alanda 60.79 milyon ton üretim gerçekleştirilmektedir. Çin ve Hindistan toplam üretimin %85’inden fazlasını karşılamaktadır. Türkiye ise 16.66 bin hektarda 817.59 bin tonluk üretimiyle dünyada dördüncü sırada yer almakta ve dünya üretiminin %1.34’ünü oluşturmaktadır. Türkiye’de örtü altı patlıcan üretimi de önemli olup, 2024 yılında toplam üretimin %44’ünden fazlası örtü altından elde edilmiştir (TÜİK, 2024).

2. PATLICANDA ETKİLİ OLAN BİYOTİK VE ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİ

Patlıcan yetiştiriciliği, Türkiye’de ve dünya genelinde geniş alanlara yayılmış olmasına rağmen, farklı biyotik ve abiyotik stres faktörlerinin etkisi altında önemli verim ve kalite kayıplarıyla karşı karşıyadır. Stres, bitkilerin büyüme ve gelişim süreçlerini olumsuz etkileyen her türlü dış etken olarak tanımlanmakta olup, hem fizyolojik fonksiyonlara müdahale eden hem de genetik potansiyelin tam olarak ortaya çıkmasını engelleyen koşulları kapsamaktadır (Larcher, 2003; Gupta ve ark., 2021). Stres faktörlerinin patlıcan üretimindeki etkileri, ürünün biyokütlesinin azalması, gelişim süreçlerinin aksaması ve nihayetinde verim düşüşü şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Abiyotik stres faktörleri patlıcan yetiştiriciliğinde en az biyotik stres faktörleri kadar önemli olup, çevresel koşullardaki değişimlere bağlı olarak giderek daha belirgin hale gelmektedir. Kuraklık, yüksek ve düşük sıcaklıklar, besin elementi yetersizliği, aşırı ışık, UV radyasyonu, ağır metal birikimi ve toprak özelliklerindeki bozulmalar, bitkinin fizyolojik süreçlerini baskılayarak verim performansını düşürür. Özellikle küresel ölçekte artan sıcaklık dalgalanmaları ve su kaynaklarındaki azalma, patlıcanın su dengesi, hücre bütünlüğü ve metabolik işleyişi üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Patlıcanın bu faktörlerin çoğuna orta düzeyde hassas olması, stres koşullarında önemli verim ve kalite kayıpları meydana gelmektedir (Bhatti ve ark., 2013; Rao ve ark., 2016).

2.1. Tuz Stresi ve Yönetim Stratejileri

Tuzluluk, özellikle kurak ve yarı kurak ekosistemlerde patlıcan (*Solanum melongena* L.) yetiştiriciliğini kısıtlayan en önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. Küresel ölçekte 1,1 milyar hektarlık alanın tuzluluk tehdidi altında olduğu, sulanan tarım arazilerinin ise yaklaşık %30'unda tuz birikiminin sürdürülebilir üretimi tehlikeye attığı belirtilmektedir (FAO, 2023b; Machado ve ark., 2017). Tuz stresinin patlıcan üzerindeki olumsuz etkileri hem osmotik hem de iyonik süreçlerle ortaya çıkmaktadır. Toprak çözeltisinde Na, K, Cl ve SO₄ gibi iyonların aşırı birikimi, kök bölgesinin su potansiyelini düşürerek fizyolojik kuraklığa neden olmakta ve bitkinin su alımı büyük oranda engellenmektedir (Munns ve Tester, 2008). Stresin erken döneminde görülen ozmotik baskı kök gelişimini yavaşlatırken, ilerleyen aşamalarda Na ve Cl iyonlarının aşırı birikimi iyon toksisitesine yol açmaktadır. Bu durum patlıcanda iyon homeostazının bozulmasına, özellikle Na/K oranının dengesizleşmesine ve dolayısıyla enzimatik faaliyetlerin zarar görmesine neden olmaktadır (Grattan ve Grieve, 1993; 1998). Fotosentez tuz stresinden en fazla etkilenen fizyolojik süreçlerden biridir. Klorofil biyosentezinin azalması, stomaların kapanması ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı üretimi fotosentetik kapasiteyi düşürerek büyüme hızında belirgin azalmaya yol açar (Silva ve ark., 2011; Zahra ve ark., 2022). Patlıcanda çiçeklenme, meyve tutumu ve meyve büyümesi dönemlerinde tuzluluğa duyarlılık artmakta, bunun sonucunda hem meyve sayısı hem de meyve kalitesi ciddi biçimde gerilemektedir (Heuvelink ve ark., 2003).

Tuz stresine karşı patlıcanda devreye giren savunma mekanizmaları morfolojik, fizyolojik ve moleküler düzeydedir. Bitki, su potansiyelini korumak için prolin, glisin betain ve çözünür şekerler gibi osmolitleri biriktirir; bu bileşikler hem hücre turgorunun korunmasına yardımcı olur hem de ROS detoksifikasyonunda görev alır (Zhang ve Shi, 2013; Gül ve ark., 2020; Singh ve ark., 2022). Glisin betain tilakoid zarını stabilize ederek kloroplastları korurken, prolin hem ozmoregülasyon hem antioksidan savunmada kritik rol oynar (Çelik ve Atak, 2012; Abdelhamid ve ark., 2013). Bunun yanında, Na iyonlarının hücre içine girişinin sınırlandırılması, Na'un vakuollerde depolanarak toksisitesinin azaltılması ve kök-sürgün iyon taşınımının düzenlenmesi tuz toleransının temel bileşenleri arasındadır (Demidchik ve Maathuis, 2007).

Tuz toleransının artırılmasına yönelik ıslah stratejileri patlıcanda hem klasik yöntemler hem de modern biyoteknolojik yaklaşımlar üzerinden yürütülmektedir. Yabani akrabalardan elde edilen genetik çeşitlilik, tuz toleransının geliştirilmesi açısından önemli bir kaynak oluşturmakta olup, seleksiyon, melezleme ve introgresyon çalışmaları toleransın kültür çeşitlerine aktarılmasını mümkün kılmaktadır (Ashraf ve Wu, 1994; Turan ve ark., 2012). Ancak patlıcanda genetik varyasyonun sınırlı olması, türlerarası melezlemelerde karşılaşılan engeller yüksek tolerans genlerinin kültür formlarına aktarımını zorlaştırmaktadır. Tarım topraklarında tuzlulaşmanın engellenmesi ve tuz problemi yaşanan toprakların ıslah edilmesi mümkün olsa da, tuzlanma görülen alanların büyüklüğü, uygulamaların pahalı olması ve her geçen gün konvasiyonel tarımın artarak kullanılması toprak tuzluluğu ile mücadeleyi

zorlaştırmaktadır. Bununla beraber yabancı patlıcan türleri ve türlerarası melezlerde tuz stresine karşı yüksek tolerantlık bulunmakta ve bu bitkiler üzerine aşılama tuz stresine karşı en etkili yönetim yaklaşımlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Domates ve patlıcan anaçlarının tuzluluk altında iyon düzenleme, su kullanım etkinliği ve antioksidan savunma gibi fizyolojik süreçlerde üstün performans gösterdiği; aşılı patlıcanların Na birikimini sınırlandırdığı, K tutulumunu artırdığı ve meyve verimini doğal koşullara daha yakın seviyelerde koruduğu bildirilmektedir (King ve ark., 2010). Aşılama ayrıca kök sisteminin daha güçlü olmasını sağlayarak bitkinin ozmotik strese dayanıklılığını artırır. Bu nedenle modern patlıcan yetiştiriciliğinde tuzlulukla mücadelede hem çevresel hem ekonomik olarak uygulanabilir bir çözüm olarak yaygınlaşmaktadır.

2.2. Alkali Stresi ve Yönetim Stratejileri

Alkali stresi, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yaygın olarak görülen ve bitki gelişimini önemli ölçüde sınırlayan abiyotik stres faktörlerinden biridir. Toprak alkalitesi, pH'nın 7'nin üzerine çıkmasıyla tanımlanmakta olup küresel toprakların yaklaşık %33,3'ünü etkileyen yaygın bir sorundur (Shang ve ark., 2021). Bu toprakların oluşumu iklim, jeoloji, topoğrafya ve insan faaliyetlerinin uzun dönemli etkileşimi sonucu şekillenmekte; özellikle düşük yağış ve yüksek buharlaşmanın görüldüğü alanlarda CaCO_3 ve MgCO_3 gibi bazik bileşiklerin birikmesiyle alkalinite artmaktadır (Sabljic, 2009; Wang ve ark., 2024). Patlıcan gibi sebze türleri, kök bölgesindeki pH artışına ve buna bağlı olarak gelişen besin alımı kısıtlarına oldukça duyarlıdır.

Yüksek pH koşulları, besin elementlerinin çözünürlüğünü düşürerek özellikle Fe, Zn, Mn ve P gibi elementlerin bitki tarafından yeterli düzeyde alınmasını engellemektedir (Sabljic, 2009; Rengasamy ve ark., 2022). Patlıcanda alkali stresi tipik olarak kloroz, büyüme geriliği ve verim kayıplarıyla sonuçlanır. Toprakta biriken Na iyonları, toprak partiküllerinin dağılmasına yol açarak su geçirgenliğini azaltmakta ve kök gelişimini sınırlandırmaktadır. Bu durum, patlıcanda kuraklık benzeri semptomların ortaya çıkmasına neden olur. Ayrıca yüksek pH, mikroorganizmaların aktivitesini düşürerek organik maddenin ayrışmasını yavaşlatmakta; bu da patlıcanın besin döngülerinden yeterli şekilde yararlanmasını zorlaştırmaktadır (Rengasamy ve ark., 2022).

Alkali stresin yönetiminde birincil hedef, kök bölgesi pH'sının düşürülmesidir. Elementel kükürt, amonyum sülfat veya sülfürik asit gibi materyaller, toprak asitliğini artırarak besin alımını iyileştirmektedir (Sabljic, 2009). Bunun yanında kompost ve çiftlik gübresi gibi organik materyaller, su tutma kapasitesini ve hava geçirgenliğini artırarak patlıcan köklerinin alkali koşullarda daha iyi gelişmesini sağlamaktadır. Organik maddeler ayrıca organik asit üretimi yoluyla pH düzenlenmesine katkı sunmaktadır (Wang ve ark., 2023). Sulama yönetimi de alkali stresin azaltılmasında kritik öneme sahiptir. Drenajın iyileştirilmesi ve damla sulama gibi yöntemlerin kullanılması, tuz ve karbonat birikimlerini azaltarak patlıcan için daha uygun bir kök ortamı oluşturur (Wang ve ark., 2024). Sulama suyundaki HCO_3 seviyelerinin yüksek olması, özellikle Fe alımını kısıtlayarak kloroz riskini artırdığından dikkatle yönetilmelidir (Pissaloux ve ark., 1995; Savvas ve ark., 2010).

Alkali stresine karşı etkili bir çözüm yolu da aşılama uygulamalarıdır. Alkali toleransı yüksek anaçlar üzerine yapılan aşılama, patlıcanda besin alımını iyileştirerek stres koşullarına dayanıklılığı artırabilir. Özellikle yüksek pH koşullarında anaçların kök sisteminin sağladığı fizyolojik avantajlar sayesinde bitki gelişimi ve verim korunabilmektedir (Yang ve ark., 2024).

2.3. Sıcaklık Stresi ve Yönetim Stratejileri

Cucurbitaceae ve *Solanaceae* familyalarına ait sebzeler, kökenleri gereği *termofilik* olup dona dayanıklı değildir. Bu nedenle sıfırın altındaki sıcaklıklar bitkilerde ölümle sonuçlanabilirken, öldürücü düzeyde olmayan düşük sıcaklıklar da hücresel homeostazı bozarak fotosentez, elektron taşınımı, karbon indirgeme döngüsü ve stomatal iletkenlik gibi temel fizyolojik süreçleri olumsuz etkilemektedir (Allen ve Ort, 2001; Suzuki ve Mittler, 2006). Soğuk stresinin süresi ve şiddeti arttıkça metabolik bozulmalar derinleşir ve bitki ölümüne kadar ilerleyebilir.

Yüksek sıcaklık stresi ise özellikle örtü altı yetiştiriciliğinde yaygın bir sorun olup, sebzelerde morfolojik, fizyolojik ve moleküler düzeyde değişimlere yol açar (Wang ve ark., 2003; Wahid ve ark., 2007). 35 °C üzerindeki sıcaklıklar patlıcan için ciddi bir sınırlayıcı faktördür (Bita ve Gerats, 2013). Sıcaklık stresine dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesine yönelik ıslah çalışmaları devam etmekle birlikte sınırlı başarı elde edilmiştir. Gelişmiş yetiştirme sistemleri düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı bir koruma sağlasa da yüksek maliyet ve uygulama güçlükleri nedeniyle yaygın kullanılamamaktadır. Bu nedenle, stres toleransını artırmaya yönelik alternatif stratejiler arasında tolerant anaçlar üzerine

aşılama önemli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır (Schwarz ve ark., 2010).

Tolerant anaçlar, güçlü ve geniş kök sistemi sayesinde kök bölgesinin düşük sıcaklıklara karşı dayanıklılığını artırmakta, su alım potansiyelini yükseltmekte ve yüksek hava sıcaklıklarında terleme ile kaybedilen suyu telafi ederek bitkinin su dengesini korumaktadır. Ancak aşılamanın etkinliği, stresin kaynağı (hava veya toprak), kalemin türü ve anacın fizyolojik özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

2.4. Kuraklık Stresi ve Yönetim Stratejileri

Kuraklık, küresel iklim değişikliğiyle birlikte giderek şiddetlenen ve tarımsal üretimi doğrudan tehdit eden başlıca abiyotik stres faktörlerinden biridir (IPCC, 2021). Sebzeler genel olarak su kıtlığına duyarlı olsa da, patlıcan kuraklığa domates gibi diğer *Solanaceae* üyelerinden daha toleranslı kabul edilmektedir (Rouphael ve ark., 2012). Buna rağmen patlıcan, uzun süreli veya şiddetli kuraklık altında belirgin fizyolojik ve biyokimyasal bozukluklar gösterir. Kuraklık, hücre turgorunun azalmasına yol açarak büyüme hızını düşürür; stomaların kapanması ile fotosentez sınırlanır ve CO₂ alımı azalır (Lawlor ve Cornic, 2002; Farooq ve ark., 2009). Bu süreçte ışık reaksiyonlarında enerji dengesizliği oluşur ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) aşırı birikimiyle oksidatif stres ortaya çıkar (Hasanuzzaman ve ark., 2013). Patlıcan söz konusu hasarı azaltabilmek için SOD, CAT ve POD gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini artırarak savunma geliştirir (Mittler, 2002). Ancak kuraklık şiddeti arttıkça bu mekanizmalar yetersiz kalır ve verim düşüşleri kaçınılmaz hale gelir.

Patlıcanda kuraklık stresine karşı geliştirilen yönetim stratejileri arasında su tasarruflu sulama teknikleri, toprak organik maddesinin artırılması, kök bölgesinde su tutma kapasitesini yükselten materyal uygulamaları ve uygun besin yönetimi bulunmaktadır. Organik madde ve malç uygulamaları buharlaşmayı azaltırken, toprak iyileştiriciler suyun toprakta tutulmasını güçlendirir. Besin düzenlemeleri ise kuraklık altında bozulan ozmotik dengeyi destekler. Bu yöntemler patlıcanda stres azaltmada etkili olsa da tek başına yeterli olmayabilir. Bu noktada aşılama, patlıcanda kuraklık toleransını artırmada öne çıkan biyolojik bir yöntemdir. Kuraklığa dayanıklı anaçlar, güçlü ve derin bir kök sistemi oluşturarak suyun hem üst hem de daha derin toprak katmanlarından alınmasını mümkün kılar (Rouphael ve ark., 2012). İnce ve yoğun kök yapıları suyun emilimini artıran geniş bir yüzey alanı sağlar (Suchoff ve ark., 2018). Patlıcanda uygun anaç kullanımı köklerin su alım kapasitesinin yükselmesi, yaprak su potansiyelinin korunması, fotosentezin sınırlandırılmasının gecikmesi ve antioksidan savunmanın güçlenmesi yoluyla kuraklık stresini önemli ölçüde hafifletebilmektedir. Ayrıca aşılama, kuraklık sırasında kökten sürgüne iletilen hormonal sinyallerin düzenlenmesine katkıda bulunarak stomal davranış ve metabolik adaptasyonun optimize edilmesini sağlar (Yang ve ark., 2022).

2.5. Ağır Metal ve İz Element Toksisitesi ve Yönetim Stratejileri

Patlıcan ağır metal ve iz element kirliliğine duyarlı sebzeler arasında yer almakta olup, özellikle kadmiyum (Cd), nikel (Ni), krom (Cr), bakır (Cu), manganez (Mn) ve bor (B) birikimi bitkide ciddi fizyolojik ve biyokimyasal bozukluklara yol açmaktadır. Cd, Zn ve Ca gibi temel

elementlerin yerini alarak enzim fonksiyonlarını engellemekte, Cu ve Mn yüksek konsantrasyonlarda reaktif oksijen türlerinin üretimini artırarak oksidatif strese neden olmaktadır. B ise dar bir optimum aralığa sahip olduğundan fazlalığında ksilem yoluyla sürgünlere taşınarak yaprak yanıklığı ve gelişim geriliği oluşturmaktadır. Bu elementlerin patlıcan meyvesinde birikimi gıda güvenliği açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Japonya’da yapılan bir analizde patlıcanların %7’sinde uluslararası Cd sınırlarının üzerinde değerler saptanması, kirlenmiş tarım alanlarında yetiştirilen patlıcanın halk sağlığı için kritik önem taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle patlıcanda ağır metal ve iz element toksisitesine karşı etkili yönetim stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Literatürde çeşitli çözüm yöntemleri önerilmiş olup, bunlar arasında toprak ıslahı, fitostabilizasyon ve fitoremediasyon, organomineral madde uygulamaları, besin elementi düzenlemeleri, toprak pH yönetimi, güvenli sulama suyu kullanımı ve tolerant çeşit geliştirilmesi yer almaktadır.

Toprak ıslahında organik madde, kompost, biyokömür (biochar) veya zeolit gibi materyaller kullanılarak ağır metallerin toprakta bağlanması ve bitki köklerin alınabilirliğinin azaltılması hedeflenmektedir. Organomineral uygulamalar, özellikle Cd ve Pb gibi metallerin toprak çözeltisinde serbest halde bulunmasını sınırlayarak patlıcanda ağır metal girişini büyük ölçüde azaltabilmektedir. Fitoremediasyon yaklaşımında hiperakümülatör bitkiler kullanılarak tarım alanlarının kademeli olarak temizlenmesi mümkün olmakla birlikte, bu süreç zaman alıcıdır ve üretim sezonunu sınırlayabilmektedir. Toprak pH’ının kireçleme ile yükseltilmesi Cd ve Ni’nin alınabilirliğini belirgin şekilde

düşürmektedir. Ayrıca Zn, Fe ve Ca gibi besin elementlerinin yeterli düzeyde verilmesi Cd'un bitki tarafından taşınmasını azaltabilmektedir. Ancak bu yöntemlerin çoğu uzun vadeli, maliyetli veya uygulama güçlükleri içeren çözümler olup tek başına yeterli olmayabilir.

Bu kapsamda aşılama, patlıcanda ağır metal ve toksik iz element taşınımını azaltmada son yıllarda en etkili biyolojik stratejilerden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle *S. torvum* anacı, güçlü kök yapısı, stres toleransı ve toksik iyonların sürgüne taşınmasını sınırlandıran fizyolojik özellikleri nedeniyle patlıcan üretiminde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Arao ve ark. (2008), Cd ile kirlenmiş ortamlarda *S. torvum* üzerine aşılama patlıcanlarda sürgün ve yaprak Cd birikiminin %63–75 oranında azaldığını bildirmektedirler. Bu büyük farkın nedeni, *S. torvum*'un kökten Cd alımını sınırlamasından ziyade, Cd'un ksilem yoluyla sürgünlere yüklenmesini engellemesidir. Mori ve ark. (2009), *S. torvum* ve *S. melongena* köklerinin Cd absorpsiyonu benzer olsa da *S. melongena* sürgünlerindeki Cd miktarının 3,6 kat daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Patlıcanda Cu, Mn ve B toksisitesi ile ilgili çalışmalar nispeten sınırlı olmakla birlikte, mevcut veriler *S. torvum*'un kök iyon seçiciliği ve metal bağlama/retansiyon kapasitesinin bu elementlerin sürgünlere taşınmasını da azaltabileceğini düşündürmektedir.

2.6. Aşılamanın Abiyotik Stres Faktörlerine Karşı Kullanılması

Sebze yetiştiriciliği çoğunlukla açıkta yapılmakla beraber, dünyanın birçok bölgesinde örtü altında da yaygın olarak yapılmaktadır. Hem açıkta hem de örtü altında yapılan yetiştiriciliklerde birçok çevresel faktör, verim ve kaliteyi olumsuz etkilemektedir. Özellikle toprak

kökenli faktörler çözüm gerektiren abiyotik stres faktörleridir. Aşılama, sebzelerde biyotik stres faktörlerine karşı geliştirilmiş bir yöntem olmasına karşın, sahip oldukları kuvvetli ve toprak derinliklerine inen kök yapıları, köklerinde salgıladıkları bazı hormon ve enzimler ve köklerin yüksek su ve besin elementi absorpsiyonu sayesinde, aşılama da önemli ölçüde tolerans sağladıkları bilinmektedir (Colla ve ark., 2010; Savvas ve ark., 2010; Schwarz ve ark., 2010).

Sebzelerde aşılama, başlangıçta toprak kaynaklı hastalıkların kontrolü amacıyla geliştirilmiş olsa da, günümüzde hem biyotik hem de abiyotik streslere karşı etkili bir strateji olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Toprak fumigantlarının yasaklanmasıyla önem kazanan bu yöntem, tuzluluk, su stresi, besin yetersizliği, organik kirleticiler ve alkalinite gibi zorlu çevre koşullarında üretimi mümkün hâle getirmektedir (Rouphael ve ark., 2010; Savvas ve ark., 2010; Schwarz ve ark., 2010; Polat ve Geboloğlu, 2025b). Dayanıklı yabani türlerden elde edilen güçlü anaçlar, verim artışına katkı sağlarken enerji maliyetlerinin daha etkin yönetilmesine de yardımcı olmaktadır (Colla ve ark., 2011). Aşılama uygulamaları, stres toleransının yanı sıra meyve kalitesi üzerinde de belirgin etkiler yaratmaktadır. Meyve şekli, renk, tat ve karotenoid içeriği gibi kalite özellikleri anacın kök sistemi üzerinden değişebilmektedir (Flores ve ark., 2010; Nicoletto ve ark., 2013). Çiçeklenme ve hasat zamanının da anacın türüne bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Yamasaki ve ark., 1994; Sakata ve ark., 2007). Günümüzde *Solanaceae* ve *Cucurbitaceae* türlerinde yaygın olarak uygulanan aşılama, verim, kalite ve stres toleransını artıran temel

bir tarımsal araç hâline gelmiştir (Lee ve ark., 2010; King ve ark., 2010; Gao ve ark., 2015, Polat and Geboloğlu, 2025b).

Günümüz koşullarında patlıcan yetiştiriciliğinde gerek topraktan gerekse sulama suyundan kaynaklanan nedenlerle en önemli abiyotik stres faktörleri tuzluluk ve alkalinite olarak karşımıza çıkmaktadır. Aşılama, patlıcanda tuz toleransını artıran en etkili yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Araştırmalar, özellikle *S. torvum* ve Köksal F₁ gibi anaçların Na taşınımını sınırlayarak iyon dengesini koruduğunu, antioksidan enzim aktivitelerini artırdığını ve klorofil kaybını azaltarak fotosentetik performansı iyileştirdiğini göstermektedir (Panagiotakis, 2013; Talhouni ve ark., 2016). Aşılı bitkilerde Na köklerde tutulmakta, yapraklarda daha düşük MDA birikimi gerçekleşmekte ve büyüme parametreleri stres altında dahi korunmaktadır. Genel olarak, aşılama sürdürülebilir patlıcan yetiştiriciliğinde tuz stresine karşı güçlü bir biyolojik dayanıklılık stratejisi sunmaktadır.

Alkali koşullar, demir başta olmak üzere birçok besin elementinin alınabilirliğini azaltarak demir klorozu, yaprak sararması, fotosentetik kapasitenin düşmesi ve büyüme gerilemesi gibi sonuçlar doğurmaktadır (Marschner, 1995). Aşılama patlıcanda alkali stresine karşı potansiyeli en yüksek stratejilerden biri olarak öne çıkmaktadır. Güçlü ve yaygın kök sistemine sahip anaçların pH tamponlama kapasitesi, demir indirgeme ve alım etkinliği gibi mekanizmaları iyileştirerek alkali koşullarda besin dengesini stabilize edebileceği düşünülmektedir. Ancak literatürde patlıcanda alkali stresine karşı aşılama etkisini doğrudan değerlendiren çalışma bulunmadığından, bu alanda araştırma ihtiyacı devam etmektedir.

Sonuç olarak, patlıcan çevresel değişimlere karşı hassas yapısı nedeniyle abiyotik streslerden kolayca etkilenen bir kültür bitkisidir. Sıcaklık uçları, su yetersizliği, tuzluluk, alkalinite, ağır metal birikimi ve ışık şiddeti gibi stres etmenleri, bitkide fizyolojik düzenin bozulmasına ve büyüme hızının düşmesine yol açmaktadır. Bu streslerin ortak etkisi çoğunlukla kök ve yaprak dokularında görülmekte, su dengesi, iyon taşınımı ve fotosentetik kapasite üzerinde önemli kısıtlamalar oluşmaktadır. Patlıcanda stres koşullarında ortaya çıkan bu değişimler, hem bitkinin vegetatif gelişimini hem de generatif dönem performansını doğrudan sınırlandırarak verimde ciddi kayıplara neden olmaktadır. Farklı abiyotik streslerin patlıcan üzerindeki etkileri mekanizma bakımından çeşitlilik gösterse de, çoğunun ortak noktası metabolik yükü artırması ve savunma kapasitesini zorlamasıdır. Tarla yönetiminde yapılan düzenlemeler, sulama ve besin uygulamalarının optimize edilmesi ve destekleyici biyostimülant kullanımı gibi yöntemler belirli düzeyde iyileşme sağlayabilse de, kalıcı ve güçlü adaptasyon gerektiren durumlarda etkileri sınırlı kalmaktadır. Bu bağlamda, etkili kök yapısı sağlayan anaçların kullanıldığı aşılama uygulamaları, patlıcanda abiyotik stres etkilerinin hafifletilmesi açısından dikkat çeken bir seçenek hâline gelmiştir. Aşılama, kök bölgesinin stres kaynaklı baskıyı daha iyi yönetmesini sağlayarak bitkinin genel fizyolojik dayanıklılığını artırmaktadır. Bununla birlikte, patlıcanda abiyotik streslerin farklı tipleri altında aşılama performansını inceleyen çalışmaların azlığı, bu konuda daha kapsamlı araştırmalara duyulan gereksinimi ortaya koymaktadır. Bu gereksinim, patlıcan yetiştiriciliğinde stres yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdelhamid, M.T., Rady, M.M., Osman, A.S. & Abdalla, M.A. (2013). Exogenous application of proline alleviates salt-induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris* L. plants. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 2013, 88, 439–446.
- Albacete, A., Martínez-Andújar, C., Martínez-Pérez, A., Thompson, A. J., Dodd, I. C. & Pérez-Alfocea, F. (2015). Unravelling rootstock×scion interactions to improve food security. J. Exp. Bot. 66, 2211–2226. doi: 10.1093/jxb/erv027
- Allen, D.J. & Ort, D.R. (2001) Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. Trends in Plant Science 6, 36–42.
- Arao, T., Takeda, H. & Nishihara, E. (2008). Reduction of cadmium translocation from roots to shoots in eggplant (*Solanum melongena*) by grafting onto *Solanum torvum* rootstock. Soil Science and Plant Nutrition, 54(4), 555-559.
- Ashraf, M. & Wu, L. (1994). Breeding for salinity tolerance in plants. Critical Reviews in Plant Sciences, 13(1), 17-42.
- Bhatti, K. H., Kausar, N., Rashid, U., Hussain, K., Nawaz, K. & Siddiqi, E. H. (2013). Effects of biotic stresses on eggplant (*Solanum melongena* L.). World Applied Sciences Journal, 26(3), 302-311.
- Bitá, C.E. & Tom Gerats, T. (2013) Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. Frontiers in Plant Science 4, 273.
- Colla, G., Fiorillo, A., Cardarelli, M., & Roupael, Y. (2013). Grafting to improve abiotic stress tolerance of fruit vegetables. In II International Symposium on Organic Greenhouse Horticulture 1041 (pp. 119-125).
- Colla, G., Roupael, Y., Leonardi, C. & Bie, Z. (2010). Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. Sci. Hortic. 127, 147–155. doi: 10.1016/j.scienta.2010.08.004
- Colla, G., Roupael, Y., Mirabelli, C. & Cardarelli, M. (2011). Nitrogen-use efficiency traits of mini-watermelon in response to grafting and nitrogen fertilization doses. J. Plant Nutr. Soil Sci. 174, 933–941. doi: 10.1002/jpln.201000325

- Çelik, Ö. & Atak, C. (2012). The effect of salt stress on antioxidative enzymes and proline content of two Turkish tobacco varieties. *Turkish Journal of Biology*, 36(3), 339-356.
- Daunay, M.C. & Janick, J. (2007) History and Iconography of Eggplant, *Chronica Horticulturae*, 47:16-22
- Demidchik, V. & Maathuis, F.J. 2007. Physiological roles of nonselective cation channels in plants: From salt stress to signalling and development. *New Phytol.*, 175, 387–404.
- FAO, 2023a. Global Soil Partnership. Available online: <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/en/c/1412475/>
- FAO, 2023b. Land statistics and indicators 2000–2021. Global, regional and country trends.
- FAOSTAT. (2023). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A., Cheema, Z.A., Cheema, M.A., Khaliq, A. (2008) Physiological role of exogenously applied glycine betaine to improve drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *J Agron Crop* 194(5):325–333
- Fiori, E., Comellas, A., Molini, L., Rebora, N., Siccardi, F., Gochis, D. J., ... & Parodi, A. (2014). Analysis and hindcast simulations of an extreme rainfall event in the Mediterranean area: The Genoa 2011 case. *Atmospheric Research*, 138, 13-29.
- Flores, F. B., Sanchez-Bel, P., Estan, M. T., Martinez-Rodriguez, M. M., Moyano, E., Morales, B., et al. (2010). The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Sci. Hortic.* 125, 211–217. doi: 10.1016/j.scienta.2010. 03.026
- Gao, P., W.W. Xing, S.H. Li, S. Shu, H. Li, N. Li, Q.S. Shao, & S.R. Guo. (2015). Effect of pumpkin rootstock on antioxidant enzyme activities and photosynthetic fluorescence characteristics of cucumber under Ca(NO₃)₂ stress. *Acta Hort.* 1086:177–188.
- Grattan, S.R. & Grieve, C.M. (1993). Mineral nutrient acquisition and response by plants in saline environment. In *Handbook of Plant and Crop Stress*; Marcel Dekker, Inc.: New York, NY, USA; pp. 203–266.
- Grattan, S.R. & Grieve, C.M. (1998). Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hortic.*, 78, 127–157.

- Gupta, A., Bano, A., Pandey, N., Rai, S., Sharma, S., & Pathak, N. (2021). Recent advances in biotic and abiotic stresses of *Solanum melongena* L. *Solanum melongena*: Prod Cultivat Nutri, 151-71.
- Gül, F., Ekinci, M., Kul, R., & Yıldırım, E. (2020). Effect of Glycine Betaine and Thiamine Treatments on Germination and Seedling Growth in Eggplant under Salt Stress. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 51(2), 190-198.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Gill, S. S., & Fujita, M. (2013). Drought stress responses in plants, oxidative stress, and antioxidant defense. *Climate change and plant abiotic stress tolerance*, 209-250.
- Heuvelink, E. P., Bakker, M., & Stanghellini, C. (2003). Salinity effects on fruit yield in vegetable crops: a simulation study. In *International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment* 609 (pp. 133-140).
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*.
- Janick, J., Paris, H. S., & Parrish, D. C. (2007). The cucurbits of Mediterranean antiquity: identification of taxa from ancient images and descriptions. *Annals of Botany*, 100(7), 1441-1457.
- Kashyap, A., & Weber, S. (2016). Starch grain analysis and experiments provide insights into Harappan cooking practices. In *Connections and Complexity* (pp. 177-193). Routledge.
- Kaya, C. M., Tayfur, G., & Gungor, O. (2019). Predicting flood plain inundation for natural channels having no upstream gauged stations. *Journal of Water and Climate Change*, 10(2), 360-372.
- King, S. R., Davis, A. R., Zhang, X., & Crosby, K. (2010). Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Scientia horticulturae*, 127(2), 106-111.
- Knapp, S., Vorontsova, M.S., Prohens, J. (2013) Wild relatives of the eggplant (*Solanum melongena* L.: *Solanaceae*): new understanding of species names in a complex group. *PLoS ONE* 8(2):e57039. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057039>
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer Science & Business Media.

- Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, cell ve environment*, 25(2), 275-294.
- Lee, J. M. (1994). Cultivation of grafted vegetables. I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience* 29 : 235 - 239.
- Lee, J. M., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Echevarria, P. H., Morra, L., & Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 93-105.
- Machado, R.M.A., & Serralheiro, R.P. (2017). Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3, 30.
- Marschner, H. (1995). Rhizosphere pH effects on phosphorus nutrition. Genetic manipulation of crop plants to enhance integrated nutrient management in cropping systems, 1, 107-115.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9), 405-410.
- Mori, S., Uruguchi, S., Ishikawa, S., & Arao, T. (2009). Xylem loading process is a critical factor in determining Cd accumulation in the shoots of *Solanum melongena* and *Solanum torvum*. *Environmental and experimental botany*, 67(1), 127-132.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651–681.
- Nicoletto, C., Tosini, F., & Sambo, P. (2013). Effect of grafting and ripening conditions on some qualitative traits of ‘Cuore di bue’ tomato fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(6), 1397-1403.
- Panagiotakis, G. (2013). Response of four grafted eggplants to NaCl salinity: the biochemistry and physiology of different hybrid and grafted eggplants in response to NaCl salinity in soil and hydroponic systems (Doctoral dissertation, Cranfield university).
- Pissaloux, A., Morard, P., & Bertoni, G. (1995). Alkalinity-bicarbonate-calcium effects on iron chlorosis in white lupine in soilless culture. In *Iron Nutrition in Soils and Plants: Proceedings of the Seventh International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants*, June 27–July 2, 1993, Zaragoza, Spain (pp. 127-133). Springer Netherlands.

- Polat, E., & Geboloğlu, N. (2025). Evaluation of Grafting onto Different Rootstocks on Yield and Disease Incidence of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Under Verticillium and Fusarium Wilt Stress. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 13(6), 1555-1561.
- Polat, E., & Geboloğlu, N. (2025b). Grafting onto Different Rootstocks Modulates Fruit Quality in Eggplant Under Salt Stress. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 14(1), 93-106.
- Qadir, T., Akhtar, K., Ahmad, A., Shakoor, A., Saqib, M., Hussain, S., & Rafiq, M. (2019). Wheat production under changing climate: Consequences of environmental vulnerabilities on different abiotic and biotic stresses. *J. Glob. Innov. Agric. Soc. Sci*, 7, 7-17.
- Rao, N. S., Shivashankara, K. S., & Laxman, R. H. (Eds.). (2016). *Abiotic stress physiology of horticultural crops* (Vol. 311). New Delhi, India:: Springer.
- Rengasamy, P., de Lacerda, C. F., & Gheyi, H. R. (2022). Salinity, sodicity and alkalinity. In *Subsoil constraints for crop production* (pp. 83-107). Cham: Springer International Publishing.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., & Colla, G. (2008). Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *HortScience* 43, 730–736.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Schwarz, D., Franken, P., & Colla, G. (2012). Effects of drought on nutrient uptake and assimilation in vegetable crops. *Plant responses to drought stress: from morphological to molecular features*, 171-195.
- Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A., ve Colla, G., 2010. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 172–179.
- Sabljić, A. (Ed.). (2009). *Environmental and ecological chemistry-Volume II* (Vol. 6). EOLSS Publications.
- Sakata, Y., Ohara, T., & Sugiyama, M. (2007) The history and present state of the grafting of cucurbitaceous vegetables in Japan.. *Acta Horticulturae* 731, 159–170.
- Savvas, D., & Lenz, F. (2000). Response of eggplants grown in recirculating nutrient solution to salinity imposed prior to the start of harvesting. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75(3), 262-267.

- Savvas, D., Leneti, H., Mantzos, N., Kakarantza, L., & Barouchas, P. (2010). Effects of enhanced NH_4^+ -N supply and concomitant changes in the concentrations of other nutrients needed for ion balance on the growth, yield, and nutrient status of eggplants grown on rockwool. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85(4), 355-361.
- Schwarz, D., Roupael, Y., Colla, G., & Venema, J. H. (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. *Sci. Hortic.* 127, 162–171. doi: 10.1016/j.scienta.2010.09.016
- Sekara, A., Cebula, S., & Kunicki, E. (2007). Cultivated eggplants—origin, breeding objectives and genetic resources, a review. *Folia Horticulturae*, 19(1), 97-114.
- Shang, X., Geng, L., Yang, J., Zhang, Y., & Xu, W. (2021). Transcriptome analysis reveals the mechanism of alkalinity exposure on spleen oxidative stress, inflammation and immune function of *Luciobarbus capito*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 225, 112748.
- Silva, E.N.D., Ribeiro, R.V., Ferreira-Silva, S.L., Viégas, R.A., & Silveira, J.A.G. (2011). Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. *Sci. Agric.*, 68, 62–68
- Singh, P., Choudhary, K.K., Chaudhary, N., Gupta, S., Sahu, M., Tejaswini, B., & Sarkar, S. (2022). Salt stress resilience in plants mediated through osmolyte accumulation and its crosstalk mechanism with phytohormones. *Front. Plant Sci.*, 13, 1006617.
- Suchoff, D. H., Gunter, C. C., Schultheis, J. R., Kleinhenz, M. D., & Louws, F. J. (2018). Rootstock effect on grafted tomato transplant shoot and root responses to drying soils. *HortScience*, 53(11), 1586-1592.
- Suzuki, N., & Mittler, R. (2006) Reactive oxygen species and temperature stresses: a delicate balance between signaling and destruction. *Physiologia Plantarum* 126, 1, 45–51.
- Talhouni, M., Sönmez, K. E. N. A. N., Kıran, S., Kuşvuran, Ş., & Ellialtıoğlu, Ş. Ş. (2016). Examination of ion accumulation and some physiological characteristics of grafted eggplants grown under salinity conditions. In III International Symposium on Horticulture in Europe-SHE2016 1242 (pp. 69-76).

- Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of botany*, 91(5), 503-527.
- Turan, S., Cornish, K., & Kumar, S. (2012). Salinity tolerance in plants: breeding and genetic engineering. *Australian Journal of Crop Science*, 6(9), 1337-1348.
- TÜİK (2024). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. (2007) Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany* 61, 199–223.
- Wang, J.X., Gao, T.G., & Knapp, S. (2008) Ancient Chinese literature reveals pathways of eggplant domestication. *Ann Bot* 102(6):891–897. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn179>.
- Wang, X., Ding, J., Wang, J., Han, L., Tan, J., & Ge, X. (2024). Ameliorating saline-sodic soils: A global meta-analysis of field studies on the influence of exogenous amendments on crop yield. *Land Degrad. Dev.*, 35, 3330–3343.
- Wang, Y., Gao, M., Chen, H., Chen, Y., Wang, L., & Wang, R. (2023). Organic amendments promote saline-alkali soil desalinization and enhance maize growth. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1177209.
- Weese, T.L. & Bohs, L. (2010). Eggplant origins: out of Africa, into the Orient. *Taxon* 59:49–56.
- Yamasaki, A., Yamashita, M., & Furuya, S. (1994). Mineral concentrations and cytokinin activity in the xylem exudate of grafted watermelons as affected by rootstocks and crop load. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 62, 817–826. doi: 10.2503/jjshs. 62.817
- Yang, L., Xia, L., Zeng, Y., Han, Q., & Zhang, S. (2022). Grafting enhances plants drought resistance: current understanding, mechanisms, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1015317.
- Yang, S., Xu, Y., Tang, Z., Jin, S., & Yang, S. (2024). The Impact of Alkaline Stress on Plant Growth and Its Alkaline Resistance Mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(24), 13719.
- Zahra, N., Al Hinai, M.S., Hafeez, M.B., Rehman, A., Wahid, A., Siddique, K.H., & Farooq, M. (2022). Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. *Plant Physiol. Biochem.*, 178, 55–69.

- Zhang, J.L., & Shi, H. (2013). Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance. *Photosynth. Res.*, 115, 1–22.
- Zhukovsky, Z., & Zukovskij, P. M. (1958). Cultivated flora of the USSR. XX. Vegetable plants fam. Solanaceae. Tomato, common eggplant, black nightshade, pepino, pepper, husk-tomato, mandrake.

BÖLÜM 12

PATLICAN (*Solanum melongena* L.) ÜRETİMİNDE KÖK-UR NEMATODLARININ (*Meloidogyne* spp.) ETKİLERİ VE NEMATODLARA KARŞI DAYANIKLILIK

Zir. Müh. Özlem URTEKİN¹

Doç. Dr. Refik BOZBUĞA^{2*}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye. ozlemurtekin@gmail.com, Orcid ID: 0009-0001-2815-2685

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Eskişehir, Türkiye. refik.bozbuga@ogu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-9201-5725

*Sorumlu yazar

GİRİŞ

Patlıcan (*Solanum melongena* L.), Patlıcangiller (Solanaceae) familyasından bir sebze türü olup ve çoğunlukla tropik ile subtropik iklim bölgelerinde yetiştiriciliği yapılmaktadır (Ainurrachmah ve ark., 2021). Dünya genelinde en çok yetiştiriciliği ve tüketimi yapılan sebze türlerinden birisidir (Shaaban ve ark., 2023). Patlıcan meyveleri, kabuklarında yüksek miktarda protein, flavonoidler, fenolik bileşikler, antosiyaninler ve askorbik asit içermekte olup, titrasyon yöntemiyle belirlenen asidite değerine sahiptir ve bu özellikleriyle antioksidan kapasitesi açısından en etkili sebzeler arasında yer almaktadır (Cao ve ark., 1996). Patlıcanın yağ ağırlığının yaklaşık %92.7'si sudan oluşurken, protein oranı %1.4, lif oranı %1.3, yağ ve mineral miktarları ise sırasıyla %0.3 civarında bulunmakta olup, geri kalan yaklaşık %4'lük kısmı çeşitli karbonhidratlar ve vitaminlerden meydana gelmektedir (Khan, 1979; Colonnier ve ark., 2001). Patlıcan, özellikle A, B ve C grubu vitaminler ile folat açısından zengin olup, aynı zamanda potasyum, magnezyum, kalsiyum ve fosfor gibi mineralleri de yüksek oranda içermektedir (Nisha ve ark., 2009; Gallo ve ark., 2014).

Patlıcan bitkisinin kökeninin Afrika'ya özgü yabani türlerden *S. incanum* L. olduğu kabul edilmektedir (Daunay ve ark., 1991; Barchi ve ark., 2010). Geleneksel olarak açık alanlarda yetiştirilen patlıcan, 1970'lerden sonra Avrupa genelinde seracılık yöntemiyle üretimi artmıştır (Daunay, 2008). Ülkeden ülkeye farklı isimlerle anılan patlıcan, örneğin farklı coğrafyalarda brinjal, aubergine, eggplant ve guinea squash gibi çeşitli isimler taşımaktadır (Kashyap, 2003). Tropikal iklimlerde çok yıllık bitki olarak yetiştirirken, daha soğuk bölgelerde genellikle tek yıllık olarak

yetiştirilmektedir (Kalloo, 1993). Patlıcan, dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen önemli sebzeler arasında yer almaktadır; özellikle Asya, Afrika, Hindistan, Orta Amerika, Akdeniz çevresi ve Amerika Birleşik Devletleri'nin güney bölgelerinde yoğun olarak tarımı yapılmaktadır (Grubben, 1977; Sihachakr ve ark., 1993; Collonnier ve ark., 2001). Bu sebze, zengin mineral, protein, vitamin, lif ve besin içeriğiyle dikkat çekmektedir (Matsubara ve ark., 2005). Ayrıca, besin değeri ve sağlık açısından önemli tıbbi özelliklere sahiptir (Hussain ve ark., 2015).

Patlıcanın Türkiye'ye İpek Yolu üzerinden yapılan ticaret aracılığıyla girdiği düşünülürken birlikte, bu sürecin ne zaman başladığına dair kesin bir bilgi bulunmamaktadır; ülkemizde uzun yıllar boyunca yalnızca açık arazide yetiştirilen patlıcan, 1970'lerden itibaren seracılık faaliyetlerinde de yer almaya başlamış ve bu dönemde başlangıçta Kemer, Göl, Halkapınar ve Halep gibi çeşitler tercih edilmişken, F1 hibrit çeşitlerin yüksek verim ve üstün meyve kalitesi nedeniyle üreticilerin hızla yeni çeşitlere yönelmesi sonucunda patlıcanın seracılıktaki varlığı artmıştır (Boyacı, 2007). Patlıcanın sera yetiştiriciliğinde benimsenmesinin temel nedenleri arasında ekonomik getirisi yüksek bir ürün olması ve sera üreticilerinin domatese olan bağımlılıktan kurtulma isteği yer almakta olup, üreticilerin patlıcan yetiştiriciliği konusundaki deneyimlerinin artmasıyla örtü altı üretim alanları da yıllar içinde genişlemiş ve günümüzde patlıcan, sera ürünleri arasında domates, biber ve hıyardan sonra gelmektedir (Boyacı, 2007). *S. melongena* L., dünyada yaygın olarak tanınan ve kültürü yapılan türüdür (Daunay ve ark., 2001). Bu türe ek olarak, *S. aethiopicum* L. ve *S. macrocarpon* L. gibi türler de

yetiştirilmekle birlikte, bu türlerin üretimi ağırlıklı olarak Afrika kıtasında yoğunlaşmıştır; diğer bölgelerde ise bu türlerin yetiştiriciliğine nadiren rastlanmaktadır (Boyacı, 2008). *Solanum melongena* L., özellikle Mısır başta olmak üzere birçok ülkede ekonomik değeri yüksek ve popüler bir sebze olarak ön plana çıkmaktadır (Daunay, 2008; Zayed ve ark., 2017). Bu türün meyveleri, çeşide bağlı olarak boyut, şekil ve renk bakımından büyük farklılıklar gösterebilmekte olup siyah, mor, mor-beyaz, beyaz, sarı ve açık mor gibi çeşitli renklerde gelişmekte, patlıcanlar genellikle uzun meyveli ile oval ya da küresel meyveli olmak üzere iki ana morfolojik grupta sınıflandırılmakta ve meyveler olgunlaşır olgunlaşmaz toplanmadığında, hasattaki gecikmeler tohum sayısının ve acılığın artmasına yol açarak tüketici açısından istenmeyen tat ve düşük kaliteyle sonuçlanmaktadır (Zayed ve ark., 2017).

Patlıcan (*Solanum melongena* L.) biyolojik olarak çok yıllık (perennial) bir bitki olmasına rağmen düşük sıcaklıklara ve dona karşı hassas olduğu için birçok bölgede tek yıllık (annual) olarak yetiştirilmekte, ancak iklimin elverişli olduğu sıcak bölgelerde, örneğin Mısır'da, bitkiler hasattan sonra sert budama ile yenilenerek bir sonraki sezona kadar canlı tutulmakta ve Mart ayında yapılan gübreleme ile ikinci sezon üretime devam etmeleri sağlanmaktadır (Zayed ve ark., 2017). Tarım alanlarında bitkilerde strese yol açan birçok faktör bulunmaktadır ve bu faktörler arasında nematodlar (Bozbuğa et al., 2024) ve zararlı böcek türleri önemli bir yer tutmakta olup, sebze ve meyve alanlarında zararlara neden olmaktadır (Kahya, 2024; Yayla et al., 2024a; Yayla et al., 2024b; Oguz Ozdemir et al., 2025). Zararlılara karşı yoğun kimyasal mücadele uygulanması, direnç gelişimi gibi önemli problemlere yol açmakta olup

(Ulusoy et al., 2023), bu sorunların ve kalıntı riskinin önlenmesinde biyolojik mücadele gibi alternatif yöntemlerin önemli olabilmektedir (Kahya, 2023; Kahya et al., 2024). Patlıcan (*Solanum melongena* L.), birçok ülkede ekonomik değeri yüksek bir sebze olmasına rağmen, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı genellikle düşük direnç göstermektedir ve bu durum verim ile kalite kayıplarına yol açabilmektedir (Kalloo, 1993; Collonnier ve ark., 2001; Rotino ve ark., 2014). Kültür patlıcanı, özellikle bakteri, fungus, nematod ve böcek gibi çeşitli hastalık ve zararlılara karşı duyarlıdır (Collonnier ve ark., 2001; Çürük ve ark., 2010). Kök-ur nematodları ise, dünya genelinde patlıcan yetiştiriciliğinde önemli hastalık etmenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Sasser, 1977; Netscher ve Sikora, 1990; Uehara ve ark., 2017). Tropikal bölgelerdeki patlıcan üretimindeki ürün kaybının yaklaşık %17-29'u kök-ur nematodlarının zararlarından kaynaklanmaktadır (Sasser, 1977). Nematodlara bağlı verim düşüşünü önlemenin en etkili ve çevreye zarar vermeyen yolu, dayanıklı patlıcan çeşitlerinin kullanılmasıdır (Roberts, 2002; Zhuang ve ark., 2012). Ancak, günümüze kadar kök-ur nematodlarına karşı tam dayanıklılık gösteren bir kültür patlıcan çeşidi henüz geliştirilmemiştir; bu nedenle, toprak kaynaklı hastalıklar ve zararlılara karşı farklı bir çözüm olarak dayanıklı anaç tercih edilmektedir (Uehara ve ark., 2016).

Anaç bitkiler, toprak kaynaklı hastalık ve zararlılara direnç geliştirmek, abiyotik etmenlere dayanıklılığı artırarak, su ve besin maddelerinin alımını desteklemek ve bitkinin genel sağlığını güçlendirmek için kullanılmaktadır (Lee, 1994; King ve ark., 2010; Gisbert ve ark., 2011a). Patlıcanın yabani çeşitleri arasında yer alan *Solanum warscewiczii*,

Solanum torvum, *Solanum sisymbriifolium*, ve *Solanum aethiopicum*, belirli *Meloidogyne* spp.'ye direnç göstermektedir (Ali ve ark., 1992; Hebert, 1985). Dünya genelinde patlıcan üreticiliğinde *S. torvum* anaç olarak yaygın biçimde kullanımı yaygındır. (Uehara ve ark., 2017; Öçal ve ark., 2018; Bletsos ve ark., 2003; Daunay, 2008; King ve ark., 2010). Yabani tür ve kültür patlıcanı melezleme yapılamadığından dolayı *Meloidogyne* spp'e karşı sağlanan dayanıklılık *Solanum melongena*'ya aktarılamamaktadır (Bletsos ve ark., 1998; Ali ve Fujieda, 1990). Dolayısıyla *S. torvum* anaç amaçlı kullanılmakta olup, kök-ur nematodları Tylenchida takımına ait olarak çevresel koşullara uyum sağlama yetenekleri ve yüksek saldırganlıkları nedeniyle dünya genelinde en zararlı bitki zararlıları arasında yer almakta ve nematodların neden olduğu ekonomik kayıpların önemli bir kısmının *Meloidogyne* spp. kaynaklı olduğu belirlenmiştir (Sasser ve ark., 1987; Pierre Abad ve ark., 2003). Özellikle bitki paraziti nematodlar (PPN'ler) gibi çeşitli biyotik stres etmenlerine karşı duyarlı olup, bu zararlılar patlıcan bitkisinin kök sistemini hedef alarak gelişimi engeller ve ürün verimini azalmakta ve toprak mikrobiyotası ve genel toprak sağlığı ile etkileşim içinde şekillenebilmekte ve etmenlerin ürün üzerindeki olumsuz etkileri, daha önce farklı araştırmalarla ortaya konulmuştur (Abd-Elgawad ve Mohamed, 2006; Rahman ve ark., 2020). Mısır'da yapılan çalışmalar, bitki paraziti nematodların (PPN'ler) patlıcan üretiminde yıllık yaklaşık %20 oranında verim kaybına yol açtığını ve bunun yaklaşık 298.410,5 metrik tonluk bir ürün kaybına denk geldiğini ortaya koyarken, zararın boyutu nematod türünün virölansı, popülasyon yoğunluğu ve çevresel veya tarımsal etkileşimlerle değişebildiği için, PPN'lerin neden olduğu zararların sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi adına doğru örnekleme

tekniklerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır (Abd-Elgawad 2016a, b).

Patlıcana zarar veren bazı bitki paraziti nematod (PPN) türleri, bitkinin fungal ya da bakteriyel hastalıklara karşı direncini azaltarak ikincil enfeksiyonlara zemin hazırlayabilmekte ve ayrıca, bazı türler virüs etmenlerini taşıma kapasitesine sahiptir ki ve bu da bitkide hastalıkların yayılmasını kolaylaştırarak verim kayıplarını daha da artırabilir (Noling, 2019). Patlıcanda en fazla zararı oluşturan toprak kaynaklı zararlılardan biri olan kök-ur nematodları (*Meloidogyne* spp.) bitkinin kök yapısına zarar vermekte, su ve besin alımı engellemekte ve bitkinin genel gelişimi zayıflatmakta, verim kaybının %30 ila %60 arasında değiştiği belirlenmiştir (Netscher ve Sikora, 1990). Enfeksiyonun yoğun olduğu tarlalarda bu oran %95'e kadar çıkabilmektedir (Greco ve Di Vito, 2009).

Ekonomik açıdan önemli bitki paraziti nematod cinslerini ve bu cinslere ait türler; *Helicotylenchus* cinsinden; *H. dihystra*, *H. cavenessi*, *H. Pseudorobustus* türlerinden; *Meloidogyne*: *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica*; *Pratylenchus* türlerinden; *P. brachyurus*, *P. penetrans*, *P. jordanensis*, *P. thornei*; *Rotylenchulus* içinde *R. parvus*, *R. reniformis*; *Xiphinema* cinsine bağlı *X. americanum* olarak belirtilmiş olup bu türlerin tamamı, patlıcan üretiminde ciddi verim kayıplarına yol açabilecek potansiyele sahip, yaygın ve zararlı nematodlardır (İbrahim, 2006). Bu bölümde patlıcan en çok zarar veren nematod gurubu olan kök ur nematodları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

1. KÖK-UR NEMATODLARI (*Meloidogyne* TÜRLERİ)

Genel olarak bitki paraziti nematodların (PPN'ler) yaşam döngüsü çift cinsiyetli erişkin bireyler, yumurtalar ve dört ayrı larva evresinden oluşur; yumurtalardan genellikle ikinci evre larvalar (J2) çıkar ve bu larvalar aktif hale gelerek bitki köklerine ya da bazı türlerde yaprak dokularına yerleşip beslenmeye başlar; dişi bireyler türüne bağlı olarak 50 ila 100 arasında yumurta bırakabilmekte ancak *Meloidogyne* gibi bazı zararlı türlerde bu sayı 2000'e kadar ulaşabilmekte; nematodların yaşam döngüsü genellikle 4 ile 8 hafta arasında tamamlanır ve toprak sıcaklığı arttıkça gelişim süresi kısalmışken en uygun gelişim sıcaklığı 21,1–26,7°C arasındadır (Noling, 2019). Kök-ur nematodları mikroskobik canlılar olup, yumurtaları oval şekle sahipken, dişi bireyler armut veya limon benzeri bir görünüme sahip olur ve larva ile erkekler uzun, ince ipliksi yapıda olup, larva ve erişkin bireylerde üç adet stylet bulunmaktadır (Siddiqi, 1986; Mıstanoğlu ve Devran, 2015). Kök-ur nematodlarının hayat döngüsü dört evreden meydana gelir (Gonzalez, 2009). Bu nematodlar, hayatlarının büyük bölümünü bitki kökleri içinde, sabit endoparazit olarak konukçu hücrelerden beslenerek geçirirler (Williamson ve Hussey, 1996). Konukçu bitki türleri oldukça geniş olup, üç binin üzerinde bitki çeşidini kapsamaktadır (Abad ve ark., 2003). Kök-ur nematodları, beslendikleri köklerde oluşan küçük ve büyük ur benzeri yapılar nedeniyle isimlendirilmiştir ve günümüze kadar 101 farklı türü tanımlanmıştır (Seid ve ark., 2015).

Dünya genelinde zararı en yüksek olduğu kabul edilen *Meloidogyne* türleri şunlardır: *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne hapla*, *Meloidogyne incognita* ve *Meloidogyne arenaria* (Netscher ve Sikora,

1990). Kök-ur nematodları, yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için yalnızca canlı bitki dokularının sitoplazmasını tüketen tam parazit yaşam biçimi sergilerler (Williamson ve Hussey, 1996).

Meloidogyne türleri, 4 juvenil (larva) evresinden geçer ve birinci larva dönemi yumurta içinde gerçekleşmektedir ki, uygun nem ve sıcaklık koşulları oluştuğunda, yumurtadan ikinci juvenil evresi (J2) olarak çıkarlar (Gonzalez 2009; Abad ve Williamson 2010; Mıstanoğlu ve Devran 2015). Bu larvalar, bitki kökü tarafından salgılanan kimyasal sinyalleri fark ederek kök bölgesine yönelir, stylet kullanarak köke nüfuz ederler (Wyss ve ark., 1992; Mıstanoğlu ve Devran, 2016). İkinci juvenil nematodlar, köke girdikten sonra hücreler arasında hareket ederek beslenme alanına ulaşır ve burada sabitlenirler (Wyss ve ark., 1992). Enfeksiyondan sadece birkaç saat sonra, enfekte olan hücreler morfolojik, fizyolojik ve moleküler düzeyde değişim geçirerek dev hücrelere dönüşür (Dropkin 1969; Williamson 1998; Gonzalez 2009). Nematod bitki hücre duvarında değişikliklere neden olmaktadır (Bozbuga ve ark., 2018). Oluşan anormal büyüklükteki hücreler, gelişim sürecindeki nematodun hayati besin kaynağını sağlarken, *Meloidogyne* türleri genellikle her biri birçok çekirdeğe sahip 5–7 dev hücre oluşturabilir; bu durum kortikal hücrelerde hiperplaziye yol açarak kök dokusunun bozulmasına neden olur ve sonuç olarak kök yüzeyinde enfeksiyonun tipik belirtisi olan ur adı verilen yapılar oluşur (Williamson ve Hussey 1996; Gonzalez, 2009; Bird ve ark., 2009). Kök ur nematodları 4 juvenil evreden sonra erişkin olurlar (Luc, 1990). Uygun ortam koşullarında, Juvenil 2 evresinden ortalama olarak 14 gün içinde Juvenil 3'ten Juvenil 4 evresine ve sonrada erişkin aşamaya geçiş

gerçekleşir (Perry ve ark., 2009). J4 evresi bitiminde eşeysel yapı belirginleşir (Eisenback ve Triantaphyllou,1991). Erginleşen dişi nematodlar armut şeklini alır, yumurtaları bırakırlar, erkekler ipliksi yapıda olup kökten ayrıldıktan sonra toprağa geçerler (Eisenback ve Triantaphyllou,1991).

Sabit beslenme bölgesi bulmak amacıyla, kök içine girip vasküler dokunun yakınlarında konumlanan ikinci dönem larva (J2) aşamasındadırlar (Williamson ve Hussey, 1996). J2 larvası köke girdikten sonrasında iletim dokusu boyunca hücrelerarası hareket ederek beslenme alanını seçer ve orada sabitlenir (Abad ve Williamson, 2010). Bu nematodlar, kök uçlarına girerek zarar görmüş dokularda çok çekirdekli dev hücreler oluşturur ve bu hücrelerin birikimi sonucu ur yapıları oluşmakta, bu durum, patlıcan bitkilerinde çatallı ve şekil bozukluklarına yol açar (Mo ve ark., 2011). Oluşan ur yapıları nedeniyle köklerin topraktan su ve besin maddesi alımı ciddi şekilde engellenirken, bu durum bitkilerde sararma, solgunluk, büyüme durması, meyve kalitesinde düşüş ve verim kaybına yol açar; ayrıca kökte açılan yaralar toprak kaynaklı patojenlerin bitkiye girişini kolaylaştırarak hastalık riskini artırmaktadır (Perry ve ark., 2009). Solanaceae familyasına ait kültüre alınmış, yumru oluşturmeyen türlerden biri olan *Solanum melongena* morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikler bakımından renk, şekil ve boyut açısından büyük çeşitlilik gösterir (Daunay ve ark. 1991; Colonnier ve ark. 2001; Furini ve ark. 2004; Kassi ve ark. 2019).

Kök-ur nematodlarının neden olduğu zararlar, özellikle sıcak iklimlerde daha belirgin olup, bitkide fizyolojik fonksiyonların bozulmasına ve

önemli verim kayıplarına neden olur (Haase ve ark., 2007; Colagiero ve ark., 2018). Bu endoparazit nematodlar bitki köklerinde beslenirken, geniş konukçu aralığına sahip olmaları dayanıklı veya bağışık çeşitlerin kullanımını zorlaştırır; hem odunsu hem otsu bitkilerin yanı sıra tek çenekli ve çift çenekli birçok türü etkileyebilir ve zaman zaman kök-ur nematodlarına karşı dayanıklı anaçlara aşılannmış patlıcanlar tercih edilir; özellikle bazı akraba *Solanum* türleri, örneğin *Solanum torvum*, *Meloidogyne* türlerine karşı güçlü direnç gösterdiğinden, ıslah çalışmalarında nematod dayanıklılığına sahip yeni kaynaklara ihtiyaç duyulmaktadır (Daunay, 2008; Gisbert ve ark. 2011b; Öçal ve Devran, 2019).

Türkiye’de yapılan ırk belirleme çalışmalarında, *Meloidogyne incognita*’nın 1, 2, 4, 5, 6 ırkları; *Meloidogyne javanica*’nın 1, 2, 5 ırkları; ayrıca *Meloidogyne arenaria*’nın 2 ve 3 ırkı saptanmıştır (Söğüt ve Elekçioğlu, 2000; Mennan ve Ecevit, 2001; Devran ve Söğüt, 2011; Kaçar, 2011; Gürkan, 2017; Gürkan ve ark., 2018). Hekimoğlu (1975) tarafından İzmir’de Solanaceae familyasındaki bitkiler üzerinde yapılan araştırmada, kök-ur nematodları arasında *M. incognita* %44,3’lük oranla öne çıkarken, *M. javanica* %34,1 ve *M. arenaria* %6,4 olduğu tespit edilmiştir. Kahramanmaraş ve ilçelerinde domates, hıyar ve patlıcan yetiştirilen alanların yaklaşık %20’sinin *Meloidogyne incognita* tarafından enfekte olduğu belirlenmiştir (Çetintaş ve Çakmak, 2011). Adana ilinde yapılan bir çalışmada, önemli tarım alanlarından alınan örneklerde patlıcanda *Pratylenchus delattrei*, *P. loosi* ve *P. zae* türleri tespit edilmiştir (Kasapoğlu ve ark., 2014). Tokat ve ilçelerinde patlıcan yetiştirilen sebze alanlarında yapılan araştırmada ise Tylenchida

takımına ait 17 cinse bağlı 23 nematod türü belirlenmiştir ve patlıcanda en yaygın türün *Pratylenchus thornei* olduğu saptanmıştır (Kepenekci ve ark., 2020).

Meloidogyne türlerinin, tek yıllık bitkilerden; ıspanak, domates, şeker pancarı, havuç biber, patlıcan, hıyar, fasulye, pamuk, patates, tütün, çok yıllık bitkilerde ise incir, dut, muz, şeftali, erik gibi bitkilerde konukçu olarak yer aldığı bildirilmiştir (Whitehead, 1998). Kök-ur nematodlarının sebzelerde yol açtığı ürün kayıplarının % 50 ile % 80 aralığında olduğu belirtilmektedir (Stirling, 1991; Siddiqi, 2000). *Meloidogyne arenaria*, *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne chitwoodi*, *Meloidogyne acrita*, *Meloidogyne luci*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne artiellia*, *Meloidogyne hapla*, *Meloidogyne thamesi*, *Meloidogyne exigua* ve *Meloidogyne hispanica* gibi *Meloidogyne* türlerinin varlığı Türkiye’de yapılan tür belirleme çalışmalarında saptanmıştır (Diker, 1959; Yüksel, 1966; Öztüzün, 1970; Ertürk ve Özkut, 1973; Yüksel, 1974; Gürdemir ve Ağdacı, 1975; İmren ve ark., 2014; Gürkan, 2017; Aydınli, 2018; Hekimoğlu, 1975; Pehlivan ve Kaşkavalcı, 1993; Di Vito ve ark., 1994; Elekçioğlu ve Uygun, 1994; Elekçioğlu ve ark., 1994; Mennan ve Ecevit, 1996; Kaşkavalcı ve Öncüer, 1999; Söğüt ve Elekçioğlu, 2000; Kepenekçi ve ark., 2002; Devran ve ark., 2009; Devran ve Söğüt, 2009; Özarslandan ve ark., 2009; Özarslandan ve Elekçioğlu, 2010; Aydınli ve ark., 2013; Çetintaş ve Çakmak, 2016; Akpınar ve ark., 2025).

Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde farklı *Meloidogyne* türlerinin yayılış gösterdiği tespit edilmiş olup, araştırma sonuçlarına göre Karadeniz

yöresinde *Meloidogyne arenaria* ve *Meloidogyne incognita* türlerinin varlığı rapor edilirken, Marmara yöresinde *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne incognita acrita*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne arenaria* ve *Meloidogyne hapla* türleri izole edilmiş, Ege yöresinde *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne arenaria* ve *Meloidogyne hapla*'nın popülasyonları belirlenmiş ve Akdeniz Bölgesi'nde de benzer tür dağılımı gözlenmiştir (Yüksel, 1974). Doğu Akdeniz alanlarında yürütülen araştırmada, ticari değeri yüksek bazı bitkilerin köklerinde görülen kök-ur nematodlarının yayılımı incelenmiş ve muz ile çeşitli sebze türlerinin köklerinde *Meloidogyne* spp. grubuna ait türlerin, özellikle *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita* ve *Meloidogyne arenaria*'nın yaygın biçimde görüldüğü, ayrıca domates, biber ve patlıcan gibi sebzelerde *M. incognita* ve *M. javanica*'nın yüksek popülasyonlara ulaşmaktadır (Elekcioğlu ve Uygun, 1994). Batı Akdeniz'deki farklı bölgelerden toplanan 95 kök-ur nematodu bulaşmış bitki örneği üzerinde Kuzey Karolina diferansiyel test bitkileri kullanılarak tür ve ırk düzeyinde teşhis çalışması gerçekleştirilmiş, incelenen örneklerin 60'ının *Meloidogyne incognita*, 28'inin *Meloidogyne javanica* ve 7'sinin *Meloidogyne arenaria*'ya ait olduğu belirlenmiş; araştırma bulgularına göre *Meloidogyne javanica*'nın Irk-1'i, *M. arenaria*'nın Irk-2 ve Irk-3'ü ile *M. incognita*'nın Irk-2 ve Irk-6'ya ait popülasyonlar tanımlanmış, ayrıca *M. incognita*'nın iki farklı ırkı ve California Wonder biber çeşidinde *M. javanica*'nın tüm ırklarının gelişim göstermediği tespit edilmiş; patlıcan bitkisinden elde edilen örneklerin değerlendirilmesinde Gazipaşa'dan alınan bir ve Kumluca'dan alınan iki *M. incognita* Irk-2 örneği avirüレント olarak kaydedilmiş ve Gazipaşa ile Alanya kaynaklı iki farklı *M. javanica* Irk-

1 örneği hastalığa neden olmayan olarak belirlenmiş olup, bulgular Batı Akdeniz’de özellikle *M. incognita* Irk-2 ile *M. javanica* Irk-1’in yaygın tür-ırk kombinasyonları olduğunu ortaya koymaktadır (Devran ve Söğüt, 2011). Türkiye’de *Meloidogyne exigua* türü ilk kez Antalya’da tespit edilmiştir (Kepenekçi ve ark., 2002). Batı Akdeniz’de yapılan araştırmada kök-ur nematodlarının dağılımı incelenmiş ve *M. javanica* türünün %28,4, *M. incognita*’nın %64,2 ile en yaygın türler olduğu, *M. arenaria*’nın ise %7,3 oranında bulunduğu belirlenmiştir (Devran ve Söğüt, 2009). Tokat ilinde sebze yetiştirilen alanlarda *Meloidogyne incognita* varlığı tespit edilmiş, Erbaa’da %34,5, Niksar’da %5,5 oranında bulaşıklık saptanmış ve Merkez, Turhal ile Pazar bölgelerinde nematod bulunamadığı belirlenmiştir (Akyazı ve Ecevit, 2011). Karadeniz Bölgesi’nde yer alan Ordu ve Samsun’da pepino (*Solanum muricatum* Aiton) yetiştirilen alanlarda *Meloidogyne arenaria* ile *Meloidogyne hapla* türlerinin varlığı belirlenmiş ve Türkiye’de pepino üzerinde kök-ur nematodlarının teşhisi ilk kez raporlanmıştır (Akyazı ve ark., 2012). Türkiye’nin çeşitli yörelerinden toplanan kök-ur nematodu popülasyonları laboratuvar ortamında saflaştırılmış, kitle üretimi yapılmış ve moleküler tekniklerle tanımlama çalışmaları gerçekleştirilmiş olup, moleküler analizler sonucunda *Meloidogyne arenaria*, *Meloidogyne chitwoodi*, *Meloidogyne javanica* ve *Meloidogyne incognita* türlerinin saptandığı belirlenmiştir (Özarslandan, 2009). Beş farklı ülkelerden toplanan 1000 adet kök-ur nematodu popülasyonu analiz edilmiş ve çalışma sonucunda bu popülasyonların %52’sinin *Meloidogyne incognita*, %30’unun *Meloidogyne javanica*, %8’inin *Meloidogyne hapla*, %8’inin *Meloidogyne arenaria* türlerine ait olduğu ve kalan %2’sinin farklı türlerden oluştuğu bildirilmiştir

(Johnson ve Fassuliotis, 1984). Dünya çapındaki tarım arazilerinin yaklaşık %52'sinin kök-ur nematodlarıyla enfekte olduğu rapor edilmiş ve nematodların neden olduğu ürün kayıplarını önlemede en etkili ve çevreye zarar vermeyen yöntemin dirençli bitki çeşitlerinin kullanımı olduğu belirtilmiştir (Trudgill ve Blok, 2001; Roberts, 2002).

2. PATLICANDA KÖK-UR NEMATODLARINA DAYANIKLILIK

Meloidogyne arenaria ve *Meloidogyne incognita* Irk-1 yoğunluğunun patlıcan verimi ile ilişkisi araştırılmış; bu deneyler sırasıyla yumurta açılım oranlarının incelenmesi, inokulum hazırlama yöntemlerinin enfektivite üzerindeki etkisi ve farklı nematod yoğunlukları ile toprak inokulasyonu sonrası patlıcan veriminin değerlendirilmesinden oluşmuş, yumurta açılımında sodyum hipoklorit ile işlem görmüş ve işlem görmemiş yumurta kümeleri arasında fark bulunmamakla birlikte, hipoklorit muamelesi yapılmış yumurtalardan çıkan larvaların enfektivitesi daha sabit, muamele edilmeyen yumurtalardan çıkan larvaların enfektivitesi ise daha yüksek değişken olmuş ve ayrıca *M. incognita*'nın patlıcan bitkisinin büyümesini ve verimini önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır (DiVito ve ark., 1986). *S. mammosum* ve *Solanum surattense* türlerinin *Meloidogyne incognita*'ya karşı yüksek derecede hassasiyet göstermektedirler (Ali ve ark., 1992). *Meloidogyne* spp.'nin mücadelesi amacıyla kültürel önlemler, nematisit kullanımı ve biyolojik kontrol yer almaktadır; kimyasal mücadele, patlıcan üretim alanlarında yaygın olarak tercih edilen bir yöntem olmakla birlikte (Sim ve ark. 2019), bu yaklaşım zararlılarda direnç gelişimine yol açabilmekte, nematisitlerin bitki kalıntılarında kalıcı etkileri ve hasattan önce belirli

bir bekleme süresi gerektirmesi nedeniyle insan sağlığı açısından riskler oluşturmakta; bu sebeplerle birçok ülke ve Avrupa Birliği'nde kimyasal pestisit kullanımı sıkı bir şekilde düzenlenmiş ve çevre dostu, yenilikçi mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi teşvik edilmiş olup, bu bağlamda bitki paraziti nematodlara karşı dayanıklı çeşitlerin kullanımı ürün kayıplarının önlenmesinde veya azaltılmasında büyük önem taşımaktadır (Hill ve ark., 2012).

Sera ortamında gerçekleştirilen çalışmada 7 domates, 5 biber, 2 bamya ve 3 patlıcan çeşidi *Meloidogyne incognita* enfeksiyonuna karşı test edilmiş, her bitkiye 10.000 nematod yumurtası inoküle edilmiş ve sonuç olarak incelenen tüm çeşitlerin bu nematoda karşı duyarlı olduğu belirlenmiştir (Anwar ve Khan, 1992). Kontrollü sera ortamında 39 patlıcan türü ile *Solanum torvum*'un gen kaynakları *Meloidogyne javanica*'ya karşı direnç açısından incelenmiş, tarımı yapılan *S. melongena* genotiplerinden birinde inokülasyondan yedi hafta sonra nematod yumurta kümesi oluşmamasıyla tam direnç gözlemlenmiş ve ayrıca, farklı kök-ur nematod popülasyonlarına dayanıklı olduğu bildirilen *S. torvum*'un *Meloidogyne javanica*'nın Brezilya popülasyonuna karşı da etkili bir tolerans unsuru olduğu teyit edilmiştir (Boiteux ve Charchar, 1996). Kültür patlıcan çeşitlerinin *Meloidogyne incognita*'ya karşı dayanıklı yabancı *Solanum* türleri ile aşılama uyumluluğu, üç farklı deneme ve altı yabancı *Solanum* anacı kullanılarak değerlendirilmiş; *Solanum torvum* ve *Solanum sisymbriifolium*'un *Meloidogyne* türlerine karşı dayanıklı olduğu bulunmuş, bu anaçlara Sufala, Singnath ve Kazla olmak üzere üç farklı kültür patlıcan çeşidi aşılanmış ve aşılama sonuçları incelendiğinde en yüksek başarı oranı

yaklaşık %95 ile Sufala + *S. torvum* kombinasyonunda, en düşük oran ise %85 ile Singnath + *S. sisymbriifolium* eşleşmesinde gözlemlenmiş olup, bulgular yabancı *Solanum* türlerinin hem nematodlara karşı dirençli olduklarını hem de kültür patlıcanlarıyla yüksek uyumluluk gösterdiklerini ortaya koymuştur (Rahman ve ark., 2002). 16 farklı patlıcan varyetesinin *Meloidogyne incognita* enfeksiyonuna karşı tepkileri değerlendirilmiş ve varyeteler direnç düzeylerine göre sınıflandırılmış; Vijay ve Annamalai çeşitleri dayanıklı, Syamala, BR-112, Azad Hybrid ve Rajendra orta düzeyde dayanıklı, No.81 ve VNR-125 orta düzeyde hassas, Pusa Mor Uzun yüksek düzeyde duyarlı ve Azad Kranti, Yeşil Round, Aruna, NS-317, Navkiran No.23, Sakura-371 ile VNR-60 ise duyarlı olarak belirlenmiş olup, çalışmanın patlıcan varyeteleri arasında *M. incognita*'ya karşı farklı direnç ve duyarlılık gösteren genotiplerin varlığını ortaya koyduğu belirtilmiştir (Nayak ve Sharma, 2013). Hindistan'da sera koşullarında yürütülen araştırmada, domates aşılamaalarında kullanılabilecek dayanıklı *Solanum* anaçları belirlenmiş, 7 yabancı *Solanum* türü, 1 yabancı *Physalis* türü ve 2 farklı domates F1 melezi değerlendirilmiş, *Solanum sisymbriifolium* köklerinde daha az ur ve yumurta kümesi oluşturmuş, *Physalis peruviana* ve *Solanum torvum Meloidogyne incognita*'ya karşı dirençli tepki göstermiş, TNAU domates melezi CO-3 orta düzeyde dayanıklı, *Solanum violaceum* ve US-618 domates melezi ise yüksek düzeyde duyarlı bulunmuştur ve çalışmanın, *M. incognita* enfeksiyonuna karşı potansiyel anaç materyallerinin belirlenmesi açısından önemli veriler sunduğu belirtilmiştir (Dhivya ve ark., 2014). Japonya'da yürütülen araştırmada, *Meloidogyne arenaria*'nın A2-O ve A2-J genotipleri tanımlanmış, mitokondriyal DNA dizilimleri açısından farklılık

gösterdikleri belirlenmiş ve PCR analizleri ile A2-J için yaklaşık 1.7 kb, A2-O için yaklaşık 1.1 kb uzunluğunda DNA parçalarının amplifiye edildiği saptanmış, A2-O genotipi güney bölgelerde tespit edilirken, A2-J genotipi Kyushu'dan Tohoku'ya kadar uzanan bölgede yayılım göstermiş ve *S. torvum*'un A2-J genotipine karşı duyarlı olduğu, A2-O ve *M. incognita*'ya karşı ise az sayıda yumurta kümesi oluşturarak direnç gösterdiği belirlenmiştir (Uehara ve ark., 2017). Otuz farklı patlıcan çeşidi *M. incognita* Irk-1'e karşı hassasiyet ve direnç düzeyleri bakımından incelenmiş ve 18 çeşidin yüksek düzeyde duyarlı, 7 çeşidin hassas, 2 çeşidin toleranslı, 2 çeşidin orta düzeyde dirençli ve yalnızca Mahy 80 çeşidinin tam dayanıklı olduğu belirlenmiştir (Akhter ve Kahan, 2018). Kontrollü koşullarda yürütülen çalışmada, *S. torvum*'un *Meloidogyne incognita*, Mi-1 genine virulent *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*, *M. luci* ve *M. hapla* türlerine karşı tepkisi değerlendirilmiş ve çoğu türe karşı dirençli olduğu, yalnızca *M. hapla*'ya karşı hassasiyet gösterdiği belirlenmiştir (Öçal ve ark., 2018). Farklı gruplardan oluşan toplam 60 patlıcan genotipi (yabani türler, anaçlar, saf hatlar, kültür formları ve hibrit çeşitler) *M. incognita*'nın iki farklı popülasyonuna (avirulent S6 ve Mi-1 virulent V14) karşı test edilmiş ve yalnızca *Solanum torvum* (Y28) genotipinin her iki popülasyona karşı dirençli olduğu, diğer tüm genotiplerin duyarlılık gösterdiği belirlenmiştir (Öçal ve Devran, 2019).

Meloidogyne incognita'nın farklı yoğunlukları Pusa Purple Long patlıcan bitkisi üzerinde test edilmiş ve larva yoğunluğu arttıkça bitki gelişiminin olumsuz etkilendiği ve verimde ciddi düşüşler meydana geldiği, en yüksek yoğunlukta yaklaşık %80 verim kaybı oluştuğu

belirlenmiştir (Gaur ve Prasad, 1980). Toplam 66 kültür patlıcan çeşidi ile 5 yabancı *Solanum* türü *M. incognita*'ya karşı değerlendirilmiş ve *S. sisymbriifolium* ile Black Beauty çeşidinin dirençli, *S. indicum* ve *S. khasianum*'un orta düzeyde dirençli, diğer çoğu çeşidin ise hassas olduğu belirlenmiştir (Sonawane ve Darekar, 1984). Domates çeşitleri Momotaro ve Kyouryokubeiju'nin *M. incognita* ve *Pseudomonas solanacearum* patojenlerine karşı dayanıklılığı, *S. sisymbriifolium*, *S. torvum* ve *S. toxicarium* üzerine aşılansarak incelenmiş ve Kyouryokubeiju çeşidinin *Meloidogyne incognita*'ya karşı dirençli yanıt sergilediği belirlenmiştir (Matsuzoe ve ark., 1993). Brezilya, Hollanda, ABD, Filipinler, Rusya, Almanya ve Fransa kökenli 39 farklı patlıcan genotipi *Meloidogyne javanica*'ya karşı değerlendirilmiş, her genotipe 6000 yumurta paketi uygulanmış ve inokulasyondan yedi hafta sonra yapılan incelemelerde Brezilya menşeli *Solanum torvum* ile Filipinler kökenli A-264-A genotipinin dirençli olduğu belirlenmiştir (Boiteux ve Charchar, 1996). *Mi-1.2* geni *Solanum melongena*'ya aktarılmış ve transgenik bitkilerin *Meloidogyne javanica*'ya karşı direnç gösterdiği, ancak patates yaprak biti karşısında aynı etkinin sağlanamadığı belirlenmiş, böylece *Mi-1.2* geninin Solanaceae familyası içerisindeki farklı türlerde aynı etkiyi göstermediği ortaya konmuştur (Goggin ve ark., 2006). Altı farklı patlıcan çeşidi *Meloidogyne incognita*'ya karşı test edilmiş, her bitkiye 2000 adet ikinci dönem larva (J2) inokule edilmiş ve denemeden 60 gün sonra yapılan değerlendirmede tüm çeşitlerin bu nematoda karşı hassas olduğu rapor edilmiştir (Ullah ve ark., 2011). Farklı patlıcan genotiplerinin *Meloidogyne incognita*'ya karşı tepkileri incelenmiş ve Cristal F1 ile bir yerel genotip duyarlı bulunurken, *Solanum melongena* × *Solanum incanum* ve *Solanum*

melongena × *Solanum aethiopicum* genotipleri orta düzeyde dirençli, diğer test edilen genotiplerin ise dirençli olduğu belirlenmiştir (Gisbert ve ark., 2011b). 15 patlıcan çeşidi *Meloidogyne incognita*'ya karşı test edilmiş ve incelenen tüm çeşitlerin bu nematoda karşı duyarlı olduğu rapor edilmiştir (Devi ve Sumita, 2015). Pusa Purple Long patlıcan çeşidinde farklı yoğunluklardaki *M. incognita* inokulasyonlarının etkisi araştırılmış, bitkiler inokülasyondan altı hafta sonra sökülmüş ve nematod yoğunluğu arttıkça bitki veriminde belirgin bir düşüş yaşandığı tespit edilmiştir (Hussain ve ark., 2015). 38 patlıcan genotipinin *Meloidogyne incognita*'ya karşı tepkisi değerlendirilmiş, yalnızca 8 genotipin nematoda karşı dayanıklı olduğu belirlenmiş ve özellikle *Solanum torvum* ile *S. americanum*'un yüksek düzeyde direnç gösterdiği saptanmıştır (Özarslandan ve ark., 2019). Japonya'nın üç farklı bölgesinden toplanan *Meloidogyne hapla* popülasyonları üzerinde yapılan çalışmada, *Solanum torvum* bitkisinin bu nematod türü üzerinde çoğalmaya izin verdiği ve *M. hapla*'ya karşı duyarlılık gösterdiği belirlenmiştir (Murata ve Uesugi, 2020).

SONUÇ

Patlıcan yetiştiriciliğinde kök-ur nematodları, özellikle *Meloidogyne* türleri, ciddi verim kayıplarına yol açan önemli zararlılar arasında yer almaktadır. Dünya genelinde yapılan araştırmalar, bazı *Meloidogyne* türlerin patlıcan üretilen alanlarda yaygın olarak bulunduğunu dolayısıyla farklı popülasyon yoğunlukları ile verim kaybı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, bazı yabani *Solanum* türleri ve patlıcan genotipleri, *Meloidogyne* türlerine karşı dirençli ya da toleranslı özellikler göstermektedir. Bu durum,

kimyasal mücadeleye alternatif olarak dayanıklı çeşitlerin kullanımının önemini vurgulamaktadır. Dayanıklı anaçların seçimi ve geliştirilmesi, nematod yönetiminde sürdürülebilir ve çevre dostu yaklaşımlar için önemli bir role sahiptir. Ayrıca, bölgesel nematod türü ve popülasyonlarının belirlenmesi, uygun mücadele stratejilerinin oluşturulması açısından gereklidir. Sonuç olarak, kök-ur nematodları patlıcan üretiminde önemli verim kayıplarına yol açan ciddi bir tehdit teşkil etmektedir. Bu zararlılarla etkili mücadele için dayanıklı genotiplerin belirlenmesi, genetik direnç kaynaklarının yaygınlaştırılması ve entegre mücadele stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir patlıcan üretimi ve verim artışı için nematoda dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesine yönelik araştırmaların sürdürülmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- Abad, P. & Williamson, V.M. (2010). Plant nematode interaction: a sophisticated dialogue. *Advances in Botanical Research*, 53: 147-192.
- Abad, P., Favery, B., Rosso, M.N. & Castagnone-Sereno, P. (2003). Root-knot nematode parasitism and host response: Molecular basis of a sophisticated interaction. *Molecular Plant Pathology*, 4: 217-224.
- Abd-Elgawad, M.M.M. (2014). Yield losses by phytonematodes: challenges and opportunities with special reference to Egypt. *Egyptian J Agronomatol* 13(1):75–94
- Abd-Elgawad, M.M.M. (2016a). Biological control agents of plant-parasitic nematodes: a review. *Egypt J Biol Pest Cont* 26(2):423–429
- Abd-Elgawad, M.M.M. (2016b). Use of Taylor's power law parameters in nematode sampling. *Int J PharmTech Res* 9(12):999–1004
- Abd-Elgawad, M.M.M. & Mohamed, M.M.M. (2006). Efficacy of selected bio-control agents on *Meloidogyne incognita* on eggplant. *Nematol Medit* 34:105–109
- Ainurrachmah A. & Taryono, Indarti S. (2021). Assessment of root-knot nematode resistance in eggplant accessions by using molecular markers. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 53: 468–478.
- Akhter, G. & Khan T. A. (2018). Response of brinjal (*Solanum melongena* L.) varieties for resistance against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* race-1. *The Journal of Phytopharmacology*. 7(3): 222-224.
- Akpınar, D., Bozbuga, R., Imren, M. & Cobanoğlu, S. (2025). First report of Seville root-knot nematode, *Meloidogyne hispanica* (Nematoda: Meloidogynidae) on tomato and pepper in Türkiye. *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-25-0676-PDN>
- Akyazı, F. & Ecevit, O. (2011). Tokat ili sebze alanlarındaki kök-ur nematod (*Meloidogyne* spp.)'lerinin yayılışları ve tür tespiti. *Anadolu Tarım Bilim Dergisi*, 26(1): 1-9.

- Akyazı, F., Han, H., Cetintas, R. & Felek, A.F. (2012). First report of root-knot nematodes, *Meloidogyne arenaria* and *M. hapla* (Nemata: Meloidogynidae) From Pepino in Turkey. *Nematol. medit.*, 40: 107-110.
- Ali, M. & Fujieda, K. (1990). Cross compatibility between eggplant (*Solanum melongena* L.) and wild relatives. *Journal Japanese Society for Horticultural Science*, 58(4): 977-984.
- Ali, M., Matsuzoe, N., Okubo, H. & Fujieda, K. (1992). Resistance of non-tuberous *Solanum* to root-knot nematode. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 60(4): 921-926.
- Anwar, S. A. & Khan, M.S.A. (1992). Evaluation of four vegetables against *Meloidogyne incognita*. *Journal of Agricultural Research*, 30:415-421.
- Aydınlı, G. (2018). Detection of the root-knot nematode *Meloidogyne luci* Carneiro et al., 2014 (Tylenchida: Meloidogynidae) in vegetable fields of Samsun Province, Turkey. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 42 (3): 229-237.
- Aydınlı, G. & Mennan, S. (2016). Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) from greenhouses in the Middle Black Sea Region of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 40 (5): 675-685.
- Aydınlı, G., Mennan, S., Devran, Z., Sirca, S. & Urek, G. (2013). First Report of the Root-Knot Nematode *Meloidogyne ethiopica* on Tomato and Cucumber in Turkey. *Plant Disease*, 97 (9): 1262.
- Barchi, L., Lanteri, S., Portis, E., Stagel, A., Vale, G., Toppino, L. & Rotino, G.L. (2010). Segregation distortion and linkage analysis in eggplant (*Solanum melongena* L.). *Genome*, 53(10): 805-815.
- Bird, D.M., Williamson, V.M., Abad, P., McCarter, J., Danchin, E.G.J., Castagnone-Sereno, P. & Opperman C.H. (2009). The genomes of root-knot nematodes. *Annu. Rev. Phytopathol*, 47: 333-51.
- Bletsos, F., Roupakias, D.G., Tsakstsira, M.L., Scalttsoyjannes, A.B. & Thanassouloupoulos, C.C. (1998). Interspecific hybrid between three

- eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars and two species (*Solanum torvum* Sw. And *Solanum Sisymbriifolium* Lam.). Plant Breeding, 117(2): 159-164.
- Bletsos, F., Thanassouloupoulos, C. & Roupakias, D. (2003). Effect of grafting on growth, yield and Verticillium wilt of eggplant. HortScience, 38: 183-186.
- Boiteux L.S. & Charchar J.M. (1996). Genetic resistance to root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) in eggplant (*Solanum melongena*). Plant Breeding. 115:198–200.
- Boyacı, H.F. (2008). Bilinmeyen yönleri ile patlıcan. Meyve Sebze Dünyası. 1(7): 56-57.
- Boyacı, H.F. (2007). Patlıcanlarda *Fusarium* Solgunluğuna Dayanıklılık Kaynakları ve Dayanıklılığın Kalıtımı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 97s, Adana.
- Bozbuga, R., Arıdıncı Kara, P., Nilufer Yıldız, H., Gök Güler, P., Haydar Erol, Ü., Özgören, B., Kahya, D. & Bülent Arpacı, B. (2025). Plant Breeding for Tolerance to Biotic Stressors Including Nematodes, Diseases, and Insect Pests. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.1011650
- Bozbuga, R., Lilley, C. J., Knox, J. P. & Urwin, P. E. (2018). Host-specific signatures of the cell wall changes induced by the plant parasitic nematode, *Meloidogyne incognita*. Scientific reports, 8(1), 17302.
- Cao G., Sofic E. & Prior R.L. (1996): Antioxidant capacity of tea and common vegetables. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44: 3426–3431
- Colagiero M, Rosso LC & Ciano A. (2018). Diversity and biocontrol potential of bacterial consortia associated to root-knot nematodes. Biol Control.; 120: 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.07.010>
- Collonnier, C., Fock, I., Kashyap, V., Rotino, G.L., Daunay, M.C., Lian, Y., Mariska, I.K., Rajam, M.V., Servaes, A., Ducreux, G. & Sihachakr, D.

- (2001). Applications of biotechnology in eggplant. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 65: 91-107.
- Çetintas, R. & Cakmak, B. (2016). *Meloidogyne* species infesting tomatoes, cucumbers and eggplants grown in Kahramanmaraş Province, Turkey. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 40 (4): 355-364.
- Çetintaş, R. & Çakmak, B. (2011). Kahramanmaraş ve Çevresinde Tarımı Yapılan Domates, Hıyar ve Patlıcan Bitkilerinde Mevcut *Meloidogyne* Türlerinin PAGE (Poliakrilamid Jel Elektroforez) ve Perineal Morfolojik Karakterler Yardımı ile Teşhisi. IV. BitkiKoruma Kongresi, 29-30 Haziran, Kahramanmaraş, s. 48.
- Çürük, S. (2010). Patlıcanda türlerarası melez tohumların in vitro çimlendirilmesi. VIII. Sebze Tarımı Sempozyumu, 564-568, Van.
- Daunay, M.C. (2008). Eggplant. (J. Prohens, F. Nuez, Editors). In: *Handbook of crop breeding vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Umbelliferae and Solanaceae*. Springer, 163-220, New York, USA.
- Daunay, M.C., Lester, N. R., Gebhardt, C., Hennart, W. & Jahn, M. (2001). Genetic Resources of Eggplant (*Solanum melongena* L.) and Allied Species: A New Challenge for Molecular Genetics and Eggplant Breeders, 251-274 in *SolanaceaeV*, edited by R.G. Van Den Berg, G. W. Barendse and C. Mariani. NijmegenUniversity, Press Nijmegen, The Netherlands.
- Daunay, M.C., Lester, R.N. & Laterrot H. (1991). The use of wild species for the genetic improvement of eggplant (*Solanum melongena*) and tomato (*Lycopersicum esculentum*). In Hawkes, J.G., Lester, R.N., Estrada, N. (eds.) *Solanaceae III: Taxonomy-Chemistry-Evolution*, Vol 3:389-412. The Linnean Society of London, Royal Botanical Gardens Kew, London, UK

- Devi, T.S. & Sumita, K. (2015). Screening of brinjal germplasms against root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 4(11): 1300-1303.
- Devran, Z., Mutlu, N., Özarslandan, A, & Elekçioğlu, İ.H. (2009). Identification and genetic diversity of *Meloidogyne chitwoodi* in potato production areas of Turkey. Nematropica, 39 (1): 75-83.
- Devran, Z. & Söğüt, M.A. (2009). Distribution and Identification of Root-knot Nematodes from Turkey. Journal of Nematology, 41 (2): 128.
- Devran, Z. & Söğüt, M.A. (2011). Characterizing races of *Meloidogyne incognita* , *M. javanica* and *M. arenaria* in the West Mediterranean region of Turkey. Crop Protection, 30 (4): 451-455.
- Dhivya, R., Sadasakthi A. & Sivakumar M. (2014). Response of wild *Solanum* rootstocks to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* Kofoid and White). International Journal of Plant Sciences. Vol. 9, Issue 1;117-122.
- Di Vito, M.N., Greco, G., Oreste, Saxena, M.C., Singh, K.B. & Kusmenoglu I. (1994). Plant parasitic nematodes of legumes in Turkey. Nematologia Mediterranea, 22 (2): 245-251.
- Diker, T. (1959). Nebat Parazit Nematodları. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Neşriyatı, Ankara, No: 70, 98 s.
- DiVito M., Greco N. & Carella A. (1986). Effect of *Meloidogyne incognita* and importance of the inoculum on the yield of eggplant. Journal of Nematology. 18(4):487-490.
- Dropkin, V.H. (1969). The necrotic reaction of tomatoes and other hosts resistant to *Meloidogyne*: reversal by temperature. Phytopathology, 59: 1632-1637.
- Eisenback, J.D. & Triantaphyllou, H.H. (199). Root-Knot Nematodes: *Meloidogyne* Species and Races. Pp. 191-274, In, W. R. Nickle, ed., Manual of Agricultural Nematology. Marcell Dekker: New York.

- Elekçioğlu, İ.H., Ohnesorge, B., Lung, G. & Uygun, N. (1994). Plant Parasitic Nematodes in The Mediterranean Region of Turkey. *Nematology Mediterranea*, 22(1): 59-63.
- Elekçioğlu, İ.H. & Uygun, N. (1994). Occurrence and distribution of plant parasitic nematodes in cash crop in Eastern Mediterranean region of Turkey. *Proceedings of Phytopathological Union*, Kuşadası, Aydın, Türkiye, 409-410.
- Ertürk, H., & Özkut, S. (1973). Ege Bölgesi şartlarında kök- ur nematodlarına (*Meloidogyne* spp.) dayanıklı asma anacı araştırması. IV. Bilim Kongresi Bildiriler. 1-7, 5-8 Kasım, Ankara.
- Frary, A. & Doğanlar, S. (2013). Eggplant (B.C. Kang, C. Kole, Editors). In: Genetic, genomic and breeding of peppers and eggplants. CRC Press, 116-143, Clemson, USA.
- Furini, A. & Wunder J. (2004). Analysis of eggplant (*Solanum melongena* L.) related germplasm: Morphological and AFLP data contribute to phylogenetic interpretations and germplasm utilization, *Theor. Appl. Genet.*, 108: 197-208.
- Gallo, M., Naviglio, D. & Ferrara L. (2014). Nasunin, an antioxidant anthocyanin from eggplant peels, as natural dye to avoid food allergies and intolerances. *European Scientific Journal*, 10(9): 1857-7881.
- Gaur, H.S. & Prasad, S.K. (1980). Population studies on *Meloidogyne incognita* on egg plant (*Solanum melongena*) and its effect on the host. *Indian Journal of Nematology*, 10(1): 40-52.
- Gisbert, C., Prohens, J. & Nuez, F. (2011a). Performance of eggplant grafted onto cultivated, wild and hybrid materials of eggplant and tomato. *International Journal of Plant Production*, 5(4): 367-380.
- Gisbert, C., Prohens, J., Raigón, M.D., Stommel, J.R. & Nuez, F. (2011b) Eggplant relatives as sources of variation for developing new rootstocks:

- Effects of grafting on eggplant yield and fruit apparent quality and composition. *Scientia Hort* 128:14–22
- Goggin, F.L., Jia, L., Shah, G., Hebert, S., Williamson, V.M. & Ullmand, E. (2006). Heterologous expression of the Mi-1.2 gene from tomato confers resistance against nematodes but not aphids in eggplant. *Proceedings of the American Society for Horticultural Sciences*, Vol. 19, No. 4, 2006, pp. 383–388.
- Gonzalez, L.C. (2009). Tomato rootstocks for the control of *Meloidogyne* spp: charaterization and evaluation of the resistance response conferred by the Mi-1 gene in tomato rootstocks. PhD Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 226 pp.
- Greco, N. & Di Vito, M. (2009). Population dynamics and damage level. In: Perry R.N, Moens M., Starr J.L, eds. *Root-knot Nematodes*. Wallingford, UK: CAB International, 246–74.
- Gürdemir, E. & Ağdacı, M. (1975). Güney Anadolu Bölgesi sebze seralarında zarar yapan kök-ur nematodları (*Meloidogyne* spp.) üzerinde sürvey çalışmaları. *Bitki Koruma Bülteni*, 15 (3): 176-81 s.
- Gürkan, B., Kantarcı, Z., Karataş, K., Gürkan, T., Çetintaş, R. (2018). Bazı biber hat ve çeşitlerinin kontrollü şartlar altında *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 ırk 1'e karşı reaksiyonu. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, ISSN: 1300-2910, 35 (2), 111-118 s.
- Gürkan, T. (2017). Kahramanmaraş bölgesindeki bitki paraziti nematodların morfolojik, biyokimyasal, moleküler metotlar ile teşhisi ve uygun mücadele olanaklarının araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik ve Bilimleri Anabilim Dalı,Doktora Tezi, 126 s.
- Haase, S., Marhan, S., Hallmann, J., Ruess L, Poll J., & Kandeler E. (2007). Low amounts of herbivory by root-knot nematodes affect microbial

- community dynamics and carbon allocation in the rhizosphere. FEMS Microbiol Ecol. 62 (3): 268–279. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00383.x> PMID: 17916076
- Hebert, Y. (1985). Resistance comparee de 9 especes du genre *Solanum* au flettrissement bacterien (*Pseudomanas solanecearum*) et au nematode *Meloidogyne incognita*. Interet pour l'amelioration de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) en zone tropicale humide. Agronomie, 5 (1): 27-32.
- Hekimoğlu, G. (1975). İzmir İzmir ve Çevresi Solanaceae familyasına ait önemli bitki türlerinde kök-ur nematodlarının (*Meloidogyne* spp.) (Nematoda: Heteroderidae) tanınmaları, zararı ve populasyon yoğunlukları üzerinde araştırmalar, Zirai Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bornova, İzmir, s. 113.
- Hill C.B., Chirumamilla A. & Hartman G.L. (2012): Resistance and virulence in the soybean-*Aphis glycines* interaction. Euphytica, 186: 635–646.
- Hussain, M.A., Fatima, I., Mukhtar, T., Aslam, M.N. & Kayani, M.Z. (2015). Effect of inoculum density of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on damage potential in eggplant. Mycopath, 13(1): 33-36.
- Ibrahim IKA (2006) Diseases and pests of vegetable crops and control methods. Monshaat Al-Maarf Publisher, Alexandria
- Ismael JHS, Sulaiman SM, Muhidden A, Faraj SM & Abdul-Khaliq H (2017) Control of root knot nematode of eggplant and its effect on plant growth. Int J Forest Horticult 3(2):28–34
- İmren, M., Özarslandan, A., Kasapoğlu, B.E., Toktay, H. & Elekçioğlu, İ.H. (2014). Türkiye buğday faunası için yeni bir tür, *Meloidogyne artiellia* Franklin, 1961. Türkiye Entomoloji Dergisi, 38 (2): 189-196 s.
- Johnson, A.V. & Fassuliotis, G. (1984). Nematode Parasites of Vegetable Crops. W.R., Nickle. Plant and Insect Nematodes. Marcel Deccer Inc., New York and Basel, s. 323-372.

- Kaçar G (2011). Türkiye’de Bulunan Kök-ur Nematodu Türlerinin (*Meloidogyne* spp.) (Nemata:Meloidogynidae) Irklarının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi,49 s.
- Kahya, D. (2023). A comparative study of two-sex life table parameters of *Orius laevigatus* fieber (Hemiptera: anthocoridae) on two mealybug species, *Planococcus citri* Risso, and *P. solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1), 92.
- Kahya, D. (2024). Two-Sex Life Table Analysis of *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae) on Lettuce, Parsley, and Rocket. *Horticultural Studies*, 41(3), 124-129.
- Kahya, D., Görür, S. E., Doğru, A., & Karut, Ş. T. (2024). The oviposition preference of predatory insect, *orius laevigatus* (fieber, 1860)(hemiptera: anthocoridae), on different succulent plants. *International Journal of Tropical Insect Science*, 44(3), 1375-1381.
- Kalloor, G. (1993). Genetic Improvement of Vegetable Crops (Edited by: G. Kalloor and B. O. Bergh). Printed in Great Britain by B.P.C.C wheatons Ltd, Exeter, 587- 604.
- Kandoliya U.K., Bajaniya V.K., Bhagja N.K., Bodar N.P. & Golakiya B.A. (2015): Antioxidant and nutritional components of eggplant (*Solanum melongena* L) fruit grown in Saurashtra region. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4: 806–813.
- Kasapoğlu, U.E., İmren, M. & Elekçioğlu, İ.H. (2014). Adana ilinde önemli kültür bitkilerinde bulunan bitki paraziti nematod türleri. *Turkish Journal of Entomology*, 38 (3), 333-350
- Kashyap, V., Kumar, S.V., Collonier, C., Fusari, F., Haicour, R., Rotino, G.L., Sihachakr, D. & Rajam, M.V. (2003). Biotechnology of eggplant. *Scientia. Horticulturae*, 97(1): 1-25.

- Kassi, A.K., Javed, H. & Mukhtar, T. (2019). Screening of different aubergine cultivars against infestation of brinjal fruit and shoot borer (*Leucinodes orbonalis* Guenee). *Pakistan J. Zool.*, 51(2): 603-609.
- Kaşkavalcı, G. & Öncüer, C. (1999). Aydın İli'nin yazlık sebze yetiştirilen önemli bölgelerinde bulunan *Meloidogyne Goeldi*, 1887 (Tylenchida: Meloidogynidae) türlerinin yayılışları ve ekonomik önemleri üzerinde araştırmalar. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 23 (2): 149-160 s.
- Kepenekci, İ., Yeşilayer, A., Atay, T., Sağlam, N. & Peçen, A. (2020). Tokat (Türkiye) İli Sebze (Domates, Hıyar, Biber ve Patlıcan) Ekiliş Alanlarında Tylenchida (Nematoda) Takımına Bağlı Bitki Paraziti Nematod Türlerinin Belirlenmesi. *Bahçe*, 49(2), s. 59- 66.
- Kepenekçi, İ., Öztürk, G. & Evlice, E. (2002). Ülkemiz örtü altı sebze üretiminde sorun olan yeni bir kök-ur nematodu türü (*Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887) ve diğer kök-ur nematodu türleri. IV. Sebze Tarımı Sempozyumu, s. 55, Bursa.
- Khan, R. (1979). *Solanum melongena* and its ancestral forms. In: J. G. Hawkes, R. N. Lester and A. D. Skelding (eds.). *The biology and taxonomy*, 629-636.
- King, S. R., Davis, A. R., Zhang, X. & Crosby, K. (2010). Genetics, breeding and selection of rootstocks for Solanaceae and Cucurbitaceae. *Scientia horticulturae*, 127(2): 106-111.
- Külahlıoğlu, İ. (2016). Patlıcanda Türlerarası Melezleme (*Solanum melongena* L. X *Solanum torvum* Sw.) Engelinin Aşılması Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.
- Lee, J. M. (1994). Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits. *HortScience*, 29(4): 235-239.
- Matsubara, K., Kaneyuki, T., Miyake, T. & Mori, M. (2005). Antiangiogenic activity of nasunin, an antioxidant anthocyanin, in eggplant peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(16): 6272-6275.

- Matsuzoe, N., Okubo, H. & Fuiieda, K. (1993). Resistance of tomato plants grafted on *Solanum* rootstocks to bacterial wilt and root-knot nematode. Society of Horticultural Sciences, 61(4): 865-872.
- Mekete, T., Decraemer, W., Wesemael, W.M.L., Seid, A. & Fininsa, C. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a century old battle. Nematology, 17: 1-15.
- Mıstanoğlu, İ. & Devran, Z. (2015). Kök-ur nematodları ve konukçuları arasındaki ilişkiler. U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 29(1): 37-46.
- Mıstanoğlu, İ., Özalp, T. & Devran, Z. (2016). Response of tomato seedlings with different number of true leaves to *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949. Turkish Journal of Entomology, 40(4): 377- 383.
- Mo, J., Wang, Y., Hu, F. & Guo, T. (2011). Diagnosis and control techniques of major diseases of eggplant in Guangxi. J Chang Vegetables. 18: 67–70. <https://doi.org/10.3865/j.issn.1001-3547.2011.18.023>
- Moens, M., Viaene, N. & Wesemael, W.M.L. (2011). Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe. Nematology. 13: 3-16.
- Murata, G. & Uesugi, K. (2020). Parasitism of *Solanum torvum* by *Meloidogyne hapla* populations from Japan. Journal of Phytopathology, 169:122–128.
- Nayak, N. & Sharma J.L. (2013). Evalution of brinjal (*Solanum melongena*) varieties for resistance to root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. Global journal of bio-science and biotechnology. Vol.2(4); 560-562.
- Netscher, C. & Sikora, R.A. (1990). Nematode parasites of vegetables. In: Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. Luc, M.; Sikora, R.A. and Bridge (eds.). CAB International, 237-283.
- Nisha, P., Nazar, P.A. & Jayamurthy, P. (2009). A comparative study on antioxidant activities of different varieties of *Solanum melongena*. Food and Chemical Toxicology, 47(10): 2640-2644.

- Noling JW. (2019). Nematode Management in Tomatoes, Peppers, and Eggplant. University of Florida publication Series no. ENY-032, USA, p 16
- Oguz Ozdemir, I., Tuncer, C., Dogan, F., & Kahya, D. (2025). Determination of Resistance of Five Turkish Chickpea Cultivars to the Cowpea Weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.)(Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae), Using Age-Stage Two-Sex Life Table Analysis. *Journal of Crop Health*, 77(4), 108.
- Öçal S. & Devran Z. (2019). Response of eggplant genotypes to avirulent and virulent populations of *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 (Tylenchida: Meloidogynidae). *Türkiye Entomoloji Dergisi*. 43 (3):287-300.
- Öçal S., Özalp T. & Devran Z. (2018). Reaction of wilt eggplant *Solanum torvum* to different species of root-knot Nematodes from Turkey. *Journal of Plant Diseases and Protection*. <https://doi.org/10.1007/s41348-018-0167-3>.
- Özarslandan, A., Devran, Z., Mutlu, N. & Elekçioğlu, İ.H. (2009). First report of Columbia Root-Knot nematode (*Meloidogyne chitwoodi*) in potato in Turkey. *Plant Disease*, 93(3):316.
- Özarslandan, A. & Elekçioğlu, İ.H. (2010). Türkiye'nin farklı alanlarından alınan kök-ur nematodu türlerinin (*Meloidogyne* spp.) (Nemata: Meloidogynidae) moleküler ve morfolojik tanılama ile belirlenmesi, *Türkiye Entomoloji Dergisi*, 34(3): 323-35 s.
- Özarslandan, A. (2009). Türkiye'nin Farklı Bölgelerinden Alınan Kök-Ur Nematodu Türlerinin (*Meloidogyne* Spp.) Tanısı ve Bazı Kök-Ur Nematodu Populasyonlarının Virülenliğinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 84s, Adana.
- Özarslandan, A., Ata, A. & Keles, D. (2019). Investigation of Resistant of Eggplant Genotypes Against Root-Knot Nematode (*Meloidogyne*

- incognita* (Kofoid&White, 1919) Chitwood, 1949). Fresenius Environmental Bulletin, Volume 28- No. 6/2019 pages 4811-4815.
- Öztüzün N. (1970). Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi kültür bitkilerine arız olan bitki paraziti nematodları üzerinde sürvey çalışmaları, Bitki Koruma Bülteni, 10 (3): 180-97 s.
- Pehlivan, E. & Kaşkavalcı, G. (1993). Sanayi domates üretim alanlarında kök-ur nematodlarının (*Meloidogyne* spp) yayılışı ve bulaşıklık oranı üzerinde araştırmalar, SANDOM çalışma raporu, No: 6, 61-8 s.
- Perry, R.N., Moens, M. & Starr, J.L. (2009). Root-knot nematodes. In: Nyczepir, A.P. and Thomas, S.H., eds. Current and Future Management Strategies in Intensive Crop Production Systems, CAB International, pp. 412-435.
- Rahman M.A., Rashid M.A., Salam M.A., Masum A.S.M.H. & Hussain M.M. (2002). Performance of some grafted eggplant genotypes on wild *Solanum* root stocks against root-knot nematode. Online Journal of Biological Sciences. 2(7):446–448.
- Rahman MM, Nahar K, Ali MM, Sultana N, Karim MM, Adhikari UK, Rauf M & Azad MAK (2020) Effect of long-term pesticides and chemical fertilizers application on the microbial community specifically anammox and denitrifying bacteria in rice field soil of Jhenaidah and Kushtia District. Bull Environ Contam Toxicol, Bangladesh. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02870-5>
- Roberts, P. A. (2002). Concepts and consequences of resistance. In J. L. Starr, R. Cook & J. Bridge (Eds.), Plant resistance to parasitic Nematodes. pp. 23–41. Wallingford: CAB International.
- Rotino, G. L., Sala, T., & Toppino, L. (2014). “Eggplant,” in Alien Gene Transfer in Crop Plants, Vol. 2, eds A. Pratap and J. Kumar (New York, NY: Springer), 381– 409.

- Sasser, J. N. (1977). Worldwide dissemination and importance of the rootknot nematode, *Meloidogyne* spp. *Journal of Nematology*. 22:585-589.
- Seid, A., Fininsa, C., Mekete, T., Decraemer, W. & Wesemael, W.M. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a century- old battle. *Nematology*, 17(9): 995-1009.
- Sekara, A., Cebula, S. & Kunicki, E. (2007). Cultivated eggplants – origin, breeding objectives and genetic resources, a review. *Folia Horticulturae*, 19(1): 97-114.
- Shaaban M.H., Mahdy M.E., Selim M.E. & Mousa S.M. (2023): Pathological, chemical and molecular analysis of eggplant varieties infected with root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *Egyptian Journal of Crop Protection*, 18: 1–13.
- Siddiqi, M.R. (2000). *Tylenchida Parasites of Plants and Insects*. CABI publishing. CAB International, Wallingford, UK. 2 nd. Editon, 805 pp.
- Siddiqi, M.R. (1986). *Tylenchida: parasites of plants and insects*. Commonwealth Institute of Parasitology, CAB, Wallingford, Oxon, UK, pp 645.
- Sim S.F., Chung L.Y., Jonip J. & Chai L.K. (2019). Uptake and dissipation of carbofuran and its metabolite in Chinese kale and brinjal cultivated under humid tropic climate. *Advances in Agriculture*, 2019: 7937086.
- Sonawane, M.L. & Darekar, K.S. (1984). Reaction of eggplant cultivars and *Solanum* species to *Meloidogyne incognita*. *Nematologia Mediterranea*, 12(1): 149.
- Söğüt, M.A. & Elekçioğlu, İ.H. (2000). Akdeniz Bölgesi'nde sebze alanlarında bulunan *Meloidogyne Goeldi*, 1892 (Nemata: Heteroderidae) türlerinin ırklarının belirlenmesi. *Türkiye Entomoloji Dergisi* 24(1): 33-40 s.
- Stirling, G.R. (1991). *Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes*, CAB International, Wallingford, Oxon, 50-85.

- Trudgill, D.L. & Blok, V.C. (2001). Apomictic Polyphagous Root Knot Nematodes: Exceptionally Successful and Damaging Biotrophic Root Pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 39: 53–77.
- Uehara, T., Sakurai, M., Oonaka, K., Tateishi, Y., Mizukubo, T. & Nakaho, K. (2016). Reproduction of *Meloidogyne incognita* on eggplant rootstock cultivars and effect of eggplant rootstock cultivation on nematode population density. *Nematological Research*, 46(2): 87-90.
- Uehara, T., Tateishi, Y., Kadota, Y. & Iwahori, H. (2017). Differences in parasitism of *Meloidogyne incognita* and two genotypes of *M. arenaria* on *Solanum torvum* in Japan. *Journal of Phytopathology*, 165(9): 575-579.
- Ullah, Z., Anwar, S.S., Javed, N., Khan, S.A. & Shahid, M. (2011). Response of six eggplant cultivars *Meloidogyne incognita*. *Pakistan Journal of Phytopathology*, 23(2): 152-155
- Ulusoy, S., Kahya, D., Gökhan, M. & Özgür, O. (2023). Insecticide resistance of *Aphis gossypii* Glover, 1877 (Hemiptera: Aphididae) in cotton fields in Çukurova Region (Türkiye). *Turkish Journal of Entomology*, 47(4), 387-399.
- Whitehead, A.G. (1968). Taxonomy of *Meloidogyne* (Nematoda: Heteroderidae) with descriptions of four new species. *Transactions of the Zoological Society of London* 31: 263-401 .
- Williamson, V.M. (1998). Root-knot nematode resistance genes in tomato and their potential for future use. *Annual Review of Phytopathology*, 36: 277-293.
- Williamson, V.M. & Hussey, R.S. (1996). Nematode pathogenesis and resistance in plants. *The Plant Cell*, 8(10): 1735-1745.
- Wyss, U., Grundler, F.M.W. & Munch, A. (1992). The parasitic behaviour of second stage juveniles of *Meloidogyne incognita* in root of *Arabidopsis thaliana*. *Nematologica*, 38(1): 98-111.

- Yayla, M., Kahya, D., Hazır, A., & Atakan, E. (2024a). Assessment of thrips species diversity and their impact on lemon orchards in the Eastern Mediterranean Region of Türkiye. *Plant Protection Bulletin*, 64(2), 37-44.
- Yayla, M., Kahya, D., & Keçe, A. F. Ç. (2024b). The Determination Mealybug Species and Natural Enemies in Pitaya Greenhouses in the Mediterranean Region. *Horticultural Studies*, 41(2), 60-65.
- Yüksel, H.Ş. (1966). Karadeniz Bölgesi'nde tesadüf edilen *Meloidogyne incognita* varyasyonu hakkında. Bitki Koruma Bülteni, 6: 35-38 s.
- Yüksel, H.Ş. (1974). Kök-ur Nematodlarının (*Meloidogyne* spp.) Türkiye'deki Durumu ve Bunların Popülasyon Problemleri Üzerinde Düşünceler. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(1): 83-105.
- Zayed, G.A., Abdo, A.A., Hammam, H.B. & Khafagi, E.Y. (2017). Cultivation and production of pepper and eggplant in Egypt. Technical issue No. 15, General Administration of Agricultural Culture, Ministry of Agriculture, Egypt.
- Zhuang, Y., Zhou, X. & Wang, S. (2012). Genetic diversity of NBS–LRR class disease- resistance gene analogs in cultivated and wild eggplants. *Plant Syst. Evol.*, 298: 1399-1406.

BÖLÜM 13

***SOLANACEAE* FAMILİYASINDA SÜS BİTKİLERİ: MEVCUT TÜRLER, YABANI POTANSİYEL VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ**

Doç. Dr. Fazilet PARLAKOVA KARAGÖZ^{1,*}

Prof. Dr. Atilla DURSUN²

DOI: <https://www.doi.org/10.5281/zenodo.18068345>

¹ Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Erzurum, Türkiye.
f.parlakova@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7417-1716

² Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Erzurum, Türkiye.
atilladursun@atauni.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8475-8534

*: Sorumlu yazar

GİRİŞ

Solanaceae (Patlıcangiller) familyası, dünya genelinde yaklaşık 2.700'den fazla tür içeren ve ekonomik ile ekolojik açıdan büyük öneme sahip bir bitki grubudur (Knapp, 2002; Olmstead ve ark. 2008). Familya, yüksek tarımsal değere sahip domates (*Solanum lycopersicum*), patates (*Solanum tuberosum*) ve biber (*Capsicum* spp.) gibi kültür bitkilerinin yanı sıra, morfolojik çeşitlilikleri ve estetik özellikleri ile süs bitkisi olarak değerlendirilen birçok türü de kapsamaktadır (D'Arcy, 1991). Özellikle *Browallia*, *Brunfelsia*, *Cestrum*, *Datura*, *Lycium*, *Nicotiana*, *Nierembergia*, *Petunia*, *Physalis*, *Salpiglossis*, *Schizanthus*, *Solanum*, *Solandra* ve *Streptosolen* cinslerine ait türler, gösterişli çiçekleri, renk zenginlikleri ve farklı büyüme formları nedeniyle süs bitkisi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Solanaceae ailesi, morfolojik ve ekolojik açıdan oldukça geniş bir çeşitlilik sergilemektedir. Familyada yıllık ve çok yıllık otsu türlerin yanı sıra çalı, sarılıcı ve tırmanıcı formda gelişen bitkiler de bulunmaktadır (Hunziker, 2001; Knapp, 2002). Bu form çeşitliliği, familyanın bahçe ve peyzaj düzenlemelerinde estetik ve fonksiyonel açıdan farklı kullanım olanakları sunmasını sağlamaktadır. Ayrıca, familya türlerinin yüksek adaptasyon kabiliyetleri, farklı iklim ve çevre koşullarına uyum sağlamalarını mümkün kılmakta; bu özellik, süs bitkisi üretiminde çeşitli iklim bölgelerine uygun çeşitlerin geliştirilmesine imkân tanımaktadır (Bohs, 2005; Olmstead ve ark. 2008).

Solanaceae familyasının süs bitkisi potansiyeli, yalnızca mevcut türlerle sınırlı olmayıp, ıslah ve melezleme çalışmalarıyla da yeni varyantların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Örneğin, *Petunia hybrida* modern

süs bitkisi ıslahında model bir tür olarak kullanılmakta; *Nicotiana alata* ve *N. tabacum* ise hem süs bitkisi hem de endüstriyel amaçlarla değerlendirilmektedir (Chase ve ark. 2003). Bu çeşitlilik ve genetik zenginlik, *Solanaceae* familyasını süs bitkileri sektöründe sürdürülebilir çeşitler geliştirme açısından önemli bir genetik kaynak hâline getirmektedir.

Bu derlemenin temel amacı, *Solanaceae* familyasının süs bitkisi potansiyelini sistematik ve kapsamlı bir biçimde değerlendirmek, türlerin morfolojik, ekolojik ve estetik özelliklerini detaylı olarak ortaya koymaktır. Ayrıca, toksik özellikler ve kültürel üretimde karşılaşılabilecek sınırlamalar gibi önemli faktörlere dikkat çekerek, sürdürülebilir üretim ve peyzaj uygulamalarında bilinçli karar alınmasına katkı sağlamak hedeflenmiştir. Bu çalışma, *Solanaceae* familyasının mevcut bilimsel durumunu sentezlerken, gelecekteki araştırma ve ıslah çalışmalarına yol gösterici bir kaynak olmayı ve çeşitlerin geliştirme süreçlerini desteklemeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle derleme, hem akademik literatüre hem de uygulamalı peyzaj ve üretim alanlarına stratejik bir perspektif sunarak, *Solanaceae* familyası'nın süs bitkisi olarak potansiyelinin etkin bir şekilde kullanılmasına ışık tutacaktır.

1. SOLANACEAE FAMILİYASINA AİT BAŞLICA SÜS BİTKİLERİ VE ÖZELLİKLERİ

1.1. *Brugmansia* spp. (Meleklerin Trompeti)

Brugmansia türleri, Güney Amerika'nın And bölgesine özgü odunsu çalı veya küçük ağaç formunda bitkilerdir (Fine Gardening, 2025). Türler

(Şekil 1), büyük ve gösterişli çiçekleri ile aromatik kokuları sayesinde uzun süredir süs bitkisi olarak değerlendirilmektedir (Preissel ve Preissel, 2002).

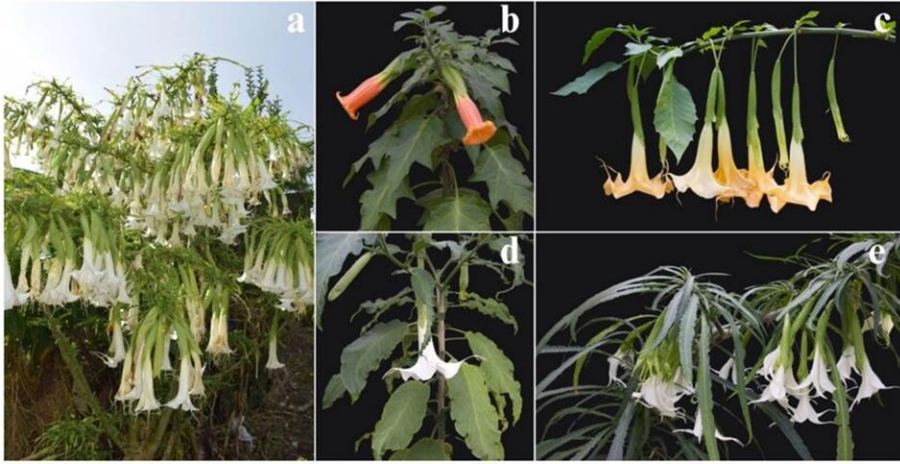
Bitkiler genellikle 2–5 m yüksekliğe ulaşan odunsu çalı veya küçük ağaç formunda gelişir. Yapraklar geniş, tüylü yüzeyli ve oval biçimdedir. Çiçekler sarkık ve trompet biçiminde olup, uzunlukları 20–50 cm arasında değişir. Çiçek renkleri beyaz, sarı, pembe, somon ve turuncu tonlarında ve çiçeklenme genellikle yaz sonu ile sonbahar döneminde yoğunlaşır (Fine Gardening, 2025) (Şekil 1). Bazı hibrit çeşitlerde yıl boyunca aralıklı çiçeklenme gözlenebilir.

Ekolojik gereksinimler açısından, türler ılıman ve sıcak iklimlerde tam güneş veya yarı gölge alanları tercih eder. Don olaylarına karşı hassas olduklarından, serin iklimlerde saksıda yetiştirilmeleri ve kış aylarında iç mekâna alınmaları önerilmektedir (Exotic Earth Plants, 2025). Toprak olarak organik maddece zengin, iyi drene edilmiş ve nemli ortamlar tercih edilir; kurak dönemlerde düzenli sulama çiçeklenme kalitesi ve yaprak sağlığı açısından önemlidir (Navie, 2012).

Çoğaltımda, yaz sonu–ilkbahar döneminde alınan yarı odunsu çelikler yaygın olarak kullanılır. Tohumla üretim mümkün olmakla birlikte, süs amaçlı hibrit çeşitlerde genetik varyasyon nedeniyle tercih edilmemektedir (Exotic Earth Plants, 2025). Tüm bitki kısımları tropan alkaloidleri (skopolamin, hiyosiyamin, atropin) içerdiğinden toksik özellik taşımakta ve çocuklar ile evcil hayvanlar için risk oluşturabilmektedir (Kim ve ark. 2014).

Estetik açıdan, *Brugmansia* spp., peyzajda “odak bitki” olarak kullanılabilir. Geniş yaprak dokusu, iri sarkık çiçekleri ve yoğun kokusu

sayesinde özellikle teras, veranda ve avlu gibi alanlarda görsel ve kokusal bir merkez oluşturur (Fine Gardening, 2025). Süs bitkisi olarak etkin kullanımı için uygun iklim ve toprak koşullarının sağlanması, uygun çoğaltım materyalinin seçimi ve toksisiteye yönelik kullanıcı bilgilendirmesi gerekmektedir. Hibrit çeşitlerde çiçeklenme süresi, renk varyasyonu ve dayanıklılık özelliklerinin geliştirilmesine yönelik ıslah çalışmaları, türün süs bitkisi sektöründeki değerini artıracaktır.



Şekil 1. *Brugmansia*, trompet şeklindeki çiçekleri ve çeşitli yaprak morfolojileri ile geniş çapta tanınmaktadır. *B. x candida* cv. 'Munchiro' (a); *B. sanguinea* (b); *B. x candida* çeşitleri 'Ocre' (c); 'Amarón' (d); 'Culebro' (e) (Hernández-Duarte ve ark. 2025)

1.2. *Datura* spp. (*Datura* / Aslan Pençesi)

Datura türleri (Şekil 2), *Solanaceae* ailesinde yer alan, genellikle tek yıllık veya çok yıllık otsu bitkilerdir. Orta ve Güney Amerika kökenli olan bu türler, geniş çiçekleri ve etkileyici görünüşleri nedeniyle süs bitkisi olarak kullanılmaktadır (Eren ve Çalışkan, 2015; Preissel ve Preissel, 2002).

Bitkiler, genellikle 0,5–2 m yüksekliğe kadar büyüyebilir. Yapraklar geniş, loblu veya oval şekilli olup, tüysüz veya hafif tüylüdür. Çiçekler trompet biçiminde, genellikle 10–20 cm uzunluğunda ve beyaz, mor, sarı ya da krem renklerinde olabilir. Çiçeklenme, yaz başından sonbahara kadar sürer ve yoğun olarak gündüzleri açar (Navie, 2012).

Datura türleri, tam güneş veya yarı gölge alanlarda optimum gelişim gösterir. Toprak olarak organik madde açısından zengin, iyi drene edilmiş ve nemli ortamları tercih ederler. Kurak dönemlerde düzenli sulama çiçeklenmeyi olumlu etkiler (Exotic Earth Plants, 2025).

Çoğaltım genellikle tohumla yapılır; ancak bazı türlerde odunsu çeliklerle de üretim mümkündür. Tüm bitki kısımları toksik alkaloidler (skopolamin, hiyosiyamin, atropin) içerir ve tüketildiğinde ciddi sağlık riskleri oluşturur (Kim ve ark. 2014). Bu nedenle süs bitkisi olarak kullanımda dikkatli olunmalıdır.

Estetik açıdan, *Datura* spp., bahçe ve peyzaj tasarımlarında dikkat çekici odak noktaları oluşturur. Büyük çiçekleri ve karakteristik yaprakları sayesinde veranda, avlu veya park alanlarında görsel etki yaratır. Islah çalışmaları, çiçek renkleri, dayanıklılık ve çiçeklenme süresini artırmaya yönelik olarak sürdürülmektedir (Şekil 2).

Bu cinse ait türlerden biri *Datura metel* L.'dir. Yaygın olarak 'Şeytan Borusu' veya 'Melek Borusu' olarak bilinen (Tohmé ve Tohmé, 2014; Silva ve ark. 2015), *Datura metel* L., Brezilya'da doğal olarak yetişen bir çalıdır (Stehmann ve ark. 2015) (Şekil 2. A, B). Bu tür, kendini yırtıcılardan ve patojenlerden korumak için kimyasal bileşikler üretmekte ve bu nedenle insanlar da dahil olmak üzere diğer organizmalar için toksik ve tahriş edici olabilmektedir (Trancrã ve ark.

2017). Toksisitesine rağmen birçok estetik özelliği nedeniyle süs bitkisi olarak yetiştirilmekte ve çiçek renkleri, şekilleri ve genel yönleriyle diğer bitkilerden farklılık göstermektedir (Teixeira, 2020).

Datura cinsine ait diğer bir tür olan, *Datura suaveolens* Humb. & Bonpl. ex Willd., Patlicangiller (Solanaceae) familyasına ait, tropikal ve subtropikal bölgelerde yaygın olarak yetişen bir yıllık veya kısa ömürlü otsu bitkidir. Türün en belirgin morfolojik özelliği, 15–30 cm uzunluğa ulaşabilen, büyük trompet biçimli ve genellikle beyaz renkte çiçekleridir; bazı varyantlarda krem, sarı ve hafif pembe tonlar da gözlenmektedir (Silva ve ark. 2015). Bu çiçek morfolojisi ve bitkinin kompakt büyüme formu, *D. suaveolens*'i süs bitkisi olarak değerlendirilebilir hâle getirmektedir. Literatürde, bu türün bahçelerde, iç mekan saksılarında ve tropik peyzaj tasarımlarında estetik amaçlı yetiştirildiği vurgulanmıştır (Silva ve ark. 2015; Teixeira, 2020). *D. suaveolens*, görsel çekiciliğinin yanı sıra hızlı büyüme potansiyeli ve nispeten geniş çevresel toleransı ile peyzaj uygulamalarında avantaj sağlamaktadır (Teixeira, 2020). Bununla birlikte, tüm bitki kısımları tropan alkaloidleri (skopolamin, hiyosiyamin ve atropin) içerdiğinden, toksisite açısından dikkatli olunmalıdır; özellikle çocukların veya evcil hayvanların bulunduğu alanlarda yetiştirilmesi önlemlerle desteklenmelidir (Rätsch, 2005; Silva ve ark. 2015). Kültürel çoğaltım açısından, tohumla üretim yaygındır ve uygun koşullarda yarı odunsu çeliklerle de çoğaltılabilir (Teixeira, 2020). Bununla birlikte, dekoratif potansiyelin maksimize edilmesi için çiçek boyu, çiçek rengi ve bitki formu açısından seleksiyon çalışmaları önerilmektedir. Ayrıca, süs bitkisi olarak kullanımında, güvenlik ve

toksosite yönetimi stratejileri geliştirmek, özellikle halkın toksisite açısından bilinçlendirilmesi önem taşır.

1.3. *Petunia* spp. (Petunya)

Petunia türleri, Solanaceae familyasının en yaygın süs bitkilerinden biri olup, özellikle bahçe ve saksı bitkisi olarak dünya genelinde yaygın biçimde yetiştirilmektedir (Hauck ve Stam, 2000; Preissel ve Preissel, 2002). Güney Amerika kökenli olan türler, kültür çeşitleri ve hibritleri ile geniş bir renk ve çiçek formu yelpazesi sunmaktadır.

Bitkiler genellikle 20–50 cm boylanır ve otsu bir form gösterir. Yapraklar küçük, yumurtamsı veya eliptik ve tüysüzdür. Çiçekler trompet biçiminde olup, 5–9 cm uzunluğundadır ve mor, pembe, kırmızı, beyaz, lavanta gibi birçok renk varyasyonu gösterir. Hibrit çeşitlerde çiçek formu tek veya katmerli olabilir (Royal Horticultural Society, 2023). Çiçeklenme yaz başından sonbahara kadar devam eder ve uygun bakım ile yıl boyunca sürdürülebilir.



Şekil 2. (A) *Datura metel* beyaz çiçeği; (B) *Datura metel* meyvesi; (C) *Datura innoxia* L. Beyaz çiçekli; (D) *Datura innoxia* meyveleri; (E) *Datura discolor* çiçeği. (Assidqi ve ark. 2025).

Petunia türleri, tam güneş alan ve iyi drene edilmiş topraklarda en iyi gelişimi gösterir. Düzenli sulama ve dengeli gübreleme, çiçek sayısı ve kalitesini artırır (Broschat, 2016). Bitkiler tohum veya çelikle çoğaltılabilir; hibrit çeşitler genellikle tohum yoluyla üretilir. Genel olarak toksik değildirler. Ancak yoğun gübreleme ve pestisit kullanımında yapraklarda yanma görülebilir (Griesbach, 2007).

Estetik açıdan, *Petunia* spp., balkon, teras ve bahçelerde renkli ve sürekli çiçeklenme sağlayan bitkiler olarak tercih edilmektedir. Peyzaj düzenlemelerinde kenar bitkisi, saksı bitkisi veya asma formu türler olarak farklı kullanım olanakları mevcuttur. Genetik çeşitlilik ve melezleme çalışmaları, çiçek renkleri, dayanıklılık ve büyüme formunu geliştirmeye yönelik olarak sürdürülmektedir.

Petunya (*Petunia* × *hybrida*), Solanaceae familyasında yer alan ve kültüre alınmış en yaygın mevsimlik süs bitkilerinden biridir. Çiçekleri huni şeklinde, simetrik ve oldukça renk çeşitliliği içerir: beyaz, sarı, pembe, kırmızı, mor ve mavimsi tonlara kadar uzanan bir palet söz konusudur (Nakamura ve ark. 2004). Modern hibrit ıslah programlarında, daha iri çiçekli formlar, yoğun dallanma ve dış koşullara (rüzgâr, yağış) dayanıklı genotipler özellikle geliştirilmiştir (Trinklein, 2012). Bu özellikler, petunyanın balkon ve pencere önü saksı bitkisi olarak, ayrıca dış mekân bordür ve yer örtücü uygulamalarda yaygın kullanılmasına temel oluşturur.

Yetiştirme koşulları bakımından petunyalar tam güneşli alanları tercih eder; iyi drene edilmiş ve hafif geçirgen ortamlarda başarılı bir çiçeklenme gösterirler. Aşırı sulama veya durgun kök koşulları çiçeklenme azalmasına, gövde uzamasına ve görsel kalitenin düşmesine

yol açabilir (Petunia Culture Guide, 2014). Literatürde, *Petunia* × *hybrida*'nın konteyner veya çatılı sistem koşullarında su kısıtı düzeylerine uyum sağlayabildiği, kök hacmi ve substrat tipinin ise bitkinin süs değeri, biyokütle gelişimi ve estetik performansını doğrudan etkilediği belirlenmiştir (van Iersel ve ark. 2010; Kim ve ark. 2011; Danaher ve ark. 2013; Tomasella ve ark. 2022; Grubač ve ark. 2025). Bu veriler, petunyanın peyzaj ve çevresel stres koşullarına karşı belirli düzeyde toleransı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, petunyaların süs bitkisi olarak üretim-kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı teknik ve genetik hususlar vardır. Yetiştiricilik açısından, hibrit formlara dayalı üretim büyük ölçüde tohumla yapılmakta olup, markalı F₁ hibritlerin homojen çiçek kalitesi ve formu açısından çelikle çoğaltım sistemleri sınırlıdır; çünkü çoğu hibrit tohum üretimi özel anaç-çelik sistemlerine dayanmaktadır (USDA, 2013).

1.4. *Nicotiana alata* (Süs Tütünü)

Nicotiana alata (Solanaceae), özellikle süs bitkisi pazarında yaygın olarak kullanılan bir türdür (Şekil 3). Yaprakları geniş, yapışkan ve parlak bir yüzeye sahiptir. Çiçekler tüp biçiminde olup genellikle akşam saatlerinde açar; renkleri beyaz, açık yeşil veya pembe tonlarında olabilir. Çiçekler gece saatlerinde belirgin bir koku yayar, bu özellik türü gece bahçeleri, aroma odaklı peyzaj projeleri ve koku duvarı gibi uygulamalar için uygun kılmaktadır (Weiss, 2002).

Optimum gelişme için *N. alata*, güneşli ve iyi drene edilmiş toprakları tercih eder, ancak yarı gölgeli alanlarda da çiçeklenebilir. Tohumla kolayca çoğaltılabilmesi, türü mevsimlik süs bitkisi olarak kullanım

açısından avantajlı kılmaktadır. Güncel hibrit çeşitler farklı çiçek renkleri sunarak dekoratif yelpazeyi genişletmektedir (Jora Dahl, 2025).

Türün içerdiği nikotin ve diğer alkaloidler, özellikle yaprak teması ile alerjik reaksiyon gösterebilecek bireyler açısından dikkat gerektirir. Bu nedenle çocukların ve evcil hayvanların bulunduğu alanlarda kullanımına özel dikkat gösterilmelidir (Pakdeechanuan ve ark. 2012).

1.5. *Cestrum nocturnum* (Gece Yasemini)

Cestrum nocturnum (Solanaceae), yarı herdem yeşil bir çalı türüdür (Şekil 4). Çiçekleri küçük, tüp biçiminde ve soluk yeşilimsi-beyaz renktedir. Çiçekler gündüz görünüm olarak belirgin olmayabilir; ancak gece saatlerinde yoğun bir koku yayar. Türün boyu 2–4 metreye kadar ulaşabilir. Tropikal ve subtropikal iklimlerde iyi gelişir, hafif gölgeye tolerans gösterir ve don olaylarına karşı hassastır (Huxley, 1992).



Şekil 3. *Nicotiana glauca* Link & Otto (Anonim, 2025)

Kullanım alanları arasında çit bitkisi, fon bitkisi ve gece bahçeleri öne çıkar. Yarı odunsu çeliklerle çoğaltılması yaygındır. Tütün tüm kısımları hafif toksiktir; özellikle meyveler çocuklar için risk oluşturur (Anonim, 2014; Sarkar ve ark. 2016). Toprak tercihi açısından, tür çoğu toprakta yetişebilse de zengin tınlı veya sulanan kumlu topraklarda daha iyi performans gösterir. Killi topraklarda vejetatif büyüme güçlüdür, ancak üretim miktarı sınırlıdır; çakıllı toprakta ise bitkiler bodurlaşır. Su basması veya aşırı sulama bitkiler için zararlıdır (Sarkar ve ark. 2016).



Şekil 4. (A) *Cestrum nocturnum* 'un bitkisi (Satapathy ve ark. 2024); (B) Saksılı *Cestrum nocturnum* (Anonim, 2023); (C) *Cestrum nocturnum* 'un açan çiçekleri (Anonim, 2023)

1.6. *Solanum rantonnetii* (Mavi Patlıcan Çalısı / *Lycianthes rantonnetii*)

Solanum rantonnetii (sin. *Lycianthes rantonnetii*) Solanaceae familyasına ait, Güney Amerika'nın Arjantin ve Paraguay bölgelerine özgü herdem yeşil, odunsu bir çalıdır (Weese ve Bohs, 2007) (Şekil 5). Yoğun dallı ve hızlı büyüyen bir form gösterir. Yaprakları oval ile mızrak biçiminde, pürüzsüz ve hafif dalgalı kenarlıdır; rengi orta ile koyu yeşildir.

Çiçekleri tabak biçiminde, mor-mavi renkte olup ortasında sarı androecium bulunur. Çiçek çapı 2–2.5 cm arasında değişir. Yaz sonundan sonbahara kadar yoğun çiçeklenme gösterir; uygun koşullarda

ilkbahar sonundan itibaren de çiçeklenebilir. Olgun meyveleri kırmızı ve küreseldir (Anonim, 2025a).

Tür güneşli alanlarda optimum çiçeklenme gösterirken hafif gölgeye de toleranslıdır. Toprak açısından humusça zengin, iyi drene edilmiş ve hafif nemli ortamları tercih eder. Donlara karşı hassastır, düşük sıcaklıklarda yaprak dökümü veya sürgün zararları görülebilir; bu nedenle saksılı veya korunaklı yetiştiricilik önerilmektedir (Promesse de Fleurs, 2024; Jardineria On, 2024).



Şekil 5. (A) *Lycianthes rantonnetii* (Venter, 2013); (B) *Lycianthes rantonnetii* 'royal robe' (Descouens, 2025)

Üretim açısından, *S. rantonnetii* yarı odunsu çeliklerle kolayca çoğaltılabilir. Tohumla üretim teknik olarak mümkün olsa da genetik varyasyon nedeniyle ticari süs bitkisi üretiminde tercih edilmemektedir (Royal Horticultural Society, 2025).

Türün toksik alkaloidler içermesi (skopolamin, hiyosiyamin, atropin benzeri bileşikler) nedeniyle yaprak, çiçek ve meyvelere temas, özellikle çocuklar ve evcil hayvanlar için risk oluşturur (Royal Horticultural Society, 2025). Estetik ve fonksiyonel açıdan, yoğun mor-mavi çiçeklenmesi ve kompakt formu ile çit bitkisi, duvar önü veya saksı bitkisi olarak geniş kullanım potansiyeline sahiptir.

2. *SOLANACEAE* AİLESİNE AİT SÜS BİTKİSİ POTANSİYELİ TAŞIYAN YABANI TÜRLER

Solanaceae (Patlıcangiller) familyası, içerisinde yer alan *Schizanthus*, *Solanum* ve *Physalis* cinsleri, özellikle renk zenginliği, çiçek simetrisi ve ekolojik adaptasyon kabiliyetleriyle yeni süs bitkisi adaylarının geliştirilmesi açısından dikkat çekmektedir. Güney Amerika ve Avustralya kökenli bazı yabancı türler, henüz ticari üretime alınmamış olmalarına rağmen süs bitkisi ıslahı için önemli genetik kaynaklar sunmaktadır. Öte yandan, *Solanum dulcamara* ve *Solanum nigrum* gibi Türkiye florasında doğal olarak yayılış gösteren yerli türler de benzer biçimde peyzaj ve süs bitkisi potansiyeli taşımaktadır. Bu başlık altında, henüz ticari üretime alınmamış hem egzotik hem de yerli *Solanaceae* türlerinin, morfolojik, fizyolojik ve üretim özellikleri ele alınmıştır.

2.1. *Schizanthus* cinsine ait türler (*Schizanthus carlomunozii*, *Schizanthus hookeri* ve *Schizanthus porrigens*)

Güney Amerika kökenli *Schizanthus carlomunozii*, *Schizanthus hookeri* (Şekil 6) ve *Schizanthus porrigens* türleri, Şili ve Arjantin florasında doğal olarak yayılış göstermekte olup, henüz ticari olarak yaygın süs bitkisi üretimine alınmamış yabancı türler arasında yer almaktadır (Moreira-Muñoz ve Muñoz-Schick, 2008) (Tablo 1). Bu türler özellikle zygomorfik (iki yanlı simetrik) ve bilabiat (iki dudaklı) çiçek morfolojisi ile dikkat çekmektedir ve farklı renk varyantları sunmaları, süs bitkisi ıslahı açısından önemli bir genetik kaynak oluşturmaktadır (Moreno, Gómez, ve Contreras, 2024).

Ancak bu türlerin üretimi bazı fizyolojik sınırlamalarla kısıtlanmaktadır. Tohumlarının düşük ve düzensiz çimlenme oranlarına sahip olduğu ve

bunun genellikle fizyolojik dormansiden kaynaklandığı bildirilmiştir (Moreno ve ark. 2024). Moreno ve ark. (2024)'nin yaptığı çalışmalar, bu üç türün tohum morfo-anatomi özelliklerini, dormansi tiplerini ve çimlenme gereksinimlerini ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur. Bu özellikler dikkate alındığında, bu türler süs bitkisi ıslah programlarında değerli genetik kaynaklar olarak değerlendirilebilir.

2.2. *Solanum brownii* Grubu: *Solanum nobile* ve *Solanum curvicauspe*

Doğu Avustralya sahil ve iç yamaç bölgelerinde yayılış gösteren, çalı karakterli *Solanum nobile* ve *Solanum curvicauspe* türleri, ticari süs bitkisi kültüründe henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır (Marchant ve ark. 2008). Her iki tür de mavi veya mor çiçekler açmakta ve çalı formunda gelişim göstermektedir. Özellikle *S. nobile*'nin meşe benzeri yaprakları ve iyi dallanmış habitusu; *S. curvicauspe*'nin ise büyük çiçekleri ve az dikenli yapısı, peyzaj ve süs bitkisi potansiyeli sunmaktadır.

Bununla birlikte, bu türlerin ticari üretim açısından bazı kısıtları bulunmaktadır. Türlerde değişen derecelerde dikenli yapının bulunması, çiçeklenmenin aralıklı olması ve meyve-tohum aşamasının henüz kültürde sağlanmamış olması, süs bitkisi olarak kullanımda dikkat edilmesi gereken noktaları oluşturmaktadır (Marchant ve ark. 2008). Bu nedenle, başarılı bir ıslah ve üretim programı için dikenli yapının azaltılması, çiçeklenme süresinin uzatılması ve çoğaltım yöntemlerinin optimize edilmesi önerilmektedir.

Tablo 1. Solanaceae Ailesine Ait Süs Bitkisi Potansiyeli Taşıyan Bazı Yabancı Türler

Tür	Bitki Formu	Çiçek / Meyve Özellikleri	Habitat / Coğrafya	Çoğaltım / Üretim Durumu	Toksosite / Notlar	Referans
<i>Schizanthus carlimunozii</i>	Tek yıllık veya çok yıllık otsu	Zygomorfik, bilabiata, çeşitli renk varyantları	Şili, Arjantin	Düşük/düzensiz tohum çimlenmesi, dormansi	Henüz ticari yaygın üretim yok	Moreira-Muñoz ve Muñoz-Schick, 2008; Moreno, Gómez, ve Contreras, 2024; Schizanthus, n.d.
<i>Schizanthus hookeri</i>	Tek yıllık veya çok yıllık otsu	Zygomorfik, bilabiata, çeşitli renk varyantları	Şili, Arjantin	Düşük/düzensiz tohum çimlenmesi, dormansi	Henüz ticari yaygın üretim yok	Moreira-Muñoz ve Muñoz-Schick, 2008; Morenove ark., 2024; Schizanthus, n.d.
<i>Schizanthus porrigens</i>	Tek yıllık veya çok yıllık otsu	Zygomorfik, bilabiata, çeşitli renk varyantları	Şili, Arjantin	Düşük/düzensiz tohum çimlenmesi, dormansi	Henüz ticari yaygın üretim yok	Moreira-Muñoz ve Muñoz-Schick, 2008; Moreno ve ark, 2024; Schizanthus, n.d.
<i>Solanum nobile</i>	Çalı	Mavi/mor çiçekler, meşe benzeri yaprak, iyi dallanmış	Doğu Avustralya sahil ve iç yamaç	Çiçeklenme aralıklı, meyve-tohum kültürde sınırlı	Dikenli yapı, vulnerable statü	Marchant ve ark., 2008
<i>Solanum curvicaule</i>	Çalı	Mavi/mor çiçekler, büyük çiçek, az dikenli	Doğu Avustralya sahil ve iç yamaç	Çiçeklenme aralıklı, meyve-tohum kültürde sınırlı	Dikenli yapı, dikkat edilmesi gerek	Marchant ve ark. 2008
<i>Solanum abutiloides</i>	Çalı / küçük ağaç (1–3 m)	Geniş tüylü kokulu yaprak, sarı-turuncu oblong meyve, çiçek kümeleri	And Dağları (Arjantin, Bolivya), 900–3 600 m, kayalık ve akarsu kenarı	Kültivasyon sınırlı, üretim koşulları belirlenmemiş	Toksosite belirtilmemiş	Vikipedi, 2025
<i>Solanum pseudocapsicum</i>	Çalı	Parlak turuncu-kırmızı meyve	Doğu Güney Amerika	Ticari süs bitkisi olarak yaygın	Toksosite potansiyeli mevcut	Kocaeli Bitkileri, 2025
<i>Solanum dulcamara</i>	Sarmaşık /çalı	Menekşe renkli yıldız çiçek, parlak kırmızı üzümstü meyve	Doğu ve Orta Avrupa, Batı Asya, Türkiye	Doğal yayılım düzensiz	Alkaloid içerir, ev ortamında toksik	İBU-Flora, 2025; Mutlu ve Türker, 2008
<i>Solanum nigrum</i>	Otsu / çalı	Dekoratif çiçek ve üzümstü meyve	Türkiye	Yerel adaptasyon araştırmaları yetersiz	Toksosite potansiyeli mevcut	İBU-Flora, 2025
<i>Solanum sisymbriifolium</i>	Dik / yayılı çalı (1–2 m)	Beyaz-açık mavi çiçek, parlak kırmızı meyve	Güney Amerika	Yüksek tohum üretimi, yayılma potansiyeli	Kontrolsüz yayılma riski	EPPO, 2020; USDA, 2013
<i>Physalis peruviana</i>	Otsu / çalı	Sarı-turuncu meyve, dekoratif çiçek-meyve ardışıklığı	Güney Amerika	Örtü altı üretim denemeleri başarılı	Toksosite düşük, yenilebilir	Meriçli, 2011
<i>Physalis viscosa</i>	Otsu / çalı	Çiçek-meyve süs potansiyeli	Güney Amerika	Adaptasyon ve üretim optimize edilmeli	Toksosite düşük, yenilebilir	Meriçli, 2011



Şekil 6. *Schizanthus hookeri*'nin tanımıyla birlikte yayınlanan *S. hookeri* resmi (Graham 1830) (B); Juncal Andean Park'taki *Schizanthus hookeri* örnekleri (C); La Campana Milli Parkı (D) (Morales-Fierro ve ark. 2020.)

2.3. *Solanum abutiloides*

Doğu And Dağları'na bağlı Arjantin ve Bolivya kökenli *Solanum abutiloides*, 900–3 600 m yükseklik aralığında, kayalık alanlarda ve akarsu kenarlarında doğal olarak yayılmaktadır. Çalı veya küçük ağaç formunda gelişen bu tür, olgunlaştığında 1–3 m boylanabilmektedir. Yaprakları geniş, tüylü ve kokulu; çiçek kümeleri çok sayıda çiçek içerir ve meyveleri sarı-turuncu oblong berrylardır (Vikipedi, 2025). Görsel olarak oldukça dekoratif olan bu özellikler, türün süs bitkisi ıslahı ve peyzaj kullanımına potansiyel taşımaktadır (Şekil 7).

Ticari üretim açısından türün sınırlı kültür geçmişi, meyve tadımında değişkenlik ve üretim koşullarının sistematik olarak belirlenmemiş olması, araştırma eksikliklerini oluşturmaktadır. Genetik çeşitlilik ve adaptasyon kapasitesinin incelenmesi, dekoratif meyve ve çiçek özellikli genotiplerin seçimi, üretim koşullarının optimize edilmesi ve çoğaltım

ile çimlenme çalışmalarının yürütülmesi gibi bazı araştırma alanları önerilebilir.

2.4. *Solanum pseudocapsicum*

Doğu Güney Amerika kökenli *Solanum pseudocapsicum* (Jerusalem cherry veya winter cherry), süs bitkisi kültüründe yaygın olarak kullanılmakta ve parlak turuncu-kırmızı meyveleri ile dekoratif özellik taşımaktadır (Kocaeli Bitkileri, 2025). Türkiye’de mevcut kullanım potansiyeli göz önüne alındığında, adaptasyon, üretim teknikleri, toksisite düzeyi ve pazara uyarlanması açısından bilimsel çalışmaların gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

2.5. *Solanum nigrum*

Türkiye’de “itüzümü” olarak bilinen *Solanum nigrum* grubu, doğal yayılış gösteren yabani bitkiler arasında yer almakta olup, dekoratif çiçek ve üzüksü meyveler nedeniyle süs bitkisi potansiyeline sahiptir (İBU-Flora, 2025) (Tablo 2). Ancak, yerel adaptasyon ve kültürel çoğaltım yöntemleri üzerine yeterli araştırma bulunmamaktadır.



Şekil 7. *Solanum abutiloides*. (A) habitatı. (B) Çiçek durumu. (C) Çiçek. (D) Meyve (iki kuru, olgun meyve)). (Khamar ve ark. 2024)

2.6. *Solanum dulcamara* (Sofur)

Doğu ve Orta Avrupa'dan Batı Asya'ya kadar doğal yayılış gösteren *Solanum dulcamara*, Türkiye florasında “sofur” adıyla kayıtlıdır (İBU-Flora, 2025). Menekşe renkli yıldız biçimli çiçekleri ve parlak kırmızı üzüksü meyveleri ile peyzaj kullanımına potansiyel sunmaktadır. Ancak, alkaloid içerikleri nedeniyle ev ortamlarında toksisite riski ve doğal yayılışın düzensizlikleri, türün süs bitkisi olarak kullanılmasını sınırlandırmaktadır (Mutlu ve Türker, 2008) (Tablo 2). *S. dulcamara*'nın süs bitkisi olarak değerlendirilebilmesi için öncelikle adaptasyon toleransının (özellikle Türkiye'nin iklim-toprak koşulları altında), yemyeşil form, meyve rengi ve meyve kalıcılığı gibi dekoratif özelliklerin ıslah edilmesi, çoğaltma yöntemlerinin (tohum, çelik, doku kültürü) optimize edilmesi ve toksisite düzeyinin sistematik olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.7. *Solanum sisymbriifolium*

Güney Amerika kökenli *Solanum sisymbriifolium*, 1–2 m'ye kadar boylanabilen, dik veya yayılı çalı formunda bir türdür. Beyaz ile açık mavi çiçekler ve parlak kırmızı meyveler ile peyzajda dikkat çekici görsellik sunmaktadır. Bitki, 1–2 m'ye kadar boylanabilen, dik veya yayılı çalı formunda gelişir; gövde, yaprak ve dallarında tüylü, sıklıkla dikenli veya sivri çıkıntılı yapılar sergiler (EPPO, 2020). Çiçekleri genellikle 3,5–5 cm çapında, beyaz ile açık mavi tonlarında olup, meyveleri parlak kırmızı renkli, küresel ve böğürtlence benzeri bir görünüme sahiptir. Ancak, yüksek tohum üretim kapasitesi ve yayılma potansiyeli, kontrolsüz doğal yayılım açısından risk oluşturmaktadır (EPPO, 2020; USDA, 2013). Ayrıca, kültürel koşullar açısından bazı sınırlamalara sahiptir; örneğin tohum çimlenmesi, seralarda 12 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sorunlu olabilmektedir (Timmermans, Vos ve Stomph, 2009) (Tablo 2).

Tablo 2. Türkiye ve Çevresinde Doğal Yayılışı Olan, Süs Bitkisi Potansiyeli Taşıyan Bazı Yabani Solanaceae Türleri

Tür	Yayılış	Potansiyel Özellik	Kaynak
<i>Solanum dulcamara</i>	Doğu ve Orta Avrupa'dan Batı Asya'ya, Türkiye'de Marmara ve Karadeniz bölgeleri	Mor-mavi çiçek, kırmızı meyve, tırmanıcı form	IBU-Flora, 2023
<i>Solanum nigrum</i>	Tüm Türkiye	Siyah meyveler, kompakt yapı, seleksiyon potansiyeli	Davis, Mill ve Tan, 1984
<i>Solanum sisymbriifolium</i>	Güney Amerika kökenli, Türkiye'de sınırlı yeni kayıtlar (Orta Karadeniz)	Dikenli, dekoratif çiçek formu	Avesis, 2018

2.8. *Physalis peruviana* ve *Physalis viscosa*

Güney Amerika kökenli *Physalis peruviana* ve *Physalis viscosa*, süs bitkisi ve peyzaj amaçlı kullanım potansiyeli taşıyan türlerdir. Özellikle *P. peruviana*, sarı-turuncu meyveleri ve dekoratif çiçek-meyve ardışıklığı ile süs bitkisi üretimine uygundur. Türkiye’de örtü altı üretim denemeleri olumlu sonuç vermiştir (Meriçli, 2011). Bu türlerde adaptasyon, genotip seçimi, meyve kalıcılığı ve kültürel koşulların optimize edilmesi, ticari süs bitkisi üretimi açısından kritik önem taşımaktadır.

SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Solanaceae familyası, morfolojik çeşitlilik, ekolojik adaptasyon yeteneği ve estetik özellikler açısından oldukça zengin bir bitki grubunu temsil etmektedir. Derlenen literatür, familyanın yalnızca tarımsal değil, aynı zamanda süs bitkisi sektörü açısından da yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Brugmansia, Datura, Petunia, Nicotiana, Cestrum ve Solanum gibi cinsler, çiçek renkleri, biçimleri, koku profilleri ve büyüme formları ile peyzaj tasarımında öne çıkabilecek karakteristik özellikler sergilemektedir. Bu özellikler, Solanaceae türlerinin farklı coğrafi ve iklim koşullarına adaptasyon yeteneği ile birleştiğinde, süs bitkisi üretiminde çeşitliliği artırma fırsatını sunmaktadır.

Yabani türler, *Schizanthus* spp., *Solanum brownii* ve *Solanum abutiloides*, süs bitkisi ıslahı ve genetik çeşitlilik açısından değerli gen kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Bu türler, hibrit ve yeni kültür var geliştirme çalışmalarında morfolojik ve estetik çeşitliliği artırabilecek

potansiyele sahiptir. Bununla birlikte, bazı türlerde gözlenen tohum dormansi, dikenli yapılar ve düzensiz çiçeklenme gibi özellikler, kültürel üretimde dikkate alınması gereken sınırlamalardır.

Familyanın birçok üyesi toksik alkaloidler içermesi nedeniyle güvenli kullanım açısından dikkat gerektirmektedir; ancak uygun üretim ve bakım stratejileri ile bu türler peyzaj tasarımında estetik, fonksiyonel ve aromatik özellikler sunabilir. Bu bağlamda, *Solanaceae* türlerinin hem mevcut kültür çeşitleri hem de potansiyel yabani türleri, süs bitkisi sektörü için kritik bir genetik rezerv niteliğindedir.

Geleceğe dönük olarak, *Solanaceae* familyasının süs bitkisi potansiyelinin tam olarak değerlendirilebilmesi için sistematik melezleme, genetik ıslah ve çevresel tolerans çalışmalarının yoğunlaştırılması gerekmektedir. Ayrıca, biyoteknolojik yaklaşımlar ve moleküler ıslah teknikleri, özellikle yabani türlerdeki estetik ve dayanıklılık özelliklerinin kültür türlerine aktarılmasını hızlandırabilir ve toksik özellikler azaltılabilir. Bu çabalar, yeni çeşitlerin geliştirilmesine, iklim değişikliği koşullarına uyum sağlayabilecek dayanıklı süs bitkilerinin yetiştirilmesine ve sürdürülebilir peyzaj uygulamalarının desteklenmesine katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak, *Solanaceae* familyası hem bilimsel araştırmalar hem de ticari süs bitkisi üretimi açısından stratejik bir öneme sahip olup, gelecek çalışmalar için geniş bir potansiyel sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Anonim, (2014). *Cestrum nocturnum cultivation and toxicity factsheet*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.1079/cabicompendium.12031> (Erişim tarihi: 10.09.2025)
- Anonim, (2023). *Cestrum nocturnum*: Benefits, growth and maintances. <https://housing.com/news/cestrum-nocturnum-night-blooming-jasmine/> (Erişim tarihi: 08.11.2025)
- Anonim, (2025). *Nicotiana alata* Link & Otto. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:816845-1> (Erişim tarihi: 08.11.2025)
- Anonim, (2025a). *Solanum rantonnetii (Lycianthes rantonnetii)*: Cultivation guide. <https://www.consultaplantas.com/index.php/en/plants-from-s-to-z/2757-solanum-rantonnetii-or-blue-potato-bush-care-and-growing> [Erişim tarihi: 10.11.2025]
- Assidqi, K., Sianipar, N. F., Mangindaan, D., & Enyi, C. U. (2025). Genus *Datura*: An exploration of genetic alterations, bioactive compounds, and pharmacological activity. *Plants*, 14(14), 2244.
- Avesis, P. (2018). *Solanum sisymbriifolium*: Doğal yayılış ve peyzaj kullanım potansiyeli. *Botanik Araştırmaları Dergisi*, 12(2), 55–63.
- Bohs, L. (2005). *Major clades in Solanum based on ndhF sequence data*. In R. C. Keating, V. C. Hollowell, ve T. B. Croat (Eds.), *A Festschrift for William G. D'Arcy: The legacy of a taxonomist* (pp. 27–49). Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden, Vol. 104. Missouri Botanical Garden Press.
- Broschat, T. K. (2016). *Petunia* kültür mevsimi yönetimi ve çiçek kalitesi üzerine çalışmaları.
- Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Cauz-Santos, L. A., Nolllet, F., Bruhl, J. J., Andrew, D. D., Palsson, R., Jobson, R. W., & Taseski, G. M. (2023). Nine new species in Australian *Nicotiana* section *Suaveolentes* (Solanaceae). *Australian Systematic Botany*, 36(3), 167–205. <https://doi.org/10.1071/SB23001>
- D'Arcy, W. G. (1991). *Solanaceae: Biology and Systematics*. New York: Columbia University Press.

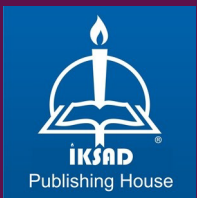
- Danaher, M. W., Saha, D., & Dennis, J. H. (2013). Effect of aquaculture effluent-based substrates on growth and quality of *Petunia* × *hybrida*. *HortTechnology*, 23(2), 166–172. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.2.166>
- Davis, P. H., Mill, R. R., & Tan, K. (1984). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* (Vol. 9). Edinburgh University Press.
- Descouens, D., (2025). *Lycianthes rantonnetii* 'royal robe'. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lycianthes_rantonnetii#/media/File:\(MHNT\)_Lycianthes_rantonnetii_royal_robe_-_Les_Martels,_Giroussens_Tarn.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Lycianthes_rantonnetii#/media/File:(MHNT)_Lycianthes_rantonnetii_royal_robe_-_Les_Martels,_Giroussens_Tarn.jpg) (Erişim tarihi: 08.11.2025)
- Enache, M., & Moraru, R. (2023). Mechanism of toxicity and microscopical tests for *Datura herb*. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 27(2), 36–41. https://biotechnologyjournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_2/Art4.pdf
- Eren, Ö., & Çalışkan, H. (2015). *Datura* spp.'nin süs bitkisi olarak kullanımı üzerine bir değerlendirme.
- EPPO (2020). European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). *Solanum sisymbriifolium*: Pest risk and spread. EPPO. <https://www.eppo.int>
- Exotic Earth Plants (2025). *Brugmansia winter care guidelines*. <https://www.exoticearthplants.co.uk/post/brugmansia-winter-care-overwintering-brugmansia-in-the-uk> (Erişim tarihi: 10.11.2025)
- Fine Gardening. (2025). *Brugmansia* culture: A complete guide for gardeners. https://www.finegardening.com/genus/brugmansia?srsId=AfmBOoo2uPohOuTy_1PfDPBxMtVgid5ta57QaT7YXTs_CtktwQ4ofcm5 (Erişim tarihi: 06.11.2025)
- Griesbach, Jürgen. (2007). *Growing Temperate Fruit Trees in Kenya*. Nairobi, Kenya: World Agroforestry Centre (ICRAF). ISBN 978-92-9059-218-1
- Grubač, I., Babić, T., & Knezović, Z. (2025). Water-saving substrate blends for *Petunia* × *hybrida* in green roof systems under drought stress. *Urban Science*, 9(1), 55–68.
- Hauck, M., & Stam, M. (2000). *Petunia hybrida*: Genetic resources and breeding for ornamental use.
- Hernández-Duarte, S. A., Oliveros-Garay, O. A., González, A., Delgado-Niño, M. C., & Roda, F. (2025). Infection by colombian *datura* virus induces

- leaf deformation associated with Indigenous selection of angel's trumpet (*Brugmansia* spp.). *VirusDisease*, 1-12.
- Hunziker, A. T. (2001). Genera Solanacearum: The Genera of Solanaceae Illustrated, Arranged According to a New System. *Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag*.
- Huxley, A. (Ed.). (1992). The New Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening. Macmillan Press
- IBU-Flora. (2023). Türkiye bitkileri veri tabanı. İstanbul Üniversitesi Botanik Araştırma Merkezi.
- IBU-Flora. (2025). Türkiye’de Solanaceae türlerinin dağılımı ve süs bitkisi potansiyeli. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Jora Dahl (2025). *Nicotiana alata* hybrid catalogue. <https://joradahl.de/en/produkt/nicotiana-alata-grandiflora/> (Erişim tarihi: 11.11.2025)
- Pakdeecheanuan, P., Shoji, T., & Hashimoto, T. (2012). Root-to-shoot Translocation of Alkaloids is Dominantly Suppressed in *Nicotiana alata*. *Plant and Cell Physiology*, 53(7), 1247-1254. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcs065>
- Khamar, H., Dallahi, Y. & Bakali, A. H. (2024). New records of three alien *Solanum* species in Morocco. *Check List*, 20(2), 544-552.
- Kim, J., van Iersel, M. W., & Burnett, S. E. (2011). Modeling daily water use of *Petunia × hybrida* grown in soilless substrates. *HortScience*, 46(10), 1379–1384. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.10.1379>
- Knapp, S. (2002). Tobacco to tomatoes: A phylogenetic perspective on fruit diversity in the Solanaceae. *Journal of Experimental Botany*, 53(377), 2001-2022. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf068>
- Kocaeli Bitkileri. (2025). *Solanum pseudocapsicum*: Jerusalem cherry. <https://kocaelibitkileri.com/content/solanum-pseudocapsicum-herdemtaze/> (Erişim tarihi: 08.11.2025)
- Lay, F. T., Brugliera, F., & Anderson, M. A. (2003). Isolation and properties of floral defensins from ornamental tobacco and petunia. *Plant Physiology*, 131(3), 1283-1293. <https://doi.org/10.1104/pp.102.016626>
- Marchant, N. G., Perkins, A. J., Orel, G., & Towler, M. (2008). The *Solanum brownii* group in eastern Australia: morphology, habitat, and

- horticultural potential. *Australian Systematic Botany*, 21(5), 345–360.
<https://doi.org/10.1071/SB07044>
- Meriçli, F. (2011). *Physalis peruviana*'nın örtü altı üretimi ve süs bitkisi potansiyeli. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24(1), 15–22.
- Morales-Fierro, V., Muñoz-Schick, M., & Moreira-Muñoz, A. (2020). Synopsis of *Schizanthus* Ruiz ve Pav.(Solanaceae), a genus endemic to the southern Andes. *PhytoKeys*, 154, 57.
- Moreira-Muñoz, A., & Muñoz-Schick, M. (2008). *Schizanthus* and its allies in Chile and Argentina: taxonomy, distribution and horticultural potential. *Gayana Botánica*, 65(2), 119–135. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432008000200002>.
- Moreno, M., Gómez, P., & Contreras, R. (2024). Seed morphology, dormancy types, and germination requirements of *Schizanthus* spp. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 99(1), 45–58.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2024.XXXXXX>
- Mutlu, B., & Türker, M. (2008). *Solanum dulcamara* ve ev ortamında toksisite riskleri. *Turkish Journal of Botany*, 32(4), 321–328.
- Nakamura, N., Fukui, Y., Fukuchi-Mizutani, M., Ishiguro, K., Suzuki, K., Tanaka, Y., & Kusumi, T. (2004). Flower colour modification of *Petunia* hybrida commercial varieties by metabolic engineering. *Plant Biotechnology*, 21(5), 377–386.
<https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.21.377>.
- Olmstead, R. G., ve Bohs, L., Abdel Migid, H., Santiago-Valentín, E., Garcia, V. F., & Collier, S. M. (2008). A molecular phylogeny of the Solanaceae. *Taxon*, 57(4), 1159–1181. <https://doi.org/10.1002/tax.574010>
- Popa-Mitroi, D., Popa-Mitroi, G., Nicu, C., & Manda, M. (2012). Study on behaviour of *Physalis alkekengi* L. species in spontaneous flora and culture in order to evaluate its decorative quality. *South West Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 3(2), 185–202.
- Preissel, U., & Preissel, H. G. (2002). *Brugmansia & Datura: Angel's Trumpets and Thorn Apples*. Timber Press.
- Rätsch, C. (2005). *The Encyclopedia of Psychoactive Plants: Ethnopharmacology and Its Applications*. Rochester, VT: Park Street Press. ISBN 978-0892819782.

- Royal Horticultural Society. (2023). Petunia – Plant details <https://www.rhs.org.uk/plants/190790/petunia/details> (Erişim tarihi: 10.10.2023)
- Royal Horticultural Society. (2025). *Lycianthes rantonnetii* | blue potato bush: propagation. Retrieved November 10, 2025, from <https://www.rhs.org.uk/plants/57749/i-lycianthes-rantonnetii-i/details>
- Sarkar, M.K.I., Jahan, M.A.A., Roy, C.K., Hossain K., Rahman, S.S., Mia, R., Islam, M.R., & Azim, D.A. (2016): In vitro Shoot Micro Propagation of Medicinal Applications and Ornamental Value of *Cestrum nocturnum* L..Indian Journal of Science and Technology,9(15):0974-5645
- Satapathy, T., Banjare, B., & Sahu, H. (2024). A comprehensive analysis of *Cestrum nocturnum*: Its phytochemical composition, pharmacological applications and toxicity profile in the context of traditional medicinal practices. *Journal of Drug Delivery & Therapeutics*, 14(9), 215-222. <https://doi.org/10.22270/jddt.v14i9.6771>
- Silva P. H., Oliveira, Y. R., Silva, A. P. J., Meirelis, V. J. S. & Abreu, M. C. A. (2015). Entre a beleza e o perigo: uma abordagem sobre as plantas tóxicas ornamentais. *Revista Intertox-Eco Advisor de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade*, 8 (1), 19-44
- Soares, L. S., Stehmann, J. R., & Freitas, L. B. (2025). The Genus *Petunia* (Solanaceae): Evolutionary synthesis and taxonomic review. *Plants*, 14(10), 1478. <https://doi.org/10.3390/plants14101478>
- Teixeira, J. B. P. & Lima, A. A. (2020). Plantas ornamentais tóxicas: prevenção de acidentes. <http://www.gege.agrarias.ufpr.br/plantastoxicas/arquivos/euphorbia%20pulcherrima>.
- Tohmé, G., & Tohmé, H. (2014). *Illustrated flora of Lebanon* (2nd ed.). Beirut, Lebanon: CNRS Publications.
- Tomasella, M., Rossi, F., & Ferrante, A. (2022). Substrate moisture potential as a key factor in water-efficient management of ornamental container crops. *Ecophysiology*, 15(3), e2447. <https://doi.org/10.1002/eco.2447>
- Trancã, S. D., Szabo, R., & Cocis, M. (2017). Acute poisoning due to ingestion of *Datura stramonium* – a case report. *Romanian Journal of Anaesthesia and Intensive Care*, 24 (1), 65-6.

- Trinklein, D., (2012). Petunia: Better Than Ever [Newsletter]. Missouri Environment & Garden, 18 (3).
https://ipm.missouri.edu/MEG/archive/2012/v18n3.pdf?utm_source
(Erişim tarihi: 10.11.2025)
- USDA. (2013). *Solanum sisymbriifolium*: Plant profile and distribution. United States Department of Agriculture.
- van Iersel, M. W., Dove, S. K., & Kang, J. G. (2010). Growth and water use of Petunia as affected by substrate water content and light level. HortScience, 45(5), 748–752.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.5.748>
- Venter, P., (2013). Johannesburg bahçesinde yetiştirilen *Lycianthes rantonnetii*'nin çiçekleri ve yaprakları.
https://en.wikipedia.org/wiki/Lycianthes_rantonnetii#/media/File:Lycianthes_rantonnetii00.jpg (Erişim tarihi: 08.11.2025).
- Vikipedi. (2025), *Solanum abutiloides*.
https://tr.wikipedia.org/wiki/Solanum_abutiloides (Erişim tarihi: 10.11.2025).
- Weese, T. L., & Bohs, L. (2007). A three-gene phylogeny of the genus Solanum (Solanaceae). Systematic Botany, 32(2), 445–463.
<https://doi.org/10.1600/036364407781179671>
- Weiss, M. (2002). Night-flowering Nicotiana alata: A review of breeding and aroma potential.
- Xu, H., Xu, L., Yang, P., Cao, Y., Tang, Y., He, G., ... & Ming, J. (2018). Tobacco rattle virus-induced phytoene desaturase (PDS) and Mg-chelatase H subunit (ChlH) gene silencing in *Solanum pseudocapsicum* L. PeerJ, 6, e4424.



ISBN: 978-625-378-486-7