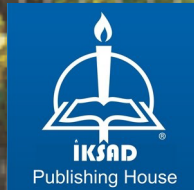




ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR VII

EDİTÖR
Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BEYÇİOĞLU



ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA AKADEMİK ÇALIŞMALAR VII

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BEYÇİOĞLU

YAZARLAR

Prof. Dr. Fatih KILLI

Prof. Dr. Füsun GÜLSER

Doç. Dr. Ferit SÖNMEZ

Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU

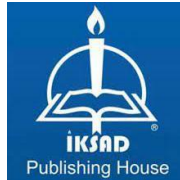
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ramazan RIŞVANLI

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BEYÇİOĞLU

Öğr. Gör. Dr. Bahar AYDIN CAN

Gıda Yük. Müh. Elif KOÇ ALİBAŞOĞLU

Gıda Yük. Müh. Neslihan ERSOYAK



Copyright © 2024 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 – 2024©

ISBN: 978-625-378-025-8

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2024

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

HAŞHAŞ (*Papaver somniferum* L.) YETİŞTİRİCİLİĞİ VE ÖNEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BEYÇİOĞLU

Prof. Dr. Fatih KILLI.....3

BÖLÜM 2

ENDOFİTİK BAKTERLERİN VE ENDOFİTİK MANTARILARIN BİO/FİTOREMEDİASYONDA ETKİNLİKLERİ

Prof. Dr. Füsun GÜLSER

Doç. Dr. Ferit SÖNMEZ.....21

BÖLÜM 3

BİYOTİK VE ABİYOTİK STRES ALTINDAKİ BİTKİLERDE BİYOSTİMÜLANTLARIN KULLANILABİLİRLİĞİ

Prof. Dr. Füsun GÜLSER

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ramazan RİŞVANLI.....39

BÖLÜM 4

GIDALARIN KURUTULMASINDA ve ÖN İŞLEM UYGULAMALARINDA KULLANILAN YENİLİKÇİ YÖNTEMLER

Gıda Yük. Müh. Neslihan ERSOYAK

Gıda Yük. Müh. Elif KOÇ ALİBAŞOĞLU

Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU.....61

BÖLÜM 5

FONKSİYONEL BİR ATIŞTIRMALIK: PESTİL

Gıda Yük. Müh. Neslihan ERSOYAK

Gıda Yük. Müh. Elif KOÇ ALİBAŞOĞLU

Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU.....113

BÖLÜM 6

TÜRKİYE'DEKİ ORMAN YANGINLARININ BAL ÜRETİMİ VE TİCARETİNE ETKİSİ

Öğr. Gör. Dr. Bahar AYDIN CAN.....139

Önsöz

Ziraat, insanlık tarihinin en eski ve en köklü faaliyetlerinden biridir. Tarım, yalnızca insanların temel gıda gereksinimlerini karşılamakla kalmaz, aynı zamanda uygarlıkların gelişiminde, kültürlerin şekillenmesinde ve toplumların sürekliliğinde önemli bir rol üstlenmektedir. Bu eserin amacı, tarım biliminin derinliklerine inerek, tarımsal üretimin esas ilkelerini ve gelişim süreçlerini kavrayarak, modern ziraatın sunduğu yenilikçi çözümler hakkında bilgi sunmaktır.

Ziraat, günümüzde yalnızca toprağın işlenmesi ve ürünlerin yetiştirilmesinden ibaret değildir. Bilimsel çalışmalar ve teknolojik ilerlemeler, tarımda verimliliği artırma, çevresel etkileri azaltma ve gıda güvenliğini sağlama noktasında değerli fırsatlar sunmaktadır. Bu eser, tarımda uygulanan çağdaş yöntemlerden, sürdürülebilir üretim tekniklerine kadar geniş bir kapsamda bilgi sunmayı hedeflemektedir.

Toprak, su ve iklim gibi doğal kaynaklarla uyumlu gerçekleştirilen tarım, sağlıklı ve sürdürülebilir bir geleceğin temellerini atmaktadır. Bu çerçevede, toprak verimliliği, bitki sağlığı, zararlı kontrolü, organik tarım, genetik mühendislik ve modern sulama yöntemleri gibi konular ele alınacaktır. Ayrıca, tarımda karşılaşılan zorluklar ve bu engelleri aşabilmek için geliştirilen çözümler de eserin ana gündemlerinden biri olacaktır.

Ziraat, yalnızca teknik bir bilgi alanı değil, aynı zamanda toplumların yaşam biçimlerini belirleyen, kültürel ve ekonomik bir olgudur. Tarım, ekonomik kalkınmanın kritik bir unsuru olup, çiftçilerin eğitimi ve desteklenmesi, gıda üretiminin güvenliği açısından büyük önem taşır. Bu eser, ziraat alanındaki uzmanlara, öğrencilere ve bu alanda faaliyet gösteren herkese faydalı olmayı amaçlamaktadır.

Bu eseri okurken, tarımın gelişimini, günümüzde karşılaşılan zorlukları ve gelecekteki olasılıkları daha derinlemesine keşfedecek, ziraat biliminin insanlık için niçin bu kadar önemli olduğunu daha iyi kavrayacaksınız. Ziraat, yalnızca bir meslek olmanın ötesinde, doğayla uyum içinde yaşamın ve sürdürülebilir bir dünya inşa etmenin temel taşlarından biridir.

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BEYÇİOĞLU¹

¹ Pamukkale Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Çivril/Denizli email: tbeycioglu@pau.edu.tr Orcid: :0000-0001-5338-8836

BÖLÜM 1

HAŞHAŞ (*Papaver somniferum* L.) YETİŞTİRİCİLİĞİ VE ÖNEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BEYÇİOĞLU¹
Prof. Dr. Fatih KILLI²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14541387>

¹ Pamukkale Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Çivril/DENİZLİ. E-posta: tbeycioglu@pau.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5338-8836

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Onikişubat/KAHRAMANMARAŞ E-posta: fakilli@ksu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8480-0416

GİRİŞ

Haşhaş, önemli ve çok eski tarım bitkileri arasında yer almaktadır. Yüzyıllardır Anadolu'da yetiştirilmekte ve anavatanı bazı kaynaklara göre Orta Asya ve Türkistan, bazılarına göre Avrupa ve Akdeniz kıyıları, bazılarına göre ise Kuzeydoğu Akdeniz ve çevresidir. Yaklaşık iki bin yıldır şifalı bitki olarak insanların kullanımına sunulan haşhaş, içerdiği alkaloidlerin etkisiyle mitolojide uyku, rüya ve ölümün simgesi olarak betimlenmiştir. Yaşamın paradoksunu ve zıtlıkların birleşimini en iyi şekilde temsil eden bitkilerden biri olan haşhaş, bir yandan insanlara şifa sağlarken, diğer yandan keyif verici olarak kullanılmaya başlandığı andan itibaren insanlara bağımlılık, acı ve ölüm getirmektedir (Eyüpoğlu, 1995).

Şifalı bitkiler çok eski zamanlardan beri insan ve hayvan hastalıklarının önlenmesi ve tedavisi için kullanılmaktadır. Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) diploid, kromozom sayısı $2n = 22$ olan tek yıllık bir tıbbi bitkidir. *Ranunculales* takımının *Papaveraceae* familyasından *Papaver* cinsinin üyesidir. *Papaveraceae* familyasında 43 cins ve 500 tür bulunmaktadır (Yazıcı, 2020). Türkiye'de 7 cins ve 36 tür, 22 alttür ve varyete olmak üzere toplam 58 *papaver* taksonu bulunmakta olup, bunlardan 15 takson endemiktir (Guner ve ark., 2012).

Bu bitki tohum, yağ ve afyon üretimi için yetiştirilen, iki çenekli bir bitkidir. Tek yıllık olup, 30-170 cm boylanabilir, meyve, genellikle çok sayıda küçük tohum içeren bir kapsüldür. Bazı haşhaş çeşitleri, tohumlarında %50'ye kadar oleik ve linoleik asit içerebilir ve bu yağlar, özellikle linoleik asit kaynağı olarak kullanılabilir. Yağ, yüksek miktarda çoklu doymamış yağ asitleri içermesi nedeniyle insan tüketimi için yüksek kaliteye sahiptir (Özcan ve Atalay, 2006). Bununla birlikte Afyon haşhaş türü (*Papaver somniferum*), *Papaveraceae* familyasının önemli alkaloid (80'den fazla) taşıyan türlerinden biridir ve morfin, kodein, tebain, narkotin ve papaverin olmak üzere beş ana alkaloid içerir ve bunlar muazzam tıbbi değerleri nedeniyle önemlidir (Shukla and Singh, 2004).

Haşhaş hem morfin hem de türevlerinin ihracatını oluşturması bakımından ülke ekonomisine önemli katkı sağlamaktadır. Haşhaşın ticarileştirilmesi ve piyasanın yasal alkaloid ihtiyacının karşılanması amacıyla kurulan 25.000 ton/yıl kurutulmuş kesilmemiş haşhaş kapsülü işleme kapasitesine sahip Afyon Alkaloidleri Fabrikası'nda kapsüllerdeki morfin oranına göre yılda yaklaşık 80-100 ton morfin üretilmektedir. Morfin ve türevleri yerli ilaç sanayinde kullanılmakta, geri kalan %95'i ise tıbbi amaçlı olarak ihraç edilmektedir (TMO 2017).

Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) bitkisinin kullanım açısından iki önemli ürünü vardır. Ürünlerden biri kapsül ve içindeki alkaloidler, diğeri ise tohum ve yağıdır. Araştırmacılar, çok sayıda önemli alkaloidin elde edildiği haşhaş kapsüllerinde tıbbi öneme sahip 80 farklı alkaloid tespit etmişlerdir (Çelik 2011; Mishra vd. 2013; Marciano vd. 2018). Haşhaş en çok Hindistan, Japonya, Çin, Fransa, İspanya gibi ülkelerde yetiştirilmektedir. Türkiye'de Kütahya, Afyon, Burdur, Isparta, Balıkesir, Konya, Amasya, Çorum, Tokat, Manisa, Uşak, Denizli ve Eskişehir illeri başlıca haşhaş üretim alanlarıdır (Karabük, 2012). Haşhaş üretimi en çok Türkiye ve Filistin'de yapılmaktadır. Dünyada 2022 yılı verilerine göre 27773 hektar alanda ekimi yapılan haşhaş (FAO, 2024), Türkiye'de 41159 hektar alanda ekilmekte, yıllık 12240 ton üretim ve ortalama 460 kg ha⁻¹ verim elde edilmektedir (TUİK, 2024).

Türkiye'de haşhaş yetiştiriciliği, ekimine izin verilen bölgelerde haşhaş ekiminin denetimi şu şekilde yapılmaktadır. Çiftçiler, haşhaş ekim izni almak için TMO işyerlerine 1 Temmuz-30 Ekim tarihleri arasında başvururlar. Başvurular, TMO işyerlerince incelenir ve herhangi bir yasal engel bulunmayanlara haşhaş ekim izni verilir, ardından ekimler gerçekleştirilir. TMO işyerleri, haşhaş ekim alanlarının izin belgelerinde belirtilen yer ve sınırlarına uyup uymadığını tespit etmek amacıyla ekili alanları ölçer ve denetler. Haşhaş kapsülü, uyuşturucu madde içerdiğinden dolayı tek ve zorunlu alıcısı TMO Genel Müdürlüğü'dür. Çiftçiler, ürettikleri haşhaş kapsüllerini en geç Eylül ayı sonuna kadar belirlenen bedeli karşılığında TMO işyerlerine teslim

etmek zorundadır (TMO, 2024). Hasat işleminden sonra bitki kapsül ve tohum olarak değerlendirilmektedir. Bu bölümde haşhaş bitkisinin kapsül ve tohum açısından önemi ve ayrıca tarımı üzerinde durulacaktır.

ÖNEMİ

Kapsül Açısından Önemi

Haşhaş tarımı, özellikle tohum ve kapsül üretimi için Türkiye'de önemli bir sektördür. Alkaloidlere yönelik küresel talep artışı, yasal haşhaş ekiminin artırılması ihtiyacını doğurmuş olup, bu da arz ve talep arasında bir denge oluşturabilir. Verimlilik, hava koşullarından, özellikle çimlenme, çiçeklenme ve kapsül kurutma aşamalarındaki sıcaklık ve yağıştan etkilenir (Lal ve ark., 2014; Yazıcı, 2022). Hızla ısınan iklim koşullarında haşhaş için toprak işleme uygulamalarının yönetimi ve Toprak Mahsulleri Ofisi tarafından tavsiye edildiği gibi uygun iklim koşullarına sahip diğer alanlara yayılması, çeşitli abiyotik ve biyotik streslerin kontrol edilmesine ve ürünün mevcut verim düzeyinin iyileştirilmesine yardımcı olabilir. Haşhaş bitkisinde 40'ın üzerinde farklı alkaloid bulunmaktadır. Afyondan izole edilen ilk alkaloid morfindir. Şimdiye kadar haşhaş bitkisinden 50'den fazla başka saf alkaloid de izole edilmiştir. Haşhaş bitkisinin başlıca alkaloidleri morfin, kodein, thebaine, noscapine, papaverine ve narceine'dir. Bu alkaloidler haşhaş kapsüllerinde ve olgunlaşmamış kapsülün kesilmesinden elde edilen afyonda bulunur (Gümüüşcü ve ark. 2008). Bunlar arasında morfin en öne çıkanıdır ve güçlü doğal ağrı kesici özellikleriyle bilinir. Kodein ve noskapin öksürüğü bastırmak için kullanılırken, papaverin düz kaslar için bir gevşeticidir. Öte yandan, Thebaine doğrudan tedavi amaçlı kullanılmaz. Ancak sanayi sektöründe diğer ağrı kesicilere dönüştürülmektedir (Sousa vd., 2022).

Kuru kapsüllerin kullanımı, alkaloid üretimi için bir avantajdır. Çünkü olgunlaşmamış kapsüller yasadışı amaçlarla kullanılabilirken, kuru kapsüller artık yasadışı işler için hammaddeye dönüştürülemez. Günümüzde bitki, Türkiye'nin Bolvadin ilçesinde bulunan alkaloid

fabrikasında morfin ve türevlerinin üretimi için kuru kapsül elde etmek amacıyla yetiştirilmektedir. Haşhaş bitkisi kontrollü bir şekilde yetiştirilmekte ve bitkilerin kapsülleri hükümet tarafından satın alınmaktadır. Fabrika, esas olarak morfin üretmek amacıyla inşa edilmiş, ancak bazı diğer alkaloidlerin üretimi de burada gerçekleştirilmiştir (Arslan ve ark. 1986, Bernath, 1998).

Ülkemizde haşhaş bitkilerinin kuru kapsüllerinin hasadı yapıldıktan ve tohumlar kapsüllerden ayrıldıktan sonra, Eylül ayı sonuna kadar kapsüllerin Toprak Mahsulleri Ofisi'ne (TMO) teslim edilmesi zorunludur. Ardından, kapsül verimi ve kapsüldeki morfin oranına bakılarak fiyat belirlenir ve ödeme üreticiye TMO tarafından yapılır. Fiyatlar her yıl düzenli olarak yaklaşık %10 oranında artırılmaktadır. Haşhaş kapsülünün satın alma bedeli, 2023 yılında geleneksel haşhaş kapsülü alımı 14 TL/kg, yüksek morfinli geleneksel haşhaş kapsülü alımı 27.50 TL/kg ve sözleşmeli tohumlu haşhaş kapsülü alım fiyatı 75 TL/kg olarak belirlenmiştir. Ülkemiz, haşhaş kapsülünden elde edilen morfin ve türevlerinin yaklaşık %5'ini yurt içinde kullanırken, geri kalan %95'ini yurt dışına ihraç etmektedir. Haşhaş kapsülünün ithalat ve ihracat verileri incelendiğinde, kapsül ithalatımız olmadığı, yalnızca 2019 ve 2022 yıllarında toplamda 600 kg haşhaş kapsülünün ihraç edildiği tespit edilmiştir (BAKA, 2024).

Tohum Açısından Önemi

Haşhaş bitkisinin yağ içeriği yüksek olan tohumlarının pazar için değerlendirilmesinde dış görünüme yüksek değer verilir. Tohumun iri taneli ve dokunulduğunda pürüzlü olması, ancak her şeyden önce eşit bir mavi renge sahip olması istenir. İnce taneli, soluk mavi veya çok renkli tohum arzu edilmez ve daha da az arzu edilen siyahımsı mavi, gri veya pembe renk tonudur. Haşhaş tohumunun dış görünüşüne verilen büyük önem, yüksek kaliteli tohum partilerinin yağ fabrikalarına değil, haşhaş tohumu ekmeği ve hamur işleri yapımında kullanıldıkları fırıncılık endüstrisine yönelik olmasından kaynaklanmaktadır. İyi bir lezzet ve

kokuya ek olarak, hoş bir görünüm de ön koşuldur (Schijfsma ve ark., 1960). Geleneksel olarak haşhaş tohumu körilerde, ekmeklerde, tatlılarda ve şekerleme ürünlerinde gıda bileşeni olarak kullanılmıştır. Haşhaş tohumlarının protein ve yağ içerikleri sırasıyla %21.5-23.5 ve %46.2-49.4 arasında değişmektedir (Sethi ve ark., 1990). Bu bitkinin en çarpıcı özelliği, tohum yağındaki çoklu doymamış yağ asitlerinin fazlalığıdır (Bozan ve Temelli, 2003). Haşhaş tohumu yağı iyi miktarda β -tokoferol (309.5-567.3 ppm) içerir ve ana yağ asitleri arasında stearik, palmitik, oleik, linoleik ve linolenik asit bulunur. Haşhaş tohumu ve yağı, fonksiyonel gıda bileşenleri olarak gıda ürünlerinde kullanılması önerilen yüksek besin değerine sahiptir (Özcan ve Atalay, 2006). Haşhaşın tohumları, yağı ve küspesi de beslenme kültürünün ana parçası olmuş ve haşhaşın yetiştirildiği bölgelerdeki yemek tariflerinin çoğunda yer almıştır. Afyon içermeyen tohumlar, ekmeklerin üzerine serpilme üzere fırıncılıkta yaygın olarak kullanılmaktadır. Tohumlar aynı zamanda insanlar ve çiftlik hayvanları için iyi bir enerji kaynağı ve boya, vernik ve sabun üretiminde kullanılan bir kurutma yağı kaynağıdır (Gümüşçü ve ark., 2008). Ülkemizde haşhaş tohumu üretimi, üreticiler tarafından serbest piyasa koşullarında yıllara göre değişmekle birlikte yıllık ortalama 20 bin ton civarında ihraç edilmektedir. Ancak yapılan araştırmalara göre, yıllık 40 bin ton ihracat potansiyelinin bulunduğu belirtilmektedir. Haşhaş tohumunun renk çeşitliliği nedeniyle, ithalat ve ihracatta ülkelerin talep ettiği tohum rengi farklılık göstermektedir. İhracatımızın büyük bir kısmı Hindistan'a yapılmakta olup, talep oldukça Avrupa Birliği (AB) ülkelerine de tohum satışı gerçekleştirilmektedir. Hindistan, beyaz renkli tohumları tercih ederken, AB ülkeleri mavi renkli tohumlara daha fazla ilgi göstermektedir (Özgen ve ark., 2017). Haşhaş ve ürünlerinin son beş yıllık (2019-2022) ithalat ve ihracat verileri incelendiğinde, tohumluk ithalatının yalnızca 2019 yılında 4 ton olarak gerçekleştiği ve ülkemizin tohum ve tohumlukta daha çok ihracat yapan bir ülke olduğu görülmektedir. Yıllara göre en yüksek ihracatımız 2022 yılında yapılmış olup, 191,9 ton tohumluk ihraç

edilmiştir. Diğer yıllarda ise bu miktarlar daha düşük kalmıştır. Ayrıca, ihraç edilen tohum miktarına bakıldığında, son beş yıl içinde 299.185 kg tohum ithal edilmişken, ihracat miktarı yaklaşık 65,6 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (BAKA, 2024).

HAŞHAŞ YETİŞTİRİCİLİĞİ

Ekim Nöbeti

Tarımsal üretimde münavebe, birim alandan elde edilen verimi etkileyen en önemli tarımsal uygulamalardan biridir. Bitkisel üretimde başarılı olabilmenin önemli faktörlerinden biri, düzenli bir münavebe planının uygulanmasıdır. Münavebe sisteminde dikkate alınması gereken en önemli unsurlar, ön bitkinin değeri ve etkisidir. Tarla bitkilerinin münavebedeki ön bitki değerini ve etkisini; genetik yakınlık ve morfolojik benzerlik, bitkinin büyüme dönemi, toprakta kalan organik madde ve humus oranı, toprak yapısı ve iklim koşulları, verilen gübre miktarı, ön bitkinin allelopatik etkisi, kültür bitkilerinin yabancı otlarla rekabet etme yeteneği, hastalık ve zararlı durumu etkilemektedir (Kara ve ark., 2011). Haşhaş ise zengin toprağa ihtiyaç duyar ve bu toprağı hızla tüketir. Bu nedenle, sık sık kimyasal gübre kullanmaktan kaçınmak için münavebeli bir sistem kullanılmalı veya bitki ağır gübrelenmiş toprağa veya diğer arazilere ekilmelidir (UN,1953). Bununla birlikte şeker pancarı, baklagiller ve tahıllardan sonra haşhaş ekimi önerilmektedir. Haşhaş ekiminden sonra ise ekim nöbetine patates ve kolza bitkilerinin girdirilmesi ise sakıncalıdır (Kara ve ark., 2011).

Toprak Hazırlığı

Haşhaş tohumları oldukça küçüktür; 1.000 tohum ağırlığı 0,5 g'dır. Tohumların küçük boyutları nedeniyle, ekim alanının toprak hazırlığı büyük bir özen gerektirir. Tohumların çimlenebilmesi için öncelikle nemli toprakla kaplanması gerekir. Haşhaş, kazık köklü bir bitki olduğundan, derin işlenmiş tarlaları tercih eder. Ürün hasat edildikten sonra, çiftlik gübresi uygulanmalı, derin sürüm yapılmalı ve ürün

artıkları ile gübre toprağa karıştırılmalıdır. Bu işlemin, hasattan hemen sonra gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Nadas alanında ise, çiftlik gübresi sonbaharda uygulanmalı ve ardından derin sürüm yapılmalıdır. Kışlık ekim için, fosforlu gübrenin tamamı ve azotlu gübrenin yarısı, Eylül sonu veya Ekim başında tarlanın işlenmesi amacıyla uygulanmalıdır. Toprak işleme için kültivatör (kaz ayağı) kullanılmalıdır. Eğer toprak nem içeriği yeterli değilse, toprak mümkünse sulama yoluyla uygun duruma getirilmelidir. Haşhaş tarımında, diğer bitkilerde olduğu gibi, toprağın işlenmesi sırasında toprağın toz haline getirilmesinden kaçınılmalı ve normal yapısı korunmalıdır. Toprağın hafif pütürlü tutulması, kaymaklaşmayı engeller ve kışlık haşhaşları dondan korur. Yazlık ekim için toprak sonbaharda sürülmelidir. İlkbaharda, taban gübreleri derin sürümle birlikte uygulanmalıdır. İlkbaharda toprak işleme ve tohum yatağının hazırlanması, şeker pancarına benzer bir şekilde gerçekleştirilir. Yabancı otların yok edilmesi için toprak iyi bir şekilde işlenmeli, nem korunmalı ve hafifçe merdane ile bastırılarak verimli bir tohum yatağı hazırlanmalıdır. Toprağın tavllanması, toprak işleme sırasında büyük önem taşır; tavllanmış toprak, toprak yapısını korur ve yabancı otlardan korunmayı kolaylaştırır. (Baser ve Arslan, 2014).

Ekim

Haşhaş tek yıllık bir bitkidir. Ekim zamanı çeşide ve iklime bağlıdır. Değişen yağmurlu ve kurak mevsimler afyon verimini etkiler. Bu nedenle, haşhaş yetiştirilen bölgelerde (tipik olarak sıcak ılıman bölgeler) ekim mevsimi Eylül ayında başlayıp Nisan ayına kadar sürebilir. Ekimden önce toprak sürülerek ve sulanarak iyi bir şekilde hazırlanmalıdır (Hayat ve ark., 2023). Türkiye'de ekim genellikle elle serpmeye şeklinde yapılmakla birlikte son yıllarda ekim makinesi kullanımı artmaktadır. Elle ekimde tohumlar olduğu gibi veya yarı yarıya kumla karıştırıldıktan sonra serpilir ve dekara ekilen tohumluk miktarı 1-2,5 kg arasındadır. Makineli ekimde ise dekara atılan tohum miktarı

300 g'a kadar düşmektedir. Elle ekimden sonra seyreltme ile optimum bitki yoğunluğu düzenlenir. Genel olarak, ekim makinesi kullanımında ilave seyreltme gerekli değildir. Metrekare başına en az 50, en fazla 100 bitki bulunduracak şekilde düzenleme yapılmalıdır. Pratikte metrekare bitki başına 50-80 optimum bitki yoğunluğu önerilmektedir. Böyle bir durumda, her bitki 1-4 kapsül geliştirir. Ancak bitki başına düşen kapsül sayısı bitki sıklığının yanı sıra haşhaş çeşidi, gübreleme, toprak yapısı ve iklim koşullarına da bağlıdır. Sıra arası, tercih edilen bakım prosedürlerine ve yabancı ot kontrolüne bağlıdır. Mekanik ekimde sıra aralığı 40-50 cm ve bitkiler arası 20 cm olacak şekilde bakım da mekanik olarak yapılır. Elle serpmeye ile ekim yapılması durumunda bitkiler arasında 30 cm bırakılması yeterlidir. Dar sıra aralığı, tahıllarda olduğu gibi bitkiler arasındaki rekabeti azaltmak için avantajlıdır. Makineli çapalama durumunda ise 30 cm'den daha geniş sıra aralığı gereklidir (Başer ve Arslan, 2014).

BAKIM

Gübreleme

Azot (N) haşhaş için çok önemli bir bitki besin elementidir. Bu nedenle uygun doz ve uygulama tarihi seçmek gerekir (Ehsanipour ve ark., 2012). Gübreler arasında azot en önemli olanıdır. Azot, bitki büyüme ve gelişmesini olumlu yönde etkiler, kapsül ve tohum verimini artırır, azotlu maddelerin sentezini teşvik eder ve bazı kalite ve farmakolojik parametreleri düzenler (Katar ve Yılmaz, 1997). Türkiye'de yapılan incelemelerde, optimum kapsül ve tohum verimi için gereken azotlu gübre miktarı, araştırmaya göre 8 kg N da⁻¹ (Eyüpoğlu, 1988) ile 10 kg N da⁻¹ (Engin, 1995) arasında tespit edilmiştir. TMO, toprağın yapısı ve besin içeriğine bağlı olarak, iyi bir gelişim ve verim elde etmek amacıyla dekara 8-10 kg saf azot içeren kimyasal gübrelemenin yeterli olduğunu ifade etmektedir (TMO, 2005).

Fosfor, bitkilerde ideal büyüme ve gelişim için kesinlikle gerekli olan makro besin elementlerinden birisidir. Fosfor, bitkilerde kuru

ağırlığın yaklaşık %0,2'sini oluşturur ve bitkideki fizyolojik ve biyokimyasal tepkimelerin gerçekleşmesinde rol oynamaktadır (Theodorou ve Plaxton, 1993). Fosfor, hücre bölünmesi, çiçeklenme ve meyve gelişiminde önemli bir rol üstlenir. Bitkilerin olgunlaşmasını hızlandırır. Potasyumun bitkiler tarafından emilmesini sağlar. Bitkinin hastalıklar ve zararlılar karşısında direncini güçlendirir. Bitki köklerinin su alımını düzenleyerek suyun verimli bir şekilde kullanılmasını temin eder (Kulaç ve Bildirici., 2020). Bununla birlikte makro nesin elementi içerisinde yer alan potasyum, sakkarit, protein ve lipidlerin metabolizması ile ilgili birçok önemli sürece katılır (Feger ve ark. 1997). Prochazka ve diğerlerine göre (1994) potasyum, stomaların açılma mekanizmasında ve protoplazmadaki su fiksasyonunda önemlidir. Potasyum asimilat akışını artırır, asimilasyon- disimilasyon oranı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir ve maddelerin yapraklardan yedek organlara translokasyonunu artırır. Yeterli düzeyde potasyum doku olgunlaşmasını iyileştirir, daha güçlü hücre duvarlarının bir sonucu olarak bitkilerin anatomik yapısını güçlendirir ve ayrıca dona dayanıklılığı ve hastalıklara karşı direnci artırır (Marschner, 1995).

Yapılan araştırmada 270.000 bitki yoğunluğu ve 3.864 kg yüzeysel kuru maddeye dayanarak haşhaşın hektar başına 71,4 kg N, 26,6 kg P, 92,7 kg K, 81,7 kg Ca, 15,3 kg Mg, 347 g Mn, 35 g Cu, 205 Zn ve 113 g B aldığı tespit edilmiştir. Kuru maddenin %41'i yaprak ve gövdelerden; %14,8'i meyvelerden ve %26,7'si tohumlardan oluşmaktadır. Hasat indeksi meyveler için 0.15 ve tohumlar için 0.27'dir (Edelbauer ve Stangl 1993).

Sulama;

Kışlık haşhaş, kuru koşullarda yetiştirilebilir. Türkiye'de haşhaş ekimi, yeraltı suyu bulunan alanlarda %35 oranında, kurak ve verimsiz arazilerde ise %65 oranında olumsuz etkilenmektedir. Tohumların çimlenmesi için tohum yatağında yeterli nem bulunmalıdır. Rozet döneminde, bitkilerin kışa girmesi için zamanında çıkış sağlanması

gereklidir. Yağmurun gecikmesi durumunda, bitkiler bu dönemde kışa giremez ve soğuktan zarar görebilir. Tarlalar, ekim sırasında uygun durumda olmalı veya ekimden sonra mümkünse sulama yapılmalıdır. Bazı bölgelerde, ekimden önce toprağı işlemek amacıyla sulama yapılmaktadır. Ekim sonrası, daha iyi bir çıkış sağlanabilmesi için yağmurlama yöntemi gerekli olabilir. Her iki yöntem de deneyimli çiftçilere önerilebilir.

Karık usulü sulamanın boğaz doldurma uygulanmayan tarlalarda yatmaya yol açabileceğı; yağmurlamanın çiçeklenme döneminde tozlaşmayı olumsuz etkileyebileceğı ve alkaloid kaybına neden olabileceğı unutulmamalıdır. Bir çalışmada, haşhaşın su tüketimi kışlık haşhaşlar için 752 mm ve yazlık haşhaşlar için 425 mm olarak belirlenmiştir. Kışlık haşhaş için tomurcuklanma döneminde bir sulama (111 mm), yazlık haşhaş için ise biri tomurcuklanma diğeri çiçeklenme döneminde olmak üzere iki sulama (75-80 mm) gereklidir. Bu tür sulama tohum ve kapsül verimini olumlu yönde arttırabilir (Başer ve Arslan, 2014).

Yabancı ot, hastalık ve zararlı mücadelesi;

Haşhaşın ilk büyüme dönemindeki zayıf rekabet yeteneğı ve herbisitlere karşı hassasiyeti nedeniyle, başarılı bir hasat büyük ölçüde uygun yabancı ot mücadelesine bağlıdır (Pinke ve ark., 2014). Vejetasyon döneminin başlangıcında haşhaş yavaş gelişim göstermektedir. Yabancı otlara karşı sadece zayıf bir rekabet yeteneğine sahiptir ve herbisitlere nispeten duyarlıdır. Bu nedenle, haşhaş bitkileri için yabancı ot kontrol sistemi karmaşıktır ve çiftçilerden yüksek düzeyde teknolojik bilgi talep eder. Önceki ürünlere, ekim teknolojilerine, ürün gelişim aşamalarına ve yabancı ot türlerinin bileşimine bağlı olarak, haşhaşın yabancı ot yönetimi çoklu kimyasal ve mekanik uygulamaları ve herbisit rotasyonlarını içermelidir (Sarkany ve ark., 2001). Haşhaş tarlasındaki yabancı otlarla, mekanik çapa araçlarıyla veya kimyasal olarak uygun herbisitlerle mücadele edilebilir. Haşhaşın

sapa kalkma evresi sonlarına doğru, yaprak bitleri (*Aphis papaveris*) saldırıya başlar. Hem bitkinin öz suyunu emerek hem de *Peronospora arborescens* ve *Erysiphe polygona* gibi hastalık etmenlerini taşıyarak bitkiye zarar verirler. Yaprak biti ve kök kurduyla savaşmak için insektisitler kullanılabilir (Baydar, 2022).

Hasat

Haşhaş hasadı, haşhaş kapsülleri tamamen kurduğunda gerçekleştirilir. O sırada, plasentaya yapışmış olgunlaşmış tohumlar kapsülün dibine düşer. Olgunlaşmış kapsüller sallandığında ses çıkarır. Bir tarladaki veya bir bitkideki kapsüllerin hepsi aynı anda olgunlaşmaz. Son açan çiçeklerden oluşan kapsüller daha geç olgunlaştığından, hasada karar vermeden önce en alttaki kapsüllere bakılmalıdır. Kapsülün açılmış veya açılmamış olması bir tür özelliği olmakla birlikte, olgunlaştığı halde hasat edilmemiş, aşırı güneşe maruz kalmış ve dolayısıyla aşırı kurumuş kapsüllerde açılma görülebilmektedir. Bu gibi durumlar dökülme nedeniyle tohum kaybına neden olduğundan hasat zamanı geciktirilmemelidir.

Haşhaş kapsülleri, sapa bağlandıkları noktadan elle kırılarak hasat edilir. Eğer çiftçi bir sonraki yılın ekimi için bir miktar tohum saklamak isterse, gerekli sayıda kapsül seçilir ve aynı renk tohumları toplamak için bir bıçakla kesilir. Mahsulün geri kalanı haşhaş ezme makinesinden geçirilir veya tahta tokmakla ezilir ve elenir. Bu işlem özel ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilir. Optimum koşullarda bir dekarın elde edilen ürün 100 kg kapsül veya 100-125 kg tohumdur. Türkiye'nin 2011 yılı ortalama ürün verimi meyveler için 75 kg/da ve tohumlar için 82 kg/da olmuştur. Sap verimi dekar başına 300-500 kg olmuştur. Depolama sırasında tohum ve meyveler için nem içeriği %8-9'u geçmemelidir (Başer ve Arslan, 2014).

Kaynakçalar

- Anonim. (2004). 2004 Haşhaş Raporu. Toprak Mahsulleri Ofisi.
- Arslan N, Er, C., ve Camcı, H. (1986) The cultivation of poppy and its problems until sowing ban of poppy was abolished in Turkey (In Turkish). In: Sener B (ed) VIth symposium on plant originated crude drugs, 16–19 May, Turkey, pp 99–118 3.
- BAKA (Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı), Haşhaş Tarımı ve Endüstrisi Fizibilite Raporu, 2024. <https://baka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/hashas.pdf>
- Baser, K. H. C., & Arslan, N. (2014). Opium poppy (*Papaver somniferum*). *Medicinal and aromatic plants of the middle-east*, 305-332.
- Baydar, H. 2022. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Bilimi ve Teknolojisi. Nobel Akademik Yayıncılık, s453.
- Bernath, J. (1998) Poppy, the genus *Papaver*. Department of Medicinal Plant Production, University of Horticulture and Food Industry, Budapest.
- Bozan, B., Temelli, F. (2003). Extraction of poppy seed oil using supercritical CO₂. *Journal of Food Science*, 68(2): 422-26.
- Celik, I. (2011). Development of SSR markers in poppy (*Papaver somniferum* L.) Master of Science İn Molecular Biology and Genetics. Izmir Institute of Technology İzmir.
- Edelbauer A, Stangl J (1993) Nährstoffentzug durch den Waldviertler Graumohn (*Papaver somniferum* L.) im Verlauf der Vegetationszeit. *Bodenkultur*, Band1/;15–27.
- Ehsanipour A, Razmjoo J, Zeinali H (2012). Effect of nitrogen rate on yield and quality of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Industrial Crops and Products*, 35:121-125.
- Engin, D. 1995. “Azot Dozları ve Hasat Zamanının Haşhaşta verim ve Kalite Üzerine Etkisi”. Doktora Tezi. Bursa.

- Eyüpoğlu, F. 1988. “Göller Bölgesinde Yetiştirilen Haşhaş’ın Azotlu ve Fosforlu Gübre İsteğinin Belirlenmesi”. Toprak Su Araştırma Enstitüsü Faaliyet Raporu, Ankara.
- Eyüpoğlu, F., 1995. Göller Bölgesinde Yetiştirilen Haşhaşın Azotlu ve Fosforlu Gübre
- FAO, 2024.
https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity
- Feger, G., Orlovius, K. (1997): Wichtige Nährstoffe für den Raps. Ratgeber für die Landwirtschaft, Heft Nr. 10, 19s.
- Guner, A., Aslan, S., October, T., Vural, M., Babaç, M.T., 2012. List of Plants of Turkey (Veinous Plants). Nezahat Gökyiğit Botanical Garden and Flora Research Association Publication, Istanbul.
- Gümüşçü, A., Arslan, N., & Sarihan, E. O. (2008). Evaluation of selected poppy (*Papaver somniferum* L.) lines by their morphine and other alkaloids contents. *European Food Research and Technology*, 226, 1213-1220.
- Hayat, M. T., Hameed, U., & Zia-Ul-Haq, M. (2023). Opium Poppy. In *Essentials of Medicinal and Aromatic Crops* (pp. 935-964). Cham: Springer International Publishing.
- İsteği. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınlar. Genel Yayın No:205, Rapor Seri No: R-122. Ankara.
- Kara, B., Kara, N., Akman, Z., & Balabanlı, C. (2011). Tarla bitkilerinde ekim nöbetinde ön bitki değeri ve etkileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 28(1), 12-24.
- Karabuk, B. 2012. The effects of nitrogen fertilization and sowing methods on agricultural and quality of poppy (*Papaver somniferum* L.) varieties. Ondokuz Mayıs Uni Inst of Nat and Appl Sci PhD Thesis, 120p (in Turkish).

- Katar D, Yılmaz G (1997). The effects on yield and yield components of poppy of nitrogen application times and doses. Turkey 2nd Field Crops Cong. 22-25 September 1997 (Turkey).
- Kulaç, O., & Bildirici, N. (2020). Bursa-Gemlik ekolojik koşullarında farklı fosfor dozlarının azkan nohut (*Cicer arietinum* l.) çeşidinin verim ve verim öğeleri üzerine etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(3), 697-704.
- Lal, R.K., S. Sarkar, S. Singh, P. Gupta and M. Zaim (2014). Inheritance pattern and conservative genetics study tool: descriptors on opium poppy (*Papaver somniferum* L.). Acta Hort. (ISHS) 1036: 71–86.
- Marciano M A, Panicker S X, Liddil G D, Lindgren D & Sweder K S (2018). Development of a method to extract opium poppy (*Papaver somniferum* L.) DNA from heroin. Scientific reports, 2590./10.1038/s41598-018-20996-9
- Marschner, H. (1995): Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Limited, London, 889 s.
- Mishra B K, Rastogi A, Siddiqui A, Srivastava M, Verma N, Pandey R, Sharma N C & Shukla S (2013). Opium poppy: Genetic upgradation through intervention of plant breeding techniques. 10.5772/53132.
- Özcan MM, Atalay Ç,:Determination of seed and oil properties of some poppy (*Papaver somniferum*L.) varieties. Grasas y aceites 2006, 57(2): 169-74.
- Özcan, M.M., Atalay, C., 2006. Determination of seed and oil properties of some poppy (*Papaver somniferum* L.) varieties. Grasas y Aceites 57, 169–174.
- Özgen, Y., Arslan, N., & Bayraktar, N. (2017). Türkiye Açısından Önemli Bitki Haşhaşın Önemi ve Tarımı. *Ziraat Mühendisliği*, (364), 4-8.
- Pinke, G., Tóth, K., Kovács, A. J., Milics, G., Varga, Z., Blazsek, K., & Botta-Dukát, Z. (2014). Use of mesotrione and tembotrione

- herbicides for post-emergence weed control in alkaloid poppy (*Papaver somniferum*). *International Journal of Pest Management*, 60(3), 187-195.
- Prochazka, S., Repka, J., Sebanek, J., Sladky, S. (1994): Morfologie a fyziologie rostlm. VSZ Brno, 222 s.
- Sárkány, S., Bernáth, J., & Tétényi, P. (2001). *A mák= Papaver somniferum L* (No. 71). Akadémiai Kiadó..
- Schijfsma, L., Hoesbergen, M., & Nijdam, F. E. (1960). A study of the colour and other characters of the seed of some varieties of oil seed poppy. *Euphytica*, 9, 127-140.
- Sethi KL, SapraRL, Gupta R, Dhindsa KS, Sangwan NK: Performance of poppy cultivars in relation to seed, oil and latex yields under different environments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1990, 52(3): 309-13. DOI:
- Shukla, S., Singh, S.P., 2004. Exploitation of inter-specific crosses and its prospects for developing novel plant type in opium poppy (*Papaver somniferum L.*). In: Trivedi, P.C. (Ed.), *Herbal Drugs and Biotechnology*. Pointer Publisher, Jaipur, pp.210–239.
- Sousa, J.P., M.J. Ramos and P.A. Fernandes (2022). Modern strategies for the diversification of the supply of natural compounds: The case of alkaloid painkillers. *Chem. Bio. Chem.* 23(10): e202100623.
- TMO (2017). 2016 Haşhaş Raporu. Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TMO, 2005. 2004 Yılı Haşhaş Raporu. Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- TMO, 2024. <https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/Hashasileilgiligenelbilgiler.pdf>
- TÜİK, 2024. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?!locale=tr>

- UN. (1953). The opium poppy. cited 2023; Available from: https://www.unodc.org/unodc/en/data-and-analysis/bulletin/bulletin_1953-01-01_3_page004.html
- Yazici, L. (2022). Influence of different sowing times on yield and biochemical characteristics of different opium poppy (*Papaver somniferum* L.) genotypes. J. King Saud Univ. Sci. 34(8): 102337.
- Yazici, L., 2020. Poppy (*Papaver somniferum* L.) Culture And Breeding Studies In Turkey Theory and Research in Agriculture, Forestry and Fisheries II .107-136 p.
- Yılmaz, G. (2017). Determination of alkaloids and oil rates of some poppy (*Papaver somniferum* L.) varieties cultivated as winter and summer. International Journal of Secondary Metabolite, 4(3, Special Issue 2), 359-362.

BÖLÜM 2

ENDOFİTİK BAKTERLERİN VE ENDOFİTİK MANTARILARIN BİO/FİTOREMEDİASYONDA ETKİNLİKLERİ

Prof. Dr. Füsun GÜLSER¹ Doç. Dr. Ferit SÖNMEZ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14541429>

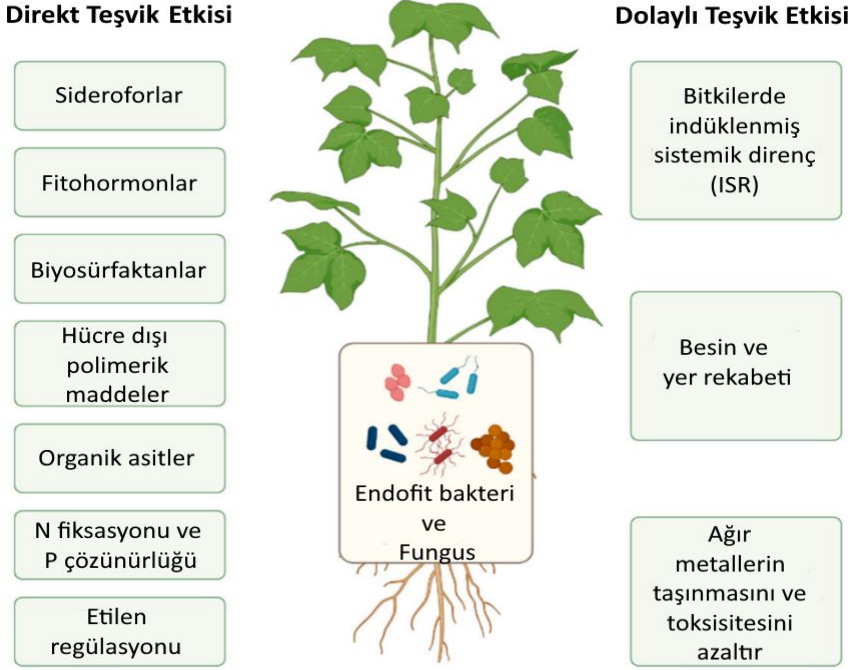
¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Van, Türkiye. fgulser@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-9495-8839

² Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tohum Bilimi ve Teknolojisi Bölümü Bolu, Türkiye. sonmezferit@ibu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1437-4081

GİRİŞ

Biyoremediasyon, farklı toksik metallerin biyosorpsiyonu sırasında enzimleri dönüştürerek kirli ortamı temizlemeye yönelik bir tekniktir (Okoduwa ve ark., 2017; Tripathi ve ark., 2021a, b). Fitoremediasyon, kirleticileri detoksifiye etmek için bitkileri ve bunlarla ilişkili mikroorganizmaları kullanan, kirlenmiş ortamların iyileştirilmesi için yenilikçi ve sürdürülebilir bir yaklaşımdır (Khan ve Doty 2011). Bu mikroorganizmalar arasında endofitik bakteriler ve mantarlar, konukçu bitkilerin fitoremediasyon potansiyelini arttırmada oldukça önemli rol oynamaktadırlar. Bu biyolojik iyileştirme stratejisi, maliyet etkinliği, çevre dostu olması ve kirlenmiş alanları eski haline getirme yeteneği nedeniyle özellikle ilgi çekicidir. Bitki dokularında zarar vermeden yaşayan endofitik mikroorganizmalar, fitoremediasyon süreçlerinin temel kolaylaştırıcıları olarak tanımlanmıştır. Bu mikroorganizmalar bitki büyümesini hızlandırabilir, stres toleransını geliştirebilir ve ağır metaller ve organik bileşikler dahil çeşitli kirleticilerin bozulmasına katkıda bulunmaktadır. “Endofit” terimi, yaşamlarının belirli bir döneminde bitki konakçılarının iç organlarını kolonize eden organizmayı ifade eder. Endofitik mikroorganizmalar, tahmin edilen bir milyon tür ile en çeşitli gruptan biridir (Rashmi ve ark., 2019; An ve ark., 2015). On yıldan fazla süren araştırmalara göre, doğal ekosistemlerdeki milyarlarca canlı bitki türü, çeşitli endofitik mikroorganizmalara ev sahipliği yapmaktadır. Bu durum bu mikroorganizmaları biyosentetik enzimler ve ikincil metabolitlerin biyo-araştırılması için kullanılmamış en önemli doğal kaynaklardan biri haline getirmektedir (Manganyi ve Ateba, 2020). Bakteri ve mantarların dahil olduğu endofitik mikroorganizmalar konakçılarıyla yakın etkileşime girme eğilimindedir ve çevredeki olumsuz değişikliklerden daha fazla korunurlar. Mikrobiyota bitki büyümesine, üretkenliğe, karbon tutulmasına ve fitoremediasyona katkıda bulunur. Çoğu bitki için toksik olan yüksek seviyelerdeki kirletici maddeler bitkinin metabolizması ve büyümesini olumsuz yönde etkilemektedir. Endofitik mikrobiyota, fitoremediasyonda oldukça

etkilidir ve rizosfer mikroorganizmalarından daha fazla potansiyel gösterebilir (Galazka ve Galazka, 2015) (Şekil 1). Endofitler ve konakçı bitkiler arasındaki karşılıklı ilişki çok önemlidir, çünkü bu bakteriler yalnızca büyümeyi teşvik eden faktörler sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bitki içindeki organik kirleticilerin dönüşümüne de yardımcı olur (Syranidou ve ark., 2018; Ijaz ve ark., 2015a).



Şekil 1. Ağır metal stresi altında bitki büyümesinin ve fitoremediasyonun desteklenmesinde endofitik bakterilerin rolü (Liu ve ark., 2024)

Fitoremediasyonda Endofitik Bakteriler

Endofitik bakteriler, bitkilerin iç dokularını kolonize eden patojenik olmayan mikroorganizmalardır. Çeşitli mekanizmalar yoluyla konukçu bitkilerin fitoremediasyon potansiyelini arttırmada önemli bir rol oynarlar. Endofitik bakterilerin temel işlevlerinden biri, biyolojik sistemlere yabancı olan kimyasal bileşikler olan ksenobiyotiklerin parçalanmasıdır. Bu bakteriler zararlı maddeleri metabolize edebilir,

böylece bunların toksisitesini azaltabilir ve bitkiler tarafından alımını kolaylaştırabilir. Ayrıca endofitik bakteriler, bitki büyümesini teşvik eden ve stres toleransını artıran indol asetik asit (IAA) ve gibberellinler gibi fitohormonlar üretebilmektedirler. Bu hormonlar kök gelişimini teşvik edebilir, besin alımını artırabilmekte ve genel bitki gücünü iyileştirerek bitkileri kirli ortamlarda daha dayanıklı hale getirebilmektedirler. Son zamanlarda bitki-endofit ortaklığı, diğer biyolojik iyileştirme mekanizmalarıyla karşılaştırıldığında popülerlik kazanmıştır (Zhu ve ark., 2014). Konakçı bitkiler topraktan hidrokarbonları alabilir ve endofitik bakterilerin bulunduğu farklı dokulara taşıyabilirler (Kannepalli ve ark., 2010). Endofitik bakterilerin rizobakteriler veya toprak bakterilerine karşı en büyük avantajları, konakçı bitkinin iç dokularında bulunmaları ve dolayısıyla besin ve alan için daha az rekabete sahip olmalarıdır (Doty, 2008). Endofitik bakteriler, metalle kirlenmiş topraklarda bitki büyümesini iki farklı şekilde iyileştirir: 1) mineral besin maddelerinin (fosfat, nitrojen ve potasyum) çözündürülmesi/dönüştürülmesi, fitohormonların, sideroforların ve spesifik enzimlerin üretimi dahil olmak üzere bitki büyümesine faydalı maddelerin doğrudan üretilmesi; ve 2) dolaylı olarak bitki patojenlerinin kontrol edilmesi yoluyla veya bitkilerin patojenlere karşı sistemik bir direncinin uyarılması. Ayrıca, metali hareketsizleştiren hücre dışı polimerik maddelerin yanı sıra metali harekete geçiren organik asitleri ve biyosürfaktanları salgılayarak bitkilerde metal biriktirme kapasitesini de değiştirdikleri bildirilmiştir (Ying ve ark. 2016). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve aromatik hydrocarbonlar ile (PAHs) kirlenmiş topraklarda, bitki büyümesini teşvik eden bakterileri (*Azospirillum* spp. ve *P. stutzeri*) aşılması ile toprakların PAH'lar ve ağır metal içeriğinde önemli bir azalm meydana geldiği bildirilmiştir (Galazka ve Galazka, 2015).

Farklı araştırmalar endofitik bakterilerin, metal stresini hafifleten bileşikler üreterek *Brassica rapa* gibi bitkilerde ağır metallerin alımını ve

birikimini önemli ölçüde artırabildiğini göstermiştir (Zhang ve ark., 2011; Singh ve ark., 2021). Su bitkilerindeki endofitik bakterilerin fosforun çözünürlüğünü artırabildiğini, böylece konukçu bitkilerin büyümesini destekleyebildiğini ve kirli sulardaki ksenobiyotik bileşikleriyi iyileştirme yeteneklerini artırabildiğini bildirmiştir (Chen ve ark., 2012).

Fitoremediasyonda Endofitik Mantarlar

Bakteriyel benzerlerine benzer şekilde endofitik mantarlar bitki dokularında bulunur ve fitoremediasyon sürecine katkıda bulunur. Bu mantarlar, çeşitli mekanizmalar yoluyla konukçu bitkilerin ağır metallere ve diğer kirleticilere karşı toleransını artırabilir. Bazı endofitik mantarların, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) ve diğer ksenobiyotikler gibi organik kirleticileri parçalayabilen hücre dışı enzimler ürettiği gösterilmiştir. Bu enzimatik aktivite, yalnızca zararlı bileşikleriyi toksik bileşiklerden arındırır. Endofitik mantarlar aynı zamanda besin alımını artırarak ve stres toleransını teşvik ederek konakçı bitkilerin genel sağlığını da iyileştirebilir. Bunu bitki kökleriyle simbiyotik ilişkiler kurarak başarırlar, bu da kök yüzey alanının artmasına ve su ve besin emiliminin artmasına neden olabilir. Ayrıca, bazı endofitik mantarlar ağır metalleri ayırarak bunların biyolojik kullanılabilirliğini ve konukçu bitkiye olan toksisitesini azaltabilir. Bu metal bağlama yeteneği, ağır metal birikiminin bitki büyümesini ve gelişimini engelleyebileceği kirlenmiş topraklarda özellikle faydalıdır. Piriformospora indica gibi endofitik mantarların, konukçu bitkilerde ağır metal toksisitesine karşı direnci doğrudan indüklediği gösterilmiştir. Bunu, biyokütlenin artmasına ve kök morfolojisinin değişmesine yol açabilecek su ve besin alımını iyileştirerek ve böylece bitkinin stres etkenlerine karşı genel direncini artırarak başarırlar (Naz ve ark., 2022; Su ve ark., 2021). Ayrıca bu mantarlar, detoksifikasyon sürecini kolaylaştıran "mikormediatörler" görevi görerek topraktan ağır metalleri de tutabilir (Naz ve ark., 2022). Bu mantarların enzimatik yetenekleri,

çeşitli organik kirleticileri parçalamalarına olanak tanıyarak fitoremediasyon sürecine katkıda bulunur (Souza, 2023; Gao ve ark., 2020). *P. indica*'nın konukçu bitkilerin ağır metallere karşı toleransını geliştirebildiği (Shahabivand ve ark. 2017; Ghorbani ve ark. 2020) aynı zamanda bitki köklerindeki ağır metalleri immobilize etme konusunda mükemmel bir kapasiteye sahip olduğu dolayısı ile fitoremediasyon için çok umut verici olduğu bildirilmiştir (Shahabivand ve ark., 2017).

Endofitik Bakterlerin ve Endofitik Mantarların Etki Mekanizmaları

Endofitik bakteri ve mantarların fitoremediasyonu güçlendirdiği mekanizmalar çeşitli ve çok yönlüdür. Birincil mekanizmalardan biri, fitohormonlar ve vitaminler gibi bitki büyümesini teşvik eden maddelerin üretimidir. Bu bileşikler bitki büyümesini teşvik edebilir, kök biyokütlesini artırabilir ve besin alımını arttırabilir, böylece bitkinin çevresel stres faktörlerine dayanma yeteneğini geliştirebilir (Farrar ve ark., 2014). Bunun yanında endofitik mikroorganizmalar toprağın pH'ını değiştirerek, organik asitleri serbest bırakarak ve şelatlayıcı maddeler üreterek rizosfer ortamını değiştirebilir. Bu değişiklikler besinlerin ve kirletici maddelerin biyoyararlılığını arttırabilir ve bunların bitkiler tarafından alımını kolaylaştırabilir. Endofitik bakteriler tarafından salgılanan organik asitlerin ağır metalleri çözüdürerek onları bitki kökleri için daha erişilebilir hale getirebildiği bildirilmiştir (Shin ve ark., 2020). Endofitik bakteriler ve mantarlar enzimatik bozunma yoluyla da kirleticilerin detoksifikasyonuna katkıda bulunabilir. Birçok endofitik mikroorganizma, karmaşık organik bileşikler daha az toksik formlara parçalayabilen lakkazlar, peroksidazlar ve hidrolazlar gibi geniş bir enzim dizisine sahiptir. Bu enzimatik aktivite, organik kirleticilerin çevredeki konsantrasyonlarını ve toksisitelerini azalttığı için bunların biyolojik olarak giderilmelerinde çok önemlidir (Schieweck ve ark., 2018). Endofitik bakterilerin bitki büyümesi üzerindeki diğer faydalı etkileri arasında ozmotik ayarlama, stoma düzenlemesi, kök morfolojisi

değişikliği ve gelişmiş mineral alımı yer alır (Lata ve ark., 2018). İyileştirilmiş bitki biyokütlesi, organik kirleticinin bitki dokusuna oranını azaltarak bitki stresini de azaltmaktadır (Kandel ve ark., 2017).

Endofitik Mikroorganizmalar ve Konakçı Bitkiler Arasındaki Etkileşimler

Endofitler ve konakçı bitkiler arasındaki karşılıklı ilişki çok önemlidir, Çünkü bu bakteriler yalnızca büyümeyi teşvik eden faktörler sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bitki içindeki organik kirleticilerin dönüşümüne de yardımcı olur (Syranidou ve ark., 2018; Ijaz ve ark., 2015b). Endofitik mikroorganizmalar ve bitkiler arasındaki etkileşim, her iki tarafın da yararlandığı simbiyotik bir ilişki ile karakterize edilir. Endofitler, bitki büyümesini ve stres toleransını artıran indol asetik asit (IAA) ve gibberellinler gibi fitohormonlar üretebilir (Bilal ve ark., 2017; Khan ve Lee, 2013). Ek olarak, pH'ı değiştirerek ve şelatlayıcı maddeleri serbest bırakarak toprak ortamını değiştirebilirler, böylece besinlerin ve kirletici maddelerin alımını daha da kolaylaştırabilirler (Ikram ve ark., 2018; El-Shahir ve ark., 2021). Bu sinerjik etkileşim, özellikle kirleticilerden yoğun şekilde etkilenen ortamlarda fitoremediasyon stratejilerinin verimliliğini artırmak için gereklidir (Singh ve ark., 2021; Ortega ve ark., 2020). Bunun yanında endofitik mantarlar, oksinler ve gibberellinler (GA'ler) gibi bitki büyüme düzenleyicileri üretme ve bitkileri hem biyotik hem de abiyotik streslerden koruma eğilimindedir (Khan ve ark., 2015; Deng ve Cao, 2017). Benzer şekilde, ekzopolisakkaritler, proteinler, hücre dışı enzimler, organik asitleri ve konakçı bitkilerin fitoremediasyon kapasitesini artırarak toprak kirleticilerinin uzaklaştırılmasına yardımcı olan diğer metabolitleri ürettikleri bilinmektedir (Khan ve ark., 2011; Redman ve ark., 2011). Endofitik mikroorganizmalar pH'ı değiştirerek ve şelatlayıcı maddeleri serbest bırakarak toprak ortamını değiştirebilirler, böylece besinlerin ve kirletici maddelerin alımını daha da kolaylaştırabilirler (Ikram ve ark., 2018; El-Shahir ve ark., 2021). Bu sinerjik etkileşim, özellikle

kirleticilerden yoğun şekilde etkilenen ortamlarda fitoremediasyon stratejilerinin verimliliğini artırdığı için çok önemlidir (Singh ve ark., 2021; Ortega ve ark., 2020). Fitoremediasyonun başarısının, bitkinin yüksek kirletici yükleri tolere etme becerisinin yanı sıra ilgili endofitik bakterilerin bu kirletici maddeleri parçalama potansiyeline bağlı olduğu bildirilmiştir (Singh ve ark., 2021).

Endofitik Mikroorganizmaların Fitoremediasyon Uygulamaları

Fitoremediasyonda endofitik bakteri ve mantarların uygulanması, çevre yönetimi ve restorasyon çabalarında ilgi kazanmaktadır. Çeşitli çalışmalar, bu mikroorganizmaların, ağır metallere kirlenmiş topraklar, pestisit kalıntılarından etkilenen tarım arazileri ve endüstriyel atık alanları dahil olmak üzere kirlenmiş alanların iyileştirilmesindeki potansiyelini araştırmıştır (Dominguez-Rosado ve Pitchel, 2004; Ma ve ark. 2010). Ağır metallere kirlenmiş toprakların fitoremediasyonunda endofitik bakterilerin kullanımı umut verici sonuçlar vermiştir. Konakçı bitkilerde kurşun ve kadmiyum gibi ağır metallere alımını ve birikmesini önemli ölçüde artırabilen belirli bakteri türleri tanımlanmıştır. Bunlar sadece kirlenmiş toprakların detoksifikasyonuna yardımcı olmakla kalmayıp aynı zamanda ekosistem sağlığının restorasyonuna da katkıda bulunmaktadır (Glick, 2010; Deng ve ark., 2014; Ma ve ark., 2016). Benzer şekilde, organik kirleticilerin biyoremediasyonunda endofitik mantarlar kullanılmıştır. Araştırmalar, bazı mantar türlerinin, petrol hidrokarbonları ve klorlu solventler de dahil olmak üzere bir dizi organik kirletici maddeyi etkili bir şekilde parçalayabildiğini göstermiştir. Endofitik mantarlar, bu kirleticilerin bozunmasını artırarak fitoremediasyon stratejilerinin genel etkinliğine katkıda bulunmaktadır (Bamisile ve ark., 2018, Nandy ve ark., 2020).

Uygulamanın Başarısı ve Sürekliliği

Bitkisel ıslahta endofitik bakteri ve mantarların umut verici potansiyeline rağmen, bazı zorluklar devam etmektedir. Başlıca

zorluklardan biri, farklı endofitik suşların etkinliğindeki değişkenliktir. Fitoremediasyon çabalarının başarısı, bitki türleri, çevre koşulları ve toprakta bulunan spesifik kirletici maddeler gibi faktörlerden etkilenebilir. Bu nedenle, belirli iyileştirme senaryoları için en etkili endofitik suşları tanımlamak ve karakterize etmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Bamisile ve ark., 2018, Nandy ve ark., 2020). Ayrıca endofitik mikroorganizmalar ile konukçu bitkiler arasındaki etkileşimlerin altında yatan mekanizmalar henüz tam olarak anlaşılammıştır. Bu etkileşimlerde yer alan biyokimyasal yolları aydınlatmak ve bunların fitoremediasyondaki etkinliğini etkileyen anahtar faktörleri belirlemek gerekmektedir (Zhang ve ark., 2011). Gelecekteki araştırmalar aynı zamanda çevresel iyileştirme için endofitik mikroorganizmaların yeteneklerinden yararlanan biyoteknolojik uygulamaların geliştirilmesine de odaklanmalıdır. Bu bağlamda bitkilerin faydalı endofitlerle simbiyotik ilişkilerini geliştirmeye yönelik genetik mühendisliği potansiyelini ve üstün fitoremediasyon yeteneklerine sahip yeni endofitik türlerin araştırılmasını içeren araştırmalara ağırlık verilmelidir.

Sonuç

Endofitik bakteriler ve mantarlar fitoremediasyon stratejilerinin etkinliğini arttırmak için umut verici bir yolu temsil etmektedir. Bitki büyümesini teşvik etme, stres toleransını geliştirme ve kirleticilerin bozunmasını kolaylaştırma yetenekleri, bunların çevre yönetimi ve restorasyon çabalarındaki önemini altını çizmektedir. Araştırmalar bu etkileşimlerin karmaşıklığını ortaya çıkarmaya devam ettikçe, endofitik mikroorganizmaların sürdürülebilir fitoremediasyon uygulamalarında kullanılma potansiyeli şüphesiz genişleyecek ve kirlenmiş ekosistemlerin restorasyonuna ve çevre sağlığının geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKÇA

- An, H., Liu, Y., Zhao, X., Huang, Q., Yuan, S., Yang, X., 2015. Characterization of cadmium-resistant endophytic fungi from *Salix variegata* Franch. in three 10 W. Pietro-Souza et al. / *Chemosphere* 240 (2020) 124874 Gorges reservoir region, China. *Microbiol. Res.* 176, 29e37.
- Badar, Z., Shanableh, A., El-Keblawy, A., Mosa, K., Semerjian, L., Mutery, A., ... & Semreen, M. (2022). Assessment of uptake, accumulation and degradation of paracetamol in spinach (*spinacia oleracea* l.) under controlled laboratory conditions. *Plants*, 11(13), 1626. <https://doi.org/10.3390/plants11131626>
- Bamisile, B. S., Dash, C. K., Akutse, K. S., Keppanan, R., Afolabi, O. G., Hussain, M., ... & Wang, L. (2018). Prospects of endophytic fungal entomopathogens as biocontrol and plant growth promoting agents: An insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants. *Microbiological Research*, 217, 34-50.
- Bilal, S., Khan, A., Shahzad, R., Asaf, S., Kang, ., & Lee, I. (2017). Endophytic *paecilomyces formosus* lhl10 augments glycine max l. adaptation to ni-contamination through affecting endogenous phytohormones and oxidative stress. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00870>
- Chen, W., Tang, Y., Mori, K., & Wu, X. (2012). Distribution of culturable endophytic bacteria in aquatic plants and their potential for bioremediation in polluted waters. *Aquatic Biology*, 15(2), 99-110. <https://doi.org/10.3354/ab00422>
- Deng, Z., and Cao, L. (2017). Fungal endophytes and their interactions with plants in phytoremediation: a review. *Chemosphere* 168, 1100–1106. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.10.097
- Deng, Z., Zhang, R., Shi, Y., Hu, L. A., Tan, H., & Cao, L. (2014). Characterization of Cd-, Pb-, Zn-resistant endophytic

- Lasiodiopodia sp. MXSF31 from metal accumulating *Portulaca oleracea* and its potential in promoting the growth of rape in metal-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 2346-2357.
- Dominguez-Rosado, E., & Pichtel, J. (2004). Phytoremediation of soil contaminated with used motor oil: II. Greenhouse studies. *Environmental Engineering Science*, 21(2), 169-180.
- Doty, S. L. (2008). Enhancing phytoremediation through the use of transgenics and endophytes. *New Phytol.* 179, 318–333. doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02446.x
- El-Shahir, A., El-Tayeh, N., Ali, O., Latef, A., & Loutfy, N. (2021). The effect of endophytic *talaromyces pinophilus* on growth, absorption and accumulation of heavy metals of *triticum aestivum* grown on sandy soil amended by sewage sludge. *Plants*, 10(12), 2659. <https://doi.org/10.3390/plants10122659>
- Farrar, K., Bryant, D., & Cope-Selby, N. (2014). Understanding and engineering beneficial plant–microbe interactions: plant growth promotion in energy crops. *Plant biotechnology journal*, 12(9), 1193-1206.
- Gałązka, A. N. N. A., & Gałązka, R. (2015). Phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils artificially polluted using plant-associated-endophytic bacteria and *Dactylis glomerata* as the bioremediation plant. *Polish journal of microbiology*, 64(3), 1.
- Gao, T., Qin, D., Zuo, S., Peng, Y., Xu, J., Yu, B., ... & Dong, J. (2020). Decolorization and detoxification of triphenylmethane dyes by isolated endophytic fungus, *bjerkandera adusta swusi4* under non-nutritive conditions. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-33850/v1>
- Ghorbani, A.; Tafteh, M.; Roudbari, N.; Pishkar, L.; Zhang, W.; Wu, C. (2020). *Piriformospora indica* augments arsenic tolerance in rice (*Oryza sativa*) by immobilizing arsenic in roots and improving iron translocation to shoots. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 209, 111793.

- Glick, B. R. (2010). Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology advances*, 28(3), 367-374.
- Harman, G. E., Lorito, M., & Lynch, J. M. (2004). Uses of *Trichoderma* spp. to alleviate or remediate soil and water pollution. *Advances in applied microbiology*, 56, 313-330.
- Ijaz, A., Imran, A., Haq, M., Khan, Q., & Afzal, M. (2015a). Phytoremediation: recent advances in plant-endophytic synergistic interactions. *Plant and Soil*, 405(1-2), 179-195. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2606-2>
- Ijaz, A., Shabir, G., Khan, Q. M., & Afzal, M. (2015b). Enhanced remediation of sewage effluent by endophyte-assisted floating treatment wetlands. *Ecological engineering*, 84, 58-66.
- Ikram, M., Ali, N., Jan, G., Jan, F., Rahman, I., Iqbal, A., ... & Hamayun, M. (2018). Iaa producing fungal endophyte *penicillium roqueforti* thom., enhances stress tolerance and nutrients uptake in wheat plants grown on heavy metal contaminated soils. *Plos One*, 13(11), e0208150. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208150>
- Kandel, S. L., Joubert, P. M., & Doty, S. L. (2017). Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. *Microorganisms* 5: 77.
- Kannepalli, A., Venkadasamy, G., Sharma, M., Yuvika, R., Karivaradharajan, S., Paul, S., ... & Chikara, S. K. (2017). Draft Genome Sequence of *Pseudomonas stutzeri* Strain KMS 55, an Endophytic Diazotroph Isolated from Rice Roots. *Microbiology Resource Announcements*, 5(40).
- Kearns, P. J., Fischer, S., Fernández-Beaskoetxea, S., Gabor, C. R., Bosch, J., Bowen, J. L., ... & Woodhams, D. C. (2017). Fight fungi with fungi: antifungal properties of the amphibian mycobiome. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2494.
- Khan, A. and Lee, I. (2013). Endophytic *penicillium funiculosum* lh106 secretes gibberellin that reprograms glycine max l. growth during copper stress. *BMC Plant Biology*, 13(1), 86. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-86>

- Khan, A. L., Hamayun, M., Ahmad, N., Waqas, M., Kang, S. M., Kim, Y. H., et al. (2011). *Exophiala* sp. LHL08 reprograms *Cucumis sativus* to higher growth under abiotic stresses. *Physiol. Plant.* 143, 329–343. doi: 10.1111/j.1399-3054.2011.01508.x
- Khan, A. L., Hussain, J., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., and Lee, I. J. (2015). Endophytic fungi: resource for gibberellins and crop abiotic stress resistance. *Crit. Rev. Biotechnol.* 35, 62–74. doi: 10.3109/07388551.2013.800018
- Khan, Z., Doty, S., (2011). Endophyte-assisted phytoremediation. *Curr. Top. Plant Biol.* 12, 97e105.
- Lata R, Chowdhury S, Gond SK, White JF Jr (2018) Induction of abiotic stress tolerance in plants by endophytic microbes. *Lett Appl. Microbiol.* 66(4):268–276
- Liu, L., Quan, S., Li, L., Lei, G., Li, S., Gong, T., ... & Yang, W. (2024). Endophytic Bacteria Improve Bio-and Phytoremediation of Heavy Metals. *Microorganisms*, 12(11), 2137.
- Ma, B., Chen, H., He, Y., Wang, H., & Xu, J. (2010). Evaluation of toxicity risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in crops rhizosphere of contaminated field with sequential extraction. *Journal of Soils and Sediments*, 10, 955-963.
- Ma, Y., Rajkumar, M., Zhang, C., & Freitas, H. (2016). Beneficial role of bacterial endophytes in heavy metal phytoremediation. *Journal of environmental management*, 174, 14-25.
- Manganyi, M. C., & Ateba, C. N. (2020). Untapped potentials of endophytic fungi: A review of novel bioactive compounds with biological applications. *Microorganisms*, 8(12), 1934.
- Nandy, S., Das, T., Tudu, C. K., Pandey, D. K., Dey, A., & Ray, P. (2020). Fungal endophytes: Futuristic tool in recent research area of phytoremediation. *South African Journal of Botany*, 134, 285-295.
- Naz, F., Hamayun, M., Rauf, M., Arif, M., Khan, S., Uddin, J., ... & Lee, I. (2022). Molecular mechanism of cu metal and drought stress

- resistance triggered by porostereum spadiceum agh786 in solanum lycopersicum l. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1029836>
- Okoduwa, S. I. R., Igiri, B., Udeh, C. B., Edenta, C., & Gauje, B. (2017). Tannery effluent treatment by yeast species isolates from watermelon. *Toxics*, 5(1), 6.
- Ortega, H., Torres-Mendoza, D., & Cubilla-Rios, L. (2020). Patents on endophytic fungi for agriculture and bio- and phytoremediation applications. *Microorganisms*, 8(8), 1237. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081237>
- Rashmi, M., Kushveer, J. S., & Sarma, V. V. (2019). A worldwide list of endophytic fungi with notes on ecology and diversity. *Mycosphere*, 10(1), 798-1079.
- Redman, R. S., Kim, Y. O., Woodward, C. J., Greer, C., Espino, L., Doty, S. L., et al. (2011). Increased fitness of rice plants to abiotic stress via habitat adapted symbiosis: a strategy for mitigating impacts of climate change. *PLoS ONE* 6:e14823. doi: 10.1371/journal.pone.0014823
- Schieweck, A., Gunschera, J., Varol, D., & Salthammer, T. (2018). Analytical procedure for the determination of very volatile organic compounds (c3–c6) in indoor air. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(13), 3171-3183. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1004-z>
- Shahabivand, S., Parvaneh, A., Aliloo, A.A. (2017). Root endophytic fungus Piriformospora indica affected growth, cadmium partitioning and chlorophyll fluorescence of sunflower under cadmium toxicity. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 145, 496–502.
- Shin, H. J., Kim, H., Beuchat, L. R., & Ryu, J. H. (2020). Antimicrobial activities of organic acid vapors against *Acidovorax citrulli*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* O157: H7, and *Listeria monocytogenes* on Cucurbitaceae seeds. *Food microbiology*, 92, 103569.

- Singh, T., Awasthi, G., & Tiwari, Y. (2021). Recruiting endophytic bacteria of wetland plants to phytoremediate organic pollutants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(9), 9177-9188. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03476-y>
- Singh, T., Awasthi, G., & Tiwari, Y. (2022). Recruiting endophytic bacteria of wetland plants to phytoremediate organic pollutants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(9), 9177-9188.
- Souza, J. (2023). Cactus endophytic fungi and bioprospecting for their enzymes and bioactive molecules: a systematic review. *Chemistry & Biodiversity*, 20(12). <https://doi.org/10.1002/cbdv.202301413>
- Su, Z., Zeng, Y., Liu, Y., Perumal, A., Zhu, J., Lu, X., ... & Lin, F. (2021). The endophytic fungus *piriformospora indica*-assisted alleviation of cadmium in tobacco. *Journal of Fungi*, 7(8), 675. <https://doi.org/10.3390/jof7080675>
- Syranidou, E., Thijs, S., Avramidou, M., Weyens, N., Venieri, D., Pintelon, I., ... & Kalogerakis, N. (2018). Responses of the endophytic bacterial communities of *Juncus acutus* to pollution with metals, emerging organic pollutants and to bioaugmentation with indigenous strains. *Frontiers in plant science*, 9, 1526.
- Syranidou, E., Thijs, S., Avramidou, M., Weyens, N., Venieri, D., Pintelon, I., ... & Kalogerakis, N. (2018). Responses of the endophytic bacterial communities of *juncus acutus* to pollution with metals, emerging organic pollutants and to bioaugmentation with indigenous strains. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01526>
- Tripathi, S., Sharma, P., Purchase, D., & Chandra, R. (2021a). Distillery wastewater detoxification and management through phytoremediation employing *Ricinus communis* L. *Bioresource Technology*, 333, 125192.
- Tripathi, S., Sharma, P., Singh, K., Purchase, D., & Chandra, R. (2021b). Translocation of heavy metals in medicinally important herbal

- plants growing on complex organometallic sludge of sugarcane molasses-based distillery waste. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101434.
- Wu, T., Xu, J., Xie, W., Yao, Z., Yang, H., Sun, C., & Li, X. (2018). *Pseudomonas aeruginosa* L10: a hydrocarbon-degrading, biosurfactant-producing, and plant-growth-promoting endophytic bacterium isolated from a reed (*Phragmites australis*). *Frontiers in microbiology*, 9, 1087.
- Zhang, Y., He, L., Chen, Z., Zhang, W., Wang, Q., Qian, M., ... & Sheng, X. (2011). Characterization of lead-resistant and acedaminase-producing endophytic bacteria and their potential in promoting lead accumulation of rape. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2-3), 1720-1725. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.069f>
- Zhu, X., Ni, X., Liu, J., and Gao, Y. (2014). Application of endophytic bacteria to reduce persistent organic pollutants contamination in plants. *Clean* 42, 306–310. doi: 10.1002/clen.201200314

BÖLÜM 3

BIYOTİK VE ABIYOTİK STRES ALTINDAKİ BİTKİLERDE BIYOSTİMÜLANTLARIN KULLANILABİLİRLİĞİ

Prof. Dr. Füsun GÜLSER¹

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ramazan RIŞVANLI²

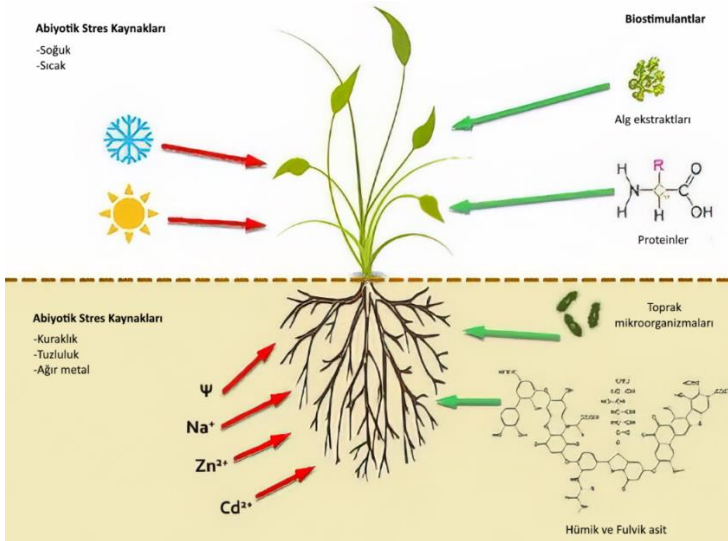
DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14541442>

¹ Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Van, Türkiye, fgulser@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-9495-8839

² Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Van, Türkiye, risvanli@yyu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-5882-0533

GİRİŞ

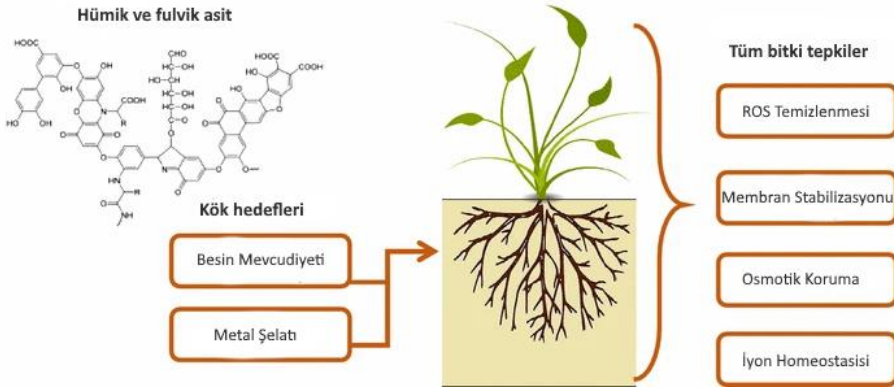
Biyostimülantlar, hem biyotik hem de abiyotik streslere karşı bitkinin dayanıklılığını arttırmada önemli ajanlar olarak ortaya çıkmıştır. Kuraklık, tuzluluk ve patojen saldırıları gibi çevresel zorlukların ürün verimini ve kalitesini tehdit ettiği modern tarımda rolleri ön plana çıkmaktadır. Biyostimülantlar veya biyolojik uyarıcılar, bitkilere veya toprağa uygulandığında besin alımını iyileştirerek, strese karşı dayanıklılığı artırarak ve genel bitki sağlığını geliştirerek bitki büyümesini ve gelişimini artıran maddeler veya mikroorganizmalar olarak tanımlanır. Temel besinleri sağlayan gübrelerden veya zararlıları kontrol eden pestisitlerden farklı olarak biyostimülantlar bitki içindeki doğal süreçleri teşvik eder. Benzer şekilde Avrupa Biyostimülant Endüstrisi Konseyi tarafından da biyostimülantların besin içeriğine bakılmaksızın besin verimliliğini, abiyotik strese karşı toleransı ve ürün kalitesi özelliklerini arttırdığı bildirilmiştir (Traon ve ark., 2014; Saa ve ark., 2015). Çeşitli doğal ve sentetik maddeler içeren biyostimülantlar, birbirini izleyen fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalar yoluyla bitki büyümesini ve stres toleransını destekler (Şekil 1).



Şekil 1. Biyostimülantlar ve bazı stres faktörleri (Van Oosten ve ark., 2017).

Biyostimülantlar Jańczak-Pieniżek ve ark. (2023) tarafından kökenlerine ve etki şekillerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır:

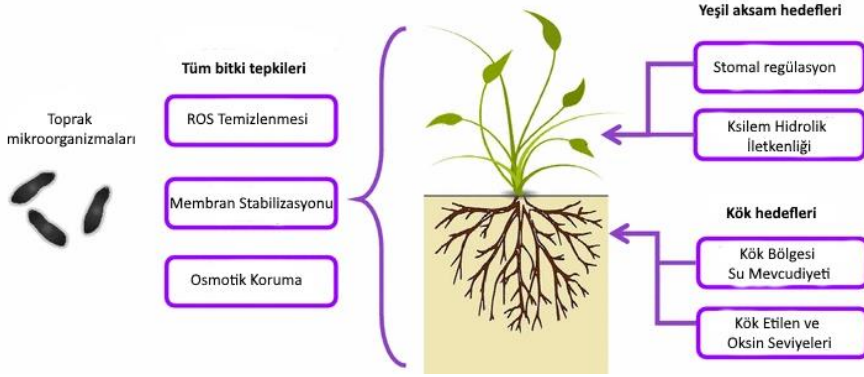
Humik Asitler ve Fulvik Asitler: Hümik ve fulvik asitler bitkisel ve hayvansal atıkların ayrışmasından elde edilen organik bileşiklerdir. Toprak strüktürünün iyileştirmede, bitki besin elementlerinin alınabilirliğini ve rizosferdeki mikrobiyal aktiviteyi arttırmada, çok önemli rol oynarlar. Uygulamalarının besin alım verimliliğini arttırdığı ve çeşitli stres koşulları altında mahsul verimini arttırdığı gösterilmiştir (Berbara ve García, 2013; Sönmez ve Gülser, 2014) (Şekil 2).



Şekil 2. Hümik asit ve Fulvik asit bazlı biyostimülantlar tarafından hedeflenen ana mekanizmalar (Van Oosten ve ark., 2017)

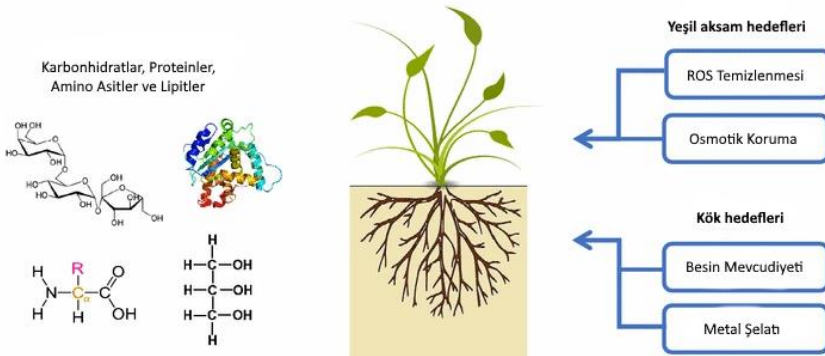
Mikrobiyal Değişiriciler: Mikrobiyal biyostimülantlar, besin kullanılabilirliğini artırarak, toprak sağlığını iyileştirerek ve bitki savunma mekanizmalarını uyararak bitki büyümesini destekleyen faydalı bakteri ve mantarları içerir. Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), bu kategoride öne çıkan bir gruptur; bitki köklerini kolonileştirme ve patojenlere karşı koruma sağlarken besin alımını artırma yetenekleriyle bilinmektedirler (Van Oosten ve ark., 2017; Malik ve ark., 2020; Pacheco ve ark., 2021; Gülser ve Sönmez, 2022). Mikroorganizmalar, bitkilerin hem biyotik hem de abiyotik

streslere karşı direncini geliştirdikleri için sürdürülebilir tarım uygulamalarında oldukça önemli bir yer tutmaktadırlar (Sönmez ve Gülser, 2014; Yakhin ve ark., 2017; Rişvanlı ve Fidan, 2024) (Şekil 3).



Şekil 3. Mikrobiyal bazlı biyostimülanlar tarafından hedeflenen ana mekanizmalar (Van Oosten ve ark., 2017)

Protein Hidrolizatları ve Amino Asitler: Proteinlerin enzimatik hidrolizinden türetilen protein hidrolizatları ve amino asitler, sinyal molekülleri olarak hareket ederek bitki büyümesini teşvik ederler. Bitkilerde büyüme, gelişme ve stres tepkileri dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik süreçleri düzenlemek için kritik olan fitohormonların sentezini artırabilirler (Colla ve ark., 2017b) (Şekil 4).



Şekil 4. Karbonhidratlar, proteinler, amino asitler ve lipit bazlı biyostimülanların hedeflediği mekanizmalar (Van Oosten ve ark., 2017)

Deniz Yosunu Ekstraktları: Deniz yosunu ekstraktları bitki büyümesini ve stres toleransını artırabilen polisakkaritler, vitaminler ve eser elementler dahil olmak üzere çeşitli biyoaktif bileşikler içerirler. Deniz yosunu ekstraktlarının su tutulmasını artırabildiğini, kök gelişimini uyarabildiğini ve bitkinin antioksidan savunma sistemlerini geliştirebildiğini, böylece kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres zararlanmalarını azaltabildiği bildirilmiştir (Colla ve ark., 2017a; Francesca ve ark., 2020; Francesca ve ark., 2021; Villa e Vila ve ark., 2023).

Ayrıca organik asitler, vitaminler ve bitkilerden elde edilen doğal ekstraktlar da biyostimülantlara dahil edilmiştir (Abdallah ve ark., 2020; Del Buono ve ark., 2021; Gil-Ortiz ve ark., 2023).

Abiyotik Stres Altındaki Bitkilerde Biyostimülantların Etki Mekanizmaları

Abiyotik stres altındaki bitkilerde biyostimülantların etki mekanizmaları genel olarak bitki sağlığının ve üretkenliğinin iyileştirilmesi için birlikte katkıda bulunan fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler yanıtlar olarak sınıflandırılabilir.

Fizyolojik Mekanizmalar: Fizyolojik tepkilerin en önemlisi bitki su ilişkilerinde ortaya çıkmaktadır. (Şekil 2). Örneğin, biyostimülantlar kök gelişimini destekleyerek kök yüzey alanını arttırabilir, böylece su ve besin alımını iyileştirebilir (Bulgari ve ark., 2015; Hasanuzzaman ve ark., 2019; Abdallah ve ark., 2020). Bu, verimli su kullanımının önemli olduğu kuraklık koşullarında özellikle önemlidir. Protein hidrolizatlarının uygulanmasının, hücresel yapıların stabilize edilmesine ve ozmotik strese karşı korumaya yardımcı olan trehaloz gibi ozmolitlerin birikimini arttırdığı bildirilmiştir (Paul ve ark., 2019). Ayrıca biyostimülantlar, klorofil içeriğini artırarak ve fotosentetik enzimlerin aktivitesini teşvik ederek fotosentetik verimliliği artırabilir (Bulgari ve ark., 2015; Clément ve ark., 2023). Geliştirilmiş fotosentez, bitki büyümesini teşvik etmekle birlikte aynı zamanda metabolik

süreçler için gerekli enerjiyi sağlayarak bitkinin stresle başa çıkma yeteneğini de artırır (Martinez-Alonso ve ark., 2022).

Biyokimyasal Mekanizmalar: Stres koşulları altında bitkiler, oksidatif hasara yol açabilen reaktif oksijen türleri (ROS) üretir. Biyostimülantların süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini arttırdığı ve böylece oksidatif stresi azalttığı bildirilmiştir (Islam ve ark., 2021; Wu ve ark., 2024). Biyostimülant uygulamalarının tuzluluk stresine maruz kalan bitkilerde ROS seviyelerini azalttığı ve bitkinin oksidatif hasarı yönetme yeteneğini artırdığı bildirilmiştir (Hasanuzzaman ve ark., 2019; Islam ve ark., 2021). Ayrıca biyostimülantlar, biyotik strese karşı bitki savunmasını destekleyen seconder metabolitlerin sentezinde rol oynamaktadır. Örneğin flavonoid açısından zengin biyostimülantların uygulanmasının, büyüme ve stres tepkileriyle ilgili gen ifadesini değiştirdiği, dolayısıyla genel bitki sağlığını desteklediği gösterilmiştir (Valente ve ark., 1998; Martinez-Alonso ve ark., 2023).

Moleküler Mekanizmalar: Biyostimülantlar, moleküler düzeyde gen ifadesinde bitki stres toleransını artıran değişikliklere neden olabilirler. Biyostimülantların uygulanmasının, stres tepki yollarıyla ilişkili genleri yukarı regüle ettiği, koruyucu proteinlerin ve metabolitlerin üretimini artmasına yol açtığı bildirilmiştir (Jańczak-Pieniżek ve ark., 2023; Martinez-Alonso ve ark., 2023). Biyostimülantların bitkileri gelişmiş stres tepkileri için hazırlayabildiği kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stresler koşullarında bu gen ekspresyonu modülasyonu özellikle belirgindir (Jańczak-Pieniżek ve ark., 2023). Biyostimülantların uygulanması, kök gelişimini ve genel bitki gücünü destekleyen oksinler ve gibberellinler gibi fitohormonların seviyelerini arttırarak (Nephali ve ark., 2021; Clément ve ark., 2023), bu hormonal modülasyon, yolu ile bitkinin besin alımını ve çevresel streslere karşı direncini artırır.

Toprak Mikrobiyotası ile Etkileşime Girmek

Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler gibi faydalı mikroorganizmalar, nitrojen fiksasyonu ve fosfat çözünürlüğü dahil olmak üzere çeşitli mekanizmalar yoluyla besin elementi alınımını ve bitki sağlığını iyileştirebilir (Li ve ark., 2021). Biyostimülantların uygulanması, bu yararlı mikroorganizmaların aktivitesini teşvik etmek yolu ile toprak sağlığının iyileşmesine ve biyotik ve abiyotik streslere karşı bitkinin dayanıklılığının artmasına katkıda bulunabilir (Van Oosten ve ark., 2017; Gülser ve Sönmez, 2022).

Abiyotik stres altındaki bitkilerde biyostimülantlar ve etki mekanizmaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Abiyotik stres altında etki gösteren biyostimülantlar ile ilgili yapılan bazı çalışmalar

Biyostimulant	Bitki	Stres kaynağı	Etki	Etki Mekanizması	Referanslar
Deniz yosunu ve metabolit bazı biyostimülantlar	Biber	Kuraklık stresi	Biyostimülanların kuraklık toleransı üzerindeki olumlu etkisi	Fizyolojik aktivite ve su ilişkileri kinetiğinin düzenlenmesi	(Dalal ve ark., 2019)
Deniz yosunu özütü içeren biyostimülantlar	Domates	Su stresi	Fizyolojik tepkileri iyileştirerek ve oksidatif hasara karşı toleransı artırarak stresi azaltma	Su stresi koşullarında süperoksit dismutaz (SOD) ve guaiacol peroksidaz (POD) aktivitelerini artırma	(Peripolli ve ark., 2021)
Bitki bazı protein hidrolizat biyostimülantlar	Domates	Su stresi	Bitki gelişimi ve fotosentezde artış	Metabolomik değişiklikler, fitohormonları (özellikle sitokininlerde azalma ve salisilat birikimi) ve lipitleri (membran lipitleri, steroller ve terpenler) içeren geniş ve düzenli bir aktivite	(Paul ve ark., 2019)
Bitki bazı biyostimülantlar	Roka	Çoklu stres	Besin asimilasyonunda artış	Antioksidan enzim aktivitesini uyarak toplam	(Giordano ve ark., 2020)

				askorbik asit içeriğini yükseltmesi	
Bitki bazlı biyostimulantlar	Domates	Abiyotik stres	Besin kullanım etkinliğini artırma, abiyotik streslere karşı toleransı yükseltme	Sinyal molekülleri ve sitokinin benzeri aktivite	(Francesca ve ark., 2021)
Mikro besinler ve iz elementleri içeren biyostimulantlar	Fasülye	Abiyotik stres	Ürün verimini ve kalitesini artırma, bitkilerin çevresel stresle başa çıkmasına yardımcı olma	Bitkilerde doğal yolları değiştirmeden metabolik süreçleri iyileştirme	(Szparaga ve ark., 2019)
Organik bileşikler ve mikro besinler içeren biyostimulantlar	Biber	Besin stresi ve biyotik stres	Kısıtlı gübreleme koşulları altında doğal biyostimülanların verim ve meyve kalite parametreleri üzerindeki etkisi bitki dayanıklılığını ve verimini artırma	Biyotik stres altında bitki savunma mekanizmalarını iyileştirme, antioksidan aktivitesi	(Paradiković ve ark., 2011)
Hüyük asit, fluvik asit, bambu sirkesi, kitosan, kalsiyum silica, triacantanol ve mikroorganizma kompleksi içeren biyostimulantlar	Yeşil yapraklı sebzeler	Biyotik ve abiyotik stres	Farklı biyotik ve abiyotik senaryoları altında çimlenmede, verimde, gelişimde ve dirençte iyileşme	Farklı stres senaryoları altında metabolizmada iyileşme	(Clément ve ark., 2023)
Amino asit bazlı biyostimulantlar (5-aminolevulinic acid)	Biber	Soğuk stresi	Bitki gelişimi, sükröz proline ve fotosentezde artış	SOD aktivitesi, ROS azaltılması	(Korkmaz ve ark., 2010)
Melathonin	Domates	Tuz stresi	Bitki gelişimini destekleme ve fizyolojik homeostaziyi koruma	Plazma zarı içsel protein (PIP) ekspresyonu, stres genlerinin modülasyonu, antioksidant aktivitesi	(Masoumi ve ark., 2024)
Çeşitli biyostimulantlar	Çeşitli bitkiler	Ağır metal stresi	Farklı biyotik ve abiyotik senaryoları altında bitki gelişimini destekleme	Fitohormonal düzenleme, stres genlerinin düzenlenmesi, detoksifikasyon	(Tyagi ve ark., 2023)

Biyotik Stres Altındaki Bitkilerde Biyostimülanların Etki Mekanizmaları

Biyostimülanlar, patojenler ve zararlılar gibi biyotik stres etkenlerine karşı bitkinin dayanıklılığını arttırmada etkili araçlar olarak da kabul edilmektedirler. Biyostimülanların biyotik stres altındaki bitkilerde, bitkinin doğuştan gelen savunma mekanizmalarını harekete geçirerek büyümeyi ve genel sağlığı iyileştirebildiği ve böylece biyotik stresin olumsuz etkilerini azaltabildiği belirlenmiştir (Bulgari ve ark., 2015; Lau ve ark., 2022). Biyostimülanların bitkilerde biyotik strese karşı etki mekanizmaları aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırılmaktadır.

Sistemik Kazanılmış Direncin (SAR) İndüksiyonu:

Biyostimülanlar, bitkiyi patojen saldırılarına daha etkili bir şekilde yanıt vermeye hazırlayan bir savunma mekanizması olan bitkilerde sistemik edinilmiş direnci (SAR) tetikleyebilir. Belirli biyostimülanların bitkide strese karşı savunmayla ilgili genlerin ekspresyonunu arttırdığı, patojenlerle mücadeleye yardımcı olan patogenezle ilişkili proteinlerin üretimini arttırdığı bildirilmiştir (Steiner ve ark., 2009; Bulgari ve ark., 2015; Martinez-Alonso ve ark., 2023).

Antioksidan Savunma Sistemlerinin Geliştirilmesi:

Biyostimülanlar, bitkilerde patojen saldırılarının neden olduğu oksidatif stresin yönetilmesinde önemli bir rol oynayan antioksidan savunma sistemlerini güçlendirebilir. Biyostimülanların uygulanması ile biyotik stres sırasında oksidatif hasarın hafifletilmesine yardımcı olan SOD ve CAT gibi antioksidan enzimlerin aktivitesi artmaktadır (Li ve ark., 2012; Decros ve ark., 2019; Islam ve ark., 2021; Wu ve ark., 2024). Bitki bazlı modifiye edilmiş bir biyostimülanın, tuzluluk stresi altında *Arabidopsis thaliana*'daki ROS seviyelerini azaltmasını, onun oksidatif stres toleransını artırma potansiyeli ile ilişkilendirmiştir (Islam ve ark., 2021).

Fitohormonların Düzenlenmesi:

Biyostimülanlar, bitki savunma tepkilerini düzenlemek için kritik olan salisilik asit, jasmonik

asit ve etilen gibi fitohormonların seviyelerini arttırmaktadır. Bu hormonlar, savunma genlerinin aktivasyonu ve patojenleri caydıran ikincil metabolitlerin üretimi yolu ile bitkinin biyotik strese tepkisinde önemli roller oynar (Sönmez ve Gülser, 2014; Lephatsi ve ark., 2021; Pereira ve ark., 2021; Khetsha ve ark., 2024).

Bitki Besin Elementi Alımının ve Toprak Sağlığının İyileştirilmesi: Biyostimülantlar, biyotik stres koşulları altında bitki sağlığını korumak için yaşamsal önem taşıyan besin elementi yarayışlılığını ve alımını artırabilir. Biyostimülantlar, rizosferdeki faydalı mikrobiyal aktiviteyi teşvik ederek toprak sağlığına ve besin döngüsünü iyileştirerek bitki büyümesine ve dayanıklılığa olumlu etkide bulunur (Li ve ark., 2021; Lau ve ark., 2022). Farklı araştırmacılar biyostimülantların mahsul büyümesini iyileştirdiğini ve biyotik stres dahil çeşitli koşullar altında stres semptomlarını azalttığını vurguladı (Nardi ve ark., 2009; Gajc-Wolska ve ark., 2012; Sharma ve ark., 2014; Gerhards ve ark., 2021).

Sekonder Metabolit Üretiminin Gerçekleşmesi: Biyostimülantlar biyotik strese karşı koruyucu rolleriyle bilinen flavonoidler ve fenolikler gibi ikincil metabolitlerin üretimini teşvik ederler. Bu bileşikler, caydırıcı veya antimikrobiyal ajanlar olarak hareket ederek patojenlere ve zararlılara karşı bitkinin direncini artırırlar (Shah ve Smith, 2020; Khetsha ve ark., 2022). Fenoliklerin ve flavonoidlerin böcek kovucu olarak rolü çeşitli araştırmalarla gösterilmiştir.

(Johnson ve Dowd, 2004; Lattanzio ve ark., 2006). Flavonoidlerin biyotik ve abiyotik streslere karşı koruyucu etkiler sağladığı ve sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkıda bulunduğu bildirilmiştir (Palma-Tenango ve ark., 2017; Shah ve Smith, 2020).

Biyotik stres altındaki bitkilerde biyostimülantlar ve etki mekanizmaları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Biyotik stres altında etki gösteren biyostimülanlar ile ilgili yapılan bazı çalışmalar

Biyostimulant	Bitki	Stres kaynağı	Etki	Etki Mekanizması	Referanslar
Mikrobiyal bazı biyostimülanlar (Bakteriyel)	Biber bitkisi	Biyotik stres	Bitkide çimlenme, gelişim ve verimde artışın yanı sıra herbivor zararlıının gelişimini azaltma	İndüklenmiş savunma tepkilerinde artış	(Herman ve ark., 2008)
Mikrobiyal bazı biyostimülanlar (Bakteriyel)	Mısır	Kuraklık stresi	Bitki gelişimini ve kuraklık stresine toleransı artırma	Metabolik yolları düzenleyerek, oksidatif stresin enzimatik düzenleyicilerini artırarak kuraklık stresi ve bitki savunmasıyla ilgili gen ifadesini teşvik etme	(Adoko ve ark., 2021; Lephatsi ve ark., 2022)
Mikrobiyal ve antiparaziter antibiyotik avermektin, aminoasitler, serbest yağ asitleri, B grubu vitaminleri ve fitohormonlar içeren biyostimülanlar	Salatalık, patates ve şeker pancarı	Biyotik stres	Ürün veriminde ve nematodlara karşı dirençte artış	Nematodlara karşı bitki bağışıklığını artıran, anti-nematod aktivitesine sahip küçük düzenleyici si/miRNA sentezinin indüklenmesi	(Tsygankova ve ark., 2013)
Mikrobiyal bazı biyostimülanlar (Fungal)	Domates	Biyotik ve abiyotik stres	Bitki dayanıklılığı ve verimde artış	Simbiyotik kimyasal iletişim	(Shoresh ve ark., 2010)
Mikrobiyal bazı biyostimülanlar (Fungal)	Yer fıstığı	Biyotik stres	Bitkideki enfeksiyonu azaltma	Kitinaz, peroksidaz ve polifenol oksidaz birikimini ve indüklenmiş sistemik direncin uyarılması	(Rajeswari, 2014)
Mikrobiyal bazı biyostimülanlar (Fungal)	Buğday	Tuz stresi	Net fotosentezi ve su kullanım verimliliğini artırma	Bitkinin kimyasal profili ve prolin seviyes değişme ve	(Oljira ve ark., 2020)
Mikrobiyal bazı biyostimülanlar (Fungal)	Mısır	Biyotik stres	Herbivor zararlıya karşı direnç, bitkideki Cu, Ca, Mg, Na ve K miktarında önemli artışlar, fenotipte değişme, tolerans	JA aracılı indüklenmiş savunma tepkileri	(Contreras-Cornejo ve ark., 2021)

			ve verimde iyileşme		
Mikrobiyal bazı biyostimülantlar (Fungal)	Pamuk ve Patates	Biyotik stres	Ürün veriminde ve herbivor böceğe karşı tolerans artışı	Bitkide antioksidan, CAT, SOD, MDA ve moleküler olarak modülasyon ve uyarılmış savunma indüksiyonu	(Risvanli, 2022)
Mikrobiyal bazı biyostimülantlar (Fungal)	Pamuk	Biyotik stres	Bitki gelişimi ve böceğe tolerans	Bitkinin kimyasal profilinde değişme ve klorofil kapasitesinde artış	(Mantzoukas ve ark., 2023)

SONUÇ

Sonuç olarak, biyostimülantlar modern tarım uygulamalarında bitkinin hem abiyotik hem de biyotik streslere karşı dayanıklılığını arttırmada çok önemli bir yer tutmaktadırlar. Hormonal dengenin düzenlenmesi, antioksidan sistemlerin geliştirilmesi, bitki savunma mekanizmalarının uyarılması ve besin alınımının iyileştirilmesi gibi çok yönlü faydaları nedeniyle modern tarımda yoğun ilgi görmektedirler. İklim değişikliği ve çevresel kirliliğinin ekosistem üzerinde tehdit oluşturduğu günümüz koşullarında, biyostimülantların sürdürülebilir tarım uygulamalarına dahil edilmesi, gıda güvenliğinin sağlanması ve ekosistem sağlığını koruyucu adımlar atılması bakımından büyük önem taşımaktadır. Biyostimülantların spesifik mekanizmaları ve uygulamalarına ilişkin devam eden ve ileride bu konuda yürütülebilecek araştırmalar, küresel anlamda tarımın karşı karşıya olduğu zorluklar karşısında daha yenilikçi çözümler yaratabilecektir.

KAYNAKÇA

- Abdallah, M. M. S., Ramadan, A. A. E.-M., El-Bassiouny, H. M. S. ve Bakry, B. A. (2020). Regulation of antioxidant system in wheat cultivars by using chitosan or salicylic acid to improve growth and yield under salinity stress.
- Adoko, M. Y., Sina, H., Amogou, O., Agbodjato, N. A., Noumavo, P. A., Aguégué, R. M., Assogba, S. A., Adjovi, N. A., Dagbénonbakin, G. ve Adjanohoun, A. (2021). Potential of biostimulants based on PGPR rhizobacteria native to benin's soils on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.) under greenhouse conditions. *Open Journal of Soil Science*, 11(03), 177.
- Berbara, R. L. ve García, A. C. (2013). Humic substances and plant defense metabolism. In *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment: volume 1* (pp. 297-319): Springer.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P. ve Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1-17.
- Clément, J., Delisle-Houde, M., Nguyen, T. T. A., Dorais, M. ve Tweddell, R. J. (2023). Effect of biostimulants on leafy vegetables (Baby leaf lettuce and batavia lettuce) exposed to abiotic or biotic stress under two different growing systems. *Agronomy*, 13(3), 879.
- Colla, G., Cardarelli, M., Bonini, P. ve Roupael, Y. (2017a). Foliar applications of protein hydrolysate, plant and seaweed extracts increase yield but differentially modulate fruit quality of greenhouse tomato. *Hortscience*, 52(9), 1214-1220.
- Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R. ve Roupael, Y. (2017b). Biostimulant action of protein

- hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in plant science*, 8, 2202.
- Contreras-Cornejo, H. A., Macias-Rodriguez, L., Real-Santillan, R. O., Lopez-Carmona, D., Garcia-Gomez, G., Galicia-Gallardo, A. P., Alfaro-Cuevas, R., Gonzalez-Esquivel, C. E., Najera-Rincon, M. B., Adame-Garnica, S. G., Rebollar-Alviter, A., Alvarez-Navarrete, M. ve Larsen, J. (2021). In a belowground multitrophic interaction, *Trichoderma harzianum* induces maize root herbivore tolerance against *Phyllophaga vetula*. *Pest Management Science*, 77(9), 3952-3963. doi:10.1002/ps.6415
- Dalal, A., Bourstein, R., Haish, N., Shenhar, I., Wallach, R. ve Moshelion, M. (2019). Dynamic physiological phenotyping of drought-stressed pepper plants treated with “productivity-enhancing” and “survivability-enhancing” biostimulants. *Frontiers in plant science*, 10, 905.
- Decros, G., Baldet, P., Beauvoit, B., Stevens, R., Flandin, A., Colombié, S., Gibon, Y. ve Pétriacq, P. (2019). Get the balance right: ROS homeostasis and redox signalling in fruit. *Frontiers in plant science*, 10, 1091.
- Del Buono, D., Regni, L., Del Pino, A. M., Bartucca, M. L., Palmerini, C. A. ve Proietti, P. (2021). Effects of megafol on the olive cultivar ‘Arbequina’ grown under severe saline stress in terms of physiological traits, oxidative stress, antioxidant defenses, and cytosolic Ca²⁺. *Frontiers in plant science*, 11, 603576.
- Francesca, S., Arena, C., Hay Mele, B., Schettini, C., Ambrosino, P., Barone, A. ve Rigano, M. M. (2020). The use of a plant-based biostimulant improves plant performances and fruit quality in tomato plants grown at elevated temperatures. *Agronomy*, 10(3), 363.
- Francesca, S., Barone, A. ve Rigano, M. M. (2021). *One plant-based biostimulant stimulates good performances of tomato plants*

- grown in open field*. Paper presented at the Biology and Life Sciences Forum.
- Gajc-Wolska, J., Spizewski, T. ve Grabowska, A. (2012). *The effect of seaweed extracts on the yield and quality parameters of broccoli (Brassica oleracea var. cymosa L.) in open field production*. Paper presented at the I World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture 1009.
- Gerhards, R., Ouidoh, F. N., Adjogboto, A., Avohou, V. A. P., Dossounon, B. L. S., Adisso, A. K. D., Heyn, A., Messelhäuser, M., Santel, H.-J. ve Oebel, H. (2021). Crop response to leaf and seed applications of the biostimulant ComCat® under stress conditions. *Agronomy*, 11(6), 1161.
- Gil-Ortiz, R., Naranjo, M. Á., Atares, S. ve Vicente, O. (2023). Antioxidant responses of water-stressed cherry tomato plants to natural biostimulants. *Agronomy*, 13(9), 2314.
- Giordano, M., El-Nakhel, C., Caruso, G., Cozzolino, E., De Pascale, S., Kyriacou, M. C., Colla, G. ve Rouphael, Y. (2020). Stand-alone and combinatorial effects of plant-based biostimulants on the production and leaf quality of perennial wall rocket. *Plants*, 9(7), 922.
- Gülser, F. ve Sönmez, F. (2022). Effects of mycorrhizae and salicylic acid on growth, cadmium content and uptake of maize (*Zea mays* L.) seedlings in cadmium contaminated media. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 8(1), 133-141.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Anee, T. I., Parvin, K., Nahar, K., Mahmud, J. A. ve Fujita, M. (2019). Regulation of ascorbate-glutathione pathway in mitigating oxidative damage in plants under abiotic stress. *Antioxidants*, 8(9), 384.
- Herman, M. A. B., Nault, B. A. ve Smart, C. D. (2008). Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on bell pepper production and green peach aphid infestations in New York. *Crop Protection*, 27(6), 996-1002. doi:10.1016/j.cropro.2007.12.004

- Islam, M. T., Ckurshumova, W., Fefer, M., Liu, J., Uddin, W. ve Rosa, C. (2021). A plant based modified biostimulant (Copper chlorophyllin), mediates defense response in *Arabidopsis thaliana* under salinity stress. *Plants*, 10(4), 625.
- Jańczak-Pieniżek, M., Pikuła, W., Pawlak, R., Drygaś, B. ve Szpunar-Krok, E. (2023). Physiological response of *Miscanthus sinensis* (Anderss.) to biostimulants. *Agriculture*, 14(1), 33.
- Johnson, E. T. ve Dowd, P. F. (2004). Differentially enhanced insect resistance, at a cost, in *Arabidopsis thaliana* constitutively expressing a transcription factor of defensive metabolites. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(16), 5135-5138.
- Khetsha, Z., Van Der Watt, E., Masowa, M., Legodi, L., Satshi, S., Sadiki, L. ve Moyo, K. (2024). Phytohormone-Based Biostimulants as an Alternative Mitigating Strategy for Horticultural Plants Grown Under Adverse Multi-Stress Conditions: Common South African Stress Factors. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 39(1), 167-193.
- Khetsha, Z. P., Sedibe, M. M., Pretorius, R. J., Rathebe, P. C. ve Moloantsoa, K. (2022). Using biostimulants containing phytohormones to recover hail-damaged essential oil plants. In *Revisiting Plant Biostimulants*: IntechOpen.
- Korkmaz, A., Korkmaz, Y. ve Demirkıran, A. R. (2010). Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedlings by exogenous application of 5-aminolevulinic acid. *Environmental and Experimental Botany*, 67(3), 495-501.
- Lattanzio, V., Lattanzio, V. M. ve Cardinali, A. (2006). Role of phenolics in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. *Phytochemistry: Advances in research*, 66(2), 23-67.
- Lau, S.-E., Teo, W. F. A., Teoh, E. Y. ve Tan, B. C. (2022). Microbiome engineering and plant biostimulants for sustainable crop

- improvement and mitigation of biotic and abiotic stresses. *Discover Food*, 2(1), 9.
- Lephatsi, M., Nephali, L., Meyer, V., Piater, L. A., Buthelezi, N., Dubery, I. A., Opperman, H., Brand, M., Huyser, J. ve Tugizimana, F. (2022). Molecular mechanisms associated with microbial biostimulant-mediated growth enhancement, priming and drought stress tolerance in maize plants. *Scientific Reports*, 12(1), 10450.
- Lephatsi, M. M., Meyer, V., Piater, L. A., Dubery, I. A. ve Tugizimana, F. (2021). Plant responses to abiotic stresses and rhizobacterial biostimulants: Metabolomics and epigenetics perspectives. *Metabolites*, 11(7), 457.
- Li, H., Yue, H., Li, L., Liu, Y., Zhang, H., Wang, J. ve Jiang, X. (2021). Seed biostimulant *Bacillus* sp. MGW9 improves the salt tolerance of maize during seed germination. *AMB Express*, 11(1), 74.
- Li, L., Wang, Y. ve Shen, W. (2012). Roles of hydrogen sulfide and nitric oxide in the alleviation of cadmium-induced oxidative damage in alfalfa seedling roots. *Biometals*, 25(3), 617-631.
- Malik, A., Mor, V. S., Tokas, J., Punia, H., Malik, S., Malik, K., Sangwan, S., Tomar, S., Singh, P. ve Singh, N. (2020). Biostimulant-treated seedlings under sustainable agriculture: A global perspective facing climate change. *Agronomy*, 11(1), 14.
- Mantzoukas, S., Papantzikos, V., Katsogiannou, S., Papanikou, A., Koukidis, C., Servis, D., Eliopoulos, P. ve Patakioutas, G. (2023). Biostimulant and bioinsecticidal effect of coating cotton seeds with endophytic *Beauveria bassiana* in semi-field conditions. *Microorganisms*, 11(8), 2050.
- Martinez-Alonso, A., Garcia-Ibañez, P., Bárzana, G. ve Carvajal, M. (2022). Leaf gas exchange and growth responses of tomato plants to external flavonoids application as biostimulators under normal and salt-stressed conditions. *Agronomy*, 12(12), 3230.

- Martinez-Alonso, A., Yepes-Molina, L., Guarnizo, A. L. ve Carvajal, M. (2023). Modification of gene expression of tomato plants through foliar flavonoid application in relation to enhanced growth. *Genes*, 14(12), 2208.
- Masoumi, Z., Haghighi, M. ve Mozafarian, M. (2024). Effects of foliar spraying with melatonin and chitosan Nano-encapsulated melatonin on tomato (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Falcato) plants under salinity stress. *BMC Plant Biology*, 24(1), 961.
- Nardi, S., Carletti, P., Pizzeghello, D. ve Muscolo, A. (2009). Biological activities of humic substances. *Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems*, 2(part 1), 305-339.
- Nephali, L., Moodley, V., Piater, L., Steenkamp, P., Buthelezi, N., Dubery, I., Burgess, K., Huyser, J. ve Tugizimana, F. (2021). A metabolomic landscape of maize plants treated with a microbial biostimulant under well-watered and drought conditions. *Frontiers in plant science*, 12, 676632.
- Oljira, A. M., Hussain, T., Waghmode, T. R., Zhao, H., Sun, H., Liu, X., Wang, X. ve Liu, B. (2020). *Trichoderma* enhances net photosynthesis, water use efficiency, and growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Microorganisms*, 8(10), 1565.
- Pacheco, I., Ferreira, R., Correia, P., Carvalho, L., Dias, T. ve Cruz, C. (2021). Microbial consortium increases maize productivity and reduces grain phosphorus concentration under field conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 232-237.
- Palma-Tenango, M., Soto-Hernández, M. ve Aguirre-Hernández, E. (2017). Flavonoids—From Biosynthesis to Human Health. In: *InTech London, UK*.
- Parađiković, N., Vinković, T., Vinković Vrček, I., Žuntar, I., Bojić, M. ve Medić-Šarić, M. (2011). Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper

- (*Capsicum annuum* L.) plants. Journal of the Science of Food and Agriculture, 91(12), 2146-2152.
- Paul, K., Sorrentino, M., Lucini, L., Roupael, Y., Cardarelli, M., Bonini, P., Miras Moreno, M. B., Reynaud, H., Canaguier, R. ve Trtílek, M. (2019). A combined phenotypic and metabolomic approach for elucidating the biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate on tomato grown under limited water availability. *Frontiers in plant science*, 10, 493.
- Pereira, R. V., Filgueiras, C. C., Dória, J., Peñafior, M. F. G. ve Willett, D. S. (2021). The effects of biostimulants on induced plant defense. *Frontiers in Agronomy*, 3, 630596.
- Peripolli, M., Dornelles, S. H., Lopes, S. J., Tabaldi, L. A., Trivisiol, V. S. ve Rubert, J. (2021). Application of biostimulants in tomato subjected to water deficit: Physiological, enzymatic and production responses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25, 90-95.
- Rajeswari, P. (2014). Role of phenols and antioxidant enzymes in biocontrol of *Fusarium oxysporum* causing fusarium wilt of *Arachis Hypogaeae*. L (groundnut). *International Journal of Agricultural Science and Research*, 4(6), 95-104.
- Risvanli, M. R. (2022). *Determination of Population Performance and Feeding Capacity of Spodoptera Exigua on Trichoderma harzianum Applied Potato and Cotton Plant*. (Ph.D. Thesis), Van Yuzuncu Yil University, Department of Plant Protection, pp. 131,
- Rişvanlı, M. ve Fidan, E. (2024). *Beneficial Soil-Born Microorganisms for Weed and Insect Pest Management in Agriculture: Potential and Limitations*. Paper presented at the 7th International Food, Agriculture and Veterinary Sciences Congress, Adana, Türkiye, 249-255.
- Saa, S., Olivos-Del Rio, A., Castro, S. ve Brown, P. H. (2015). Foliar application of microbial and plant based biostimulants increases

- growth and potassium uptake in almond (*Prunus dulcis* [Mill.] DA Webb). *Frontiers in plant science*, 6, 87.
- Shah, A. ve Smith, D. L. (2020). Flavonoids in agriculture: Chemistry and roles in, biotic and abiotic stress responses, and microbial associations. *Agronomy*, 10(8), 1209.
- Sharma, H. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. ve Martin, T. (2014). Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, 26, 465-490.
- Shoresh, M., Harman, G. E. ve Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 21-43. doi:10.1146/annurev-phyto-073009-114450
- Sönmez, F. ve Gülser, F. (2014). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus and salicylic acid on nutrient uptake by maize (*Zea mays* L.) seedlings in cadmium contaminated media. *Journal of International Environmental Application and Science*, 9(5), 608.
- Steiner, B., Kurz, H., Lemmens, M. ve Buerstmayr, H. (2009). Differential gene expression of related wheat lines with contrasting levels of head blight resistance after *Fusarium graminearum* inoculation. *Theoretical and Applied Genetics*, 118, 753-764.
- Szparaga, A., Kuboń, M., Kocira, S., Czerwińska, E., Pawłowska, A., Hara, P., Kobus, Z. ve Kwaśniewski, D. (2019). Towards sustainable agriculture—Agronomic and economic effects of biostimulant use in common bean cultivation. *Sustainability*, 11(17), 4575.
- Traon, D., Amat, L., Zotz, F. ve du Jardin, P. (2014). A Legal Framework for Plant Biostimulants and Agronomic Fertiliser Additives in the EU-Report to the European Commission, DG Enterprise & Industry.

- Tsygankova, V. A., Iutynska, G. A., Galkin, A. P. ve Blume, Y. B. (2013). Impact of new natural biostimulants on increasing synthesis in plant cells of small regulatory si/miRNA with high anti-nematodic activity. *International Journal of Biology*, 6(1), 48-64.
- Tyagi, A., Maman, S. ve Tyagi, S. (2023). Biostimulants signaling under Cd, Al, As, Zn, and Fe toxicity. In *Biostimulants in Alleviation of Metal Toxicity in Plants* (pp. 449-467): Elsevier.
- Valente, P., Tao, W. ve Verbelen, J.-P. (1998). Auxins and cytokinins control DNA endoreduplication and deduplication in single cells of tobacco. *Plant Science*, 134(2), 207-215.
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S. ve Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 1-12.
- Villa e Vila, V., Marques, P. A. A., Rezende, R., Wenneck, G. S., Terassi, D. d. S., Andrean, A. F. B. A., Nocchi, R. C. d. F. ve Matumoto-Pintro, P. T. (2023). Deficit irrigation with *Ascophyllum nodosum* extract application as a strategy to increase tomato yield and quality. *Agronomy*, 13(7), 1853.
- Wu, J., Zhong, H., Ma, Y., Bai, S., Yadav, V., Zhang, C., Zhang, F., Shi, W., Abudurehman, R. ve Wang, X. (2024). Effects of Different Biostimulants on Growth and Development of Grapevine Seedlings under High-Temperature Stress. *Horticulturae*, 10(3), 269.
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A. ve Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in plant science*, 7, 2049.

BÖLÜM 4

GIDALARIN KURUTULMASINDA ve ÖN İŞLEM UYGULAMALARINDA KULLANILAN YENİLİKÇİ YÖNTEMLER

Gıda Yük. Müh. Neslihan ERSOYAK¹

Gıda Yük. Müh. Elif KOÇ ALİBAŞOĞLU^{1,2}

Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU*¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14541456>

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye; nersoyak@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3787-4759>

^{1,2} Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye; Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa, Türkiye, elifkoc0894@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8315-6411>

^{1,2}*Sorumlu Yazar; Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye; Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa, Türkiye, pyomeroglu@uludag.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8254-3401>

GİRİŞ

Gıda muhafaza yöntemlerinin geliştirilmesinde iklim, coğrafya, yaşayış biçimi, doğal besin kaynakları, teknolojik faaliyetler gibi faktörler etkili olmuştur. Tarihte bilinen en eski gıda muhafaza yöntemlerinden biri olan tuzlama ve şekerleme işlemi, mikrobiyal etkinliği durdurarak gıdaları korumak için kullanılmıştır. Bir diğer gıda muhafaza yöntemi olan ısıtma işlemi uygulaması ile mikroorganizmalardaki proteinler denatüre edilerek enzimatik aktivite durdurulmuş olur. Kurutma işlemi, bilinen en eski gıda muhafaza tekniklerinden biridir. Bu tekniğin amacı ise besindeki nem içeriğinin azaltılması ile gıdanın su aktivitesi düşürülerek mikroorganizmaların çoğalmasını ve metabolik faaliyet göstermesini engellemektir. Kurutma işlemi uygulanarak muhafaza edilen gıdalarda hacim küçülmesi ile depolama daha kolay hale gelmektedir. Gıda sektöründe, uzun raf ömrü, azaltılmış nakliye maliyetleri, hacim küçülmesine bağlı olarak depolama alanına duyulan ihtiyacın azalması, tüketime hazır yüksek besin değerine sahip atıştırmalıklar ve gıda işleme için kullanıma hazır katkı maddeleri eldesi gibi avantajlarından dolayı kurutma işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte kurutma işleminin çok fazla zaman ve enerji gerektirmesi ve ürünün kalitesi üzerinde oluşabilecek olumsuz etkiler dezavantajlarıdır. Bu sebeple, kurutma yöntemini belirlerken, kurutma koşullarının ham madde karakteristikleri, kuru üründe istenen renk, doku, rehidrasyon potansiyeli, besin değeri ve duyu kalite, ekonomik analizler ve maliyet, güvenlik ve çevresel nedenler üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

1.KURUTMA

Birçok meyve ve sebzenin hasat döneminin kısa olması, kurutma işlemini zorunlu kılmaktadır. Kurutma, gıda ürünlerini korumanın geleneksel yollarından biridir. Kurutmanın temel amacı bünyesindeki suyun gıda matrisinden kısmen uzaklaştırılması ve sonuç olarak raf ömrünün uzatılması ve gıda bozulmasının önlenmesidir (Kutlu, İşçi ve

Şakıyan Demirkol, 2015). Kurutma sayesinde, gıdanın hacim ve ağırlığında azalma, buna bağlı olarak ambalaj boyutunda küçülme, nakliyede ve depolamada daha düşük maliyet ve kolaylık gibi avantajlar sağlanmaktadır (Al Hilphy, Mohsen, Barba, Lorenzo, Al-Shalah ve Deepak, 2021; Waghmare vd., 2023). Öte yandan, kurutma işlemi, gıdadaki fiziksel ve biyokimyasal değişikliklere bağlı olarak nihai ürünün kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Gıda matrisindeki bu değişiklikler, kuruma süresi, sıcaklık ve ürünün su aktivitesi gibi faktörlerden etkilenmektedir (Alaei, Dibagar, Chayjan, Kaveh ve Taghinezhad, 2018). Bu nedenle, tüketicilerin kaliteli gıda talebini ve endüstrinin enerji ve zaman tasarrufu gibi beklentilerini karşılamak üzere yenilikçi kurutma ve ön işlem tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır.

1.1. Kurutma Prensibi ve Kinetiği

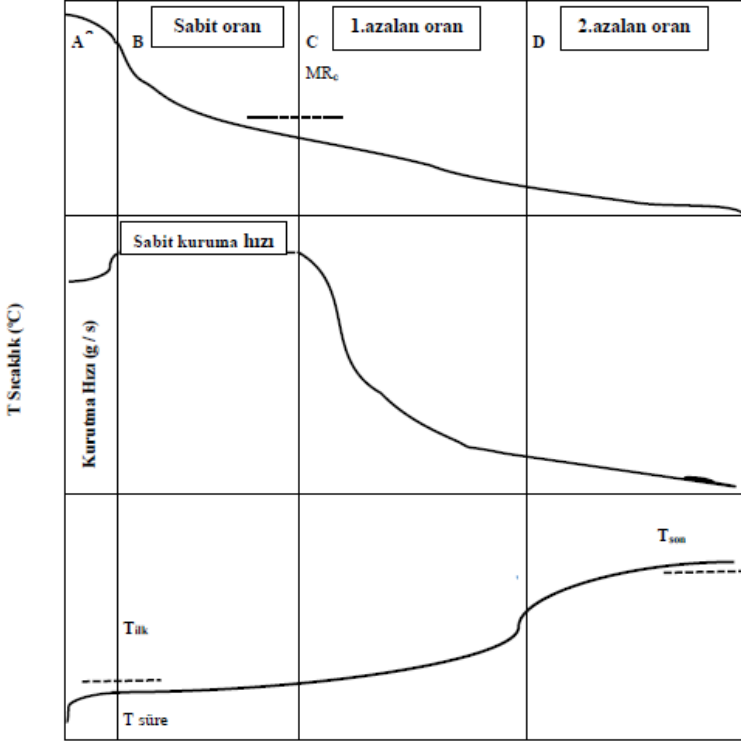
Kurutma için gerekli ısı, temelde farklı üç şekilde sağlanabilmektedir. Konveksiyon, sıvıyı buharlaştırmak için gerekli ısıyı sağlamak için doğrudan malzemenin yüzeyine uygulanan, genellikle ısıtılmış hava şeklindeki taşıyıcı bir gaz ile olur. İletimde ısı, dolaylı olarak sağlanır ve taşıyıcı gaz yalnızca buharlaşan sıvı fazın uzaklaştırılmasına hizmet eder. Radyasyon ise kızılötesi radyasyon gibi nüfuz etmeyen veya radyo frekansı ve mikrodalgalar gibi nüfuz edebilen elektromanyetik dalgaların emisyonunu ile üretilen termal radyasyondur. Endüstriyel olarak, çoğu kurutucuda iki veya daha fazla mekanizmanın kombinasyonu ile karşılaşılır ve bunun için kurutma adımının izole olarak kabul edilmemesi, bunun yerine tüm süreç bağlamında gözden geçirilmesi önemlidir (Radoiu, 2020). Doğal kurutma yöntemleri, kurutma hızı ve kurutulmuş ürünün kalitesi üzerinde kısıtlı kontrole sahiptir. Mekanik kurutucular ve aktif kurutucular, kalite gerekliliklerini/standartlarını karşılamak için de kontrol edilebilen daha yüksek kurutma hızına sahiptirler (Babu, Kumaresan, Raj ve Velraj, 2018).

Gıda maddelerinde, ürünün nem içeriği kuruma süresince azalarak, bir noktadan sonra ise sabitlenmektedir. Kuruma hızı ilk saatlerde çok yüksek iken, sürenin ilerlemesiyle azalmaktadır (Lewis, 1921). Kurutma hızı, ürünün özellikleri, tekstürel yapısı boyutu, kalınlığı, kurutma hava hızı, kurutma sıcaklık ve nemi, ürün miktarı gibi özelliklere bağlıdır (Inyang, Oboh ve Etuk, 2018).

Genel olarak, higroskopik ürünler Şekil 1’ de görüldüğü üzere, önce sabit hızda, ardından düşen hız periyotlarında kurur ve denge sağlandığında kuruma durur. Sabit hız periyodu, ürünün fiziksel formuna, sıcaklık, kurutucu hava hızı, hava akış yönü ve bağıl nem gibi dış koşullar ile yüzey difüzyonunda büyük etkiye sahiptir. Ürün yüzey filmi, kurumuş gibi görüldüğünde ve nem içeriği, kritik nem içeriğine düştüğünde, ilk azalan hız dönemi başlar. Sabit oran periyotlardan farklı olarak, düşen hız periyodunda, nem konsantrasyonu farklılıkları, ürünün iç koşullarının bir sonucu olarak sıvı difüzyonu ile kontrol edilir. Azalan oran periyotlarında nem içeriği, sıcaklık ve ürünün yapısı gibi iç koşullar önemli rol oynamaktadır. İlerleyen süreçte, nem konsantrasyonu farkından ve ürünün iç koşullarından dolayı buhar difüzyonu olan ikinci azalan kuruma periyoduna geçiş dönemi başlamaktadır (Babu vd., 2018).

Şekil 1’de belirtilen A-B bölgesi; gıdanın yüzey sıcaklığının kuruma sıcaklığı ile dengeye gelme süresidir. Kuruma hızı artıyor gibi gözükse de bu kısa süreli bir durumdan ibarettir. B-C bölgesi; sabit hızda kuruma bölgesidir. Bu bölgede ürün tamamen ıslak kabul edilir ve dış etkenlere bağlı olarak kuruma gelişir. Bu periyotta kurumanın başlangıçlarında ve genelde kısa süreli görülür. C-D bölgesinde kuruma hızı azalmaya başlar. Ürün yüzeyinde ilk kuru noktanın oluştuğu seviye kritik nokta olarak adlandırılmaktadır. Bu noktada sabit kuruma periyodunun bittiğini de göstermektedir. Ürün yüzeyindeki ıslak alan miktarı azalmaya başlamaktadır ve bu dönemde difüzyon etkilidir. Gıdaların genellikle bu dönemde kurudukları bilinmektedir. D-E bölgesi; ikinci azalan bölgedir. D noktasında artık ürün yüzeyi tamamen

kuru olduğu belirtilmektedir (Babu vd., 2018; Inyang vd., 2018; Radoiu, 2020).



Şekil 1: Gıda ürünlerinin kuruma eğrisi (x eksenı zamanı ($T_{süre}$), y eksenı kurutma hızını (g/s) göstermektedir)

1.1.1. İnce Tabaka Kurutma Kuramı ve Modelleri

İnce tabaka kurutma modelleri, gıda ve tarım ürünlerinin kurutma kinetiğinin analiz edilmesine yardımcı olarak, ürün kalitesinin korunmasına, hasat ve işleme sırasında ortaya çıkabilecek kayıpların azaltılmasına destek olabilecek yaklaşımlardır (Inyang vd., 2018). İnce tabaka, tabaka halindeki ürünün her yerindeki hava özelliklerinde değişiklik olmaksızın aynı şekilde üniform olduğu düşünülerek, ince ürün kalınlığına sahip tabakayı ifade etmektedir. İnce tabakalı kurutma işlemi, kurutma havasına tamamen maruz kalan malzeme parçacıklarının veya taneciklerinin kurutulmasını ifade etmektedir. İşlem, genellikle,

sabit kurutma hız dönemi ve azalan kurutma hız dönemi olmak üzere iki kurutma dönemine ayrılır. Uygulamalarda genelde gıda ürünlerinin kuruması azalan oran döneminde gerçekleşir. Azalan oran döneminde kurutma iki süreci içermektedir. Malzeme içindeki nemin yüzeye olan hareketi ve yüzeyden nemin uzaklaştırılması şeklindedir. İnce tabaka kurutma, denge nem içeriğine ulaşılan kadar fazla kurutma havasının ince bir malzeme tabakasından geçirildiği buharlaştırma yoluyla gözenekli bir ortamdan nemin uzaklaştırılması işlemi olarak da tanımlanmaktadır. Kurutma işlemi sırasında meyve ve sebzelerin kurutma kinetiğini en az etkileyen faktörlerin hava hızı ve bağıl nem olduğu, meyve ve sebzelerin ince tabaka kuruma kinetiğini en çok etkileyen faktörlerin ise sıcaklık ve kalınlık olduğu bildirilmiştir (Stegou-Sagia ve Fragkou, 2015; Aquino Brito Lima-Corrêa, dos Santos Andrade, da Silva, Freire ve Ferreira, 2017). Kurutma sistemlerinde, uygun kurutma koşullarının optimizasyonu için farklı denklemler yardımı ile çeşitli matematiksel modeller uygulanmaktadır.

İnce tabaka kurutma denklemleri teorik, yarı teorik ve ampirik modeller olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadırlar (Fernando ve Amarasinghe, 2016; Inyang vd., 2018). Teorik modeller sadece nem transferindeki iç direnci dikkate alırken, diğer iki kategorinin hava ve ürün arasındaki nem transferine karşı dış direnci incelemektedir (Whitaker, Barre ve Hamdy, 1969; Henderson, 1974).

Teorik modeller, Fick'in ikinci difüzyon yasasından türetilmiştir. Yarı teorik modeller genellikle Fick'in ikinci yasası ile modifikasyonlarından ve ayrıca Newton'un soğutma yasasından türetilmiştir. Fick'in ikinci difüzyon yasası, yaygınlıkla kullanılan teorik modeldir. Teorik modeller pratik uygulamalar için biraz karmaşıktır. Teorik modeller, önemli sayıda hataya yol açabilecek fazla varsayımda bulunması nedeniyle de kurutucuların tasarımında kullanımları sınırlandırılmaktadır. Teorik bir denklem, taşıma süreçlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlar, ancak ampirik bir denklem, ilgili taşıma süreçlerine yoğunlaşmadan deneysel veriler ile daha iyi

uyum sağlamaktadır. Ampirik modeller hem bağımlı hem de bağımsız deneysel ya da süreç değişkenlerinin eğilimini anlamaya yardımcı olur. Ampirik modellerin karşılaştığı temel zorluklar, büyük ölçüde deneysel verilere dayanmaları ve kurutma işlemi sırasında ısı ve kütle transferi hakkında sınırlı bilgi sağlamalarıdır. Yarı teorik modeller, Fick'in ikinci yasasının basitleştirilmiş genel seri çözümleridir. Ancak bu modeller, yalnızca modelin geliştirildiği nem, sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı aralığında çalışmaktadır. Yarı teorik modellerde zamana bağımlılık daha azdır ve kurutulan malzemelerin şekilleri dikkate alınmamaktadır (Whitaker vd., 1969; Henderson, 1974; Fernando ve Amarasinghe, 2016; Babu vd., 2018; Inyang vd., 2018). Yarı teorik modeller arasında Henderson ve Pabis, Lewis, Page ve Modified Page olmak üzere iki terimli modeller bulunmaktadır (Panchariya, Popovic ve Sharma, 2002).

Kurutma davranışını karakterize etmek için ince tabakalı kurutma modelleri kavramı, ilk olarak, Newton'un soğutma yasasına benzer olan, gözenekli higroskopik malzemeler için kullanılabilecek yarı teorik modeli türeten Lewis tarafından önerilmiştir (Lewis, 1921).

İlk olarak mısırın model kurutulması için kullanılan Henderson ve Pabis modeli, Fick yasasından yararlanılarak oluşturulmuş ancak dane ile hava arasındaki yüksek derecedeki sıcaklık farkı nedeniyle, model mısırın ilk bir veya iki saatlik kurutulması sırasında uygulanamamıştır (Henderson, 1961). Lewis modeline boyutsuz bir ampirik sabit (n) ekleyerek Page modeli geliştirilmiş ve kabuklu mısırların kuruma davranışını incelemek için kullanmıştır (Page, 1949). Soya fasulyesinin kurutma kinetiğini incelemek için Page modelindeki revizyonlar sonrası modifiye Page denklemi geliştirilmiştir (Overhults, White, Hamilton ve Ross, 1973). Logaritmik model ise Henderson ve Pabis modeline ampirik bir terimin eklenmesiyle elde edilmiştir (Chandra ve Singh, 1994). Pirincin kuruma davranışları için Wang ve Singh deneysel modeli (Wang ve Singh, 1978), tek katmanlı kurutma işlemi için yeni ampirik

Midilli modeli (Midilli, Kucuk ve Yapar, 2002) kuruma davranışlarının incelenmesi için kullanılmıştır.

Gıdaların ince tabaka şeklinde kurutulmasında modelleme kavramı, uygun matematiksel modellerden yararlanılarak zamana karşı nem oranının tahminine dayanmaktadır. Tablo 1’de literatürde sıklıkla kullanılan ince tabaka kurutma modellerine örnekler sunulmuştur.

Tablo 1: İnce tabaka kurutma model örnekleri

Model	Denklem	Kaynakça
Lewis (Newton)	$MR = \exp(-kt)$	(Lewis, 1921)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Page, 1949)
Modifiye Page	$MR = \exp[-(kt)^n]$	(Overhults vd., 1973)
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(Henderson, 1961)
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Chandra ve Singh, 1994)
Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	(Wang ve Singh, 1978)
Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	(Midilli vd., 2002)

MR: nem oranı, a, b, c: kurutma katsayıları, k: kurutma sabiti, t: kurutma süresi

İnce tabaka kurutma modelleri gıdaların kurutulması sırasında başarıyla uygulanmıştır. Bu çalışmalarda havuç dilimlerinin kuruma kinetiğini açıklayan en uygun modelin Page ve Modifiye Page modelleri olduğu (Tüfekçi ve Özkal, 2018), farklı ön işlemlerle yaban armudunun kurutulmasının incelendiği çalışmada Logaritmik ve Newton modelleri (Toğrul, Çelebi ve Toğrul, 2019), kiviinin sıcak hava ile kurutulmasında en uygun matematiksel modelin Page modeli olduğu (Diken, Aktas ve Kayislioglu, 2020), portakalın kurutulmasında en iyi uyum sağlayan modelin Modifiye Page olduğu (Polatçı ve Taşova, 2020) sonucuna varılmıştır.

1.2. Kurutma Yöntemleri

Kurutulmuş meyve, sebze ve aromatik bitkilerin kalitesi, yeni kurutma tekniklerinin geliştirilmesi ve optimizasyonu ile konular oldukça ilgi çekmektedir. İncelenen kalite parametreleri arasında renk, kütle yoğunluğu, gözenek yapısı, dehidrasyon ve rehidrasyon kapasiteleri, fitokimyasallar, antioksidan kapasite, şekerler, proteinler, uçucu bileşikler ve duyuşsal özellikler gibi analizlere yer verilmektedir. Genel olarak kurutma, incelenmekte olan tüm parametrelerde azalmaya yol açmaktadır. Ancak her bitki materyalinin kuruma davranışı farklılık göstermektedir. Kurutma protokollerinin uygun bir şekilde değerlendirilmesinden sonra uygun koşullar önerilmektedir. Yeni veya kombine bir teknikten beklenti yüksek kalitede kurutulmuş ürün sunmasıdır. Ayrıca, günümüz kalite terimi, sürdürülebilir yaklaşımlarla üretime yön veren, enerji verimliliğini ve olumlu çevresel etkileri de içermelidir (Calín-Sánchez vd., 2020).

Endüstriyel üretimlerde sıklıkla konvektif (sıcak hava ile), mikrodalga, vakumlu, ozmotik, dondurarak, kızılötesi, sprey, puf, köpük, elektrohidrodinamik veya hibrit kurutma gibi alternatif yöntemler güneşte veya gölgede kurutmanın yerine kullanılabilir. Dondurarak kurutma yöntemi, besin içeriğinin diğer yöntemlere göre daha iyi korunmasına rağmen, kurutma için daha uzun süre gerektirmektedir. Sprey ve köpük kurutma yöntemleri genellikle sıvı formdaki ürünler için tercih edilir ve besinsel kalite, kurutma süresi ve enerji tüketimi açısından avantajlar sağlayabilmektedir. Puf kurutma yöntemi, kızılötesi kurutma ve elektrohidrodinamik kurutma ise gelişmekte olan yöntemlerdendir (Günaydın, Sağlam ve Çetin, 2022).

Hâlihazırda gıda endüstrisinde kullanılan geleneksel kurutma teknolojileri, genel üretim giderlerinin yaklaşık %15'ini oluşturan, yüksek sera gazı emisyonlarına sahip, enerji yoğun süreçler olarak kabul edilen sıcak hava bazlı sistemlerdir. Gıda maddelerinin korunması için kullanılan en yaygın kurutma işlemleri, yüksek enerji tüketimi kanıtlamış geleneksel termal kurutmalardır. Yeşil teknolojinin ve

sürdürülebilir yöntemlerin uygulanmasına doğru ilerleyen dünyada alternatif enerji verimliliğine sahip kurutma sistemlerinin araştırılması ve kullanımı büyük önem taşımaktadır (Menon, Stojceska, ve Tassou, 2020).

1.2.1. Güneş Enerjisi ile Kurutma

Kurutma işlemi sırasında enerji tüketimini azaltma ihtiyacı nedeniyle, güneş enerjisiyle kurutma bir sonraki geliştirme yönüdür. Gıdayı kurutmak için güneş enerjisinin kullanılması, özellikle bol güneş ışığı alan bölgelerde çevre dostu bir yöntemdir ve küçük ölçekli işletmeler ve gelişmekte olan ülkeler için önerilir (Shimpy, Kumar ve Kumar, 2023). Genel olarak, güneş enerjisiyle kurutma yöntemi, son ürünün daha iyi kalitesini (örneğin, renk, doku) ve hijyenik işlemeyi garanti ettiği için güneş kurutmaya kıyasla üstün bir yöntem olarak kabul edilir (Srivastava vd., 2022; Nowacka vd., 2024). Kurutma amacıyla geleneksel enerji kaynaklarının yerine potansiyel bir ikame olarak güneş enerjisinin uygunluğu farklı çalışmalarla desteklenmektedir. Güneş kurutucuları hava hareketi şekli (pasif ve aktif), ısı transfer modu (doğrudan ve dolaylı, hibrit) ve kurutma odası tipi (dolap, sera ve çadır) dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır. Kullanılan tekniğe bağlı olarak güneş enerjisiyle kurutma, CO₂ emisyonlarını ayda 6400 kg'a kadar düşüş sağlamaktadır (El Hage, Herez, Ramadan, Bazzi, Khaled, 2018). Bununla birlikte, güneş enerjisi kurutucuları bulutlu havalarda çok az kullanılabilmesi kurutma koşulları üzerinde kısıtlı etki sağlamaktadır. Bu sorunlarla mücadele etmek için güneş enerjisi kurutucuları diğer yardımcı enerji kaynakları ile desteklenir ve 'hibrit güneş kurutucusu' olarak adlandırılır. Bu kurutucular, güneş radyasyonu olmadığında bile sistemi çalıştırmak için güneş enerjisi, elektrik, ısı pompaları, biyokütle enerjisi vb. gibi diğer enerji kaynakları ile desteklenebilir. Son yıllarda birçok araştırmacı yeni hibrit güneş enerjisi kurutma sistemi tasarımları gerçekleştirmiş ve bunun üzerine, çeşitli hibrit güneş kurutucu tasarımı, kapasitesi, performansı ve bu

kurutucuların çeşitli tarımsal ürünlerin kurutulmasında kuruma davranışlarını incelemiştir (Jha ve Tripathy, 2021). Mevcut fosil yakıt maliyetlerindeki artışa ve gelecekteki bulunabilirlik ve fiyatlar etrafındaki belirsizliğe bakıldığında, gıda işlemede güneş enerjisinin kullanımının artması ve öngörülebilir gelecekte giderek daha ekonomik olarak uygulanabilir hale gelmesi muhtemeldir (Inyang vd.,2017; Acar vd.,2022; Qu vd., 2021; Nowacka vd., 2024).

1.2.2. Isı Pompaları

Isı pompaları enerji tasarrufu sağlayan, kurutulmuş ürün maliyetini azaltan ve ürün kalitesini optimize edilebilecek yöntemlerdendir. Bu tip kurutucularda gizli ısıyı, su yoğuşması ile geri kazanmak için bir soğutucu kullanılır. Enerji verimliliğine katkıda bulunan, olumsuz çevresel etkileri azaltan ve ürün kalitesini artıran geliştirilmiş konveksiyonlu kurutuculardır. Proseste, kuru ısıtılmış hava ürüne verilir ve bunun sonucunda nemli hava açığa çıkar. Hava, yoğunlaştığı ısı pompası evaporatörüne gider ve buharlaşmanın gizli ısısının kurutma havasının yeniden ısıtılması için yeniden kullanılmasına izin verir. Bu kurutma yönteminin avantajı, geleneksel sıcak hava kurutucuya kıyasla bağlı nem düşüşü nedeniyle zaman ve sıcaklığın azaltılmasıdır (Rahman, 2020).

1.2.3. Kızılötesi Radyasyonla Kurutma

Elektromanyetik dalgaların uygulanması ile üretilen ısı ile kurutma işlemidir. İç çekirdek ısıtma için kullanılabilirdiğinden, sarımsak, havuç, karnabahar vb. sebzeler bu tip kurutma yönteminde kurutulabilir. Potansiyel olarak güvenli olup, yüksek kaliteli gıda ürünleri sunar. Radyasyon, meyve ve sebzelerde bulunan moleküllerin titreşimiyle nüfuz ederek ve iç ısınmaya neden olmaktadır. Kızılötesi kurutmada kullanılan başlıca kontrol parametreleri değerlendirildiğinde, kurutma kinetiğinin daha yüksek kızılötesi güç ve yoğunluk, artan kurutma sıcaklıkları ve kızılötesi kaynak ile gıda arasındaki daha kısa mesafe ile iyileştiği bulunmuştur. Bu parametreler genellikle renk değişimini,

sertliği ve besin korunmasını artırarak kurutulmuş meyve ve sebzelerin kalitesini artırırken, radyasyon mesafesinin ve dalga boyunun etkileri minimum düzeydedir. Kızılötesi radyasyonun kullanımı kurutma verimliliğini önemli ölçüde artırır. Bununla birlikte, enerji tüketimi üzerinde yüksek bir etkiye sahiptir; kurutma süresindeki önemli azalmalar daha düşük enerji kullanımına yol açmaktadır. Kızılötesi radyasyon, özellikle su aktivitesini azaltarak ve renk değişimlerini en aza indirirken, C vitamini, toplam fenolik içerik, flavonoidler ve antioksidan aktivite dahil üzere besin tutulumunu artırarak kurutulmuş ürün kalitesini etkilemektedir (Huang vd., 2021; Mohammed vd., 2024; Nowacka vd., 2024).

1.2.4. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga kurutma, belirli frekans aralıklarında (300 ila 300.000 MHz) elektromanyetik enerjiden yararlanmakla birlikte, gıda teknolojisinde ağırlıklı olarak 915 ve 2450 MHz bantlarını kullanmaktadır (Jha vd., 2021; Wray vd.,2015). Bu teknik, hacimsel ısıtmayı teşvik eder, ürüne nüfuz eder ve mikrodalga dalgalarına yanıt olarak enerjik parçacık hareketi tarafından yönlendirilen moleküler sürtünme yoluyla iç ısınmaya neden olur. Mikrodalga kurutma, yüksek su içeriğine sahip gıdaları ısıtmak için temel bir yöntem olarak hizmet eder ve üstün duyu kaliteyi korurken hızlı kurutmayı mümkün kılar (İlter vd., 2018). Dahası, kurutma sürecinin hızlandırılması, %32 ila %71 arasında değişen önemli enerji tasarrufu sağlamaktadır (An vd., 2022; Nowacka vd., 2024).

Mikrodalgaların sebzelere ve meyvelere yüksek nüfuz etmesi, işlem sırasında ısı transferini sağlar. Bu nedenle, nispeten olgun bir tekniktir ve daha fazla ısı transferine yardımcı olan herhangi bir ek sıcaklık farkı olmadan ürünleri ısıtır (Zhang vd., 2015).

Tipik olarak, bir mikrodalga kurutma (MWD) sistemi birkaç temel bileşenden oluşur. Bunlar; mikrodalgalar üreten ve su veya hava kullanılarak soğutulabilen bir magnetron; magnetronu enerjilendiren bir

güç kaynağı; mikrodalgaları yönlendiren bir dalga kılavuzu düzeneği ve malzemeyi işlemek için bir odadır. Sistem ayrıca, meyve ve sebzelerin kurutma odasına yerleştirildiği bir numune tepsisi içerir. Ek olarak, kurutma sürecini izleme, ölçme ve kontrol etme mekanizmalarına sahiptir (Zielinska vd., 2029). Hacimsel ısıtma ve daha düşük işlem süresi, mikrodalganın en iyi termal enerji kaynağı olması nedeniyle ana avantajıdır. Kurutma sırasında mikrodalga teknolojisinin uygulanması, gıdaya nüfuz ederek ve gıdadaki su molekülleri ve iyonlarla etkileşim yoluyla hacimsel ısıtma yaratarak gıdanın eşit şekilde ısıtılmasına yardımcı olur. Bu işlem, gıdanın her yerinde sıcaklığı hızla yükselterek buharın içeriden dışarıya doğru hareket etmesine neden olur. Genellikle konvektif hava ile geliştirilen bu yöntem, bazen yüzey buharlaştırıcı soğutma ile birlikte daha hızlı nem giderimine yol açar. Sonuç olarak, gıda gözenekli hale gelir, büzülmeyi azaltır ve daha çıtır bir doku oluşturur. Mikrodalga kurutma, ürün kalitesini artıracak, daha fazla besin ve duyuşal değeri koruyacak ve kurutma sürelerini kısaltacaktır. Mikrodalga kurutma, nem ve sıcaklık gradyanını eşitleyerek, sıcaklık gradyanlarını aşma ihtiyacı nedeniyle nem gideriminin daha yavaş olduğu geleneksel yöntemlere kıyasla hızlı su molekülü emilimine ve daha hızlı kurutmaya yol açar (Memiş vd.,2024).

Mikrodalga enerjisi yüksek nem oranına sahip malzemeler tarafından emilebildiğinden, yapraklı sebzeler , soğan, sarımsak, patates vb. gibi yüksek nem oranına sahip meyve ve sebzeler için oldukça uygundur. Birçok meyve ve sebzede homojen olmama, şişme ve nüfuz etme derinliği sorunları gibi sınırlamaları vardır (Mohammed vd., 2024).

1.2.5. Elektrohıdrodinamik (EHD)

Son yıllarda kullanılmaya başlanan EHD kurutma yöntemi, uluslararası çalışmalarda yer alan alternatif, ürün kalitesini koruyan, olumsuz çevresel etkileri olmayan teknolojik bir yöntem olarak dikkat çekmektedir (Mohammed vd., 2024; Martynenko ve Zheng, 2015). EHD, yaygın olarak iyonlar veya plazma gibi yüklü parçacıkların

incelenmesi olarak bilinir. Literatür elektrik rüzgârı, korona deşarjı, iyonik akım ve elektrik radyasyonu gibi farklı isimlerle anılmaktadır (Venkatesh, Kumar, Bhattacharya ve Pramanik, 2021). Yüksek voltajlı elektrik alanının üretildiği sistemde, çeşitli elektrot konfigürasyonları ile (iğne veya tel gibi) yüksek voltajın uygulandığı bir plaka şeklindeki elektrottan oluşmaktadır (Wang, Zhu, Cai, Zhang ve Wang, 2020). Bu yöntem, özellikle düşük enerji tüketimi, mekanik olmayan tasarımı, basit ve hızlı kontrol imkânı ile diğer kurutma tekniklerine göre avantajlıdır. EHD tekniği, elektrik alanı ve sıvı arasındaki etkileşimleri iyileştirerek ısı ve kütle transfer katsayısını geliştirir (Bai ve Sun, 2011). EHD' nin çalışma mekanizması, nokta ve plaka elektrot sistemi içindeki elektroda, yüksek gerilim uygulanmasıyla havanın iyonlaşması sonucu iyonik veya korona yeli olarak bilinen ikincil bir akımın oluşması olayı olarak açıklanmaktadır (Mousakhani-Ganjeh vd., 2016). İğne veya tel elektrotların (iyonizasyon alanı) etrafındaki küçük bir alandaki hava iyonlaştırılır ve kollektör elektrotuna doğru hareket oluşur. İyonlar, elektriksel olarak nötr hava moleküllerinin yönünü saptırarak momentumlarını durağan kütleye aktarır (Kudra ve Martynenko, 2015; Martynenko ve Zheng, 2015). İyonların toplayıcıya sürüklenmesi ve ardından nötr hava molekülleri ile çarpışmaları, korona (iyonik) yeli indükler ($\approx 10^{-1} / 101 \text{ ms}^{-1}$) ve bu hava akımı, konvektif kütle transfer oranlarını artırarak yaş üründen nemin uzaklaştırılmasını sağlar. Oluşan korona yeli, kurutulacak yüzey üzerindeki sınır tabakada türbülans üreterek, ısı ve kütle transfer katsayısını artırır (Defraeye ve Martynenko, 2018; Mousakhani-Ganjeh vd., 2016). Bu bağlamda, gıdadaki bipolar su molekülleri, yüksek voltaj tarafından harekete geçilerek, malzeme entropisinin azalmasına neden olur. Bir konveksiyon sistemi olan EHD, elektrik enerjisini mekanik forma dönüştürmesi ile tanınmaktadır (Singh, Orsat ve Raghavan, 2012). Gıda endüstrisinde, solunum hızını azaltmak, donma ve çözülme hızını artırmak, kurutma işleminin verimliliğini artırmak üzere EHD ilkesi uygulanabilmektedir (Ni vd.,2020). EHD kurutma, son zamanlarda konvansiyonel kurutma

sistemlerine kıyasla yüksek ürün kalitesi ve düşük enerji tüketimi ile büyük ilgi gören, termal olmayan bir gıda teknolojisidir (Martynenko ve Zheng, 2015; Ni vd., 2020). Bu nedenle, bu kurutma yöntemi, gıda ve ilaç gibi ısıya duyarlı malzemeler için oldukça avantajlıdır (Martynenko, Bashkir ve Kudra, 2021).

Kurutmanın verimliliğini belirlemek üzere kullanılan spesifik enerji tüketimi, diğer farklı kurutma yöntemleri ile karşılaştırıldığında, EHD kurutmada daha düşüktür (Anukiruthika vd.,2021). EHD kurutmada özgül enerji tüketiminin 520 ile 1670 kJ/kg arasında değiştiği, konveksiyonlu kurutucuda ise ürünün nemine bağlı olarak tüketim miktarının yaklaşık 3.900-5.000 kJ/kg tahmin edilmektedir. Diğer bazı çalışmalarda yazarlar, endüstriyel konvektif bantlı kurutucuların 3.800-3.950 kJ/kg tüketimi ile enerji verimliliğinin konveksiyon kurutuculara yaklaşık olarak eşit olduğunu, EHD kurutucuların ise enerji performansının çok daha iyi olduğunu ifade etmektedir (Kudra ve Martynenko, 2015). Elektro-teknolojilerin temeli, elektrik akımının farklı sistem tasarımlarına ve oluşan elektrik alanının büyüklüğüne dayanmaktadır. PEF (pulsed electric field) ve MEF (moderate electric field), elektroporasyon kavramına odaklanan, termal olmayan gıda muhafaza tekniklerinde de kullanır. Ohmik ısıtma, hacimsel elektro ısıtmaya dayalı termal bir yaklaşımdır. Bahsedilen elektro-teknolojiler, homojen yapıları nedeniyle sıvı bazlı ürünler için etkilidir. Bu tekniklerin aksine EHD, dielektrik parçalanmaya dayalı termal olmayan yöntem olarak büyük ölçüde katı ve yarı katı gıda malzemelerde etkilidir. Elektrohüdrodinamik, gıda ve biyoişleme bağlamında çeşitli faydalar sunabilse de gıda malzemelerinin kurutulmasındaki uygulaması, yalnızca yaklaşımın yeterince keşfedilmemiş olması nedeniyle nispeten sınırlıdır (Anukiruthika vd, 2021). Goji beri meyvelerinin kuruma özellikleri ve enerji tüketiminin incelendiği çalışmada fırında kurutmaya göre EHD kurutma sisteminde, polisakkarit içeriğinde artış, enerji tüketimininde azalış, kuruma hızında iyileşme rapor edilmiştir (Wang J. vd, 2017).

1.2.6. Kırınım Pencerele Kurutma

Kırınım pencerele kurutma tekniği üç tip ısı transfer mekanizması içermektedir: (i) konveksiyon, (ii) iletim ve (iii) radyasyon. Tüm bu ısı transfer modları, enerjinin verimli kullanılmasına destek olmaktadır. Refraktans penceresinde, kullanılan ürün sıvı veya yarı sıvı halde olmalıdır. Ürün, ısıtılmış dolaşımdaki su alanında yüzen, kızılötesi şeffaf plastik bir konveyör bant yüzeyine uygulanmaktadır. Bu yöntem, kızılötesi enerji geçtiğinde bir pencere oluşturarak su yüzeyinin yansımaları prensibi ile çalışır (Mohammed vd.,2024). Kızılötesi pencere, ıslak ürün ile şeffaf plastik arasındaki temas ile doğrudan kızılötesi enerji transferine izin verir. Kırınım penceresi dehidrasyonu, ısıya duyarlı gıdalar için iyi bir seçenek olan atmosferik basınç ve daha düşük sıcaklıklarda bile (~30°C) gerçekleştirilebilmektedir. İşlenmiş gıdalarda üstün kalite sağlamak ve yüksek besin değerini korumak için geleneksel kurutma işlemlerinin yerini alacak bir yöntem olarak belirtilmektedir. Refraktans pencerele (RW) kurutma, kurutma hızını hızlandıran yüksek ısı ve kütle transfer oranlarına sahip ince film kurutma sistemidir (Menon vd., 2020; Shende, Kour ve Datta, 2020; Tontul, Eroglu ve Topuz, 2019).

1.2.7. Kombine Kurutma Yöntemleri

Kombine kurutma yöntemleri, seçilen yöntemlerin avantajlarını birleştirerek ve tek bir teknik uygulandığında ortaya çıkan olumsuzlukları veya etkileri azaltan sistemlerdir. Kurutma sürecinin verimliliğini ve etkinliğini artırmak için, kombine kurutma yöntemleri iki veya daha fazla kurutma tekniğinin entegre edilmesine dayanır. Bu yaklaşım bireysel yöntemlerin güçlü yönlerini kullanmayı amaçlamaktadır (Nowackavd.,2024). Literatür, hibrit kurutma teknolojilerinin mikrodalga, radyo frekansı, kızılötesi, ultrason, ısı pompası, sıcak hava kurutmaya adsorpsiyon, güneş kurutma, akışkan yataklı kurutma, vakumlu kurutma, dondurarak kurutma ve diğerleri dahil olmak üzere çeşitli yöntemlerin entegrasyonunu içerdiğini göstermektedir (Hii vd., 2021; Ghurchaee vd., 2024). Aşağıdaki

yöntemler gıda endüstrisinde uygulanabilirlikleri kanıtlanmış sistemlerden bazılarıdır.

1.2.7.1. Mikrodalga Destekli Konvektif Kurutma

Mikrodalga destekli konvektif kurutma literatürde yapılan çalışmalarda kullanılan kombine yöntemlerinden birisidir. Sıcak hava, kurutulmuş meyveler, sebzeler ve aromatik bitkiler için etkili bir kurutma ortamıdır. Konvektif kurutmanın uzun kuruma süresi ve yüksek sıcaklıklar nedeniyle ürün yüzeyinde kabuk oluşumu gibi dezavantajları mikrodalga destekli konvektif kurutma ile azaltılabilmektedir. Sıcak hava, ürünlerin yüzeyindeki bağlanmamış nemi azaltırken, mikrodalga enerjisi, hacimsel ısıtma yoluyla ürünün içinden bağlı nemi ortadan kaldırır. Hem sıcak hava hem de mikrodalga kullanan bu hibrit yaklaşım, kurutma verimliliği ve kalitesi açısından her iki yöntemin tek başına kullanılmasına kıyasla daha avantajlıdır. Mikrodalga destekli konvektif kurutma ile kurutulmuş gıda ürünlerinin kalite özelliklerinin korunduğu bildirilmektedir (Mohammed vd., 2024; Nowacka vd., 2024). Bununla birlikte, mikrodalgaların prosese en uygun şekilde dahil edilmesi gereken zamanın tespiti için kurutma hızı düşmeye başladığında mı veya kurutma hızı düştüğünde mi gibi soruların yanıtları için ilave çalışmalara ihtiyaç vardır (Kumar ve Karim, 2019; Abbaspour-Gilandeh, Kaveh, Fatemi ve Aziz, 2021).

1.2.7.2. Vakum Mikrodalga Kurutma

Vakum-mikrodalga kurutma, kurutulmuş ürünlerin kalitesini artırma potansiyeline sahip, geleneksel kurutma dezavantajlarının üstesinden gelebilecek modern bir tekniktir. İşlem, hızlı kütle aktarımı ve düşük sıcaklık sağlayan vakum kullanımı sistemini içermektedir. Hızlandırılmış bir enerji aktarımını garanti eden mikrodalga ısıtma ile birleştirildiğinden, bu kombine kurutma sistemi daha hızlı ve düşük sıcaklıkta kurutma gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (Nowacka vd., 2024). Ayrıca kurutma sırasında hava olmaması ürünün oksidasyonunu engellemektedir. Bu sistem gıda endüstrisinde henüz çok yaygın

olmamakla birlikte meyve, sebze ve aromatik bitkiler gibi daha kaliteli elde etmek için bu yöntemi başarıyla uygulayan çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur (Calín-Sánchez vd., 2013; Michalska, 2016). Bununla birlikte mikrodalga-vakum kurutmada kurutmanın ilk aşamasının kaliteyi koruyacağı, ancak daha sonra azalan nem ve ani bir ısı artışının ürünün kalitesinde bozulmalara neden olabileceği öne sürülmektedir (Mohammed vd., 2024).

1.2.7.3. Konvektif Kurutma Ardından Vakumlu Mikrodalga Kurutma

Konvektif kurutmayı vakumlu-mikrodalga kurutma ile birleştirmek, daha düşük proses maliyeti ve daha düşük enerji tüketimi ile iyileştirilmiş kalite ürünler elde edilmesini sağlamaktadır. Proses iki aşamadan oluşmaktadır: ilk aşamada, taze ürün bir konvektif ön kurutmaya tabi tutulup, ardından ürü bir vakumlu mikrodalga kurutmasının uygulandığı ikinci aşamaya tabi tutulur. Bu iki kombine kurutma işleminin ayrı ayrı uygulanan yöntemlerden herhangi birinden daha etkili olduğu rapor edilmektedir (Nowacka vd., 2024). Çok sayıda meyve ve bitkide kalite üzerindeki olumlu etki gözlemlenmiştir (Figiel, 2010; Nowicka, Wojdylo, Lech ve Figiel, 2015; Kwaśnica vd., 2020).

1.2.7.4. Kesikli Mikrodalga Konvektif Kurutma

Kesikli mikrodalga konvektif kurutma yönteminde, konveksiyonlu kurutmaya kıyasla kuruma süresinin önemli ölçüde azaldığı ve ürün kalitesinin iyileştiği, sürekli mikrodalga konvektif kurutmada devam eden aşırı ısınma sorununun önüne geçildiği raporlanmıştır. Ayrıca, sıcaklık dağılımının tek biçimli olmaması mikrodalga kurutmanın en büyük dezavantajlarından biridir ve mikrodalga gücü aralıklı olarak sağlandığında bu olumsuzluk en aza indirilebilir (Vadivambal ve Jayas, 2010; Kumar, Karim, Joardder, 2014; Duc Pham vd., 2019; Calín-Sánchez vd., 2020). Gıdaların kurutulması aşamasında bu üç tekniğin uygulanmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

2. ÖN İŞLEMLER

Meyve ve sebzelerin kurutulma sürecinde, raf ömrünü uzatmak, tüketici beklentisini karşılayacak kaliteye ulaşmak, zaman ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla bazı ön işlemler kullanılmaktadır. Meyve ve sebzelerde kurutma işlemi sırasında oluşan üst yüzeyindeki koruyucu tabakaların varlığı, kurutma işlemi sırasında nemin buharlaşmasını engellemekte, kuruma süresinin uzamasına ve son ürünün genel kalitesinin düşmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, geçirgenliği artırmak, kurutmayı hızlandırmak, enzimlerin etkin bir şekilde inaktivasyonunu sağlamak ve oksidasyona engel olmak amacıyla kurutmadaki bazı dezavantajları azaltmak ve gidermek adına kurutma öncesi ön-muamele teknikleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Srimagal, Mishra ve Pradhan, 2017; Abioye vd.,2024).

Konvansiyonel ön işlemler genellikle sıcak su ile haşlama, buharda haşlama, hiperozmotik solüsyon, alkali solüsyonlar, sülfatlama ve asit ile muameleleri içerir. Bu ön işlemlerin, kuruma süresini kısaltarak ve kaliteyi artırarak kurutma işlemi üzerinde olumlu etkileri olmasına rağmen, özellikle uzun süreli kurutma sırasında kimyasal absorpsiyon, kalite bozulması, yetersiz rehidrasyon, yapısal çökme, besin kayıpları ve yüksek enerji tüketimi gibi olası sorunları da ortaya çıkarabilmektedir. Dolayısıyla, kurutma prosesini daha da iyileştirmek ve geliştirmek için yeni ısı ve ısı olmayan ön işlemler de araştırılmaktadır. Yeni ön işlem tekniklerinin geliştirilmesi ve uygulanması, kuruma süresini kısaltmakla birlikte kuruma hızını artırmaktadır, nem dağılımını iyileştirmektedir ve enerji tüketimini azaltmaktadır. Aynı zamanda kurutulmuş ürünlerin fonksiyonel ve besinsel kalite özelliklerini gelenekselden daha iyi hale getirebilmektedir (Bassey, Cheng ve Sun, 2021; Abioye vd.,2024). Bu tip ihtiyaçlar doğrultusunda, soğuk plazma (CP), darbeleri elektrik alanı (PEF), yenilebilir film kaplama, ultrasonikasyon termal olmayan, yüksek nemli sıcak havayla haşlama (HHAIB), kızılötesi haşlama (IRB) ve mikrodalga (MW) gibi alternatif termal teknikler araştırılmıştır (Bassey vd., 2021).

2.1. Ultrasonikasyon (US)

Ultrases veya ultrasonikasyon, 20 kHz veya daha yüksek ses dalgalarıyla üretilen bir enerji şeklidir. US süreci, frekans ve güç miktarına göre yüksek frekanslı düşük güç (>100 kHz, MHz aralığı) ve düşük frekanslı yüksek güç (20–100 kHz) olarak sınıflandırılmaktadır (Bassey vd., 2021). Ultrasonikasyon sürecinde (US), akustik akış, kavitasyon, sonoporasyon gibi mekanik hem de termal faktörlerin neden olduğu mikrokanalların oluşturulması için sıklıkla yüksek frekanslı ultrason dalgaları kullanılır (Wang vd., 2018). US sürecinde oluşan en önemli mekanizmalardan olan kavitasyon; ses dalgasının bir sıvıdan geçerken basıncının düştüğü noktalarda moleküllerin arasındaki mesafenin normalin üstünde seyretmesi ile kabarcık oluşumuna neden olmaktadır. Sürekli ses dalgalarına tabi olan maddede meydana gelen kabarcıkların giderek büyümesi sonucunda ise kabarcıklar daha fazla enerji absorblayamayacak kritik hacme eriştiklerinde iç kısma doğru sönümlenmektedir. Dolayısıyla, kavitasyon balonlarının iç patlamaları olduğu yerlerde yüksek seviyede bir enerji birikimi oluşmaktadır. Oluşan enerji ile ortamda ısı transferi gerçekleşmektedir. Bunun sonucundaki yüksek sıcaklık ve basınçtan dolayı kavitasyon alanında yüksek enerjili kesme dalgaları ve türbülans oluşmaktadır (Yıldız, 2021).

Ultrasonikasyon (US), gıda endüstrisinde kapsamlı uygulamaları olan esnek ve ısılmayan bir teknolojidir. Ultrases tekniği gıda endüstrisinde kurutma, çözündürme, renk açma, pastörizasyon, ekstraksiyon, karışımların emülsiyeye edilmesi, düzenli kristalizasyon, etlerin, likör ve şarapların olgunlaşmasının hızlandırılması gibi farklı pek çok işlemlerde kullanılmaktadır (Sala, Burgos, Condon, Lopez ve Raso, 1995; Dehghannya, Aghazade-Khoie, Khakbaz Heshmati ve Ghanbarzadeh, 2020; Huang vd., 2020; Wang, Zhu, Cai, Zang ve Wang, 2020; Zhou vd., 2021; Salehi, ve Inanloodoghous, 2023; Namjoo vd., 2023; Zang vd., 2023; Wang vd., 2024). Meyve sebzelerin kurutulma işlemlerinden önce US ile ön muamelesinin, gıda kalitesini geliştirici etkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Gelişmekte olan teknolojiler

arasında, kurutma işlemini hızlandırmak için çeşitli meyve ve sebzelerin konvektif kurutulmasından önce bir ön işlem olarak ultrases dalgalarının kullanılması, kütle transferinde artış dolayısıyla da toplam kurutma süresinde azalış, fonksiyonel bileşenlerin korunması, enzimlerin inaktive edilmesi ve rehidrasyon özelliklerinin iyileştirilmesi, kurutma verimliliğini artırması ve genel kurutma maliyetini azalması gibi çeşitli sonuçlar ile raporlanmıştır (Fotiou vd., 2023; Waghmare vd., 2023; Nowacka vd., 2024; Mohammed vd.,2024). Genel olarak, US işlemindeki titreşim etkisi, meyve ve sebzelerin yüzeyinde bozulmalara ve yüzey hava basıncında farklılıklara neden olarak, dokularda mikrokannallar oluşturmakta ve bu mikrokannallar, kurutma sırasındaki yüzeyde oluşan belirgin sıcaklık artışlarının neden olduğu nem transferine karşı oluşan direnci düşürerek, kütle transferini hızlandırmaktadır. Böylece kurutma süresinde azalma, enerji tüketiminde tasarruf ve kurutulmuş ürün kalitesinin korunması sağlanır (Basseyy vd., 2021; Bozkır, Rayman, Serdar, Metin ve Baysal, 2019a; Huang vd., 2020; Önal vd., 2021). Acı kavunun sıcak hava kurutma ve radyofrekans sıcak hava kurutma çalışmasında uygulanan US ön işlemi, kuruma süresinde sırasıyla %11,2 ve %33,4 azalma, daha iyi dokusal özellikler, rehidrasyon kapasitesinde artış, askorbik asit ve fenolik içeriklerin korunmasında daha yüksek etki göstermiştir (Jin, Zhang ve Shi, 2019). Trabzon hurmasının kurutulmasında, sıcak hava kurutma öncesi uygulanan US ile kurutma hızında önemli bir artış, kuruma süresinde 135 dakikalık bir azalma olacak şekilde, etkili nem yayılımında %21 artış tespit edilmiştir (Bozkır vd., 2019b). Galvão, Rodrigues ve Fernandes (2020), elma küplerinin akışkan yataklı kurutucuda kurutulmasından önce uygulanan US ön işleminin, 50 °C' lik yüksek kurutma sıcaklığına kıyasla, 30 °C gibi düşük bir kurutma sıcaklığında, kuruma süresi ve nem yayılımı üzerinde önemli ölçüde olumlu etkiye sahip olduğunu bildirmiştir. Çileklerin vakumla dondurulmasından önce 40 kHz frekansta ultrason banyosu ile ön işleme tabi tutulmasında, ön işlemsiz numunelere kıyasla geliştirilmiş renk,

antosiyenin, toplam fenoller ve flavonoidler ile daha yüksek antioksidan kapasite rapor edilmiştir (Zhang vd., 2020). Benzer bir şekilde, eriklerin 55 °C sıcak havada kurutulmasından önce, 25 kHz'lik frekansta ultrasonik 30 ve 60 dakikalık ön banyosu, fenolik, antioksidan ve tekstürel özelliklerde gelişme ile β -karoten içeriğinde %5,46 ile %17,62 lik artışa yol açtığı tespit edilmiştir (Li vd., 2021).

Literatürde, mikrodalga ve konveksiyonel kurutucu işlemlerinden önce ultrasonik ön işlemin gerçekleştirildiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; pancar (Memiş vd., 2024), patates cipsi (Zhang vd., 2024), şeftali kabuğu (Fotiou vd.,2023), yaban mersini (Yu vd.,2023), ahududu (Szadzinska vd., 2018), tatlı patates (Lagnika vd., 2018), fesleğen (Sledz, Wiktor, Nowacka ve Witrowa-Rajchert, 2017), limon (Deepika ve Sutar, 2018), sarımsak (Tao vd., 2018), elma (Mothibe, Zhang, Mujumdar, Wang, Cheng, 2014), ve yeşil biber (Szadzinska, Łechtanska, Kowalski ve Stasiak, 2017) gibi meyve sebzelerin kurutulması hakkındaki çalışmalardır.

Literatürde yapılan çalışmalarda, enzim (pektinmetilesteraz, polifenoloksidazlar ve peroksidazlar) ve mikrobiyal inaktivasyonun yeterli seviyelerde olması için ısı ve/veya basınç gibi işlemlerle birlikte kullanılması önerilmektedir (Bozkır, 2020). Peroksidaz (POD), yüksek termal stabilitesi nedeniyle sebze haşlamanın etkinliğini değerlendirmek için kullanılabilen bir enzimdir (López vd., 1994). Çoğu çiğ meyve ve sebzelerde bulunan POD, kötü tatların ve esmerleşme pigmentlerinin gelişimini etkiler. Kombine ultrases ve ısı işlem için tek başına ısı işlemle karşılaştırıldığında daha yüksek inaktivasyon oranı gözlemlenmektedir (O'Donnell vd., 2010). Ultrasonikasyonun ısı işlemle birlikte kullanılması "termosonikasyon" olarak tanımlanmıştır. Literatürde, termosonikasyon işlemi sırasında oluşan kaviteasyonun, hidrojen bağlarını kırdığı ve bu nedenle proteinlerin ve enzimlerin polipeptid zincirlerindeki Van der Waals etkileşimlerinde değişikliklere neden olduğu belirtilmektedir. Bu durum, enzimlerin biyolojik aktivitelerinin kaybolmasına yol açmaktadır (Bozkır, 2020).

2.2. Mikrodalga (MW)

Mikrodalgalar, 300 MHz ila 300 GHz arasında değişen frekansa sahip elektromanyetik dalgalardır. Gıda endüstrisindeki uygulamaları, işleme süresinin azaltılması, ısıtma verimliliği, güvenli kullanım ve kolaylığı, kalitede iyileşme ve suda çözünür besin kayıplarını azaltma gibi avantajlar nedeniyle büyük popülerlik kazanmıştır. Mikrodalga ısıtma sırasında, alternatif elektromanyetik alan enerjisi gıda tarafından emilir ve polar moleküllerin uyarılmasının neden olduğu dielektrik ısıtma, termal enerjiye dönüşür. Bu enerji, malzeme boyunca ısının üretildiği hacimsel ısıtma ile nemin, malzeme yüzeyine yönelmesini sağlayacak bir iç basınç gradyanının oluşmasına yol açar. Kuruma süresinde %90 'a varan tasarruf ile mikrodalgalar endüstri için büyük potansiyele sahip teknolojilerdir (Kumar ve Karim, 2019). Mikrodalga ısıtma yaygın olarak meyve ve sebzelerin kurutulması için kullanılır (Guruprasad, Chengaiyan, Ahmad, Haque, Capanoglu, Rajoriya, 2024; Kian-Pour, Ceyhan, Ozmen ve Toker, 2024), ancak özellikle yüksek mikrodalga gücünde uzun süreli maruziyet sonrası, üründe kömürleşmeye yol açan ve ısının düzensiz dağılımını gösteren raporlar mevcuttur. Bu nedenle mikrodalga, yüzey neminin hızla giderilmesi için bir ön işlem tekniği olarak tavsiye edilmektedir (Bassey vd., 2021). Acı su kabağının sıcak hava ile kurutulması öncesi uygulanan MW, kuruma süresinin azalmasını, etkili nem yayılımını, kurutma hızında ve rehidrasyon oranında 5.16% lık artışı, gelişmiş renk ve yapı koruması (%46,06 daha az büzüşme), antioksidanlar ve fenolik içeriklerin artan tutulumu sonuçlarıyla bir ön işlem olarak MW'nin faydalı etkisini ortaya koymaktadır (Srimagal vd., 2017). Benzer şekilde daha iyi renk, dokusal özellikler, rehidrasyon oranı ve antosiyanin tutulumu MW ön işleminin, geleneksel (buhar ve sıcak su) ön işlemlere göre avantajları, yataklı kurutucu öncesi MW'ye tabi tutulan tatlı patates örnekleri için de rapor edilmektedir (Liu, Mjumdar, Zhang ve Jiang, 2015).

2.3. Soğuk Plazma (CP)

Soğuk plazma (CP); atomlar, elektronlar, iyonlar ve reaktif nötr türler gibi aktif parçacıklar içeren iyonize gazlarla karakterize edilir (Tripathy ve Srivastav 2023). Gıda endüstrisinde geleneksel gıda muhafazasına ve diğer potansiyel uygulamalara alternatif yöntem olarak kullanılan, termal olmayan ve çevre dostu bir teknolojisidir (Chen, Cheng ve Sun, 2020; Subrahmanyam vd., 2024). Ürün yüzeyine CP reaktif türlerinin difüzyonu, ürün üzerinde çok sayıda fiziksel ve kimyasal modifikasyonlara neden olur (Li vd., 2019) . CP' nin anahtarı, gıda besin kayıplarını en aza indirebilecek düşük sıcaklık ve biyomakromolekülleri değiştirebilen yüksek enerjidir. Bu nedenle, CP, gıda endüstrisinde geniş çapta çalışılmıştır. Plazmaların verimliliği büyük ölçüde giriş voltajı ve frekansı, gaz tipi, uygulama süresi ve maruz kalma şekli gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Esua, Chang ve Sun, 2020). Farklı sürelerde atmosferik CP ön işlemine tabi tutulan acı biberin, ardından sıcak hava darbeleri kurutma uygulamasında; kuruma süresinde azalma, kuruma hızında artış ve CP uygulama süresindeki artışa bağlı olarak antioksidan geri kazanımında da artış görülmüştür (Zhang vd., 2019). *Centella asiatica* yapraklarının sıcak hava ve vakumlu kurutulması öncesi uygulanan soğuk plazma ön işleminin kurutma süresini önemli ölçüde azalttığı ve fiziksel ve biyokimyasal özellikleri koruduğu bildirmiştir (Tripathy ve Srivastav 2023). Hünnabın sıcak hava ile kurutulmasında uygulanan CP ön işlemi sayesinde, kurutma süresinde önemli ölçüde azalma, kurutma hızı ve nem yayılımında artış, fenolik, flavonoid, prosiyanidinler ve antioksidan tutulumunda gelişme kaydedilmiştir. Ancak uzun ön işlem süresi, numunenin yüzey sıcaklığındaki artışa bağlı olarak hızlı oksidasyon nedeniyle renk parametrelerinde olumsuzluklara yol açmıştır (Bao, Hao, Shishir, Karim ve Chen, 2021).

2.4.Darbeli Elektrik Alan (PEF)

PEF, iki elektrot arasında tutulan gıda malzemelerinin üzerine, (200–1000 V/cm) elektrik alanda, yüksek voltajlarda (<50 kV) kısa süreli darbeler uygulanarak, elektroporasyon yoluyla hücrelerin geçirgenliği ve parçalanması esasına dayanan sistemlerdir. Elektrik alan kuvveti, darbe şekli, sayısı ve süresi ve sıcaklık gibi faktörler hücre parçalanma oranını etkileyebilir (Liu, Song, Guo, Wang ve Wu, 2017; Bao vd., 2024). Bu teknolojinin avantajı, kısa işlem süresinden kaynaklanan düşük enerji tüketimidir (Nowacka vd., 2024). Havuç dilimlerinin (50 °C) sıcak hava ile kurutulmasından önce uygulanan PEF ön işlemi ile kuruma süresinde 13–28% azalış, nem yayılımında %39 luk artış gözlemlenmiştir (Alam, Lyng, Frontuto, Marra ve Cinquanta, 2018). Elmaların dondurularak kurutulması öncesi uygulanan PEF ön işlemi sayesinde %17,73 kurutma süresinde ve %24,74'e varan enerji tüketiminde azalış, rehidrasyon kapasitesinde ise %65,22 lik artış tespit etmiştir (Wu ve Zhang, 2019). Aynı şekilde, havucun vakumla kurutulmasından önce PEF ön işlemi ile, kurutma süresinde %33-55 oranında azalma, daha az renk değişiklikleri, daha yüksek rehidrasyon kapasitesine gibi değerler elde edilmiştir (Zhang vd., 2020). Termal etki olmaması sebebiyle PEF işlemlerinde ayrıca biyomakromoleküllerin bozunmasının geciktiği rapor edilmiştir. Vakum kurutma öncesi PEF ön işlem uygulanmış elma flavonoidlerinde %100, havuç karatenoidlerinde %93,7 geri kazanım tespit edilmiştir (Basseyy vd., 2021). Bununla birlikte, meyve ve sebzelerin karmaşık yapısı ve işlem koşulları nedeniyle PEF ön işlemleri ile her gıdada benzer kazanımlar elde edilemeyebilir. PEF ön işlemi bazen kurutma kinetiği üzerinde hiçbir etki göstermezken, uygulama sırasındaki hücre hasarı ve biyomakromolekül sızıntısı nedeniyle sertlik ve antioksidan aktivitede kayıplara yol açabilecek ters etkilere yol açabilir (Ammelt vd., 2021; Mohammed vd.,2024).

2.5. Yenilebilir Film Kaplama (EFC)

Yenilebilir filmler, lipid oksidasyonlarına, enzimatik reaksiyonlara, mekanik hasarlara, yaşlanmaya ve uçucu bileşiklerin kaybına karşı koruma sağlayarak gıda güvenliğini ve kalitesini korumak için geliştirilmiş doğal biyopolimerlerdir. Ayrıca antioksidanlar, besinler ve antimikrobiyal bileşikler gibi fonksiyonel bileşenlerin gıdalara dahil edilmesi amacıyla da kullanılmaktadır (Ncama, Magwaza, Mditshwa ve Tesfay, 2018; Salehi ve Satorabi, 2021; Salehi ve Inanloodoghouz, 2023). Kurutmadan önce gıdaya yenilebilir kaplamaların uygulanması, kurutmaya yönelik başka bir potansiyel ön işlemdir. Yenilebilir kaplamalar, CO₂ ve O₂ taşınımına seçici bir bariyer oluşturan, mikrobiyel aktiviteleri azaltan, gıdanın yüzeyine uygulanan yenilebilir malzemelerden oluşan ince tabakalardır (Orlich vd., 2014). Formülasyonda kullanılan malzemelere göre yenilebilir filmler polisakkaritler, protein, lipid ve kompozit bazlı filmler olarak gruplandırılır. Polisakkarit filmler hidrofiliktir, protein bazlı filmler CO₂ ve O₂ geçişine bariyer oluştursa da su buharı yayılımına karşı yetersiz koruma sağlar. Lipid filmler etkili su buharı bariyeri oluşturmaktadır ve kompozit filmler ise bireysel avantajları nedeniyle artan verimlilik için her gruptan iki veya daha fazlasının etkili karışımlarıdır (Escamilla-García vd., 2018). Bazı çalışmalar farklı kurutmalarda ön işlem olarak uygulanan yenilebilir kaplamaların kuruma hızı ve nem yayılımında etki göstermediği ya da göz ardı edilebilir tespitler belirtmektedir (Silva vd., 2015; Todisco, Janzanti, Santos, Galli ve Mauro, 2018; Gamboa-Santos ve Campañone, 2019). Bir başka çalışmada ise (Chottanom, Amornsin, Yodthava, ve Wunnapong, 2020) modifiye nişasta ve sodyum kazainat ile kaplanmış enginarların kurutulmasında büzüşme, esmerleşme ve toplam renk değişimlerinde önemli azalmalar, antioksidan aktivitede artış ve fenolik içerikte özellikle 1,8 kat artış rapor etmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda da yenilebilir film kaplamaların nihai kurutulmuş son ürünün kuruma karakteristiklerinde iyileşme ve bioaktif bileşenlerinin

korunduğu ortaya konulmuştur (Song vd. 2018; Adiamo, Eltoum ve Babiker, 2019).

2.6. Yüksek Nemli Sıcak Hava Çarpması ile Haşlama (HHAIB)

Yüksek hızdaki nemli havanın püskürtülerek ürün yüzeyine çarpması sonucundaki sinerjik etkiden yararlanarak geliştirilmiş, yüksek enerji verimliliği ve ısı transferiyle sonuçlanan termal teknolojidir. HHAIB sırasında, malzeme içi ve yüzey arasındaki basınç farkı, malzeme dokusunu ve yapısını değiştiren mikro çatlakların oluşmasına neden olur. Bu çatlaklar, nem difüzyon direncini kırarak, ürün neminin hızla uzaklaştırılmasına dolayısı ile daha az ısı maruziyetini sağlamaktadır. Ayrıca sıvı yoksunu bir ortamda gerçekleştirilen ısınma ile atık su miktarında ve suda çözünür besin kayıplarında azalma gözlemlenmektedir. Brokoli çiçeklerinin, %35-40 bağıl nem ile 110 °C sıcaklıkta, 14 m/s hızla 60, 90, 120 saniye yüksek nemli sıcak hava darbeleri ön haşlama sonrası uygulanan sıcak hava kurutmada, kuruma süresinde 90 ila 180 dakika varan azalma, askorbik asit ve klorofil tutulumunda artma, gelişmiş renk özellikleri ve rehidrasyon kapasitesinde artış tespit edilmiştir. Ancak ön işlem süresi 150 saniye çıkartıldığında benzer olumlu sonuçlar elde edilmemiştir (Liu vd., 2019). Kırmızı dolmalık biberlerin vakumla dondurularak kurutulmasından önce uygulanan 110 °C ta 14,0 m/s hızla 1,2, 3 dakikalık yüksek nemli sıcak hava darbeleri haşlama işlemi sayesinde %50 oranında kuruma süresinde azalış, artan antioksidan aktivite, kırmızı pigment ve askorbik asit tutulumunda artış raporlanmıştır. Fakat ön işlem süresinin artırılmasıyla kalite kayıplarının olduğu belirtilmektedir (Wang vd., 2017). Kayısının, 30 ve 90 s lik HHAIB ön işlemi sıcak havada kurutulması sırasında, kuruma süresinin %20,7 ve %35,5 azalttığı, nem yayılımının arttığı ancak artan haşlama süresinin ultrayapısal bozulmalara yol açarak sertlikte %58,67–71,89 azalmaya neden olduğu bildirilmektedir (Deng vd., 2019). Orta derecede HHAIB ön işlem süresinin, kurutulmuş meyve ve sebzelerin kurutma verimliliğini ve

kalite özelliklerini iyileştirmede faydalı olduğu, ancak sıcaklık, hava hızı, uygulama süresi gibi diğer parametrelerinin etkilerinin ve çeşitli kurutma yöntemlerine uygunluğunun araştırılması gerektiği raporlanmaktadır (Bassey vd., 2021).

2.7. Yüksek Basınçlı İşleme (HPP)

Çevre dostu olan bu işlem, hücre duvarlarına zarar veren, boşluklar oluşturan, hücre zarlarının geçirgenliğini artıran ve hücre içi boşlukları genişleten yüksek basınç kullanımını içerir (Zhang vd., 2022; Yuan vd., 2022). HHP ile desteklenen hücre parçalanması, ön işlem olmaksızın geleneksel kurutmaya göre kuruma süresinin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir (Zhang vd., 2022; Santos vd., 2022; Zhang vd.,2020). Artan hücre geçirgenliği, kurutma sırasında suyun difüzyonunu yoğunlaştırmıştır. Ayrıca, HHP ile işlenen dokuların yapısından çeşitli biyoaktif maddelerin (L-askorbik asit, toplam fenolik içerik, toplam flavonoid içerik, toplam antosiyanin içerik, antioksidan aktivite) salındığı da kanıtlanmıştır; bu sayede kurutmadan sonra bu bileşiklerin daha yüksek oranda tutulduğu görülmüştür (Zhang vd., 2022; Santos vd., 2022; Yuang vd., 2022; Zhang vd.,2020). HHP, hidrofobik bağları ve tuz köprülerini kırarak kimyasal bileşiklerde konformasyonel değişikliklere neden olabilir; bu, bitki hücre elemanlarının (hücre duvarı ve hücre zarı) sürekliliğinin bozulmasıyla birleşerek, dokulardan biyoaktif bileşiklerin çıkarılmasını hızlandırmıştır (Santos vd., 2022; Nowacka vd.,2024).

2.8. Kızılötesi Haşlama (IRB)

Kızılötesi radyasyon (IR), dalga boyları görünür ışıktan daha uzun, ancak mikrodalgalar ve terahertz radyasyondan daha kısa olan elektromanyetik radyasyondur ve spektrumlarına göre yakın kızılötesi (0,75–1,4 μm), orta kızılötesi (1,4–3,0 μm) ve uzak kızılötesi (3,0–1000 μm) radyasyonlar olarak sınıflandırılmaktadır. Kızılötesi dalgalar genellikle ısıtma sırasında bir malzemeye radyan enerji şeklinde iletilmektedir. Malzemenin moleküler rotasyonunda ve titreşiminde

değişikliklere neden olur. Sonrasında bu moleküllerin doğal hallerine dönmesiyle de absorbe edilen enerji, ısıya dönüştürülür. Harici bir ortam kullanılmadan, aynı anda enerjinin gıda malzemesine aktarılması sayesinde yüksek termal verim, kısa işlem süresi, kalite özelliklerinde minimum değişiklik, yüksek süreç kontrol parametreleri ve çevre dostu yaklaşım gibi avantajları sunduğundan, bu ısıtma işlemi geleneksel ısıtmaya göre daha hızlıdır. Bu avantajları ile tahıl ürünlerinin, meyve ve sebzelerin kurutulmasında umut vadeden teknolojilerdendir (Guiamba, Svanberg, Ahrne, 2015; Nalawade, Sinha ve Hebbar, 2018; Sakare vd., 2020; Basseyy vd., 2021). Yapılan bir çalışmada, kızılötesi haşlama, ilk olarak yaban mersinlerinin penetrasyon ön işlemi için ultrasonla birleştirilmiş ve bu, penetrasyon süreci sırasında su kaybını ve katı artışı etkili bir şekilde iyileştirmenin yanı sıra yaban mersini antosiyanin içeriğinin korunmasını artırmıştır (Yu vd.,2023). Bununla birlikte, kızılötesi ısıtma (IRH), düşük penetrasyon derinliği nedeniyle yalnızca yüzey ısıtması sağlar ve gıda malzemelerinin IRH'ye uzun süre maruz kalması, kurutma sırasında gıdanın aşırı kuruyarak kırılmasına ve kömürleşmesine neden olabilir, bu nedenle kızılötesi ısıtma, diğer kurutma yöntemleri için bir ön işlem tekniği ya da diğer kurutma yöntemleriyle birlikte kullanılması önerilmiştir (Rastogi, 2021).

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gıda sektörü, süreçleri modernize etmek ve çevre dostu ve sürdürülebilir teknolojileri uygulamak için sürekli olarak yenilikçi ve uygun maliyetli yöntemler araştırmaktadır. Kurutmadan önce uygulanan darbeli elektrik alanı, ultrason, yüksek hidrostatik işleme, etanol uygulamaları ve bunun gibi ön işlemler, daha düşük enerji tüketimiyle yüksek kaliteli ürünler üretmede önemli bir rol oynar. Bunun yanı sıra gıda kurutmada sürdürülebilirliği sağlamak için, farklı yöntemleri birleştirmeye ve hibrit kurutucular oluşturmaya dayalı yeni tip kurutucular geliştirilmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalar neticesinde yenilikçi kurutma teknolojilerinin ve ön işlem yöntemlerinin kombinasyonlarının gıdaların üretiminde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymuştur. Bu ön işlemler hücre yapısını zayıflatarak nem transferini hızlandırdığı ve kurutma sürecinde kütle transferini artırarak kuruma süresini önemli ölçüde azaltarak enerji verimliliğini artırmış ve gıdaların kurutulması sırasında besin değerini koruma konusunda etkili olmuştur. Bu hibrit ön işlemler, gıdaların biyoaktif bileşen içeriğini korumada da etkili olmuş ve böylece kurtulmuş sağlıklı atıştırmalık endüstrisinin gelişimine katkı sağlamıştır.

Literatürden raporlanan bulgulara göre, alternatif ön işleme tekniklerinin kullanımı, gıdaların kurutma süresinde belirgin bir azalma sağlarken enerji verimliliğini artırarak sürdürülebilir bir üretim sürecine katkı sunmuştur. Sonuç olarak, gıdaların kurutulmasında hibrit ön işlemler, kurutma süresini azaltırken kalite parametrelerinin korunmasına ve ürünün fonksiyonelliğinin artmasına olanak tanımıştır. Bu yaklaşımlar, kurutulmuş sağlıklı atıştırmalık sektöründe inovatif bir ürün ve süreç geliştirmek adına önemli bir potansiyele sahiptir. Gelecek çalışmalarda, ileri kurutma teknolojilerinde, ön işlemin etkisi ve önemi üzerine çalışmaların incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abbaspour-Gilandeh, Y., Kaveh, M., Fatemi, H., & Aziz, M. (2021). Combined Hot Air, Microwave, and Infrared Drying of Hawthorn Fruit: Effects of Ultrasonic Pretreatment on Drying Time, Energy, Qualitative, and Bioactive Compounds' Properties. *Foods*, 10(5), 1006. <https://doi.org/10.3390/foods10051006>
- Abioye, A.O., Hussein, J.B., Oke, M.O., Bolarinwa, I.F. (2024). Modelling some quality attributes of a convective Hot-Air dried tomato slices using ANN and ANFIS techniques. *Measurement: Food*. Volume 13,ISSN 2772-2759, <https://doi.org/10.1016/j.meaf00.2024.100140>.
- Acar, L., & Keskin, S. Ö. (2021). Kızılötesi, mikrodalga, ultrases teknolojileri ve kombinasyonları kullanılarak modifiye edilmiş doğal biyopolimerlerin çeşitli özellikleri üzerine bir derleme. *Gıda / The Journal of Food*, 785–802. <https://doi.org/10.15237/gida.GD21022>
- Adiamo, O. Q., Eltoum, Y. A. I., & Babiker, E. E. (2019). Effects of Gum Arabic Edible Coatings and Sun-Drying on the Storage Life and Quality of Raw and Blanched Tomato Slices. *Journal of Culinary Science & Technology*, 17(1), 45–58. <https://doi.org/10.1080/15428052.2017.1404535>
- Alaei, B., Dibagar, N., Chayjan, R. A., Kaveh, M., & Taghinezhad, E. (2018). The effect of short and medium infrared radiation on some drying and quality characteristics of quince slices under vacuum condition. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(4), 371–381. <https://doi.org/10.3920/QAS2017.1252>
- Alam, M. R., Lyng, J. G., Frontuto, D., Marra, F., & Cinquanta, L. (2018). Effect of Pulsed Electric Field Pretreatment on Drying Kinetics, Color, and Texture of Parsnip and Carrot. *Journal of Food Science*, 83(8), 2159–2166. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14216>

- Al-Hilphy, A. R., Mohsen, G., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Al-Shalah, Z. M., & Deepak, K. V. (2021). Drying of sliced tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) by a novel halogen dryer: Effects of drying temperature on physical properties, drying kinetics, and energy consumption. *Journal of Food Process Engineering*, 44(3). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13624>
- Ammelt, D., Lammerskitten, A., Wiktor, A., Barba, F. J., Toepfl, S., & Parniakov, O. (2021). The impact of pulsed electric fields on quality parameters of freeze-dried red beets and pineapples. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(4), 1777–1787. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14803>
- An, N., Li, D., Wang, L., Wang, Y. (2022). Factors affecting energy efficiency of microwave drying of foods: an updated understanding. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 1–16. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2124947>
- Anukiruthika, T., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2021). Electrohydrodynamic drying of foods: Principle, applications, and prospects. *Journal of Food Engineering*, 295, 110449. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110449>
- Aquino Brito Lima-Corrêa, R., dos Santos Andrade, M., da Silva, M. F. G. F., Freire, J. T., & Ferreira, M. C. (2017). Thin-layer and vibrofluidized drying of basil leaves (*Ocimum basilicum* L.): Analysis of drying homogeneity and influence of drying conditions on the composition of essential oil and leaf color. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 7, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.05.001>
- Babu, A. K., Kumaresan, G., Raj, V. A. A., & Velraj, R. (2018). Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 536–556. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.002>

- Bai, Y.X. and Sun, B. (2011). Study of electrohydrodynamic (EHD) drying technique for shrimps. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35, 891-897. doi:10.1111/j.1745-4549.2011.00542.x
- Bao, G., Tian, Y., Wang, K., Chang, Z., Jiang, Y., & Wang, J. (2024). Mechanistic understanding of the improved drying characteristics and quality attributes of lily (*Lilium lancifolium* Thunb.) by modified microstructure after pulsed electric field (PEF) pretreatment. *Food Research International*, 114660.
- Bao, T., Hao, X., Shishir, M. R. I., Karim, N., & Chen, W. (2021). Cold plasma: An emerging pretreatment technology for the drying of jujube slices. *Food Chemistry*, 337, 127783. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127783>
- Bassey, E. J., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2021). Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.045>
- Bozkır, H. (2020). Mikrodalga ve Termosonikasyon Haşlama Yöntemleri İle Patatesin Haşlanması ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Gıda / The Journal Of Food*, 917–928. <https://doi.org/10.15237/gida.GD20065>
- Bozkır, H., Rayman Ergün, A., Serdar, E., Metin, G., & Baysal, T. (2019b). Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>
- Bozkır, H., Rayman Ergün, A., Tekgül, Y., & Baysal, T. (2019a). Ultrasound as pretreatment for drying garlic slices in microwave and convective dryer. *Food Science and Biotechnology*, 28(2), 347–354. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0483-1>

- Calín-Sánchez, Á., Figiel, A., Hernández, F. et al. (2013). Chemical Composition, Antioxidant Capacity, and Sensory Quality of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Arils and Rind as Affected by Drying Method. *Food Bioprocess Technol* 6, 1644–1654 <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0790-0>
- Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Figiel, A. (2020). Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables, and aromatic herbs. *Foods*, 9(9), 1261. <https://doi.org/10.3390/foods9091261>
- Chandra, P. K., & Singh, R. P. (1994). Applied numerical methods for food and agricultural engineers. *CRC Press*. <https://doi.org/10.1201/9781315137650>
- Chen, Y.-Q., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2020). Chemical, physical, and physiological quality attributes of fruit and vegetables induced by cold plasma treatment: Mechanisms and application advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2676–2690. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1654429>
- Chottanom, P., Amornsinsin, A., Yodthava, N., & Wunnapong, S. (2020). Effect of Edible Coating on Antioxidants and Certain Properties of Dried Jerusalem Artichoke. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 23(3), 271–277. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.271.277>
- Deepika S., & Sutar P. P. (2018). Combining osmotic–steam blanching with infrared–microwave–hot air drying: Production of dried lemon (*Citrus limon* L.) slices and enzyme inactivation. *Drying Technology*, 36(14): 1719–1737. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.142274>
- Defraeye, T., & Martynenko, A. (2018). Electrohydrodynamic drying of food: New insights from conjugate modeling. *Journal of Cleaner Production*, 198, 269–284. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.250>

- Dehghannya, J., Aghazade-Khoie, E., Khakbaz Heshmati, M., & Ghanbarzadeh, B. (2020). Influence of Ultrasound Intensification on the Continuous and Pulsed Microwave during Convective Drying of Apple. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup3), S1751–S1764. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1830919>
- Deng, L.-Z., Pan, Z., Mujumdar, A. S., Zhao, J.-H., Zheng, Z.-A., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2019). High-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying quality of apricots by inactivating the enzymes, reducing drying time and altering cellular structure. *Food Control*, 96, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.008>
- Diken, B., Aktaş, T., & Kayışlıoğlu, B. (2020). Kivi meyvesinin ince tabaka kurutma karakteristiklerinin ve sorpsiyon özelliklerinin saptanması. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 249–261. <https://doi.org/10.31202/ecjse.629317>
- Duc Pham, N., Khan, M. I. H., Joardder, M. U. H., Rahman, M. M., Mahiuddin, M., Abesinghe, A. M. N., & Karim, M. A. (2019). Quality of plant-based food materials and its prediction during intermittent drying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(8), 1197–1211. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1399103>
- El Hage, H., Herez, A., Ramadan, M., Bazzi, H., & Khaled, M. (2018). An investigation on solar drying: A review with economic and environmental assessment. *Energy*, 157, 815–829. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.197>
- Escamilla-García, M., Rodríguez-Hernández, M., Hernández-Hernández, H., Delgado-Sánchez, L., García-Almendárez, B., Amaro-Reyes, A., & Regalado-González, C. (2018). Effect of an edible coating based on chitosan and oxidized starch on shelf life of *Carica papaya* L. and its physicochemical and antimicrobial properties. *Coatings*, 8(9), 318. <https://doi.org/10.3390/coatings8090318>

- Esua, O. J., Cheng, J.-H., & Sun, D.-W. (2020). Antimicrobial activities of plasma-functionalized liquids against foodborne pathogens on grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(22), 9581–9594. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10926-z>
- Fernando, J. A. K. M., & Amarasinghe, A. D. U. S. (2016). Drying kinetics and mathematical modeling of hot air drying of coconut coir pith. *SpringerPlus*, 5(1), 807. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2387-y>
- Figiel, A. (2010). Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*, 98(4), 461–470. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.029>
- Figiel, A., & Michalska, A. (2016). Overall quality of fruits and vegetables products affected by the drying processes with the assistance of vacuum-microwaves. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(1), 71. <https://doi.org/10.3390/ijms18010071>
- Fotiou, D., Argyropoulos, K., Kolompourda, P. et al. (2023). Valorization of peach peels: preservation with an optimized drying process based on ultrasounds pretreatment with ethanol. *Biomass Conv. Bioref.* 13, 16345–16357, <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03753-5>
- Galvão, A. M. M. T., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2020). Kinetics of ultrasound pretreated apple cubes dried in fluidized bed dryer. *Drying Technology*, 38(10), 1367–1377. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1641511>
- Gamboa-Santos, J., & Campañone, L. A. (2019). Application of osmotic dehydration and microwave drying to strawberries coated with edible films. *Drying Technology*, 37(8), 1002–1012. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1481426>

- Ghurchaee, A., Rezaei, R., Moghimi, M. (2024). Optimization of combined drying (osmotic-hot air) of aloe vera slice using response surface methodology. *J Food Sci Technol.* 20:1–23. <https://doi.org/10.22034/FSCT.20.144.1> .
- Guruprasad, M., Chengaiyan, J. G., Ahmad, F., Haque, S., Capanoglu, E., & Rajoriya, D. (2024). Effect of microwave-based dry blanching on drying of potato slices: A comparative study. *ACS Omega*, 9(13), 15143–15150.
- Günaydın, S., Sağlam, C., & Çetin, N. (2022). Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemleri. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 5(1), 30-45. <https://doi.org/10.55257/ethabd.1096697>
- Henderson, S. M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of the ASAE*, 17(6), 1167–1168. <https://doi.org/10.13031/2013.37052>
- Hii, CL., Ong, SP., Yap, JY., Putranto, A, Mangindaan, D. (2021). Hybrid drying of food and bioproducts: a review. *Dry Technol.*39:1554
76. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1914078>
- Huang, D., Men, K., Li, D., Wen, T., Gong, Z., Sunden, B., & Wu, Z. (2020). Application of ultrasound technology in the drying of food products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104950. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104950>
- Huang, H., Wang, Y., Shi, W. (2021). Effects of different drying methods on the quality and nonvolatile taste compounds of black carp. *J Food Process Preserv.* 45:e15507. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15507>
- Inyang, U. E., Oboh, I. O., & Etuk, B. R. (2018). Kinetic models for drying techniques—Food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8(02), 27–48. <https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003>

- İlter, I., Akyıl, S., Devseren, E., Okut, D., Koç, M., Kaymak, E.F. (2018). Microwave and hot air drying of garlic puree: drying kinetics and quality characteristics. *Heat Mass Transf.*54:2101–12. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2294-6>.
- Jha, A., & Tripathy, P. P. (2021). Recent advancements in design, application, and simulation studies of hybrid solar drying technology. *Food Engineering Reviews*, 13(2), 375–410. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09223-2>
- Jin, W., Zhang, M., & Shi, W. (2019). Evaluation of ultrasound pretreatment and drying methods on selected quality attributes of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Drying Technology*, 37(3), 387–396. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1458735>
- Kian-Pour, N., Ceyhan, T., Ozmen, D., & Toker, O. S. (2024). Effect of ultrasound-ethanol immersion, microwave and starch-blanching pretreatments on drying kinetics, rehydration, and quality properties of beetroot chips. *International Journal of Food Engineering*, 20(2), 85-99. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2023-0237>
- Kudra, T., & Martynenko, A. (2015). Energy Aspects in Electrohydrodynamic Drying. *Drying Technology*, 33(13), 1534–1540. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1009540>
- Kumar, C., & Karim, M. A. (2019). Microwave-convective drying of food materials: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(3), 379–394. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1373269>
- Kumar, C., Karim, M. A., & Joardder, M. U. H. (2014). Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering*, 121, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.014>
- Kutlu, N., İşci, A., & Şakıyan Demirkol, Ö. (2015). Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri. *Gıda*, 40(1), 39-46.
- Kwaśnica, A., Pachura, N., Masztalerz, K., Figiel, A., Zimmer, A., Kupeczyński, R., Wujcikowska, K., Carbonell-Barrachina, A. A.,

- Szumny, A., & Rózański, H. (2020). Volatile composition and sensory properties as quality attributes of fresh and dried hemp flowers (*Cannabis sativa* L.). *Foods*, 9(8), 1118. <https://doi.org/10.3390/foods9081118>
- Lagnika, C., Huang J., Jiang N., Li D., Liu C., Song, J., Wei Q., Zhang M. (2018). Ultrasound-assisted osmotic process on quality of microwave vacuum drying sweet potato. *Drying Technology*, 36(11): 1367–1379. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1402786>
- Lewis, W. K. (1921). The rate of drying of solid materials. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, 13(5), 427–432. <https://doi.org/10.1021/ie50137a021>
- Li, L., Yu, Y., Xu, Y., Wu, J., Yu, Y., Peng, J., An, K., Zou, B., & Yang, W. (2021). Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the drying characteristics and quality properties of Sanhua plum (*Prunus salicina* L.). *LWT*, 138, 110653. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110653>
- Li, S., Chen, S., Han, F., Xv, Y., Sun, H., Ma, Z., Chen, J., & Wu, W. (2019). Development and optimization of cold plasma pretreatment for drying on corn kernels. *Journal of Food Science*, 84(8), 2181–2189. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14708>
- Liu, P., Mujumdar, A. S., Zhang, M., & Jiang, H. (2015). Comparison of three blanching treatments on the color and anthocyanin level of the microwave-assisted spouted bed drying of purple flesh sweet potato. *Drying Technology*, 33(1), 66–71. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.936558>
- Liu, Z., Song, Y., Guo, Y., Wang, H., & Wu, Z. (2017). Influence of pulsed electric field pretreatment on vacuum freeze-dried apples and process parameter optimization. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 13(6), 224–235.
- Liu, Z.-L., Bai, J.-W., Yang, W.-X., Wang, J., Deng, L.-Z., Yu, X.-L., Zheng, Z.-A., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2019). Effect of high-

- humidity hot air impingement blanching (HHAIB) and drying parameters on drying characteristics and quality of broccoli florets. *Drying Technology*, 37(10), 1251–1264. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1494185>
- López, P., Sala, F.J., Fuente, J.L., Condon, S., Raso, J., Burgos, J. (1994). Inactivation of peroxidase, lipoxygenase and polyphenol oxidase by manothermosonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 252-256.
- Martynenko, A., Bashkir, I., & Kudra, T. (2021). The energy efficiency of electrohydrodynamic (EHD) drying of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 744–764. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.002>
- Martynenko, A., ve Zheng, W. (2015). Electrohydrodynamic Drying of Apple Slices: Energy and Quality Aspects. *Journal of Food Engineering*, 168. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2015.07.043
- Matys, A., Witrowa-Rajchert, D., Parniakov, O., Wiktor, A. (2023). Assessment of the effect of air humidity and temperature on convective drying of apple with pulsed electric field pretreatment. *LWT*. 188:115455. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115455> .
- Memis, H., Bekar, F., Guler, C., Kamiloğlu, A., Kutlu, N. (2024). Optimization of ultrasonic-assisted osmotic dehydration as a pretreatment for microwave drying of beetroot (*Beta vulgaris*). *Food Science and Technology International*. 30(5):439-449. doi: 10.1177/10820132231153501
- Menon, A., Stojceska, V., & Tassou, S. A. (2020). A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.014>
- Midilli, A., Kucuk, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single-layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503–1513. <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>

- Mohammed, A.N., Chauhan, O.P. Semwal, A.D. (2024). Emerging technologies for fruits and vegetables dehydration. *Food and Humanity*, Volume 2, 2949-8244, <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100303>.
- Mothibe, K. J., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Wang, Y. C., & Cheng, X. (2014). Effects of ultrasound and microwave pretreatments of apple before spouted bed drying on rate of dehydration and physical properties. *Drying Technology*, 32(15): 1848–1856. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.952381>
- Mousakhani-Ganjeh, A., Hamdami, N., Soltanizadeh, N. (2015). Impact of high voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*), *Journal of Food Engineering*. Volume 156, 39-44, ISSN 0260-8774, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.02.004>.
- Mousakhani-Ganjeh, A., Hamdami, N., Soltanizadeh, N. (2016). Thawing of frozen tuna fish (*Thunnus albacares*) using still air method combined with a high voltage electrostatic field. *Journal of Food Engineering*, 169, 149-154, ISSN 0260-8774. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.036>.
- Nalawade, S. A., Sinha, A., & Hebbar, H. U. (2018). Infrared based dry blanching and hybrid drying of bitter gourd slices: Process efficiency evaluation. *Journal of Food Process Engineering*, 41(4), e12672. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12672>
- Namjoo, M., Moradi, M., Niakousari, M., Karparvarfard, SH. (2023). Ultrasound-assisted air drying of cumin seeds: modeling and optimization by response surface method. *Isı Kütle Transf.* 59:1073–91. <https://doi.org/10.1007/s00231-022-03306-y> .
- Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2018). Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 16(2), 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.011>

- Ni, J., Ding, C., Zhang, Y., & Song, Z. (2020). Impact of different pretreatment methods on drying characteristics and microstructure of goji berry under electrohydrodynamic (EHD) drying process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 61, 102318. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102318>
- Nowacka, M., Matys, A. & Witrowa-Rajchert, D. (2024). Innovative Technologies for Improving the Sustainability of the Food Drying Industry. *Curr Food Sci Tech Rep* 2, 231–239 <https://doi.org/10.1007/s43555-024-00026-8>
- Nowicka, P., Wojdyło, A., Lech, K., & Figiel, A. (2015). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried sour cherry fruits pre-dehydrated in fruit concentrates. *Food and Bioprocess Technology*, 8(10), 2076–2095. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1561-5>
- O'Donnell C. P., Tiwari B. K., Bourke P., & Cullen P. J. (2010). Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Science & Technology*, 21(7): 358–367. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.007>
- Or, D., Arkain, B., Kocabıyık, H. (2024). The effect of pretreatments on the drying of persimmon with infrared energy. *Journal of Food Process Engineering*, Volume 47, Issue 5, e14632, <https://doi.org/10.1111/jfpe.14632>.
- Orlich, M. J., Jaceldo-Siegl, K., Sabaté, J., Fan, J., Singh, P. N., & Fraser, G. E. (2014). Patterns of food consumption among vegetarians and non-vegetarians. *British Journal of Nutrition*, 112(10), 1644–1653. <https://doi.org/10.1017/S000711451400261X>
- Overhults, D. G., White, G. M., Hamilton, H. E., & Ross, I. J. (1973). Drying soybeans with heated air. *Transactions of the ASAE*, 16(1), 112–113. <https://doi.org/10.13031/2013.37459>
- Önal, B., Adiletta, G., di Matteo, M., Russo, P., Ramos, I. N., & Silva, C. L. M. (2021). Microwave and ultrasound pre-treatments for drying of the “Rocha” pear: Impact on phytochemical parameters,

- color changes and drying kinetics. *Foods*, 10(4), 853. <https://doi.org/10.3390/foods10040853>
- Page, G. E. (1949). Factors influencing the maximum rate of air drying shelled corn thin layers. [Purdue University]. <https://www.proquest.com/docview/301817819>
- Panchariya, P. C., Popovic, D., & Sharma, A. L. (2002). Thin-layer modelling of black tea drying process. *Journal of Food Engineering*, 52(4), 349–357. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00126-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00126-1)
- Polatçı, H., & Taşova, M. (2020). Sıcaklık kontrollü mikrodalga kurutucu geliştirilmesi ve portakal kurutma performansının belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 131–138. <https://doi.org/10.21923/jesd.502465>
- Qu, H., Masud, M. H., Islam, M., Khan, M. I. H., Ananno, A. A., & Karim, A. (2021). Sustainable food drying technologies based on renewable energy sources. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(25), 6872–6886. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1907529>
- Radoiu, M. (2020). Microwave drying process scale-up. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 155, 108088. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108088>
- Rahman, M. S. (Ed.). (2020). Handbook of food preservation. CRC Press.
- Rastogi, N. K. (2021). Infrared Heating in Drying Operations. In *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 456–476). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22671-1>
- Sakare, P., Prasad, N., Thombare, N., Singh, R., & Sharma, S. C. (2020). Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances. *Food Engineering Reviews*, 12(3), 381–398. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09237-w>
- Sala, F.J., Burgos, J., Condón, S., Lopez, P., & Raso, J. (1995). Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In: Gould

- G.W. (eds) *New Methods of Food Preservation*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2105-1_9
- Salehi, F., & Inanloodoghuz, M. (2023). Effects of gum-based coatings combined with ultrasonic pretreatment before drying on quality of sour cherries. *Ultrasonics Sonochemistry*, 100, 106633. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106633>
- Santos, NC., Almeida, RLJ., da Silva, GM., Monteiro, SS., de Alcântara Ribeiro, VH., de França Silva, AP, de Alcântara Silva, VM, de Sousa Rodrigues, LM, André AMMCN, de Almeida Mota, MM.(2022). Influence of high hydrostatic pressure (HHP) pretreatment on plum (*Prunus salicina*) drying: Drying approach, physical, and morpho-structural properties of the powder and total phenolic compounds. *J Food Process Preserv.* 46:1–13. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16968>
- Shende, D., Kour, M., & Datta, A. K. (2020). Evaluation of sensory and physicochemical properties of Langra variety mango leather. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 3227-3237. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00558-2>.
- Shimpy, Kumar, M. & Kumar, A. (2023). Designs, Performance and Economic Feasibility of Domestic Solar Dryers. *Food Eng Rev* 15, 156–186 <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09323-1>
- Silva, K. S., Garcia, C. C., Amado, L. R., & Mauro, M. A. (2015). Effects of edible coatings on convective drying and characteristics of the dried pineapple. *Food and Bioprocess Technology*, 8(7), 1465–1475. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1495-y>
- Singh, A., Orsat, V., & Raghavan, V. (2012). A Comprehensive Review on Electrohydrodynamic Drying and High-Voltage Electric Field in the Context of Food and Bioprocessing. *Drying Technology*, 30(16), 1812–1820. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.708912>
- Sledz M., Wiktor A., Nowacka M., & Witrowa-Rajchert D. (2017). Drying kinetics, microstructure and antioxidant properties of basil

- treated by ultrasound. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1): e12271. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12271>
- Song, J., Wang, X., Li, D., Liu, C., Yang, Q., & Zhang, M. (2018). Effect of starch osmo-coating on carotenoids, colour and microstructure of dehydrated pumpkin slices. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 3249–3256. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3258-z>
- Srimagal, A., Mishra, S., & Pradhan, R. C. (2017). Effects of ethyl oleate and microwave blanching on drying kinetics of bitter gourd. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1192–1198. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2518-7>
- Srivastava, A., Anand, A., Shukla, A. et al. Performance evaluation of an industrial solar dryer in Indian scenario: a techno-economic and environmental analysis. *Clean Techn Environ Policy* 24, 2881–2898 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02374-2>
- Stegou-Sagia, A., & Fragkou, D. (2015). Influence of drying conditions and mathematical models on the drying curves and the moisture diffusivity of mushrooms. *Journal of Thermal Engineering*, 1(4), 235. <https://doi.org/10.18186/jte.65158>
- Subrahmanyam, K., Gul, K., Paridala, S., Sehrawat, R., More, K. S., Dwivedi, M., & Jaddu, S. (2024). Effect of cold plasma pretreatment on drying kinetics and quality attributes of apple slices in Refractance window drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 92, 103594. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103594>
- Szadzinska J., Łechtanska J., Kowalski S. J., & Stasiak M. (2017). The effect of high power airborne ultrasound and microwaves obananan convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34: 531–539. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.030>
- Szadzinska, J., Łechtanska, J., Pashminehazar, R., Kharaghani, A., & Tsotsas, E. (2018). Microwave- and ultrasound-assisted

- convective drying of raspberries: Drying kinetics and microstructural changes. *Drying Technology*, 37(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.143319>
- Tao, Y., Zhang, J., Jiang, S., Xu, Y., Show, P., Han, Y., Ye, M. (2018). Contacting ultrasound enhanced hot-air convective drying of garlic slices: Mass transfer modeling and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 235, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.028>
- Todisco, K. M., Janzanti, N. S., Santos, A. B., Galli, F. S., & Mauro, M. A. (2018). Effects of temperature and pectin edible coatings with guava by-products on the drying kinetics and quality of dried red guava. *Journal of Food Science and Technology*, 55(12), 4735–4746. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3369-6>
- Toğrul, İ. T., Çelebi, R. S., & Toğrul, H. (2018). Farklı ön işlem uygulanan Ahlatın kuruma ve büzülme davranışının modellenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1231-1246.
- Tontul, İ., Eroğlu, E., & Topuz, A. (2019). Kırınım Pencere Kurutma Ve Sıcak Hava Akımında Kurutma İşlem Şartlarının Kuşburnu Tozlarının Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. *Gıda*, 44(1), 1-9.
- Tripathy, S., Srivastav, P.P. (2023). Effect of dielectric barrier discharge (DBD) cold plasma-activated water pre-treatment on the drying properties, kinetic parameters, and physicochemical and functional properties of Centella asiatica leaves. *Chemosphere*, Volume 332, 138901, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138901>.
- Tüfekçi, S., & Özkal, S. G. (2018). Ultrases ön işleminin havuç dilimlerinin kuruma karakteristikleri üzerindeki etkisi. *Akademik Gıda*, 11–19. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.415636>
- Vadivambal, R., & Jayas, D. S. (2010). Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials—A

- review. *Food and Bioprocess Technology*, 3(2), 161–171.
<https://doi.org/10.1007/s11947-008-0136-0>
- Venkatesh, S., Kumar, A., Bhattacharya, A., & Pramanik, S. (2021). Ionic wind review-2020: advancement and application in thermal management. *Sādhanā*, 46(3), 165.
<https://doi.org/10.1007/s12046-021-01687-0>
- Waghmare, R., Kumar, M., Yadav, R., Mhatre, P., Sonawane, S., Sharma, S., Gat, Y., DeepChandran, Radha, Muzaffar Hasan, Abhijit Dey, Tanmay Sarkar, Kolawole Banwo, Micheal Alao, Jayanthi Balakrishnan, Deodatt Suryawanshi, José M. Lorenzo. (2023). Application of ultrasonication as pre-treatment for freeze drying: An innovative approach for the retention of nutraceutical quality in foods. *Food Chemistry*, 404, B, 03088146,<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134571>.
- Wang, C. Y., & Singh, R. P. (1978). Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 11(6), 668–672.
- Wang, J., Yang, X.-H., Mujumdar, A. S., Wang, D., Zhao, J.-H., Fang, X.-M., Zhang, Q., Xie, L., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2017). Effects of various blanching methods on weight loss, enzymes inactivation, phytochemical contents, antioxidant capacity, ultrastructure, and drying kinetics of red bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *LWT*, 77, 337–347.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.070>
- Wang, J., Zhu, T., Cai, Y., Zhang, J., & Wang, J. (2020). Review on the recent development of corona wind and its application in heat transfer enhancement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 152, 119545.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119545>
- Wang, K., He, P., Wang, Q., Yang, Z., Xing, Y., Ren, W., ... & Xu, H. (2024). Ultrasound pretreatment enhances moisture migration and drying quality of mulberry via microstructure and cell-wall

- polysaccharides nanostructure modification. *Food Research International*, 184, 114245.
- Wang, L., Xu, B., Wei, B., & Zeng, R. (2018). Low frequency ultrasound pretreatment of carrot slices: Effect on moisture migration and quality attributes by intermediate-wave infrared radiation drying. *Ultrasonics Sonochemistry*, 40, 619–628. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.08.005>
- Whitaker, T., Barre, H. J., & Hamdy, M. Y. (1969). Theoretical and experimental studies of diffusion in spherical bodies with a variable diffusion coefficient. *Transactions of the ASAE*, 12(5), 668–672. <https://doi.org/10.13031/2013.38924>
- Wray, D., Ramaswamy, HS. (2015). Novel Concepts in Microwave Drying of Foods. *Dry Technol.* 33:769–83. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.985793>.
- Wu, Y., & Zhang, D. (2019). Pulsed electric field enhanced freeze-drying of apple tissue. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(6), 432–438. <https://doi.org/10.17221/230/2018-CJFS>
- Yıldız, G. (2021). Ultrases teknolojisinin gıdaların biyoaktif bileşenleri üzerine etkisi (ISBN: 978-625-8007-21-3). 133 sayfa, Ankara, Turkey.
- Yu, Y., Zhang, L., Bei, X., Wang, Y., Emeka Okonkwo, C., Chen, L., & Zhou, C. (2023). - Catalytic infrared blanching and ultrasound sequential synergistic pretreatment on osmotic dehydration of blueberry, *Drying Technology*. 42 (1), 155–167. <https://doi.org/10.1080/07373937.2023.2277774>
- Yuan, L., Lao, F., Shi, X., Zhang, D., Wu, J. (2022). Effects of cold plasma, high hydrostatic pressure, ultrasound, and high-pressure carbon dioxide pretreatments on the quality characteristics of vacuum freeze-dried jujube slices. *Ultrason Sonochem.* 90:106219. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106219>
- Zang, Z., Huang, X., Zhang, Q., Jiang, C., Wang, T., Shang, J., He, C., & Wan, F. (2023). Evaluation of the effect of ultrasonic

- pretreatment on vacuum far-infrared drying characteristics and quality of *Angelica sinensis* based on entropy weight-coefficient of variation method. *Journal of Food Science*, 88, 1905–1923. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16566>
- Zhang, M., Chen, H., Arun, S., Mujumdar, Tang, J., Miao, S. & Wang, Y. (2015). Recent Developments in High-quality Drying of Vegetables, Fruits and Aquatic Products, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(6) DOI:10.1080/10408398.2014.979280
- Zhang, L., Qiao, Y., Wang, C., Liao, L., Shi, D., An, K., Hu, J., Wang, J., Shi, L. (2020). Influence of high hydrostatic pressure pretreatment on properties of vacuum-freeze dried strawberry slices. *Food Chem.* 331: 127203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127203>.
- Zhang, S., Zhao, Y., Yao, X., Zheng, Z., Zheng, C., Jiang, Z. (2022). Effect of high hydrostatic pressure pretreatment on flavour and physicochemical properties of freeze-dried carambola slices. *Int J Food Sci Technol.* 57:4245–53. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15748>.
- Zhang, J., Li, J., Fan, L. (2024). Comparative analysis of oil absorption and microstructure of fried potato chips treated with different pretreatment via X-ray micro-computed tomography and mercury intrusion method, *Journal of Food Composition and Analysis*, Volume 129, ISSN 0889-1575, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106129>.
- Zhang, X.-L., Zhong, C.-S., Mujumdar, A. S., Yang, X.-H., Deng, L.-Z., Wang, J., & Xiao, H.-W. (2019). Cold plasma pretreatment enhances drying kinetics and quality attributes of chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Engineering*, 241, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.002>
- Zhou, C., Wang, Z., Wang, X., Yagoub, A. E., Ma, H., Sun, Y., & Yu, X. (2021). Effects of tri-frequency ultrasound-ethanol pretreatment combined with infrared convection drying on the quality properties

and drying characteristics of scallion stalk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(7), 2809–2817.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.10910>

Zielinska, M., Ropelewska, E., Xiao, H. W., Mujumdar, A. S., & Law, C. L. (2019). Review of recent applications and research progress in hybrid and combined microwave-assisted drying of food products: Quality properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(13), 2212–2264.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1632788>

BÖLÜM 5

FONKSİYONEL BİR ATIŞTIRMALIK: PESTİL

Gıda Yük. Müh. Neslihan ERSOYAK¹

Gıda Yük. Müh. Elif KOÇ ALİBAŞOĞLU^{1,2}

Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU*^{1,2}

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14541513>

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye; nersoyak@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3787-4759>

^{1,2} Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye; Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa, Türkiye, elifkoc0894@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8315-6411>

^{1,2}*Sorumlu Yazar; Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye; Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bursa, Türkiye, pyomeroglu@uludag.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8254-3401>

GİRİŞ

Günümüzde besleyici olmasının yanı sıra tat, koku, görünüş vb. olarak da güçlü duyuşal özelliklere sahip olan fonksiyonel gıdalara olan ilgi artmıştır. Bireylerin çalışma temposu, kısa zamanda tüketilen, aynı zamanda tokluk hissi veren atıştırmalıklara günümüzde her zaman devam eden bir ihtiyaç vardır. Özellikle büyüme çağında olan çocukların besleyici değeri düşük ve sağlıksız olan gıdalara olan yönelimi, ilgi görebilecek tat ve ambalajda olan sağlıklı atıştırmalıklar piyasaya sunarak toplum refah ve sağlığı için bilinçli bir ebeveyn kitlesi oluşturmak son derece önemlidir.

Güncel çalışmalar, insan sağlığını olumlu yönde etkileyen gıdaların daha fazla tüketilmesini ve sağlıksız seçeneklerin sınırlı tüketimini tavsiye etmektedir. Günümüz endüstrisi; artan dünya nüfusu ile birlikte tüketime hazır gıda çeşitliliğinin artırılmasına odaklanmıştır. Bununla birlikte, sağlıklı beslenmeye olan taleplerin karşılanması için ise çevre dostu yaklaşımlar ile enerji ve zaman tasarrufu sağlayacak ve aynı zamanda kaliteli ürünler geliştirecek çalışmaları da ele almaya başlamıştır. Endüstriyel ilerlemeler, besin maddelerinin değerlendirilmesini ve katma değerli farklı ürünlerin geliştirilmesini gerektirmektedir.

Kurutma veya hamur haline getirme prosesi (pestil), özellikle fonksiyonel gıda endüstrisi alanında uygulanabilir seçenekler olarak önemli umut vaat etmektedir. Pestil, meyve pulpuna şeker ve nişasta gibi katkı maddelerinin eklenerek koyulaştırıldıktan sonra kurutulmasıyla üretilen geleneksel üründür. Geleneksel olarak yıllardır tüketilen sebze ve meyvelerden elde edilmiş pestiller, özellikle enerji, mineral madde ve lif açısından zengin gıdalar olarak bilinmektedir. Literatürde çeşitli meyve ve sebzelerden üretilmiş sağlıklı atıştırmalık kategorisinde sıralanabilecek pestiller üzerine çalışmalar mevcuttur (Kamiloglu ve Capanoglu, 2014; Tontul ve Topuz 2017; Ozkan Karabacak, 2019; Ozkan Karabacak ve Copur 2020; Silva Simao, de Moraes, Carciofi ve Laurindi, 2020; Barman, Das ve Badwaik 2021; Incedayi, Dogan ve

Copur, 2022; Ozkan Karabacak 2023; Ozkan Karabacak vd., 2023a; Ozkan Karabacak vd., 2023b; Neog vd., 2023; Sarma vd., 2023; Ayustaningwarno vd., 2024; Bağdat vd.,2024; Hardianingsih vd., 2024; Olcay vd., 2024). Günümüzde endüstriyel olarak da üretimi yapılmaktadır. Pestillerin uzun raf ömrüne sahip olması, kurutma sonrası gelişen hacim küçülmesi, ağırlıkça hafifliği ve kolay paketlenmesi gibi özellikleri artan tüketim talebine sahip olmasını sağlamıştır. Üretildiği meyve ve sebzelerin, zengin biyoaktif bileşenleri içermesi, pestillerin fonksiyonel atıştırma olarak kullanımını cazip kılmaktadır (Ozkan Karabacak, 2019; Barman vd., 2021; Ozkan Karabacak, 2021). Dayanıklılığı, kurutma sonrası gelişen hacim küçülmesi ile hafifliği ve kolay paketlenirliği gibi özellikleri ile artan tüketim talebine sahiptir. Pestilin, üretildiği hammadde ve üretim süreçleri açısından biyoaktif bileşen özelliği değişebilmektedir. Ancak buna rağmen fonksiyonel atıştırma olarak cazip bir atıştırma türüdür. Endüstriyel gelişmeler, besin maddelerinin değerlendirilmesi ve katma değerli farklı ürün gelişimini gerekli kılmaktadır. Kurutma ya da pestile işleme, özellikle fonksiyonel gıda pazarına yönelik, önemli potansiyele sahip seçeneklerdendir. Ürünlerin fonksiyonel özelliklerinin ortaya konması ve geliştirilmesi, üretim metotlarının optimizasyonu, depolama ve paketlenmeleri gibi ayrıca tüketimi konusundaki farkındalığın artırılmasına yönelik çalışmalara devam edilmelidir (Kara ve Küçüköner, 2019).

1. PESTİL

Geçmişten bugüne geleneksel ve günümüzde endüstriyel boyutlarda da üretilmekte olan pestil, tüketicilere yüksek lif, mineral madde ve enerji sağlaması açısından tercih edilmektedir. Dayanıklılığı, hafifliği, uygun ambalaj ve tüketim kolaylığı gibi özellikleri nedeniyle giderek artan bir ilgi toplamıştır. Meyve ve sebzecilikteki son gelişmeler ile katma değerli ürün eldesi de önem kazanmaktadır. Meyve ve sebzelerin farklı ürünlere işlenmesi ile fonksiyonel gıda pazarında yer

bulabilecek pestiller ihracat için de önemli potansiyele sahiptir (Kara ve Küçüköner, 2019).

Pestil, taze ve işlemeye uygun meyvelerin çekirdeklerinin çıkarılıp pulp veya meyve suyu haline getirildikten sonra nişasta, beyaz şeker ve katılması kabul edilen katkı maddelerinin (şeker, asitlendirici ve kıvam vericiler) ilavesi ile tekniğine uygun olarak koyulaştırıldıktan sonra belli kalınlıkta yayılması ve gerektiğinde kuru meyve (iç fındık, badem içi vb.) ilavesiyle katlanması sonucu elde edilen geleneksel bir gıda maddesidir (TS 2000a-d).

Pestil kurutulularak su içeriğinin azalmasından dolayı tatlı bir tada sahip olup, enerji değeri yüksek olan ve besleyici değeri bulunmayan (şekerlemeler, çikolatalar, cipsler, bisküviler vb.) ürünlere alternatif sağlıklı atıştırmalık olarak değerlendirilmektedir (Göncü vd.,2022; Sarma vd.,2023; Ayustaningwarno vd., 2024; Bağdat vd.,2024; Hardianingsih vd., 2024; Olcay vd., 2024).

Pestil, Türkiye İstatistik Kurumu'nun istatistik hesaplamalarında Prodcom sınıflamasına göre 10.39.22.90.01 "Reçel, marmelat, meyve jölesi ve pekmez (turunçgillerden yapılanlar ile homojenize müstahzarlar hariç)" sınıflamasındaki ürünler içerisinde yer almaktadır. 2019-2023 yılları arasında gerçekleşen üretim verileri incelendiğinde (Tablo 1), 2019 yılında 91.703 013 tonluk bir üretim gerçekleşmiştir. 2021 yılında üretim miktarında bir artış görülerek 101 057 528 tona ulaşmıştır. Ancak 2023 yılına kadar geçen sürede üretim miktarında bu artış oranını yerini azalmaya bıraktığı gözlenmektedir (Anonim, 2024). Önümüzdeki yıllarda tüketici talepleri doğrultusunda, pestil gibi sağlıklı atıştırmalık ürün kategorisinde gerçekleştirilecek yenilikçi formülasyonlar ile üretim miktarlarında bir artışın olması beklenmektedir.

Tablo 1: Reçel, marmelat, meyve jölesi ve pekmez imalatı yıllık Türkiye üretim miktarları (Ton) (Anonim, 2024).

Yıl	Miktar (Ton)
2019	91 703 013
2020	96 405 207
2021	101 057 528
2022	92 075 659
2023	88 990 768

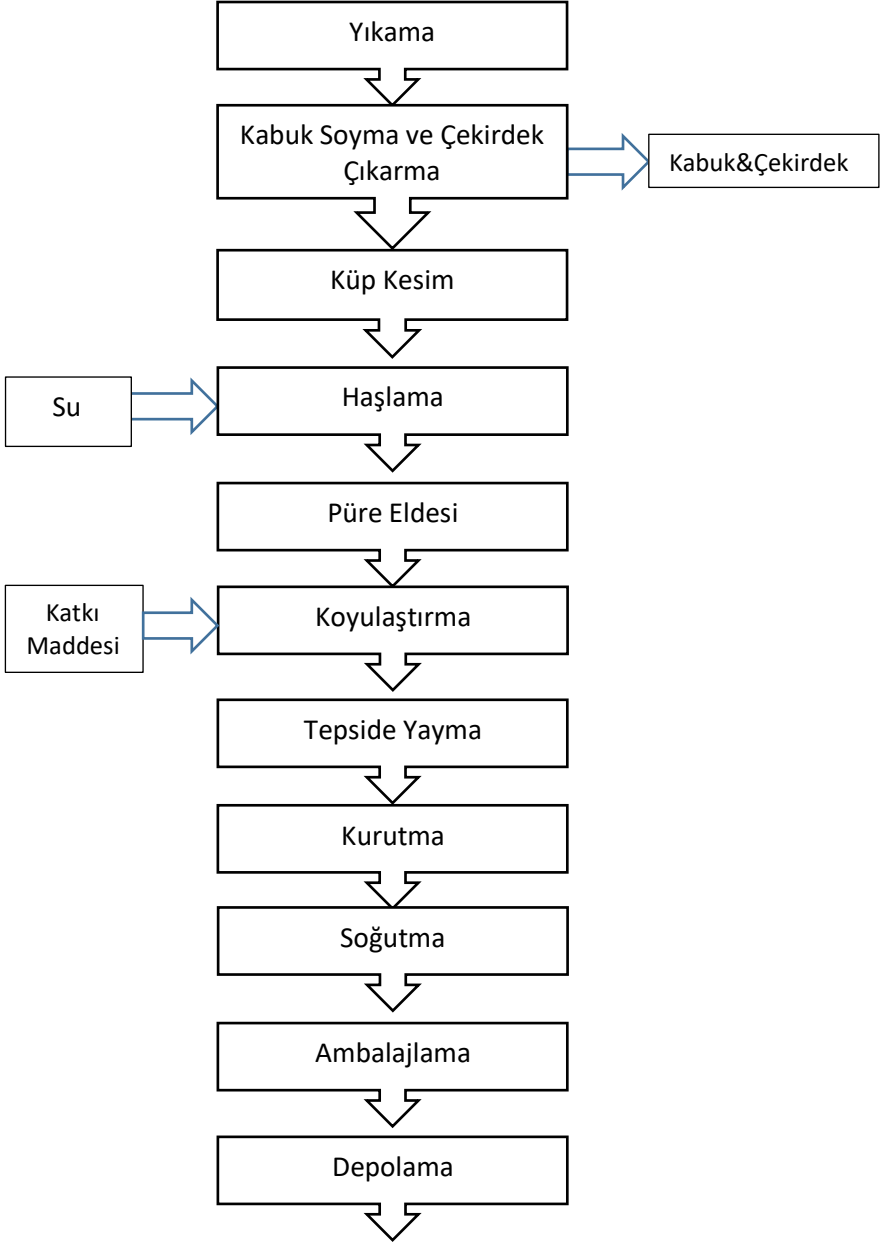
Dünya ihracat rakamları incelendiği zaman, pestil “17.04.90 Gümrük Tarife İstatistik Kodu” ile değerlendirilen “Kakao içermeyen şekerlemeler diğerleri, beyaz çikolata dahil en çok ihracat yapan ülkeler arasında Avrupa Birliği (582 605 000 kg), Almanya (397 256 000 kg), Meksika (314 562 000 kg) yer almaktadır. Türkiye ise 269 727 000 kg ile 3. Sırada yer alıp onu İspanya (218 190 000 kg), Hollanda (161 611 000 kg) izlemektedir. Ancak ticari değerleri bakımından aynı raporun değerlendirilmesi yapıldığında 1 587 811 470 USD ile Almanya birinci, sırasıyla Meksika, İspanya, Hollanda, Belçika sonrasında Türkiye 585 411 570 USD ile 6. sırada yer almaktadır (Anonim, 2021). Türkiye olarak, konu ile ilgili üretimler, katma değeri daha yüksek olabilecek sağlıklı atıştırmalık ürünlerinin pazardaki çeşitliliğinin artırılmasıyla, miktar olarak elde edilen sıralama, ticari değer bakımından da artırılabilmesi düşünülmektedir.

1.1. Pestil Üretimi

Bölgesel olarak geleneksel pestil yapımı farklılıklar gösterse de pestil üretimi, temizlenmiş ve ayıklanmış sebze meyvelerin püre haline getirilmesi, ürüne göre çekirdek ya da kabukların süzülerek alınması, koyulaştırma (40-50 °Bx ulaşmaya kadar), kıvam artırıcı veya unun (yaklaşık 5–15 g/100 g kuru madde) ayrıca tercihen şeker türevlerinin ilave edilmesi sonrası 100-110 °C’de gerçekleşen ilave ısıl işleme nişastanın jelatizasyonun sağlanması, herle (viskoz jelatinize olmuş karışım) denilen bu karışımın ince tabaka halinde serilerek pestilin kurutulmasıdır (Şekil 1) (Maskan, 2001; Maskan, Kaya ve Maskan,

2002; Tontul ve Topuz 2017; Ersus ve Hepçimen, 2021; Sarma vd.,2023; Ayustaningwarno vd., 2024; Bağdat vd.,2024; Hardianingsih vd., 2024; Olcay vd., 2024). Kuruma sonrasını katlama, kesme ve ambalajlama gibi adımlar izlemektedir. Kurutma öncesi koyulaştırma açık kazan veya buhar ceketli, otomatik karıştırıcı kazanlarda ya da vakum altında gerçekleştirilebilmektedir (Ekşi ve Artık, 1984; Kara ve Küçüköner, 2019; Nakilcioğlu- Taş, Çakaloğlu, Ötleş, 2018).

Kurutma nihai ürün kalitesi kabul edilebilirliği etkilemektedir. Pestillerin tekstürü, kurutma yöntemlerine ve koşullarına bağlıdır ayrıca tüketiciler tarafından kabul edilebilirliği etkileyen en kritik parametrelerden biridir (Silva Simão vd., 2020). Konvektif kurutma, basit ve ekonomik olması nedeniyle pestil üretiminde sık kullanılan tekniklerden biridir (Roknul Azam, Zhang, Law, Mujumbar, 2018; Ozkan Karabacak, 2019; Eyiz, Tontul ve Türker, 2020; Ozkan Karabacak ve Copur, 2020; Ozkan Karabacak, Suna, Dorak ve Copur 2021; Sarkar vd., 2021; İncedayı vd., 2022; Nizamlioglu, Yasar ve Bulut; 2022; Ozkan Karabacak, 2023). Bunun yanı sıra vakumda kurutma (Ozkan Karabacak, 2019; Ozkan Karabacak ve Copur, 2020; Eyiz vd., 2020; Ozkan Karabacak vd. 2021; Ozkan Karabacak, 2023), güneşte kurutma (Sarkar vd., 2021; Nizamlioglu vd., 2022), mikrodalga (Ozkan Karabacak, 2019; Ozkan Karabacak, 2020; Sarkar vd., 2021; Ozkan Karabacak, 2023), dondurarak kurutma (Sarkar vd., 2021), ısı pompası (Ozkan Karabacak vd., 2023a), kırınımlı pencere kurutma (Shende vd., 2020), mikrodalga destekli konvektif kurutma (Tontul ve Topuz, 2017; Roknul Azam vd., 2018) pestil kurutulmasında kullanılan teknikler arasında yer almaktadır.



Şekil 1: Pestil üretim akış şeması

1.2 . Pestil Üretimi Sırasında Kullanılan Bileşenler

Pestil üretiminde, meyve ve/veya sebzelerin püresi veya sularının konsantresi ana hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu temel bileşenler, pestilin karakteristik lezzetini ve dokusunu oluşturmada olup, ürünün fizikokimyasal ve duyuşsal özelliklerini iyileştirmek amacıyla tatlandırıcı ve kıvam artırıcı olarak çeşitli bileşenler de kullanılmaktadır.

Pestil üretiminde tatlandırıcı olarak genellikle sofrta şekeri tercih edilmekle beraber, bal, glikoz şurubu da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında inulin, oligofruktoz ve polidekstroz gibi prebiyotik özellik gösteren katkı maddeler de pestil üretiminde kullanılmaktadır (Silva Simao vd., 2020; Yüksel, Yavuz ve Baltacı, 2020). Diğer taraftan sağlıklı atıştırılmalık ürün geliştirilmesi sırasında şekere alternatif tatlandırıcıların kullanılması kaçınılmazdır.

Pestil üretiminde işleme süresini hızlandırmak ve yapısal bütünlüğü korumak için çeşitli kıvam artırıcıları (buğday nişastası, mısır nişastası, keçiboynuzu gamı, arabik gamı, karboksimetil selülozu, sodyum aljinat vb) değişen miktarlarda kullanılmaktadır (Tontul ve Topuz, 2017; Silva Simao vd., 2020; Sarma vd., 2023; Ayustaningwarno vd., 2024). Nişasta veya nişasta içeren unlar, meyve posası formülasyonlarında kıvam artırıcı olarak yaygın olarak seçilir (Kara ve Küçüköner, 2019). Yaygın olarak kullanılan nişasta, doğada bol miktarda bulunan ve bitkiler tarafından fotosentez yoluyla elde edilen enerjiyi depolamak için üretilen bir biyopolimerdir. Pek çok gıda maddesinin temel bileşeni olan nişasta, gıdaların jel oluşumu, koyulaşması ve su tutma gibi fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi nedeniyle insan beslenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bir polisakkarit oluşturmak üzere polimerize edilen α D-glikoz birimlerinden oluşan nişastanın kimyasal bileşimi, doğrusal bir polimer olan amiloz ve dallanmış bir polimer olan amilopektini içermektedir (Šárka ve Dvořáček, 2017). Nişastanın su bağlama özellikleri, pestillere uygulandığında aşırı kurumayı önlemeye yaramaktadır ve ürünün farklı yenilebilir dokusunun geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Kara ve

Küçüköner, 2019). Nişastalar, su ile temas sonrası suyu emerek şişme eğilimi gösterirler. Su molekülleri ile nişasta moleküllerindeki hidroksil grupları hücreye girdiklerinde aralarında hidrojen bağları kurulur. Bu su emme ve hacim değişikliği süreci tersine çevrilebilmektedir. Jelatinleşme eşiğinin altındaki sıcaklıklarda moleküler yapıda değişiklikler meydana gelmez iken, daha yüksek sıcaklıklarda geri dönüşü olmayan değişiklikler meydana gelebilmektedir ve jelatinleşme olarak bilinen bir olay olan nişasta moleküllerinin tipik yapısının bozulmasına yol açabilmektedir. Isıtma işlemi devamı sırasında nişasta molekülü içinde bulunan amiloz molekülleri hücre çeperlerinden geçerek çözeltiye yayıldığı bu nedenle çözünen amiloz, viskozite artışına neden olduğu bilinmektedir (Acar ve Keskin, 2021; Šárka ve Dvořáček, 2017). Çirilenme, bir ürünün viskozitesinin zirveye ulaştığında meydana geldiği, akabinde su salınımının azalıp sertleşme yoluyla sıkı bir pestil yapısının oluştuğu bir olay olarak tanımlanmaktadır (Ekşi ve Artık, 1984; Kara ve Küçüköner, 2019)

2. PESTİL İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Pestiller, üzüm, dut, elma, kayısı, muz, kiraz, portakal, armut, ananas, çilek, mandalina, şeftali, böğürtlen, kivi, guava, mango, papaya, kuşburnu ve nar gibi pek çok farklı meyveden ve sebzelerden, içerisine ceviz, susam, fındık gibi değişik kuruyemiş ilaveleri ile pestil üretilmektedir (Boz, Karaoğlu ve Kaban, 2016; Kara ve Küçüköner, 2019; Silva Simão vd., 2020; Barman vd., 2021;). Pestiller üretildiği meyvelerin özelliklerine bağlı olarak farklı fizikokimyasal bileşime sahip olabilmektedir. Dut, erik, kayısı ve üzümünden geleneksel yöntemle göre üretilen pestillerin nemlerinin 11,3-14,3%, toplam şeker miktarlarının 79,0-87,6%, toplam ham protein miktarının 1,9-4,1%, toplam ham yağın 0,1-2,6% arasında değiştiği raporlanmıştır. Aynı çalışmada pestilin mineral bileşimi arasında yer alan potasyumun 801-5173 mg/kg, kalsiyumun 2318-3828 mg/kg, fosforun 82-1099 mg/kg,

sodyumun 203-245 mg/kg, magnezyum 47-75 mg/kg, demir 11-46 mg/kg olarak raporlanmıştır (Tablo 2) (Ekşi ve Nevzat, 1984).

Gıda ürünlerine olduğu gibi pestil ürünlerinde de su aktivitesi önemli bir kalite faktörüdür. Enzimatik ve enzimatik olmayan reaksiyonlar, mikrobiyal bozunma, lipit oksidasyonu, doku, tat ve aromadaki değişiklikler dahil olmak üzere çeşitli fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik süreçler su aktivitesinin seviyesinden etkilenmektedir (Kara ve Küçüköner, 2019; Quintero-Ruiz vd., 2012). Bazı çalışmalarda raporlanan su aktivitesi, pH ve asitlik değerleri Tablo 3'teki gibidir.

Tablo 2: Farklı pestil bileşenleri (Ekşi ve Nevzat, 1984)

Bileşen (%)	Dut Pestili	Erik Pestili	Kayısı Pestili	Üzüm Pestili
Nem	14,3	19,5	17,3	11,3
Toplam kuru madde	85,7	80,5	82,7	88,7
Toplam şeker	83,4	79	80,1	87,6
Toplam asit	0,2	2,3	6,2	0,7
Protein	2,0	2,0	1,9	4,1
Toplam kül	1,4	1,6	3,5	1,6
Ham yağ	0,4	0,1	2,6	0,6
Demir	14	11	46	13
Bakır	10	6	9	10
Fosfor	401	82	865	1099
Potasyum	3881	801	1520	5173
Sodyum	215	245	207	203
Kalsiyum	2507	3828	2318	2563
Magnezyum	47	68	72	65

Tablo 3: Bazı pestil örneklerinin fizikokimyasal özellikleri

Pestil Türü	Su Aktivitesi	pH / Asitlik	Referans
Mango	0,61- 0,67	pH: 3,5 – 3,8	Azeredo vd., 2006
Elma	0,70	pH: 3,29	Quintero-Ruiz vd., 2012
Farklı hidrokolloidler ile nar pestili	0,55	pH: 3,61-3,68	Tontul ve Topuz, 2017
Dut	0,56 – 0,72	Asitlik: 0,15 – 0,22 (%) (sitrik asit)	Yüksel, Yavuz ve Baltacı, 2020
Nar	0,52 – 0,61	pH: 2,52 – 3,71	Ersus ve Hepçimen, 2021

Nakilcioğlu-Taş vd. (2018), dut ve hurma pestil üretiminde kullanılan buğday nişastasının farklı oranlarda keçiyoynuzu unu ile ikame edilmesi sonucunda elde edilen geleneksel ürünün protein içeriğinin ve dolayısıyla fonksiyonelliğinin artırılmasını amaçlamıştır. Bu nedenle, nişastaya keçiyoynuzu unununun %25, %50 ve %75 oranlarında ikame edilmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma, keçiyoynuzu unu ikamesinin makro besin seviyelerinde kayda değer bir artış olduğunu ve bunun da ürünün besin profilinde genel bir iyileşmeye yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca duyusal değerlendirmelerde, %25 oranında keçiyoynuzu unu ikamesi ile üretilen pestil örneklerinin, görünüm, renk ve tat-koku özellikleri açısından tercih edildiği sonucuna varılmıştır.

Dut pestili üretiminde kullanılan buğday ununa farklı oranlarda hindistan cevizi ununun katılmasıyla (0, 2, 4, 5 g/100 g) elde edilen ürünün kalitesini araştıran bir çalışmada, nihai ürünün nem, kül ve protein içerikleri analiz edilmiş ve hindistan cevizi unu ilavesinin bu bileşenlerin miktarlarında önemli ölçüde artışa sebep olduğu ortaya konulmuştur. Herlenin viskozitesinin hindistan cevizi ununun ikamesi ile önemli ölçüde azaldığı, ancak hidroksimetilfurfural (HMF) ve şeker içeriğinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı belirtilmiştir.

Duyusal değerlendirmeler, 2 g/100g hindistan cevizi unu içeren dut pestilini, daha yumuşak dokusunun yanı sıra gelişmiş aroma ve tadı nedeniyle tercih edildiğini göstermiştir (Yüksel vd., 2020).

Karışık sebze pestili örneklerine uygulanan çeşitli kurutma yöntemleri incelendiğinde, 180 W güçte uygulanan mikrodalga kurutmanın en yüksek kuruma hızı ve en kısa kuruma süresi sağladığı gözlenmiştir. Sebze pestillerinin kuruma davranışı, teorik ince tabaka modelleri arasında yer alan Page ve Modifiye Page modelleri tarafından en iyi şekilde açıklanmıştır. Fick'in ikinci difüzyon yasası kullanılarak hesaplanan difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerleri $2,45 \times 10^{-8}$ ile $9,93 \times 10^{-8}$ m²/s arasında değiştiği gözlenmiştir. Pestil örneklerinin dokusal özellikleri sıcaklık, basınç ve mikrodalga gücü gibi faktörlerden etkilenmiş olup mikrodalgada kurutmanın ürün kalitesi, mineral içeriği ve doku özellikleri açısından en etkili yöntem olduğu raporlanmıştır (Özkan Karabacak ve Çopur, 2020).

Literatürde yapılan bir çalışmada kivi pestil üretiminde hidrokolloidlerden ksantan zamkı, guar zamkı ve pektinin ürün kalitesine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan bu hidrokolloidlerin %0,2 %0,5 ve %1 olmak üzere ağırlıkça üç farklı konsantrasyonu kivi püresi ile karıştırılarak pestil hamuru hazırlanmıştır ve 60°C'de yaklaşık 7 saat kurutulmuştur. %0,5 ksantan zamkı, %0,5 guar zamkı ve %0,5 pektin ile hazırlanan pestil numuneleri en yüksek duyusal skoru ve beklenen fizikokimyasal özellikleri göstermiştir. Matematiksel ince tabaka kurutma modeli arasında Midilli modelinin kivi pestilinin kuruma davranışlarını açıklayan en iyi model olduğu tespit edilmiştir. Hidrokolloidler kullanılarak geliştirilen pestillerin, nem içeriğinde ve pH değerinde azalma tespit edilirken, askorbik asit ve toplam fenolik içerik üzerinde anlamlı bir farklılık yaratmadığı ortaya konulmuştur (Barman vd., 2021)

Ersus ve Hepçimen (2021) tarafından yapılan bir çalışmada nar meyvesinin yeni ürünler geliştirmek amacıyla pestil üretiminde hammadde olarak kullanılması ve çeşitli formülasyonların fiziksel,

kimyasal ve duyuşsal özelliklere etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında jelleştirici olarak % 10 buğday nişastası ve %10 buğday unu kullanılmıştır. Ayrıca %10 buğday unu, %5 şeker ve % 5 yağsız inek sütü karışımından oluşan alternatifin de etkisi irdelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, tüm formülasyonların dokusal özellikler açısından tüketilebilir olduğu ortaya konulmuştur. Duyusal analiz sonuçlarına göre, genel özellikler açısından en çok tercih edilen formülasyonun buğday unu, şeker ve süt katkılı nar pestili olduğu belirlenmiştir. Hammaddenin pestile işlenmesi sırasında toplam fenolik madde içeriğinin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azalmasına rağmen tüm formülasyonların toplam fenolik madde (TPC) içeriğinin $2974,75 \pm 1,88$ ile $4807,92 \pm 1,33$ mg gallik asit eşdeğeri (GAE) /100 g kuru madde (KM) arasında değiştiğı de raporlanmıştır.

Kaktüs meyvesinin fırın tipi ve pilot ölçekli tepsili kurutucu gibi iki farklı teknik ile kurutulmasında, tepsili kurutucunun, üretilen pestil numunelerinin toplam asitliğı, toplam fenolik içeriğı, antioksidan kapasitesi, rengi ve hidrokşimetilfurfural değerleri üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Tepsili kurutucunun pestillerin toplam antioksidan kapasitesine (%66,91–70,25) ve toplam fenolik madde (1,79–2,01 g GAE/kg) içeriğine olumlu bir şekilde etki bıraktığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, duyuşsal analiz sonucunda panelistlerin verdiği puanlar ile tepsili kurutucunun lezzet açısından en beğenilen pestilleri üretildiğı sonucuna varılmıştır Diğer taraftan, ürünlerin mineral içerikleri (Na, K, Ca, Mg ve Fe) üzerine kurutucu tipinin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde etki etmediğı ortaya konulmuştur (Incedayi vd., 2022).

Özkan Karabacak, Durgut Malçok, Tunçkal, Tamer ve Pandiselvam (2023) yaptıkları bir çalışmada, geleneksel kurutma yöntemlerine alternatif olarak kurutma sürecindeki verimliğı ve düşük enerji tüketimi ile uygunluğu kabul gören ısı pompası kurutma makinesinin kızılılık-kapiya biber pestilinin kurutulmasında kullanılması olanağını araştırmışlardır. Yüzey tepki yöntemi kullanılarak yapılan

optimizasyon sonucunda, kurutma sıcaklığı için 46,68°C ve kızılçık meyvesi posası konsantrasyonu için %44,94 optimum parametreler elde edilmiştir. Çalışma sonucunda tüketiciler açısından yeni bir fonksiyonel ürün olan kızılçık meyve pestil ürünü geliştirilmiştir ve nihai ürünün fonksiyonelliğini artırmak için reçeteye kapyra biberi, soğan ve sarımsak ekstraktları ve baharatlar eklenerek ürünün lezzeti ve biyoaktif özelliklerini iyileştirmiştir. Kurutma işleminin pestil örneklerinin toplam fenolik madde içeriğini azalttığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan, çalışma kapsamında gerçekleştirilen *invitro* sindirimden sonra, pestil örnekleri daha yüksek biyoerişilebilir β -karoten, α -karoten, lutein ve toplam antioksidan kapasiteye (TAK) (özellikle DPPH yöntemi için) sahip olduğu sonucunu da elde etmişlerdir.

Özkan Karabacak (2023)'in balkabağı pestilinin kurutma kinetiğini incelediği çalışmada da kurutma işleminin (sıcak hava kurutma, vakum kurutma ve mikrodalga kurutma) nihai pestil örneklerinin *invitro* sindirimden TFM, TAK ve β -karotenin biyoerişilebilirliğini artırdığını ortaya koymuştur.

Kızılçık pestili ile yapılan bir diğer güncel çalışmada farklı kurutma yöntemlerinin (sıcak hava, vakumlu kurutucu 200 mb sabit basınçta ve 55 °C, 65 °C ve 75 °C sıcaklıkta) nihai ürünün kalite üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, vakumlu kurutucunun yüksek kuruma hızı ve etkin nem difüzyon katsayısı elde edilmesini sağladığını ve ayrıca en yüksek antosiyanin içeriği, en düşük HMF oluşumu ve renk değişimlerinin gözlemlendiği kurutucu tipi olduğu sonucuna da varmışlardır (Hosseiny Khesal ve Asefi, 2023).

Keten tohumu yağı ile zenginleştirilmiş muz pestilleri ile yapılan çalışmada pestiller 40, 50 ve 60 °C'de tepsili kurutucuda kurutulmuştur. Keten tohumu yağı ilavesiyle pestillerin yağ içeriğinin %3,27 arttığı, fenolik içeriğinin kontrol ile karşılaştırıldığında $91,84 \pm 0,06$ mg GAE/100 g'dan $100,90 \pm 0,05$ mg GAE/100 g'a yükseldiği belirtilmiştir. ω -3 yağ asidi açısından zengin keten tohumu yağı ve yüksek fenolik asit

içeriği nedeniyle fonksiyonel muz pestilinin işlevsel bir atıştırmalık gıda olarak kabul edilebileceği ortaya konmuştur (Sarma vd., 2023).

Kırmızı ejder meyvesi ve karpuz kabuğu kombinasyonundan yapılan pestilin fizikokimyasal ve duyuşal kalitesine deniz yosunu (*Eucheuma cottonii*) ilavesinin etkisinin araştırıldığı çalışmada yosun konsantrasyonunun artması nem, kül, protein, C vitamini, toplam fenol, su aktivitesi ve uzamayı önemli ölçüde artırmış ancak yağ içeriğini azaltmıştır. Ayrıca, pestillerde yapılan duyuşal değerlendirmelerde yosun konsantrasyonundaki artışın tat ve renege olan ilgiyi önemli ölçüde azalttığı ancak doku beğenisini artırdığı bildirilmiştir (Ayustaningwarno vd., 2024).

Yapılan bir başka çalışmada sağlıklı bir atıştırmalık bar geliştirmek amacıyla, üç farklı probiyotik bakteri suşu, hem serbest hem de kapsüllenmiş formlarda, kayısı pestilinin tarifine dahil edilmiştir. Elde edilen kayısı pestillerinin fizikokimyasal, biyoaktif, mikrobiyolojik ve dokusal özellikleri 120 günlük bir depolama süresi boyunca değerlendirilmiştir. Depolama sırasında pH'ta dalgalanmalar (4,74-4,97) gözlemlenirken, su aktivitesi (0,31-0,45) ve nem içeriği (%8,05-13,40) zamanla azalan bir eğilim göstermiştir. Serbest veya kapsüllenmiş bakterilerin dahil edilmesi, probiyotikler ve pestil matrisi arasındaki moleküller arası etkileşimlere atfedilen daha koyu bir yüzey ile sonuçlanmıştır. Başlangıçta toplam fenolik içeriğin en yüksek seviyede olduğu ve depolama sırasında önemli ölçüde azaldığı (52,13–291,73 mg gallik asit eşdeğeri/100 g) bildirilmiştir. Depolama süresinin sonunda kapsüllenmiş bakteri formlarında canlılığın daha yüksek olduğu bulunmuş olup, kayısı pestili, depolama sırasında hem serbest hem de kapsüllenmiş formlarda taşınmalarını ve barındırılmalarını kolaylaştırarak canlı probiyotikler için umut verici bir matris olduğu belirtilmiştir (Bağdat vd.,2024).

İnce tabaka kurutma modelleri, gıda ve tarım ürünlerinin kurutma kinetiğinin analiz edilmesine yardımcı olarak, ürün kalitesini korumayı, hasat ve işleme süresince oluşabilecek kayıpların en aza indirgenmesine

destek olmayı amaçlayan yaklaşımlardır (Inyang vd., 2018). İnce tabaka, tabaka halindeki ürünün her bölgesindeki hava özelliklerinde fark olmadan aynı şekilde tekdüze olduğu düşünülerek, ince ürün kalınlığına sahip tabakayı tanımlamaktadır. Kurutma sistemlerinde, farklı denklemler yardımı ile çeşitli matematiksel modeller uygulanarak uygun kurutma koşullarının optimizasyonu sağlanmaktadır. Gıdaların ince tabaka şeklinde kurutulmasında kullanılan modeller, zamana karşı nem oranının tahminine göre belirlenmektedir. Tablo 4’de pestil çalışmalarında en iyi uyumu gösteren kurutma model örnekleri sunulmuştur.

Tablo 4: Pestil çalışmalarında en iyi uyumu gösteren kurutma model örnekleri

Pestil Türü	Model Adı	Tahmin Değerleri	Referans
Dut pestili	Page ve Modifi ye Page	R^2 : 0,9997 RMSE: 0,000927 χ^2 : 0,000011	Suna ve Özkan-Karabacak, 2019
Hint inciri pestili	Page	R^2 : 0,991-0,9993 χ^2 : $0,299 \times 10^{-4} - 30,80 \times 10^{-4}$	Abraham-Juárez, Olalde-Portugal, Cerón-García, ve Sosa-Morales, 2019
Havuç+domates pestili	Wang ve Singh	R^2 : 0,9986 χ^2 : 0,000195 RMSE 0,002817	Özkan Karabacak, 2021
Havuç+kırmızı biber pestili	Page ve Modifi ye Page	R^2 0,9769 – 0,9971, χ^2 : 0,000177 – 0,002053 RMSE: 0,003109 – 0,011212	Özkan Karabacak, 2021
Havuç+kırmızı biber pestili	Page ve Modifi ye Page	R^2 :0,9879 – 0,9984 χ^2 : 0,000184 – 0,001017 RMSE: 0,003572 – 0,008405	Özkan Karabacak, 2021
Kivi pestili	Midilli	R^2 : 0,967 – 0,963 RMSE: 0,025- 0,063	Barman ve diğerleri, 2021
Mango pestili	Midilli	R^2 :0,999479- 0,999998 RMSE: 0,000425-0,010534	Sarkar ve diğerleri., 2021

SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde yapılan çalışmalar neticesinde tatlandırıcı ve kıvam arttırıcı olarak doğal ikamelerin kullanımı sağlıklı ve besleyici değeri yüksek pestil formülasyonları geliştirmeyi mümkün kılmıştır. Pestillerin fonksiyonelliğinin artırılması amacıyla formülasyona fenolik bileşen ve mineral açısından zengin çeşitli bileşenlerin eklenmesi, pestillerin sağlık faydalarını artırarak onu fonksiyonel bir atıştırmalık haline getirdiği raporlanmıştır. Buna ilave olarak yapılan çalışmalarda pestil üretiminde yenilikçi kurutma teknolojileri ile birlikte hibrit ön işlemlerin kullanılması, kurutma süresini azaltırken kalite parametrelerinin korunmasına ve ürünün fonksiyonelliğinin artmasına olanak tanıdığı görülmüştür. Artan tüketici talebi, inovatif pestil ürünlerinin fonksiyonel gıda pazarında yüksek bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda, ürünlerin besin değeri ve duyuşal özelliklerini daha da iyileştirmek amacıyla diğer doğal tatlandırıcılar ve kıvam arttırıcıların, kurutma işleminin kısaltılması ve ürünün nihai kalitesinin korunması amacıyla yenilikçi ön işlemlerin uygulanabilirliğinin yaygınlaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abraham-Juárez, M. del R., Olalde-Portugal, V., Cerón-García, A., & Sosa-Morales, M. E. (2019). Hot air drying kinetics of thin layers of prickly pear fruit paste. *Sains Malaysiana*, 48(2), 361–367. <https://doi.org/10.17576/jsm-2019-4802-13>
- Acar, L., & Keskin, S. Ö. (2021). Kızılötesi, mikrodalga, ultrases teknolojileri ve kombinasyonları kullanılarak modifiye edilmiş doğal biyopolimerlerin çeşitli özellikleri üzerine bir derleme. *Gıda / The Journal of Food*, 785–802. <https://doi.org/10.15237/gida.GD21022>
- Anonim. (2021). World Integrated Trade Solution: Sugar confectionery; (excluding chewing gum, including white chocolate), not containing cocoa exports by country in 2021. *WITS World Bank*. <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2021/tradeflow/Exports/partner/WLD/product/170490> (Erişim Tarihi: 23.04.2022)
- Anonim. (2024). Türkiye İstatistik Kurumu Veri Portalı. Bitkisel üretim istatistikleri: Yumur ve kök sebzeler, 1988-2023 verileri. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Tarim-111> (Erişim Tarihi: 27.06.2024)
- Ayustaningwarno, F., Ayu, A.M., Afifah, D.N. et al. (2024). Physicochemical and sensory quality of high antioxidant fruit leather of red dragon fruit and watermelon rind enriched with seaweed. *Discov Food* 4, 92. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00169-6>
- Azeredo, H. M. C., Brito, E. S., Moreira, G. E. G., Farias, V. L., & Bruno, L. M. (2006). Effect of drying and storage time on the physicochemical properties of mango leathers. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(6), 635–638. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01120.x>
- Bagdat, E. S., Kutlu, G., & Tornuk, F. (2024). The effect of free and encapsulated probiotic bacteria on some physicochemical,

- microbiological, and textural properties of apricot leather (pestil) during storage. *Journal of Food Science*, 89, 4688–4703. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17245>
- Barman, M., Das, A. B., & Badwaik, L. S. (2021). Effect of xanthan gum, guar gum, and pectin on physicochemical, color, textural, sensory, and drying characteristics of kiwi fruit leather. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15478>
- Boz, H., Karaoğlu, H. H., & Kaban, G. (2016). The effects of cooking time and sugar on total phenols, hydroxymethylfurfural, and acrylamide content of mulberry leather (pestil). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 8(4), 493–500. <https://doi.org/10.3920/QAS2014.0558>
- Ekşi A., & Artık, N. (1984). Pestil işleme tekniği ve kimyasal bileşimi. *Gıda*, 9(5), 263–266.
- Ersus, S., & Hepçimen, A. Z. (2021). Effects of different formulations on quality of pomegranate pestil. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 58(1), 9–15. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.715125>
- Eyiz, V., Tontul, İ., & Türker, S. (2020). Effect of variety, drying methods, and drying temperature on physical and chemical properties of hawthorn leather. *Food Measure*, 14, 3263–3269. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00574-2>
- Göncü, A., Kuzumoğlu, Y., & Çelik, İ. (2022). Ticari olarak satılan nar, karadut, ahududu ve frenk üzümü meyve sularından pestil üretilmesi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(4), 519–527. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/app10238340>
- Hardianingsih, L., Saputrayadi, A., Ihromi, S. (2024). Influence of adding earl flower extract (*Clitoria Ternatea* L.) on the fruit leather quality of kersen fruit (*Muntingia Calabura* L.). *Journal of Agritechnology and Food Processing*, 4, 1. DOI: <https://doi.org/10.31764/jafp.v4i1.24265>

- Hosseiny Khesal, Masomueh, & Asefi, Narmela. (2023). Comparison of Convection and Vacuum Drying on Quality of Formulated Cornelian Cherry Leather (Pestil). *Innovation In Food Science And Technology (Journal Of Food Science And Technology)*, 14(4), 95-107. SID. <https://sid.ir/paper/1066512/en>
- Inyang, U. E., Oboh, I. O., & Etuk, B. R. (2018). Kinetic models for drying techniques—Food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8(02), 27–48. <https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003>
- İncedayi, B., Dogan, N., & Copur, O. U. (2022). Assessment of cactus pear leather (pestil) as a new snack food. *Journal of Food Science and Technology*, 59(8), 3158-3166. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05366-8>
- Kamiloglu, S., & Capanoglu, E. (2014). In vitro gastrointestinal digestion of polyphenols from different molasses (pekmez) and leather (pestil) varieties. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(4), 1027–1039. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12396>
- Kara, O. O., & Küçüköner, E. (2019). Geleneksel bir meyve çerezi: Pestil. *Akademik Gıda*, 260-268. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.613621>
- Maskan, A., Kaya, S., & Maskan, M. (2002). Hot air and sun drying of grape leather (pestil). *Journal of Food Engineering*, 54(1), 81–88. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00188-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00188-1)
- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage, and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177–182. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00155-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00155-2)
- Nakilcioğlu Taş, E., Çakaloğlu, B., & Ötleş, S. (2018). Farklı oranlarda keçiboynuzu unu içeren pestillerin bazı fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 6(8), 945. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i8.945-952.1445>

- Neog, U., Dhar, P., Kumari, T. *et al.* Optimization of microwave-assisted process for extraction of phytochemicals from norabogori fruit (*Prunuspersica* L. Batsch) and its application as fruit leather. *Biomass Conv. Bioref.* (2023). <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04035-w>
- Nizamlioglu, N. M., Yasar, S., & Bulut, Y. (2022). Chemical versus infrared spectroscopic measurements of quality attributes of sun or oven dried fruit leathers from apple, plum, and apple-plum mixture. *LWT*, 153, 112420.
- Olcay, H. S., Ceyhan, T., & Yildirim-Yalcin, M. (2024). Development, Chemical and Sensory Characterization of Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) Sour Concentrate and Fruit Leather (Pestil). *Journal of Culinary Science & Technology*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/15428052.2024.2393161>
- Özkan Karabacak, A. (2019). Effects of different drying methods on drying characteristics, colour and in-vitro bioaccessibility of phenolics and antioxidant capacity of blackthorn pestil (leather). *Heat and Mass Transfer*, 55(10), 2739–2750. <https://doi.org/10.1007/s00231-019-02611-3>
- Özkan Karabacak, A. (2021). Farklı yöntemlerle kurutulan havuç pestillerinin kurutma karakteristikleri ile bazı kalite parametrelerindeki değişimin modellenmesi ve in-vitro biyoyararlılıklarının belirlenmesi (Doktora Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkan Karabacak, A. (2023). Assessment of total phenolic compounds, antioxidant capacity, β -carotene bioaccessibility, HMF formation, and color degradation kinetics in pumpkin pestils. *JOTCSA*, 10(3), 729–744. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.1302567>
- Özkan Karabacak, A., Suna, S., Dorak, S., & Çopur, Ö. U. (2021). Drying characteristics, mineral content, texture and sensorial properties of pumpkin fruit leather. *Latin American Applied*

- Research - An International Journal*, 51(3), 193–201.
<https://doi.org/10.52292/j.laar.2021.753>
- Özkan-Karabacak, A., & Çopur, Ö. (2020). Farklı kurutma yöntemleri ile üretilen karışık sebze pestilinin kuruma karakteristikleri, renk değişim kinetiği, mineral madde içeriği ve tekstürel özelliklerinin belirlenmesi. *Gıda / The Journal Of Food*, 46(1), 1–20.
<https://doi.org/10.15237/gida.GD20090>
- Özkan-Karabacak, A., Acoğlu-Çelik, B., Özdal, T., Yolci-Ömeroğlu, P., Çopur, Ö. U., Baştuğ-Koç, A., & Pandiselvam, R. (2023b). Microwave-assisted hot air drying of orange snacks: Drying kinetics, thin layer modeling, quality attributes, and phenolic profiles. *Journal of Food Biochemistry*.
<https://doi.org/10.1155/2023/6531838>
- Özkan-Karabacak, A., Durgut-Malçok, S., Tunçkal, C., Tamer, C. E., & Pandiselvam, R. (2023a). Optimization of heat pump dryer conditions on bioaccessibility of some secondary metabolites of Cornelian cherry-Capia pepper pestil. *Journal of Food Biochemistry*, 2023, 5443962.
<https://doi.org/10.1155/2023/5443962>
- Quintero Ruiz, N. A., Demarchi, S. M., Massolo, J. F., Rodoni, L. M., & Giner, S. A. (2012). Evaluation of quality during storage of apple leather. *LWT*, 47(2), 485–492.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.012>
- Roknul Azam, S. M., Zhang, M., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2018). Effects of drying methods on quality attributes of peach (*Prunus persica*) leather. *Drying Technology*, 37(3), 341–351.
<https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1454942>
- Šárka, E., & Dvořáček, V. (2017). Waxy starch as a perspective raw material (a review). *Food Hydrocolloids*, 69, 402–409.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.001>
- Sarkar, T., Saha, S. K., Salauddin, M., & Chakraborty, R. (2021). Drying kinetics, Fourier-transform infrared spectroscopy analysis and

- sensory evaluation of sun, hot-air, microwave and freeze-dried mango. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(5), e3313. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.3313>
- Sarma, O., Kundlia, M., Chutia, H., & Mahanta, C. L. (2023). Processing of encapsulated flaxseed oil-rich banana-based (*Dwarf cavendish*) functional fruit leather. *Journal of Food Process Engineering*, 46(4), e14282. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14282>
- Shende, D., Kour, M., & Datta, A. K. (2020). Evaluation of sensory and physicochemical properties of Langra variety mango leather. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 3227-3237. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00558-2>.
- Silva Simão, R., de Moraes, J. O., Carciofi, B. A. M., & Laurindo, J. B. (2020). Recent advances in the production of fruit leathers. *Food Engineering Reviews*, 12(1), 68–82. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09200-4>
- Suna, S., & Özkan-Karabacak, A. (2019). Investigation of drying kinetics and physicochemical properties of mulberry leather (pestil) dried with different methods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(8). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14051>
- Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT*, 80, 294–303. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.035>
- TS (Türk Standardı). (2000a). *TS 12680 Üzüm pestili*. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara.
- TS (Türk Standardı). (2000b). *TS 12679 Kayısı pestili*. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara.
- TS (Türk Standardı). (2000c). *TS 12678 Erik pestili*. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara.
- TS (Türk Standardı). (2000d). *TS 12677 Dut pestili*. Türk Standartlar Enstitüsü, Necati Bey Cad. No: 112, Bakanlıklar, Ankara.
- Yüksel, F., Yavuz, B., & Baltacı, C. (2020). Hindistan cevizi unu ile zenginleştirilmiş dut pestillerin bazı fizikokimyasal, renk ve

duyusal özelliklerinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(1), 43-50.
<https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.545872>

BÖLÜM 6

TÜRKİYE'DEKİ ORMAN YANGINLARININ BAL ÜRETİMİ VE TİCARETİNE ETKİSİ

Öğr. Gör. Dr. Bahar AYDIN CAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14541529>

¹ Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Kocaeli, Türkiye, baharcan@kocaeli.edu.tr, ORCID ID: 000-0003-1076-7875

GİRİŞ

Arıcılık tüm dünyada yaygın olarak yapılan tarımsal faaliyetlerden biridir. Arıcılık küçük sermaye ile yapılabilmesi, kısa sürede gelir sağlaması, arazi mevcudiyeti gerektirmemesi ve ayrıca ek iş olarak da yapılabilirliği açısından avantajlı bir tarımsal faaliyettir. Türkiye de sahip olduğu zengin flora ile bal üretimi için uygun bir ülkedir. Ekonomik olarak arıcılık faaliyetinden elde edilen temel ürün doğal bal olsa da, balmumu, propolis, arı sütü, arı zehiri vb. ürünler de beraberinde gelir getirmektedir. Bal, arı ürünleri arasında en fazla tanınan, üretilen ve tüketilen ürün durumundadır (Çukur ve Çukur, 2021). Arıcılık, toprağa bağlı kalmadan çiçeğin bulunduğu her yerde yapılabilen bir tarımsal faaliyettir (Duru ve Parlakay, 2021). Arıcılık, bir tarımsal faaliyet olmasının yanı sıra, kendine özgü bir yan sanayinin oluşumuna da katkıda bulunarak ulusal ekonomiye destek sağlamaktadır. Kovan, maske, körük, el demiri, ilaç ve temel petek gibi araç ve gereçler bu yan sanayinin öne çıkan ürünlerindedir. Ayrıca, birçok ülke bal ve diğer arıcılık ürünlerini ihraç ederek ekonomilerine kayda değer döviz girdisi sağlamaktadır (Seyidoğlu, 2014).

Dünya bal üretiminin yaklaşık %48'i Asya kıtasından sağlanırken, %22'si Avrupa kıtasından ve %18'i de Afrika kıtasından karşılanmaktadır (Kadiroğlu, 2024). Bal üretimi ve arı yetiştiriciliğinde en önemli unsurlar, coğrafi koşulların, iklim şartlarının ve ballı bitki florasının uygunluğudur. Dünyada bulunan ballı bitki türlerinin %75'inin Türkiye'de yer alması, ülkemizin bu alandaki doğal zenginliğini ortaya koymaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Türkiye, Asya ve Avrupa kıtalarını birleştiren köprü niteliğindeki stratejik coğrafi konumu ve zengin doğal kaynakları sayesinde, dünya ülkeleri arasında arıcılık açısından önemli bir avantaja sahiptir (Öztürk, 2013). Bu doğal potansiyel sebebiyle, ülkenin her coğrafik bölgesi ve değişik yönlerinde, arı yetiştiriciliği ve bal üretimi yapılmaktadır (Doğanay ve Çavuş, 2013). Dünyada en fazla bal üretimini gerçekleştiren ülke Çin'dir. Türkiye dünya bal üretiminde Çin'den sonra ikinci, dünya kovan varlığı

sıralamasında Hindistan ve Çin'den sonra üçüncü sırada gelmektedir. Çin ve Türkiye dünya bal üretiminin %32.36'sını karşılamaktadır. Ancak kovan başına bal verimimiz 11.03 kg/kovan ile dünyada 7.sıradadır. Türkiye dünya bal ihracatında % 1.25'lik payı ile 11. Sıradadır. Dünya bal ticaretindeki payımız ve kovan başına bal verimimiz dikkate alındığında, mevcut potansiyelimizin yeterince değerlendirilemediği görülmektedir.

Orman yangınları ekosistemlerin bal üretimi de dahil olmak üzere çeşitli hizmetler sunma kapasitesini bozar. Yangına meyilli deniz çamı ormanlarında, orman yangınları ekosistemin odun üretimi, avcılık ve bal toplama gibi faaliyetleri destekleme yeteneğini birkaç yıl boyunca kesintiye uğratar (Taboada ve ark., 2021). Orman ve kara yangınlarından çıkan yangın ve duman, ilişkili bitki örtüsünün ve hayvanların yenilenmesini de etkileyen manzara değişikliklerinin üretilmesinde derin bir etkiye sahiptir (Rahmad ve ark., 2021). Orman yangınları ekosisteme zarar vererek ve nektar kaynaklarının bulunabilirliğini azaltarak bal üretimini önemli ölçüde bozmaktadır. Bu durum bal üretimi ve ticareti üzerinde olumsuz etki oluşturmakta ve hem ekosistemi hem de bal toplama uygulamalarını etkilemektedir.

Türkiye, iklim ve son derece hassas ormanlarla ilgili olarak Ege ve Akdeniz kıyılarında yüksek orman yangını potansiyeline sahiptir. Türkiye'de her yıl 10.000 hektardan fazla orman alanı yok edilmekte ve kaçınılmaz hasarlar ortaya çıkmaktadır. Orman yangınları sadece orman alanlarını yok etmekle kalmamakta, aynı zamanda ekosistemlere, habitatlara ve özellikle insan hayatına da zarar vermektedir (Sarı, 2021).

Yaşandığımız büyük orman yangınları ve yüksek sıcaklıklar, arıların doğal beslenme alanlarını tahrip etmektedir. Özellikle çam balı üretimi, Türkiye'de Akdeniz ve Ege bölgelerinde yoğunlaşmıştır ve bu bölgelerde çam ormanları büyük bir öneme sahiptir. Türkiye'de çam balı üretimi için gerekli olan koşnil böceklerinin popülasyonu, 2020 yılının Mayıs ayında görülen yüksek sıcaklıklar nedeniyle ciddi ölçüde azalmıştır. Bu durum, bal üretimini olumsuz etkileyerek Muğla'daki

üretimde %58'lik bir düşüşe yol açmıştır. Ayrıca, 2021 yılında Akdeniz ve Ege kıyılarında meydana gelen orman yangınları da koşnil böceklerinin popülasyonunu olumsuz etkilemiş, bunun sonucunda bu bölgelerde çam balı üretiminde düşüş ve verim kayıpları yaşanmıştır (TEPGE, 2023). Orman yangınlarının olduğu yıllarda çam balı üretimi ve veriminde düşüşler yaşanmıştır. Türkiye, bal üretiminde stratejik bir ülke olduğu için, hem sektörün hem de ekonominin sürdürülebilirliği açısından orman yangınlarının etkisinin incelenmesi konusu önemlidir.

Dünya'da ve Türkiye'de bal üretiminin sosyoekonomik etkisi (Saner ve ark., 2005; Girma ve ark., 2015; Musinguzi et al., 2018), bal üretiminin karlılığı ve fırsatları (Beyene, 2014; Al-Ghamdi ve ark., 2017), bal üretimi (Burucu ve Bal, 2017; Koday ve Karadağ, 2020; Çukur ve Çukur, 2021), bal arzı, talebi ve pazarlaması (Onurlubaş ve Demirkıran, 2017; Saner ve ark., 2018; Kadiroğlu, 2024), bal verimliliği (Kuboja ve ark., 2017; Abacı ve ark., 2020; Karakaş, 2021), arıcılığın geçim kaynakları ve hane gelirine etkisi (Kifle ve ark., 2014; Ahmad ve ark., 2017; Lowore, 2020), arıcılık sektöründeki fırsat ve zorluklar (Kinati, 2012; Çevrimli, 2018), arıcılık sektöründeki risk faktörleri (Varalan ve Çevrimli, 2023) ve daha çok iklim değişikliğinin arıcılık üzerindeki etkisi (Reddy ve ark., 2012; Yörük ve Şahinler, 2013, Şahin ve ark., 2015, Abrol ve ark., 2016; Demirhan ve Şahinler, 2019; Onabe ve ark., 2019; Maria ve ark., 2019; Duru ve Parlakay, 2021, Eştürk, 2021) üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Orman yangınları ve bal üretimi üzerine yapılmış çalışmalar sınırlıdır (Ricketts ve Shackleton, 2020; Taboada ve ark., 2021; Sarı, 2021; Rahmad et al., 2021). Ancak bal üretimimizde ve ticaretimizde artan orman yangınları karşısında son yıllar itibariyle dünyadaki yerimizi ortaya koyacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

1. AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'de 2014-2023 yılları arasında çıkan orman yangınlarının bal üretimi ve ticaretine etkisini istatistiksel

verilerle ortaya koymaktır. Bu kapsamda Türkiye'nin bal üretimi, ithalatı, ihracatı ve çıkan orman yangınları istatistiksel verilerle incelenerek, orman yangınlarının bal üretimi ve dış ticaretine etkisinin olup olmadığının ortaya konulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ana materyalini, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü (TEPGE), Tarım ve Orman Bakanlığı, Uluslararası Ticaret Merkezi (TRADE MAP), Orman Genel Müdürlüğü (OGM)'nden elde edilen veriler ile konuyla ilgili kaynak ve raporlar oluşturmaktadır. Toplanan istatistiksel verilerin değerlendirilmesinde yüzde ve indeks hesaplamaları yapılarak, çizelgeler ve grafikler halinde sunulmuştur.

2. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

2.1 Dünyada Bal Üretimi

Arıcılık hem gelişmiş hemde gelişmekte olan ülkeler açısından yaygın olarak yürütülen tarımsal faaliyetlerden biridir (TEPGE, 2023). Türkiye dünya genelinde önemli bal üreticisi ülkeler arasında yer almaktadır (Çukur ve Çukur, 2021). 2022 yılı dünya bal üretiminde Çin 474107 ton üretimi ve % 25.90'lık payı ile ilk sıradadır. Türkiye %6.46'lık payı ve 118297 ton üretimi ile ikinci, %4.34'lük payı ve 79535 ton üretimi ile İran üçüncü sırada yer almaktadır (Tablo 1). 2020-2022 yılları arasında dünya bal üretiminde %2.51 oranında artış gerçekleşmiştir. 2021 yılında bir önceki yıla göre bal üretim miktarı Çin'de %4.17 ve İran'da %3.47 oranlarında artarken, Türkiye'de %7.43 oranında azalmıştır.

Table 1: Dünya Bal Üretimi (ton)

Ülkeler	2020		2021		2022	
	Üretim Miktarı (ton)	Dağılımı (%)	Üretim Miktarı (ton)	Dağılımı (%)	Üretim Miktarı (ton)	Dağılımı (%)
Çin	466487	26.12	485960	27.24	474107	25.90
Türkiye	104077	5.83	96344	5.40	118297	6.46
İran	74887	4.19	77484	4.34	79535	4.34
Hindistan	69783	3.91	74000	4.15	74204	4.05
Arjantin	72183	4.04	70715	3.96	70437	3.85
Rusya	66368	3.72	64533	3.62	67014	3.66
Meksika	54165	3.03	62079	3.48	64320	3.51
Ukrayna	68028	3.81	68558	3.84	63079	3.45
Brezilya	52493	2.94	55679	3.13	60966	3.33
ABD	66948	3.75	57490	3.23	56849	3.11
Diğerleri	690433	38.66	670805	37.61	701960	38.34
Toplam	1785852	100.00	1783647	100.00	1830768	100.00

Kaynak: FAO, 2023

Ekonomik açıdan üretim hacmi kadar verimlilik de çok önemli bir ölçüttür. Balda verimlilik ülkenin toplam bal üretiminin toplam kovan sayısına oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (Seyidoğlu, 2014). Tablo 2’de 2021 yılına göre dünyada bal üretimde önemli olan ülkelerin bal verimlilik sıralaması verilmiştir. 2021 yılına göre Brezilya 54.06 kg/kovan ile dünya verimlilik sıralamasında ilk sıradadır. Bu ülkeyi 52.72 kg/kovan ile Çin ve 27.89 kg/kovan ile Meksika takip etmiştir. Türkiye ise kovan başına 11.03 kg bal üretimi ile dünyada 7. sıradadır. Aynı yıl gerçekleşen 17.55 kg/kovan dünya ortalamasının altında verimliliğe sahip olduğu görülmektedir. Türkiye’nin dünya bal üretiminde 2. sırada yer almasına rağmen, bal verimliliğinde aynı üstünlüğe sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Bal üretimimizin yüksek olmasının kovan sayımızın yüksek olmasından kaynaklandığı, ancak istenilen verime ulaşamadığı görülmektedir.

Tablo 2: Dünya’da Bal Üretimi Yüksek Olan Ülkelerin Bal Verimlilik Sıralaması (2021)

Sıra	Ülkeler	Üretim Miktarı (ton)	Kovan Sayısı (bin adet)	Verimlilik (kg/kovan)
1	Brezilya	55679	1030	54.06
2	Çin	485960	9217	52.72
3	Meksika	62079	2226	27.89
4	Arjantin	70715	2965	23.84
5	Rusya	64533	2890	22.33
6	ABD	57490	2696	21.32
7	Türkiye	96344	8733	11.03
8	Tanzanya	31616	3051	10.36
9	İran	77484	7527	10.29
10	Hindistan	74000	12848	5.76
	Dünya	1783647	101624	17.55

Kaynak: FAO, 2023, TÜİK, 2023

2.2 Dünya Bal Dış Ticareti

Dünya bal ihracat miktarları ve değerleri Tablo 3’de verilmiştir. 2018 - 2022 yılları ortalamasına göre değer ve miktar bakımından ihracatta ilk sırada gelen ülke Çin’dir. 2022 yılında dünyada toplam 721249 ton bal ihracatı yapılmıştır. Çin bu ihracatın %19.11’ini gerçekleştirmiştir. 2022 yılı dünya bal ihracatında Hindistan %9.29’luk payı ile ikinci sırada yer alırken, Arjantin %9.24’lük payı ile üçüncü sırada yer almıştır. Türkiye aynı yıl 17177 ton bal ihracatı ile %1.25’lik paya sahiptir. 2018-2022 yılları arasında dünya bal ihracatında %12.82’lik bir artış gerçekleşirken, aynı dönem Türkiye’de %168.97 oranında artış gerçekleşerek, dünya ihracat artışının üzerinde bir artış olmuştur.

Tablo 3: Dünya Bal İhracat Miktarı (ton) ve Değerleri (bin \$)(2018-2022)

Ülkeler	2018	2019	2020	2021	2022	Ortalama (2018- 2022)	Pay (%)
	İhracat Miktarı(ton)						
Çin	126593	123826	134094	147972	156544	137805	19.11
Hindistan	58231	65351	54834	70514	86183	67023	9.29
Arjantin	68692	63522	68984	60406	71738	66668	9.24
Ukrayna	80872	61167	48372	29944	48372	53745	7.45
Brezilya	28524	30039	45728	47190	36886	37676	5.23
Belçika	19687	18322	22741	19948	32116	22563	3.13
Vietnam	29944	26202	34551	35451	28574	30944	4.29
İspanya	23590	23064	28426	28638	28370	26418	3.66
Meksika	55674	25122	22617	25076	27443	31186	4.32
Almanya	22787	25239	29309	29813	26943	26818	3.72
Türkiye	6386	5498	5985	9991	17177	9007	1.25
Diğerleri	161990	182138	252474	250166	210216	211396	29.31
Toplam	682970	649490	748115	755109	770562	721249	100.00
Değer (bin ABD doları)							
Çin	242175	258311	267861	280254	140794	237879	10.02
Hindistan	101774	100872	83406	136655	229261	130394	5.49
Arjantin	169748	142086	164086	202721	243239	184376	7.77
Ukrayna	97985	101078	138913	144858	137945	124156	5.23
Brezilya	95420	68384	98560	163341	137901	112721	4.75
Belçika	77610	62825	75736	70086	94420	76135	3.21
Vietnam	65783	52953	70663	86649	47646	64739	2.73
İspanya	107719	89807	113013	128111	119884	111707	4.70
Meksika	120405	63231	55569	93294	109090	88318	3.72
Almanya	140794	130723	147659	147350	136119	140529	5.92
Türkiye	25563	24581	26006	30952	46006	30622	1.29
Diğerleri	1014684	881617	1061871	1185964	1218272	1072482	45.17
Toplam	2259660	1976468	2303343	2670235	2660577	2374057	100.00

Kaynak: FAO, 2023

Dünya bal ithalat miktarı ve değeri bakımında 2022 yılına göre ABD ilk sırada yer almaktadır. 2022 yılına göre ABD 205156 ton bal ithalatı ile dünyada %27.63 ile en büyük paya sahiptir (Tablo 4). Dünya bal ithalatında diğer önemli ithalatçı ülkeler sırasıyla %11.23 ile Almanya, %6.85 ile İngiltere ve %6.38 ile Japonya gelmektedir. Türkiye'nin aynı yıl bal ithalatı %0.06 ile oldukça düşüktür. 2018-2022

yılları arasında dünya bal ithalatında miktar olarak %5.51, değer olarak %5.47 oranında artış olmuştur.

Tablo 4: Dünya Bal İthalat Miktarı (ton) ve Değerleri (bin \$) (2018-2022)

Ülkeler	2018	2019	2020	2021	2022	Ortalama (2018- 2022)	Pay (%)
İthalat Miktarı(ton)							
ABD	197866	188882	196641	220231	205156	201755	27.63
Almanya	85980	81750	88420	78574	75095	81964	11.23
İngiltere	50306	48537	52760	46862	51435	49980	6.85
Japonya	44520	44787	49348	47132	47277	46613	6.38
Belçika	28119	31875	39787	32279	32777	32967	4.51
İspanya	27923	26550	30104	31647	37571	30759	4.21
Fransa	32279	32777	34767	29279	35487	32918	4.51
Polonya	25712	29637	37343	37593	31769	32411	4.44
İtalya	27875	24650	22304	24116	26516	25092	3.44
Suudi Arabistan	16970	17918	23524	21187	18229	19565	2.68
Türkiye	22	45	49	63	58	47	0.06
Diğerleri	154386	151640	169258	196887	207765	175987	24.06
Toplam	691958	679048	744305	765850	769135	730059	100.00
Değer (bin ABD doları)							
ABD	497705	430080	441408	666567	794278	566008	23.49
Almanya	306377	250840	273010	311392	302363	288796	11.99
İngiltere	127014	108409	121313	134514	126588	123568	5.13
Japonya	145367	144510	173686	169763	167669	160199	6.65
Belçika	72964	63341	70289	84954	102500	78810	3.27
İspanya	68530	57395	64411	82647	94036	73404	3.05
Fransa	129803	117082	128569	119280	139965	126940	5.27
Polonya	61936	61067	78352	89955	71069	72476	3.01
İtalya	100859	80432	83406	101494	106126	94463	3.92
Suudi Arabistan	76977	72990	105066	87136	74930	83420	3.46
Türkiye	76	221	294	378	163	226	0.01
Diğerleri	696550	646406	725984	835747	798882	740714	30.75
Toplam	2284158	2032773	2265788	2683827	2778569	2409023	100.00

Kaynak: FAO, 2023

2.3 Türkiye’de Bal Üretimi

Arıcılık sektöründe üretimin doğaya bağımlılığı göz önünde tutulduğunda; Türkiye, gerek coğrafi konumu gerek de bitkisel flora çeşitliliği ile birlikte Dünya ülkeleri arasında avantajlı bir yere sahiptir (Kekeçoğlu ve ark., 2007). 2014-2023 yılları arasında Türkiye’deki bal üretimine ilişkin veriler Tablo 5’de verilmiştir. Arıcılık yapan işletme sayısı incelenen dönemde 2023 yılında 100399 işletme sayısına ulaşarak %24 artış göstermiştir. 2023 yılında Türkiye’de gerçekleşen 114886 ton bal üretimi, 9224881 adet kovan ile sağlanmıştır. En yüksek bal üretimimiz 2022 yılında 118297 ton ile gerçekleşmiştir. Genel olarak bal kovan sayısındaki artışa paralel bal üretimimizde de artışın olduğu görülmektedir. Ancak, kovan sayımızda oluşan artış oranında, bal üretimimizde artışın olmadığı görülmektedir. Ülke olarak yetiştiricilikte yapılan hatalar gerekse global bir sorun olan çevre sorunları ve iklim değişikliği nedeniyle, üretimde artış gözlense bile kovan sayısındaki artışın gerisinde kalmamızda neden olmaktadır (Burucu ve Bal, 2017). Arıcılık ile ilgili yapılan benzer araştırmalar incelendiğinde, bal verimini etkileyen faktörler arasında yöreye uyumlu yerli ırkların yok edildiği, yerli ırklar yerine kullanılan melez ırklarının da yöreye uyum gösteremediği, bu nedenle seleksiyon çalışmalarında ana materyalin yerli ırklardan oluşması gerektiği vurgulanmıştır (Kekeçoğlu ve ark., 2007).

İllere göre bal üretimimiz incelendiğinde 2023 yılında gerçekleşen 114886 ton bal üretiminde en yüksek payı %16.54 ile Ordu ilimiz oluşturmaktadır (Tablo 6). 2023 yılına göre bal üretimimizde diğer en yüksek paya sahip illerimiz sırasıyla Adana (%10.69), Sivas (%7.03), Aydın (%5.55), Mersin (%2.98) ve Muğla (%2.97)’dir. 2023 yılı bal üretiminde bir önceki yıla göre en fazla üretim artışı sağlayan il 6383 ton ve %103.08 artışla Aydın’ dır. Aynı dönemde bal üretiminde en fazla düşüş yaşayan ilimiz 1354 ton üretimi %52.60 oranında düşüşle Erzurum’dur.

Tablo 5: Türkiye'deki Arıcılık Yapan İşletme Sayısı (adet), Toplam Kovan Sayısı (adet)ve Bal Üretim Miktarı (ton)

Yıllar	Arıcılık Yapan İşletme Sayısı (Adet)	İndex (2014=100)	Kovan Sayısı (Adet)	İndex (2014=100)	Bal Üretim Miktarı (ton)	İndex (2014=100)
2014	81108	100	7082732	100	103525	100
2015	83475	103	7748287	109	108128	104
2016	84047	104	7900364	111	105727	102
2017	83210	102	7991072	113	114471	110
2018	81830	101	8108424	114	107920	104
2019	80675	99	8128360	115	109329	105
2020	82862	102	8151520	115	104077	100
2021	89361	110	8733394	123	96344	93
2022	95386	118	8984676	126	118297	114
2023	100399	124	9224881	130	114886	111

Kaynak: TÜİK, 2023

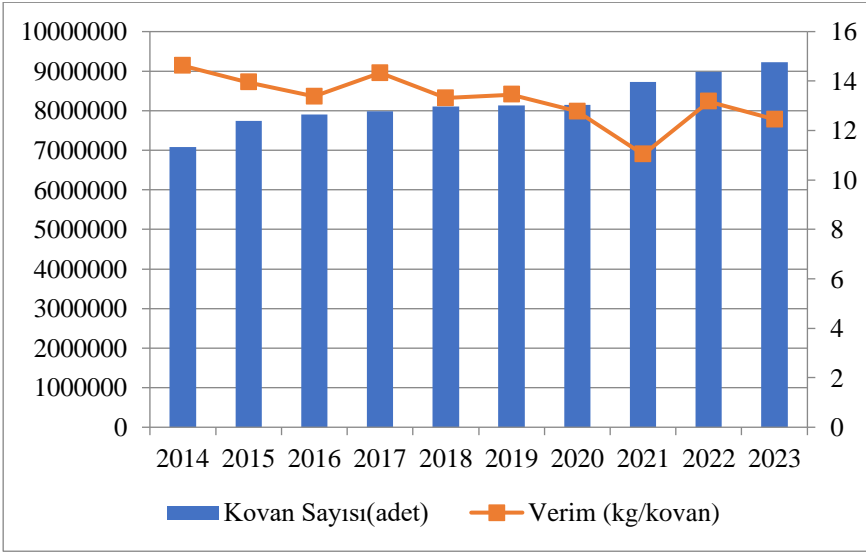
Tablo 6: Türkiye'de İllere Göre Bal Üretim Miktarları (ton)

İller	2021		2022		2023	
	Üretim Miktarı(ton)	%	Üretim Miktarı (ton)	%	Üretim Miktarı (ton)	%
Ordu	11377	11.81	19098	16.14	19006	16.54
Adana	12336	12.80	12646	10.69	12280	10.69
Sivas	5744	5.96	6079	5.13	8081	7.03
Aydın	3254	3.38	3143	2.66	6383	5.55
Mersin	3192	3.31	3295	2.78	3420	2.98
Muğla	3820	3.96	6578	5.56	3412	2.97
Siirt	3223	3.34	2498	2.11	2799	2.44
Şanlıurfa	2107	2.19	2199	1.86	2370	2.06
Erzurum	1774	1.84	2857	2.41	1354	1.17
Diğerleri	46861	48.64	57275	48.42	53693	46.74
Toplam	96344	100.0	118297	100.0	114886	100.0

Kaynak: TÜİK, 2023

Şekil 1' de yıllara göre kovan sayısı ve bal verimi miktarları verilmiştir. 2014-2023 yılları arasında bal verimi 11.03-14.62 kg/kovan aralığında değişmektedir. Kovan sayısı ve bal verimi bakımından yıllar

itibariyle dalgalanmaların olduğu, son yıllarda düzenli bir artışın olduğu görülmektedir. 2023 yılı arılı kovan sayısında Ege Bölgesi 1686123 adet ile lider konumda bulunarak Türkiye kovan sayısının %18.28'lik kısmını tek başına oluşturmaktadır (Şekil 1). Çam balı üretiminin de yoğun yapıldığı Ege Bölgesi Türkiye arıcılığında önemli bir yere sahiptir (TEPGE, 2023). Bölgedeki arılı kovanların %48.56 Muğla'da bulunmaktadır. Akdeniz Bölgesi 1466704 adet kovan ve %15.90 payı ile ikinci sırada ve Doğu Karadeniz Bölgesi 1168495 adet kovan ve %12.67 payı ile üçüncü sırada yer alan diğer önemli bal üretici bölgelerdir.

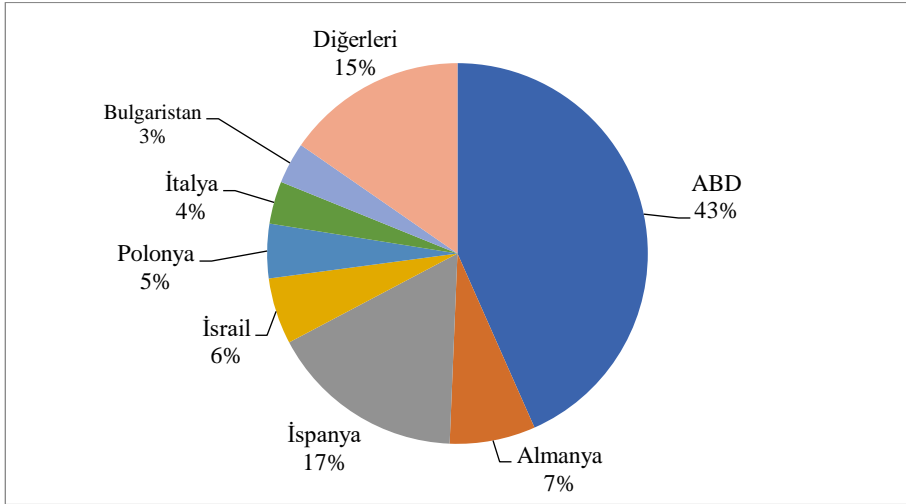


Şekil 1: Türkiye'de Yıllara Göre Kovan Sayısına (adet) Göre Bal Verimi (kg/kovan)
Kaynak: TÜİK, 2023

2.4. Türkiye'deki Bal Ticareti

2022 yılında gerçekleşen 17248 ton bal ihracatımızın %43'ü ABD, %17'ü İspanya, %7'si Almanya, %6'sı İsrail ve %5'i Polonya, %4 İtalya ve %3'ü Bulgaristan'a gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). 2022 yılında gerçekleşen bal ihracatımız bir önceki yıla göre %71.92 oranında artış göstermiştir. Ancak toplam üretilen balın sadece %14.58'i ihraç edilmiştir. Üretilen balın büyük bir oranının yurtiçinde tüketilmesi bunda etken oluşturmaktadır.

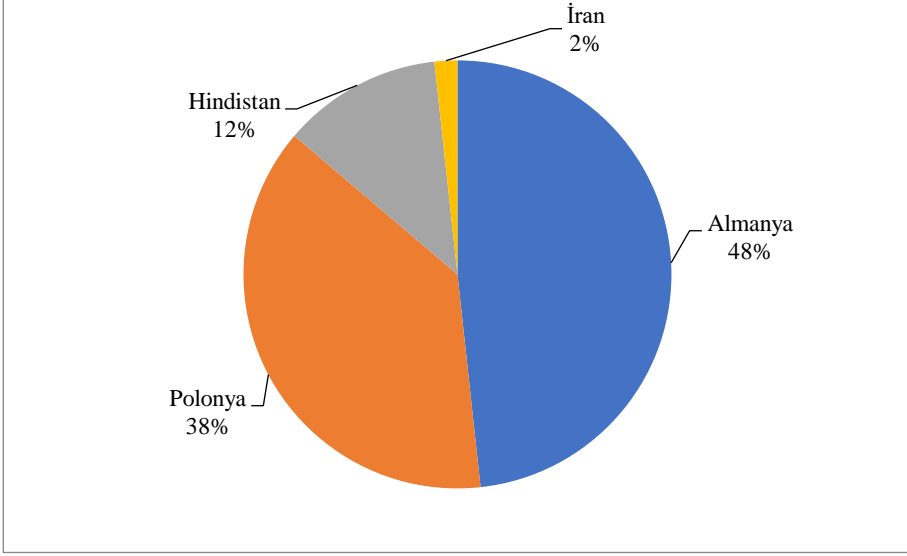
Arıcılık her ne kadar tarımsal bir faaliyet olsa da ulusal GSYİH'yi artıran ayrı bir yan sanayi yaratmaktadır. Bu yan sanayinin temel ürünleri arı kovanları, maskeler, körükler, el ütöleri, ilaçlar, petekler gibi alet ve ekipmanlardır. Bal ve arıcılıktan elde edilen diğer ürünlerin ihracatı birçok ülke için önemli bir döviz geliri kaynağı olmaktadır (Seyidoğlu, 02014). Bu nedenle bal ihracatı ülkemize sağlayacağı döviz getirisi açısından önem taşımaktadır. Fakat bal üretimimizde dünya sıralamasında ön sıralarda olmamıza rağmen, ihracatta aynı öneme sahip olmadığımız görülmektedir. Bu durumun başlıca nedenleri arasında, üretilen balın büyük bir bölümünün iç piyasada tüketilmesi ve yalnızca küçük bir kısmının ihraç edilmesi yer almaktadır. Ayrıca, küresel ısınmanın etkisiyle artan arı ölümleri de bal üretimi ve ihracatı üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.



Şekil 2: Türkiye'nin Ünelere Göre Bal İhracatı (2022, %)
 Kaynak: TRADMAP, 2023

Şekil 3'de Türkiye'nin 2022 yılında ülkelere göre bal ithalatı verilmiştir. 2022 yılında gerçekleştirilen 58 ton bal ithalatımızın en büyük kısmı %48 ile Almanya'dan gerçekleştirilmiştir. Diğer en fazla ithalat yaptığımız ülkeler sırasıyla Polonya (%38), Hindistan (%12) ve

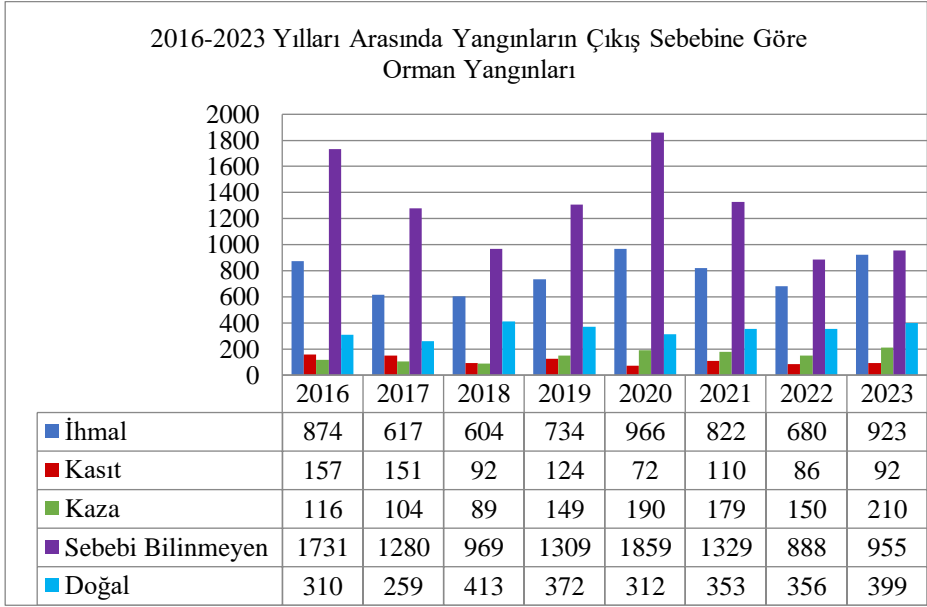
İran (%2)'dir. Türkiye bal üreticisi bir ülke olduğu için kayda değer bir ithalat miktarının olmadığı görülmektedir.



Şekil 3: Türkiye'nin Ülkelere Göre Bal İthalatı (2022, %)
Kaynak: TRADMAP,2023

2.5. Türkiye'deki Orman Yangınları

Araştırmada Türkiye'de bal üretiminde orman yangınlarının etkisinin olup –olmadığı istatistiksel verilerle incelenmiştir. Bu nedenle öncelikle Türkiye'de çıkan orman yangınları istatistiksel veriler itibariyle değerlendirilmiştir. Şekil 4'de 2016-2023 yılları arasında Türkiye'deki orman yangınlarının çıkış sebebine göre dağılımı ve sayıları verilmiştir. 2023 yılında toplam 2579 adet orman yangını gerçekleşmiş olup, bunun 955'i (%37.03) sebebi bilinmeyen, 923'ü (%35.79) ihmal, 399'u (%15.47) doğal, 210'u (%8.14) kaza ve 92'si (%3.57) kasıt nedenleriyle çıkmıştır. İncelenen dönemde en fazla orman yangınının 2020 yılında gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4: 2016-2023 Yılları Arasında Çıkış Nedenlerine Göre Orman Yangınlarının Sayıları

Kaynak: OGM, 2023

Akdeniz iklimine sahip pek çok ülke, iklim değişikliğinin etkisiyle orman yangınlarının daha da arttığı bir tehdit ile karşı karşıyadır. Bunun temel nedeni, bu ülkelerin dünya genelinde iklim değişikliğine en duyarlı bölgelerden birinde bulunuyor olmalarıdır (Otrachshenko ve Nunes, 2022). Türkiye’de akdeniz iklim kuşağında yer alması sebebiyle yangın riski yüksek olan ülkeler arasındadır.

Türkiye’de 2014-2023 yılları arasında çıkan orman yangınlarının sayıları ve yanan alanların büyüklükleri Tablo 7’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde yangın sayıları ve yanan alanların büyüklüklerinde yıllar itibariyle dalgalanmaların olduğu görülmektedir. Özellikle son yıllarda küresel ısınmanın da etkisiyle, yanan alanların büyüklüklerinde artışların olduğu görülmektedir. Alan büyüklüğü bakımından en fazla orman yangını 2021 yılında 139503 alanda gerçekleşmiştir. Arılar için orman yangınları önemli bir risk faktörüdür. Özellikle 2021 yılı yaz aylarında Türkiye’de ve Dünya’daki ormanlarda ortaya çıkan yangınlar, ormanların tahrip olmasına sebebiyet vererek arılar için tehdit

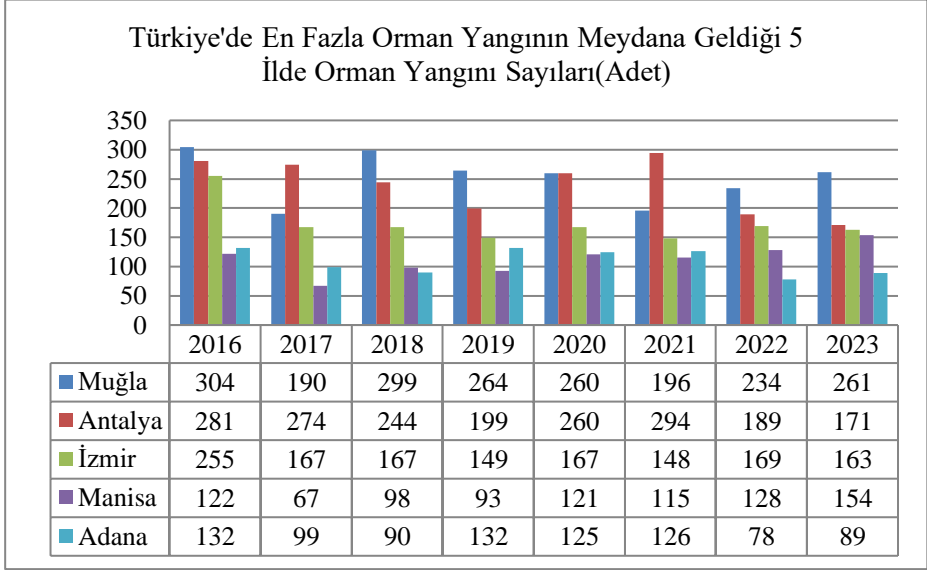
oluşturmuştur (Varalan ve Çevrimli, 2023) Yıllar itibariyle bakıldığında yangın sayısındaki artışa bağlı olarak, yanan alan büyüklüğünde artışın olmadığı görülmektedir.

Tablo 7: Türkiye’de 2014-2023 Yılları Arasında Meydana Gelen Orman Yangını Sayıları (adet) ve Yanan Alan Büyüklükleri (hektar)

Yıllar	Yangın Sayısı (Adet)	İndex (2014=100)	Yanan Alan (Hektar)	Index (2014=100)
2014	2149	100	3117	100
2015	2150	99	3219	103
2016	3188	148	9156	293
2017	2411	112	11993	385
2018	2167	101	5644	181
2019	2688	125	11332	364
2020	3399	158	20971	673
2021	2793	130	139503	4475
2022	2160	101	12799	411
2023	2579	120	15520	498

Kaynak: OGM, 2023

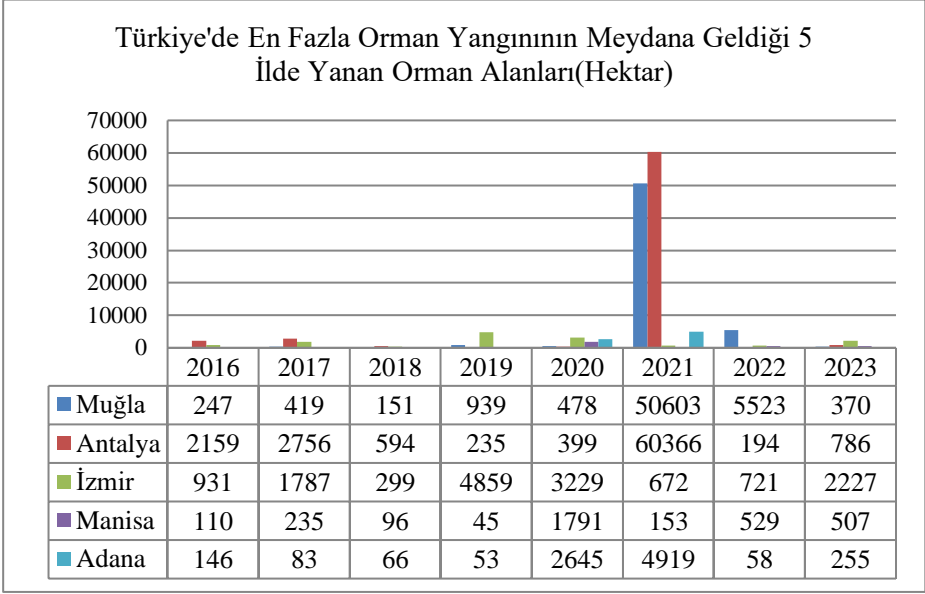
Şekil 5’de 2016-2023 yılları arasında orman yangınlarının en fazla gerçekleştiği illerdeki çıkan yangın sayılarına göre, Muğla ili en fazla yangının gerçekleştiği ildir. 2023 yılı verilerine göre Türkiye’de gerçekleşen 2579 adet orman yangınının %10.12’si Muğla’da, %6.63’ü Antalya’da ve %6.24’ü İzmir’de gerçekleşmiştir. 2016-2023 yılları arasında illere göre orman yangınlarında, en fazla orman yangınının Muğla’da ve İzmir’de 2016 yılında, Antalya’da 2021 yılında, Manisa’da 2023 yılında ve Adana’da 2016 ile 2019 yıllarında gerçekleştiği belirlenmiştir.



Şekil 5: Türkiye’de 2016-2023 Yılları Arasında Orman Yangınlarının En Fazla Gerçekleştiği İllerdeki Çıkan Yangın Sayıları (Adet)

Kaynak: OGM, 2023

Türkiye’de en fazla orman yangının gerçekleştiği illerde yanan alanların büyüklüğü Şekil 6’da verilmiştir. Veriler incelendiğinde, orman alanında en fazla yıkımın 2021 yılında Antalya’da 60366 hektar ve Muğla’da 50603 hektar alanın yanmasıyla oluştuğu görülmektedir. Türkiye’de 2021 yılında toplam 139503 hektar orman alanı yanmış olup, bu alanın %43.27’sini Antalya ve %36.27’sini Muğla illeri oluşturmuştur. Bu iki ilde yanan orman alanları Türkiye’deki yanan alanların %79.54’ü oluşturarak illerde ciddi kayıpların yaşanmasına sebep olmuştur.



Şekil 6: Türkiye’de 2016-2023 Yılları Arasında Orman Yangınlarının En Fazla Gerçekleştiği İllerdeki Yanan Alan Büyüklükleri (Hektar)

Kaynak: OGM, 2023

2.6. Türkiye’deki Orman Yangınları ve Bal Üretimine Etkisi

Orman yangınlarının bal üretimine etkisinin olup-olmadığını değerlendirmek amacıyla Türkiye’deki orman yangını sayıları, yanan alanların büyüklüğü ve bal üretim miktarı verileri Tablo 8’de karşılaştırılmıştır. 2014-2023 yılları arasında yanan alan büyüklüğü ve bal üretim miktarında dalgalanmaların olduğu görülmektedir. Tablo incelendiğinde yanan alan çok büyük ise, bal üretimini de daha yüksek miktarda olumsuz etkilediği görülmektedir. 2021 yılında gerçekleşen orman yangınlarında 139503 hektar alan yanmış olup, bunun bal üretimine etkisi %7.43 oranında düşüş olacak şekilde yansımıştır. Yine en yüksek orman yangınının gerçekleştiği 2020 yılında 20971 hektar alan yanmış ve aynı yıl bal üretiminde bir önceki yıla göre %4.80 oranında düşüş yaşanmıştır. Yanan orman alanı ne kadar büyük ve çam ormanı bakımından ne kadar fazla ise bal üretimi daha fazla etkilenmektedir. Türkiye’de çam balı üretimi için gerekli olan koşnil böceklerinin popülasyonu, 2020 yılı Mayıs ayında yaşanan yüksek sıcaklıklar

nedeniyle büyük bir düşüş göstermiştir. Bu durum, bal üretimini olumsuz yönde etkileyerek Muğla'daki bal üretiminin %58 oranında azalmasına yol açmıştır. 2021 yılında Akdeniz ve Ege kıyılarında meydana gelen orman yangınları, koşnil böceklerinin popülasyonunu olumsuz etkilemiş ve bu durum, ilgili bölgelerde çam balı üretim miktarının azalmasına ve verim kayıplarına yol açmıştır (TEPGE, 2023).

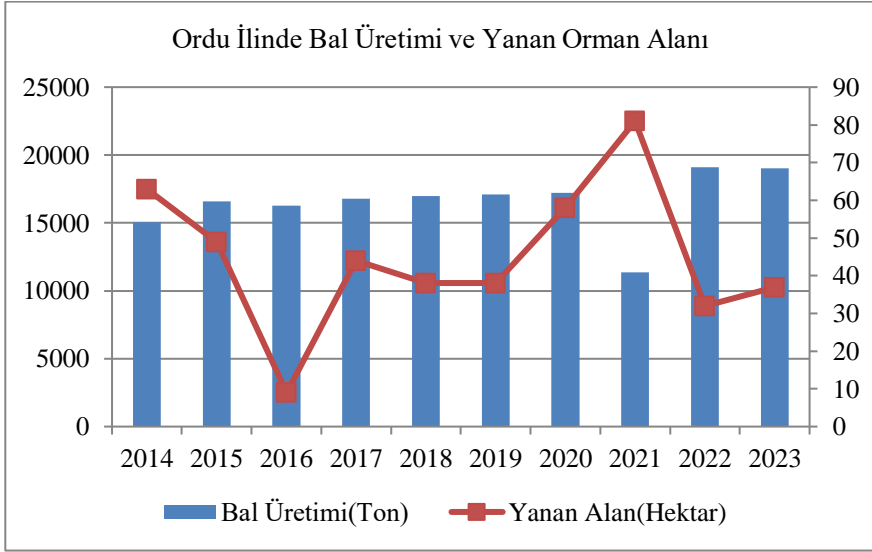
Orman yangınlarının arıcılık faaliyetini sürdüren üreticiler üzerindeki etkilerinin incelendiği Muğla'nın Marmaris ilçesinde yapılan saha çalışmasında, yaşanan yangın felaketine rağmen arı turizminin ilçede yapılabilme potansiyeline katılımcıların çoğunun olumlu baktığı ve ormanlaşmanın daha hızlı bir şekilde sağlanmasına yardımcı olacağı görüşünde oldukları belirlenmiştir (Uzun ve ark., 2023). Ayrıca yurt dışında Güney Sumatra Eyaleti, Muara Enim Regency'deki Subanjeriji üretim ormanını korumaya arıcı grubunun üyelerinin katılımı ile yapılan nitel çalışmada arıcıların, %60'ının orman ve kara yangınlarının arı popülasyonlarını azaltabileceğini ve bal arısı miktarını azaltabileceğini belirtmişlerdir (Rahmad ve ark., 2021). Yapılan çalışmalar incelendiğinde orman yangınlarının arı popülasyonunu azaltabileceğini bu durumun bal üretimini de olumsuz olarak yansıyabileceğini göstermektedir. Öte yandan orman yangınları sonrasında yanan orman alanlarının yenilenmesi çalışmalarına zaman kaybetmeden devam edilmesiyle, daha fazla alan da ormanlaştırma sağlanabilecektir.

Tablo 8: Türkiye’de 2014-2023 Yılları Arasında Bal Üretim Miktarı (ton), Yangın Sayısı (adet)ve Yanan Alan Büyüklüğü (hektar)

Yıllar	Bal Üretim Miktarı (ton)	Index (2014=100)	Yangın Sayısı (Adet)	Index (2014=100)	Yanan Alan (Hektar)	Index (2014=100)
2014	103525	100	2149	100	3117	100
2015	108128	104	2150	100	3219	103
2016	105727	102	3188	148	9156	293
2017	114471	110	2411	76	11993	384
2018	107920	104	2167	90	5644	181
2019	109329	106	2688	124	11332	363
2020	104077	101	3399	126	20971	672
2021	96344	93	2793	82	139503	4475
2022	118297	114	2160	77	12799	410
2023	114886	111	2579	119	15520	497

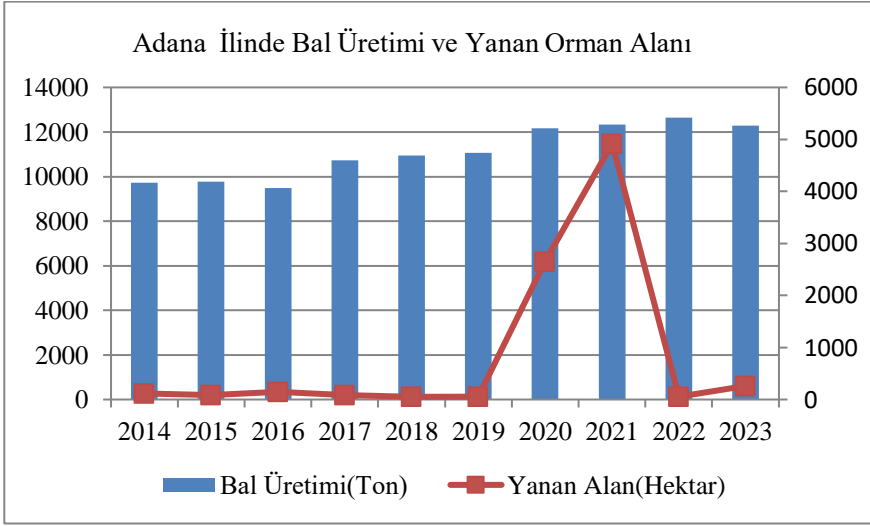
Kaynak: TÜİK, 2023; OGM, 2023

Türkiye’de çıkan orman yangınları ve bal üretimin ilişkisini incelemek üzere bal üretiminin yüksek olduğu 3 il seçilmiş ve durumları Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9’da verilmiştir. Buna göre incelendiğinde, Ordu ilinde 2014-2023 yılları arasında bal üretiminde dalgalanmaların olduğu görülmektedir. En fazla bal üretimi 19098 ton ile 2022 yılında gerçekleşmiştir. Ordu ilinde 2022 yılında kovan başına bal verimi 31.3 kg’dır. Genel olarak orman yangınlarının azaldığı yıllarda bal üretiminin yüksek olduğu görülmektedir. Ordu ilinde en fazla orman yangını 2021 yılında 81 hektar alanda gerçekleşmiş olup, en düşük bal üretimi de 11377 ton ile o yıl gerçekleşmiştir. 2022 yılındaki bal üretimi bir önceki yıla göre göre %67.86 oranında ciddi oranda artış göstermiştir.



Şekil 7: Ordu İlinde Bal Üretimi (ton)ve Yanan Orman Alanları (hektar)
Kaynak: TUIK, 2023; OGM, 2023

Adana ilindeki durum incelendiğinde, bal üretiminde dalgalanmaların olmasına rağmen, büyük yangınlardan bal üretiminin aynı oranda etkilenmediği görülmektedir. En fazla bal üretimi 12646 ton ile 2022 yılında gerçekleşmiştir. Adana ilinde 2022 yılına göre kovan başına bal verimi 25.6 kg'dır. İncelenen dönemde Adana ilinde en fazla orman yangını 2021 yılında çıkmış ve 4919 hektar alan etkilenmiştir. Adana ilinde çıkan orman yangını alanı bakımından 2021 yılında en yüksek değere sahip olmasına rağmen, bal üretim miktarında %1.35 oranında artış olmuştur. Adana ilindeki kovan başına bal veriminin yüksek olmasının bunda etken olduğu düşünülmektedir.



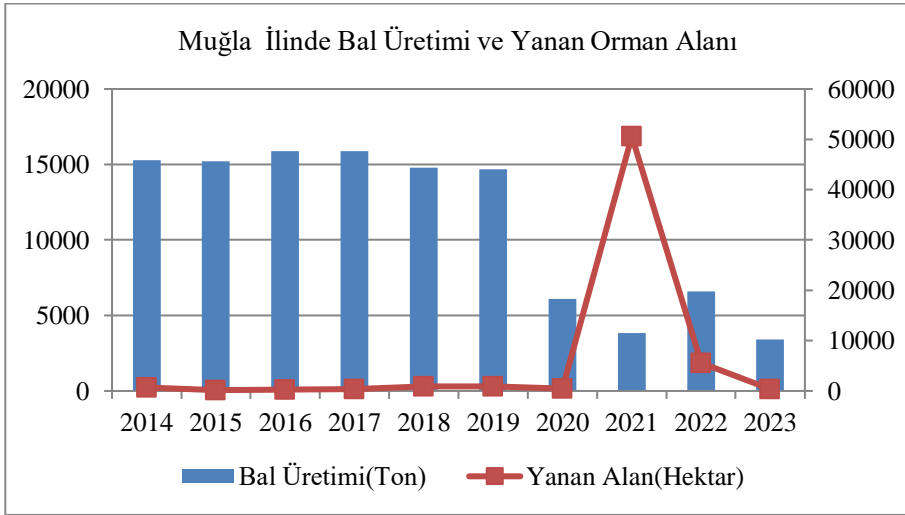
Şekil 8: Adana İlinde Bal Üretimi (ton)ve Yanan Orman Alanları (hektar)
Kaynak: TUİK, 2023; OGM, 2023

Muğla, dünya çam balı üretiminin %90'ını gerçekleştiren Türkiye'deki üretimin yaklaşık %80'ini sağlayan il olarak öne çıkmaktadır (Bahar ve Yılmaz, 2016). 2014-2023 yılları arasında Muğla ilinin bal üretim miktarları incelendiğinde en yüksek üretim 15875 ton ile 2021 yılında gerçekleşmiştir (Şekil 9). Şekilde görüldüğü gibi Muğla ilinin bal üretim miktarında 2020 yılından itibaren ciddi oranda düşüş yaşanmıştır. 2019 yılında 14688 ton gerçekleşen bal üretimi %58.45 oranında düşerek 6103 ton seviyesine gerilemiştir. İncelenen dönemde en fazla orman yangını 2021 yılında 4919 hektar alanda gerçekleşmiştir. Bu yıl çıkan orman yangınının çok büyük seviyede olması ve ayrıca çam balı üretiminde önemli üretim merkezi olan Muğla ilinde çam ormanlarının zarar görmesi sebebiyle bal üretiminde oldukça fazla düşüş yaşanmıştır. Ordu ve Adana illeri ile karşılaştırıldığında Muğla ilinde 2022 yılına göre kovan başına bal verimi 7.4 kg ile oldukça düşüktür. Bu nedenle bal veriminin de düşük olması ve beraberinde gerçekleşen orman yangınları da bal üretimini olumsuz yönde etkilemiştir.

Çam balı üretiminde önemli bir rol oynayan koşnil böceklerinin popülasyonu, hem olumsuz iklim koşulları hem de 2021 yılında Akdeniz

ve Ege kıyılarında yaşanan orman yangınları nedeniyle azalmıştır. Bu durum, söz konusu bölgelerde çam balı üretim miktarında azalma ve verim kayıplarına yol açmıştır. Ayrıca, Türkiye arılı kovan varlığının %9,8'ine sahip olan ve lider konumda bulunan Muğla, bal üretiminde üçüncü sıraya gerilemiştir (TEPGE, 2023).

İncelenen illerde orman yangınlarından bal üretimi açısından en çok Muğla ilinin etkilendiği görülmektedir. Türkiye'nin çam balı üretiminde lider konumda olan Muğla ilinin çam ormanlarından oluşması ve son yıllarda yaşadığımız küresel ısınma sebebiyle de koşnil böcek popülasyonlarının zarar görmesi ile birlikte yaşanan mega orman yangınları bal üretiminde düşüslere sebep olmuştur. Ordu ve Adana illerinde de orman yangınlarının çok büyük alanlarda gerçekleştiği yıllarda bal üretimlerinde düşüsler yaşanmış olsa da bu illerde kovan başına bal verimi yüksek olduğu için, Muğla ilindeki kadar çok fazla düşüş yaşanmamıştır.

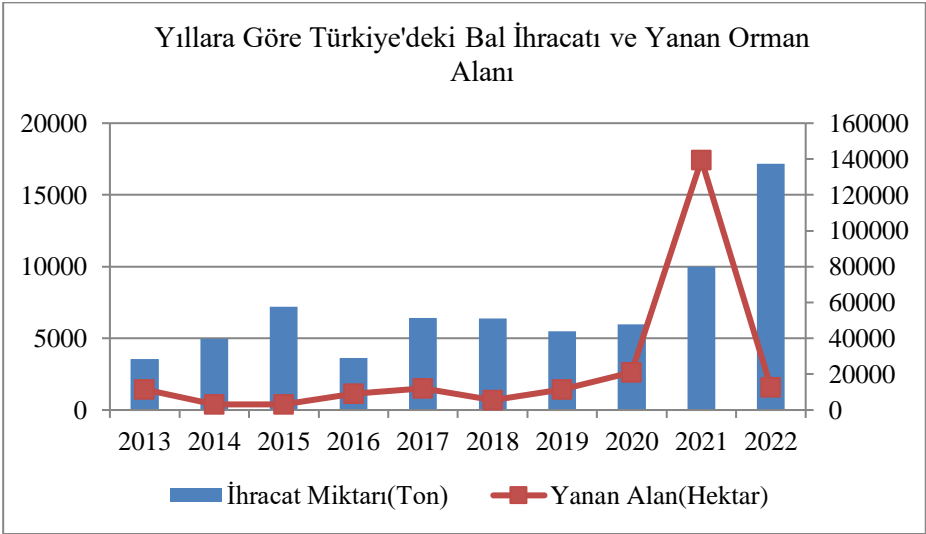


Şekil 9: Muğla İlinde Bal Üretimi (ton) ve Yanan Orman Alanları (hektar)
Kaynak: TÜİK, 2023; OGM, 2023

2.7. Türkiye'deki Orman Yangınları ve Dış Ticarete Etkisi

2013-2022 yılları arasında Türkiye'deki yanan orman alanları ve bal ihracatı miktarları Şekil 10'da verilmiştir. İncelenen dönemde bal

ihracatında düzenli bir artışın olmadığı, yıllar itibariyle dalgalanmaların olduğu görülmektedir. Şekil incelendiğinde, en fazla bal ihracatı 17177 ton ile 2022 yılında gerçekleşmiştir. 2022 yılında gerçekleşen bal ihracatımız önceki yıla göre %71.92 oranında artış olarak yansımıştır. 2021 yılında gerçekleşen yanan orman alanı bir önceki yıla göre gerçekleşen bal ihracatımız ile karşılaştırıldığında Türkiye bal ihracatını olumsuz yönde etkilemediği, sadece üretimden kaynaklanan düşüş nedeniyle ihracat yapılan bal miktarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 10: Türkiye'deki Bal İhracat Miktarı (ton) ve Yanan Orman Alanları(hektar)

Kaynak: FAO,2023; OGM, 2023

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye, zengin flora ve arıcılık potansiyeliyle dünya bal üretiminde önemli bir yere sahiptir. Fakat bal üretiminde dünya ikincisi olmasına rağmen, ihracatta aynı başarıya sahip değildir. Son yıllarda artan orman yangınları, özellikle çam balı üretiminde ciddi olumsuz etkiler yaratmıştır. Yangınlar, yalnızca arıların temel besin kaynağı olan çam ormanlarını tahrip etmekle kalmamış, aynı zamanda çam balı üretimi için hayati öneme sahip koşnil böceği popülasyonunda da ciddi kayıplara neden olmuştur. Bu durum, çam balı üretim miktarında ve

kalitesinde düşüŖlere yol açarken, üreticilerin ekonomik kayıplar yaşamasına ve ihracat potansiyelinin azalmasına neden olmuştur.

Türkiye’de bal üretimin miktarının arttırılmasında en etkili faktörlerden biri kovan başına bal veriminin arttırılması gelmektedir. Bu konuda arıcılarımız doğru yetiştiricilik konusunda bilinçlendirilmeli ve yeni kovanda üretimi konusunda özendirilmeli ve desteklenmelidir. Ayrıca bal ihracatımızda önemli etki oluşturan taklit ve tahşiş konusunda olumsuz algının dış pazarda önlenmesi için, işletmelerde gıda kontrolleri attırılmalıdır. Arıcılık konusunda genç ve kadın üreticilerin sayısının arttırılması yönünde teşvik ve destekleyici çalışmalara öncelik verilmelidir.

Son yıllarda yaşadığımız küresel ısınma ve yangınlar sebebiyle arıcılık faaliyetleri olumsuz etkilenmiştir. Türkiye’nin de bulunduğu iklim kuşağı sebebiyle ilerleyen yıllarda da bu durumdan etkilenmeye devam etme olasılığı yüksektir. Bu nedenle yangın sıklığı, yanan alanların büyüklüğü ile birlikte oluşabilecek habitat değişiklikleri de dikkate alınarak, yangın öncesi ve sonrası için mutlaka önleyici stratejik planların oluşturulması gerekir.

Sonuç olarak, orman yangınlarının arıcılık sektörü üzerindeki etkileri, ekosistem dengesi, yerel üreticilerin gelir kaybı ve ulusal bal ticareti açısından çok boyutlu bir sorun teşkil etmektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir arıcılık ve orman yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi, yangın sonrası rehabilitasyon çalışmalarına hız verilmesi ve yangın riskini azaltıcı önlemlerin artırılması büyük önem taşımaktadır. Yangınların sık yaşandığı bir ülke olarak, Türkiye’nin bal sektöründeki sürdürülebilirlik imajı zarar görmemesi için, orman yangınlarını önlemek ve hızlı müdahale için daha etkili politikalar ve teknolojiler kullanılmalıdır. Türkiye’nin bal üretiminde liderliğini sürdürmesi ve uluslararası pazardaki rekabet gücünü koruyabilmesi için bu tür adımların atılması kaçınılmazdır.

KAYNAKÇA

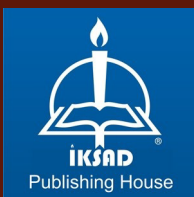
- Abacı, N. İ., Abacı, S. H. & Bıyık, S. (2020). Türkiye'deki koloni sayısının ve bal veriminin tahmini. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(2): 464-470.
- Abrol, D.P., Shankar, U., Nitin, K.S. & Gowda, G.B. (2016) Honeybees and beekeeping: The global scenario. In *Arthropod Diversity and Conservation in the Tropics and Sub-tropics* Springer, Singapore. pp. 345-372.
- Ahmad, T, Shah, G, Ahmad, F, Partap, U. & Ahmad, S. (2017). Impact of apiculture on the household income of rural poor in mountains of Chitral district in Pakistan. *Journal of Social Sciences (COES&RJ-JSS)* 6(3) 518–531. doi: 10.25255/jss.2017.6.3.518.531
- Al-Ghamdi, A, Adgaba, N, Herab, A. & Ansari, M. (2017). Comparative analysis of profitability of honey production using traditional and box hives. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24: 1075–80. doi: 10.1016/j.sjbs.2017.01.007
- Bahar, O. & Yılmaz, E. (2016). Arı turizmi ve Muğla'da uygulanabilirliği. 5. Uluslararası Muğla Arıcılık Ve Çam Balı Kongresi, 1-5 Kasım 2016, Fethiye, Muğla.
- Beyene, T. & Verschuur, M. (2014). Assessment of constraints and opportunities of honey production in Wonchi district South West Shewa Zone of Oromia, Ethiopia. *American Journal of Research Communication*, 2(10): 342–53.
- Burucu, V. & Gülse Bal, H.S. (2017). Türkiye'de arıcılığın mevcut durumu ve bal üretim öngörüsü. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 31(1): 28-37.
- Çevrimli MB, Sakarya E. (2018).Türkiye arıcılık sektöründe mevcut durum, sorunlar ve çözüm önerileri. *Erciyes Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 15(1): 58-67.

- Çukur, T. & Çukur, F. (2021). ARIMA modeli ile Türkiye bal üretim öngörüsü. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 7(1):31-39.
- Demirhan, SA. & Şahinler, N. (2019). Effects of global warming on animal breeding. *Int J Agric For Life Sci*, 3(1): 157-160.
- Doğanay, H. & Çavuş, A. (2013). Türkiye Ekonomik Coğrafyası. Ankara: Pegem Akademi Yayınları.
- Duru, S. & Parlakay, O. (2021). Türkiye’de iklim değişikliğinin bal verimine etkisi: ARDL sınır testi yaklaşımı. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3):791-800.
- Eştürk, Ö. (2022). İklim değişikliğinin Ardahan ilinde süt ve bal üretimi üzerine etkileri. *Erciyes Akademi*, 36(3): 1230-1239.
- FAO, 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO <http://www.fao.org/faostat/en/#data>, Erişim: 10.11.2024.
- Girma, J. & Gardebroek, C. (2015). The impact of contracts on organic honey producers’ incomes in Southwestern Ethiopia. *Forest Policy & Economics* 50, 259–68. doi: 10.1016/j.forpol.2014.08.001 <https://www.trademap.org>, Erişim: 10.11.2024.
- Kadiroğlu, A. (2024). BÜSEÇAM arıcılık sektör raporu. Rapor No: AR3/2024, ss. 37.
- Karakaş, G. (2021). Forecasting of natural honey yield in Turkey through ARIMA model. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 38(3): 166-172.
- Kekeçoğlu, M., Gürcan, E.K. & Soysal, M.İ. (2007) Türkiye arı yetiştiriciliğinin bal üretimi bakımından durumu. *Tekirdağ Ziraat Fak Vet Hekim Der Derg*, 94 (2): 188-201.
- Kifle, T, Hora, K. & Merti, A. (2014). Investigating the role of apiculture in watershed management and income improvement in Galessa protected area, Ethiopia. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 3(5):380-385. doi: 10.11648/j.aff.20140305.18
- Kinati, C, Tolemariam, T, Debele, K. & Tolosa, T. (2012). Opportunities and challenges of honey production in Gomma district of Jimma

- Zone, South-west Ethiopia. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 4(4): 85–90.
- Koday, Z. & Karadağ, H. (2021). Türkiye’deki arıcılık faaliyetleri ve bal üretiminin bölgesel dağılımı (2007-2018). *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24 (1): 495-510.
- Kuboja, N, Isinika, A. & Kilima, F. (2017). Determinants of economic efficiency among small-scale beekeepers in Tabora and Katavi Regions, Tanzania: A stochastic profit frontier approach. *Development Studies Research*, 4: 1–8. doi: 10.1080/21665095.2017.1355738
- Lowore, J. (2020). Understanding the livelihood implications of reliable honey trade in the Miombo Woodlands in Zambia. *Frontiers in Forest and Global Change*, 3:28. doi:10.3389/ffgc.2020.00028.
- Maria, B.O., Ikutal, A., Agbachom, E.E. & Ubi, G.M (2019) Strategies for mitigating climate change effect on honey bee productivity in Southern Nigeria. *Annual Research & Review in Biology*, 1-9.
- Musinguzi, P., Bosselmann, A. & Pouliot, M. (2018). Livelihoods-conservation initiatives: Evidence of socio-economic impacts from organic honey production in Mwingi, Eastern Kenya. *Forest Policy and Economics*, 97:132-145. doi:10.1016/J.FORPOL.2018.09.010
- OGM, 2023. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, OGM Ormancılık İstatistikleri, <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-utuphane/resmi-istatistikler>, Erişim:10.11.2024
- Onabe, M. B., Ikutal, A., Edet, A. E. & Ubi, G. M. (2019). Strategies for mitigating climate change effect on honey bee productivity in Southern Nigeria. *Annual Research & Review in Biology*, 33(3): 1-9. doi:10.9734/arrb/2019/v33i330123
- Onurlubaş, E. & Demirkıran, S. (2017). Edirne arıcılık işletmeleri üretim ve pazarlama sorunlarına çözüm önerileri. *Akademik Bakış Dergisi*, 60: 105-124.

- Otrachshenko, V. & Nunes, L.C. (2022). Fire takes no vacation: impact of fires on tourism. *Environment and Development Economics*, 27(1):86-101. doi:10.1017/S1355770X21000012
- Öztürk, F.G. (2013). Ordu ili arıcılık sektörünün ekonomik yapısı üzerine bir araştırma. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, ss.49.
- Rahmad, B., Damiri, N. & Mulawarman, M. (2021). Participation of beekeeping group on forest sustainability in Muara Enim Regency. *South Sumatra Province*, 6, 42-48. doi:10.22135/SJE.2021.6.1.42-48
- Reddy, P.R., Verghese A. & Rajan, V.V. (2012). Potential impact of climate change on honeybees (*Apis spp.*) and their pollination services. *Pest Manag Hortic Ecosyst*; 18(2): 121-127.
- Ricketts, K. & Shackleton, C. (2020). Integrating livelihoods and forest conservation through beekeeping in northern KwaZulu-Natal. *Development Southern Africa*, 37: 661-677. doi:10.1080/0376835X.2019.1698408.
- Saner, G., Adanacioğlu, H. & Naseri, Z. (2018). Türkiye’de bal arzı ve talebi için öngörü. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 24(1). 43-52
- Saner, G., Engindeniz, S., Çukur, F. & Yücel, B. (2005). İzmir ve Muğla illerinde faaliyet gösteren arıcılık işletmelerinin teknik ve ekonomik yapısı ile sorunları üzerine bir araştırma. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Yayın No: 126, ISBN: 975- 407-169-1, Ankara, ss.126.
- Sarı, F. (2021). Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*, 480, 118644. doi:10.1016/J.FORECO.2020.118644.
- Seyidoğlu, H. (2014). Dünya bal ticareti ve Türkiye’nin yeri. *Arıcılık Araştırma Dergisi*, 14:13-18.

- Şahin, M., Topal, E., Özsoy, N. & Altunoğlu, E. (2015) İklim değişikliğinin meyvecilik ve arıcılık üzerine etkileri. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(2): 147-154.
- Taboada, A., García-Llamas, P., Fernández-Guisuraga, J. & Calvo, L. (2021). Wildfires impact on ecosystem service delivery in fire-prone maritime pine-dominated forests. *Ecosystem Services*, 50, 101334. doi: 10.1016/j.ecoser.2021.101334
- TEPGE, 2023. Arıcılık Ürün Raporu 2023. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü, TEPGE. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/>. Erişim tarihi 15.11.2024
- TRADE MAP, 2023. Trade statistics for international business development,
- TÜİK, 2023. Türkiye İstatistik Kurumu, TÜİK <http://www.TÜİK.gov.tr>, Erişim: 10.11.2024.
- Uzun, B., Akçay, S. & Yılmaz, E. (2023).Orman yangınlarının arıcılığa ve arı turiziminin yapılabilirliğine etkisi: Marmaris örneği. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 11(4): 3550-3571.
- Varalan, A. & Çevrimli, M.B. (2023). Arıcılık sektöründeki risk faktörlerinin incelenmesi. *Veteriner Hekimler Dergisi*, 94(2): 188-201.
- Yörük, A. & Şahinler, N. (2013). Küresel ısınmanın balarıları üzerine olası etkileri. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 13(2): 79-87.



ISBN: 978-625-378-025-8