

OCTOBER 2025



ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ULUSLARARASI AKADEMİK ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR

EDİTÖRLER

PROF. DR. KORAY ÖZRENK

DOÇ. DR. ALİ BOLAT

 SERÜVEN
YAYINEVİ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2025

ISBN • 978-625-5737-49-6

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

**ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ
ALANINDA ULUSLARARASI AKADEMİK
ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR**

EKİM 2025

EDİTÖRLER
PROF. DR. KORAY ÖZRENK
DOÇ. DR. ALİ BOLAT

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

TARIMDA YAPAY ZEKÂ: UYGULAMALAR, SORUNLAR VE KÜRESEL
PERSPEKTİFLER 1

Ali BAYAT 1

BÖLÜM 2

KENTSEL YEŞİL ALTYAPIDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMI:
DİKEY BAHÇELERDE KURAKÇIL BİTKİLER 17

Handan ÇAKAR 17

Özlem AKAT SARAÇOĞLU 17

Hülya AKAT 17

BÖLÜM 3

TARIM SEKTÖRÜNDE ARZ VE ARZ ESNEKLİĞİ 33

Nural YILDIZ 33

BÖLÜM 4

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SÜRECİNDE SÜS BİTKİLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ
SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR VE YAKLAŞIMLAR..... 51

Gül YÜCEL 51

BÖLÜM 5

YULAF (*Avena sativa* L.) YETİŞTİRİCİLİĞİNİN ÖNEMİ, GÜNCEL
SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ..... 73

Mehmet KARAMAN 73

BÖLÜM 6

TOHUM GÜÇ VE KALİTE TESTLERİNE YENİ NESİL YAKLAŞIM:
YAPAY ZEKÂ KULLANIMI 87

Gamze KAYA 87

BÖLÜM 7

MEYVELERDE GÜNEŞ YANIKLIĞI: EKONOMİK ÖNEMİ,
FİZYOLOJİSİ VE KONTROL YÖNTEMLERİ 107

Ali İKİNCİ **107**

BÖLÜM 8

3B YAZICILAR İLE EKOTASARIM 123

Gülyaz AL **123**

BÖLÜM 9

SÜS BİTKİLERİ ALANINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER VE YAPAY
ZEKA KULLANIMI 143

Özlem AKAT SARAÇOĞLU **143**

Hülya AKAT **143**

BÖLÜM 10

MEYVECİLİKTE DON ZARARINI AZALTmaya YÖNELİK MODERN
AKTİF KORUMA YÖNTEMLERİ 171

Ali BAYAT **171**



TARIMDA YAPAY ZEKÂ: UYGULAMALAR, SORUNLAR VE KÜRESEL PERSPEKTİFLER

“=====”

Ali BAYAT¹

¹ Prof. Dr. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri
Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiyealibayat@cu.edu.tr ORCID: 000-0002-7104-9544

1.Giriş

Gıda üretimi, 21. yüzyılın en karmaşık ve acil sorunlarından biri haline gelmiştir. Küresel nüfusun 2050 yılına kadar 9.7 milyara ulaşması beklenirken, mevcut tarım sistemlerinin bu artan talebi karşılaması oldukça zordur (FAO, 2021). İklim değişikliği, su kıtlığı, toprak erozyonu ve biyolojik çeşitlilikteki azalma gibi çevresel baskılar da tarımın sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Tüm bu faktörler, tarım sektöründe daha verimli, veri odaklı ve öngörülebilir yöntemlerin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu noktada Yapay Zekâ (YZ) teknolojileri, tarımsal dönüşümde stratejik bir rol üstlenmektedir.

Yapay zekâ, büyük veri setlerinden öğrenme, karmaşık ilişkileri modelleme ve otomatik karar alma yetenekleriyle modern tarımı yeniden şekillendirmektedir. Bu teknolojiler, sadece üretim süreçlerini iyileştirmekle kalmaz; aynı zamanda sürdürülebilirlik, çevresel etki azaltımı ve gıda güvenliği gibi alanlarda da önemli katkılar sağlar (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). Örneğin, görüntü işleme algoritmaları sayesinde yaprak hastalıkları erkenden tespit edilmekte; sensör verileriyle bitki büyümesi izlenmekte ve hava tahminleriyle entegre sulama planları geliştirilebilmektedir (Liakos et al., 2018).

YZ uygulamaları, tarımda yalnızca verimliliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda belirsizlikleri azaltmak, girdi maliyetlerini düşürmek ve üretim planlamasını optimize etmek için de kullanılmaktadır. Örneğin, makine öğrenmesi ile desteklenen modeller sayesinde çiftçiler, iklim değişikliği kaynaklı riskleri önceden öngörebilmekte ve adaptif kararlar alabilmektedir (Wolfert et al., 2017). Ayrıca, nesnelerin interneti (IoT) tabanlı sensörlerin yaygınlaşması ile birlikte, tarım arazilerinden sürekli veri toplanmakta ve bu veriler YZ sistemlerine beslenerek gerçek zamanlı müdahale imkânı sunulmaktadır (Zhang et al., 2022).

Tarımda yapay zekânın başarılı şekilde uygulanabilmesi için üç temel bileşen kritik öneme sahiptir: (1) yüksek kaliteli ve çeşitli veri setleri, (2) alan uzmanlığı ile yapay zekâ mühendisliğinin bütünleşmesi ve (3) çiftçilerin dijital okuryazarlığını artıracak eğitim politikaları. Bu çerçevede, geliştirilen modellerin yalnızca teknik doğruluğu değil, aynı zamanda yerel tarım koşullarına uyumu, açıklanabilirlik düzeyi ve etik güvenilirliği de tartışma konusudur (van Klompenburg et al., 2020).

YZ'nin tarımsal uygulamalardaki etkisi, yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda sosyoekonomik bir dönüşümün de habercisidir. Gelişmiş ülkelerde otomasyon ve robotik sistemler tarımsal iş gücünü yeniden şekillendirirken, gelişmekte olan ülkelerde ise bilgiye erişim, maliyetler ve altyapı sorunları hâlâ önemli engeller olarak varlığını sürdürmektedir (Dara et al., 2022). Bununla birlikte, küresel ölçekte YZ'nin gıda güvenliğini güçlendirmede, doğal kaynakları daha etkili kullanmada ve tarımsal adaptasyonu hızlandırmada

öncü rol oynayacağına dair bilimsel ve politik mutabakat giderek artmaktadır (Zhou et al., 2023).

2. Tarımda Yapay Zekânın Gelişimi Ve Küresel Durum

Yapay zekâ (YZ), tarım sektöründeki dijital dönüşümün en kritik bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Ancak bu dönüşüm ani bir sıçrama değil, teknoloji, veri ve ihtiyaçların kesişiminde gelişen çok katmanlı bir evrim sürecinin ürünüdür. Tarımda YZ'nin tarihsel gelişimi, uzman sistemlerin (expert systems) kullanıldığı 1980'li yıllardan başlayarak, günümüzde derin öğrenme ve otonom tarım sistemlerine kadar uzanan bir ilerleme çizgisi izlemektedir (Sujatha et al., 2017).

2.1. Tarihsel Arka Plan

İlk YZ uygulamaları, bilgi tabanlı sistemlerle sınırlıydı. Bu sistemler genellikle uzman tarımcıların deneyimlerine dayanan kuralları kodlayarak karar destek sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Ancak bu sistemler, veri miktarındaki sınırlılıklar ve düşük işlem kapasiteleri nedeniyle sınırlı başarı göstermiştir. 2000'li yılların ortalarına gelindiğinde, **uydu görüntüleme, sensör teknolojileri, bulut bilişim ve nesnelerin interneti (IoT)** gibi teknolojilerdeki gelişmeler, tarım alanında veri toplama kapasitesini artırmış ve bu verileri işleyebilecek YZ sistemlerinin gelişimini hızlandırmıştır (Wolfert et al., 2017).

2.2. YZ'nin Tarımda Yaygınlaşma Dalgası

2015 sonrası dönemde, özellikle makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) algoritmalarının gelişimiyle birlikte, YZ sistemleri tarımda daha kapsamlı ve yüksek doğrulukla kullanılabilir hale gelmiştir. Bu dönem, "Tarım 4.0" olarak da adlandırılmakta ve veri temelli üretim sistemlerinin, geleneksel yöntemlere göre üstünlük sağladığı bir paradigma değişimini temsil etmektedir (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Örneğin, **Convolutional Neural Networks (CNN)** algoritmaları sayesinde bitki yapraklarındaki hastalıklar, görüntü analizine dayalı olarak %95'in üzerinde doğrulukla tespit edilebilmekte; takviye öğrenme (reinforcement learning) teknikleri, sera içi iklimlendirme sistemlerini optimize edebilmektedir (Barbedo, 2019; van Klompenburg et al., 2020). Bununla birlikte, verim tahmini, sulama planlaması ve gübre yönetimi gibi alanlarda da makine öğrenmesine dayalı modeller yaygınlık kazanmıştır.

2.3. Küresel Uygulama Dinamikleri

Tarımda YZ uygulamaları küresel ölçekte homojen bir şekilde gelişmektedir. **Çin, Hindistan ve ABD** gibi ülkeler, yüksek teknoloji tarım uygulamalarıyla bu alanda lider konumdadır. Çin, özellikle hassas tarım teknolojilerine ve drone temelli hastalık tespiti sistemlerine yatırım yaparken;

ABD, tarım robotları ve otonom sistemler konusunda öncüdür (Zhang et al., 2022). Hindistan ise geniş tarım arazilerinde IoT ve ML tabanlı sulama sistemlerini yaygınlaştırmıştır (Chlingaryan et al., 2018).

Avrupa Birliği, yapay zekâ politikalarında etik, veri güvenliği ve sürdürülebilirlik ilkelerini ön plana çıkararak tarım teknolojilerine yön vermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise altyapı eksikliği, düşük dijital okuryazarlık ve yüksek teknoloji maliyetleri gibi sorunlar, YZ adaptasyonunu sınırlamaktadır (Dara et al., 2022). Ancak bu ülkelerde açık kaynaklı yazılımlar, mobil destekli sistemler ve düşük maliyetli sensör teknolojileri ile çözüm arayışları da hızla gelişmektedir.

2.4. Disiplinlerarası Dönüşüm

YZ'nin tarıma entegrasyonu yalnızca teknolojik değil, aynı zamanda sosyo-teknik bir dönüşümü de beraberinde getirmiştir. Tarım mühendisliği, bilgisayar bilimi, biyoinformatik, veri bilimi ve çevre bilimleri gibi farklı disiplinler, YZ destekli tarım uygulamalarının gelişiminde ortaklaşa rol oynamaktadır. Bu disiplinlerarası işbirliği, daha açıklanabilir, uyarlanabilir ve güvenilir YZ çözümlerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Liakos et al., 2018).

Ayrıca **açıklanabilir yapay zekâ (Explainable AI, XAI)** yaklaşımı ile YZ kararlarının şeffaf hale getirilmesi, çiftçilerin teknolojilere güven duyması açısından kritik bir gelişme olarak öne çıkmaktadır. Bu gelişmeler, yalnızca teknolojik başarıyı değil, aynı zamanda tarım topluluklarının sosyokültürel yapısına duyarlı çözümler üretmeyi de mümkün kılmaktadır (Zhou et al., 2023).

3. Yapay Zekânın Tarımda Uygulama Alanları

Tarım sektöründe Yapay Zekâ (YZ) uygulamaları, üretimin her aşamasına entegre edilebilen çok yönlü çözümler sunmaktadır. Bu uygulamalar, yalnızca üretim verimliliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda kaynak yönetimi, çevresel sürdürülebilirlik ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi açısından da stratejik değer taşır. Aşağıda, tarımda YZ'nin temel uygulama alanları daha ayrıntılı şekilde ele alınmıştır.

3.1. Bitki Sağlığı ve Hastalık Tespiti

3.1.1. Görüntü İşleme ve Derin Öğrenme

Bitki hastalıklarının erken teşhisi, ürün kayıplarının azaltılması için kritik öneme sahiptir. Bu alanda en sık kullanılan yöntemlerden biri **görüntü işleme (image processing)** teknikleridir. **CNN (Convolutional Neural Network)** tabanlı modeller, özellikle yaprak görüntülerinde renk, doku ve şekil bazlı anormallikleri analiz ederek hastalık türünü sınıflandırır.

Örneğin, ResNet-50 ve EfficientNet gibi derin öğrenme mimarileriyle eğitilmiş modeller, domates yaprak küfü, buğday sarı pası gibi yaygın hastalıklarda %95'in üzerinde başarı göstermektedir (Balaska et al., 2023).

3.1.2. Uzaktan Algılama ve Dronlar (İHA)

Dronlarla entegre edilen yüksek çözünürlüklü kameralar ve **hiperspektral görüntüleme**, büyük arazilerde hastalık haritaları çıkarılmasını sağlar. Yapay zekâ, bu görüntüleri sınıflandırarak tarım danışmanlarına otomatik raporlar sunabilir. Böylece yerinde müdahale yapılabilir ve pestisit kullanımı yalnızca gerekli bölgelere uygulanır.

3.1.3. Entomolojik Tanı Sistemleri

Bazı YZ sistemleri zararlıları da tanıyabilir. Yapay zekâ, haşere görüntülerini türlerine göre sınıflandırarak zararlının türü, yayılma yönü ve biyolojik döngüsüne dair tahminler yapabilir. Bu da entegre zararlı yönetimini kolaylaştırır.

3.2. Sulama Optimizasyonu ve Su Yönetimi

3.2.1. Akıllı Sulama Sistemleri

YZ, **toprak nemi, hava sıcaklığı, yağış ve bitki su tüketim indeksleri** gibi çoklu verileri işleyerek dinamik sulama önerileri sunabilir. Örneğin, bir takviye öğrenme algoritması (Q-Learning veya DQN), bitki büyüme dönemine göre su dağıtımını ayarlayarak hem su tasarrufu sağlar hem de verimi artırır.

3.2.2. IoT Entegrasyonu

Sensör ağları aracılığıyla sürekli veri toplayan sistemler, bulut tabanlı yapay zekâ modelleriyle entegre edilerek gerçek zamanlı sulama kararları verir. Akıllı sulama sistemleri %25–40 arasında su tasarrufu sağlar (Sharma & Shrivastava, 2024).

3.2.3. Uydu Destekli Tahminleme

Sentinel-2 gibi uydulardan elde edilen multispektral görüntüler, yapay zekâ ile analiz edilerek su stresi altındaki alanları önceden belirleyebilir. Bu sayede afet riskleri azalır.

3.3. Gübreleme ve Toprak Besin Yönetimi

3.3.1. Toprak Analizi ve Tahmine Dayalı Modeller

YZ, geçmiş gübreleme verileri, toprak pH'ı, nem, sıcaklık ve besin elementleri gibi parametreleri analiz ederek optimum gübreleme zamanını ve miktarını belirler. Özellikle **XGBoost, Support Vector Machines (SVM)** gibi algoritmalar bu alanda yaygın kullanılır.

3.3.2. Hedefe Yönelik Gübreleme

Otonom traktörler ve gübreleme robotları, yapay zekâdan aldığı direktiflerle yalnızca ihtiyaç duyulan alanlara gübre uygular. Bu sistemler, girdi maliyetlerini düşürürken çevresel etkileri de minimize eder.

3.3.3. Biyolojik Gübrelerle Entegrasyon

YZ, mikroorganizma tabanlı biyolojik gübrelerin etkilerini modelleyerek sentetik gübre ihtiyacını azaltabilir ve toprağın mikrobiyal dengesini koruyabilir (Vinayagam et al., 2024).

3.4. Verim Tahmini ve Hasat Planlaması

3.4.1. Zaman Serisi Modelleri

Verim tahmini için **RNN**, **LSTM** gibi zaman serisi işleme algoritmaları kullanılır. Bu sistemler, geçmiş verilerle öğrenerek tahmin gücünü artırır. Özellikle tahıl ürünlerinde %90'a yakın korelasyon elde edilmiştir (Ajith et al., 2025).

3.4.2. Hasat Zamanlaması

Yapay zekâ, ürün olgunluk derecesini görüntüler ve iklim parametreleriyle birleştirerek **en uygun hasat zamanı** hakkında önerilerde bulunur. Bu, raf ömrü ve nakliye optimizasyonunu doğrudan etkiler.

3.4.3. Ekonomik Modelleme ile Entegrasyon

Verim tahminleri, piyasa tahmin algoritmaları ile birleştirilerek satış stratejileri geliştirilebilir. Örneğin, fiyat düşüşü beklentisi varsa erken satış önerilebilir.

3.5. Zararlı Yönetimi ve Yabancı Ot Tespiti

3.5.1. Görüntü Tabanlı Zararlı Tanı

YOLOv5, **EfficientDet**, **Faster-RCNN** gibi modellerle zararlılar veya yabancı otlar anlık olarak tespit edilir. Bu sistemler, çiftçiye sadece sorunlu bölgeleri ilaçlamasını önerir.

3.5.2. Robotik Müdahale

Tarla robotları, bitkilerin arasındaki yabancı otları tanıyarak mekanik olarak temizleyebilir veya minimum pestisit ile nokta atışı müdahale yapabilir (Aziz et al., 2025).

3.5.3. Zararlı Yayılım Modelleme

YZ, zararlı popülasyonlarını haritalayarak zamanla nasıl yayıldıklarını tahmin eder. Bu, bölgesel karantina kararlarına destek sunar.

3.6. Otonom Tarım Robotları ve Mekanizasyon

3.6.1. Otonom Traktörler ve Dronlar

YZ destekli traktörler; sürüm, ekim, gübreleme ve ilaçlama işlemlerini otonom biçimde gerçekleştirebilir. GPS ve CV (bilgisayarlı görü) sistemleri ile bitki sıralarını takip edebilir.

3.6.2. Hasat Robotları

Meyve-sebze üretiminde, ürünün olgunluk derecesine göre hasat kararı alabilen robotlar geliştirilmiştir. Bu robotlar, insan benzeri parmaklı tutucularla hasar vermeden ürün toplar (Gammanpila & Sashika, 2024).

3.6.3. İnsan-Robot İşbirliği

Gelişmiş sistemlerde yapay zekâ, hem insan operatörlerin verimliliğini izler hem de tehlikeli görevleri otonom üstlenerek iş kazası riskini azaltır.

4. Yapay Zekânın Tarımda Karşılaştığı Zorluklar Ve Etik Sorunlar

4.1. Tarımda Veri Kalitesi ve Erişim Sorunu

Yapay zekâ, kararlarını geçmiş verileri analiz ederek verir. Bu nedenle ne kadar doğru ve çeşitli veri varsa, YZ o kadar iyi çalışır. Ancak tarımda veri toplamak her zaman kolay değildir. Küçük çiftçiler çoğu zaman toprak analizi yapmaz, dijital kayıt tutmaz. Bu da modellerin az sayıda örneğe göre öğrenmesine ve genel geçer sonuçlar üretmesine yol açar.

Ayrıca bazı veriler özel şirketlerin elinde olduğundan herkesin erişimine açık değildir. Veri kalitesinin düşük olması, YZ'nin önerilerini güvensiz hâle getirebilir.

4.2. Yapay Zekâ Sistemlerinin Tarıma Uygulanmasındaki Pratik Zorluklar

YZ'nin tarıma entegrasyonunda en büyük engellerden biri çiftçilerin bu teknolojileri kullanmakta zorlanmasıdır. Bunun birkaç nedeni vardır:

- Birçok kırsal bölgede internet ya da donanım eksikliği vardır.
- Çiftçilerin çoğu, YZ sistemlerinin nasıl çalıştığını bilmez.
- Eğitim ve teknik destek sınırlıdır.

Sonuç olarak, YZ sistemleri geliştirilse bile sahada kullanılmadığı için etkili olamaz.

4.3. Yapay Zekâda Tarafsızlık ve Etik Sorunlar

Yapay zekâ sistemleri insan gibi düşünmez, verilerle öğrenir. Eğer veriler yanlış ya da tek taraflı ise, sistemler de hatalı kararlar verir. Bu durumda çift-

çilerin güvenli sarsılır.

Örneğin sadece büyük çiftliklerin verileriyle eğitilmiş bir sistem, küçük çiftçiler için hatalı tahminlerde bulunabilir. Ayrıca çoğu YZ sistemi “neden bu kararı verdiğini” açıklamaz. Bu durum, çiftçilerin önerilere şüpheyile yaklaşmasına neden olur. Bu nedenle YZ sistemlerinin şeffaf ve anlaşılır olması çok önemlidir.

4.4. Yapay Zekânın Sosyal Etkileri ve Eşitsizlik Sorunu

YZ sistemleri genellikle yüksek teknolojiye sahip büyük çiftliklerde daha etkili çalışır. Bu da küçük çiftçilerin geride kalmasına neden olur. Ayrıca bazı görevler artık robotlar tarafından yapıldığında, mevsimlik işçilerin iş bulması zorlaşabilir.

Bu durum, tarımda gelir eşitsizliğini artırabilir. Teknolojiden yararlananla yararlanamayan arasında büyük bir fark oluşur. Bu farkın büyümemesi için teknolojinin tüm üreticilere eşit şekilde ulaştırılması gerekir.

4.5. Veri Sahipliği, Gizlilik ve Hukuki Düzenlemeler

Tarımda kullanılan sensörler, makineler ve uygulamalar çok sayıda veri toplar. Ancak bu verilerin:

- Kime ait olduğu,
- Nerede ve nasıl saklandığı,
- Hangi amaçla kimler tarafından kullanılacağı genellikle belirsizdir.

Bu durum hem çiftçilerin veri güvenliğini hem de etik ilkeleri tehdit eder. Avrupa Birliği gibi bazı bölgeler, yapay zekâ uygulamaları için yasal çerçeveler geliştirirken, çoğu ülkede bu konuda açık bir düzenleme yoktur.

Özetle YZ'nin tarımda karşılaştığı 5 temel sorun öne çıkıyor:

1. Veri kalitesinin düşük olması
2. Altyapı ve eğitim eksikliği nedeniyle uygulamada sıkıntılar
3. Sistemlerin taraflı ya da açıklanamayan kararlar vermesi
4. Sosyal eşitsizlikleri artırma riski
5. Veri güvenliği ve hukuk boşlukları

Bunlar giderilmeden yapay zekânın tarımda sağlıklı ve adil bir şekilde kullanılması mümkün değildir.

5. Geleceğe Bakış: Tarımda Yapay Zekânın 2030 Vizyonu

Yapay zekâ, 2020'li yıllarda tarımsal üretimin dijitalleşmesinde belirleyici bir rol oynamış olsa da, önümüzdeki 5 yıl içinde daha derin bir dönüşüm

beklenmektedir. 2030 yılına gelindiğinde YZ sadece karar destek aracı değil, aynı zamanda **öğrenen, uyarlanan ve tahmin eden bir üretim ortağı** haline gelecektir.

Bu bölümde tarımda yapay zekânın geleceğine dair öne çıkan eğilimler ve olası teknolojik kırılma noktaları ele alınmıştır.

5.1. Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) ve Güvenilir Sistemler

Bugün birçok çiftçi, yapay zekânın neden belirli bir öneride bulunduğunu anlayamadığı için kararlara güven duymuyor. Gelecekte geliştirilecek modellerde **açıklanabilirlik (Explainable AI)** zorunlu hale gelecek. Çiftçiye yalnızca “ne yapılması gerektiğini” değil, “**neden bu önerinin verildiğini**” açıklayan sistemler yaygınlaşacak.

Bu sistemler, güveni artıracak ve tarımda yapay zekânın kabulünü hızlandıracaktır (Nguyen et al., 2023).

5.2. Dijital İkizler (Digital Twins) ile Sanal Tarım Simülasyonları

2030’a kadar tarımda “**dijital ikiz**” teknolojisinin yaygınlaşması beklenmektedir. Dijital ikiz, bir tarla veya üretim sürecinin dijital ortamda birebir simülasyonudur. Bu sayede:

- Çiftçi, farklı senaryoları önceden test edebilir (örneğin az sulama-verim etkisi).
- Uzaktan izleme ve müdahale sistemleri geliştirilebilir.
- Veriye dayalı sürekli optimizasyon sağlanabilir.

Bu sistemler, hem verim hem kaynak verimliliği açısından çığır açacaktır (Rejeb et al., 2023).

5.3. Sürdürülebilirlik Odaklı YZ: Girdi Azaltımı ve Karbon Takibi

İklim kriziyle birlikte tarımda sadece üretim değil, **ekolojik ayak izi** de önem kazanmaktadır. Geleceğin YZ sistemleri, üretim verimliliği kadar:

- Su tüketimini azaltmaya,
- Kimyasal kullanımını düşürmeye,
- Karbon ayak izini izlemeye odaklanacaktır.

Örneğin, sensör verileri ile entegre edilmiş YZ modelleri, “buğday tarlasının bu yıl ne kadar sera gazı emisyonu oluşturduğunu” hesaplayabilecek düzeye gelecektir (Basu et al., 2024).

5.4. Kuantum Destekli YZ: Tarımsal Karmaşıklık Aşmak

Tarımsal sistemler karmaşıktır: İklim, toprak, biyotik etkileşimler, piyasa koşulları birbiriyle iç içedir. Bu tür çok değişkenli ve belirsiz sistemlerin modellenmesinde klasik YZ sınırlı kalabilir. 2030'a kadar:

- **Kuantum bilgisayarlar**, devasa tarım verilerini işlemek için kullanılabilir.
- **Kuantum makine öğrenmesi** sayesinde daha hızlı ve hassas karar sistemleri geliştirilecek.

Bu gelişmeler, özellikle iklim adaptasyonu ve erken uyarı sistemlerinde fark yaratacaktır (Ouyang et al., 2024).

5.5. Kapsayıcı ve Adil YZ Politikaları

Gelecekte teknolojik gelişmelerin tüm çiftçilere eşit şekilde ulaştırılması şarttır. YZ uygulamalarında:

- Küçük çiftçiler için açık kaynaklı, düşük maliyetli çözümler geliştirilecek.
- Farklı diller ve yerel tarım pratiklerine göre özelleştirilmiş modeller sunulacak.
- Eğitim modülleri, yapay zekânın sahada etkili kullanımını kolaylaştıracak.

Bu şekilde teknoloji yalnızca büyük çiftliklerin değil, tüm üreticilerin faydalanabileceği bir yapıya kavuşacaktır (Wang et al., 2023).

6. Tarımda Yapay Zekâ Uygulamalarında Ülke Karşılaştırmaları Ve Model Yaklaşımları

Yapay zekâ teknolojilerinin tarıma entegrasyonu küresel ölçekte farklı hız ve yöntemlerle gerçekleşmektedir. Ülkelerin ekonomik yapıları, tarımsal üretim modelleri, teknolojiye erişim düzeyleri ve politika öncelikleri bu farkların başlıca nedenleri arasında yer alır. Her ülkenin kendine özgü stratejiler geliştirdiği bu alanda, karşılaştırmalı analizler yalnızca mevcut durumu anlamakla kalmaz; aynı zamanda başarılı uygulamaların modellenerek başka coğrafyalara uyarlanabilmesi açısından da önemlidir.

Bu bölümde, dünya tarımında belirleyici role sahip beş ülke ve/veya bölge –Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Avrupa Birliği, Hindistan ve Brezilya– üzerinden yapay zekânın tarımsal uygulamadaki kullanımı, benimsenme düzeyi ve politika modelleri karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri: Özel Sektör Temelli Yüksek Teknoloji Yaklaşımı

Amerika Birleşik Devletleri'nde tarımda yapay zekâ kullanımı büyük ölçüde özel sektörün yönlendirdiği bir yapıdadır. John Deere, IBM Watson Agriculture gibi çok uluslu teknoloji firmaları, YZ tabanlı traktörler, uydu ve drone sistemleri ile entegre sensör ağları gibi gelişmiş çözümler üretmektedir. Tarımda veri toplama, işleme ve karar verme süreçleri birer dijital operasyon haline dönüşmüş durumdadır.

Bu modelin temel gücü, Ar-Ge yatırımları ve yüksek düzeyli teknik kapasitedir. Ancak aynı modelin eleştirilen yönü, küçük ve orta ölçekli çiftçilerin bu sistemlere olan erişiminde görülen adaletsizliktir. Teknoloji yüksek maliyetli olduğunda, sadece belirli bir üretici sınıfı bu imkânlardan faydalanabilmektedir. Sonuç olarak, ABD modeli yenilikçilik açısından öncü olmakla birlikte, yaygınlık ve kapsayıcılık açısından bazı sınırlılıklar barındırmaktadır (Sinha et al., 2023).

Çin: Devlet Kontrollü Dijitalleşme ve Yaygınlaştırma Stratejisi

Çin Halk Cumhuriyeti, tarımda yapay zekâ uygulamalarını doğrudan devlet politikaları ile şekillendirmektedir. “Akıllı Tarım 2035” stratejisi kapsamında geliştirilen projelerle, özellikle pirinç, buğday ve mısır üretimi gibi temel tarımsal ürünlerde verim tahminine dayalı YZ sistemleri kullanılmaktadır. Burada dikkat çeken nokta, teknolojinin yalnızca büyük işletmelere değil, küçük üreticilere de ulaşacak şekilde organize edilmesidir.

Bu yaklaşımda kamu-özel sektör işbirliği etkin biçimde kullanılmakta, Huawei ve DJI gibi teknoloji devleri tarafından geliştirilen sistemler yerel tarım ofisleri ve kooperatifler aracılığıyla sahaya yayılmaktadır. Uygulamanın geniş ölçekli olması ve çiftçilere düşük maliyetli hizmet sunması, Çin modelinin güçlü yönlerinden biridir. Ancak veri güvenliği, bireysel mahremiyet ve merkezi denetimin uzun vadede yaratacağı sosyal etkiler gibi konular tartışma konusu olma devam etmektedir (Zhou et al., 2024).

Avrupa Birliği: Etik, Sürdürülebilirlik ve Açıklanabilirlik Odaklı Model

Avrupa Birliği, yapay zekâ uygulamalarını tarımda sadece üretkenlik artışı açısından değil, aynı zamanda etik, sürdürülebilirlik ve çevresel etki bakımından değerlendirmektedir. “Farm to Fork” stratejisi ve “Dijital Avrupa Programı” gibi üst politika belgeleri, tarımda kullanılan her türlü dijital teknolojinin şeffaf, açıklanabilir ve çevresel olarak sorumlu olmasını şart koşmaktadır.

Avrupa'da özellikle küçük çiftliklerin korunması, gıda güvenliğinin artırılması ve tarımın karbon ayak izinin azaltılması gibi konular önceliklidir. Bu nedenle Avrupa modeli, teknolojiyi yalnızca verim odaklı değil, aynı za-

manda sosyal fayda gözeten bir yapı içinde konumlandırmaktadır. Bu yaklaşım, uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından oldukça değerlidir. Ancak teknolojinin sahaya yavaş entegrasyonu ve bölgesel eşitsizlikler gibi sınırlayıcı unsurlar da mevcuttur (Müller et al., 2023).

Hindistan: Küçük Çiftçiye Yönelik Yenilikçi YZ Uygulamaları

Hindistan, dünya genelinde küçük çiftçilerin en yoğun bulunduğu ülkelerden biridir. Tarımsal işletmelerin çoğu, 1 ila 3 hektarlık küçük arazilerden oluşur. Bu nedenle Hindistan'da geliştirilen yapay zekâ çözümleri büyük ölçüde düşük maliyetli, mobil tabanlı ve kullanıcı dostu sistemler üzerine inşa edilmiştir. Örneğin, CropIn ve AgNext gibi yerel girişimler; bitki hastalıklarının tanınması, toprak analizleri ve hasat planlaması gibi alanlarda çiftçiye destek sağlayan YZ çözümleri sunmaktadır.

Bu modelin en büyük avantajı, teknolojiyi kırsal kesime kadar ulaştırabilecek şekilde sadeleştirilmiş olmasıdır. Ancak dijital altyapı eksiklikleri, düşük internet bağlantısı kalitesi ve eğitim eksikliği gibi nedenlerle sistemlerin tüm bölgelerde aynı verimle çalışması zorlaşmaktadır (Rai et al., 2024).

Brezilya: Biyofiziksel Veriye Dayalı ve Araştırma Tabanlı Model

Brezilya, tarımsal üretimde geniş arazi kullanımına dayalı bir yapıya sahiptir. Özellikle soya, kahve ve şeker kamışı gibi ürünlerde yüksek verimlilik hedeflenmektedir. Bu doğrultuda Brezilya, tarımda yapay zekâyı büyük veri analitiği, sensör teknolojileri ve biyofiziksel modelleme temelli bir yaklaşımla kullanmaktadır. EMBRAPA gibi tarımsal araştırma merkezleri tarafından geliştirilen sistemler, iklim, toprak ve genetik verilerin birlikte analizine dayalıdır.

Ülkede veri paylaşımı açık ve teşvik edici şekilde yürütülmekte, üniversiteler ile özel sektör arasında yakın işbirlikleri kurulmaktadır. Brezilya'nın bu yönü, bilime dayalı tarım modeli açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir (Oliveira et al., 2023).

Türkiye: Gelişmekte Olan, Kamu Odaklı ve Veri Temelli Dönüşüm Modeli

Türkiye'de yapay zekâ teknolojilerinin tarım alanında kullanımına ilişkin stratejik planlamalar, **Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021–2025) ve Tarım ve Orman Bakanlığı** öncülüğünde yürütülen dijital dönüşüm projeleri çerçevesinde gelişmektedir. Her ne kadar strateji belgesinde tarım sektörü, doğrudan öncelikli alanlardan biri olarak gösterilmemişse de, **kırsal kalkınma, veri erişimi ve dijitalleşme** yoluyla tarımsal üretimde yapay zekâ entegrasyonunun hızlandırılması hedeflenmektedir (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2021).

Uygulamada ise Türkiye, **kamu destekli ve proje bazlı iş birliği modeli** izlemektedir. Tarım ve Orman Bakanlığı ile TÜBİTAK gibi kurumlar arasında geliştirilen ortak projeler, hem veri altyapısını iyileştirmeye hem de çiftçilerin YZ teknolojilerine erişimini artırmaya yöneliktir. Örneğin, **Dijital Tarım Pazarı (DİTAP)** projesi, üretici ile tüketici arasında dijital ortamda doğrudan bağlantı kurarak, algoritmalar yoluyla arz-talep eşleşmesini optimize etmeyi amaçlamaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Ayrıca, **TÜBİTAK BİGG-Tarım, 1501 ve 1507** gibi programlar kapsamında, sensör temelli tarımsal veri toplama, otonom makineler ve görüntü işleme ile hastalık teşhisi gibi konularda yerli teknolojiler desteklenmektedir (TÜBİTAK, 2023).

Veri odaklılık, Türkiye'nin tarımda yapay zekâ stratejisinin en önemli bileşenlerinden biridir. Ulusal strateji belgesinde, **tarımsal verilerin birlikte çalışabilir, açık ve güvenli şekilde yönetilmesi** gerektiği vurgulanmıştır (Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi, 2021). Bu çerçevede Tarım ve Orman Bakanlığı ile TÜBİTAK'ın yürüttüğü çalışmalar arasında, **ulusal tarım veri gölleri ve bölgesel analiz platformları** ön plana çıkmaktadır (Yıldız & Akar, 2023).

Türkiye'nin 2030 yılına uzanan vizyonu, **küçük ve orta ölçekli üreticilere ulaşan, ölçeklenebilir, yerli yazılıma dayalı**, aynı zamanda **veri güvenliğini gözet**en bir YZ modelini hayata geçirmeyi hedeflemektedir. Ancak dijital altyapıdaki bölgesel eşitsizlikler, düşük teknoloji adaptasyonu ve yetersiz tarımsal Ar-Ge yatırımları, bu sürecin önünde belirli engeller oluşturmaktadır (Kuru & Demir, 2022). Bu nedenle başarıya ulaşılması; sadece teknolojik yatırımlarla değil, **politik koordinasyon, yerel kapasite geliştirme ve çiftçi eğitimi** gibi bütüncül mekanizmalarla mümkün olacaktır (Yıldız & Akar, 2023).

Sonuç ve Öneriler

Tarımda yapay zekâ uygulamaları, ülkelerin stratejik öncelikleri ve sosyoekonomik yapıları doğrultusunda farklı modellerde gelişmektedir. ABD, yüksek teknoloji ve inovasyon odaklı bir yaklaşımı benimserken; Çin, yaygınlaştırma ve merkezi planlamaya dayalı bir yapı kurmaktadır. Avrupa Birliği, etik ve çevresel sürdürülebilirlik merkezli bir yol izlerken; Hindistan, pratik ve düşük maliyetli çözümler sunmakta; Brezilya ise veri temelli ve araştırma odaklı politikalarla ilerlemektedir.

Bu çeşitliliğe Türkiye de kendine özgü bir modelle katılmaktadır. Türkiye'nin yaklaşımı, kamu destekli dijital altyapı yatırımları, yerli yapay zekâ çözümlerinin teşviki ve küçük-orta ölçekli üreticileri kapsayan uygulamalarla şekillenmektedir. Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi ve Tarım ve Orman Bakanlığı projeleri doğrultusunda geliştirilen model, kamu-üniversite-sanayi işbirliği temelinde veri temelli bir dönüşüm hedeflemektedir. Türkiye'nin 2030 vizyo-

nu, yerli teknolojilerin yaygınlaştırılması, tarımsal verinin güvenli yönetimi ve çiftçi eğitimi yoluyla yapay zekânın tarımda sürdürülebilir biçimde uygulanmasını amaçlamaktadır.

Bu küresel çeşitlilik, evrensel ve tek tip bir tarımsal yapay zekâ modelinden ziyade, yerel koşullara uyarlanabilir, modüler yaklaşımların önemini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda ülkeler arası bilgi ve teknoloji transferi, iş birliği ve politika diyalogunun giderek daha kritik bir rol oynadığı görülmektedir. Gelecekte sürdürülebilir ve dirençli bir tarım sistemi için yapay zekâ çözümlerinin, sosyo-teknik bütünlük içinde ulusal vizyonlarla uyumlu hâle getirilmesi elzemdir.

KAYNAKLAR

- Ajith, S., Vijayakumar, S., & Elakkiya, N. (2025). Yield prediction and precision irrigation using machine learning. *Discover Food*. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00338-1>
- Aziz, D., Rafiq, S., Saini, P., Ahad, I., & Gonal, B. (2025). Remote sensing and AI in pest management. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1551460>
- Balaska, V., Adamidou, Z., Vryzas, Z., & Gasteratos, A. (2023). Sustainable crop protection via robotics and AI. *Machines*, 11(8), 774. <https://doi.org/10.3390/machines11080774>
- Barbedo, J. G. A. (2019). A review on the use of machine learning in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 105–122. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.012>
- Basu, A., Dutta, S., & Chattopadhyay, M. (2024). AI-driven sustainable agriculture: Carbon monitoring and input optimization. *Computers and Electronics in Agriculture*, 218, 108011. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108011>
- Chlingaryan, A., Sukkarieh, S., & Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.012>
- Cumhurbaşkanlığı Dijital Dönüşüm Ofisi. (2021). Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021–2025). <https://cbddo.gov.tr>
- Dara, R., Sanghi, M., & Thakur, A. (2022). Challenges in adopting AI-based agricultural technologies in developing countries. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 5, 884192. <https://doi.org/10.3389/frai.2022.884192>
- Gammanpila, H. W., & Sashika, M. A. N. (2024). Robotic and AI technologies in horticulture. *Wiley Online Library*. <https://doi.org/10.1155/2024/2472111>
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
- Kuru, G., & Demir, E. (2022). Türkiye’de tarım 4.0 uygulamaları: Yapay zekâya geçiş süreci. *Tarım Teknolojileri Dergisi*, 14(2), 113–125. <https://doi.org/10.31186/ttd.2022.14.2.113>
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674. <https://doi.org/10.3390/s18082674>
- Mashalkar, A. S., & Chougule, M. A. (2022). A comprehensive review of irrigation using AI. In *Computational Intelligence in Manufacturing* (pp. 187–200). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91854-1.00020-2>
- Nguyen, T., Wong, C. M., & Zeng, Q. (2023). Explainable AI for precision farming:

- A path toward farmer trust. *Agricultural Systems*, 208, 103720. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103720>
- Oliveira, T., Santos, R., & Costa, L. (2023). Big data and AI in Brazilian agribusiness. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100276. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100276>
- Ouyang, Q., Lu, Y., & Ma, H. (2024). Quantum AI for modeling agricultural complexity. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7, 1120932. <https://doi.org/10.3389/frai.2024.1120932>
- Ponkarthika, M., Ruba, M., & Dhanushya, J. (2025). AI-powered agrobots for harvesting and spraying. *IEEE Xplore*. <https://doi.org/10.1109/AgroBot.2025.11048251>
- Rejeb, A., Simske, S. J., Treiblmaier, H., & Keogh, J. G. (2023). Digital twins in agriculture: A smart farming perspective. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100246. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100246>
- Sharma, K., & Shivandu, S. K. (2024). Integrating AI and IoT for crop management. *Sensors International*, 5, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100014>
- Sinha, R., Patel, A., & Rahman, M. (2023). Adoption of AI in US agriculture: Private sector strategies. *Agricultural Systems*, 212, 103682. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103682>
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023). Dijital Tarım Pazarı (DİTAP) Projesi. <https://www.tarimorman.gov.tr>
- TÜBİTAK. (2023). Yapay Zekâ Ekosistemi Çağrıları ve Tarım Uygulamaları. <https://www.tubitak.gov.tr>
- Vinayagam, P., & Kanagamalliga, S. (2024). Optimizing agricultural yields using AI. *IEEE Conf. on Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2024.11026208>
- Wang, L., Chen, Y., & Li, J. (2023). Bridging the AI gap for smallholder farmers. *Nature Sustainability*, 6, 456–463. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01121-w>
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Yıldız, A., & Akar, B. (2023). Dijital Tarımda Yapay Zekâ Uygulamaları: Türkiye Örneği. *Akıllı Sistemler ve Tarım Politikaları*, 6(1), 48–63.
- Zhang, Y., Lu, Y., Liu, Y., & Peng, Y. (2022). Artificial Intelligence in Agriculture: A Review. *Agronomy*, 12(1), 118. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010118>
- Zhou, L., Chen, W., & Liu, J. (2024). State-driven AI applications in Chinese agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 210, 107883. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.107883>
- Zhou, X., Chen, Q., & Feng, Q. (2023). Artificial intelligence and food security: Opportunities and challenges. *Nature Food*, 4, 104–110. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00653-3>



KENTSEL YEŞİL ALTYAPIDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMI: DİKEY BAHÇELERDE KURAKÇIL BİTKİLER

“ ”

Handan ÇAKAR¹
Özlem AKAT SARAÇOĞLU²
Hülya AKAT³

1 Doç. Dr. Ege Üniversitesi, Bayındır Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, İzmir, Türkiye, handan.cakar@ege.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7209-5545

2 Doç. Dr. Ege Üniversitesi, Bayındır Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, İzmir, Türkiye, ozlem.akat@ege.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1680-783X

3 Doç. Dr. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Ortaca Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Muğla, Türkiye, ahulya@mu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0927-8530

1. Giriş

Kentleşmenin hızla artması ve kentsel alanlarda yoğun yapılaşmanın meydana gelmesi, açık ve yeşil alanların azalmasına ve zamanla ekolojik denge bozulmasına yol açmıştır. Bu süreç, kentlerde çevresel sorunların yanı sıra sosyal problemlerin de artmasına neden olmaktadır. Kentsel ekolojinin korunması ve yeşil altyapı bileşenlerinin güçlendirilmesi bu noktada kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, dikey bahçeler, sınırlı alanlarda yeşil alan oluşturma olanağı sağlayan yenilikçi bir peyzaj yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir. Dikey bahçeler, yapı yüzeylerini bitkilerle kaplayarak estetik, ekolojik ve fonksiyonel faydalar sunarak kentlerde sürdürülebilir yaşam alanlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Aygenel 2011; Yazgan ve Khabbazi 2013).

Dikey bahçeler yalnızca görsel bir estetik unsuru değil, aynı zamanda kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesi, enerji tasarrufu, su yönetimi ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi gibi ekosistem hizmetleri sağlayan bir yeşil altyapı bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Kemaloğlu ve Yılmaz, 1991; Tekin ve Oğuz, 2011; Ekren, 2016; Kalay ve Sarıman Özen, 2021). Yeşil altyapının önemli bir bileşeni olan dikey bahçelerin ekosistem hizmetleri ile kurakçıl peyzaj (Xeriscape) yaklaşımının prensipleriyle ilişkilendirildiğinde, su tasarrufu ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendiren uygulamalara dönüşmektedir. Ekosistem dengelerinin korunması ve yaşamın sürdürülebilirliği için su kaynaklarının akılcı şekilde kullanılması gerekmektedir (Akgedik vd., 2025).

Günümüzde artan iklim değişikliği ve kuraklık riskleri, suyun etkin ve bilinçli kullanımını zorunlu hale getirmektedir (Çöp ve Akat, 2021; İlhan vd., 2024). Bu noktada, kurakçıl peyzaj ilkeleri, su tüketimini minimize eden ve çevresel kaynakların sürdürülebilir kullanımını destekleyen bir yaklaşım olarak dikey bahçelerde uygulanabilmektedir. Kurakçıl bitkilerin kullanımı, dikey bahçelerde su tasarrufu sağlamakla kalmayıp, bakım kolaylığı, ekolojik uyum ve uzun ömürlü peyzaj tasarımlarının oluşturulması gibi avantajlar da sunmaktadır.

Bu çalışma, kentsel yeşil altyapı kapsamında dikey bahçelerin önemini ve bu sistemlerde kurakçıl bitkilerin kullanımını ele alarak, sürdürülebilir peyzaj tasarımında yeni yaklaşımların uygulanabilirliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca çalışmada; dikey bahçe kavramı, tarihsel süreçte dikey bahçeler, kentsel yeşil altyapı içindeki yeri ve önemi, dikey bahçelerin yararları, uygulama teknikleri, bitkilendirme stratejileri ve dikey bahçelerde kurakçıl bitkilerin rolü ile kullanımı ayrıntılı olarak incelenmektedir.

2. Dikey Bahçe Kavramı

Kentleşmenin yoğunlaştığı günümüzde, dikey bahçeler modern kentsel peyzajın en etkili çözümlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Estetik bir görsellik sunmanın ötesinde, ekolojik işlevler ve çevresel faydalar sağlayarak kentsel alanlarda doğa ile yaşamı bütünleştiren bu sistemler; “dikey yeşillikler”, “yaşam duvarları”, “yaşayan duvarlar”, “yeşil duvarlar” veya “yeşil cephe” olarak da adlandırılmaktadır (Tekin ve Oğuz, 2011; Tzortzi vd., 2018; Gür ve Kahraman, 2020; Osmalıoğlu ve Asilsoy, 2021). Düşey düzlemde yapı yüzeylerinde farklı yetiştirme ortamları aracılığıyla bitkisel materyallerin yetiştirildiği bu alanlar, günümüzde modern ve fonksiyonel bir bitkilendirme sistemi olarak değerlendirilmektedir. Bu bahçeler, toprak, duvar veya bitki kasalarında yetişen bitkilerin dikey yapısal öğeler üzerinde, kendi fizyolojik yetenekleriyle tutunmaları veya destekleyici yapısal sistemler aracılığıyla yapı yüzeylerinde yeşil alanlar oluşturması esasına dayanan bitkisel tasarımlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Erdoğan 2014; Kanter, 2014; Tabu, 2019; Gür ve Kahraman, 2022).



Şekil 1. Bir Alışveriş merkezini kaplayan dikey bahçe örneği, Rozanno-İtalya (Laskow, 2012).

3. Tarihsel Süreç İçerisinde Dikey Bahçeler

Dikey bahçe kavramının kökeni çok eski uygarlıklara dayanmaktadır. Mısırlıların M.Ö. 1500’lü yıllarda üzüm yetiştiriciliğinde çardak benzeri dikey destek sistemleri kullandıkları ve mekânsal düzenin bir parçası olduğu

aynı zamanda bereket gibi kavramları da simgelediği Thales Tapınağı'ndaki rölyeflerden anlaşılmaktadır (Kaynakçı Elinç, 2007; Turhan Eren ve Çetin-kale Demirkan, 2025). Dikey bahçe tarihindeki en bilinen örneklerden biri ise Babil'in Asma Bahçeleri'dir. M.Ö. 600'lerde II. Nebuchadnezzar tarafından kraliçesi Amytis için yaptırılan bu bahçeler, dünyanın yedi harikasıdan biri kabul edilmekte ve dikey bahçe fikrinin ilk estetik ve mimari yansıması olarak değerlendirilmektedir (Osmanlıoğlu ve Asilsoy, 2021). Antik Roma ve Akdeniz coğrafyasında da tırmanıcı bitkilerin malikaneler, kaleler ile kut-sal bahçelerde estetik ve sembolik amaçlarla kullanıldığı, Pompei balkonla-rı ve Roma mozolelerinde bitkisel düzenlemelere yer verildiği bilinmektedir (Tong, 2013; Güney Başkan, 2019; Kalay, 2019).

M.S. 8. ve 11. yüzyıllar arasında İskandinavya bölgesinde yaşayan Viking-ler'in tasarladığı dikey bahçe örnekleri günümüze kadar gelmiştir. Vikingler duvar ve çatılarını çim örtü yüzeyleri ile kaplamışlardır. Kendilerine barınacak yer oluştururken taş ve turba kömür içerikli tuğlalar kullanmış, bu tuğlaların arasına ve üzerlerine doğal çim yüzeyleri ekmişlerdir. Böylece doğal olarak ge-lişen yeşil çatıları ve dikey bahçeleri oluşturmuşlardır (Beyhan, 2014).

Orta çağ'da İber Yarımadası, Sicilya ve Malta'da yaşayan Müslüman nü-fus, dikey alanların değerini fark etmiş ve bitki yetiştirmek için avlu duvarla-rını kullanmıştır. Veranda ve duvarlarda bitki kullanımı, evlerin serin kalma-sının önemli bir yolu olarak görülmüştür (Çerçil ve Yüksel, 2019).

16. ve 18. yüzyıllar arasında Hindistan, İspanya, Meksika, Fransa ve Rus-ya'da sarılıcı ve tırmanıcı bitkilerin konut ve kale duvarlarında yaygınlaştığı (İpekçi ve Yüksel, 2012; Yazgan ve Khabbazi, 2013), 20. yüzyıl başlarında ise Britanya ve Kuzey Amerika'da pergola ve çardaklarda estetik amaçlı kulla-nıldığı görülmektedir (Tong, 2013). Modern anlamda dikey bahçe sistemleri-nin gelişimi ise 1938 yılında Illinois Üniversitesi'nden peyzaj mimarı Stanley Hart White'in "botanik tuğla" kavramını geliştirmesiyle başlamıştır (Morol-lo, 2018).

Kentlerde ekolojik ve yapısal sorunların artması ile 1990 yılında dikey bahçe uygulamaları gündeme gelmiş, bu bahçelerin oluşturulması için pas-lanmaz kafes sistemler, tel halatlar ve modüler paneller geliştirilmiştir. Fran-sız botanikçi Patrick Blanc tarafından uygulanan dikey bahçe çalışmaları ile dikey peyzaj farklı bir yön kazanmış, 1992 yılında Chaumont Uluslararası Bahçe Festivali'nde tanıttığı hidroponik dikey bahçe sistemi ile dünya çapın-da büyük ilgi toplamıştır (Tong, 2013).

2000'li yıllardan itibaren dikey bahçeler farklı ölçeklerde uygulanmaya başlanmıştır. Green Roofs for Healty Cities North America (GRCH) kurulu-şu tarafından, 2008 yılında en iyi dikey bahçe ödülü verilmeye başlanmış ve dikey bahçe araştırma fonu kurulmuştur (Tong, 2013).

Singapur'da Chestnut Bulvarı'nda bulunan, dünyanın en büyük dikey bahçesine (2.289m²) sahip 24 katlı bir apartman binası 2013 yılında, en büyük dikey bahçe kategorisinde Guinness Dünya Rekoruna layık görülmüştür (Şekil 2) (SBR, 2025).



Şekil 2. 2013 yılı Guinness Dünya Rekoruna layık görülen dikey bahçe, Singapur (SBR, 2025).

Tarih boyunca tarımsal üretim, sembolik anlam, estetik ve iklimsel işlevler gibi farklı amaçlarla kullanılmış olan dikey bahçeler, son yıllarda sürdürülebilir kentlerin ekolojik ve estetik ihtiyaçlarına yanıt veren önemli peyzaj elemanları haline gelmiştir.

Günümüzde dikey bahçelerin, kent estetiğini artırmak amacıyla duvarlarda, tünellerde ve eğimli yamaçlarda sıklıkla kullanıldığı; binaların cephelerine uygulanmasıyla yapının enerji etkinliğini yükselttiği, kentsel ısı adalarında sağladığı termal etkilerle kent ekolojisine katkıda bulunduğu ve iç mekânlarda ise bir sanat biçimi olarak dekoratif amaçla tasarlandığı görülmektedir (Çerçil ve Yüksel, 2019).

4. Kentsel Yeşil Altyapı Sistemlerinde Dikey Bahçelerin Yeri ve Önemi

Yeşil altyapı, stratejik olarak planlanmış ve yönetilen doğal yaşam alanları, parklar, yeşil yollar ve koruma alanlarından oluşan bütüncül bir sistemdir. Genellikle “birbirine bağlı yeşil alanlar ağı” olarak tanımlanan yeşil altyapı, sahip olduğu doğal kaynak değerleri ve topluma sunduğu ekolojik, sosyal ve ekonomik faydalar doğrultusunda planlanmakta ve yönetilmektedir. Günümüzde yeşil altyapı projeleri doğal kaynakların korunması ve su yönetimi ile şehirlerin geleceğini şekillendirmede önemli bir rol üstlenmektedir (Çetinkale Demirkan ve Akat, 2017; Çetinkale Demirkan ve Akat, 2024). Kent ve bölge ölçeğinde, yeşil altyapı; ekosistem sağlığının korunması, biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi ve ekosistem hizmetlerinin teşvik edilmesi yoluyla insanlara çeşitli faydalar sağlayan ekolojik ve mekânsal bir yaklaşım olarak öne çıkmakta, sürdürülebilir kentleşme uygulamaları içerisinde yerini almaktadır (Tülek ve Ersoy Mirici, 2019; Çetinkale Demirkan vd., 2025).

Yeşil altyapı sistemini oluşturan her unsur, kentlerin sürdürülebilirliği-ne ve ekolojik işlevlerine katkıda bulunarak yaşanabilir çevrelerin oluşmasını desteklemektedir. Özellikle kentsel alanlarda, yeşil altyapılar çevresel sorunların çözümünde, iklim kontrolünde, yaşam kalitesinin artırılmasında, atıkların yönetimi ve geri dönüşümünün sağlanmasında önemli rol oynamaktadır (Kaylı ve Güneş Gölbe, 2020). Yeşil altyapı aracılığı ile kentlerin, iklim dirençli, atık ve suyun yönetildiği ve bunların oluşturduğu olumsuz etkilere karşı dayanımı yüksek kentlere dönüşmesine katkı sunulmaktadır (Çetinkale Demirkan, 2025). Bu kapsamda yeşil altyapı uygulamaları; temiz hava ile su sağlama, toprağı koruma, erozyonu önleme, yağmur suyu yönetimi, sel ve taşkın risklerinin azaltılması, karbon salınımının düşürülmesi, kentsel ısı adası etkisinin engellenmesi, biyoçeşitliliğin desteklenmesi, ekolojik koridor ve habitatların oluşturulması, toplum sağlığı ve rekreasyonel olanakların artırılması gibi çok yönlü faydalar sunmaktadır (Tülek ve Ersoy Mirici, 2019).

Son yıllardaki araştırmalar, kentlerde yalnızca alan büyüklüğüne dayalı iki boyutlu yeşil alan değerlendirmelerinin kentsel ekolojideki sorunların çözümünde yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu doğrultuda, alan optimizasyonu ilkesi çerçevesinde yeşillendirme, doğallaştırma ve özgün habitat oluşturma politikalarını içeren yeşil altyapı uygulamaları; yeşil mimari ve şehircilik ilkeleri ile bütünleşerek iki boyutlu park ve bahçelerden üç boyutlu yeşil çatılar ve duvarlara yönelen somut çözümler sunmaktadır. Böylece yeşil altyapı, kentlerde alan kullanımını çeşitlendirerek ekosistem hizmetlerini güçlendiren bütünleşmiş bir peyzaj altyapısı işlevi görmektedir (Acar ve Acar, 2020).

Kentsel yeşil altyapı, yalnızca parklar, oyun alanları, mezarlıklar ve özel bahçeleri değil; aynı zamanda tarım alanları, yaban hayatı koridorları, koruma alanları, kent ormanları, hobi bahçeleri, yeşil çatılar, dikey bahçeler, sokak

ağaçları, bitkisel çitler, refüjler, göletler, nehirler, kanallar ile sürdürülebilir kentsel drenaj sistemleri gibi çeşitli bileşenleri de kapsamaktadır. Bu bileşenler, sağladıkları ekosistem hizmetleriyle ekolojik, ekonomik, sosyal ve kültürel boyutlarda kentlere önemli katkılar sunmaktadır (Tülek ve Ersoy Mirici, 2019).

Bu çerçevede, dikey bahçeler yoğun kentsel dokuda yeşil altyapının önemli bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Sınırlı alanlarda dikey peyzaj çözümleri sunarak yapı yüzeylerini yeşillendiren dikey bahçeler; ekosistem hizmetlerini güçlendirmek, kentsel estetiği artırmak ve kullanıcıların yaşam kalitesine katkı sağlamak gibi çok yönlü faydalar sunmaktadır.

5. Dikey Bahçelerin Yararları

Dikey bahçeler, kentlerde yeşil alan varlığını artırarak biyolojik çeşitliliği desteklemekte, ekolojik değerleri güçlendirmekte ve sürdürülebilir kentsel gelişime katkı sunmaktadır. Bunun yanında, kentsel ısı adası etkisini azaltmakta, hava kalitesini iyileştirmekte, enerji tüketimini düşürmekte ve kullanıcıların yaşam kalitesini yükseltmektedir. Bu çok yönlü etkileri ile dikey bahçelerin sürdürülebilir kentsel gelişim için önemli bir araç niteliği taşıdığı görülmektedir (Yüksel, 2013; Dedei Dünder ve Demir, 2021). Bu kapsamda, dikey bahçelerin kentsel ölçekte sunduğu temel yararlar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Dikey bahçelerin kentsel ölçekte sunduğu temel yararlar.

Yarar	İşlev	Kaynak
Enerji tüketiminin azaltılması	Isı izolasyonu, pasif iklimlendirme, yazın gölgeleme ve kışın ışık geçirgenliği ile enerji tasarrufu sağlar.	Loh (2008); Kalay ve Sarıman Özen (2021)
Ses kirliliğinin azaltılması	Bitkiler ve altyapı elemanları ses dalgalarını emerek, yansıtarak veya dağıtarak hem bina içi hem de bina yakın çevresi için akustik konfor sağlar.	Tekin ve Oğuz (2011); Erdoğan ve Khabbazi (2013); Yazgan ve Khabbazi (2013)
Hava kalitesinin artırılması	Oksijen üretimine, CO ₂ tüketimine, rüzgâr hızını azaltarak toz partiküllerinin tutulmasına ve zararlı mikroorganizmaların azaltılmasına katkı sağlar.	Kemaloğlu ve Yılmaz (1991); Yazgan ve Khabbazi (2013)
Kentsel ısı adası etkisinin azaltılması	Bitkilerin buharlaşma ve terleme yoluyla gerçekleştirdikleri su buharı salınımı, çevrelerindeki hava sıcaklığının düşmesini sağlar	Örnek (2011); Tekin ve Oğuz (2011)
Biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi	Kuş, böcek ve diğer canlılara habitat oluşturarak, kentsel ekosistemlerdeki biyolojik çeşitliliği destekler.	Tohum (2011); Ekren (2016); Kalay ve Sarıman Özen (2021)
Yaşam kalitesinin artırılması	Kentsel açık yeşil alan varlığını destekler, kentlere estetik değer katar, bireylerin psikolojik ve fizyolojik sağlığını destekler, kentsel yaşam kalitesini yükseltir.	Aygenel (2011); Yazgan ve Khabbazi (2013); Beyhan (2014);

6. Dikey Bahçe Uygulama Teknikleri

Dikey bahçe uygulamaları; panel, metal çit, modüler ve asma sistemler olmak üzere dört temel grupta sınıflandırılmaktadır (Çelik vd., 2015; Güney Başkan, 2019; Kalay ve Sarıman Özen, 2021).

6.1 Panel Sistemler

Panel sistemlerde bitkiler, doğrudan yapı yüzeyine ya da ek bir taşıyıcı üzerine yerleştirilir. Bu sistemler, cepheyi dış etkenlerden koruyarak ömrünü uzatmakta ve ısı yalıtımı ile enerji tasarrufu sağlamaktadır (Güney Başkan, 2019).

- **Topraklı panel sistemler:** Toprak dolgulu modüllerden oluşan, damla sulama ve drenaj sistemi ile çalışan sistemlerdir (Örnek, 2011; Tabu, 2019).

- **Hidroponik panel sistemler:** Toprak yerine besin çözeltisi kullanılarak suyun geri dönüştürülebildiği sistemlerdir (Örnek, 2011; Tabu, 2019).

- **Aeroponik panel sistemler:** İç mekânda kullanılan, köklerin havalandırıldığı ve havadaki kirleticilerin biyolojik filtrasyonla giderildiği aktif duvar sistemleridir (Tekin ve Oğuz, 2011).

- **Keçe sistemler:** Toprak yerine keçe tabakası kullanılan, mineral katkılı sulama yapılan ve fazla suyun geri dönüştürülebildiği sistemlerdir (Örnek, 2011; İpekçi ve Yüksel, 2012).

6.2 Metal Çit Sistemler

Bu sistemde çeşitli tasarımlarda metal çitler kullanılmaktadır. Metal çitlerde sarılıcı ve tırmanıcı bitkiler tercih edilir. Bitkiler toprakta ya da saksılarda yetiştirilir ve damla sulama ile beslenir. Yüzeyin kaplanması uzun zaman alabilmektedir. Genellikle dış duvar, balkon ve avlularda kullanılır (Shewek ve Magdy, 2011; Kırıt ve Sağlık, 2018).

6.3 Modüler Sistemler

Farklı boyut ve formdaki saksıların cephelere yerleştirilmesiyle oluşturulur. Saksılar arasındaki boşluklar, dikey su akışına ve etkin sulamaya olanak sağlar (İpekçi ve Yüksel, 2012).

6.4 Asma Sistemler

Sarmaşık türlerinin kullanımına dayalı olan bu yöntemde, bitkiler metal gergi veya hasır yüzeylere tutundurulur. Kökler zeminde veya cephede oluşturulan saksılarda yer alabilir, sulamalar ise damla sulama yöntemiyle gerçekleştirilir (Örnek, 2011; Çelik vd., 2015).

7. Dikey Bahçe Uygulamalarında Bitkilendirme

Dikey bahçelerde yapılan bitkisel tasarımlar, geleneksel peyzaj düzenle-

melerinden farklılık göstermektedir. Bu sistemler bitki gelişimi için zorlayıcı koşullara sahip yapay ortamlarda kurulmaktadır (Koç ve Güneş, 1998). Bitkilendirme sürecinde öncelikle yapı yüzeyinin uygunluğu ve taşıma kapasitesi incelenmeli, ardından uygun sistem seçilmeli ve çevresel koşullar ile yapısal özellikler dikkate alınarak kullanılması planlanan bitki türleri belirlenmelidir (Çelik vd., 2015).

Dikey bahçe uygulamalarında kullanılacak bitki türlerinin seçimi; bitkilerin estetik nitelikleri, bitkilerin içinde bulunacağı yaşam ortamı, yapı yüzeyinin konumu, uygulamanın yapılacağı bölgenin iklim koşulları, güneş ışınlarının yönü ve yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Akdeniz ve Zencirkıran, 2013; Kanter, 2013; Ekren, 2016). Dikey bahçelerde kullanılacak bitki türlerini belirlerken, bölgesel iklim verilerinin detaylı analizi önemlidir. Yağışı az olan alanlarda, kuraklığa dayanıklı bitki türlerinin kullanımı esastır. Güney cepheler için güneşe toleranslı, kuzey cepheler için ise soğuğa ve gölgeye uyumlu bitki seçimleri yapılmalıdır (Seçkin, 2011; Erdoğan ve Khabbazi 2013). Bitkilerin seçiminde aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır:

- ✓ **Gelişim özellikleri:** Bitkilerin gelişim gücü, büyüme yönü ve boyanma potansiyeli dikkate alınmalıdır.
- ✓ **Alan sınırlılığı:** Yapı yüzeylerinde sınırlı hacimlerde gelişebilmeleri ve boyanmalarının kontrol altında tutulması gereklidir.
- ✓ **Ekolojik uyum:** Türlerin çevresel koşullara uyum sağlaması ve diğer bitkilerle birlikte yaşayabilmesi önemlidir.
- ✓ **Kök sistemi:** Yayılmayan, yapıya zarar vermeyen kök yapısına sahip türler tercih edilmelidir.
- ✓ **Büyüme karakteri:** Agresif olmayan ve kontrollü büyüme özelliği göstermelidir.
- ✓ **Tutunma kapasitesi:** Dikey yüzeylerde tutunabilme yeteneği bulunmalıdır.
- ✓ **Su ihtiyacı:** Düşük su tüketimi olan türler seçilmelidir.

Bu kriterlere uygun bitki türlerinin seçimi yüksek ekolojik uyum sağlarken aynı zamanda, dikey bahçe sistemlerinin kurulum ve bakım maliyetlerini de azaltmaktadır (Kanter, 2014; Çelik vd., 2015).

Ayrıca bitki türlerinin seçiminde, dikey bahçe tasarımının amaç ve hedefine uygun tercihlerin yapılması da gerekmektedir. Dikey bahçenin tasarım amacı; gürültüyü engellemek gibi fonksiyonel bir amaç olabileceği gibi hava kalitesini arttırmak gibi ekolojik bir yaklaşım veya kötü görüntüyü perdelemek ya da vurgu oluşturmak gibi estetik bir yaklaşımı da içerebilmektedir.

Belirlenen amaca göre kullanılan bitki türleri de bu doğrultuda farklılıklar sergilemektedir (Akdeniz ve Zencirkıran, 2013; Ekren, 2016).

8. Kurakçıl Bitkilerle Sürdürülebilir Dikey Bahçe Uygulamaları

Son yıllarda etkisini her geçen gün daha fazla hissettiren ve dünya genelinde ciddi sonuçlara yol açan iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması, kentsel yeşil altyapı uygulamalarında suyun etkin kullanımı, çevresel değerlerin korunması ve kentsel sürdürülebilirliğin sağlanmasında su etkin peyzaj uygulamaları kapsamında Kurakçıl Peyzaj (Xeriscape) belirleyici bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Kaylı ve Güneş Gölbe, 2020; Damar ve Çetinkale Demirkan, 2025). Kurakçıl peyzaj anlayışı yalnızca geniş ölçekli açık alan uygulamalarıyla sınırlı kalmamakta, farklı mekânsal ölçeklerde de uygulanabilmektedir. Bu yaklaşımın temelini oluşturan az su tüketimi, uygun tür seçimi, doğal bitkilere öncelik verilmesi gibi ilkeler, küçük ölçekli kentsel tasarım bileşenlerine de entegre edilebilmektedir. Özellikle dikey bahçeler gibi sınırlı alanlarda yeşil doku oluşturmayı hedefleyen sistemlerde, kurakçıl bitki türleri bu ilkelerin doğrudan uygulanabileceği bir araç niteliği taşımaktadır. Böylece, kurakçıl peyzajın genel prensipleri dikey bahçelere uyarlanarak hem ekolojik hem de estetik sürdürülebilirlik desteklenmektedir.

Dikey bahçelerde sürdürülebilirlik, özellikle su tasarrufu, bakım kolaylığı ve ekolojik uyum gibi kriterlerle doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda kurakçıl bitkilerin dikey bahçelerde kullanımı ile sınırlı alanlarda dikey peyzaj çözümleri sunan sistemlerde su tüketimi minimize edilerek çevresel kaynakların etkin kullanımına olanak tanınmaktadır. Düşük bakım gereksinimi ve yavaş büyüme özellikleri sergileyen bitkilerin kullanımı ile dikey bahçelerin uzun vadeli işletme maliyetleri azaltılırken, yapısal dayanıklılığı da desteklenebilmektedir (Kanter, 2014; Çelik vd., 2015).

Bölgesel iklim ve çevresel koşullara doğal uyum sağlayan kurakçıl bitkiler, dikey bahçelerde ekolojik sürdürülebilirliği güçlendirip yerel faunaya uygun habitatlar oluşturarak biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkı sunmaktadır (Ekren, 2016; Kalay ve Sarıman Özen, 2021). Ayrıca, bu bitkiler cephe yüzeylerinde gölgeleme, terleme ve buharlaşma yoluyla mikroklimayı düzenleyerek kentsel ısı adası etkisini azaltarak enerji tüketimini de düşürmektedir (Örnek, 2011; Tekin ve Oğuz, 2011).

Kurakçıl bitki türleri estetik açıdan da farklı yaprak formları ve renkleriyle dikey bahçelere görsel çeşitlilik kazandırırken, fonksiyonel olarak da düşük bakım gerektirmeleri ve yüksek dayanıklılık sergilemeleri ile birçok avantaj sağlamaktadır (İlhan vd., 2024). Bu nedenle, dikey bahçelerde kurakçıl bitkilerin tercih edilmesi ile sürdürülebilir peyzaj tasarımının temel ilkeleri somutlaştırılmakta ve kentlerin ekolojik ayak izinin azaltılması sonucu uzun vadeli çevresel sürdürülebilirliğe de katkılarda bulunmaktadır.

9. Dikey Bahçe Uygulamalarında Kullanılan Bazı Kurakçıl Bitkiler

Çorbacı vd. (2017) tarafından Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için önerilen kurakçıl peyzaj bitki türleri listesiyle birlikte, literatürde yer alan dikey bahçelerde kullanılan bitkilere ilişkin çeşitli kaynaklardan (Çelik vd., 2015; Tabu, 2019; Gür ve Kahraman, 2022) yararlanılarak, Türkiye genelinde dikey bahçe uygulamalarında kullanılabilecek kurakçıl bitkilere yönelik bir liste oluşturulmuştur. Tablo 1'de, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde dikey bahçe uygulamalarında değerlendirilmek üzere önerilen bazı kurakçıl bitki türleri sunulmuştur.

Tablo 1. Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde dikey bahçe uygulamalarında değerlendirilmek üzere önerilen bazı kurakçıl bitki türleri

Latince Adı	Latince Adı	Latince Adı
<i>Ajuga reptans</i>	<i>Cotoneaster horizontalis</i> L.	<i>Lonicera caprifolium</i>
<i>Aloe vera</i>	<i>Cotoneaster microphyllus</i> Wall. ex. Lindl	<i>Lonicera pileata</i>
<i>Artemisia schmidtiana</i>	<i>Cotoneaster salicifolius</i> Franch.	<i>Lonicera tatarica</i>
<i>Aster alpinus</i> L.	<i>Cupressocyparis leylandii</i>	<i>Parthenocissus quinquefolia</i>
<i>Astilbe japonica</i> L.	<i>Dianthus barbatus</i> L.	<i>Philadelphus coronarius</i>
<i>Aucuba japonica</i>	<i>Dianthus caryophyllus</i> L.	<i>Pittosporum tobira nana</i>
<i>Begonia x semperflorens</i> Hook.	<i>Dianthus plumarius</i> L.	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.
<i>Berberis julianae</i> Schneid	<i>Euonymus fortunei</i>	<i>Salvia argentea</i> L.
<i>Berberis thunbergii</i> "Atropurpurea"	<i>Euonymus japonica</i>	<i>Salvia farinacea</i> L.
<i>Berberis thunbergii</i> DC.	<i>Gazania linearis</i> Thunb.	<i>Salvia nemorosa</i> L.
<i>Bergenia cordifolia</i> (Haw.) Sternb.	<i>Gomphrena globosa</i>	<i>Salvia splendens</i> L.
<i>Brassica oleracea</i>	<i>Hedera helix</i>	<i>Sedum acre</i>
<i>Buxus sempervirens</i>	<i>Hydrangea arborescens</i> L.	<i>Sedum album</i> L.
<i>Campanula carpatica</i> Jacq.	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	<i>Sedum spectabile</i> Bor.
<i>Campanula rotundifolia</i> L.	<i>Jasminum nudiflorum</i>	<i>Taxus baccata</i> L.
<i>Campsis radicans</i>	<i>Juniperus chinensis</i>	<i>Thuja occidentalis</i> L.
<i>Catharanthus roseus</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Vinca minor</i> L.
<i>Cotoneaster bullatus</i> Boiss.	<i>Juniperus sabina</i>	<i>Wisteria sinensis</i>
<i>Cotoneaster franchettii</i> Boiss.	<i>Lavandula angustifolia</i>	

Sonuç ve Öneriler

Kentleşmenin hızla artması, ekolojik dengenin bozulması ve iklim değişikliğinin yarattığı kuraklık riskleri, kentsel yeşil altyapı bileşenlerinde sürdürülebilir çözümlere duyulan ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır. Bu kapsamda dikey bahçeler, sınırlı alanlarda yeşil alan oluşturmayı sağlayan yenilikçi sistemler olarak, ekolojik, estetik ve fonksiyonel katkılarıyla öne çıkmaktadır. Özellikle kurakçıl bitkilerin dikey bahçe uygulamalarında kullanılması hem su tasarrufu hem de uzun vadeli bakım kolaylığı sağlayarak sürdürülebilir peyzaj tasarımlarının oluşturulmasını desteklemektedir. Ayrıca, bu türlerin ekolojik uyum ve dayanıklılık özellikleri, kentlerde biyolojik çeşitliliğin korunması ile mikroklimatik düzenlemelere katkıda bulunarak çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmektedir.

Bu çalışma ile dikey bahçelerde kurakçıl bitki türlerinin kullanımının su yönetimi, enerji tasarrufu ve ekosistem hizmetlerinin çeşitlendirilmesi açısından stratejik bir yaklaşım sunduğu ortaya konulmuştur. Estetik açıdan da farklı yaprak formları, dokuları ve renkleriyle kurakçıl bitki türleri, dikey bahçelerin görsel çeşitliliğini artırarak kent estetiğine önemli katkılar da sağlamaktadır.

Sonuç olarak, kurakçıl bitkilerle tasarlanan dikey bahçeler, kentlerde suyun akılcı kullanımını teşvik eden, ekolojik dengeyi destekleyen ve sürdürülebilir yaşam alanları oluşturan stratejik bir peyzaj yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, iklim değişikliğine dirençli, sürdürülebilir ve estetik açıdan zengin kentlerin oluşturulmasında önemli bir araç niteliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Acar, C. ve Acar, H., 2020.** Kentsel Mekanlarda Biyofilik Peyzaj Yaklaşımları ve Yeşil Altyapı: Singapur Örneği, PEYZAJ - Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi, 1:33-45
- Akdeniz, N. S. ve Zencirkıran, M., 2013.** Tasarımda Farklı Bir Yaklaşım Dikey Bahçeler. V. Süs Bitkileri Kongresi, Yalova, s. 445-451
- Akgedik, S.A., Akat, H. ve Çetinkale Demirkan, G., 2025.** Köyceğiz Kulak Mesire Alanı Örneğinde Su Etkin Uygulamaların İrdelenmesi. Bahçe 54 (Özel Sayı): 183-191
- Aygencel, M., 2011.** Dikey Yeşil Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon, 400 s.
- Beyhan, M., 2014.** Dikey Bahçelerde Yapı Sistemleri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 309 s., İstanbul
- Çelik, A., Ender, E. ve Zencirkıran, M., 2015.** Dikey Bahçe ve Türkiye'deki Uygulamaları. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 8 (1): 67-70
- Çerçil, S. ve Yüksel, Ç. Y., 2019.** Bina Cephelerinde Uygulanan Dikey Bahçe Sistemleri, Ereğli Uluslararası Bilim ve Akademi Kongresi, 9-10 Mart 2019, bildiriler kitabı, cilt:1, s:141-147, Ereğli, Konya
- Çetinkale Demirkan, G. ve Akat, H., 2017.** Kurak Bölgelerde Su Etkin Peyzaj Düzenlemeleri Yaklaşımıyla 'Xeriscape'. 3Rd ASM International Congress of Agriculture and Environment, 16-18 November 2017, s: 9-18, Antalya-Turkey
- Çetinkale Demirkan, G. ve Akat, H., 2024.** Suyun Sürdürülebilir Kullanımı Kapsamında Kurakçıl Peyzaj Yaklaşımı Değerlendirmeleri. Bidge Yayınları, Mimarlık, Planlama ve Tasarımda Güncel Yaklaşımlar, s: 87-105
- Çetinkale Demirkan, G., 2025.** Sürdürülebilir Su Yönetimi Kapsamında Yağmur Suyu Toplama: İstanbul Petekent Örneği. International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal, 11(5): 737-748
- Çetinkale Demirkan, G., Turhan Eren, İ. ve Adem, R., 2025.** Bir Kurakçıl Peyzaj Tasarımı: Nefes Park Örneği, Kent Akademisi Dergisi, 18(5):3002-3027
- Çöp, S., ve Akat, H., 2021.** Kurakçıl Peyzaj Çalışmalarında Bitkisel Uygulamalar: Muğla-Sarıgerme Halk Plajı Örneği. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2): 263-277
- Damar, M. ve Çetinkale Demirkan G., 2025.** Küresel Isınma ve İklim Değişikliği Üzerine Toplumsal Bilinç: Niğde Kent Merkezi Örneği. Uluslararası Yıldırım Bayezid Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Sempozyumu, 9-10 Mayıs, Tam Metin Bildiri Kitabı 2: 160-166.
- Çorbacı, Ö. L., Yazgan, M. E. ve Özyavuz, M., 2017.** Kurakçıl peyzaj (xeriscape) ve uygulamaları, Karakayalar Matbaa, 1. Baskı, Edirne, 136 sayfa. ISBN:978-605-030-618-7

- Dedei Dündar, Ö. ve Demir, Z., 2021.** Düzce Kentinde Dikey Bahçe Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9: 1949-1969
- Ekren, E., 2016.** Dikey Bahçe Tasarım ve Uygulama İlkelerinin Dünya ve Türkiye Doğrultusunda İncelenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 78 s., Kahramanmaraş
- Erdoğan, E. ve Khabbazi, P. A., 2013.** Yapı Yüzeylerinde Bitki Kullanımı, Dikey Bahçeler ve Kent Ekolojisi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 6 (1): 23-27
- Erdoğan, E., 2014.** Düşey Yeşil Sistemlerin Enerji Etkinliklerinin Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s., İstanbul
- Güney Başkan, S., 2019.** İstanbul'da Uygulanan Dikey Bahçe Örneklerinin Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 141s., Bartın.
- Gür, N. ve Kahraman, Ö., 2020.** İzmir Kent Merkezi Kamusal Alanlardaki Dikey Bahçe Uygulamaları ve Potansiyel Alanlar. 9. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi-Fen ve Mühendislik Bilimleri, 12-13 Aralık, s: 245-256, Ankara
- Gür, N. ve Kahraman, Ö., 2022.** Dikey Bahçelerin Kentsel Biyoçeşitliliğe Etkisi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10:342-355
- İlhan, Ö., Akat, H. ve Saraçoğlu, Ö. A., 2024.** Kurakçıl Peyzaja Dönüşüm Projesi Kapsamında Gerçekleştirilen Bitkisel Uygulamalar: Muğla-Ortaca İlçesi Örneği. International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR), 11(104): 570-582
- İpekçi, C. A. ve Yüksel, E., 2012.** Bitkilendirilmiş Yapı Kabuğu Sistemleri, 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12 – 13 Nisan, bildiriler kitabı, s: 49-60, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa
- Kalay, F., 2019.** Patrick Blanc'ın Dikey Bahçe Tasarımlarının Tasarım İlkeleri Doğrultusunda İrdelenmesi, MSGSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Kalay, F. ve Sarıman Özen, E., 2021.** Dikey Bahçe Uygulamalarının Yaşanabilir Çevreye Sunduğu Katkılar. Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi, 4 (2): 64-77
- Kanter, İ., 2013.** Kentleşme ile Birlikte Yatay Bahçelerden Dikey Bahçelere Dönüşüm, Peyzaj Mimarlığı 5. Kongresi, 14-17 Kasım 2013
- Kanter, İ., 2014.** Kentsel Tasarımda Dikey Bahçeler. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 138 s.
- Kaylı, A. ve Güneş Gölbe, A., 2020.** Yeşil Altyapı ve Yeşil Bina Bileşeni Olarak Kurakçıl Peyzaj Uygulamaları, Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 57 (2):303-311
- Kaynakçı Elinç, Z., 2007.** Batı Anadolu'da Helenistik Roma Dönemleri'nde Bahçe Mimarisi, Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Arkeoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 106s., Antalya

- Kemaloğlu, A. ve Yılmaz, O., 1991.** Cephe Yeşillendirmesinin Kent Ekolojisine Katkıları. *Peyzaj Mimarlığı Dergisi*, 2 (30): 52-54
- Kırt, N. ve Sağlık, A., 2018.** Kentsel Peyzaj Tasarımında Dikey Bahçe Uygulamaları. *Uluslararası Hakemli Tasarım ve Mimarlık Dergisi*, 13: 161-179
- Koç, N. ve Güneş, S. G., 1998.** Çatı Bahçelerinde Bitkisel Düzenleme Esasları, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fak. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4: 625-633
- Laskow, S., 2012.** The world's largest vertical garden is as long as a city block, <https://grist.org/cities/the-worlds-largest-vertical-garden-is-as-long-as-a-city-block/> (Erişim Tarihi: 25.09.2025)
- Loh, S., 2008.** Living Walls-A Way to Green the Built Environment. *BEDP Environment Design Guide*, 1: 1-7
- Morollo, M. K., 2018.** 10 Ways to Create an Uplifting Vertical Garden. *Dwell*: Erişim adresi (19.09.2025): <https://www.dwell.com/article/10-ways-to-create-an-uplifting-vertical-garden-310d2f5e>
- Osmanlioğlu, Z. ve Asilsoy, B., 2021.** Dikey Bahçe (Yeşil Duvar) Uygulamalarının Kentsel Peyzaj Açısından Değerlendirilmesi, *Yakın Mimarlık Dergisi*, 5(1): 104-122
- Örnek, M. A., 2011.** Dikey Bahçe Tasarım Sürecinde Kullanılabilecek Örnek Tabanlı Bir Tasarım Modeli Önerisi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 69 s., İstanbul
- SBR, 2025.** World's Largest Vertical Garden, Singapore Book of Records (SBR). <https://singaporerecords.com/worlds-largest-vertical-garden/> (Erişim Tarihi: 23.09.2025)
- Seçkin, P., 2011.** Güneşe Yaklaşan Yeşil Örtüleri Algıların Mimarlıkta Malzeme. *TMMOB Mimarlar Odası, İstanbul Büyükşehir Şubesi Yayını*, 6 (20): 42-50
- Shewek, S. ve Magdy, A., N., 2011.** The Living Walls as an Approach for A Healthy Urban Environment, *Energy Procedia*, 6: 592-599
- Tabu, N., 2019.** Kentlerde Alternatif Bir Yeşil Alan Modeli Olarak Dikey Bahçelerin İrdelenmesi; Akdeniz Bölgesinde Uygulanabilecek Alanlar ve Kullanılabilecek Bitkilerin Araştırılması. *Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 134 s., Hatay
- Tekin, Ç. ve Oğuz, C. Z., 2011.** Yapı ile Yükselen Yeşil Duvarlar, *New World Sciences Academy* 6(4): 1241-1249
- Tohum, N., 2011.** Sürdürülebilir Peyzaj Tasarım Aracı Olarak Yeşil Çatılar. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 82 s.
- Tong, J., 2013.** Living Wall: Jungle the Concrete, DesignMedia Publishing Limited.
- Turhan Eren, İ. ve Çetinkale Demirkan G., 2025.** Antik Mısır'da Mimari ile Bahçe Sanatının Simgesel ve Estetik Birliği. *Uluslararası Yıldırım Bayezid Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Sempozyumu*, 9-10 Mayıs, Tam Metin Bildiri Kitabı, 1: 121-132

- Tülek, B. ve Ersoy Mirici, M., 2019.** Kentsel Sistemlerde Yeşil Altyapı ve Ekosistem Hizmetleri, PEYZAJ - Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi, 2:1-11
- Tzortzi, N., Georgi, J. ve Sophocleous, J., 2018.** The Green Wall As Sustainable Tool in Mediterranean Cities: The Case Study of Limassol, Cyprus. Wseas Transactions on Environment and Development, 14: 270-271
- Yazgan, M. E ve Khabbazi, P. A., 2013.** İç ve Dış Mekanlarda Dikey Bahçe Uygulamaları, V. Süs Bitkileri Kongresi, 6-9 Mayıs 2013, bildiriler kitabı, s.27-33, Yalova
- Yüksel, N., 2013.** Dikey Bahçe Uygulamalarının Yurtdışı ve İstanbul Örnekleri ile İr-delenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Anabilim Dalı, Yüksek Lisan Tezi,132 s., İstanbul



TARIM SEKTÖRÜNDE ARZ VE ARZ ESNEKLİĞİ

“ ”

Nural YILDIZ¹

¹ Doç.Dr., Trakya Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, ORCID: 0000-0002-4513-4737

Ekonomi, kıt kaynaklar ile insanların sınırsız olan ihtiyaçlarını, isteklerini karşılama uğraşı içerisinde. İnsanlar yaşamlarını devam ettirebilmek için temel mal ve hizmetlere ihtiyaç duyarlar. Bu mal ve hizmetlerin başında da tarımsal ürünler gelir. Ekonomi aynı zamanda kıt kaynakların hangi ihtiyaçların giderilmesinde kullanılması gerektiğini inceleyen sosyal bir bilimdir. Dolayısıyla ekonomi bir tercih bilimidir. Örneğin, belirli bir araziye sahip üretici, arazisinde ne ekileceğine karar verirken bir tercihle karşı karşıya kalır. Kaynak kıt, fakat ekilebilecek ürün çeşidi fazladır. Tarımsal üreticilerin doğru kararı vermesi, doğru tercihi yapabilmesi için piyasa hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Piyasayı belirleyen faktörlerden birisi hiç kuşkusuz arzdır. Bu yüzden üreticiler piyasada arz koşullarını bilmesi gerekir.

1.GİRİŞ

Sadece ulusal değil, küresel gıda ihtiyaçlarını öngörmek, artan talebi karşılamak için doğal ve tarımsal kaynakları yönetmek ve ekonomik istikrarsızlık ve fiyatların savunmasız nüfusları nasıl etkilediğini değerlendirmek açısından tarımsal arzın bilinmesi ve istikrarı son derece önemlidir.

2050 yılına ait gıda talebine dair yayınlanmış tahminler, çok çeşitli değerler sergilemektedir. 2019 ile 2050 yılları arasında toplam küresel gıda talebinde %50-60'lık bir artış öngörülmektedir (Falcon v.d. 2022). Dolayısıyla arzın bu talep artışını karşılaması gerekir. Aksi taktirde dünyada var olan ve giderilemeyen açlık sorunu daha da artabilir.

BM Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) şemsiyesi altında 1962 yılında kurulmuş olan, Almanya'da kar amacı gütmeyen en büyük yardım kuruluşlarından biri olan Welthungerhilfe (WHH) ve 1968 yılında kurulmuş olan İrlanda'nın en büyük insani yardım kuruluşu olan Concern Worldwide her yıl Küresel Açlık Endeksi (GHI) yayınlamaktadır.

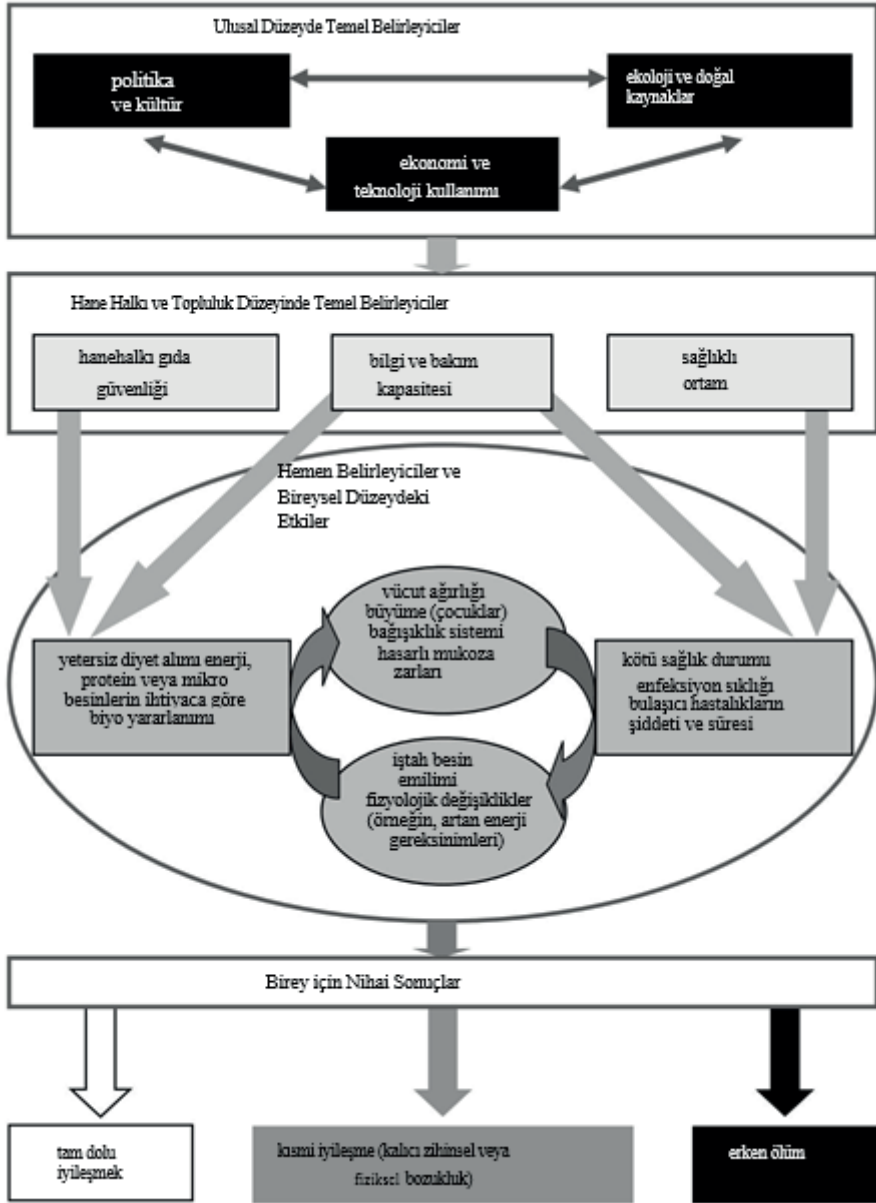
GHI, yetersiz beslenen nüfusun oranı (yüzde olarak), beş yaş altı çocuklarda düşük kilolu olma yaygınlığı (yüzde olarak) ve beş yaşından önce ölen çocukların oranı (yüzde olarak) olarak üç alt endeksin bileşenidir. Her üç endeks bileşeni de yüzde olarak ifade edilmiştir ve temel bileşenler analizinin sonuçları eşit ağırlıklandırmayı göstermektedir. Endeks, minimum 0 ile maksimum 100 arasında değişmektedir. Daha yüksek GHI puanları daha fazla açlığı gösterir (Wiesmann. 2006:8).

Somali, Yemen, Çad ve Madagaskar, 2024 GHI puanları en yüksek olan ülkelerdir; Burundi ve Güney Sudan da geçici olarak endişe verici olarak belirlenmiştir. Somali ve Çad, çatışma, iklim değişikliği ve ekonomik durgunlukların artan etkileriyle karşı karşıyadır. Yemen, özellikle çatışma ve iklim aşırılıklarından etkilenirken, Madagaskar iklim değişikliğinin yol açtığı olağanüstü zorluklarla karşı karşıyadır (GHI. 2024:8)

Birleşmiş Milletlerin bünyesinde faaliyet gösteren beş uzman kuruluş tarafından yayımlanan Dünyada *Gıda Güvenliği ve Beslenmenin Durumu* (SOFI 2025) raporu, sağlıklı beslenmenin maliyeti ve karşılanabilirliği hakkındaki güncel tahminler de dahil olmak üzere dünya çapında açlık, gıda güvenliği ve beslenmeyle ilgili en son verileri ve analizleri sunmaktadır. Buna göre 2024 yılında dünya nüfusunun %8,2'si, yani yaklaşık 673 milyon kişi açlıkla mücadele etti. Bu oran 2023'te %8,5, 2022'de ise %8,7 düzeyindeydi. Ancak, bu iyileşme dünyanın her bölgesine eşit şekilde değildir. Afrika ve Batı Asya'nın pek çok bölgesinde açlık artmaya devam etmiştir. Yine aynı rapora göre 2024'te 638 ila 720 milyon insan açlıkla karşı karşıyadır (SOFI Report: 2025). Bu sonuç Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri içerisinde yer alan 2030 yılına kadar açlığa, gıda güvensizliğine ve her türlü yetersiz beslenmeye son vermek hedeflerinin çok uzağındadır.

Açlığın belirleyicileri, etkileri ve sonuçları için kavramsal bir çerçeve Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1: Açlık ve yetersiz beslenmenin belirleyicileri, etkileri ve sonuçları



Kaynak: Wiesmann D. (2006). A Global Hunger Index: Measurement Concept, Ranking of Countries, and Trends. Food Consumption and Nutrition Division Discussion Paper 212. December 2006

Şekil 1’de de görüldüğü gibi, ulusal düzeydeki temel belirleyiciler, ekonomi ve teknoloji kullanımı, politika ve kültür ile ekoloji ve doğal kaynak zenginliğidir. Bu belirleyiciler, hane halkı ve toplum düzeyindeki temel belirleyicilerle etkileşim halindedir. Hane halkı ve toplum düzeyindeki belirleyiciler ise; hane halkı gıda güvenliği, bakım kapasitesi ve bilgisi ve sağlık ortamlarıdır. Bu üç alanın tamamında veya bir kısmındaki yetersizlikler, hane halkını hızla yetersiz beslenme, kilo kaybı ve bağışıklık sisteminin zayıflaması, enfeksiyon, iştahsızlık ve ateş gibi fizyolojik değişikliklerden oluşan kısır bir döngüye sokabilir. Sonuçta birey, tam iyileşme veya kalıcı bozukluk (örneğin A vitamini eksikliğinden kaynaklanan körlük veya çocuklarda geri dönüşümsüz büyüme geriliği) veya ölümle karşı karşıya kalabilir.

2. TARIMSAL ARZ ve ESNEKLİK

Bütün piyasalarda olduğu gibi, tarım piyasasında da fiyat oluşumunu açıklayabilmek için, tarımsal ürün talebinin yanında tarımsal ürün arzının da açıklanması gereklidir. Çünkü, piyasalarda fiyat belirlenirken bir tarafta talep cephesi, bir tarafta da arz cephesi yer alır. Aynı zamanda tarımsal arzın esnekliği de bu süreçte önemli etkidir.

2.1 Tarımsal Arz

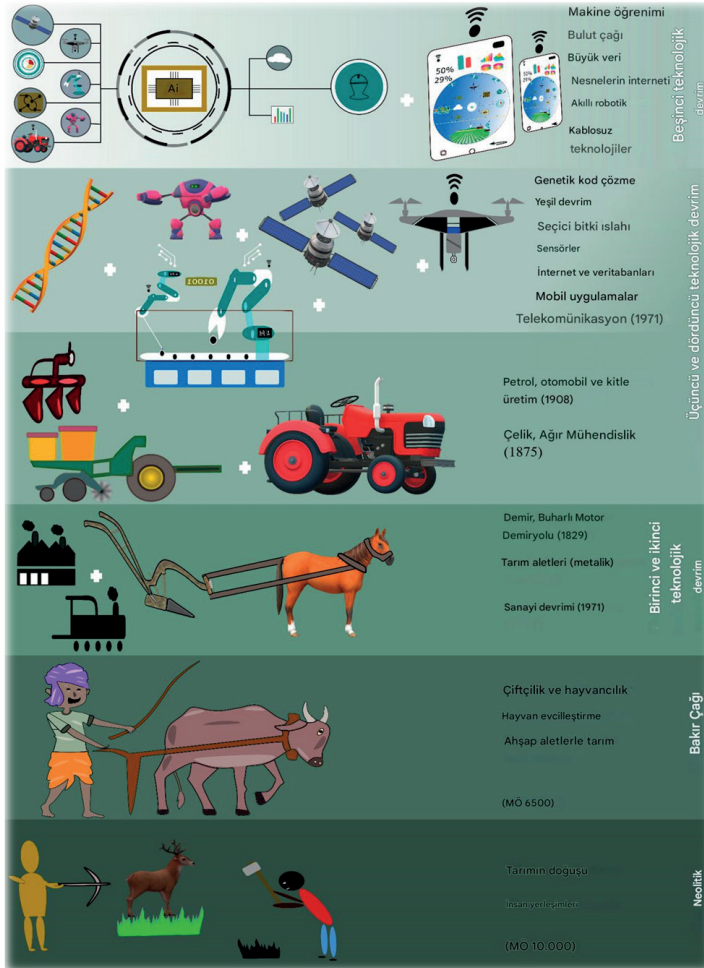
Tarımsal ürün arzı, diğer sektörlerin arzından bazı yönleriyle farklılık gösterir. Tarımsal ürün arzının kendine has özellikleri vardır. Bunların başlıcaları;

- Tarımsal ürün arzı, tarım sektörünün temel özelliklerinden biri olan doğa koşullarının ve iklimin etkisi altındadır. Bu etki sadece ürünün bol veya kıt olması şeklinde ortaya çıkmaz. Aynı zamanda ürünün kalitesini, cinsini ve ürün çeşitliliği üzerinde de etkilidir.
- Tarımsal ürünlerin arzı kesikli ve mevsimseldir. Örneğin, sanayi sektöründe olduğu gibi sürekli değildir. Üretimin belirli aşamaları, yılın belirli dönemlerinde gerçekleştirilir. Yılın belirli dönemlerinde ekme, sulama, gübreleme ve hasat gibi işler yapılır.
- Tarım kesiminde üretim ikili bir yapıya sahiptir. Üretim ile arz farklıdır. Çünkü, üretilen ürünlerin bir kısmı üreticinin kendi tüketimini karşılamak, gelecek yılın ekimi için tohumluk ya da damızlık olarak ayrılmaktadır. Dolayısıyla üretimin tamamı piyasaya arz edilmemiş olur.
- Üretim dönemlerinin tarımsal ürün arzı üzerindeki etkisi, diğer sektörlerdeki ürün arzına olan etkisinden farklıdır. Çünkü tarımsal üretici canlı varlıklarla karşı karşıyadır. Örneğin, bir süt ineğinin süt verir konuma gelmesi için belirli bir zamanın geçmesi gerekir.
- Tek bir tarımsal ürünün arz esnekliği ile toplam tarımsal ürünlerin arz esnekliği farklıdır. Tek bir tarımsal ürünün arzı, toplam tarımsal ürünle-

rin arzına göre daha esnektir. Bunun nedeni, tek bir tarımsal ürünün ikamesinin olmasıdır. Buğday fiyatının düşmesi sonucunda, buğday üreticisi arpa veya yulaf gibi başka ürünlerin ekimine ağırlık verebilir.

Tarımsal ürün arzını etkileyen önemli faktörlerden biri de sanayi sektöründeki gelişmelerdir. İki sektör birbirini hem arz yönüyle hem de talep yönüyle etkileyebilmektedir. Aşağıdaki şekil 2’de sanayi devrimlerinin tarımsal açıdan bir gösterimi yer almaktadır.

Şekil 2. Tarımsal açıdan sanayi devrimlerinin zaman içindeki bir gösterimi.



Kaynak: Martos, V. Ahmad, A. Cartujo, P. Ordoñez, J. (2021). Ensuring Agricultural Sustainability through Remote Sensing in the Era of Agriculture 5.0. *Applied Sciences* Volume 11 Issue 13. P:2.

Şekil 2’de her teknolojik çağın temsili olayları/teknolojileri belirtilmiştir. Ancak süreç bunlarla sınırlı değildir. Tarım, Neolitik dönemden sonra, insanın tahta aletler kullanarak ve hayvanları evcilleştirerek tarıma başladığı Bakır Çağında başlamış olsa da, daha sonra ürün yetiştirmek için metalik ekipmanların kullanılmasıyla bir devrim yaşanmış ve bu dönem ilk tarım devrimi olarak sınıflandırılmıştır (Martos v.d. 2021:2).

Her ne kadar sanayi devrimleri tarımın gelişimine etki ettiyse de, tarım devrimleri de sanayi sektörünün gelişmesine etki etmiştir. İki sektör etkileşim içerisinde. Aynı zamanda tarım devrimleri ekonomik yapıyı, sosyal yapıyı ve uluslararası ticareti de değiştirmiş ve dönüştürmüştür.

Sanayi devrimleri, teknolojiadaki gelişmeler, verimlilik artışları gibi faktörler tarımsal üretimi, artan küresel nüfusun gıda ihtiyacını karşılamada önemli ölçüde iyileştirmiştir. Ancak bu ilerleme, çoğu zaman su kıtlığı, toprak bozulması, ekosistemler üzerinde baskılar, biyolojik çeşitliliğin kaybı, balık ve orman popülasyonunda azalma, yüksek sera gazı emisyonları gibi sosyal ve çevresel sonuçlarla birlikte gerçekleşmektedir (FAO.2018:4). Bu da tarımsal üretimdeki artışı yavaşlatmaktadır.

Son araştırma istatistikleri, tarımsal üretimdeki büyümenin önemli ölçüde durduğunu ortaya koymaktadır. Dünya genelinde yetiştirilen başlıca tahıl ürünlerinin yıllık verimi yalnızca %1 civarındadır ve bu, dünya nüfus artış hızından çok daha düşüktür. Gelecekteki ihtiyaçları karşılamak ve artan kentleşmiş nüfusu beslemek için ekili alanları genişletmek, daha yüksek gıda talebiyle mümkün görünmemektedir. Dahası, küresel nüfus artışı, yerleşim için daha fazla araziye olan talebi de beraberinde getirmiştir. Diğer yandan, iklim değişikliği gibi çeşitli nedenlerle tarımsal üretim azalmaktadır. Bu nedenle, tarımsal verimliliği artırmak tek çözümdür (Hemathilake ve Gunathilake 2022:539).

Tarımsal verimliliği etkileyen birçok sosyo-ekonomik faktör vardır. Bunların bazıları; üreticinin eğitimi, toprak, gübre, zirai mücadele, tarım politikaları, kurumların kalitesi, toprağın işlenmesi, tohum ıslahı, makineleşme, örgütlenme, faktör verimliliği ve iklim değişimi.

2011’den 2021’e kadar dünya tarımsal üretimi yıllık ortalama %1,94 oranında büyüdü; bu oran, bir önceki on yılın %2,74’lük büyümesinden çok daha yavaş. Yavaşlamanın başlıca nedeni, tarımsal toplam faktör verimliliğindeki (TFV) büyüme oranının yavaşlamasıydı. Tarımsal TFV, bir önceki on yıldaki yıllık %1,93 seviyesinden 2011-21 döneminde yıllık %1,14’e geriledi. Verimlilikteki yavaşlamanın etkileri dünya genelinde yaygınlaşmıştır. Dünya tarımsal üretkenliğinin büyüme hızının yavaşlamasına TFV düşüş ile birlikte çeşitli faktörler katkıda bulunmuş olabilir. İklim değişikliği, aşırı hava olaylarının sıklığını artırıyor ve bu da ortalama verimde düşüşe yol açabiliyor (Fuglie v.d. 2023).

Yükselen sıcaklıklar, değişen yağış düzenleri, ekosistem hizmetlerindeki aksamalar ve daha sık görülen aşırı hava olayları, tarımsal verim eğilimlerini giderek daha fazla etkiliyor. Bazı bölgeler daha uzun yetiştirme mevsimlerinden faydalanırken, diğerleri tarıma daha az uygun hale geliyor. Çiftçilerin ekim programlarını ayarlayarak, ürün seçeneklerini çeşitlendirerek ve entegre zararlı yönetimi stratejileri benimseyerek uyum sağlayacağı varsayılıyor. Ancak, uyum kapasitesi bölgeler arasında eşitsiz kalmaya devam ediyor. Bu bağlamda, uluslararası ticaret hayati bir istikrar sağlayıcı rol oynuyor. Gıdanın fazlalık bölgelerinden açık bölgelerine geçişini sağlayarak ticaret, yerel üretim şoklarını tamponlamaya yardımcı oluyor ve böylece hem arz hem de fiyat istikrarını destekliyor (OECD-FAO 2025:23.)

Fuglie v.d. (2024) tarafından hazırlanan, ABD Tarım Bakanlığı'nın ekonomik araştırma servisinin 2024 yılında yayınlamış olduğu raporda, dünya tarımı son altmış yılda (1961-2020) önemli bir dönüşüm geçirdiği belirtilmiştir. Bu dönemde, dünyanın çoğu bölgesi, yeni teknolojilerin ve tarım uygulamalarının geliştirilmesi ve benimsenmesiyle mümkün olan doğal kaynaklara bağımlı bir büyüme yolundan üretkenlik odaklı bir büyüme yoluna geçiş yaptı. Yine bu rapora göre, son 60 yıldaki (1961-2020) dünya tarımsal üretimi, kaynak kullanımı ve verimlilik eğilimlerindeki değişim aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Dünya bitkisel, hayvansal ve su ürünleri üretimi, brüt değeri 1,1 trilyon dolardan 4,3 trilyon dolara (sabit 2015 emtia fiyatlarıyla) dört kat arttı.

- Küresel Güney'de tarımsal üretimin küresel payı 1961'de yüzde 44'ten 2020'de yüzde 73'e yükseldi.

- Küresel tarımsal üretimin bileşimi, talepteki değişikliklere uyum sağlamak üzere kademeli olarak değişti; yağ bitkileri, geniş getirmeyen hayvanlar, sebzeler, meyveler, kuruyemişler ve su ürünleri yetiştiriciliğinde üretim payları ılımlı bir şekilde artarken, kök ve yumru bitkileri, tahıllar ve sığır eti yetiştiriciliğinde üretim payları azaldı.

- Küresel tarım arazileri %8 artarak 4,43 milyar hektardan 4,76 milyar hektara çıktı. Küresel Kuzey'deki tarım arazileri 260 milyon hektar azalırken, Küresel Güney'de 597 milyon hektar artarak 336 milyon hektar net kazanç elde edildi.

- Sulama alanları 1961-2020 yılları arasında 2,3 kat artarak 343 milyon hektara ulaştı; tarımda su kullanımı artık toplam küresel tatlı su çekiminin yaklaşık yüzde 70'ini oluşturuyor.

- Dünya çapında çiftliklerde çalışan işgücü 2003 yılında 1,06 milyar kişiyle zirveye ulaşmış, ancak daha sonra 2020 yılına gelindiğinde 841 milyon kişiye düşerek yaklaşık 600 milyon çiftlikte istihdam edilmiştir.

- Sentetik gübrelerin, özellikle azotun kullanımı 1960'lardan 1980'lere kadar hızla yaygınlaştı; 1990'lardan bu yana ise tarımsal üretimle hemen hemen aynı oranda arttı.

- Yem konsantrelerinin, özellikle protein yoğun yağ bitkileri ve kaba yemlerin kullanımı, giderek daha önemli bir hayvan beslenmesi kaynağı haline geldi. Bu da geniş getirmeyen hayvanlar, kümes hayvanları ve çiftlik balıkları için temel yem maddesi haline geldi.

- Tarımsal toplam faktör verimliliği (TFV), bir sektörün toplam çıktısını, arazi, emek, sermaye ve malzemelerin toplam girdilerine göre ölçer. Dünya tarımsal TFV büyüme oranı, 1961'den 2010'a kadar geçen on yıllar boyunca artarak, 1961-70 döneminde yıllık %0,1'in altından, 2001-10 döneminde yıllık ortalama yaklaşık %2,0'ye yükselmiştir. Tarımsal TFV büyümesi daha sonra 2011-20 döneminde yıllık ortalama %1,1'e gerilemiştir.

- Tarımsal TFV'deki artışlar, tarımda doğal kaynak kullanımının yoğunluğunu azalttı; 1990 ile 2020 yılları arasında, küresel ortalama kullanılan arazi miktarı ve birim tarımsal çıktı başına salınan sera gazı miktarı yarı yarıya veya daha fazla azaldı.

- Sahra Altı Afrika, tarımsal verimlilikte dünyanın geri kalanının gerisinde kalmıştır; tarımsal araştırma ve geliştirmeye yetersiz yatırım, çiftçilerin yeni teknolojilere ve pazarlara sınırlı erişimi ve zayıf tarımsal yayım sistemleri, bu bölgedeki çiftlik verimliliğini artırmanın önündeki başlıca kısıtlamalardan birkaçıdır.

Aşağıdaki tablo 1'de de tarımsal üretimde önemli ülkeler verilmiştir. Nüfusun yüksek olduğu Çin, Hindistan gibi ülkeler tarımsal üretimde de ilk sıralarda yer almaktadırlar. Çünkü, nüfusu besleyebilmek için gıdaya ihtiyaç vardır. Bunu da sağlayan yegane sektör tarımdır.

Tablo 1. Dünya Tarımsal Üretiminde En Büyük 20 Ülke (2023, Milyon \$)

Sıra	Ülkeler	Tarımsal Üretim
1	Çin	1.690.784
2	Hindistan	536.933
3	ABD	459.955
4	Brezilya	281.740
5	Endonezya	143.881
6	Rusya Federasyonu	95.598
7	Türkiye	89.467
8	Fransa	86.011
9	Japonya	84.835
10	Meksika	79.262
11	Pakistan	63.654
12	Kanada	61.125
13	Almanya	60.376
14	İspanya	57.950
15	İtalya	55.938
16	Avustralya	54.787
17	Vietnam	54.400
18	Tayland	44.488
19	Kore Cumhuriyeti	41.572
20	Ukranya	33.024
	Dünya	5.091.978

Kaynak: FAOSTAT verilerinden yazar tarafından derlenmiştir.

Aşağıdaki tablo 2’de dünya üretiminde önemli yeri olan tarımsal ürünlerin üretim düzeyleri verilmiştir. Tabloda da görüleceği gibi birincil ürünler kısmında tahıl üretimi ön plana çıkmaktadır. Tahıl üretiminde de mısır ilk sırada yer almaktadır. Mısır, biyo yakıtlardan hayvan yemine kadar gıda dışındaki sektörlerde de yaygın olarak kullanıldığı için, diğer başlıca tahıllara kıyasla en yüksek üretime 2000 yılından bu yana en hızlı büyümeye (+%97) sahip olmuştur.

Dünyada 2022 yılı verilerine göre en büyük mısır üreticileri sırasıyla ABD, Brezilya ve Çin olmuşlardır. Aynı döneme ait dünya buğday üreticileri ise sırasıyla Çin, Hindistan ve Rusya Federasyonu’dur. Pirinç üretiminde de Asya kıtası ön plana çıkmaktadır. Çin, Hindistan ve Bangladeş pirinç üretiminde ilk üç sırada yer alan ülkelerdir. Sorgun üretiminde ise Afrika kıtası ilk sırada yer almaktadır. Önemli üreticiler sırasıyla Nijerya, Sudan ve ABD’dir.

FAO’nun 2022 yılı verilerine göre, şeker kamışı üretiminde Brezilya lider konumdadır. Bu ülkeyi Hindistan, Çin, Pakistan ve Tayland takip etmektedir. Şeker pancarında ise dünyada daha dengeli bir dağılım vardır. Bununla

birlikte üretimde Rusya Federasyonu, Fransa, ABD, Almanya ve Türkiye ön plana çıkan ülkelerdir.

Tablo 2. Dünyada Tarımsal Ürün Üretimine Genel Bir Bakış 2022

Sıra	Birincil Ürünler Grubu	Üretim Miktarları
1	Tahıllar - Mısır - Buğday - Pirinç	3,1 milyar ton -1,2 milyar ton -808 milyon ton - 776 milyon ton
2	Şeker Bitkileri -Şeker Kamışı -Şeker Pancarı	2,2 milyar ton -1,9milyar ton -260 milyon ton
3	Sebzeler -Domates -Soğan -Salatalık -Lahana -Patlıcan	1,2 milyar ton -186 milyon ton -111 milyon ton -95 milyon ton -73 milyon ton -59 milyon ton
4	Yağ Bitkileri -Yağ palmyesi -Soya Fasulyesi -Kolza Tohumu -Pamuk Tohumu(Kütlü)	1,1 milyar ton -425 milyon ton -349 milyon ton -87 milyon ton -70 milyon ton
5	Meyveler -Muz -Karpuz -Elma -Portakal -Üzüm	0,9 milyar ton -135 milyon ton -100 milyon ton -96 milyon ton -76 milyon ton -75 milyon ton
6	Kök ve Yumrular -Patates -Manyok	0,9 milyar ton -375 milyon ton -330 milyon ton
	Ana Hayvancılık Ürünleri	
	Et -Tavuk -Domuz -Sığır -Koyun	-124 milyon ton -123 milyon ton -69 milyon ton -10 milyon ton
	Çiğ Süt -Sığır -Diğer Çiftlik Hayvanları	-753 milyon ton -35 milyon ton
	Yumurta -Tavuk -Diğerleri	-87 milyon ton -6 milyon ton

Kaynak: FAO.(2023).Agricultural Production Statistics 2000–2022. FA-OSTAT Analytical Brief 79 verilerinden faydalanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

2.2. Tarımsal Arz Esnekliği

Tarımsal arzda esnekliğin bilinmesi, hem üretimin sürdürülebilirliği hem de üreticilerin gelirleri açısından önemlidir. Çünkü, arzın esnekliği fiyatlara duyarlılığı göstermektedir. Fiyatlardaki oynaklık üreticilerin gelirlerinde dalgalanmaya neden olmaktadır. Eğer üretici, ürününün arz esnekliğini bilirse ona göre tedbirini alacaktır. Böylece fiyat dalgalanmalarından en az şekilde etkilenecektir. Önlemlerden bir diğeri de ürünü sigorta ettirmektir.

Tarımda arz esnekliğini etkileyen birçok faktör vardır. Bununla birlikte iki faktör ön plana çıkar. Teknoloji ve iklim koşulları. Bununla birlikte ürünün depolanabilirliği de esnekliği etkilemektedir. Ayrıca, arz esnekliklerinin fiyat ve verim riskleri, çoklu ürün yetiştirme, ürünün önemi, çiftlik gelirleri, çiftlik büyüklüğü, kiracı sayısı ve okuryazarlık gibi faktörlere bağlı olarak sistematik olarak değiştiğini göstermektedir. Tarımın ticaret şartlarının, toplam tarımsal üretim üzerindeki etkisi de etkili bir faktördür. Bunun için yapılan çalışmalarda, geleneksel zaman serisi tahminleri 0,1 ile 0,3 arasında değişmektedir. Ülkeler arası kapsamlı bir çalışma, 1,66 kadar yüksek bir toplam esneklik bildirmektedir. Az gelişmiş ülkeler için 0,4 ile 0,5 arasında bir geçici aralık makul görünmektedir (Rao. 1989:1).

Tarımsal ürünlerin arz esnekliği, talepte olduğu gibi, genelde birden küçüktür. Aşağıdaki tablo 3 ve tablo 4’de iki önemli ürün olan buğday ve şekerin arz esneklik değerleri gösterilmiştir.

Her iki tabloda da ürünlerin arz esnekliklerinin birden küçüktür. Tablolarda aynı zamanda çapraz esneklik ve girdi fiyatlarına duyarlılıklar da gösterilmektedir. Beklendiği gibi hem buğday hem de şekerin girdi fiyatlarına tepkisi ters yöndedir. Girdi fiyatlarındaki artışlar üretimi olumsuz etkilemektedir. En yüksek tepkiler ürünün bir önceki dönemdeki kendi fiyatıdır. Tarım sektöründe bu da beklenen bir sonuçtur. Çünkü tarımsal üreticiler bu yılın üretim planlamasını yaparken genellikle bir önceki yılın fiyatlarını dikkate alırlar.

Tablo 3. Türkiye buğday arz esnekliği

Buğday fiyatı (t-1)	0,072
Şeker pancarı fiyatı (t-1)	-0,029
Motorin fiyatı	-0,041

Kaynak: Yavuz F., Dağdemir V., Demir O., (2000). Türkiye Buğday Üretiminde Tarım Bölgelerine Ait Arz Esnekliklerinin Tespiti Üzerine Bir Araştırma, IV.. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi 6-8 Eylül 2000 Tekirdağ.

Tablo 4. Türkiye şeker arz senekliliği tahminleri

Şeker pancarı fiyatı (t-1)	0,322
Buğday fiyatı (t-1)	-0,043
Dizel yakıt fiyatı	-0,122
Gübre fiyatı	-0,015

Kaynak: Yavuz F., (2004). An Analysis of the Impacts of Production Quotas and URA Provisions on Turkey's Sugar Sector, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, Cilt:28, Sayı 2:125-130.

Yukarıdaki tablo 3 ve tablo 4'de görüldüğü gibi bir önceki yılın fiyatları üretimi etkilemektedir. Bu özellikle kavun, karpuz, soğan, patates gibi ürünlerde bir kısır döngü yaratır. Üretim ve fiyatlar yıldan yıla dalgalanma gösterir. Bu dalgalanmalar bir birini takip eder. Literatürde buna Cobweb Teoremi (Örümcek Ağı Teoremi) denir.

Cobweb Teorisi ile ilgili çalışmalar çok eskiye dayanmasına rağmen, tarım sektöründe teori daha çok 1938 yılı çalışmasıyla M. Ezekiel tarafından yapılmıştır. Aslında belirli emtiaların üretim ve fiyatlarında düzenli olarak tekrar eden döngüler, çok uzun süredir fiyat araştırmacıları tarafından bilinmektedir. Birçok iktisatçı, gözlemlenen bu döngülerin sürekliliği ile iktisat teorisinin varsaydığı denge eğilimi arasındaki görünür tutarsızlıktan rahatsız olmuştur. Tarım sektöründe de en erken katkı, aydınlanma “filozofu” Pierre de Boisguilbert'in (1646-1714) *Traité des grains* (Tahıl Antlaşması) adlı eserinde, Fransız tahıl fiyatlarının örümcek ağı benzeri davranışına ilişkin ampirik bir gözlemlere dayanır (Poitras 2023).

Cobweb Teorisi'nde arz ve talebin esneklikleri dalgalanmaların boyutunu etkilemektedir. Burada önemli noktalardan birisi, üreticilerin üretim planlaması yaparken bir önceki yılın fiyatlarını baz almalarıdır. Eğer ürün fiyatı yüksek ise, bir sonraki dönemde o ürünün ekim alanı artmaktadır. Arz artınca da, iktisat kanununa uygun olarak fiyat düşmektedir. Fiyat düşüncesi gelirler de düşmekte ve bir sonraki yıl bu üründen daha az alana ekim yapılmaktadır. Arzın azalması bir sonraki dönemde ürünün fiyatını arttırmaktadır. Bu dalgalanma yıllar boyunca devam edebilmektedir. Dalganın boyutunu ise arz ve talebin esneklik düzeyleri belirlemektedir. Günümüzde de soğan, patates gibi ürünlerde geçerliliğini koruyan bir teoridir.

3. TARIM SEKTÖRÜNDE ÜRETİM DÖNEMLERİ VE ESNEKLİK

Üretim dönemlerini iktisada kazandıran iktisatçı Neo Klasik ekolden gelen Alfred Marshall olmuştur. A. Marshall'a göre üretimde dört dönem mevcuttur. Çok kısa dönem (Piyasa veya Pazar dönemi), kısa dönem, uzun dönem ve çok uzun dönem. Diğer sektörlerde olduğu gibi tarım sektöründe de üre-

tim dönemleri ile tarımsal üretim arasında yakın bir etkileşim vardır. Tarım sektöründe bir ürünün ekiminden hasada veya hayvanların yetiştirilmesi ve yavruların elde edilmesine kadar geçen dönem, bir üretim dönemi olarak kabul edilir. Tarımsal üretimde bu süreçler farklılık gösterir. Bazı ürünlerde hasat için bir yıl beklemek gerekirken, bazılarında bu süreç daha uzun veya daha kısa olabilmektedir.

3.1. Çok Kısa Dönemde Arz Ve Esneklik

Tarımsal üretimin miktar olarak arttırılamayacağı kadar kısa bir dönemdir. Üretimde kullanılan girdiler sabittir. Üreticinin stoklama, dış ticaret gibi alternatifleri yoksa, ürün hasat edildikten sonra miktarı değiştirilemez. Dolayısıyla pazara veya piyasaya arz edilen ürün miktarı sabittir. Bu yüzden bu üretim dönemine piyasa veya pazar dönemi de denilmektedir. Bu dönemde üreticinin sahip olduğu toprak, hayvan miktarı gibi varlıklar veya girdiler veridir. Bu dönemde fiyatlardaki değişikliğe uyum, üretim gerçekleştirdikten sonra mümkün olmaz. Dolayısıyla arz eğrisi yatay eksene dik bir doğru olarak çizilir. Fiyat ne olursa olsun arz edilen miktar değiştirilemez. Bununla birlikte ürünü piyasaya arz etme kararını, üreticinin alternatifinin olup olmaması etkileyecektir. Eğer ürünü işleme, stoklama, ihracat ve ithalat yapma gibi imkanlar varsa, piyasaya arz edilen miktar etkilenebilir. Bu durumda ürün fiyatı, üreticiyi satışa razı edecek olan fiyatın altına düşmeyebilir. Aynı zamanda hasat döneminde de, düşük fiyattan dolayı ürün tarlada, bahçede bırakılabilir. Pazara sunulmayabilir.

3.2. Kısa dönemde arz ve esneklik

Kısa dönemde, üretim kapasitesine bağlı olarak, sınırlı miktarda tarımsal ürün arzı arttırılıp, azaltılabilir. Çünkü, bu dönemde üretimde kullanılan girdilerden en azından biri değiştirilebilir. Buna rağmen tarım sektöründe üretim hacmini değiştirmek diğer sektörlerle göre daha zordur. Tarımsal üretim akım değil, kesintili ve mevsimlidir. Aynı zamanda üretimde kuraklık, zamansız ve aşırı yağışlar, hastalık gibi dışsal faktörlerin etkisi yüksektir. Örneğin, 2018 yılında Türkiye’de pamuk üretiminin büyük bir kısmının yapıldığı Şanlıurfa’da, hasat zamanı yağın aşırı yağışlardan dolayı bir çok pamuk üreticisi ürününü hasat edememiştir. Dolayısıyla, üreticinin üretim kararını gerçekleştirmesi kolay olmaz. Aynı zamanda genellikle tarımsal üretimde sabit girdilerin payı daha yüksektir. Kısa dönemde ise sabit girdileri değiştirmek mümkün olmaz.

Tarımda üreticiler, piyasaya müdahale yoksa, genellikle ürün piyasaya arz edinceye kadar ürün fiyatını bilemezler. Üretim kararı, bir önceki yılın fiyatlarına, üreticilerin tahmin ve beklentilerine göre şekillenir. Dolayısıyla bu yılın üretim miktarı, bir önceki yılın fiyatı ile gelecekle ilgili beklentilerin bir fonksiyonu olacaktır. Her üretici için beklentilerin farklı olacağı da unu-

tulmamalıdır. Eğer gerçekleşen fiyat, ortalama maliyete eşit veya üzerinde ise hasat gerçekleştirilir. Ortalama değişir maliyetlerin altında gerçekleşen bir fiyat, ürünün hasat edilmemesine neden olabilir. O zaman üretici kısa dönemde, ürününü hasat edip etmeme gibi bir seçenekle karşı karşıya kalmış olur.

Tarımsal ürünlerin tek tek analiz edilmesi ile toplam tarımsal ürünlerin analizi arasında farklar vardır. Bu yüzden tarımsal ürünlerin kısa dönem analizi yapılırken bu süreç göz önüne alınmalıdır.

3.3. Uzun Dönemde Arz ve Esneklik

Uzun dönem, üretimde kullanılan girdilerin tamamının değiştirilebileceği bir dönemdir. Dolayısıyla kısa dönemde değiştirilemeyen sabit girdiler de değiştirilebilir. Üretim ölçeği arttırılıp, azaltılabilir. Bununla birlikte tarım sektöründe bunu gerçekleştirmek diğer sektörlerle göre çok daha zordur. Özellikle ekilebilir alanların sınırına gelinmişse üretim ölçeğini değiştirmek çok zordur. Atıl ekilebilir alanlar varsa üretim ölçeği daha rahat değiştirilirken, arz esnekliği de artacaktır. Türkiye’de özellikle 1950-1960 arasında Marshall yardımlarının bir parçası olan traktörün kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, atıl olan tarımsal alanlar hızla üretime geçmiş, tarımsal ürün arzı da artmıştır.

Tarım sektöründe uzun dönemde arz esnekliği kısa döneme göre daha esnek olsa da, diğer sektörlerle göre esnekliği katıdır. Tarımda üretim ölçeği daha çok yeni teknolojilerin üretim sürecinde kullanılmasıyla değiştirilebilir. Ancak, toprak miktarı değiştirilmedikçe teknolojinin etkisi de sınırlı kalacaktır. Teknolojinin değiştirilmesi de kolay değildir. Bunun için sermaye ve nitelikli işgücüne ihtiyaç vardır. Geçimlik tarım yapılan yerlerde, az gelişmiş ülkelerde her ikisi de kıttır.

4. SONUÇ

Tarım insanlığın her aşamasında önemli ve vazgeçilmez bir role sahip olmuştur ve olmaya da devam etmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden bir tanesi gıda üretiminin gerçekleştiği sektör olmasıdır. Nüfusun beslenmesi, gıda güvenliğinin sağlanması için tarımsal üretim sürdürülebilir ve istikrarlı olması gerekir. Bununla birlikte tarım sektörü, sanayi sektörünün gelişmesine, ülkelerin dış ticaretine, milli gelire, istihdama, biyolojik çeşitliliğe, ekolojik dengeye ve daha bir çok alana katkı yapmaktadır. Dolayısıyla tarım tüm ülkeler için stratejik öneme sahiptir.

Sadece ulusal değil, küresel gıda ihtiyaçlarını öngörmek, artan talebi karşılamak için doğal ve tarımsal kaynakları yönetmek ve ekonomik istikrarsızlık ve fiyatların savunmasız nüfusları nasıl etkilediğini değerlendirmek açısından tarımsal arzın ve esnekliğinin bilinmesi ve istikrarı son derece önemlidir.

Tarımsal üretimin en önemli özelliği doğa koşullarına bağlı olmasıdır. Ayrıca risk ve belirsizlikler de fazladır. Bu yüzden tarımsal üretimde istikrarsızlıklar ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla tarımsal arz güvenliğini sağlamak için devlet desteğine ve yönlendirmesine ihtiyaç vardır. Avrupa Birliği'nin ilk ortak politikasının tarım politikaları olması bir rastlantı değildir.

Birleşmiş Milletler'in 2030 Gündeminde, dünyanın doğal kaynaklarının korunması ve 2050 yılına kadar iklim nötrlüğüne ulaşılması için iddialı hedefler yer almaktadır. Bu süreçte tarım sektörü, besleyici ve sağlıklı gıdalara erişimi sağlamak, döngüsel tarım sistemleri oluşturmak ve tedarik zincirindeki atıkları azaltmak için Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ne (SKH) ulaşmada kilit bir rol üstlenmektedir. Kaynakları aşırı tüketmeden artan nüfusu beslemek, uzun vadeli sürdürülebilir üretim tekniklerinin benimsenmesiyle ele alınabilecek bir konudur. Küresel sürdürülebilirlik sorunu ise, her bölgenin kendine özgü özelliklerine bağlı olarak farklılaşmaktadır. Bu nedenle, koordineli ve etkili eylemleri teşvik etmek için çeşitli aşamalarda yer alan tüm aktör ve kurumlardan önemli çaba ve yatırımlar gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Falcon P.W., Naylor L.R., Nikhil D. Shankar D.N. (2022). Rethinking Global Food Demand for 2050. *Population and Development Review: Volume 48, Issue 4* December 2022. P. 921-957. <https://doi.org/10.1111/padr.12508>
- FAO. (2018). *Transformar la Alimentación Y la Agricultura Para Alcanzar los Ods*. Roma.
- FAO. 2023. *Agricultural production statistics 2000–2022*. FAOSTAT Analytical Briefs, No. 79. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9205en>
- Fuglie, K.O., Morgan, S., Jelliffe, J. (2023, December 7). *World Agricultural Output and Productivity Growth Have Slowed.*, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Fuglie, K.O., Morgan, S., Jelliffe, J. (2024). *World agricultural production, resource use, and productivity, 1961–2020 (Report No. EIB-268)*. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- GHI. (October 2024). *Global Hunger Index How Gender Justice Can Advance Climate Resilience and Zero Hunger*. <https://www.globalhungerindex.org/pdf/en/2024.pdf>
- Hemathilake S.K.M.D., Gunathilake C.C.M.D. (2022). *Agricultural Productivity and Food Supply to Meet Increased Demands*. *Future Foods Global Trends, Opportunities, and Sustainability Challenges 2022*, P. 539-553. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91001-9.00016-5>
- Martos, V. Ahmad, A. Cartujo, P. Ordoñez, J. (2021). *Ensuring Agricultural Sustainability through Remote Sensing in the Era of Agriculture 5.0*. *Applied Sciences Volume 11 Issue 13*. <https://doi.org/10.3390/app11135911>
- OECD/FAO (2025)., *OECD-FAO Agricultural Outlook 2025-2034*. P:54. Paris and Rome. <https://doi.org/10.1787/601276cd-en>.
- Poitras G. (March 2023). *Cobweb Theory, Market Stability, and Price Expectations*. *Journal of the History of Economic Thought, Volume 45:1*. P.p. 137-161. doi:10.1017/S1053837222000116
- Rao J.M. (01 March 1989). *Agricultural Supply Response: A Survey*. *Agricultural Economics: Volume 3:1*. P.1-22. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.1989.tb00068.x>
- SOFİ Report (The State of Food Security and Nutrition in the World Report). (2025). *Addressing High Food Price Inflation for Food Security and Nutrition*. Rome, 2025.
- Yavuz F., Dağdemir V., Demir O., (2000). *Türkiye Buğday Üretiminde Tarım Bölgelelerine Ait Arz Esnekliklerinin Tespiti Üzerine Bir Araştırma*, IV.. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi 6-8 Eylül 2000 Tekirdağ.
- Yavuz F., (2004). *An Analysis of the Impacts of Production Quotas and URA Provisions on Turkey's Sugar Sector*, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, Cilt:28, Sayı 2:125-130.

Wiesmann D. (2006).A Global Hunger Index: Measurement Concept, Ranking of Countries, and Trends. Food Consumption and Nutrition Division Discussion Paper 212. December 2006



İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SÜRECİNDE SÜS BİTKİLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALAR VE YAKLAŞIMLAR

“ ”

Gül YÜCEL¹

¹ Doç. Dr. , Yalova Üniversitesi, Yalova Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü
ORCID ID: 0000-0003-1235-4482

İklim değişikliği, günümüzde dünyanın karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir. Yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik değer taşıyan verilerin, uzun yıllara dayalı ortalamalarında hesaplanan önemli değişiklikler olarak tanımlanmaktadır. Atmosferdeki sera gazı emisyonları arttıkça, sera etkisi nedeniyle sıcaklık da artmaktadır. Ortalama küresel sıcaklık sürekli artmakta olup, 2100 yılına kadar 2 °C artacağı tahmin edilmektedir; bu da küresel düzeyde önemli ekonomik kayıplara neden olacaktır. Sera gazlarının önemli bir kısmını oluşturan CO₂ konsantrasyonu endişe verici bir oranda artmakta ve artan fotosentez nedeniyle daha yüksek büyüme ve bitki verimliliğine yol açmaktadır; ancak artan sıcaklık, artan ürün solunum hızı ve buharlaşma, daha yüksek zararlı istilası, yabancı ot florasında bir değişim ve ürün süresinin azalmasına yol açarak bu etkiyi minimize etmektedir. İklim değişikliği ayrıca topraktaki mikrobiyal popülasyonu ve enzimatik aktivitelerini de etkilemektedir (Malhi ve ark, 2021) Soriano ve ark, (2024) ise, küresel yüzey sıcaklığının 2011-2020 yılları arasında 1850-1900 yıllarına ait ortalamanın, 1,1 °C üzerine çıkmasıyla küresel ısınmanın çok açık bir şekilde gözlemlendiğini ifade etmektedir. Bu etkilerin, 2050 yılına kadar, küresel düzeyde ortalama 1,3 °C ile 1,8 °C arasındaki sıcaklık artışına neden olabileceğini, Akdeniz havzasında ise ortalama sıcaklık artışının 2 °C ile 3 °C arasında olması yönünde bir öngörünün olduğunu belirtmektedir. Bu olumsuz duruma bağlı olarak, su kıtlığı, aşırı olaylar (sıcak hava dalgaları, kuraklık dönemleri, vb.), yağmur mevsiminin yer değiştirmesi ve çevresel bütünlüğün bozulması (biyolojik çeşitliliğin kaybı, çölleşme, vb.) gibi diğer olumsuz etkilerin ortaya çıkmasının da kaçınılmaz olduğunu açıklamaktadır.

Anormal iklim değişiklikleri ve aşırı hava koşullarıyla başa çıkabilmek, sürdürülebilir ve bütün yıl boyunca kaliteli bir üretim yapabilmek için yeni nesil kültür yöntemleriyle birlikte yeniliklerin kullanılması gibi yeni adaptasyon stratejileri önerilmektedir (Gruda ve ark, 2019).

Süs Bitkileri Seralarında İklim Değişikliğinin Etkileri

Yetiştiriciliğinde estetik işlevsel veya ekonomik bir amaç güdülen süsleyici özelliğe sahip olan bitkiler süs bitkisi olarak tanımlanır. Süs bitkisi olarak tanımlanan bu bitkiler aynı zamanda gencaları, çiçekleri, meyveleri, yaprakları, dalları veya bunların değişik formlarıyla estetik değer sunan ya da bu özellikleri nedeniyle dikkat çeken bitkiler olarak da tanımlanabilmektedirler.

Ülkemizde süs bitkileri, kullanım amaçlarına göre dört grupta sınıflandırılmaktadır. Buna göre kesme çiçekler, dış mekân süs bitkileri, iç mekân (saksılı, salon) süs bitkileri ve çiçek soğanları bu sınıflandırmanın temel grupları olarak ortaya çıkmaktadır (Kazaz, 2023).

Sera Gazı Emisyonları ve Süs Bitkileri Üzerindeki Etkileri

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı (GHG) emisyonlarındaki istikrarlı artış, iklim değişikliğinin başlıca itici gücü olmuştur. Başlıca sera gazları karbondioksit (%76), metan (%16) ve sınırlı ölçüde azot oksittir (%2). Son on yıllara kadar atmosferin sıcaklığı makul bir değerdeydi; çünkü dünyaya çarpan güneş ışığının bir kısmı uzaya geri yansırken, geri kalanı dünyayı ve atmosferi yaşam formlarının devamlılığı için yeterince sıcak tutan ısıya dönüşüyordu. Ancak sera gazlarının atmosferde birikmesi ve su buharıyla birleşmesiyle atmosferde dünya yüzeyinden yayılan kızılötesi radyasyonu (net ısı enerjisi) hapseden ve dünya yüzeyine geri yansıtan şeffaf bir tabaka oluşmakta ve böylece artan sıcaklığa (sera etkisi) katkıda bulunmaktadır. Metan ısıyı hapsedmede CO₂'den 25 kat, azot oksit ise 300 kat daha güçlüdür (Shivanna, 2022). Temel olarak, iklim değişikliği atmosferdeki sera gazlarının (GHG) yani CO₂, Metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) seviyelerinin artması nedeniyle atmosfer sıcaklığındaki artıştır (De, 2024). Tarım sektöründe, sıcak hava dalgalarının artan sıklığı, yalnızca ortalama değişkenlerde oluşan farklılıkların yapacağı etkilerle sınırlı kalmayıp, ürün verimliliği üzerinde olumsuz bir etkiye de neden olmaktadır Yerel ortalama sıcaklık değerlerindeki 1–3 °C 'lık artışın orta ila yüksek enlemlerde ürün verimliliğinde (ürüne bağlı olarak) hafifçe artışa, ancak daha güney enlemlerinde azalmaya neden olabileceği öngörülmektedir Küresel ısınmanın süs bitkileri seraları üzerinde özellikle dikkat çekici etkileri olabilir. Süs bitkileri seralarında yapılan yetiştiriciliğin temel amacı, optimum yetiştirme koşullarını (belki de yıl boyunca) uzatmaktır, ancak dış iklim sera mikro iklimini ve kontrolünü güçlü bir şekilde etkilediğinden bu koşulların korunmasını sağlamak için dikkatli olunması gereklidir (Valiño ve ark,2014).

Kuraklık ve Azalan Su Kaynaklarının Etkisi

İklim değişikliği sonucunda sıcaklık artışı ve buna bağlı olarak kuraklıkta meydana gelecek artışlar, ülkemizdeki mevcut su kaynaklarını olumsuz yönde etkileyecek, bu alanda ciddi kayıplara neden olacaktır. Türkiye'deki uzun yıllara dayalı meteorolojik kayıtlar incelendiğinde, yaz aylarında sıcaklıkların arttığı buna karşın yağış miktarlarının zaman içinde azalma gösterdiği görülmektedir. Akarsu havzalarında suyun azalması kent yaşamı için suyun kullanımında sorunlar çıkmasının yanında süs bitkileri yetiştiriciliğinde de sorun oluşturacaktır. Öte yandan sıcaklıktaki artışın bir diğer sonucu da buharlaşmada artış olarak karşımıza çıkmakta ve bu da sulama suyu miktarında artışa neden olmaktadır (Taşkın ve ark,2022).

Bitkiler, doğal ve tarımsal koşullar altında büyüme ve gelişme sırasında çeşitli çevresel streslere maruz kalırlar. Bunlar arasında kuraklık, bitki verimliliğini etkileyen en ciddi çevresel streslerden biridir. Bitki gövdesinin

taze biyokütlesinin yaklaşık %80-95'i, bitki büyümesi, gelişimi ve metabolizmasının birçok yönü de dahil olmak üzere çeşitli fizyolojik süreçlerde hayati bir rol oynayan sudan oluşur. Hatta bazı kaynaklar, kuraklığı, özellikle kuraklığa eğilimli bölgelerde farklı bitkiler için ana çevresel stres olarak kabul etmektedir. Kuraklığın öngörülemez doğası, düzensiz ve güvenilmez yağış dağılımı, buharlaşma-terleme (evapotranspirasyon) ve rizosfer çevresindeki su tutma kapasitesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Üstelik bazı durumlarda bitkiler, kök bölgesinde yeterli nem bulunmasına rağmen topraktan su alamazlar, bu durum fizyolojik kuraklık veya yalancı kuraklık olarak bilinir (Seileman ve ark, 2021).

Hava Olaylarının Seralara Etkileri

Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği nedeniyle önümüzdeki 50 yılda çok sayıda ülkenin değişik periyotlardaki kuraklıklar, fırtınalar, don olayları, dolu yağışları, hortumlar vb. istenmeyen iklim şartlarından etkileneceği öngörülmektedir (Kanat ve Keskin, 2018). Seracılık sektöründe özellikle dolu gibi doğal afetler, sera örtülerinin ve konstrüksiyonlarının zarar görmesine, hatta ürün kayıplarına yol açabilmektedir (Çalışkan, 2019; Büyüктаş ve ark, 2019).

Antalya'da yapılan bir araştırmaya göre, doğal felaketler sonrası hasar alan seraların %72'si dolu nedeniyle, %1'i yağmur ve dolu yağışları nedeniyle, %19'u çeşitli kasırgalar nedeniyle, %1'i aşırı güçteki yağmur ve dolu yağışları nedeniyle, %7'si ise değişik boyuttaki dolu yağışları ve farklı güçlerdeki kasırgaların etkisiyle zarar görmüştür. Ayrıca seraların %93'ü, son sekiz yıl içinde yaşanan afetler nedeniyle hasar görmüştür (Çalışkan ve Büyüктаş, 2020).

İklim Değişikliğinin Zararlılar ve Hastalıkların Yayılmasındaki Etkileri

Sıcaklıklardaki yükseliş hastalık etmenlerinin yaşam döngülerinde hızlandırıcı bir etki yaparak, enfeksiyonların daha erken başlamasına yol açar. Söz gelimi, artan sıcaklıkla bazı mantari patojenler daha hızlı olarak spor oluşturmakta ve bunun sonucunda diğer sağlıklı bitkilerin enfekte olma oranı artmaktadır. Değişen çevresel koşullar, viral hastalıkların taşıyıcıları olan vektörlerin popülasyon dinamiklerini de etkilemektedir. Örneğin, sıcaklık artışları, virüs taşıyıcısı böceklerin yaşam süresini uzatmakta ve onların yayılma kapasitelerini artırmaktadır. Çevre şartlarındaki değişiklikler, virüs hastalıklarında taşıyıcı görev yapan vektörler üzerindeki hareketliliğe de etki yapmaktadır. Söz gelimi, yükselen sıcaklıkla birlikte virüsleri taşıyan böceklerde hayatta kalma dönemi uzamakta ve bunun sonucunda virüslerin yayılma yeteneği de artış göstermektedir (Çevik ve Demir, 2024).

İklim Değişikliğine Karşı Alınabilecek Önlemler

Sera tasarımıyla yapılması gereken güncellemeler

Sera tasarımları, çevresel hassasiyetin ve sürdürülebilirlik prensiplerinin hayata geçirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bitki yetiştirme süreçlerinde ideal koşulları sağlamak için yoğun enerji kullanımına ihtiyaç duyulması, sera gazı emisyonlarının artmasına neden olabilir. Ancak, enerji verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve uygun malzeme tercihleri gibi unsurlar, seraların çevresel etkilerini minimize etmede sera tasarımcıları için önemli stratejiler sunmaktadır (Aspen Yapı ve Zemin, 2024).

Seralarda ısıtma ne kadar önemliyse, sağlanan ısıнын korunması da o ölçüde önemlidir. Bugünün dünyasında enerji maliyetlerinin sürekli artması ve fosil yakıtların neden olduğu CO₂ emisyonları, bitkisel üretim yapanları enerji verimliliği konusunda yeni çözümler aramaya itmektedir. Isıtılan seralarda işletme maliyetlerini düşürmek ve kar oranlarını artırmak için şu önlemlerin alınması gerekmektedir:

- Enerji verimliliği alanında iyileştirme yapmak

- Seraların enerji ihtiyacını minimize etmek,

- Tercihleri fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından yana kullanmak (Baytorun ve Güğercin, 2015), Ayrıca yine seralar tasarlanırken aşağıdaki noktalar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Seraların teksel olarak kurulması yerine, blok olarak inşa edilmesi bitki yetiştiriciliği esnasında serada gereksinim duyulan ısı enerjisinin azaltılması, enerji verimliliğini artırmanın yanı sıra fosil yakıt kullanımını da düşürerek iklim ekoloji dostu bir üretim sürecine katkı sağlar. Seralarda asıl ısı kayıplarının meydana geldiği örtü yüzey alanının daraltılması, enerji tasarrufuna olanak tanır. Bu nedenle, seraların tek tek inşa edilmesi yerine bloklar halinde kurulması, toplam örtü yüzey alanını azaltarak enerji kayıplarını minimize edecek ve daha verimli bir ısı yönetimi sağlayacaktır (Baytorun ve Güğercin, 2015),

Örtü malzemesi seçimi ve yalıtımı

Kış mevsiminde sera içi ısı kaybını önlemek için çok katmanlı tipteki örtü materyalinin yalnızca yan duvarlar ile cephe yüzeylerinde kullanımı tavsiye edilmektedir. Seranın yalnızca yan duvarlarının ve cephelerinin çift katmanlı PE plastik materyal ile kaplanması halinde, tek katmanlı plastik örtü materyaline sahip seralara kıyasla yaklaşık %7 oranında ısı enerjisi tasarrufu sağlanabilmektedir.

Isı perdeleri

Isı perdeleri sera içi sıcaklığın korunması adına bütün dünyada en yaygın kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür perdelerin kullanımında dikkat edilmesi gereken en temel nokta yan duvarlar ile cephe yüzeylerinin birleşim noktalarında sızdırmazlık kuralına uyulmasıdır. Yalıtımı iyi olmayan ısı perdeleri kullanıldığında ısınan hava yükseldiğinde perdenin gözeneklerini aşarak tepeye çıkar ve orada birikir. Bunun sonucunda da sera içi sıcaklığı korunamaz arzu edilen ısı tasarrufu da sağlanamaz (Baytorun ve Gügercin, 2015).

Akıllı havalandırma sistemleri

Seralarda akıllı havalandırma sistemleri, bitki gelişimi için ideal iklim koşullarını sağlamak amacıyla sıcaklık, nem ve hava akışını otomatik olarak düzenleyen teknolojilerdir. Bu sistemler, sensörler aracılığıyla sera içi ve dışı çevresel verileri toplayarak, havalandırma mekanizmalarını optimize eder ve böylece enerji verimliliğini artırır (Ast Elektronik, 2023).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı (güneş panelleri, jeotermal sistemler)

Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlar yerine kullanılan ve geleneksel enerji kaynaklarından farklı olan alternatif enerji biçimlerini ifade eder. Yenilenebilir enerjilerin kullanımı, çevresel, sosyal ve ekonomik birçok fayda sağlar ve sera etkisinin azaltılmasına katkıda bulunur. Seralar, farklı ürünlerin yetiştirilmesi için ısıya ve elektriğe ihtiyaç duyar. Bu enerji ihtiyacı, yerel iklim koşulları, sera yapısı ve yetiştirilen ürüne bağlı olarak değişiklik gösterir. Genel olarak, seralarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, seraların ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir. Ancak, belirli bir bölgedeki yenilenebilir enerji kaynaklarının yerel olarak bulunabilirliği, bunların sera uygulamalarında kullanımını etkileyen önemli bir faktördür. Isıtmanın yanı sıra, seralarda aydınlatma, soğutma ve elektrikle çalışan cihazlar (motorlar, vanalar, pompalar, fanlar vb.) için de enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. (Vourdoubas,2015; Greenhouse Management,2023)

Sulama ve Su Yönetimi

Su tasarruflu sulama sistemleri (damla sulama, sisleme sistemleri)

Damla sulama, birçok farklı bitkiyi sulamak için en su tasarruflu yoldur. Killi topraklarda sulama için ideal bir yoldur çünkü su yavaşça uygulanır ve toprağın suyu emmesine ve akmasını önlemesine olanak tanır. Damlama cihazları, tepeden püskürtme cihazlarının kullandığı suyun çok daha azını kullanır. “Nokta kaynaklı” damla sistemleri, bir dikim yatağına döşenen ve

toprağın emebileceği bir oranda suyu doğrudan bitkilerin tabanına besleyen damla borularından oluşur; bu sayede su, sisleme, aşırı püskürtme veya akma nedeniyle kaybolmaz.

Sulamada kullanılan diğer tasarruflu açık hava ürünleri arasında;

Filtreler: Özellikle damlama sularında, bazı ekipmanların tıkanmasını önlemek için filtreler ihtiyacı duyulur.

Basınç regülatörleri: Bazı ekipmanlar kaynaktan gelen basınca göre daha düşük basınçta daha iyi çalıştığından basınç regülatörlerine de ihtiyaç duyulabilir.

Yağmur Sensörleri: Adından da anlaşılacağı gibi, yağmur sensörleri yağış ölçerek ve sisteme yağmur durana ve yağmurdan gelen su buharlaşana kadar sulama yapmaması yönünde sinyal göndererek bunun olmasını engeller. Bu tamamlandığında sensör sisteme programlanmış sulama programına devam etmesi yönünde sinyal gönderir.

Yağmur ölçerler: Sulama sistemine eklenen bu eklentiler yağmur yağdığında sistemi otomatik olarak kapatır.

Manuel hortum musluğu zamanlayıcıları: Bu zamanlayıcılar bir hortuma bağlanır ve önceden belirlenen bir süre sonunda sprinkleri otomatik olarak kapatır.

Toprak nem sensörleri: Bu sensörler toprağın stratejik noktalarına yerleştirilir ve toprağın yeteri kadar nemli olduğu durumlarda sulama sisteminin çalışmasını engeller.

Toprak polimerleri: Bu malzemeler toprağa yerleştirildiklerinde suyu emer ve köklerin ihtiyaç duydukları nemi çekmesine olanak tanır. Polimerler saksı bitkileri veya kumlu toprak için oldukça etkilidir (Regional Water Providers Consortium, t.y.).

Sisleme sulama teknolojisi yeni bir tür su tasarrufu sağlayan sulama yöntemidir. Sulama için suyu sis formunda püskürtmek için özel atomize edici nozullar kullanır. Bu sistem, suyun verimli kullanımı, su tasarrufu çabalarına katkıda bulunur. Enerji verimliliği yönünden bakıldığında ise, daha az su kullanımı ve ek soğutma yöntemlerine (fan gibi) olan ihtiyacın azaltılması nedeniyle enerji tüketimini düşürür (TrueMist, 2024).

Son yıllarda dijital dönüşüm toplumumuzun birçok yönünü etkilemiştir. Ayrıca, yenilikçi teknolojiler ve çözümleri entegre edip dijital tarım paradigmasına doğru evrilerek geleneksel tarım sektörünü de olumlu etkilemiştir. Hassas sulama yöntemleri, verimli su kullanımı ve yönetimi için geleneksel tarım sektöründe oyun değiştiriciler olarak ortaya çıkmıştır. Hassas sulama yöntemleri, akıllı veya dijital sulama yöntemleri olarak da bilinir ve asırlık

sulama uygulamalarında bir paradigma değişimini temsil eder. Birden fazla hava ve toprak parametresine dayalı izleme ve kontrol sensörü ve aktüatörü (su vanaları ve pompaları gibi) içerir. Hassas sulama sisteminde, sensörler iklim ve toprak parametrelerinin gerçek zamanlı saha verilerini izler, kaydeder ve aktüatörleri açmak veya kapatmak için kontrol cihazlarını sürekli olarak günceller. Hassas sulama yöntemleri, bitkilere sulama suyu teminini izlemek ve kontrol etmek için farklı araçları entegre eder ve bitkinin gereksinimine göre gerçek zamanlı sahadan toplanan verilere göre hassas su temini (sulamanın gerektiği yerde ve zamanda) sağlar. Çalışmalar, su kaynaklarının giderek daha fazla strese girdiği ve sürdürülebilirliğin en önemli unsur olduğu bir çağda, hassas sulamanın çevresel ayak izlerini azaltarak su kullanım verimliliğini önemli ölçüde optimize etmek ve ürün verimini artırmak için umut verici bir çözüm sunduğunu bildirmektedir (Lakhia ve ark, 2024).

Yağmur suyu toplama ve geri dönüşüm sistemleri

Yağmur suyu hasadı, geçirimsiz yüzeylerden akışa geçen yağış sularının yeniden kullanım için yerinde biriktirilmesi ve depolanmasıdır. Kuşkusuz bu yöntemle, yüzey akışı sonunda kaybolup gidecek bir su kaynağının, usulüne uygun bir biçimde depolanmasıyla, çok farklı alanlarda kullanılabilecek son derece değerli bir tatlı su kaynağına dönüştürülmesi söz konusu olmaktadır. Tarımsal yağmur suyu hasadı yöntemlerine bakıldığında, yağmur suyu hasadının değişik hedeflerle yapıldığı ve bu amaçlar doğrultusunda sınıflandırıldığı görülmektedir. Yağmur sularının hasadı, boyutlarına göre makro ve mikro havzalarda toplanan sulardan yapılmaktadır.

Bunun dışında kentlerde uygulanmakta olan çatı üstü yağmur suyu hasadı sistemi, yağmur suyunun çatı alanlarından toplandığı ve rezervuarlarda depolandığı bir tekniktir. Hasat edilen yağmur suyu, yapay yeniden doldurma teknikleri ile yüzey veya yeraltı suyu deposunda depolanabilir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020; Pari ve ark, 2023).

İklim Kontrollü Seracılık Teknolojileri

Akıllı sera sistemleri ve otomasyon

Seralar planlanırken çevre etmenlerinden sera dışındaki havanın sıcaklığı ve nemi, sera içi sıcaklığı ve nemi, güneş radyasyonu, ortamda oluşan buharlaşma, toprağın sıcak değeri gibi pek çok farklı etmen dikkate alınır. Çevresel etmenler olarak tanımlanabilen bu etmenlerden her biri diğerleriyle sürekli olarak etkileşim halinde olduğundan bütüncül bir sera otomasyonu için bu çevresel etmenlerin çok iyi algılanması, yorumlanması ve net olarak sonuca ulaşılması gerekmektedir. Bu sonuçlara yaklaşılmasında ebetteki elektronik cihazların yönlendirmesi çok önemlidir ve sera otomasyonunun kusursuzluğunda çok önemlidir. Seralardaki otomasyonun etkin şekilde kul-

lanıldığı alanlar arasında iklim kontrolü, havalandırma sistemleri, ısı kontrolü ve sulama en önde gelenlerdir (Öz ve ark, 2008).

İleri sensör teknolojileri ile ekolojik koşulların yönetimi

İklim koşulları ve toprak unsurlarına dair elektriksel iletkenlik, nem oranı, toprak karışımlarının içeriğine ait organik madde kapsamı ve pH düzeyini temassız biçimde doğrudan ölçebilen sensörler, üreticilerin çok daha doğru ve bilimsel yönden güçlü kararlar almasını sağlamaktadır. Bu sensörler sayesinde bitkilerin gelişimi sürekli olarak izlemeye alınır ve bitki üzerinde kapsamlı gözlemler yapılabilir. Bu yolla sulama ve gübreleme süreçlerinin daha verimli yönetilmesine katkı sunulur. Aynı zamanda sensörler, sulama kararlarının daha etkili hale getirilmesine yardımcı olarak kaynak kullanımını optimize etmeye olanak tanır (Türker,2024).

LED aydınlatma ve ışık yönetimi

Modern seralardaki süs bitkileri yetiştiriciliğinde, üretimin her aşamasında en önemli etkenlerden biri de ışıktır. Bizim ülkemizin de yer aldığı küreyarı kürede, kasım ve mart ayları arasında hem ışık şiddeti hem de ışıklanma süresi diğer dönemlere göre daha azdır. Bazı durumlarda söz konusu bu dönemde, üretimin devamlılığının sağlanabilmesi için ek aydınlatma ihtiyacı doğabilmektedir. İşte bu koşullarda seralarda LED ışıklandırma bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. LED armatürler seralarda uzun ömürlü ve elektrik tasarruflu olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Ayrıca sahip oldukları uygun dalga boyunun bitkilerin gelişimi için uygun olması ile de LED ışıklandırma önemli bir avantaj sağlamaktadırlar (Akan ve Ustalar, 2022).

Bitki Seçimi ve Genetik Dayanıklılık

Genetik dayanıklı ve dirençli bitkilerin seçimi

İklim değişikliği nedeniyle tüm süs bitkilerinde tür çeşitliliği olumsuz etkilenmekte, bu da süs bitkileri yetiştiriciliği alanında iklime uyumlu türlerin kullanımını zorunlu hale getirmektedir. İklim dayanıklı bitkilerin seçimi, tüm dış mekanlardaki yeşil alanların ve süs bitkilerinin diğer gruplarında yer alan türlerin dirençli kalması ve üretimlerinin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Ancak, özellikle kentsel yeşil alanlardaki düşük bitki çeşitliliği, bu alanları iklim değişikliği, zararlılar ve hastalıklara karşı daha savunmasız hale getirmektedir. Bu nedenle, hangi tür süs bitkisi ile çalışılırsa çalışılsın mutlaka yerel koşullara uyum sağlayan ve zararlılara dayanıklı türlerin seçimi, iklim değişikliği ile savaşmada temel bir gereklilik haline gelmiştir (Erzurumlu, 2025).

Geleneksel ve Modern Islah Yöntemleri

İklim değişikliğine karşı bitkisel üretimde dünyanın karşı karşıya olduğu çok ciddi zorluklarla geleneksel bitki ıslahı yöntemlerinin tek başına başa

çıkması mümkün görülmemektedir. Bu nedenle, bu zorlukların üstesinden gelebilmek için geleneksel bitki ıslahı yöntemleri çeşitli biyoteknoloji gelişmeleriyle desteklenmeli, bu alandaki entegrasyon sağlanmalıdır ve ürünlerin genetik iyileştirmeleri hızlandırılmalıdır. Kısa bir süre içinde hızlı ve gelişmiş tarımsal gelişmeyi sağlamak için, moleküler belirteçlerin bitki ıslahına dahil edilmesi gelecekteki dünya için çok önemlidir. Hiç kuşku yok ki, hızla değişen çevre, ürün iklim dayanıklılığını iyileştirmek için teknolojik müdahaleler gerektirir. Genomu düzenlenmiş transgenik bitkiler, yeni nesil dizileme teknikleriyle birleştirilmiş yüksek verimli fenotipleme teknolojileri, büyük veri analitiği ve modern yetiştirme tekniklerindeki ilerlemeler gibi teknolojik gelişmeler, modern tarımın gelecekteki çevresel düşmanlarla yüzleşmek için robotik veya dijital dönüşüme doğru ilerlemesine yardımcı olur. Örneğin, genomik ve fenomik yöntemlerle birlikte hızlı yetiştirme, genetik faktörlerin daha hızlı tanımlanmasına ve sonuç olarak ürün geliştirme programlarının hızlandırılmasına yol açabilir (Begna, 2021; Afzal ve ark, 2023).

Toprak ve Besin Yönetimi

Zehirli gaz emisyonları, kentleşme ve arazi bozulması gibi insan kaynaklı faaliyetler, iklim değişikliğini tetikleyen başlıca etkenler arasında yer almaktadır. İklim değişkenliği, tarımsal üretimi olumsuz etkileyen çeşitli çevresel streslere yol açmıştır. Bitkilerin sağlıklı gelişimi ve yaşam döngülerini tamamlayabilmesi için makro ve mikro besin maddeleri hayati öneme sahiptir. Ancak bu temel besin maddelerinin bulunabilirliği, küresel ısınma nedeniyle önemli ölçüde etkilenmektedir. Çünkü küresel ısınma; yağış rejimlerinde dengesizlik, yıllık sıcaklıklarda artış ve buzulların erimesi gibi doğal kaynakları doğrudan etkileyen değişimlere neden olmaktadır.

İklimsel stres faktörleri, tarımsal verimliliği %50–70 oranında azaltabilmektedir. Aynı zamanda bu durum, topraktaki besin dinamiklerini de bozarak bitkilerin hastalıklara karşı savunma mekanizmalarını zayıflatmaktadır. Bu sorunlarla başa çıkmak ve besin maddesi eksikliklerini gidermek amacıyla, mineral besin maddelerinin kayıplarını ve toprakta bağlanmalarını (fiksasyon) azaltmaya yönelik çeşitli yönetim uygulamaları geliştirilmiştir. Gübrelerin bölünerek verilmesi, inhibitörlerin kullanımı, su tasarrufuna yönelik uygulamalar ve organik katkı maddelerinin kullanımı gibi yöntemlerin, iklimsel belirsizlikler altında besin maddelerinin etkinliğini artırdığı vurgulanmaktadır. Modern besin yönetim teknikleriyle iklim değişkenliği sorununa karşı sürdürülebilir çözümler sunulabilmektedir (Anwar-ul-Haq ve ark, 2023).

Organik madde içeriği artırılmış toprak yönetimi

İklim değişikliğiyle mücadelede sürdürülebilir tarım önemli bir stratejidir. Bu kapsamda, organik madde bakımından fakirleşen tarım toprakla-

rında organik gübre kullanımı teşvik edilmektedir. Organik gübreler, hem toprak sağlığını ve verimliliği artırmakta hem de zararlılarla mücadeleye katkı sağlamaktadır. Ayrıca, toprakta karbon tutulmasını destekleyerek atmosferdeki CO₂ miktarının azaltılmasına yardımcı olur (Dizikisa ve Yıldız, 2023). Yenilikçi organik iyileştirmeler ve akıllı gübreleme stratejileri, tarımsal topraklarda fiziksel özellikleri, biyojeokimyasal döngüyü ve toprak organik karbon depolaması üzerindeki etkileri yoluyla sürdürülebilirliği artırmak için kullanılabilecek uygun yaklaşımlar olabileceği belirtilmektedir (Rumpel ve Chabbi, 2021).

İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Seracılık Uygulamaları

Döngüsel tarım yaklaşımları

İklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki baskılarına karşı önerilebilecek çözüm yollarından biri de döngüsel tarım yaklaşımlarıdır. Döngüsel tarım; tarımsal atıkların, yan ürünlerin ve gıda işleme artıklarının yeniden değerlendirilerek sistemde tutulmasını, dış girdi kullanımının azaltılmasını ve çevresel etkilerin en aza indirilmesini hedefler. Bu yaklaşımda tarımsal biyokütle, hayvan yemi veya biyogübre gibi yararlı ürünlere dönüştürülerek kaynaklar verimli kullanılır ve sürdürülebilir bir tarım sistemi oluşturulur (İzmir Kalkınma Ajansı, 2021).

Atık yönetimi ve kompost kullanımı

Kompostlama, organik atıkların mikroorganizmalar aracılığıyla oksijenli (aerobik) koşullarda parçalanarak yararlı ürünlere dönüştürüldüğü güvenli bir atık yönetimi yöntemidir. Bu süreçte ortaya çıkan organik ve inorganik yan ürünler, doğada bulunan hümik bileşiklere benzer yapılar içerir ve tarımda gübre ya da toprak düzenleyici olarak kullanılabilir. Kompostlama, yeraltı suyunun kirlenmesini önlemesi, zararlı mikroorganizmaları azaltması ve toprağın organik madde içeriğini artırması gibi pek çok avantaj sunar. Bu sayede tarımsal verimlilik artar, gıda güvenliği desteklenir ve sentetik gübrelerin yol açtığı çevresel riskler azaltılabilir. Ayrıca kompost, erozyon kontrolü, peyzaj düzenlemesi ve sulak alan restorasyonu gibi çevresel uygulamalarda da etkili bir çözümdür.

Bununla birlikte kompostlama sürecinin bazı sınırlılıkları da vardır. Kompostun olgunlaşması uzun zaman alabilir, rahatsız edici kokular oluşabilir ve besin içeriği zaman zaman yetersiz kalabilir. Ayrıca yüksek sıcaklıklara dayanabilen bazı patojen mikroorganizmaların varlığı, kompostun güvenli kullanımını zorlaştırabilir. Bu tür zorluklar, üreticilerin daha kolay ulaşılabilen sentetik gübrelere yönelmesine neden olmuştur. Kompostlama işlemi doğal bir ayrışmadan farklı olarak kontrollü koşullarda yürütülse de sürecin verimli hale gelebilmesi için sıcaklık ve oksijen düzeylerinin dikkatle

izlenmesi gerekmektedir. Çünkü mikroorganizmaların etkinliği bu iki faktöre doğrudan bağlıdır. Aksi takdirde, anaerobik faaliyetlerin artmasıyla karbondioksit ve hidrojen sülfür gibi zararlı gazların salınımı çevresel ve sağlık açısından risk oluşturabilir. Bu nedenle, kompostlamanın iklim değişikliğiyle mücadelede daha etkili bir araç haline gelebilmesi için mevcut uygulamaların iyileştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Ayılara ve ark, 2020)

Dünyada ve Türkiye’de süs bitkileri alanında yeşil sertifikasyonlar ve çevresel etiketleme

Süs bitkile ürünlerinin sürdürülebilir olarak tanınması karmaşık ve zordur. Sürdürülebilir üretim, ulusal ve uluslararası direktifler tarafından tanımlanan sıkı çevresel ve sosyal protokollerin uygulanmasıyla elde edilir. Örneğin, kesme çiçekler ve süs bitkileri için GLOBALGAP sertifikasyonu 2003 yılında bir İngiliz süpermarketler koalisyonu tarafından yayımlanmıştır. Bu protokol, iyi tarım uygulamaları, işçi sağlığı, güvenliği ve refahı konusunda katı kuralları ve onların özelliklerini tanımlamıştır. Milieu Programma Sier-teelt (MPS), 1995 yılında Hollanda’daki Hollandalı üreticiler ve müzayeciler tarafından tanıtılmış, sosyal yeterlilikler ve iyi tarım uygulamaları ile çevre yönetimi standartlarını belirlemiştir. Veriflora sertifikasyonu ise, çevresel ve sosyal sorunlara standartlar getirmiş, Amerikalı üreticiler ve satıcılar tarafından 2005 yılında kurulmuştur. Ayrıca Kenya, Kolombiya ve Ekvador gibi geleneksel kesme çiçek üretimi yapılan ülkelerde, üretici dernekleri, toptancılar ve ihracatçılar tarafından oluşturulmuş, hepsi çevresel ve sosyal standartlar ve iyi tarım uygulamaları ile ilgili olan farklı sertifikasyonlar da bulunmaktadır (Darras,2020).

Kesme çiçek ve kesme yeşillik işleme zincirinde, Hollanda’daki açık artırmalar dünya çapındaki dağıtımda önemli bir rol oynar. Hollanda’daki FloraHolland açık artırmaları, politika taahhütlerini dahili süreçlere, tesislere ve çalışanlara uygulayarak sektörde daha düşük çevresel ayak izlerine ulaşılmasına yardımcı olmak için bir Süs Bitkileri Sürdürülebilirlik Girişimi (FSI) kurmuştur. Ayrıca bu sürdürülebilirlik politikalarını uygulamak ve etkilerini izlemek için uzmanlaşmış bir departman ve bir danışma kurulu da oluşturulmuştur (Darras,2020).

MPS, iş birliği kuruluşu MPS-ECAS ile uluslararası süs bitkileri sektörü için sürdürülebilirlik sistemleri geliştirmekte ve sektördeki firmaları sertifikalandırmaktadır. MPS-ABC sertifikası dünya çapında uluslararası standart olarak kabul edilmektedir. Merkezi Hollanda’da bulunan MPS, 48 ülkede faaliyet göstermektedir (“MPS Sertifikaları ile Sürdürülebilir Üretim”, t.y.)

Türkiye’de sürdürülebilir sertifika programlarına katılım uygulamaları

Avrupa’nın sürdürülebilir bir şekilde yetiştirilmiş süs bitkilerine olan talebi, Türkiye’nin kanıtlanmış sürdürülebilir üretime olan ilgisinde de artışa neden olmuştur. Yine aynı şekilde sürdürülebilir ürünlere olan talep Doğu-Avrupa ve Rusya’da da artmaktadır. Süs bitkileri sektöründeki sürdürülebilir uygulamalar aynı zamanda Türk Hükümeti için de önem taşıdığından, firmaların MPS sertifika programlarına katılımı T.C. Ticaret Bakanlığı destek programına alınmıştır. Green Cities Danışmanlık, MPS Türkiye Koordinatörü olarak katılımcılara kendi dillerinde hizmet sunmaktadır. Yerel koordinatörler ile gerçekleştirilen bu iş birliği sayesinde MPS, Türkiye’deki süs bitkileri sektörü ile genel olarak, üreticiler ile de bireysel olarak daha yakın çalışabilmektedir. Bu sayede MPS bu bölgedeki şeffaflığın ve sürdürülebilirliğin artırılmasına katkıda bulunmaktadır (“MPS Sertifikaları ile Sürdürülebilir Üretim”, t.y.)

Çevresel etiketleme, işletmeler tarafından çevreye duyarlı müşterileri çekmek ve ürünlerinin sürdürülebilirliğini teşvik etmek için daha yaygın olarak kullanılan bir pazarlama taktiğidir. Çevresel etiketleme, bir ürünün karbon ayak izi, enerji verimliliği ve sürdürülebilir malzeme kullanımı dahil olmak üzere çevresel etkisi hakkında bilgi sağlamak için etiketlerin ve sertifikaların kullanılmasıdır. Alternatif olarak, çevresel etiketleme, tüketicileri bir ürünün çevre üzerindeki etkisi hakkında eğiten bir pazarlama stratejisidir. Daha fazla ülke kendi etiketleme sistemlerini uygulamaya koyduğundan beri çevresel etiketlerin kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Örneğin, Avrupa Birliği (AB) Eko Etiket, bir ürünün enerji verimliliği, su kullanımı ve sürdürülebilir malzeme kullanımı dahil olmak üzere çevresel etkisi hakkında ayrıntılar vermektedir. Dahası, bu konu kesinlikle dairesel ekonomi ve çevresel sürdürülebilirlik konularıyla ilgilidir. Çevresel farkındalığın arttığı bir çağda, işletmeler çevre bilincine sahip tüketicileri çekmek için stratejik bir araç olarak çevresel etiketlemeyi kullanmaktadır (Dórea ve ark,2022).

Ekonomik ve çevresel açılardan sürdürülebilirlik

Süs Bitkileri Sürdürülebilirlik Araştırma Koalisyonu, sürdürülebilir süs bitkileri üretimini, çevresel bozulmayı azaltmayı, üretkenliği sürdürmeyi, ekonomik sürdürülebilirliği teşvik etmeyi, kaynakları ve enerjiyi korumayı, istikrarlı topluluklarla yaşam kalitesini sürdürmeyi amaçlayan bir kavram olarak tanımlar (Wani ve ark, 2018). Rio Çevre ve Kalkınma Bildirgesi ve Gündem 21, sürdürülebilir kalkınma fikrinin şekillenmesinde merkezi bir rol üstlenmiştir. Rio Bildirgesi sürdürülebilir kalkınma vizyonu sunar-ken, Gündem 21, Birleşmiş Milletler, hükümetler ve diğer büyük grupların toplumu sürdürülebilir kalkınmaya doğru dönüştürme çabalarında rehberlik etmek ve koordine etmek için oluşturulmuş kapsamlı bir eylem planı sun-

muştur. İki belge, temel ekonomik hedeflerin orta ve uzun vadede sosyal ve çevresel hedeflerle uyumlu hale getirilmesi gerektiği ilkesine dayanmaktadır (Dominguez ve ark, 2017).

Süs bitkileri sektöründeki temel ekonomik hedeflerden biri, birim çıktı başına enerji tüketimini en aza indirmek olmuştur. Bunu başarmak için farklı stratejiler uygulanmıştır. Ayrıca, alan kullanımının iyileştirilmesi, saksı boyutunun küçültülmesi ve ürün kayıplarının azaltılması gibi birkaç üretim stratejisi, birim ürün başına enerji kullanımını azaltmak için uygulanmıştır. Süs bitkileri üretimi alanında gerçekleştirilen yenilikler, doğal kaynakların kullanımında verimliliği artırmakta ve çevresel yükü azaltmaktadır. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerde süs bitkileri tedarik zincirinde sosyal ve etik uygulamalarda garanti talepleri doğrultusunda standartlar genişletilmiştir. Üretim sonrası süreçte bilim dünyası, bitkilerin satış noktasına kadar kalitesini ve ömrünü artırmaya yönelik stratejileri araştırmaya yoğunlaşmıştır. Bunun da ekonomik nedenlerden kaynaklandığı net olarak görülmüştür (Dominguez ve ark, 2017).

İklim dostu üretim modellerinin ekonomik avantajları

Geniş anlamda bakıldığında süs bitkileri sektörünün gelecekte, büyüme ve yenilik açısından çok sayıda fırsatı barındırdığı ve umut vaat ettiği görülmektedir. Enerji tasarruflu tasarımlar, dikim ve hasat için otomatik sistemler ile hassas tarım teknikleri gibi sera teknolojisindeki gelişmeler, sektörün karşılaştığı bazı çevresel ve ekonomik zorlukların ele alınmasına yardımcı olmaktadır. Bu yenilikler yalnızca sera operasyonlarının çevresel ayak izini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda üretkenliği ve ürün kalitesini de iyileştirmektedir. Ayrıca, tüm dünyada süs bitkilerinin de dahil olduğu sürdürülebilir şekilde yetiştirilen ürünlere yönelik artan bir tüketici talebi gözlenmektedir. Bu trend, üreticilere organik yetiştirme, su geri dönüşümü ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gibi çevre dostu uygulamaları benimseyerek ürünlerini pazarda farklılaştırma fırsatı sunmaktadır. Bu noktadan hareketle üreticiler, tüketici değerleriyle uyum sağlayarak marka imajlarını geliştirebilir ve yeni pazar segmentlerine girebilirler (Wilson, 2024).

Sonuç ve Öneriler

Uygulamaların gelecekteki potansiyeli

Süs bitkileri sektöründe toplam karbon ayak izini azaltmaya yönelik teknolojiler hızla geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur. 2000'li yılların ardından, dünya dördüncü sanayi devrimini karşılarken, süs bitkileri sektörü bu teknolojik dönüşümden en hızlı ve köklü biçimde etkilenen alanlardan biri olmuştur. Günümüzde üreticiler, çiçek üretimini köklü biçimde dönüştüren ileri teknolojilere erişim sağlayabilmektedir. Büyük veri analizine yö-

nelik yetkinliklerin artması, süs bitkileri sektörünün genetik mühendislik gibi ileri düzey teknolojilerden faydalanmasını mümkün kılmıştır. Bu sayede, daha uzun vazo ve saksı ömrüne sahip, özgün renk ve koku özellikleri barındıran yeni süs bitkisi çeşitleri geliştirilebilmiştir. Bitkilerin genetik yapısının manipülasyonu yoluyla, zararlılara ve hastalıklara karşı daha dirençli türlerin ıslah edilmesi sağlanmakta; bu da pestisit kullanımını azaltarak sektörün çevresel sürdürülebilirliğine katkı sunmaktadır. Yapay zekâ (AI) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri, süs bitkileri üretiminde hassas tarım uygulamalarının hayata geçirilmesini sağlamıştır. Bu teknolojiler aracılığıyla sensörler, insansız hava araçları (dronlar) ve GPS tabanlı haritalama sistemleri kullanılarak bitki sağlığı ve gelişimi anlık olarak izlenebilmekte; böylece sulama, gübreleme ve zararlı mücadelesi uygulamaları daha optimize bir biçimde yürütülmektedir. Bu sayede girdi israfı önlenmekte, verim artmakta ve üretimin çevresel etkisi önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun yanı sıra, otomasyon, robotik sistemler ve yapay zekâ uygulamaları, iş gücü maliyetlerini düşürmekte ve üretim süreçlerinin etkinliğini artırmaktadır. Örneğin, otomatik ekim ve hasat sistemleri, insan gücüne kıyasla çok daha hızlı ve hassas biçimde çalışabilmekte, böylece işgücüne duyulan ihtiyaç azaltılmaktadır.

Her ne kadar bu teknolojik ilerlemeler bitki kalitesini ve verimini artırarak sektörel sürdürülebilirliğe katkı sağlasa da bazı potansiyel risklerin de göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Örneğin genetik mühendisliği bilim dalı, genetik olarak değiştirilmiş bitkilerin güvenliği ve ekosistem üzerindeki olası etkileri konusundaki tartışmalara da sahne olmaktadır. Öte yandan, otomasyon ve yapay zekâ temelli sistemlerin yaygınlaşması, özellikle üretimin büyük oranda yoğunlaştığı güney yarımkürede istihdam kayıplarına yol açabilecektir. Bu nedenle, teknolojik yeniliklerin çevresel, ekonomik ve toplumsal etkileri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmeli ve bu yenilikler adil ve sürdürülebilir üretim yöntemlerini destekleyecek şekilde sorumlu şekilde kullanılmalıdır.

Uluslararası Ticaret Merkezi'nin verilerine göre, küresel süs bitkileri ticaretinin 2019 yılı itibarıyla 104 milyar ABD doları aştığı ve bu değer önemli bir kısmının gelişmekte olan ülkelerden yapılan ihracatlara dayanmaktadır. Bununla birlikte, sektör artan rekabet, iklim değişikliği, çevresel bozulma ve toplumsal cinsiyet eşitliği gibi çok yönlü sorunlarla karşı karşıyadır. Teknolojik yenilikler bu zorlukların bazılarını aşmada önemli rol oynayabilir; ancak bu teknolojilerin, organik tarım, biyolojik çeşitliliğin korunması ve adil çalışma koşulları gibi sürdürülebilir tarım uygulamaları ile birlikte yürütülmesi gerekmektedir. Ayrıca, teknolojik gelişmelerin küçük ölçekli üreticiler dâhil olmak üzere tüm paydaşlar için erişilebilir kılınması, sektördeki mevcut ekonomik ve sosyal eşitsizliklerin daha da derinleşmesini önlemek açısından büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, süs bitkileri üretimi sektörü teknolojinin etkisiyle üretim, yönetim ve sürdürülebilirlik bağlamında önemli dönüşümler yaşamaktadır. Ancak bu teknolojik ilerlemelerin sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda, eşitlik, kapsayıcılık ve ekonomik adaleti gözetten bir yaklaşımla yönlendirilmesi gerekmektedir. Dördüncü sanayi devriminin sunduğu imkânlar, genetik mühendisliği, iklim kontrolü, karbon nötrlüğü ve teknolojilere erişim gibi alanlarda dengeli biçimde değerlendirildiğinde, süs bitkileri üretiminin gelecek kuşaklara sürdürülebilir biçimde aktarılması mümkün olacaktır (Wani ve ark., 2023).

Süs Bitkiler Üreticilerini İklim Değişikliğine Karşı Bilinçlendirme ve Farkındalığını Artırma Stratejileri

-Katılımcı ve Uygulamalı Öğrenme

Sahaya dayalı, uygulamalı ve üreticiler arası etkileşimi destekleyen eğitim modelleri, sürdürülebilir üretim uygulamalarının benimsenmesini kolaylaştırmaktadır. Eğitimlerde üreticilerin aktif olarak sağlanmalı ve yerel bilgilendirmeler göz önünde bulundurulmalıdır.

-Güven ve Bilgi Kaynaklarının Rolü

Üreticilerin iklim değişikliği konusundaki duyarlılıkları, büyük oranda bilgi kaynaklarına duydukları güvenle doğru orantılıdır. Güvenilen tarım danışmanları, yerel yöneticilerin konuya yaklaşımları ve benzer işi yapan diğer üreticiler kanalıyla edinilen bilgiler, üreticilerin karar alma süreçlerinde etkin olmaktadır.

-Algılanan Yararlılık ve Kullanım Kolaylığı

Yeni teknolojilerin ve düşük karbonlu üretim yöntemlerinin benimsenmesinde, bu sistemlerin üreticiler tarafından algılanan yararlılık derecesi ve uygulama kolaylığı belirleyici rol oynamaktadır. Teknolojiler, üreticilerin gerçek ihtiyaçlarına yönelik olmalı ve kendi beceri düzeyleri doğrultusunda sunulmalıdır.

-Farklı Üretici Grupları ve Özelleştirilmiş Yaklaşımlar

Üreticiler homojen bir grup değildir; ekonomik motivasyonlar, yeniliğe açıklık ve alışkanlıklar gibi farklı davranışsal özelliklere sahiptirler. Bu nedenle farkındalık stratejileri, farklı üretici gruplarına özel olarak uyarlanmalıdır (Arbuckle ve ark., 2015; Aubert ve ark., 2023; Li ve ark., 2022)

Politika yapıcılar ve sektör iş birlikleri

Dünyada iklim değişikliğine uyum projeleri için finansman sağlamak amacıyla, kamu ve özel sektör kaynaklarını birleştiren “blended finance” modelleri kullanılmaktadır. Örneğin, Avrupa Birliği’nin Adaptasyon ve Direnç

Yatırım Platformu (ARIP), kamu kaynaklarını kullanarak özel yatırımları teşvik etmeyi hedefler. Bu tür modeller, sera üreticilerinin iklim değişikliğine karşı dirençli altyapılar kurmasına yardımcı olabilir (The European Future Energy Forum, 2025).

Politika yapıcılar finansal teşvikler koyarak sürdürülebilirlik odaklı ürünlerin geliştirilmesini teşvik edebilirler (Archibald, 2023).

Ülkemizde ise, Tarım bakanlığı, İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı ve Tarımda İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi gibi belgelerle sera üreticilerine yönelik destekleyici çerçeveler oluşturmuştur. Bu çerçevede;

Su verimliliği yüksek sistemlerin teşviki (damla sulama, yağmurlama vs.), yenilenebilir enerji (güneş enerjisi, biyokütle) kullanımı, kuraklığa dayanıklı tür ve çeşitlerin desteklenmesi, organik tarım ve iyi tarım uygulamalarının teşviki yer almaktadır. Ayrıca Kırsal Kalkınma Destekleri (IPARD Programı) ile modern sera yatırımları, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik sağlayan projeler desteklenmektedir. Bunun dışında modern sera teknolojilerinin kullanımı, otomatik iklim kontrol sistemleri (ısı, nem, CO₂ kontrolü), Isı perdesi, termal örtü gibi yalıtım teknikleri, Geri kazanım sistemleri (su, enerji, ısı geri kazanımı), hidroponik ve akuaponik sistemler gibi sera ölçeğinde uygulanan teknik ve yapısal stratejiler de mevcuttur. Yine Güneş panelleri ve jeotermal enerjiyle ısıtma uygulamaları gibi alternatif enerji kullanımı, damla sulama sistemleri ve sensör destekli sulama kontrolü uygulamaları yaygınlaştırılmaktadır. Özellikle kurak bölgelerde su tasarrufu sağlamak için bazı üreticiler yağmur suyu hasadı ve gri su kullanımı gibi sistemlere yönelmiş durumda olup bu tür uygulamalar Tarım Bakanlığı tarafından da desteklenen uygulamalardandır.

Öte yandan Tarım il müdürlükleri ve üniversiteler tarafından üreticilere yönelik eğitim programları çerçevesinde düzenlenen seminer ve saha çalışmalarıyla iklim değişikliğine uyum konusunda farkındalık artırılmaktadır

İklim risklerine karşı üreticilerin daha erken önlem alabilmesi için meteorolojik veri temelli sistemler kurulmaya çalışılmakta ve bu anlamda tarımsal danışmanlıklar verilmektedir. Bitki Deseni ve Çeşit Seçimi konusunda ise İklim değişikliğine daha dayanıklı süs bitkisi türlerinin çeşitlerinin kullanımı teşvik edilmesi söz konusudur (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020).

KAYNAKLAR

- Afzal, S., Mubeen, M., Hussain, S., Ali, M., Javeed, H. M. R., Al-Ashkar, I., ... & Jatoi, W. N. (2023).
- Modern breeding approaches for climate change. *In climate change impacts on agriculture: Concepts, Issues and Policies for Developing Countries* (pp. 299-313). Cham: Springer International Publishing.
- Akan, Y., & Ustalar, S. A. Erzurum İli İçin Dikey Tarım Uygulamaları ve Avantajları. 7th International Zeugma Conference on Scientific Research 2022.
- Anwar-ul-Haq, M. (2023). Değişen İklim Altında Besin Yönetimi. Jatoi, WN, Mubeen, M., Hashmi, MZ, Ali, S., Fahad, S., Mahmood, K. (editörler) *İklim Değişikliğinin Tarım Üzerindeki Etkileri*. Springer, Cham.
- Arbuckle, J. G., Morton, L. W., & Hobbs, J. (2015). *Understanding farmer perspectives on climate change adaptation and mitigation: The roles of trust in sources of climate information, climate change beliefs, and perceived risk*. Environment and Behavior, 47(2), 205–234. <https://doi.org/10.1177/0013916513503832>
- Archibald, B. N., Zhong, V., & Brophy, J. A. (2023). *Policy makers, genetic engineers, and an engaged public can work together to create climate-resilient plants*. PLoS Biology, 21(7), e3002208.
- Aspen Yapı ve Zemin. (2024, Temmuz 12). Geleceğin yapıları: Sera tasarımları. <https://www.aspen.com.tr/blog/gelecegin-yapilar-sera-tasarimlar>
- Ast Elektronik. (2023). Akıllı sera sistemi. <https://www.astelektronik.com/akilli-sera-sistemi/>
- Aubert, M., van der Velden, N., & van den Brink, M. (2023). *Best practices for training in sustainable greenhouse horticulture*. Sustainability, 15(7), 5816. <https://doi.org/10.3390/su15075816>
- Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). *Waste management through composting: Challenges and potentials*. Sustainability, 12(11), 4456.
- Baytorun, A. N., & Gügercin, Ö. (2015). *Seralarda enerji verimliliğinin artırılması*. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2), 125-136.
- Begna, T. (2021). *Global role of plant breeding in tackling climate change*. Int. J. Agric. Sci. Food Technol, 7, 223-229.
- Büyüктаş, K., Tezcan, A., Karaca, C., Gümüş, Z., & Çalışkan, R. (2019). *Determination of the intensity of hail damage of the polyethylene greenhouse covers in the Mediterranean region by thermal camera*. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 24, 135-141.
- Çalışkan, R., & Büyüктаş, K. (2020). *Antalya'da Doğal Afetlerden Zarar Gören Seralarda Hasar Durumunun ve Tarım Sigortaları Destek Durumunun Belirlenmesi*. Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences, 7(12), 56-68.

- Çevik, R. & Demir, S. (2024). Impact of Climate Change on Plant Protection Methods: Problems and Solutions. In: Güngör, B. & Küçük, Ö. (eds.), *Climate Perspectives for Sustainable Future*. Özgür Publications. DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub564.c2272>
- Dizikisa, T., & Yıldız, N. (2023). *İklim Değişikliğini Tolere Etmede Farklı Organik Gübrelerin Toprak Özelliklerine Etkisi*. MAS Journal of Applied Sciences, 8(Özel Sayı), 1049-1068.
- Darras, A. I. (2020). *Implementation of sustainable practices to ornamental plant cultivation worldwide: A critical review*. Agronomy, 10(10), 1570.
- De, L. C., Anumala, N. V., Kumar, A., Biswas, S. S., Ns, K., Natta, S., ... & Das, S. P. (2024). *Impact of Climate Change on Floriculture Industry of India*. Medicon Agriculture & Environmental Sciences, 7(4), 26-33.
- Dominguez, G. B., Mibus-Schoppe, H., & Sparke, K. (2017). *Evaluation of existing research concerning sustainability in the value chain of ornamental plants*. European Journal of Sustainable Development, 6(3), 11-11.
- Dórea, R. J. D. S., Lopes Silva, D. A., de Almeida Neto, J. A., & Rodrigues, L. B. (2022). *Environmental labeling: an analysis of the past 22 Years of research*. Journal of International Consumer Marketing, 34(2), 184-200.
- Erzurumlu, G. S. (2025). *İklim Değişikliğine Uygun Süs Bitkisinin Kullanımı*. Bahçe, 54(Özel Sayı 1), 393-399.
- European Future Energy Forum. (n.d.). Innovative financing mechanisms for climate adaptation: Leveraging public-private partnerships and blended finance. Retrieved April 24, 2025
- Greenhouse Management. (2023). Renewable energy for greenhouses. https://www.greenhouse-management.com/greenhouse_management/greenhouse_heating/renewable_energy_greenhouses.htm
- Gruda, N., Bisbis, M., Tanny, J. (2019). *Influence of climate change on protected cultivation: Impacts and sustainable adaptation strategies-A review*. Journal of Cleaner Production, 225, 481-495.
- İzmir Kalkınma Ajansı. (2021, Şubat 2). Sürdürülebilirlikte bir vizyon olarak döngüsel tarım. KalkınmaGüncesi. <https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php/2021/02/02/surdurulebilirlikte-bir-vizyon-olarak-dongusel-tarim/>
- Kanat Z, Keskin A. (2018). *Studies on Climate Change in the World and Current Situation in Turkey*. Atatürk Univ., J. of the Agricultural Faculty. 49 (1): 67-78.
- Kazaz, S. (2023). Türkiye'de süs bitkileri sektöründe AR-GE çalışmaları. Plant Dergisi. <https://www.plantdergisi.com/yazi-turkiye%E2%80%99de-sus-bitkileri-sektoru-de-ar-ge-calismalari-477.html>
- Lakhiar, I. A., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., He, B., Hao, B., ... & Rakibuzzaman, M. (2024). *A review of precision irrigation water-saving technology under changing climate for enhancing water use efficiency, crop yield, and environmental footprints*. Agriculture, 14(7), 1141.

- Li, H., He, G., Liu, J., & Zhang, X. (2022). *The effect of farmers' awareness of climate change on their willingness to adopt low-carbon production: Evidence from field survey data in China*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(24), 16929. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416929>
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). *Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review*. Sustainability, 13(3), 1318.
- Pari, L., Cozzolino, L., & Bergonzoli, S. (2023). *Rainwater: Harvesting and storage through a flexible storage system to enhance agricultural resilience*. Agriculture, 13(12), 2289.
- Rumpel, C., & Chabbi, A. (2021). *Managing soil organic carbon for mitigating climate change and increasing food security*. Agronomy, 11(8), 1553.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021). *Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects*. Plants, 10(2), 259.
- Serdar, Ö. Z., Gemikonagi, K. K. T. C., Cellatoglu, A., & Küren, E. İnternet ve Mobil Destekli Akıllı Sera Otomasyon Kontrol Sistemi. Mesleki Eğitim Sempozyumu 2008, Bilgisayar ve Teknoloji Yüksek Okulu, Doğu Akdeniz Üniversitesi.
- Shivanna, K. R. (2022). *Climate change and its impact on biodiversity and human welfare*. Proceedings of the Indian National Science Academy, 88(2), 160-171.
- Soriano, P., Mora, R., Estrelles, E., Martínez-Nieto, M. I. (2024). *Comparison of the Climate Change Tolerance of Native and Non-Native Species Used or Potentially Used as Ornamentals in Mediterranean Areas*. Horticulturae, 10(6), 620.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). Türkiye'nin iklim değişikliği uyum stratejisi ve eylem planı (1. Baskı). Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020). İklim değişikliği ve tarım. Ankara: Tarım Reformu Genel Müdürlüğü. <https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Belgeler/Iklim%20Değişikliği%20ve%20Tarım.pdf>
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2020). Yağmur suyu hasadı rehber dokümanı. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Su%20Kaynaklar%C4%B1%20%C4%B0klım%20Proje/Ya%C4%9Fmur%20Suyu%20Hasad%C4%B1%20Rehber%20Dok%C3%BCman%C4%B1.pdf>
- Taşkın, Ö., Somuncu, M., Çapar, G. (2022). *İklim Değişikliğinin Türkiye'de su kaynakları ve tarım sektörüne etkileri üzerine bir değerlendirme*. Sosyal Bilimler Dergisi, 67-79.
- TrueMist. (2024, Mayıs 27). What is cool fog automatic irrigation system. <https://true-mistingsystem.com/what-is-cool-fog-automatic-irrigation-system/>
- Türker, U. (2024). Akıllı Tarım Teknolojileri Kullanımının Gıda ve Su Tasarrufu Üzerine Etkileri. K. Şahin ve İ. Erol (Eds.), Gıda, Su Kaybı ve İsrafı (s. 105-122) içinde. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.
- Valiño, V., Rasheed, A., Tarquis, A. M., Perdignes, A. (2014). *Effect of increasing temperatures on cooling systems. A case of study: European greenhouse sector*. Cli-

matic change, 123, 175-187.

- Vourdoubas, J. (2015). *Overview of heating greenhouses with renewable energy sources a case study in Crete-Greece*. Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 4(1), 70-76.
- Wani, M. A., Din, A., Nazki, I. T., Rehman, T. U., Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., ... & Mushtaq, M. (2023). *Navigating the future: exploring technological advancements and emerging trends in the sustainable ornamental industry*. Frontiers in Environmental Science, 11, 1188643.
- Wani, M. A., Nazki, I. T., Din, A., Iqbal, S., Wani, S. A., Khan, F. U., & Neelofar. (2018). *Floriculture sustainability initiative: The dawn of new era*. Sustainable agriculture reviews 27, 91-127.
- Wilson, L. (2024). *Husfarm. The economic impact of greenhouse grown flowers and ornamentals*. Husfarm Agriculture Platform. Retrieved April 21, 2025.



YULAF (*Avena sativa* L.) YETİŞTİRİCİLİĞİNİN ÖNEMİ, GÜNCEL SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

“ ”

Mehmet KARAMAN¹

¹ Doç. Dr., Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Muş, Türkiye, ORCID ID: 0000-0002-6176-9580 m.karaman@alparslan.edu.tr

Giriş

Yulaf (*Avena sativa* L.), hayvan beslenmesinde önemli bir serin iklim tahılı olmakla birlikte insan gıdası ve tıbbi amaçlı kullanımı ile her geçen gün kıymeti artmaktadır (Batalova ve ark., 2016; Çotaoğlu & Koca, 2020).

Yulaf, dünyada 9.5 milyon hektar alanda ekilmekte olup, 22.5 milyon ton üretilmekte ve hektara verimi 2360 kg'dır (FAO, 2021). Türkiye'de yulafın durumu incelendiğinde 137655 hektar alanda ekildiği, 365000 ton üretildiği ve hektara veriminin 2660 kg olduğu bildirilmiştir (TÜİK, 2022).



Şekil 1. Yulafın süt olum dönemine ilişkin görüntü (İmamoğlu ve ark., 2015)

Yulaf yetiştiriciliğinin uzun bir geçmişinin olduğu, Selçuklu ve Osmanlı imparatorluğu döneminde atların kuvvetli ve çevik olması için yulaf verildiği ve bu bağlamda geniş tarım alanlarında yetiştirildiği bildirilmektedir. Ayrıca, hayvan beslemede hem yeşil ot olarak hem de kuru ot olarak kullanıldığı ve yem değerinin (Şekil 1) diğer tahıllara göre daha yüksek olduğu, süt hayvanı yetiştiriciliğinde hayvanı vücut olarak yağlandırmadığı, sütteki yağ oranını artırmak amacıyla hayvanlara yulaf verilmesinin faydalı olduğu vurgulanmıştır (Topal ve ark., 2015). Yine başka bir çalışmada, yulaf tanesinin bileşiminde yer alan “*avenin*” maddesinin genç hayvanların gelişimini hızlandırdığı ve hayvanların vücudunda yağ biriktirmeksizin kas oluşumuna katkı sağladığı tespit edilmiştir (Çolak, 2005; Özden Şener, 2017; Çınar, 2023).

Dünyada, refah düzeyi yüksek olan nüfusun tüketim tercihlerindeki ve beslenme alışkanlıklarındaki değişimler yulafın insan gıdası olarak tüketimini de ön sıralara taşımıştır.



Şekil 2. Yulafın fizyolojik olum dönemine ilişkin görüntü (İmamoğlu ve ark., 2015)

Yulafın önemli antioksidanlar içermesi ve protein oranının yüksek olmasının yanı sıra gluten içeriğinin düşük olması, gluten alerjisi (çölyak hastalığı) olan bireylerde tüketim sonrası düşük seviyede hassasiyet oluşturmaması, yulaf tanesindeki avenin (prolamin) maddesinin genç hayvanların gelişmesine faydasının önemli düzeyde olması gibi nedenler ile yulafın insan ve hayvan beslenmesindeki önemi artmıştır (Dumlupınar, 2010; Naneli & Sakin, 2017) (Şekil 2).

Yulafın Fe, P ve Mn bakımından zengin, Cu, Co ve Ca açısından ise yetersiz içeriğe sahip olduğu vurgulanırken, yulaf tanesinde ve yağında eser miktarda A, D ve E vitaminlerinin bulunduğu, kavuzunun ise 'Si' bakımından zengin olduğu bildirilmiştir (Karabulut, 1995; Keçecioğlu ve ark., 2021).

Yulaf, arpadan sonra en önemli beta glukan kaynaklarından biridir. Serin iklim tahılları beta glukan içeriği bakımından değerlendirildiğinde; buğday, %0.4-1.4, çavdar %1.2-2.0, arpa %2.5-%11.3 ve yulaf %2.2-7.8 oranında beta glukan içermektedir (Khaleghdoust ve ark., 2023; Özen ve ark., 2025).

Tablo 1. *Yulaf tanesinin besin içeriği*

Yulaf (100 g) besin değeri	
Enerji	1628 kJ (389 kcal)
Karbonhidratlar	66.3 g
Diyet lifi	10.6 g
Yağ	6.9 g
Protein	16.9 g
Vitaminler	
Tiamin (B1)	0.763 mg
Riboflavin (B2)	0.139 mg
Niasin (B3)	0.961 mg
Pantotenik asit (B5)	1.349 mg
Folat (B9)	56 ug
İz metaller	
Kalsiyum	54 mg
Demir	5 mg
Magnezyum	177 mg
Manganez	4.9 mg
Fosfor	523 mg
Potasyum	429 mg
Çinko	4 mg
Diğer bileşenler	
β-glukan (çözünebilir lif)	4 g

Anonim, 2015; Sobayoğlu, 2017

Gıda olarak insan beslenmesinde tüketimi hedefleyen yulaf ıslahında; tane verimi, hektolitre ağırlığı, bin tane ağırlığı ve protein oranı yüksek olan çeşitler geliştirilirken, hayvan besleme (yeşil ot, kuru ot ve silaj) odaklı yulaf ıslahında ise uzun boylu, sap verimi ve protein oranı yüksek çeşitler hedeflenmektedir (Zute & Bulbyks, 1996; Naneli & Sakin, 2017). Tohum Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü (TTSM) kayıtlarına göre Türkiye’de 29 adet tescilli ve 1 adet üretim izinli yulaf çeşidi bulunmaktadır. Tescilli çeşitlerin 19 tanesi kamu, 9 tanesi özel sektör ve 1 tanesi de üniversiteye aittir (Anonim, 2025).

Bu çalışmada amaç, yulaf üretimi ve tüketiminin insan ve hayvan beslenmesindeki önemine dikkatleri yönlendirmektir.

Yulafın Orijini ve Genetik Yapısı

Yulafın orijininin Anadolu (Malzew 1930; Çalışkan & Koç, 2019) olduğu bildirilmekle beraber yulaf bitkisinin Milattan sonra 1. yy’da kültüre alındık-

tan sonra 5. yy'da Avrupa'da yetiştirildiği, ardından da tüm dünyaya yayıldığı, özellikle Selçuklu ve Osmanlı Dönemlerinde kıtlık probleminin baskın olduğu yıllarda ekmek yapımında kullanıldığı bildirilmiştir (Karaman ve ark., 2020).

Yulaf (*Avena sativa*), gramineae familyasında yer alan bir türdür. *Avena fatua* (beyaz yulaf) ve *Avena sterilis* (kırmızı yulaf) yabani formları, *Avena sativa* (beyaz yulaf), *Avena nuda* (çıplak yulaf) ve *Avena byzantina* (kırmızı yulaf) ise kültür formlarını temsil etmektedir (Yürür, 1998; Karaman ve ark., 2020). Günümüzde Kültüre alınan yulaflar hekzaploid ($2n=42$) ve taneleri kavuzlu (% 20-37) olup karyopsis (tane ve meyve kabuğu yapışık) formundadır (Dağ & Özkan, 2019; Karaman ve ark., 2020).

Yulaf, diğer serin iklim tahılları ile kıyaslandığında soğuk ve kurak koşullara maruz kaldığında daha hassas olmakla birlikte özellikle kışı sert geçen bölgelerde soğuktan önemli düzeyde zarar görmektedir (Colville & Frey, 1986; Mut ve ark., 2021). Toprak verimliliğinin düşük olduğu alanlarda (marginal alanlar) buğday ve arpaya nazaran üretimi daha kolay yapılabilen bir bitkidir (Buerstmayr ve ark., 2007; Mut ve ark., 2021).

Yulafın Besin İçeriği ve Kullanım Alanları

Eski zamanlardan beri yulafın hayvan yemi olarak kullanıldığı bilinmektedir. Değişen ve gelişen toplumlarda güvenilir, sağlıklı ve aynı zamanda yaşam kalitesini artıran gıda arayışı, yulafın yapısındaki β -glukan miktarı ve zengin lif içeriği insan gıdası olarak da tüketimine, üreticileri de bu ürünleri üretmeye yöneltmiştir. Ayrıca, yulafın zengin besinsel içeriğe sahip olması özellikle ekmek yapımında önemli kılmaaktadır (Yaver & Ertaş, 2014; Soba-yoğlu, 2017).

Araştırmacılar, yulafın besin içeriği yönünden zengin tek yıllık bir tahıl olduğunu vurgularken hayvan yemi ve insan gıdası olarak kullanılmasının yanı sıra tıbbi alanda ve kozmetik sanayisinde de kullanıldığını bildirmiştir (Peterson ve ark. 2005; Mut ve ark., 2021). Yulaf tanesinin bileşimi incelendiğinde, ortalama olarak % 40 oranında nişasta, % 75 endosperm, % 20-30 kavuz ve % 5 embriyo içerdiği belirlenmiştir (Yürür, 1998).

Yulafın serin iklim tahılları arasında en fazla lif, yağ ve β -glukan içeren tür olduğu bildirilmiştir (Dağ & Özkan, 2019; Karaman, 2020) (Tablo 1). Yem sanayisi için önemli bir ham madde olan yulafın yeşil ot olarak kullanımının yanı sıra kuru ot olarak (sap, saman ve kavuzları) da yem değeri açısından kıymetlidir (Şekil 3).



Şekil 3. Yulafa ait tane ve salkım görseli (İmamoğlu ve ark., 2015)

Yulaf samanında yaklaşık olarak %1-3 selüloz, %1-3 ham yağ, %3-4 ham protein ve %90 kuru madde bulunmaktadır (Kün, 1988). Yulaf tanesinin zengin besin içeriği insan ve hayvan beslenmesinde önem arz etmektedir (Kün, 1988; Köse ve ark., 2019).

Tablo 2. Bazı serin iklim tahıllarının tane kimyasal bileşimi

Tür adı	Protein (%)	Karbonhidrat (%)	Yağ (%)	Lif (%)	Kül (%)	β-glukan (%)
Arpa	10.8	80.7	1.9	4.4	2.2	5
Buğday	14.3	90.0	2.0	9.5	2.2	2
Çavdar	13.4	78.4	2.3	2.8	2.1	2
Yulaf	11.6	69.8	5.2	10.4	2.9	3-8

(Dağ ve Özkan, 2019; Karaman, 2020)

Yulaf tanesinin diğer serin iklim tahıl tanelerine göre daha fazla kül oranına sahip olması inorganik materyal (makro ve mikro elementler) bakımından daha zengin olduğunu kanıtlamaktadır (Tablo 1). Yulafın vejetatif aksamından elde edilen saman, buğday ve arpa samanı ile kıyaslandığında daha yumuşak, bol yapraklı, mineral ve organik madde açısından zengin olduğu vurgulanmıştır (Kün, 1988; Köse ve ark., 2019).

Yulaf, zengin besin içeriği (Tablo 1 ve 2) nedeniyle kanatlı hayvanların beslenmesinde de kullanılmaktadır. Ancak, Arabinoksilan içermesi nedeniyle tüketim miktarına dikkat edilmektedir. Yulafın kanatlı hayvanların rasyonunda yer almasının kanibalizmin önlenmesinde de etkili olduğu saptanmıştır (Yalçın, 2020; Karaman ve ark., 2020). Yulaf, serin iklim tahılları içerisinde ruminantlar (geviş getiren hayvanlar) için nişasta sindirilebilirliği en yüksek olan tahıldır (Yalçın, 2020; Alatürk & Tütenocaklı, 2024).

Yulaf, güncel olarak insan beslenmesi açısından değerlendirildiğinde yüksek yoğunlukta doymamış yağlar (Carlson ve ark., 2019; Erdoğan & Erdoğan Koyuöz, 2022) ve kalp sağlığını olumlu yönde etkileyen β -glukanlar (Newell ve ark., 2012; Erdoğan & Koyuöz Erdoğan, 2022) içeren sağlıklı tam tahıl olarak değerlendirilmektedir (Singh ve ark. 2013; Stewart & McDougall, 2014; Erdoğan & Koyuöz Erdoğan, 2022).

Yulaf, çok farklı bir kullanım alanı olarak kavuzları vasıtasıyla furfural elde edilmekte ve endüstride sıvı aldehit üretiminde kullanılmaktadır. Elde edilen aldehit, plastik yapımında ve yağ rafinerinde değerlendirilmektedir. Ayrıca, yulaf kavuzlarından tıbbi amaçlı olarak da faydalanıldığı bildirilmiştir (Yürür, 1994; Keçecioğlu ve ark., 2021).

Yulaf Yetiştiriciliği, Bakım ve Hasat İşlemleri

Yulaf bitkisi, toprak yapısı yönünden pek seçici olmamakla birlikte yeterli seviyede nem içeren hemen hemen her tür toprakta yetiştirilebilmektedir. Bununla birlikte azot yönünden zengin ve yüksek düzeyde nemli topraklar yulaf yetiştiriciliğinde bitkide yatmaya sebep olacağından tavsiye edilmektedir (Kün, 1988).



Şekil 4. Yulafın salkımlanma dönemine ilişkin görüntü (Kahraman ve ark., 2015)

Yulaf, serin iklim tahılları içerisinde soğuk iklim koşullarına en hassas tahıl olmakla birlikte çevre koşullarına bağlı olarak yazlık veya kışlık ekilebilmektedir. Ilıman iklim koşullarına sahip bölgelerde kışlık ekim (Şekil

4) tercih edilirken kışı sert geçen soğuk bölgelerde ise yazlık ekilmektedir. Toprak bünyesi açısından pek seçici olmayan yulaf bitkisinin marjinal tarım alanlarının değerlendirilmesinde çok iyi bir alternatif bitki olduğu vurgulanmıştır (Kahraman & Alatürk, 2024).

Yıllık yağış toplamının 600-700 mm civarında ve aylar bazında yağış dağılımının düzenli olduğu bölgelerde yulaf bitkisinin nem ihtiyacı karşılanmaktadır. Ancak, yazlık ekimlerde ilkbahar aylarındaki düzensiz ve yetersiz yağışlar tane ve ot verimi üzerinde olumsuz etkiye neden olmaktadır (Barut, 2003; Tanrikulu ve ark., 2020). Yulaf yetiştiriciliğinde gübreleme buğday ve arpaya benzerdir. Çevre koşullarına ve agronomik uygulamalara bağlı olarak saf madde üzerinden 10-16 kg/da azot (N) ve 4-8 kg/da fosfor (P_2O_5) verilmesi yeterlidir. Dekara atılan tohum miktarı yulaf çeşidinin bin tane ağırlığına göre değişmekle beraber 16-20 kg/da arasındadır.

Kuru ot için yapılan yulaf yetiştiriciliğinde sarı oluma girmeden önce, silaj için yapılan yetiştiricilikte ise süt olum döneminde biçim yapılmalıdır. Tane amaçlı yulaf yetiştiriciliğinde ana saptaki taneler sarı olum ile tam olum arasında bulunduğu dönemde biçilmelidir ve saplar hasat sonrasında tarlada 3-5 gün kurutulduktan sonra harmanlanmalıdır. Biçerdöverle hasatta ise birinci ve ikinci saptaki danelerin tam oluma ulaşmasını beklemek gerekir.

Yulafta Yetiştiriciliğinde Verim (kg/da)

Tüm tahıllarda olduğu gibi yulafta da tane verimi birçok morfolojik ve fizyolojik özeliğin interaksyonu sonucunda meydana gelmektedir (Öztürk & Atken 1999; Sarı & Ünay, 2015). Yulaf yetiştiriciliğinde elde edilen ürünü artırmak yulaf tarımı yapılabilir alanın ya da birim alandan elde edilen verimin artmasıyla mümkündür. Dünyada ve Türkiye’de tarla tarımına açılan alanların son haddine geldiği düşünüldüğünde birim alandan yüksek tane verimi veren çeşitleri yetiştirmek en arzu edilen durumdur (Tamm, 2003; Mut ve ark., 2021).

Yulaf yetiştiriciliğinde tane verimi, tanenin fiziksel özelliklerinden olan bin tane ağırlığı, hektolitreye ağırlığı, tane iç oranı ile salkım uzunluğu ve bitki boyundan etkilendiği bildirilmiştir. Yulaf yetiştiriciliğinde verim ve kaliteyi artırmanın yolu lokasyon odaklı çalışmalar yaparak adaptasyonu, verimi ve kalitesi yüksek genotipleri belirlemek olduğu ve bu bağlamda ürün çeşitliliğinin ve daha ekonomik üretimin yapılabileceği bildirilmiştir (Mut ve ark., 2021).

Çanakkale koşullarında 49 yulaf genotipi ile yapılan çalışmada yeşil ot veriminin 1038-3156 kg/da arasında farklılık gösterdiği bildirilmiştir (Saban-düzen & Akçura, 2017).

Kahramanmaraş’ta kışlık ve yazlık ekim koşullarında yulaf ile ilgili yapılan bir çalışmada ise yulaf genotiplerinin yeşil ot veriminin yazlık ekimde

3294.3-4555 kg/da, kışlık ekimde ise 4694.4-6883.3 kg/da arasında değişim gösterdiği bildirilmiştir (Tanrikulu ve ark., 2020).

Tane verimine yönelik Akdeniz iklimi koşullarında 109 farklı yulaf genotipi ile yapılan çalışmada tane veriminin 118.0-606.0 kg/da arasında farklılık gösterdiği bildirilmiştir (İannucci ve ark., 2011). Isparta ili koşullarında 12 yulaf genotipi ile 2 yıl süreyle yapılan çalışma sonucunda ortalama tane veriminin 183.4-284.3 kg/da arasında değişim gösterdiği saptanmıştır (Akğün & Türkay, 2025). Farklı araştırmacılar tarafından farklı yıllarda yulaf ile ilgili yapılan çalışmalarda tane veriminin en fazla 650.2 kg da⁻¹ ile 993.0 kg da⁻¹ arasında değişen değerlere ulaştığı vurgulanmıştır (Kahraman ve ark., 2012; Kahraman ve ark., 2017; Sabandüzen & Akçura, 2017; Hocaoglu ve ark., 2022). Yulaf yetiştiriciliğinde yeşil ot ve tane verimlerinin farklılık göstermesi çeşidin, çevre koşullarının ve agronomik uygulamaların önemini göstermektedir.

Yulaf Üretimini Sınırlandıran Faktörler

1-Yulafın soğuk ve kurak koşullara dayanıklılığının düşük olması (Buerstmayr ve ark., 2007).

2-Yüksek yağış, fazla azot kullanımı ve verimli arazi koşullarında yatma problemi

3-Eş zamanlı olgunlaşmama sorunu

4-Tane dökme problemi

5-Hayvan beslemede yulafa nazaran soya, mısır ve buğday kullanımının artması (Buerstmayr ve ark., 2007).

6-Nem oranının düşük olduğu koşullarda verimin olumsuz etkilenmesi

7-Aşırı nemli bölgelerde yapılan yulaf yetiştiriciliğinde hastalık probleminin artması

8-Türkiye, yulafın gen merkezidir. Bu bağlamda, yerel yulaf çeşitleri toplanarak koruma altına alınmıştır. Fakat, yerel yulaf genotipleri toplanmış olmakla birlikte toplanan bu materyallerin farklı çevrelere uyumu ve sahip olduğu karakterler açısından var olan genetik varyasyonun tespit edilmesi konusunda yeterince çalışma yapılamamıştır (Özberk, 2018; Keçecioglu ve ark., 2021).

9-Türkiye'deki yerel yulaf çeşitlerinin birçok özelliği bilinmemektedir. Bu yüzden gerek üretici koşullarında, gerekse bitki ıslahı çalışmalarında yeterli düzeyde var olan potansiyelden faydalanılamamaktadır.

Yulaf Üretimini Artırmak İçin Çözüm Önerileri

1-Kış koşullarında zarar görmeden atlatabilen yeni yulaf çeşitlerinin geliştirilmesi

2-Kırağa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi ile nadas alanlarında yulaf yetiştiriciliğinin yapılması.

3-Kışlık çeşit sayısının artırılması ile yazlık çeşitlerden ziyade kışlık çeşitlerin üretimde yer alması.

4-Lokasyon odaklı ıslah çalışmaları ile yeni yulaf çeşitlerinin geliştirilmesi

5-Ülkemizdeki yerel yulaf çeşitlerinin detaylı karakterizasyonu ve ebeveyn olarak ıslah programlarında kullanılması ile verimli ve kaliteli yulaf çeşitlerinin geliştirilmesine katkı sağlanması.

6-Ar-Ge programlarında yulaf ıslahı için daha fazla bütçe ayrılması

Sonuç

Yulaf, daha çok hayvan beslenmesinde yer almakla birlikte son yıllarda insan beslenmesinde ve özellikle diyet programlarında yer alması, endüstride ve yeşil yem ile yapay otlaklarda, ilaç ve kozmetik sanayisinde kullanılması ham maddeye talebi artırmıştır.

Yulafın dermatolojik rahatsızlıkları, kardiyovasküler hastalık risklerini, inflamasyonu ve tip 2 diyabeti azaltmada faydalı olduğuna ilişkin kanıtlar insan beslenmesinde daha fazla yer almasına sebep olmuştur.

Yulafta insan ve hayvan beslenmesi açısından önem arz eden kalite özelliklerinden yağ, protein, beta glukan ve besinsel lif içeriğinin yüksek olması istenmektedir. Bu bağlamda Türkiye’de, yulafın insan ve hayvan gıdası olarak tüketimine yönelik talep her geçen gün artmakla birlikte talebi karşılayacak çeşit sayısının istenen seviyede olmadığı düşünülmektedir. Tüketici tercihleri ve yem sanayisini dikkate alarak gıda ve yem amaçlı yeni çeşitlerin ıslah edilmesi ihtiyaç olarak görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akgün, İ., & Türkay, C. (2025). Bazı yulaf genotiplerinin tohum verimi ve verim ögele-
rinin belirlenmesi. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 47-54.
- Alatürk, S., & Tütenocaklı, T. (2024). Bazı yulaf (*Avena sativa* L.) genotiplerinin tane
verimi ve kalitesi açısından incelenmesi. *Acta Natura et Scientia*, 5(2), 106-118.
- Anonim. (2015). Türkiye yulaf üretimi. Türkiye İstatistik Kurumu. 25 Ağustos 2025
tarihinde http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001 adresinden erişildi.
- Anonim. (2025). Milli çeşitler listesi: Tescilli ve üretim izinli çeşitler listesi. Tohum
Tescil ve Sertifikasyon Merkezi. 19 Ağustos 2025 tarihinde <http://www.ttsm.gov.tr> adresinden erişildi.
- Barut, A. A. (2003). *Bazı yulaf (Avena sativa L.) çeşitlerinde ekim zamanı ve tohum
iriliğinin verim ve verim öğelerine etkisi* (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Fen
Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Ankara.
- Batalova, G. A., Shevchenko, S. N., Tulyakova, M. V., Rusakova, I. I., Zheleznikova, V.
A., & Lisitsyn, E. M. (2016). Breeding of naked oats having high-quality grain.
Russian Agricultural Sciences, 42(6), 407-410.
- Buerstmayr, H., Krenn, N., Stephan, U., Grausgruber, H., & Zechner, E. (2007). Agro-
nomic performance and quality of oat (*Avena sativa* L.) genotypes of worldwi-
de origin produced under central European growing conditions. *Field Crops
Research*, 101(3), 343-351.
- Carlson, M. O., Montilla-Bascon, G., Hoekenga, O. A., Tinker, N. A., Poland, J., Base-
ggio, M., & Yeats, T. H. (2019). Multivariate genome-wide association analyses
reveal the genetic basis of seed fatty acid composition in oat (*Avena sativa* L.).
G3: Genes, Genomes, Genetics, 9(9), 2963-2975.
- Colville, D. C., & Frey, K. J. (1986). Development rate and growth duration of oats in
response to delayed sowing. *Agronomy Journal*, 78(3), 417-421.
- Çalışkan, M., & Koç, A. (2019). Batı Akdeniz bölgesine ait yerel yulaf genotiplerinin
morfolojik karakterizasyonu. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergi-
si*, 28(1), 7-18.
- Çınar, T. (2023). 19. yüzyılda Osmanlı Devleti'nde yulaf üretimi. *Karadeniz Sosyal Bi-
limler Dergisi*, 15(28), 191-205.
- Çolak, F. (2005). *II. Meşrutiyet'ten Cumhuriyete Batı Anadolu'da üretim ve dış ticaret
(1908-1923)* (Doktora tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitü-
sü, İzmir.
- Çotaoglu, A., & Koca, Y. O. (2020). Effect of different potassium doses on yield, some
yield components and some grain quality properties and distribution of fatty
acids of oat cultivars. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57(4), 537-544.
- Dağ, Ş. R. O., & Özkan, A. M. G. (2019). Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) üzerine
bir derleme. *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 43(3), 309-333.

- Dumlupınar, Z. (2010). *Türkiye orijinli yerel yulaf genotiplerinin avenin proteinleri ile morfolojik, fenolojik ve agronomik özellikler yönünden karakterizasyonu* (Doktora tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı.
- Erdoğan, Ü., & Erdoğan Koyuöz, G. (2022). Determination of total antioxidant capacity, radical scavenging activity and fatty acid composition of ultrasonic assisted ethanolic extraction of oat (*Avena sativa* L.) grains. *KSU Journal of Agriculture and Nature*, 25(Suppl 2), 326-334.
- FAO. (2021). *The state of food security and nutrition in Europe and Central Asia*. Food and Agricultural Organization, Budapest.
- Hocaoğlu, O., Akçura, M., & Çeri, S. (2022). Kavuzsuz yulaf genotipleri ile bazı yulaf çeşitlerinin Marmara bölgesindeki tane verimleri ve bazı tarımsal özelliklerinin değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(3), 771-778.
- Iannucci, A., Codianni, P., & Cattivelli, L. (2011). Evaluation of genotype diversity in oat germplasm and definition of ideotypes adapted to the Mediterranean environment. *International Journal of Agronomy*, 2011, Article ID 870925.
- İmamoğlu, A., Pelit, S., Büyükkileci, C., Yıldız, Ö., & Hekimhan, H. (2015). Ege Bölgesi yulaf ıslah araştırmaları. *TAGEM Grup Toplantısı, Serin İklim Tahılları Grubu*, Antalya.
- Kahraman, T., Avcı, R., & Öztürk, İ. (2012). Trakya-Marmara bölgesine uygun yulaf genotiplerinin belirlenmesi. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 5(2), 24-28.
- Kahraman, T., Avcı, R., & Öztürk, İ. (2015). Trakya-Marmara bölgesi yulaf ıslah araştırmaları. *TAGEM Grup Toplantısı, Serin İklim Tahılları Grubu*, Antalya.
- Kahraman, T., Avcı, R., & Kurt, C. (2017). Bazı yulaf (*Avena sativa* L.) genotiplerinin tane verimi, kalite ve tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 74-79.
- Kahraman, T., & Alatürk, F. (2024). Farklı yulaf (*Avena sativa* L.) genotiplerinin tane verimi ve yem kalitesi yönünden değerlendirilmesi. *Bilim, Teknoloji ve Yenilik Ekosistemi Dergisi*, 5(2), 81-89.
- Karabulut, A. (1995). *Yemler bilgisi ve yem teknolojisi* (Ders notları, No: 67). Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bursa.
- Karaman, R., Akgün, İ., & Türkay, C. (2020). İnsan beslenmesinde alternatif besin kaynağı: Yulaf. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), 78-85.
- Keçecioğlu, Y., Kara, R., & Dokuyucu, T. (2021). Bazı yulaf genotiplerinin morfolojik ve tarımsal özellikler yönünden genetik farklılıklarının ve ilerlemelerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(1), 103-115.
- Khaleghdoust, B., Esmaeilzadeh-Salestani, K., Korge, M., Alaru, M., Möll, K., Värnik, R., ... Loit, E. (2023). Barley and wheat beta-glucan content influenced by weather, fertilization, and genotype. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, Article 1161162.

- Köse, Ö. D. E., Mut, Z., & Akay, H. (2019). Grain yield and some quality properties of domestic and foreign oat genotypes. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Agriculture, Food, Veterinary and Pharmacy Sciences (ICAFOP)* (s. 186-190). Trabzon, Türkiye.
- Kün, E. (1988). *Serin iklim tahılları* (Ders kitabı No: 299). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Malzew, A. I. (1930). Wild and cultivated oats (Sectio Euavena Griseb). *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding, Supplement*, 38, 473-517. Leningrad.
- Mut, Z., Demirtaş, N., & Erbaş Köse, Ö. D. (2021). Evaluation of yield and some physical quality characteristics of different oat (*Avena sativa* L.) genotypes under supplemented irrigation and rainfall conditions. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 9(1), 197-204.
- Naneli, İ., & Sakin, M. A. (2017). Bazı yulaf çeşitlerinin (*Avena sativa* L.) farklı lokasyonlarda verim ve kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26(Özel Sayı), 37-44.
- Newell, M. A., Asoro, F. G., Scott, M. P., White, P. J., Beavis, W. D., & Jannink, J. L. (2012). Genome-wide association study for oat (*Avena sativa* L.) beta-glucan concentration using germplasm of worldwide origin. *Theoretical and Applied Genetics*, 125(8), 1687-1696.
- Özberk, İ. (2018). Mezopotamya'nın yerel buğdayları. In *Türkiye Yerel Buğdaylar Sempozyumu Bildiri Kitabı* (s. 40-42). Bolu, Türkiye.
- Özden Şener, E. (2017). *Bursa ekolojik koşullarında yulaf çeşitlerinin agronomik ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
- Özen, S., Özbek, H. N., & Göğüş, F. (2025). Beta glukan: Kaynaklarına göre sağlık faydaları ve besinlerdeki kullanımı. *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi*, 34(1), 50-65.
- Öztürk, A., & Atken, Ş. (1999). Kışlık buğdayda bazı morfofizyolojik karakterler ve tane verimine etkileri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(6), 531-540.
- Peterson, D. M., Wesenberg, D. M., Burrup, D. E., & Erickson, C. A. (2005). Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. *Crop Science*, 45(3), 1249-1255.
- Sabandüzen, B., & Akçura, M. (2017). Bazı yulaf genotiplerinin Çanakkale koşullarında verim ve verim unsurlarının incelenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(2), 101-108.
- Sarı, N., & Ünay, A. (2015). Yulafta (*Avena sativa* L.) tane verimini etkileyen özelliklerin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 115-123.
- Singh, R., De, S., & Belkheir, A. (2013). *Avena sativa* (Oat), a potential nutraceutical and therapeutic agent: An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nut-*

rition, 53(2), 126-144.

- Sobayoğlu, R. (2017). *Karaman şartlarında yazlık ekilen yulaf çeşitlerinin verim ve kalite özellikleri yönünden değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Konya.
- Stewart, D., & McDougall, G. (2014). Oat agriculture, cultivation and breeding targets: Implications for human nutrition and health. *British Journal of Nutrition*, 112(S2), S50-S57.
- Tamm, I. (2003). Genetic and environmental variation of grain yield of oat varieties. *Agronomy Research*, 1(1), 93-97.
- Tanrıkulu, A., Dokuyucu, T., & Avcı, İ. (2020). Yazlık ve kışlık ekilen yulaf (*Avena sativa* L.) genotiplerinin yeşil ot verimi ve silaj kalite özellikleri bakımından değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (DUFED)*, 9(1), 53-64.
- Topal, A., Sade, B., Soylu, S., Akar, T., Mut, Z., Ayrancı, R., ... Yılmazkart, M. (2015). Arpa, çavdar, yulaf, tritikale raporu. Ulusal Hububat Konseyi, 59-83.
- TÜİK. (2022). *Tarımsal ürünler istatistiği: İstatistiklerle Türkiye*. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- Yalçın, S. (2020). *Tane yemler*. 25 Ağustos 2025 tarihinde https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/44619/mod_resource/content/0/Tane-Yemler-Sakine-Yalçın.pdf adresinden erişildi.
- Yaver, E., & Ertaş, N. (2014). Yulafın bileşimi, hububat endüstrisinde kullanım alanları ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Gıda ve Yem Bilimi - Teknolojisi Dergisi*, 13(1), 42-50.
- Yürür, N. (1994). *Serin iklim tahılları (Tahıllar-I)* (Ders kitabı No: 030-0256). Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Bursa.
- Yürür, N. (1998). *Serin iklim tahılları-I*. Uludağ Üniversitesi Yayınları, Bursa.
- Zute, S., & Bulbyks, P. (1996). The quality characteristics of new varieties of oats. In A. Slinkard, G. Scoles, & B. Rosnagel (Eds.), *Proceedings of the V International Oat Conference & VII International Barley Genetics Symposium, Poster Sessions, Vol. 1* (s. 150-151). University Extension Press, Saskatchewan.



TOHUM GÜÇ VE KALİTE TESTLERİNE YENİ NESİL YAKLAŞIM: YAPAY ZEKÂ KULLANIMI

“ ”

Gamze KAYA¹

¹ Doç.Dr. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bilecik, Türkiye email: pascalcik@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-9815-2672

1. GİRİŞ

Tarım sektörü, makine öğrenimi algoritmalarındaki son gelişmeler sayesinde hızlı bir dönüşüm içerisinde. Bu algoritmalar, kalite özelliklerine göre ürünleri, özellikle tohumları sınıflandıran modellerin temelini oluşturmaktadır. Sağlam algoritmalar, tohum verilerini doğru bir şekilde sınıflandırmakta ve doğrusal ve doğrusal olmayan korelasyonları yakalayabilmektedir. Yapay zekâ tabanlı yenilikler, insan işini mümkün olduğunca azaltma amacına ve otomatik olarak çalışabilme kapasitesine sahiptir. Ayrıca optik görüntüleme tekniklerinin entegrasyonu da tohum olgunluğu gibi tohum güç parametrelerinin değerlendirilmesi için kullanılmaya başlamıştır (Jia vd., 2023).

Tohum gücü, bir tohumun hızlı, uniform ve sağlıklı çimlenme yeteneğini ifade eden, tarımsal üretimde verimlilik ve kaliteyi doğrudan etkileyen en temel unsurlardan biridir. Güç yalnızca çimlenme oranı ve fide çıkışı ile değil, aynı zamanda stres koşullarında tohumun gelişim potansiyeli gibi parametrelerle de değerlendirilmektedir (Copeland ve McDonald, 2001). Özellikle domates, biber, marul ve lahana gibi ekonomik değeri yüksek sebzelerde, tohum kalitesinin hatasız belirlenmesi, üretici açısından hem ekonomik hem de zaman yönetimi açısından kritik bir konudur.

Tohumun kalitesi ise tohumun gücü yanında, tohumun saflığı, nem ve yağ içeriği, canlılığı vb. parametrelerle değerlendirilmektedir. Tohum gücü ve kalitesi, taze ve depolanmış tohumların saflık, çimlenme, canlılık ve kalıntı, ölü tohum, küf, zararlı böcek veya diğer bozulma belirtileri gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin sürekli olarak incelenmesi için güvenilir yöntemlerin kullanılmasını gerektirmektedir (Medeiros vd., 2020). Laboratuvar da tohum kalitesinin geleneksel olarak test edilmesinde, insanlar her bir tohumu tek tek görsel olarak incelemesinden dolayı zahmetli ve zaman alıcı bir iş haline gelmektedir. Dolayısıyla, uzun süre kesintisiz çalışan personelin zamanla performansı düşmekte ve bazen yetersiz kalmakta ve dikkati dağılmakta bu da denetim hatalarının ve hatalı raporlamaların artmasına neden olmaktadır (Singh vd., 2025). Geleneksel tohum gücü testleri ise genellikle çimlenme testi, hızlı yaşlandırma, kontrollü bozulma, çıkış testi, elektriksel iletkenlik, soğuk test vb. yöntemlerle yapılmakta olup, bu tür yöntemler zaman alıcı, iş gücüne dayalı ve gözleme bağlı subjektif değerlendirmeleri kapsamaktadır (AOSA, 2010). Bu durum ise modern tarımsal gelişimin ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır. Dolayısıyla geleneksel test yöntemleri insan hatasına açık, maliyetli ve zaman alıcıdır. Tohumların güç ve kalitelerinin belirlenebilmesi ve kontrolü için modern bilim ve teknolojinin kullanılması ile tarımsal gelişim ve tohum üretiminin artırılması üzerinde çalışılması gereken bir konudur. Son yıllarda, bilimsel gelişmelerle birlikte tohumların kalite kontrolü için kullanılan ekipman ve teknolojiler hızla gelişmekte, tarımsal süreçlerin

dijitalleşmesi ile birlikte ise bu testlerin otomasyonu ve objektif hale getirilmesi adına yeni yaklaşımlar gündeme gelmektedir.

Bu bağlamda, yapay zekâ (artificial intelligent, AI) ve özellikle makine öğrenimi (machine learning, ML) ve derin öğrenme (deep learning, DL) algoritmaları tohum analizinde önemli bir dönüşüm potansiyeli taşımaktadır (Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018). Bu nedenle, spektral görüntü işleme ve yapay zekâyı birleştiren kalite kontrol yöntemi ortaya çıkmış ve tarım ürünlerinin kalite kontrolünü daha otomatik ve akıllı hale getirmiştir.

Son yıllarda, araştırmacılar spektral analiz ve spektral görüntüleme teknolojilerine dayalı bazı yapay zekâ yöntemlerini kullanarak, tohumların tanımlanması, tohum neminin tespiti, tohum hastalıklarının tespiti, kimyasal içeriğinin belirlenmesi, tohum canlılığının tespiti vb. gibi spektral analiz ve spektral görüntüleme teknolojilerine dayalı tohum kalitesini incelemişlerdir. Tohuma zarar vermeden yapılan spektral görüntüleme tekniklerinin modern tarımın gereksinimlerini karşıladığını ve nispeten yüksek hızda pratik ve güvenilir bir tohum inceleme yöntemi olduğu vurgulanmaktadır (Long vd., 2021). Bu yöntemler arasında, yer alan kızılötesi spektroskopi ve hiperspektral görüntüleme teknikleri gerçek zamanlı gerçekleşmesi, pratik ve yüksek doğruluklu sonuçlar vermesi nedeniyle birçok araştırmacı tarafından büyük ilgi görmektedir. Görüntü işleme teknikleriyle desteklenen derin öğrenme sistemleri, tohumun fiziksel özelliklerini, çimlenme durumlarını ve hastalık belirtilerini yüksek doğrulukla analiz edebilmektedir (Singh vd., 2016). Örneğin, Generative Adversarial Network (GAN) ve aktif öğrenme modelleriyle geliştirilen sistemlerin, tohum kalite testlerinde etiketli veri ihtiyacını azaltarak yüksek doğruluk oranlarının elde edildiği bildirilmiştir (Vineet vd., 2021).

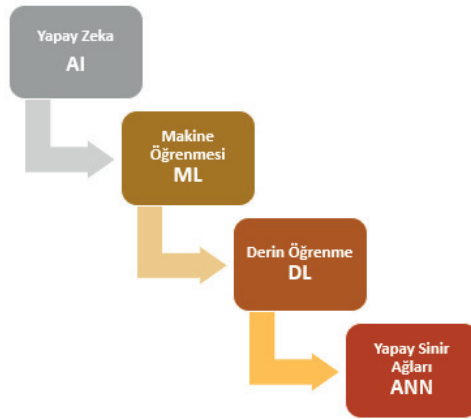
Hiperspektral görüntüleme ve çoklu görüş füzyonu gibi yeni nesil sensör teknolojileri ile de entegre edilen yapay zekâ sistemleri, tohum olgunluk sınıflandırması ve içsel kalite değerlendirmelerinde de umut verici sonuçlar sunmaktadır (Xie vd., 2021). Bu gelişmeler, tohum güç testlerinin hızlı, hassas ve ölçeklenebilir hale getirilmesini sağlayarak, özellikle tohumculuk endüstrisine önemli katkılar sağlamaktadır. Spektral analiz teknolojisi, test edilen nesnenin spektral karakteristik bilgilerini elde edebilmektedir. Bu teknoloji, kolay kullanım, hızlı ve tahribatsız inceleme, aynı anda çoklu bileşen analizi gibi avantajlara sahiptir ve malzeme bileşimi ölçümü ve tanımlama, kimyasal analiz vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Spektral görüntüleme teknolojisi, spektral analiz teknolojisi ile görüntü analiz teknolojisini birleştirmekte ve tespit edilen nesnenin spektral bilgilerini ve görüntü bilgilerini içeren üç boyutlu veri küpünü hızlı bir şekilde elde edebilmektedir. 1960'ların başında, çoklu spektral görüntüleme teknolojisi çevre ve arazi gözlemi için kullanılmaya başlanmıştır. Çoklu spektral görüntüleme ile karşılaştırıldığın-

da, hiperspektral görüntüleme daha zengin bilgi içermekte ve bu da tıp, tarım ve diğer alanlarda büyük ilgi uyandırmaktadır. Özellikle tarım alanında, genellikle çiftlik toprağı izleme, ürün büyüme değerlendirmesi ve ürün verim tahmini için kullanılmaktadır (Hong vd., 2023).

Bu çalışma, yapay zekâ tabanlı yöntemlerin tohum gücü testlerinde kullanımını mevcut literatürü değerlendirerek ele alarak ve bu alandaki teknolojik gelişmeleri de sistematik olarak incelemeyi amaçlamaktadır.

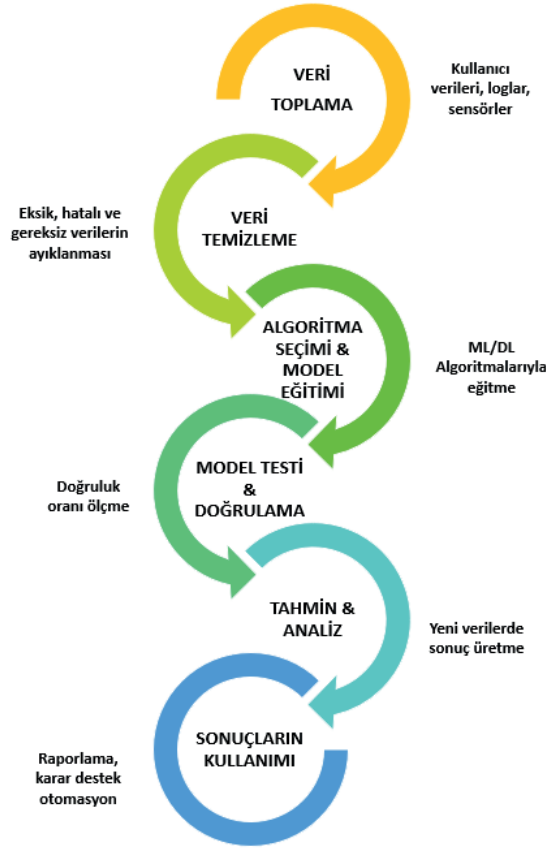
2. YAPAY ZEKÂ VE TOHURLARDA KULLANIMI

Yapay zekâ (Artificial Intelligence-AI), genel anlamda bilgisayar sistemleri aracılığıyla insan zekâsı süreçlerinin simüle edilmesini ifade etmektedir. Bunlar; bilgi edinme-veri toplama, veri aktarımı ve veriler toplandıktan sonra algoritmalar aracılığıyla yapılan analizlerdir. Büyük boyutlu veri kümeleleri için bulut vb. büyük ölçekleri depolama sistemleri gerekmektedir (Yıldız ve Veziroğlu, 2025). Makine öğrenmesi (Machine Learning-ML) ise yapay zekanın bir alt dalı olup, bilgisayar kodlanmadan doğrudan girilen veriler yardımıyla öğrenmektedir. Derin öğrenme (Deep Learning-DL) ise makine öğrenmesinin bir alt dalı olup, insan beyninden ilham alınmış yapay sinir ağlarını kullanmaktadır. Bu nedenle çok büyük veriler ve güçlü bilgisayarlar gerektirmektedir. Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks-ANN) derin öğrenmenin temelinde yer almakta, insan beynindeki nöronların basit bir taklidi olup, veriyi katman katman işlemektedir. Yapay zekâ kavramlarının hiyerarşik dizilimi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Yapay zekâ kavram hiyerarşisi

Yapay zekâ uygulamaları ile veriler analiz edilirken belirli bir sistematik sıralama ile Şekil 2’de gösterildiği gibi ilerlemektedir.



Şekil 2. Yapay zekâ veri işleme akışı

Tarımın diğer alanlarında kullanıldığı gibi tohum güç ve kalite testlerinde de yapay zekâ, süreci otomatikleştirip kolaylaştırarak test yöntemlerini yeniden şekillendirmektedir. Bu yöntemler çoğunlukla tohumların fiziksel özellikleri, çimlenme potansiyeli, su alım süreci, tohum partileri arasındaki güç farklılıkları, canlılık, hastalık direnci, vb. parametrelere göre değerlendirilmesini kapsamaktadır (Singh vd., 2025). Tohum güç ve kalite testlerinde yapay zekâ kullanımı zamandan tasarruf sağlamanın yanında tutarlı ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, insan hatalarını en aza indirmekte ve tohumlara zarar vermeden tahribatsız bir analiz imkânı da sunmaktadır (Zou vd., 2019). Dünyada arpa, buğday, mısır, nohut, mercimek, ayçiçeği vb. tarla ürünlerine ait tohumlarında kullanılmakta olan yapay zekâ tabanlı güç ve kalite testleri sebze tohumlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Sebze tohumlarının yüksek pazar değeri, kısa raf ömürleri ve hassas çim-

lenme koşulları nedeniyle kalite değerlendirmesinde daha yüksek doğruluk ve hız gerektirmektedir. Bu nedenle, yapay zekâ tabanlı analiz yöntemlerinin sebze tohumlarında kullanımını daha da önemli hale getirmiştir.

2.1. Uygulama Alanları

Dünyada yapay zekâ teknolojilerinin son yıllarda tarıma entegrasyonu pek çok yazılım geliştirilerek sağlanmış ve yapay zekâ teknolojisine dayanan yöntemler tarımsal üretimde farklı amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır. Yapay zekanın tarım alanında kullanımı özellikle verilerin toplanması ve analiz edilmesi sürecinde kolaylık sunmaktadır. Örneğin, hava durumu, toprağın nemi ve bitki sağlığı gibi çeşitli veriler sensörler, dronlar ve uydu görüntüleri yardımıyla elde edilmekte ve yapay zekâ teknolojilerinin yardımıyla bu veriler analiz edilmektedir. Bu sayede verim tahmini ve üretimi miktarları ile ilgili projeksiyonlar yüksek doğruluk oranları ile belirlenebilmektedir. Ayrıca, yapay zekâ destekli otomasyon sistemleri sayesinde de çiftçilerin iş yükü azalırken, daha hızlı ve daha doğru kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır (Karadeniz, 2024).

Tarım sektöründe makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) algoritmaları gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Büyük veri setleri kullanarak geliştirilen bu algoritmalar, özellikle bitki hastalık ve zararlıların tespiti ile zararlı popülasyonlarının izlenmesi gibi bitki sağlığı konularında başarı sağlanmıştır. Bol miktarda hastalık türü nedeniyle, ürün kayıpları yaşanmakta ve bu gibi durumlar sık sık meydana gelmektedir. Ancak hastalık belirtisi ortaya çıkmadan hastalık etmeninden etkilenen alan çıplak gözle görülemede ve çoğu zaman gereken önlemler alınamamaktadır. Bu nedenle bitki hastalıklarının otomatik analizi, ekili arazilerin izlenmesinde ve dolayısıyla çoğunlukla bitkilerin yapraklarında görülen semptomlardan hastalıkları anında tespit etmede önemli bir konu haline gelmektedir. Bu amaçla, yapay zekâ teknikleri, görüntüye dayalı olarak otomatik inceleme sağlayarak robot rehberliğinde süreç kontrolü sağlamasına olanak tanımaktadır (Sachdeva vd., 2021). Örneğin, Patrício ve Rieder (2018) yapay zekâ algoritmalarının hassas tarımda kullanımı sayesinde daha yüksek verim, kalite, kârlılık ile gıda güvenliğinin sağlanması bakımından avantaja sağlandığını vurgulamışlardır. Hadidi vd. (2021) ise sera işletmecilerinin yapay zekaya dayalı üretim yöntemlerini kullanarak ürünlerine yapılacak uygulamalara yardımcı olduğunu bildirmişlerdir. Javaid vd. (2023) yapay zekânın, kaynak israfını azaltmaya ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeye yardımcı ve aynı zamanda sürdürülebilir bir teknik olan akıllı tarımı teşvik ettiğini belirtmiştir.

Bunun yanı sıra, yapay zekâ teknolojileri tohum sektöründe kullanılmaktadır. Tohumların kalitelerinin tahminlenmesinde etkinliği açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Yapay zekâ tabanlı yöntemler, tohumların çimlenme

potansiyelini araştırmak, su alım sürecini incelemek ve tohum partileri arasındaki canlılık farklılıklarını belirleme konusunda kullanılabilmektedir. Bu durum, geleneksel tekniklerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla yapay zekâyı görüntüleme veya uzaktan algılama gibi tekniklerle entegrasyonunu zorunlu hale getirmiştir. Bu görüntü teknikleri arasında zaman ve/veya iş gücü tasarrufu sağlayan x-ışını görüntüleme, multispektral görüntüleme, hiperspektral görüntüleme ve yakın kızılötesi (NIR) spektroskopisi gibi teknikler bulunmaktadır. Bu görüntülerin işlenerek geliştirilen yapay zekâ algoritmaları tohum canlılığı, tohum sağlığı, tohum çimlenmesi ve tohum gücü de dahil birçok özellik doğru bir şekilde tespit edilebilmektedir (Singh vd., 2025).

2.2. Kullanılan Yöntemlere Göre Sınıflandırma

Geliştirilen yapay zekâ uygulamaları tek başına kullanılabildiği gibi beraber kullanılarak da analizler yapılabilmektedir. Tek bir yöntem ile incelenebilen özellikler makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yapay zekâ tabanlı uygulamalar ile birleştirilerek hibrit ve entegre uygulamalar şeklinde de kullanılmaktadır (Hong vd., 2023).

2.2.1. Görüntü İşleme Tabanlı Uygulamalar

Geniş uygulama alanları sayesinde görüntü analizi yaşam bilimleri alanında önemli bir rol oynamaktadır. Görüntü analizi ve işleme yöntemleri çeşitli tıbbi özellikleri anlamak veya görüntülerdeki nesneler üzerinde önemli nicel ölçümler yapmak için gereklidir. Hematoloji, biyoloji ve botanik bilimi gibi birçok kullanım alanı mevcuttur. Görüntü işleme teknolojileri genel olarak tarım alanında görüntü sınıflandırma, anomali tespiti vb. amaçlarla kullanılırken tohum güç ve kalite testlerinde de kullanılmaya başlamıştır (Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018). Görüntü işleme teknikleriyle genellikle tohumun fiziksel özellikleri (renk, şekil, çimlenme, hasarlanma vs.) analiz edilmektedir. Örneğin, tohumların morfolojik ve kolorimetrik özelliklerine göre damarlı bitki türlerini sınıflandırmak veya tohum görüntülerinden ayırt edici özellikleri çıkarmak için bu araçlar kullanılmaktadır (Loddo vd., 2021).

Bu görüntü teknikleri tohumların çeşit ayrımında kullanılabildiği gibi tohum güç ve canlılık testlerinde de kullanılmaktadır. Tohumların kalite ve gücünün belirlenmesinde hem dış hem de iç koşullar çok önemlidir. Dış koşullar çıplak gözle kolayca incelenebilirken, iç yapının tahribatsız bir şekilde değerlendirilmesi nispeten daha zordur. Tohum morfolojik açıdan tohum kabuğu, endosperm (kotiledonlar) ve iç boşluktan (hava boşluğu) oluşan üç ana yapıda incelenmektedir. Canlı bir tohum, sağlam tohum kabuğu, düzenli şekilli endosperm ve iç boşluk içermelidir. Buna karşılık, kırık tohum kabuğu, tohumun embriyo veya endosperminin doğrudan dış koşullarla temas etmesine izin vermektedir. Bu durum, iç boşluğun boyutu ve şekline ek olarak

kotiledonları da deforme eder. Ayrıca yüksek sıcaklıklar, tohumun nem içeriğinin azalmasına neden olarak endosperm ve hava boşluğu hacmini azaltarak değiştirebilmektedir. Bu gibi faktörler, tohumun canlılığını kaybetmesine neden olmaktadır.

Klasik canlılık ve güç testlerinin uygulamada yaşanan dezavantajlarına karşın X-ışını mikro CT görüntü analizi, tohum iç morfolojik yapısını karakterize ederek tohum canlılığını değerlendirmek için nispeten yeni bir alternatif görüntüleme yöntemidir. X-ışını bilgisayarlı tomografi (CT), iç yapıların değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Ahmed vd., 2018). Tarım ürünlerinin değerlendirilmesinde X-ışını CT görüntülemenin kullanımı henüz başlangıç aşamasındadır. Son yıllarda, CT görüntüleme, bitki dokularının ve bitki bazlı gıda maddelerinin mikro yapı düzeyindeki anatomik ayrıntılarını araştırmak için başarıyla kullanılmaktadır (Hermans vd., 2015; Mendoza vd., 2007). Örneğin domateste X-ışını görüntüleme tekniği tohumun iç yapısını incelemek amacıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada X-ışını görüntüleri, embriyo boyutu ve morfolojisi ile endosperm miktarı ve boş alan hakkında parametreler değerlendirilmiştir (Van der Burg vd., 1994). Tüm parametreler 14 günlük fidelerin morfolojisi ile iyi bir korelasyon gösterirken, en yüksek korelasyon kotiledon morfolojisinden elde edilmiştir. X-ışını görüntülerinin kotiledon morfolojisini ve tohum boş alanını değerlendirilmesine dayanan testin şu anda kullanılan çimlenme testinden daha doğru bir şekilde tahminde bulunduğu saptanmıştır. Ahmed vd. (2018) kavunda, doğal olarak yaşlandırılmış tohumların morfolojik özelliklerini inceleyerek kavun tohumlarının canlılığını değerlendirmek amacıyla X-ışını teknolojisini kullanmışlardır. Bu çalışmanın bulguları CT görüntülemenin, normal ve sağlıklı tohumların iç morfolojik özelliklere dayalı olarak sınıflandırılması için potansiyel bir araç olduğunu göstermiştir. Ayrıca, X ışınları radyoaktivite etkileri nedeniyle potansiyel olarak zararlı olsa da geleneksel X-ray CT'ye ek olarak geliştirilen ve tarım ürünleri veya gıdaların görüntülemesi için kullanılan düşük dozlu yumuşak X-ışını (soft X-ray) radyografinin radyoaktiviteye neden olmadığı ve çimlenmeyi etkilemediği bildirilmektedir. Bu nedenle, tarım ürünleri veya gıdaların X ışını görüntülemesi için kullanılan düşük dozlu yumuşak X-ışını bir başka yöntem olarak ortaya çıkmakta ve tarımsal araştırmalar için yeni yaklaşımlar sunmaktadır (Hong vd., 2023).

Tohumun yapısına zarar vermeden kalitesini tahmin edebilmek amacıyla geliştirilen diğer teknikler arasında RGB görüntüleme, multispektral, hiperspektral, yakın kızılötesi (near-infrared NIR), termal görüntüleme ve elektronik burun (electronic nose) gibi yöntemler de yer almaktadır. Ayrıca renkli görüntülemede RGB kameralar da kullanarak tohumların şekil, yüzey yapısı, boyut ve rengi yakalanarak morfolojik özellikleri belirlenebilmektedir. Örneğin, Mo et. al. (2013), mavi, yeşil, kırmızı ve RGB LED (mavi LED için

400–500 nm, yeşil LED için 500–600 nm, kırmızı LED için 600–700 nm ve RGB LED için 400–700 nm) tarafından indüklenen çeşitli spektrum aralıklarına sahip bir hiperspektral görüntüleme sistemi kullanarak hıyar tohumlarının çimlenme kalitesini tahmin edebilmek amacıyla tohumlara hızlı yaşlandırma yaparak farklı canlılık ve güç seviyelerinde tohumlar elde etmiştir. Mavi, yeşil, kırmızı ve RGB LED aydınlatmasından elde edilen spektrumlar ile sınıflandırma modelleri oluşturmak için PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) analiz yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak sınıflandırma doğruluğunun %90'ın üzerinde olduğu bildirilmiştir.

Tahribatsız ölçüm yöntemlerinden biri olan hiperspektral görüntüleme ise tohumun iç kalite özelliklerini kabuk soyma gibi fiziksel müdahalelere gerek kalmadan tespit edebilmekte; bu da hızlı invazif olmayan analizleri mümkün kılmaktadır (Zou vd., 2019). Bu yöntem yüzlerce spektral görüntünün elde edilmesini içermektedir. Hedefin hem uzamsal hem de spektral bilgilerini elde edebildiğinden, bu görüntüleme yöntemi tohumlar dahil olmak üzere tarım ürünlerinin de tahribatsız kalite kontrolünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hiperspektral görüntüler, tohum bileşimi, sertlik, mantar hasarı tespiti, çeşit ayrımı ve nem içeriği de dahil olmak üzere tohum kalitesinin tahmininde kullanılmaktadır. Bu tekniğin canlılık tahmini amacıyla pirinç, mısır, yerfıstığı, kavun, karpuz ve hıyar gibi türlerde kullanıldığı belirtilmektedir (Hong vd., 2023; Song vd., 2015; Kandpal vd., 2016). Özellikle sebze tohumları küçük ve hassas oldukları için dış görünüş her zaman kaliteyi yansıtmayabilmektedir. Bu durumda, hiperspektral görüntüleme gibi teknolojilerle tohumun yapısı analiz edilmekte; çimlenme potansiyeli, embriyo sağlığı ve nem içeriği tespit edilebilmektedir (Wang vd., 2021).

Entegre yöntemlerde ise elde edilen bu görüntüler, yapay zekâ tekniklerinden makine öğrenimi algoritmaları ile sınıflandırılarak da otomatik kalite puanlaması yapılabilmektedir. Düşük donanım maliyeti ve manuel testlere göre daha hızlı olması, görüntü işleme yöntemlerinin avantajları arasında yer almaktadır. Ayrıca bu alanda yapay zekâ kullanılarak yapılan çalışmalarda OpenCV ve MATLAB gibi geliştirilen yazılımlar da kullanılmaktadır. 'Self-Supervised Learning' ve 'Domain Randomization' gibi teknikler kullanılarak da sınırlı etiketli verilerle dahi tohum türü ve kalitesi %77–90 arasında doğrulukla sınıflandırılabilir (Singh vd., 2016; Ahmed vd., 2018; Li vd., 2021).

2.2.2. Makine Öğrenmesi Tabanlı Uygulamalar

Tohum endüstrisinde tohum kalitesinin belirlenmesi genellikle manuel gözlemlere dayanan geleneksel yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemler aynı zamanda zahmetli ve zaman alıcıdır. Ayrıca farklı test kuruluşları arasında hatalı raporlama ve test sonuçlarında tutarsızlık riski de her

zaman mevcuttur. Tohum endüstrisinin değişen gereksinimleri nedeniyle, tohumların kalitesini test etmek için geliştirilen yapay zekâ tabanlı araçlar ve çeşitli yöntemler arasında makine öğrenmesi de yer almaktadır (Singh vd., 2025).

Makine öğrenmesi tanımı gereği, makinelerin veya algoritmaların verilerden ve önceki deneyimlerden öğrenip uyum sağlayarak tahminlerde bulunmalarını ve kalıpları tanımlamalarını sağlayan bir yapay zekâ dalıdır. Bu, regresyon, sınıflandırma, kümeleme vb. gibi çeşitli görevler için algoritmaları içerir. Makine öğrenmesi yapay zekanın bir parçası olmasına rağmen yapay zekâ, makine öğreniminin bir parçası değildir (Peterson ve Duijn, 2024).

Yapay zekanın bir alt alanı olan makine öğrenmesi, bilgisayarların girilen veriler yardımıyla öğrenmesini ve tahmin etmesini sağlamaktadır. Makine öğrenmesi tabanlı modeller genellikle daha az maliyetli ve zaman ve/veya iş gücü tasarrufu sağlayan x-ışını görüntüleme, uzaktan algılama, multispektral görüntüleme, hiperspektral görüntüleme ve yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS) gibi görüntü işleme tekniği ile elde edilen verileri işlemek için kullanılmaktadır. Ayrıca derinlik analizi için yapay zekâ tabanlı tekniklerin özellikleri ve tohum gücü, tohum sağlığı, tohum çimlenmesi ve tohum canlılığı dahil olmak üzere tohum kalitesinin çeşitli yönlerinde bunların uygulanabilirliği üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Makine öğreniminde yaygın kullanılan algoritmalar arasında 'SVM (support vector machine)', 'K-NN (K-Nearest Neighbor)' ve 'RF (Random Forest)' gibi uygulamalar yer almaktadır (Kong vd., 2013; Qiu vd., 2018). Bu modelde daha önceden etiketlenen veriler üzerinden bir sınıflandırma ve regresyon algoritmaları kullanılmaktadır. Uygulama kolaylığı, farklı veri türleri ile çalışabilme esnekliği ve az veriyle de çalışılabilmesi avantaj sağlarken, özellik seçiminin kullanıcıya bağlı olması uygulamayı sınırlandıran faktörler arasında yer almaktadır.

Feng vd. (2019) tohum partilerinin çimlenme ve/veya canlılığını tahmin etmek için makine öğrenme algoritmalarıyla birleştirilmiş hiperspektral görüntülemeyi kullanan çok sayıda uygulamayı gözden geçirmiş ve mısır, arpa, pirinç, buğday ve soya fasulyesi gibi türlerde ~%85–95 doğruluk aralığında umut verici sonuçlar elde etmiştir.

Colmer vd. (2020) 'SeedGerm' adını verdikleri açık kaynaklı makine öğrenimi algoritmalarına dayalı tohum çimlenmesini değerlendiren otomatik bir sistem geliştirmiştir. Bu çalışma büyük ölçekli çimlendirme testlerinin zahmetli ve gözlemci hatalarına açık olmasından dolayı, otomatik yöntemlerin gerekliliğini ortaya çıkarmak amacıyla domates, biber, kolza, arpa ve mısır dahil olmak üzere beş bitki türü üzerinde büyük ölçekli çimlenme puanlaması amacıyla yürütülmüştür. Burada, çimlendirme testleri, otomatik tohum görüntüleme ve makine öğrenimi tabanlı fenotipik analiz için uygun

maliyetli donanım ve açık kaynaklı yazılımı birleştiren ‘SeedGerm’ sistemi kullanılmıştır. Kullanılan bu yazılım, birden fazla görüntü serisini aynı anda işleyebilmekte, çimlenme ve bununla ilgili özelliklerin güvenilir analizini, hem virgülle ayrılmış değerler (CSV) hem de işlenmiş görüntüler (PNG) formatlarında üretebilmektedir. Çimlenme eğrileri, uygun bir eğri yerine tohum düzeyinde çimlenme zamanlaması ve oranlarına göre oluşturularak çimlenme değerleri puanlanmıştır. Bu sistem, beş bitki türü için birçok çimlendirme testinde uygulanmış ve bu sayede tohum partilerinin performansını nicel olarak değerlendirebilmiştir. Tohum boyutu, genişliği, uzunluğu ve daireselliği gibi morfolojik özellikler de tohum çimlenmesinin fizyolojik süreci hakkında bilgi sağlamak amacıyla ölçülmüştür. ‘SeedGerm’ sisteminin kökçüğün ortaya çıkma zamanlaması ve bunun tüm tohumlarda ABA sinyalinde önemli bir geni tanımlamadaki biyolojik önemi ile ilgili gözlemleriyle uyumlu olduğu gösterilmiştir. ‘SeedGerm’ sisteminin, hem araştırma hem de endüstriyel bağlamda tohum testi ve çimlenme puanlamasında geniş bir uygulama alanına sahip olabileceği belirtilmiştir.

Fonseca de Oliveira vd. (2022) makine öğrenme modelleriyle birleştirilen multispektral görüntülerin yer fıstığı tohumlarının kalitesini sınıflandırabilmek amacıyla yaptıkları çalışmada, yedi tohum partisinden alınan tohumların kalitesini geleneksel yöntemlerle (tohum ağırlığı, su içeriği, çimlenme ve canlılık) ve multispektral görüntülerle (alan, uzunluk, genişlik, parlaklık, klorofil floresansı, antosiyanin ve yansıtma: 365 ila 970 nm) değerlendirmiştir. Her partinin tohumlarından elde edilen fideler, fotosentetik kapasiteleri (floresan ve klorofil indeksi, F0, Fm ve Fv/Fm) ve stres indeksleri (antosiyanin ve NDVI) açısından değerlendirilmiştir. Yüksek ve düşük güce sahip tohum partilerinin sınıflandırılması için QDA (the quadratic discriminant analysis) yöntemi kullanılmıştır. Düşük kaliteli tohumlardan elde edilen fidelerin yapraklarında daha yüksek düzeyde antosiyanin bulunduğu ve fidelerin gösterdiği ilk tepkiler tohum kalitesini yansıttığından dolayı bu bilginin umut verici olduğu belirtilmiştir. Bu yöntem ile yer fıstığı tohumlarının kalitesini etkili bir şekilde tarayan yeni belirteçlerin varlığı doğrulanırken, fiziksel özellikler (alan, uzunluk, genişlik ve kabuk parlaklığı), pigmentler (klorofil floresansı ve antosiyanin) ve ışık yansıtma (660, 690 ve 780 nm) kombinasyonunun, üstün kaliteli yer fıstığı tohum partilerini tanımlamada %98 doğruluk oranına sahip olduğunu bildirmişlerdir.

2.2.3. Derin Öğrenme Tabanlı Uygulamalar

Derin öğrenme, görüntü işleme ve veri analizi için yeni ve modern bir tekniktir. Çeşitli alanlarda derin öğrenme yöntemleri başarıyla uygulanmış ve son zamanlarda tarım alanına da girmiştir. Derin öğrenmenin tarımda ot türlerinin tanımlanmasından bitki türlerinin teşhis edilmesine, meyve sayımından, türlerin sınıflandırılmasına kadar birçok uygulama alanı bulun-

maktadır. Son zamanlarda literatürdeki birçok çalışmanın incelenen özelliklerin (karakterlerin) sınıflandırılması ve tanımlanmasıyla ilgili olduğu görülmektedir (Loddo vd., 2021).

Derin öğrenme yaklaşımı, konuşma tanıma, görsel nesne tanıma, nesne algılama, ilaç keşfi ve genomik ilişkiler gibi çeşitli alanlarda önemli ilerlemeler sağlamıştır. Derin öğrenmenin etkinliği, büyük veri kümeleri içindeki karmaşık yapıları ortaya çıkarma yeteneğinde yatmaktadır. Geri yayılım algoritması, makinenin iç parametrelerini ayarlamasına rehberlik ederek, önceki katmanın temsiline dayalı olarak her katmandaki temsillerin hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır. Özellikle, derin sinir ağları, görüntü, video, dil, konuşma ve sesin işlenmesinde devrim yaratmıştır (Peterson and Duijn, 2024).

Derin öğrenme (deep learning-DL) ile yapılan çalışmalarda, özellikle “derin sinir ağları” DNN (Deep Neural Networks), derin öğrenme tabanlı “evrimsel sinir ağları” CNN (Convolutional Neural Networks) ve YOLO (You Only Look Once) mimarileri ön plana çıkmaktadır. CNN, derin öğrenme sınıfında yer almakta ve görüntü tanıma konularında kullanılmaktadır. Görüntü verilerini sınıflandırmak için geliştirilen ve büyük yazılım firmaları tarafından sık kullanılan modellerden biridir. CNN, bilgisayarlara verilen resimlerin tanınması ve işlenebilir bir formata getirilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Resimler üzerindeki farklılıkları saptayarak bu farklılıkların etkilerini öğrendikten sonra tahminlerde bulunmaktadır. Bu modeller aracılığıyla, özellikler hiyerarşik ve otomatik olarak öğrenilmektedir. Önce düşük seviyeli özellikleri tanımlama ve ardından bu özellikleri tanımayı ve birleştirmeyi öğrenerek daha karmaşık kalıpları öğrenebilmektedir. Otomatik özellik çıkarımı, farklı veri türleriyle çalışabilme esnekliği ve yüksek doğruluk oranı gibi avantajlara sahipken, büyük veri gereksinimi ve yüksek işlem gücü ihtiyacı bu modelin sınırlayıcı yönleri arasında bulunmaktadır (Jmour vd., 2018). CNN’ler görüntüyü çok daha ayrıntılı bir şekilde ifade eden karmaşık özellikleri çıkarma konusunda sağlam bir yeteneğe sahip oldukları için geleneksel özellik çıkarıcıların yerini alabilirler. Bu durum, CNN’lerin geleneksel yöntemlere göre daha iyi sonuçlar elde etmesini sağlamaktadır. Tohumların çimlenme durumlarının görsel analizinde yüksek doğruluk oranları sunmaktadır (Vineet vd., 2021). Jia vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, biber, domates, marul ve lahana gibi sebze türlerinde tohum boyutu, rengi, şekli ve yüzey pürüzlülüğü gibi morfolojik özellikler, yüksek çözünürlüklü kameralarla görüntülenmiş ve CNN tabanlı modellerle başarıyla sınıflandırılmıştır.

Loddo vd. (2021) farklı bitki tohum veri setlerini ait oldukları familyalar veya türlere göre sınıflandırmak amacıyla bir sinir ağı mimarisi olan ‘SeedNet’ derin öğrenme tekniğini geleneksel yaklaşımlarla karşılaştırmıştır. Çalışma dört yönlü olarak yürütülmüştür: (i) SeedNet: bu, tohum görüntülerinin sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla hem doğruluk hem de eğitim

süresi açısından hassas olan yeni bir CNN tekniğini kullanma; ii) farklı ve popüler CNN (AlexNet, the Residual Networks, ResNet18, ResNet50, ResNet101, GoogLeNet, ShuffleNet, SqueezeNet, MobileNetV2, InceptionV3 and VGG16) mimarileri ile kapsamlı bir şekilde karşılaştırma; iii) CNN'i, dört klasik makine öğrenmesi (KNN, Naive Bayes, Random Forest ve SVM) yaklaşımla karşılaştırma; iv) somut bir ön işleme adımıyla elde edilen veri seti hazırlama. Araştırmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, 'Seed-Net' in her iki veri setinde de yüksek performans sonuçları sağladığı, incelenen diğer ağlara kıyasla düşük bir eğitim süresine sahip olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, diğer CNN'lerde de Residual Networks (ör. ResNet18) veya SqueezeNet gibi tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. CNN'lerin, geleneksel yöntemlere kıyasla tercih edilebileceği belirtilmiştir.

Taheri-Garavand vd. (2021) nohut çeşitlerinin otomatik olarak tanımlanabilmesi için görünür spektrumdaki (400-700 nm) tohum görüntülerini CNN modeli kullanarak analiz etmişlerdir. Görüntü aydınlatma ve görüntüleme (arka plan, odak, açı ve kamera-örnek mesafesi) koşulları değişiklik gösteren iki düşük maliyetli cihaz (mobil cep telefonu kamerası ve dijital kamera) kullanılmıştır. Farklı nohut çeşitlerinin karmaşık görsel özelliklerini ayırt etmek ve bu özelliklere göre tanımak amacıyla CNN modeli kullanılmıştır. Yaygın olarak kullanılan önceden eğitilmiş CNN'ler arasında AlexNet, GoogLeNet, ResNet ve VGGNet bulunmaktadır. Bu çalışmada, sınıflandırma işlemlerinde üstün performansı nedeniyle VGGNet seçilmiştir. VGGNet mimarilerinden biri, 15 milyondan fazla parametrelili evrişimli katmanlardan oluşan VGG-16'dır. Bu mimarinin temel özelliği, katmanların arasında çok sayıda bağlantılar içermesidir. Bu, katmanlar arasında çok sayıda bilgi aktarımı sağlar ve bu da daha iyi sınıflandırma performansına yol açmaktadır. Çalışma sonucunda, farklı nohut çeşitlerinin karmaşık görsel özelliklerini ayırt etmek ve bu özelliklere göre tanımının elde edilen model ile mümkün olduğu, farklı nohut tohum çeşitlerini ortalama %94'ün üzerinde bir sınıflandırma doğruluğu ile tanıyabildiği belirtilmiştir. Ayrıca, önerilen görme tabanlı modelin, tohum çeşidi tanımlamada etkili ve görüntü alma cihazından, ışık ortamından ve görüntüleme ayarlarından bağımsız olduğu belirtilmiştir. Bu durum yerinde bilgi almak ve işlemek için cep telefonlarını kullanan yeni uygulamalara genişleme olanağı sağlamaktadır. Önerilen prosedür, hızlı ve güvenilir bir tohum tanımlama uygulaması olduğunu ve tohum endüstrisinde mobil uygulamaların kullanılma yeteneğini ortaya koymuştur.

2.2.4. Hibrit ve Entegre Uygulamalar

Hem görüntü işleme hem de yapay sinir ağlarının bir arada kullanıldığı hibrit sistemler, çeşitli parametrelerin birlikte analiz edilmesini sağlamaktadır. Ali vd. (2020) farklı mısır çeşitlerine ait tohumların görüntü işleme tekniği ile sınıflandırılması amacıyla hibrit teknikler optimize edilerek kullanmış-

lardır. Bu hibrit model, daha kapsamlı analiz sonuçlarına ulaşmak ve çoklu veri tipi ile uyumluluk sağlaması gibi avantajlara sahip olduğu belirtilmiştir.

Yapay zekâ destekli sistemler, çimlenme öncesi dönemde tohumun dış görüntüsüne veya iç yapısına bakarak çimlenme potansiyelini tahmin edebilmektedir. Yakın kızıl ötesi Near Infrared (NIR) spektroskopisi ve makine öğrenimi algoritmalarının hızlı gelişimi ile birlikte bu iki teknolojinin birleşimi yeni bir araç olarak tohumlarının canlılık tespitinde başarıyla kullanılmaya başlanmıştır. NIR spektroskopisi ile elde edilen veriler RF (random forest) algoritmalarıyla yorumlanarak, çimlenme başarısı önceden öngörülebilmektedir (Wang vd., 2021). Örneğin, Tigabu vd. (2019) çam tohumlarının canlılığını tespit etmek amacıyla NIR spektroskopisi kullanmışlar, tohumlardaki farklı madde bileşimlerine göre bir model oluşturarak yaşlı ve yaşlı olmayan tohumları başarıyla ayırt edebilmişlerdir.

Kavun tohumlarında yapılan diğer bir çalışmada ise tohumların canlılığını ve canlılık derecesini tahmin edebilmek için çok değişkenli yöntemlerle birleştirilmiş hiperspektral görüntüleme sistemi kullanılmıştır. Farklı canlılık ve güç derecelerine sahip tohumlar üretebilmek için 0, 2, 4 ve 6 gün süreyle yapay yaşlandırma yöntemi kullanılmıştır. Tohumlar, çimlenme testinden sonra canlılık düzeyine göre: canlı olmayan, 3 günde çimlenen (3 günde çimlenen tohumlar) ve 5 günde çimlenen olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Tohumları üç düzeyde sınıflandırmak için tam spektrum ve optimal dalga boylarını kullanılarak PLS-DA modelleri oluşturulmuştur. Sonuçlar, kavun tohumlarının çimlenme yeteneğini tahmin etmek için geliştirilen analitik yöntemin doğruluğunun %88'in üzerinde olduğunu ve yöntemin kolay uygulanabilirliğini göstermiştir (Kandpal vd., 2016).

NIR spektroskopinin buğday tohumlarının canlılığını tespit etmek ve uygun makine öğrenimi sınıflandırma modellerini belirlemek için kullanılabilirliğini göstermeyi amaçlayan bir çalışmada dört farklı makine öğrenmesi SVM, ELM (extreme learning machine), RF ve AdaBoost (adaptive boosting) yöntemleri kullanılmıştır (Fan vd., 2020). Bu çalışmanın sonuçları, NIR görüntüleme tekniğinin kuvvetli, orta kuvvetli ve canlı olmayan buğday tohumlarının canlılığını tahmin etmek için büyük potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca NIR görüntüleme tekniğinin SVM, ELM, RF ve AdaBoost ML algoritmalarıyla birleştirilmesinin faydalı olduğu ve tohum canlılığını da oldukça iyi bir performansla ayırt etme yeteneğine sahip olduğu belirtilmiştir.

Marul gibi küçük yapılı sebze tohumlarında ise geleneksel güç testleri zorluk taşırken, yüksek büyütme görüntüleme ve transfer learning yöntemleriyle yapılan analizlerde güç tahminleri oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Örneğin, ResNet50 tabanlı bir modelle yapılan çalışmada marul tohum-

larının güçleri %92 doğrulukla sınıflandırılabilmiştir (Lee vd., 2022).

Biber ve domates gibi türlerde, çimlenme öncesinde yapay zekâ kullanılarak tohumların çimlenip çimlenmeyeceği tahmin edilebilmektedir. ResNet ve LSTM gibi derin öğrenme ağları, NIR görüntüleri ve çimlenme verileriyle eğitilerek bu tahminleri gerçekleştirebilmektedir. Böylece çimlenme deneyleri kurulmadan ve sonuçları beklenmeden erken karar verilebilmektedir (Lee vd., 2022). Örneğin biberde, LED ile indüklenen hiperspektral görüntüleme ile yapılan çalışmada kırmızı, yeşil ve mavi LED'ler kullanılmıştır. Hiperspektral görüntüler, tek tek LED'ler ve üç LED altında elde edilerek sınıflandırmada PLS-DA modelleri kullanılmıştır. Ayrıca, tohumların canlılığını değerlendirmek için çimlenme testi yapılmış, tahmin haritaları PLS-DA modelleri ile oluşturulmuştur. Sonuçlar canlı ve cansız tohumların sınıflandırılmasında doğruluğun %90'ın üzerinde olduğu belirlenmiştir (Mo vd., 2014).

Hibrit teknikler çeltik tohumlarının gücünü tespit etmek için de kullanılmıştır. Örneğin, Jin vd. (2022a) yakın kızılötesi hiperspektral (NIR-HSI) görüntülemeyi makine öğrenimi ve derin öğrenme ile birleştirerek farklı çeltik çeşitlerinin tohum canlılığını tahmin etmeye çalışmıştır. Kullanılan birçok modelin %85'in üzerinde doğruluğa sahip olduğunu belirlemiştir. Ayrıca çeltik tohum çeşitlerini tanımlamak için NIR-HSI'yi LeNet, GoogLeNet ve Residual ağı (ResNet) ile birlikte kullanmış ve bunlar arasında ResNet modelinin sınıflandırma etkisinin daha iyi olduğunu bildirmiştir (Jin vd., 2022b).

Çeltik tohumlarının gücünü tespit etmek için farklı CNN modelleri oluşturulan diğer bir çalışmada, farklı sürelerde (0, 96 ve 192 saat) yaşlandırılmış tohumlar kullanılmıştır. Yapay olarak yaşlandırılmış çeltik tohumlarının gücünü tespit etmek için yakın kızılötesi hiperspektral (NIR-HSI) görüntüleme tekniği kullanılmıştır. Ayrıca, bilgi aktarımı ve modelin genelleme yeteneğini geliştirmek için fine-tuning ve MixStyle olmak üzere iki farklı transfer öğrenimi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, Yongyou12 evrişimli sinir ağı modelinin Yongyou1540, Suxiangjing100 ve Longjingyou1212'nin tohum gücü doğruluk oranının sırasıyla %90, %80 ve %85 olduğu, bunun da her çeşidin ilk modelleme performansında daha iyi veya ona yakın olduğu bildirilmiştir. NIR-HSI görüntülemenin, çeltik tohumlarının farklı dalga boylarında emilim ve yansıma özelliklerini yakalamak için kullanılan, tohumların iç kimyasal bileşimi hakkında yararlı bilgiler sağlayan non-invaziv bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Ayrıca transfer öğrenimi, farklı tohum çeşitleri arasında benzer spektral özellikleri paylaşarak modelin genelleme performansını etkili bir şekilde iyileştirdiği ve böylece modelin performansını ve güvenilirliğini artırdığı, NIR-HIS'in çeltik tohumlarının gücünü tespit etmek için etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir (Qi vd., 2023).

3. SONUÇ

Yapay zekâ sistemlerinin tohum canlılık, güç ve kalite özelliklerinin belirlenmesinde kullanımını geleneksel testlere kıyasla birçok avantaj sağlamaktadır. Bunlar şu şekilde özetlenebilir:

- Zaman Tasarrufu: Test süresi haftalar, günler veya saatler almasına rağmen, bunun yerine dakikalara inmektedir.
- Objektiflik: İnsan gözlemine dayalı subjektif hatalar ortadan kalkmaktadır.
- Yüksek Doğruluk: %90'ın üzerinde doğruluk başarısı elde edilebilmektedir.
- Erken Tahmin: Çimlenme öncesi erken karar verme imkânı sağlamaktadır.

Bunun yanında, yapay zekâ kullanımının bazı zorlukları hâlâ devam etmektedir. Bunlar ise sırasıyla;

- Etiketli veri eksikliği: Derin öğrenme modellerinin geliştirilmesi (eğitimi) için çok fazla sayıda veriye ihtiyaç vardır.
- Model genelleme problemi: Farklı bitki türlerine uygun evrensel modeller geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle her bitki türü ve hatta alt türleri için bile farklı modellerin geliştirilmesi gerekebilir.
- Donanım maliyetleri: Özellikle hiperspektral görüntüleme sistemleri gibi pahalı cihazların kullanılacağı yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı sınırlı kalabilir.

Sonuç olarak, yapılan tüm açıklamalar ışığı altında, yapay zekâ teknolojilerinin diğer tüm bilim alanlarında olduğu gibi tarım alanında da etkin bir şekilde kullanılacağı oldukça açıktır. Yapay zekâ ile gerek tohumların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Ayrıca, tohum canlılığı ve gücü gibi bitkisel üretimi doğrudan etkileyecek özelliklerin de yapay zekâ teknolojileri ile tespiti de yüksek doğruluk oranıyla tahmin edilebilme potansiyeli çeşitli araştırmalarla ortaya konulmuştur. Özellikle derin öğrenme, görüntü işleme ve sensör teknolojileri ile desteklenen sistemler; doğruluk, hız ve maliyet açısından sağladığı avantajların değerlendirileceği bir gerçektir. Ayrıca, karar verme sürecinde önemli katkılar sağlaması nedeniyle yapay zekâ sistemlerinin tohumculuk sektöründe hızlı bir şekilde kullanılmasını ve yaygınlaşmasını kolaylaştıracaktır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, M. R., Yasmin, J., Collins, W., ve Cho, B. K. (2018). X-ray CT image analysis for morphology of muskmelon seed in relation to germination. *Biosystems Engineering*, 175, 183-193.
- Ali, A., Qadri, S., Mashwani, W. K., Brahim Belhaouari, S., Naeem, S., Rafique, S., Jamal, F., Chesneau, C. ve Anam, S. (2020). Machine learning approach for the classification of corn seed using hybrid features. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 1110-1124.
- AOSA. (2010). *Seed Vigor Testing Handbook*. Association of Official Seed Analysts.
- Colmer, J., O'Neill, C. M., Wells, R., Bostrom, A., Reynolds, D., Websdale, D., Shiralagi, G., Lu, W., Lou, Q., Le Cornu, T., Ball, J., Renema, J., Andaluz, G.F., Benjamins, R., Penfield, S. ve Zhou, J. (2020). SeedGerm: a cost-effective phenotyping platform for automated seed imaging and machine-learning based phenotypic analysis of crop seed germination. *New Phytologist*, 228(2), 778-793.
- Copeland, L. O. ve McDonald, M. B. (2001). *Principles of Seed Science and Technology*. Springer Science Bussines Media. pp. 390.
- Fan, Y., Ma, S. ve Wu, T. (2020). Individual wheat kernels vigor assessment based on NIR spectroscopy coupled with machine learning methodologies. *Infrared Physics & Technology*, 105, 103213.
- Feng, L., Zhu, S., Liu, F., He, Y., Bao, Y. ve Zhang, C. (2019). Hyperspectral imaging for seed quality and safety inspection: A review. *Plant Methods*, 15(1), 91.
- Fonseca de Oliveira, G. R., Mastrangelo, C. B., Hirai, W. Y., Batista, T. B., Sudki, J. M., Petronilio, A. C. P., Crusciol, C.A.C. ve Amaral da Silva, E. A. (2022). An approach using emerging optical technologies and artificial intelligence brings new markers to evaluate peanut seed quality. *Frontiers in Plant Science*, 13, 849986.
- Hadidi, A., Saba, D. ve Sahli, Y., 2021. The role of artificial neuron networks in intelligent agriculture (case study: Greenhouse). In: Hassanien, A.E., Bhatnagar, R., Darwish, A. (Eds.), *Artificial Intelligence for Sustainable Development: Theory, Practice and Future Applications*, Studies in Computational Intelligence. Springer International Publishing, Cham, pp. 45–67.
- Herremans, E., Verboven, P., Verlinden, B. E., Cantre, D., Abera, M., Wevers, M. ve Nicolai, B. M. (2015). Automatic analysis of the 3-D microstructure of fruit parenchyma tissue using X-ray micro-CT explains differences in aeration. *BMC Plant Biology*, 15(1), 264.
- Hong, S. J., Park, S., Lee, A., Kim, S. Y., Kim, E., Lee, C. H. ve Kim, G. (2023). Nondestructive prediction of pepper seed viability using single and fusion information of hyperspectral and X-ray images. *Sensors and Actuators A: Physical*, 350, 114151.
- Javaid, M., Haleem, A., Khan, I. H. ve Suman, R. (2023). Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. *Advanced Agroc-*

hem, 2(1), 15-30.

- Jia, W., Li, C., Yang, Z. ve Lu, H. (2020). Deep learning-based classification of vegetable seeds using hyperspectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105234.
- Jia, Z., Ou, C., Sun, S., Wang, J., Liu, J., Sun, M., Ma, W., Li, M., Jia, S. ve Mao P. (2023) Integrating optical imaging techniques for a novel approach to evaluate Siberian wild rye seed maturity, *Front. Plant Sci.* 14, 1170947. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1170947>
- Jin, B., Qi, H., Jia, L., Tang, Q., Gao, L., Li, Z. ve Zhao, G. (2022a). Determination of viability and vigor of naturally-aged rice seeds using hyperspectral imaging with machine learning. *Infrared Phys. Technol.* 122, 104097. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104097>
- Jin, B., Zhang, C., Jia, L., Tang, Q., Gao, L., Zhao, G. ve Qi, H. (2022b). Identification of rice seed varieties based on near-infrared hyperspectral imaging technology combined with deep learning. *ACS Omega*, 7(6), 4735–4749. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04102>
- Jmour, N., Zayen, S. ve Abdelkrim, A. (2018). Convolutional neural networks for image classification. In *2018 International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC_ASET)* (pp. 397-402). IEEE.
- Kamilaris, A. ve Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90.
- Kandpal, L. M., Lohumi, S., Kim, M. S., Kang, J. S. ve Cho, B. K. (2016). Near-infrared hyperspectral imaging system coupled with multivariate methods to predict viability and vigor in muskmelon seeds. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 229, 534-544.
- Karadeniz, A. T. (2024). Tarımda AI kullanımı. *AgriTR Science*, 6(2), 138-145.
- Kong, W., Zhang, C., Liu, F., Nie, P. ve He, Y. (2013). Rice seed cultivar identification using near-infrared hyperspectral imaging and multivariate data analysis. *Sensors*, 13(7), 8916-8927.
- Lee, J., Park, S. ve Kim, D. (2022). Lettuce seed vigor classification using deep transfer learning. *Biosystems Engineering*, 215, 45–52.
- Loddo, A., Loddo, M. ve Di Ruberto, C. (2021). A novel deep learning based approach for seed image classification and retrieval. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106269.
- Medeiros, A. D. D., Silva, L. J. D., Ribeiro, J. P. O., Ferreira, K. C., Rosas, J. T. F., Santos, A. A. ve Silva, C. B. D. (2020). Machine learning for seed quality classification: An advanced approach using merger data from FT-NIR spectroscopy and X-ray imaging. *Sensors*, 20(15), 4319.
- Mendoza, F., Verboven, P., Mebatsion, H. K., Kerckhofs, G., Wevers, M. ve Nicolai, B. (2007). Three-dimensional pore space quantification of apple tissue using X-ray computed microtomography. *Planta*, 226(3), 559-570.

- Mo, C., Kim, G., Lee, K., Kim, M. S., Cho, B. K., Lim, J. ve Kang, S. (2014). Non-destructive quality evaluation of pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds using LED-induced hyperspectral reflectance imaging. *Sensors*, 14(4), 7489-7504.
- Mo, C., Lim J, Lee, K., Kang, S., Kim, M.S., Kim, G. ve Cho, B-K. (2013). Determination of germination quality of cucumber (*Cucumis sativus*) seed by LED-induced hyperspectral reflectance imaging. *J. Biosyst. Eng.*, 38(4), 318-26.
- Patrício, D. I. ve Rieder, R. (2018). Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 69-81.
- Peterson, K. T. ve Van Duijn, B. (2024). Leveraging artificial intelligence for enhanced seed testing: Current trends and future prospects. *Seed Testing International* pp:8-10
- Qi, H., Huang, Z., Sun, Z., Tang, Q., Zhao, G., Zhu, X. ve Zhang, C. (2023). Rice seed vigor detection based on near-infrared hyperspectral imaging and deep transfer learning. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1283921.
- Qiu, Z., Chen, J., Zhao, Y., Zhu, S., He, Y. ve Zhang, C. (2018). Variety identification of single rice seed using hyperspectral imaging combined with convolutional neural network. *Applied Sciences*, 8(2), 212.
- Sachdeva, G., Singh, P. ve Kaur, P. (2021). Plant leaf disease classification using deep Convolutional neural network with Bayesian learning. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5584-5590.
- Singh, A., Ganapathysubramanian, B., Singh, A. K. ve Sarkar, S. (2016). Machine learning for high-throughput stress phenotyping in plants. *Trends in Plant Science*, 21(2), 110-124.
- Singh, S. K., Jha, R., Pandey, S., Mohan, C., Ghosh, S., Singh, S. K., Kumari, S. ve Singh, A. (2025). Artificial intelligence-based tools for next-generation seed quality analysis. *Crop Design*, 100094.
- Song, L., Wang, Q., Wang, C., Lin, Y., Yu, D., Xu, Z., Huang, Q. ve Wu, Y. (2015). Effect of γ -irradiation on rice seed vigor assessed by near-infrared spectroscopy. *Journal of Stored Products Research*, 62, 46-51.
- Taheri-Garavand, A., Nasiri, A., Fanourakis, D., Fatahi, S., Omid, M. ve Nikoloudakis, N. (2021). Automated in situ seed variety identification via deep learning: a case study in chickpea. *Plants*, 10(7), 1406.
- Tigabu, M., Daneshvar, A., Jingjing, R., Wu, P., Ma, X. ve Odén, P. C. (2019). Multivariate discriminant analysis of single seed near infrared spectra for sorting dead-filled and viable seeds of three pine species: does one model fit all species? *Forests*, 10(6), 469.
- Van der Burg, W. J., Aartse, J. W., Van Zwol, R. A., Jalink, H. ve Bino, R. J. (1994). Predicting tomato seedling morphology by X-ray analysis of seeds. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(2), 258-263.

- Vineet, P., Sharma, M. ve Kaur, H. (2021). Automated Seed Quality Testing System using GAN & Active Learning. *arXiv preprint arXiv:2110.00777*.
- Wang, L., Zhang, Y. ve Xie, X. (2021). Prediction of seed germination performance in tomato using NIR spectroscopy and machine learning. *Journal of Food Engineering*, 294, 110400.
- Xie, F., Gao, Q., Jin, C. ve Zhao, F. (2021). Hyperspectral image classification based on superpixel pooling convolutional neural network with transfer learning. *Remote Sensing*, 13(5), 930.
- Yıldız, M. C. ve Veziroğlu, F. (2025). Uzaktan algılama, CBS ve yapay zekâ destekli dijital tarım: büyük veri ve otonom sistemlerle tarımsal dönüşüm. Tarımsal Uygulamalarda Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Rolü. *BIDGE Yayınları*, pp.118-148.
- Zou, S., Tseng, Y. C., Zare, A., Rowland, D. L., Tillman, B. L. ve Yoon, S. C. (2019). Peanut maturity classification using hyperspectral imagery. *Biosystems Engineering*, 188, 165-177.



MEYVELERDE GÜNEŞ YANIKLIĞI: EKONOMİK ÖNEMİ, FİZYOLOJİSİ VE KONTROL YÖNTEMLERİ

“ ”

Ali İKİNCİ¹

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa/TÜRKİYE.
ORCID: 0000-0001-8149-7095 aliikinci@harran.edu.tr

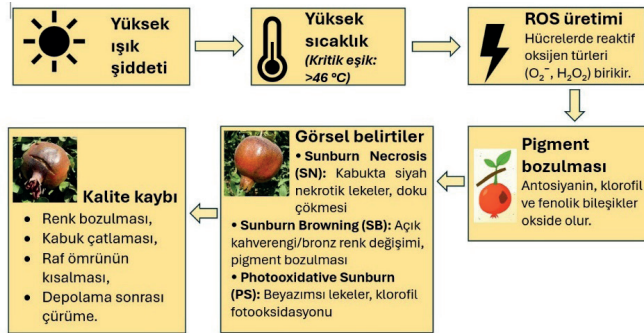
1. Giriş

Güneş yanıklığı, meyve üretiminde hem verim hem de kalite açısından ciddi kayıplara yol açan, çevresel stres kaynaklı fizyolojik bir bozukluktur. Özellikle sıcak iklimlerde ve yaz aylarında, meyve yüzeyinin aşırı güneş ışığına ve yüksek sıcaklığa maruz kalması sonucu oluşan bu durum, kabukta renk değişimleri, nekrotik lekeler, çatlama ve dokusal bozulmalarla kendini gösterir (Schrader ve ark., 2003; Sharma ve ark., 2018). Güneş yanıklığı, sadece görsel kaliteyi değil, aynı zamanda meyvenin içsel bileşimini, raf ömrünü ve pazar değerini de olumsuz etkileyerek üreticiler için ekonomik bir tehdit hâline gelmektedir.

Küresel iklim değişikliğiyle birlikte artan sıcaklık dalgaları, düşük bağıl nem ve yüksek ışık şiddeti, güneş yanıklığı riskini daha da artırmaktadır. Bu durum, özellikle nar (*Punica granatum* L.), elma (*Malus domestica*), armut (*Pyrus communis*) ve üzüm (*Vitis vinifera*) gibi ticari değeri yüksek meyve türlerinde daha belirgin hâle gelmiştir. Örneğin, nar meyvesinde güneş yanıklığı, kabukta pigment bozulmalarına ve çatlamaya yol açarak hem sofralık hem de endüstriyel kullanım için uygunluğu azaltmaktadır (Hamedî Sarkomi ve ark., 2019; Narjesi ve ark., 2023).

Nar meyvesinde güneş yanıklığının oluşum süreci, çevresel tetikleyicilerden başlayarak hücresel düzeydeki değişimlere ve nihai kalite kayıplarına kadar uzanan çok aşamalı bir mekanizma ile gerçekleşir. Bu süreç, Şekil 1’de şematik olarak özetlenmiştir.

Yoğun güneş ışığı ve yüksek sıcaklık koşullarında, meyve yüzeyinde ışık enerjisinin absorpsiyonu ile başlayan süreç; epidermis ve hipodermis dokularında sıcaklık artışı, reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimi ve pigment bozulmaları ile ilerler. Bu fizyolojik ve biyokimyasal değişimler, hücre zar bütünlüğünün bozulmasına, fenolik bileşiklerin oksidasyonuna ve sonuçta kabukta renk değişimi (bronzlaşma) veya nekrotik lezyonların oluşmasına yol açar. Şekil, bu süreci çevresel tetikleyicilerden (ışık, sıcaklık, düşük nem) başlayarak hücresel hasar ve görsel belirtilere kadar aşamalı olarak göstermektedir.



Şekil 1. Nar meyvesinde güneş yanıklığının oluşum mekanizması

Benzer şekilde, elma ve armut gibi türlerde güneş yanıklığı, kabuk nekrozu ve renk bozulmaları nedeniyle sınıflandırma dışı kalma oranlarını artırmaktadır (Huang ve ark., 2007; Glenn, 2009).

Literatürde güneş yanıklığı genellikle üç ana tip altında sınıflandırılmaktadır: *Sunburn Necrosis* (SN), *Sunburn Browning* (SB) ve *Photooxidative Sunburn* (PS). Her bir tip, farklı çevresel koşullarda ve farklı fizyolojik mekanizmalarla ortaya çıkmakta; meyve türüne, çeşidine ve yetiştirme sistemine göre değişkenlik göstermektedir (Felicetti ve Schrader, 2008; Gambetta ve ark., 2021). Bu çeşitlilik, güneş yanıklığını önlemeye yönelik stratejilerin de tür ve bölge bazında özelleştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu kitap bölümü, güneş yanıklığının ekonomik önemini, fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmalarını, farklı meyve türlerinde görülen tiplerini ve kontrol yöntemlerini kapsamlı bir şekilde ele almayı amaçlamaktadır. Nar meyvesi odaklı olmakla birlikte, elma, armut ve üzüm gibi türlerdeki karşılaştırmalı veriler de sunularak, üreticiler ve araştırmacılar için bütüncül bir değerlendirme sağlanacaktır.

2. Güneş Yanıklığının Ekonomik Önemi

Güneş yanıklığı, meyve üretiminde yalnızca fizyolojik bir stres değil, aynı zamanda doğrudan ekonomik kayıplara yol açan bir kalite sorunudur. Meyve yüzeyinde oluşan renk bozulmaları, nekrotik lekeler ve çatlama, ürünün pazarlanabilirliğini azaltmakta; sınıflandırma dışı kalma oranlarını artırmakta ve hasat sonrası fire miktarını yükseltmektedir (Sharma ve ark., 2018; Hamed Sarkomi ve ark., 2019). Bu durum, özellikle nar, elma, armut ve üzüm gibi yüksek katma değerli meyve türlerinde daha belirgin hâle gelmektedir.

Nar meyvesinde güneş yanıklığı, kabukta oluşan görsel bozulmalar nedeniyle hem sofralık hem de endüstriyel kullanım için uygunluğu azaltmakta; bu da üreticilerin gelirini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, Hindistan'ın Himachal Pradesh bölgesinde yapılan bir çalışmada, güneş yanıklığı nedeniyle sınıflandırma dışı kalan nar oranı %30'un üzerine çıkmış; bu meyveler ya düşük fiyatla satılmış ya da tamamen fireye ayrılmıştır (Sharma ve ark., 2018). Benzer şekilde İran'ın Yazd bölgesinde, güneş yanıklığına bağlı olarak depolama sonrası çürüme oranı %40'a kadar yükselmiş; bu da hasat sonrası kayıpları artırmıştır (Hamed Sarkomi ve ark., 2019).

Elma ve armut gibi türlerde ise güneş yanıklığı, özellikle ihracat odaklı üretim sistemlerinde kalite sınıflandırmasını doğrudan etkilemektedir. 'Granny Smith' ve 'Fuji' gibi elma çeşitlerinde, kabukta oluşan nekrotik lekeler nedeniyle meyveler "premium" sınıf dışına çıkmakta; bu da birim fiyatın %25–40 oranında düşmesine neden olmaktadır (Schrader ve ark., 2003; Glenn, 2009). 'Cuiguan' armut çeşidinde yapılan bir çalışmada, güneş yanık-

lığına bağlı olarak toplam fire oranı %18, pazar değeri kaybı ise %22 olarak rapor edilmiştir (Huang ve ark., 2007).

Üzümde ise güneş yanıklığı, özellikle fenolik bileşiklerin bozulması ve renk gelişiminin olumsuz etkilenmesi nedeniyle şaraplık kaliteyi düşürmektedir; bu da hem üretim verimini hem de nihai ürün kalitesini etkilemektedir. ‘Cabernet Sauvignon’ ve ‘Shiraz’ gibi çeşitlerde, güneş yanıklığına bağlı olarak toplam fenolik içerikte %15–20 oranında azalma gözlenmiştir; bu da şarap üretiminde aroma ve renk kaybına yol açmıştır (Gambetta ve ark., 2021).

Bu veriler, güneş yanıklığının yalnızca görsel bir sorun değil, aynı zamanda üretim maliyetlerini artıran, pazar değerini düşüren ve hasat sonrası fireyi yükselten çok boyutlu bir ekonomik tehdit olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, güneş yanıklığını önlemeye yönelik stratejilerin sadece fizyolojik değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da değerlendirilmesi gerekmektedir.

3. Güneş Yanıklığı Tipleri ve Görsel Belirtileri

Güneş yanıklığı, meyve yüzeyinde oluşan fizyolojik bozulmaların türüne göre üç ana grupta sınıflandırılmaktadır: *Sunburn Necrosis* (SN), *Sunburn Browning* (SB) ve *Photooxidative Sunburn* (PS). Bu sınıflandırma hem görsel belirtiler hem de altta yatan fizyolojik mekanizmalar açısından farklılık göstermektedir (Schrader ve ark., 2003; Felicetti ve Schrader, 2008).

Sunburn Necrosis (SN), yüksek sıcaklık ve ışık şiddetinin birlikte etkili olduğu koşullarda ortaya çıkar. Meyve yüzeyinde kahverengi-siyah nekrotik lekeler, doku çökmesi ve kabukta çatlama ile karakterizedir. Bu tip yanıklık, hücre membranlarının bozulması, protein denatürasyonu ve hücre ölümüne yol açan termal stresin doğrudan sonucudur. Elma (‘Granny Smith’), armut (‘Cuiguan’) ve nar (‘Wonderful’) gibi çeşitlerde SN, özellikle sıcak dalgaları sırasında yaygın olarak gözlenmiştir (Huang ve ark., 2007; Lin ve ark., 2008; Sharma ve ark., 2018).

Sunburn Browning (SB), daha düşük sıcaklıkta ancak uzun süreli yüksek ışık maruziyeti altında gelişir. Kabukta açık kahverengi veya bronz renk değişimi görülür; doku sağlam kalır ancak pigment bozulmaları belirgindir. Bu tip yanıklıkta klorofil bozulması, fenolik oksidasyonu ve antosiyanin kaybı ön plandadır. Elma (‘Fuji’), nar (‘Kandhari’) ve üzüm (‘Cabernet Sauvignon’) gibi çeşitlerde SB, özellikle mevsim ortasında sıkça rapor edilmiştir (Felicetti ve Schrader, 2008; Sharma ve ark., 2018).

Photooxidative Sunburn (PS), gölgede gelişen meyvelerin aniden doğrudan güneş ışığına maruz kalmasıyla oluşur. Bu durumda meyve yüzeyinde beyazımsı veya açık sarı lekeler belirir; zamanla kahverengileşebilir. PS, düşük sıcaklıkta bile yüksek ışık şiddeti nedeniyle klorofil fotooksidasyonu ve

reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumu ile ilişkilidir. Elma ('Braeburn') ve üzüm ('Shiraz') gibi çeşitlerde, yaprak kaldırma veya budama sonrası PS riski artmaktadır (Greer ve Weedon, 2012; Gambetta ve ark., 2021).

Bu üç tip güneş yanıklığı, meyve türüne, çeşidine, yetiştirme sistemine ve çevresel koşullara göre farklı şekillerde ortaya çıkmakta; görsel belirtiler ve kalite üzerindeki etkileri bakımından üreticiler için farklı düzeyde risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, güneş yanıklığına karşı geliştirilecek kontrol stratejilerinin, tip bazlı tanımlama ile başlaması büyük önem taşımaktadır.

Farklı meyve türlerinde güneş yanıklığı belirtileri Şekil 2'de toplu olarak gösterilmiştir.



Elmada güneş yanığı nekrozu



Elmada güneş yanığı kahverengileşmesi



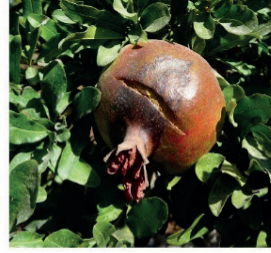
Armutta güneş yanığı kahverengileşmesi



Elmada foto-oksidatif güneş yanığı



Yere dökülen elma meyvelerinde foto-oksidatif güneş yanığı



Nardta güneş yanığı nekrozu ve sonrasında meyve çatlaması

Şekil 2. Farklı meyve türlerinde güneş yanıklığı belirtileri

4. Fizyolojik ve Biyokimyasal Mekanizmalar

Güneş yanıklığı, meyve dokularında yüksek sıcaklık ve ışık şiddeti nedeniyle oluşan karmaşık fizyolojik ve biyokimyasal bozulmaların sonucudur. Bu bozulmalar, hücre membranlarının yapısal bütünlüğünün kaybı, protein denatürasyonu, pigment oksidasyonu ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimi gibi süreçleri içerir (Schrader ve ark., 2003; Felicetti ve Schrader, 2008).

Termal stres altında, meyve epidermisinde hücre zarları akışkanlığını yitirir; bu da plazma membran geçirgenliğinin artmasına ve hücre içi bileşenlerin dışarı sızmasına neden olur. Özellikle *Sunburn Necrosis* (SN) tipinde, bu

süreç hücre ölümüne kadar ilerleyebilir. Elma ve armut gibi türlerde yapılan çalışmalarda, SN gelişimi sırasında kabuk dokusunda elektrolit sızıntısının ve lipid peroksidasyonunun arttığı rapor edilmiştir (Huang ve ark., 2008; Lin ve ark., 2008; Glenn, 2009).

Işık şiddetinin yüksek olduğu ancak sıcaklığın nispeten daha düşük olduğu koşullarda ise *Sunburn Browning* (SB) ve *Photooxidative Sunburn* (PS) tipleri görülür. Bu tiplerde, klorofil ve antosiyanin gibi pigmentlerin bozulması ön plandadır. Uzun süreli ışık maruziyeti, fenolik bileşiklerin oksidasyonunu tetikleyerek kabukta bronzlaşma ve renk kaybına yol açar. Nar meyvesinde yapılan çalışmalarda, güneş yanıklığına maruz kalan meyvelerde toplam antosiyanin içeriğinde %15–20 oranında azalma gözlenmiş; bu da hem görsel kaliteyi hem de antioksidan kapasiteyi düşürmüştür (Sharma ve ark., 2018; Narjesi ve ark., 2023).

Foto-oksidatif stres altında, özellikle gölgede gelişen meyvelerin aniden güneşe maruz kalmasıyla ROS üretimi artar. Bu türler arasında üzüm, PS gelişimine en duyarlı olanlardan biridir. ‘Shiraz’ ve ‘Cabernet Sauvignon’ gibi çeşitlerde, yaprak kaldırma sonrası meyve yüzeyinde klorofil fotooksidasyonu ve lipid peroksidasyonunun belirginleştiği; bu durumun da fenolik bileşiklerin bozulmasına ve şaraplık kalite kaybına yol açtığı saptanmıştır (Greer ve Weedon, 2012; Gambetta ve ark., 2021).

Nar meyvesinde ise güneş yanıklığına karşı verilen fizyolojik tepki, kabuk kalınlığı, antosiyanin yoğunluğu ve epidermal hücre yapısına bağlı olarak çeşitler arasında farklılık göstermektedir. ‘Kandhari’ ve ‘Shishe-Kab’ gibi çeşitlerde, güneş yanıklığına karşı tolerans düzeyi daha yüksek bulunmuş; bu durum, epidermal hücre yoğunluğu ve pigment stabilitesi ile ilişkilendirilmiştir (Sharma ve ark., 2018; Hamed Sarkomi ve ark., 2019;).

Bu fizyolojik ve biyokimyasal mekanizmaların anlaşılması, güneş yanıklığını önlemeye yönelik stratejilerin geliştirilmesinde temel teşkil etmektedir. Özellikle pigment stabilitesini artıran uygulamalar, ROS birikimini azaltan kaplamalar ve termal stresin etkilerini sınırlandıran gölgeleme sistemleri, bu mekanizmalarla doğrudan ilişkilidir.

5. Güneş Yanıklığını Önlemeye Yönelik Uygulamalar

Güneş yanıklığını önlemek amacıyla geliştirilen uygulamalar, meyve yüzeyini doğrudan korumaya, ışık spektrumunu değiştirmeye veya termal stres etkilerini azaltmaya yönelik stratejilerden oluşmaktadır. Bu yöntemler, meyve türüne, iklim koşullarına ve yetiştirme sistemine göre farklılık göstermekte; uygulama zamanı, doz ve tekrar sayısı gibi parametreler başarı düzeyini belirlemektedir.

5.1. Parçacık Film Kaplamalar (Kaolin, CaCO_3)

Kaolin ve kalsiyum karbonat (CaCO_3) bazlı parçacık film kaplamalar, meyve yüzeyine uygulandığında güneş ışığını yansıtarak meyve yüzey sıcaklığını düşürür ve ışık spektrumunu değiştirerek fotooksidatif stresin etkisini azaltır. Bu yöntem, özellikle nar, elma ve armut gibi türlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

‘Kandhari’ nar çeşidinde yapılan bir çalışmada, %3 konsantrasyonda Surround WP® (kaolin bazlı) uygulaması, meyve tutumundan itibaren 20 günde bir tekrarlanmış; toplamda 5 uygulama ile güneş yanıklığı oranı %47, çatlama oranı %46 azalmıştır (Sharma ve ark., 2018). Aynı zamanda antosiyanin içeriğinde %17.4 artış gözlenmiştir (Sharma ve ark., 2018). ‘Fuji’ elma çeşidinde ise %6 ‘lık CaCO_3 uygulaması, renk gelişimi öncesi dönemde 3 kez uygulanmış; kabuk rengi korunmuş ve sınıflandırma dışı kalma oranı düşmüştür (Glenn, 2009).

Kaolin uygulamalarının etkinliği, uygulama zamanlamasına ve fenolojik evreye bağlıdır. Meyve tutumundan hemen sonra başlatılan ve düzenli aralıklarla tekrarlanan uygulamalar hem termal hem de fotooksidatif stresin etkisini azaltmaktadır (Melgarejo ve ark., 2004; Abou El-Wafa, 2015).

5.2. Fotoselektif Gölgeleme Ağları

Fotoselektif ağlar, meyve bahçelerinde mikroklimayı düzenleyerek güneş yanıklığı riskini azaltan fiziksel koruma sistemleridir. Ağ rengi ve gölgeleme oranı, ışık spektrumunun ve meyve yüzey sıcaklığının kontrolünde kritik rol oynar.

‘Malas Yazdi’ nar çeşidinde yapılan bir çalışmada, meyve tutumundan hasada kadar sürekli uygulanmış olan %50 gölgeleme sağlayan yeşil renkli ağ kullanımının; meyve yüzey sıcaklığını 6.1 °C düşürdüğü ve güneş yanıklığı oranını %71.4 azalttığı saptanmıştır. Aynı zamanda verim ve pazar kalitesinde anlamlı artış gözlenmiştir (Narjesi ve ark., 2023).

‘Cabernet Sauvignon’ üzüm ve ‘Honeycrisp’ elma çeşitlerinde de beyaz ve siyah ağların farklı gölgeleme oranlarıyla kullanımı, fenolik bileşiklerin korunmasına ve renk gelişiminin dengelenmesine katkı sağladığı belirlenmiştir (Kalcsits ve ark., 2017; Gambetta ve ark., 2021).

Fotoselektif gölgeleme ağlarının etkinliğini doğru değerlendirebilmek için, farklı meyve tür ve çeşitlerinde güneş yanıklığının hangi meyve yüzey sıcaklığı (MYS) eşiklerinde ortaya çıktığının bilinmesi gerekir. Bu eşikler, hem ağ rengi ve gölgeleme oranı seçiminde hem de uygulama zamanlamasının planlanmasında temel bir referans niteliğindedir. Literatürde bildirilen MYS değerleri, güneş yanıklığı tiplerinin (nekroz, bronzlaşma, foto-oksidatif) tanımlanmasında ve koruma stratejilerinin optimize edilmesinde kritik

rol oynar. Aşağıdaki tabloda (Tablo 1), çeşitli meyve tür ve çeşitlerinde belirlenmiş kritik MYS eşikleri, maruziyet koşulları ve ilgili kaynaklar bir arada sunulmaktadır.

Tablo 1. Çeşitli meyve tür ve çeşitlerinde güneş yanıklığı oluşumuna yol açan meyve yüzey sıcaklığı (mys) eşikleri

Meyve Türü	Çeşit	Güneş Yanıklığı Tipi	MYS Eşiği (°C)	Koşullar / Notlar	Kaynak
Elma (<i>Malus domestica</i>)	‘Granny Smith’	SN	52–53	Yüksek ışık + düşük rüzgâr; 10–15 dk maruziyet	Schrader ve ark. (2003)
Elma (<i>Malus domestica</i>)	‘Fuji’	SB	46–49	Uzun süreli yüksek ışık; orta-yüksek sıcaklık	Schrader ve ark. (2008)
Elma (<i>Malus domestica</i>)	‘Braeburn’	PS	35–40	Gölgeden aniden güneşe çıkma; düşük hava sıcaklığı bile yeterli	Felicetti ve S c h r a d e r (2008)
Armut (<i>Pyrus pyrifolia</i>)	‘Cuiguan’	SN	50–52	Yüksek ışık + düşük nem; 1–2 saat maruziyet	Huang ve ark. (2007)
Nar (<i>Punica granatum</i>)	‘Wonderful’	SB/SN	48–50	Açık renk kabukta SB, koyu renk kabukta SN daha hızlı gelişir	Narjesi ve ark. (2023)
Nar (<i>Punica granatum</i>)	‘Kandhari’	SB	46–48	Yüksek ışık + orta sıcaklık; antosiyanin bozulması	Sharma ve ark. (2018)
Üzüm (<i>Vitis vinifera</i>)	‘Cabernet Sauvignon’	SN	50–52	Yüksek ışık + düşük rüzgâr; fenolik bozulma	Gambetta ve ark. (2021)
Üzüm (<i>Vitis vinifera</i>)	‘Shiraz’	PS	35–38	Yaprak alma sonrası ani ışık maruziyeti	Greer ve W e e d o n (2012)

Kısaltmalar: MYS = Meyve Yüzey Sıcaklığı; SN = *Sunburn Necrosis* (Güneş Yanıklığı Nekrozu); SB = *Sunburn Browning* (Güneş Yanıklığı Bronzlaşması); PS = *Photooxidative Sunburn* (Foto-oksidatif Güneş Yanıklığı)

5.3. Torbalama Teknikleri

Torbalama, meyve yüzeyini doğrudan fiziksel olarak koruyarak güneş yanıklığını önleyen bir yöntemdir. Kullanılan torba materyali (kâğıt, polietilen, delikli vb.), uygulama zamanı ve meyve çeşidi, etkinliği belirleyen faktörlerdir.

‘Shishe-Kab’ nar çeşidinde, meyve tutumundan 30 gün sonra beyaz kâğıt torbalara alınan meyvelerde; güneş yanıklığı oranının %62.6 oranında azaldığı, kabuk renginin daha iyi geliştiği ve depolama sonrası çürüme oranının düştüğü saptanmıştır (Hamed Sarkomi ve ark., 2019). ‘Wonderful’ nar çeşidinde ise sarı polietilen torba kullanımı, dane rengini ve tat profilini iyileştirmiş; pazar kalitesini artırmıştır (Abou El-Wafa, 2015).

Torbalama, özellikle yüksek pazar değeri olan sofralık çeşitlerde görsel kaliteyi (ticari görünüm) korumak için etkili bir stratejidir. Ancak torba materalinin ışık geçirgenliği ve hava sirkülasyonu gibi özellikleri, meyve gelişimi üzerinde farklı etkiler yaratabilir.

5.4. Evaporatif Soğutma ve Diğer Yöntemler

Evaporatif soğutma, meyve yüzeyine su püskürtülerek sıcaklığın düşürülmesini sağlayan bir yöntemdir. Granny Smith’ elma çeşidinde yapılan bir çalışmada, öğle saatlerinde ağaç tacı üzerine 1.5–2.0 mm/sa su püskürtülmesi ile meyve yüzey sıcaklığının 15–20 °C kadar düşürebildiği ve güneş yanıklığı oranının da önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir (Goodwin, 2017).

‘Shiraz’ üzüm çeşidinde ise yaprak alma / yaprak seyreltme zamanlamasının optimize edilmesi, meyvelerin ani ışık maruziyetine karşı korunmasını sağlamış; foto-oksidatif stresin etkisi azaltılmış ve renk gelişimi dengelenmiştir (Greer ve Weedon, 2012).

Bu yöntemler, özellikle sıcak dalgalarının yoğun olduğu dönemlerde geçici koruma sağlamakta; diğer stratejilerle birlikte kullanıldığında sinerjik etki yaratmaktadır.

Farklı meyve türlerinde uygulanan başlıca güneş yanıklığı önleme yöntemleri, aşağıdaki tabloda uygulama ayrıntılarıyla birlikte karşılaştırmalı olarak sunulmuştur (Tablo 2).

6. Hasat Sonrası Etkiler

Güneş yanıklığı, hasat öncesi dönemde meyve yüzeyinde görsel bozulmalara yol açmakla kalmaz; aynı zamanda hasat sonrası dönemde kalite parametrelerinin hızla bozulmasına neden olur. Bu etkiler, özellikle depolama süresince meyvede su kaybı, çürüme oranı, pigment kaybı ve antioksidan kapasitede azalma şeklinde kendini gösterir (Sharma ve ark., 2018; Hamed Sarkomi ve ark., 2019).

Nar meyvesinde yapılan çalışmalarda, güneş yanıklığına maruz kalan meyvelerde depolama süresince suda çözünebilir kuru madde miktarında (SÇKM), askorbik asit ve antosiyanin içeriğinde belirgin azalmalar gözlenmiştir. ‘Kandhari’ nar çeşidinde, Surround WP® uygulaması ile güneş yanıklığı azaltılan meyveler, depolama süresince daha yüksek SÇKM ve antosi-

yanın değerlerini korumuş; çürüme oranı ise %40'tan %18'e düşmüştür (Sharma ve ark., 2018). 'Shishe-Kab' nar çeşidinde beyaz renkli kâğıt torba uygulaması yapılan meyveler, depolama sonrası daha düşük çürüme oranı ve daha yüksek kabuk rengi stabilitesi göstermiştir (Hamed Sarkomi ve ark., 2019).

Elma meyvesinde güneş yanıklığına bağlı olarak kabukta fenolik oksidasyonun hızlandığı, bu durumun depolama süresince kabuk renginde bozulmaya ve antioksidan kapasitede düşüşe yol açtığı rapor edilmiştir. 'Fuji' ve 'Granny Smith' gibi çeşitlerde, güneş yanıklığına maruz kalan meyveler daha kısa raf ömrü göstermiş; özellikle kontrollü atmosfer koşullarında bile kalite kaybı hızlanmıştır (Schrader ve ark., 2008; Glenn, 2009).

Tablo 2. Meyve türlerinde uygulanan başlıca güneş yanıklığı önleme yöntemleri

Meyve Türü ve çeşidi	Uygulama Yöntemi	Doz / Konsantrasyon	Uygulama Zamanı / Fenolojik Evre	Tekrar Sayısı	Etki/Sonuç	Kaynak
Nar 'Kandhari'	Kaolin bazlı parçacık film (Surround WP)	%3 (30 g L ⁻¹)	Meyve tutumundan itibaren, 20 günde bir	5	GY %47 azaldı, çatlama %46 azaldı, antosiyanin %17.4 arttı	Sharma ve ark. (2018).
Nar 'Malas Yazdi'	Fotoselektif gölgeleme ağı (yeşil)	%50 gölgeleme	Meyve tutumundan itibaren, hasada kadar	Sürekli	MYS 6.1 °C düştü, GY %71.4 azaldı, verim ve kalite arttı	Narjesi ve ark. (2023).
Nar 'Shishe-Kab'	Beyaz kâğıt torba (delikli)	—	Meyve tutumundan 30 gün sonra	1	GY %62.6 azaldı, kabuk rengi gelişti, depolama sonrası çürüme azaldı	Hamed Sarkomi ve ark. (2019).
Nar 'Wonderful'	Kaolin	%4	Meyve tutumundan itibaren	2	GY ve çatlama azaldı; SÇKM, askorbik asit ve antosiyanin arttı	Abou El-Wafa (2015).
Elma 'Fuji'	CaCO ₃ bazlı güneş koruyucu	%6	Renk gelişimi öncesi	3	Kabuk rengi korundu, sınıflandırma dışı kalma oranı azaldı	Glenn (2009).
Armut 'Cuiguan'	Kaolin	%5	Meyve büyüme dönemi	3	GY azaldı, kabuk rengi ve kalite parametreleri iyileşti	Huang ve ark. (2007).
Üzüm 'Cabernet Sauvignon'	Fotoselektif ağ (beyaz)	%30 gölgeleme	Meyve tutumundan itibaren	Sürekli	Fenolik bileşikler korundu, renk stabilitesi arttı	Gambetta ve ark. (2021).
Üzüm 'Shiraz'	Yaprak alma zamanlaması	—	Olgunlaşma öncesi	1	PS riski azaldı, renk gelişimi dengelendi	Greer ve Weedon (2012).

Kısaltmalar: GY = Güneş Yanıklığı; MYS = Meyve Yüzey Sıcaklığı; PS = Photooxidative Sunburn

Üzümde ise güneş yanıklığı, fenolik bileşiklerin bozulması nedeniyle şaraplık kaliteyi doğrudan etkilemektedir. ‘Cabernet Sauvignon’ ve ‘Shiraz’ gibi çeşitlerde, güneş yanıklığına maruz kalan meyvelerden elde edilen şıralarda toplam fenolik içerik, flavonoid yoğunluğu ve renk stabilitesi daha düşük bulunmuştur. Bu durum, özellikle uzun süreli depolama ve fermantasyon süreçlerinde aroma ve renk kaybına neden olmaktadır (Gambetta ve ark., 2021).

Bu bulgular, güneş yanıklığının sadece hasat öncesi değil, aynı zamanda hasat sonrası dönemde de kaliteyi olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle, güneş yanıklığını önlemeye yönelik uygulamaların, depolama ve pazarlama süreçleri açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle parçacık film kaplamalar ve torbalama teknikleri, hasat sonrası kaliteyi koruma açısından çift yönlü fayda sağlamaktadır.

7. Karşılaştırmalı Değerlendirme

Güneş yanıklığına karşı geliştirilen önleme stratejileri, meyve türleri arasında farklı düzeyde etkinlik göstermektedir. Bu fark, her türün epidermal yapısı, pigment yoğunluğu, kabuk kalınlığı, yetiştirme sistemi ve çevresel stres toleransı gibi fizyolojik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca uygulama zamanlaması, doz ve fenolojik uyum da başarı düzeyini doğrudan etkilemektedir.

Nar meyvesinde, kaolin bazlı parçacık film kaplamalar ve fotoselektif gölgeleme ağları en etkili yöntemler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle ‘Kandhari’ ve ‘Malas Yazdi’ gibi çeşitlerde, bu uygulamalar güneş yanıklığı oranını %50’nin üzerinde azaltmış; aynı zamanda antosiyanin birikimi, SÇKM ve görsel kaliteyi iyileştirmiştir (Sharma ve ark., 2018; Narjesi ve ark., 2023). Torbalama teknikleri ise depolama sonrası kaliteyi koruma açısından avantaj sağlamış; ancak uygulama zamanı ve torba materyali seçimi kritik bulunmuştur (Hamedi Sarkomi ve ark., 2019).

Elma ve armut gibi türlerde, parçacık film kaplamalar (kaolin, CaCO_3) hem Sunburn Necrosis (SN) hem de Sunburn Browning (SB) tiplerine karşı etkili olmuş; özellikle ‘Granny Smith’ ve ‘Fuji’ gibi çeşitlerde kabuk rengi korunmuş ve sınıflandırma dışı kalma oranı düşmüştür (Huang ve ark., 2007; Lin ve ark., 2008; Glenn, 2009). Fotoselektif ağlar ise özellikle ‘Honeycrisp’ gibi güneş yanıklığına duyarlı çeşitlerde mikroklima düzenleyici olarak başarı sağlamıştır (Kalcsits ve ark., 2017).

Üzümde ise güneş yanıklığına karşı en etkili strateji, yaprak alma (yaprak seyreltme) zamanlamasının optimize edilmesi ve gölgeleme sistemlerinin entegrasyonudur. ‘Cabernet Sauvignon’ ve ‘Shiraz’ gibi şaraplık çeşitlerde, fenolik bileşiklerin korunması ve renk gelişiminin dengelenmesi açısından bu yöntemler kritik rol oynamaktadır (Gambetta ve ark., 2021; Greer ve Weedon, 2012).

8. Sonuç ve Öneriler

Güneş yanıklığı, meyve üretiminde hem fizyolojik hem de ekonomik açıdan önemli bir stres faktörüdür. Meyve yüzeyinde oluşan pigment bozulmaları, nekrotik lekeler, çatlama ve renk kaybı gibi belirtiler, ürünün pazarlanabilirliğini doğrudan etkileyerek sınıflandırma dışı kalma oranlarını artırmakta; hasat sonrası dönemde ise çürüme, antioksidan kapasite kaybı ve raf ömrü kısalması gibi sorunlara yol açmaktadır.

Farklı meyve türlerinde uygulanan önleme yöntemleri, güneş yanıklığını azaltmada çeşitli düzeylerde başarı sağlamaktadır. Bu başarı, uygulamanın zamanlaması, dozajı, fenolojik evreyle uyumu ve çevresel koşullara göre değişkenlik göstermektedir. Nar, elma, armut ve üzüm gibi türlerde yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, tür bazlı strateji seçiminin önemini ortaya koymaktadır.

Nar meyvesinde, kaolin bazlı parçacık film kaplamalar ve fotoselektif gölgeleme ağları hem güneş yanıklığı hem de çatlama oranlarını azaltmada etkili bulunmuştur. Özellikle 'Kandhari' ve 'Malas Yazdi' gibi çeşitlerde, bu uygulamalar antosiyanin birikimini artırmış, kabuk rengini korumuş ve depolama sonrası kaliteyi iyileştirmiştir. Torbalama teknikleri ise görsel kaliteyi (albeni) koruma ve çürüme oranını düşürme açısından avantaj sağlamaktadır.

Elma ve armut gibi türlerde, parçacık film kaplamalar (kaolin, CaCO_3) kabuk rengi bozulmalarını önleyerek sınıflandırma başarısını artırmakta; gölgeleme sistemleri ise özellikle güneş yanıklığına duyarlı çeşitlerde mikroklima düzenleyici olarak etkili olmaktadır. Üzümde ise yaprak alma zamanlamasının optimize edilmesi ve gölgeleme sistemlerinin entegrasyonu, fenolik bileşiklerin korunması ve şaraplık kaliteyi sürdürmek açısından kritik rol oynamaktadır.

Strateji seçiminde aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- **Uygulama zamanlaması**, meyve tutumu ve büyüme evresiyle uyumlu olmalıdır. Geç uygulamalar, güneş yanıklığı riskini azaltmada yetersiz kalabilir.
- **Doz ve tekrar sayısı**, iklim koşullarına göre ayarlanmalıdır. Sıcak ve kurak bölgelerde daha yoğun uygulama gerekebilir.
- **Torbalama ve gölgeleme gibi fiziksel koruma yöntemleri**, özellikle kozmetik kaliteyi korumak için sofralık çeşitlerde tercih edilmelidir.
- **Hasat sonrası kaliteyi koruma**, sadece görsel değil, biyokimyasal parametreler açısından da değerlendirilmelidir.

- **Gelecek araştırmalar,** genetik tolerans düzeylerinin belirlenmesi, yeni kaplama materyallerinin geliştirilmesi ve uzaktan algılama sistemlerinin entegrasyonu üzerine odaklanmalıdır.

Güneş yanıklığına karşı geliştirilen bu uygulamalar, sadece üretim döneminde değil, aynı zamanda hasat sonrası süreçte de kaliteyi koruma açısından stratejik önem taşımaktadır. Tür bazlı, iklim uyumlu ve fenolojik olarak zamanlanmış uygulamalar hem verim hem de pazar değeri açısından sürdürülebilir üretim hedeflerine katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abou El-Wafa, M. (2015). Effect of kaolin and some antioxidants on sunburn, cracking and fruit quality of pomegranate cv. 'Wonderful'. *Egyptian Journal of Horticulture*, 42(2), 795–806. <https://doi.org/10.21608/ejoh.2015.1332>
- Felicetti, D. A., & Schrader, L. E. (2008). Photooxidative sunburn of apple: Characterization of a third type of apple sunburn. *International Journal of Fruit Science*, 8(3), 160–172. <https://doi.org/10.1080/15538360802526472>
- Gambetta, J. M., Holzapfel, B. P., Stoll, M., & Friedel, M. (2021). Sunburn in grapes: A review of its types, causes, consequences, and management. *Frontiers in Plant Science*, 11, 604691. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.604691>
- Glenn, D. M. (2009). Particle film mechanisms of action that reduce the effect of environmental stress in 'Empire' apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(3), 314–321. <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.3.314>
- Goodwin, I. (2017). *Evaporative cooling in apple and pear orchards* [Factsheet]. Horticulture Industry Network. Erişim tarihi: 26 Ağustos 2025, https://www.hin.com.au/__data/assets/pdf_file/0020/76007/Goodwin-2017-Factsheet-Evaporative-cooling.pdf
- Greer, D. H., & Weedon, M. M. (2012). Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. *Plant, Cell & Environment*, 35(6), 1050–1064. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02471.x>
- Hamed Sarkomi, F., Moradinezhad, F., & Khayat, M. (2019). Pre-harvest bagging influences sunburn, cracking and quality of pomegranate fruits. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 2(2), 131–142. <https://doi.org/10.22077/jhpr.2019.2247.1044>
- Huang, C. H., Chai, M. L., Pan, Z. M., Yu, B., Jiang, Z. M., Hu, J. L., & Teng, Y. W. (2007). Effects of bagging on fruit skin features and quality of Cuiguan pear cultivar. *Journal of Fruit Science*, 24, 747–751.
- Kalcsits, L., Musacchi, S., Layne, D. R., Schmidt, T., Mupambi, G., Serra, S., Mendoza, M., Asteggiano, L., Jarolmasjed, S., Sankaran, S., Khot, L. R., & Zúñiga Espinoza, C. (2017). Above and below-ground environmental changes associated with the use of photosensitive protective netting to reduce sunburn in apple. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237–238, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.016>
- Lin, J., Chang, Y., Yan, Z., & Li, X. (2008). Effects of bagging on the quality of pear fruit and pesticide residues. *Acta Horticulturae*, 772, 315–318. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.772.52>
- Melgarejo, P., Nicolás, J. J., Hernandez, F., Martínez-Font, R., Barrows, P., & Erez, A. (2004). Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae*, 100, 349–353. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.09.006>

- Narjesi, V., Fatahi Moghadam, J. ve Ghasemi-Soloklui, A. A. (2023). Effects of photo-selective shade net color and shading percentage on reducing sunburn and increasing the quantity and quality of pomegranate fruit. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 10, 25–38. <https://orcid.org/0000-0002-3565-8051>
- Schrader, L. E., Zhang, J., & Sun, J. (2003). Environmental stresses that cause sunburn of apple. *Acta Horticulturae*, 618, 397-405. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.618.47>
- Schrader, L. E., Zhang, J., & Sun, J. (2008). Heat and light-induced apple skin disorders: Causes and prevention. *Acta Horticulturae*, 772, 51–58. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.772.5>
- Sharma, R. R., Datta, S. C. ve Varghese, E. (2018). Effect of Surround WP®, a kaolin-based particle film on sunburn, fruit cracking and postharvest quality of 'Kandhari' pomegranates. *Crop Protection*, 114, 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.07.016>



3B YAZICILAR İLE EKOTASARIM

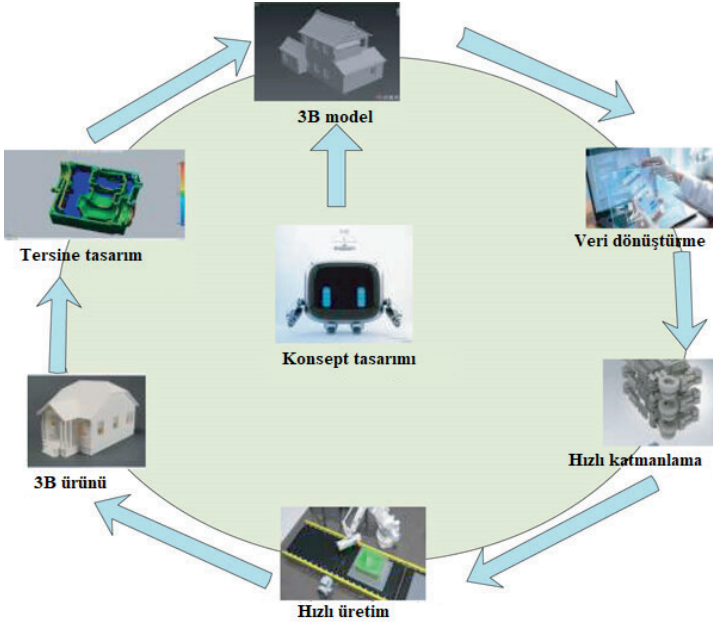
“ ”

Gülyaz AL ¹

¹ Öğr. Gör. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekan Tasarımı Programı, 0000-0003-2347-4981

1. Giriş

Üç boyutlu (3B) baskı, benzersiz yapı ve çeşitli özelliklere sahip 3B nesneler oluşturmak için en çok yönlü ve devrim niteliğindeki katkı üretim (AM) tekniklerinden biridir. Şu anda, erimiş biriktirme modelleme (FDM), stereolitografi cihazı (SLA), ışık işleme (DLP) ve seçici lazer sinterleme (SLS) gibi çeşitli teknikler, karmaşık mimariye sahip stereoskopik nesneler oluşturmak için geliştirilmiştir (Weng, Wang, Senthil, & Wu, 2016). Dünya çapında 3B baskıya olan talep oldukça hızlı bir şekilde artmakta olup önümüzdeki on yıllarda gelişmeye devam edecektir. Havacılık, otomotiv, araştırma, tıp ve sağlık, inşaat ve mimarlık, gıda ve moda endüstrileri dahil olmak üzere birçok alanda kullanılan gelişen bir teknoloji olan 3B baskı teknolojisi, bilgisayardaki CAD verilerinden doğrudan 3B nesneler üreten hızlı prototipleme yöntemidir. Bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar sayısal kontrolü (CNC), mekanik teknoloji ve malzeme bilimini birleştiren ve katmanlı kaplama temel yöntemini benimseyen kapsamlı bir teknolojidir. CAD modeli belirli bir katman kalınlığına göre bölünür ve daha sonra belirli malzemeler kullanılarak farklı işlemlere sahip 3B yazıcılar tarafından basılır. Nozul veya optik cihazlar, bir se-ferde alt tabaka üzerinde bir yapı katmanı oluşturmak için bilgisayar tarafından çalıştırılır ve tamamlanmış nesne katman katman inşa edilir. Bu tür malzeme ekleme yöntemi, 3B baskı ile çıkarmalı üretim olarak bilinen gelenek-sel yöntem arasındaki temel farktır (Jin vd., 2021; Manoj & Panda, 2022). Şekil 1’de 3B baskı süreci yer almaktadır.



Şekil 1: 3B baskı süreci (Deng vd., 2022).

3B baskıda, 3B yapılar inşa etmek için plastik, seramik ve metal gibi çeşitli malzemeler kullanır (Hasan vd., 2025). 3B yazıcılarda kullanılan malzeme çeşitlerine örnekler:

Plastikler/Polimerler: PLA (Poli laktik asit), ABS (Akrilonitril bütadien stiren), HDPE (Yüksek yoğunluklu

Polietilen), PPSU (Polifenilsülfon), HIPS (Yüksek darbe polistireni)

Metaller: Alüminyum, Pirinç, bakır, bronz, ayar gümüşü, Altın, Platin ve Titanyum

Seramikler: Seramikten yapılmış modeller alüminyum silika seramik tozundan yapılır, sonra porselen ve silika ile kapatılır ve sırlanır.

Diğerleri: Kağıtlar, alçılar, ahşap, organik (doku/hücreler), naylon, gıda ve beton

3B baskılı ürünlerin gelişmiş üretimi, özellikle üretim, sağlık, mimarlık ve tasarım olmak üzere çeşitli sektörleri altüst etme potansiyeline sahip, çığır açan bir yenilik olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, 3B baskının yaygın olarak benimsenmesi, özellikle polimerler gibi malzemelerin tedariki ve işlenmesiyle ilgili olarak çevresel etkisi konusunda endişeleri artırmıştır. Bu nedenle, 3B baskılı ürünleri daha sürdürülebilir hale getirmek için, geleneksel biyolojik olarak parçalanmayan malzemelerin yerine doğal lifler ve ahşap bazlı maddeler gibi lignoselülozik malzemelerin kullanılmasına yönelik ilgi artmaktadır. Doğal lifler, yüksek özgül sertlikleri, işleme esneklikleri ve düşük hacimsel maliyetleri nedeniyle plastik ürünlerde dolgu maddesi ve takviye malzemesi olarak giderek daha popüler hale gelmektedir. Diğer doğal liflerle karşılaştırıldığında, odunlar, biyolojik olarak parçalanabilir özelliklerine katkıda bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi lignoselülozik polimerik bileşiklerin varlığı nedeniyle popülerlik kazanmaktadır (Hasan vd., 2025). Pek çok avantaja sahip olan 3B baskı teknolojisi, özellikle mobilya sektöründe malzeme ve enerji tasarrufu sağlaması, üretim sürecinde nakliye ihtiyacını azaltarak lojistik maliyetleri düşürmesi gibi yönleriyle çevreye duyarlı tasarım yaklaşımları arasında öne çıkmaktadır (Canpolat & Aydın, 2019).

Ekodizayn, tasarımın ve çevresel değerlendirmelerin çok yönlü yönlerini birleştiren bir kavramdır. Amaç, insan ihtiyaç ve isteklerini karşılayan sürdürülebilir çözümler yaratmaktır. Ekodizayn kelimesinin dilbilimsel köklerine ve “eko” kelimesinin Yunanca kökü olan oikos: ev, yuva ile olan bağlantılarına bir göz atalım. “Eko-” kelimesi hem yaşam çevremizle hem de ev idaresiyle ilgilidir ve bir kelime olarak Ekodizayn, ekonomi ve ekolojiyle benzerlik taşır. “Eko” kelimesinin anlamı, antropojenik alt sistemler de dahil olmak üzere “Doğa” ile ilişkilidir. Sonuç olarak, Ekodizayn, doğa ile daha akıllı bir ilişkiye sahip tasarım olarak yorumlanabilir. Son birkaç on yılda, eko-tasarım, çevre-

sel kaygıları ürün geliştirme ve ilgili süreçlere entegre etmek için umut verici bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Eko-tasarım, performans ve maliyet gibi diğerk temel kriterlerden ödün vermeden, ürünün yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlamaktadır (Karlsson & Luttrupp, 2006; Pigosso, Rozenfeld, & McAloone, 2013).

Son yıllarda artan dünya nüfusu ve hızlı tüketim sonucu ortaya çıkan çevresel endişeler nedeniyle biyobuzunur malzemelere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bunun yanı sıra 3B yazıcılarda hızlı bir şekilde ürün elde edilmesi de göz önünde bulundurulduğunda 3B yazıcılarda üretilmiş ürünlere ilgi oldukça fazladır. Bu alanda yapılan akademik çalışmalar olduğu kadar endüstriyel ürünler de mevcuttur. Tüketimin yoğunlaştığı bu yüzyılda özellikle ekolojik ürünlere ilgi ve talep artmış ve böylece Ekodizayn kavramı oluşmuştur. Bu alışmada 3B yazıcılar, bu yazıcılarda kullanılan biyobozunur malzemeler ve ekodizayn gözetilerek yapılan çalışmalara yönelik incelemeler yapılmıştır.

2. 3B Yazıcılarda Kullanılan Biyo Bozunur Malzemeler

3D yazıcılarda çok çeşitli malzemeler kullanılmakta olup her bir malzeme farklı uygulama alanlarında önemli rol oynamaktadır (Srinivasan vd., 2021). 3B baskıda kullanılan biyolojik olarak parçalanabilir malzemeler biyolojik olarak parçalanabilir olmaları ve çok düşük çevresel etkileri nedeniyle popülerlik kazanmıştır (Roudbari, 2025). Bu malzemelerin yaygın türlerinden bazıları aşağıda verilmiştir

Polihidroksialkanoat (PHA)

Yüksek biyoyuumluluklarıyla bilinen polihidroksialkanoat (PHA)' lar, şekerlerin veya lipitlerin bakteriyel fermentasyonu ile üretilen polimerlerdir ve doğal biyolojik parçalanabilirlikleri nedeniyle son zamanlarda oldukça ilgi görmektedirler. Toksik olmamaları, biyolojik olarak parçalanabilirlikleri ve biyoyuumlulukları nedeniyle PHA'ların ambalajlama, tarım ve tıp gibi sektörlerde çok sayıda kullanım alanı vardır. Sürdürülebilirlik hedefleri, biyoplastikler, tıbbi implantlar ve kontrollü ilaç dağıtımında uygulamalarının genişlemesini teşvik etmektedir. Üretim teknolojileri gelişip geleneksel plastiklerin yerini aldıkça, PHA'lar gıda ambalajı, tekstil ve kozmetik gibi sektörlerde önemli bir oyuncu haline gelebilir (Gulyaz Al, Aydemir, & Altuntaş, 2024; Luo, Wu, Li, & Loh, 2019; Thamarai, Vickram, Saravanan, Deivayanai, & Evangeline, 2024).

Polilaktik Asit (PLA)

Polilaktik asit (PLA), şeker kamışı, patates ve mısırın fermentasyon sürecinden elde edilen laktik asitten üretilen yenilenebilir biyopolimerlerden biridir Sürdürülebilir ve biyobazlı termoplastikler arasında PLA 3B yazıcılarda

oldukça fazla kullanılan ve tercih edilen bir polimerdir. Düşük hidrofobisiteye, yüksek oranda bulunabilirliğe ve iyi mekanik özelliklere sahip olmasının yanı sıra nispeten düşük fiyatlı olan PLA 3B yazıcılarda çok iyi işlenebilirliğe sahiptir (G. Al, Aydemir, Ayırmis, Kaygin, & Gunduz, 2018; Aldana vd., 2014; Aliotta vd., 2024; Molina-ro vd., 2013; Svagan vd., 2012).

Polikaprolakton (PCL)

PCL, petrol kaynaklarından elde edilen, biyolojik olarak parçalanabilen, bozunma ürünleri toksik olmayan ve bozunma hızı kontrol edilebilir biyoyumlu bir polyesterdir. Düşük erime noktası, baskı sonrası yüzeyin işlenmesini kolaylaştırır. PCL, tıp ve protez alanlarında kullanılır (H. Li, Yin, Xiang, Liu, & Guo, 2020; Liu vd., 2018; Roudbari, 2025).

Arbofill, Arboblend ve Arboform

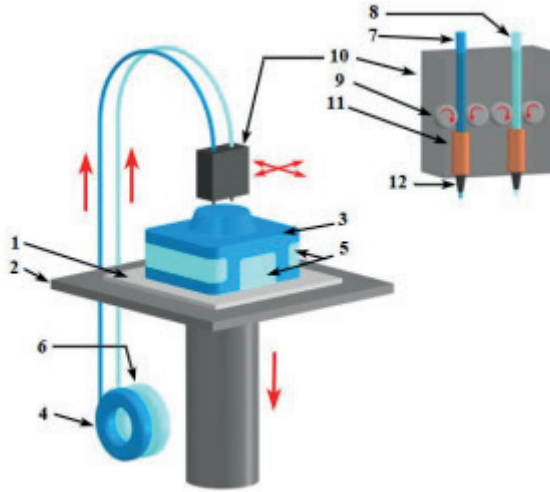
Arbofill, arboblend ve arboform sıvı odun türlerindendir. Temel matrisi ligninden oluşan biyopolimerik bir malzeme olan sıvı odun kısa süreye kadar sadece kağıt yapım sürecinde kullanılmaktaydı. Özellikleri nedeniyle sıvı odun, dünyadaki tüm mevcut plastik ürünlerin yerini alabilir. En yeni yeşil malzemelerden biri olması nedeniyle son derece önemli bir özelliğe sahiptir: Özelliklerini kaybetmeden birkaç kez yeniden kullanılabilir. Biyolojik olarak parçalanabilen ve çevreyi kirletmeyen bu malzeme şu anda dünyada satılan hemen hemen tüm ürünlerde bulunan plastikten daha ağır olmasına rağmen, insan sağlığına karşı olumsuz bir reaksiyonu yoktur %100 doğal bir ürün olması avantajı vardır. Son yıllara kadar lignin sadece kağıt üretiminde ortaya çıkan bir atık olarak görülüyordu fakat ahşaba mukavemetini veren ve eritilebilen granüller şeklini alan bir madde olduğu belirlenmiştir. Böylece mobilya, aksesuar, oyuncak, elektronik cihazlar için plastik kutular ve her türlü şekildeki yiyecek kaplarından araba gövdelerine kadar hemen hemen her şeyi üretmek için kullanılabilen özel bir malzeme elde edilmiştir. Arboform, yangına dayanıklılık ve dayanıklılık gibi mekanik özelliklerini kaybetmeden on defaya kadar imha edilebilir ve yeniden kullanılabilir. Sıvı ahşabın tek dezavantajı, normal plastik malzemelerden çok daha ağır olmasıdır (Barhalescu vd., 2019; Nedelcu, Ciofu, & Lohan, 2013) 3B yazıcılarla uygulamaları literatürde kısıtlı olan bu malzeme 3B yazıcıda kullanılabilmektedir (Carau-su, Mazurchevici, Ciofu, & Mazurchevici, 2018; S. N. Mazurchevici, Mazurchevici, & Nedelcu, 2020; S.-N. Mazurchevici vd., 2021).

3. 3B Yazıcı Teknolojisi

1. FDM 3B Yazıcı:

Eritmeli biriktirme türü olan FDM 3B yazıcının en temel ve basit türüdür. Genellikle ABS, PLA, naylon gibi plastik filamentler yazıcının nozülü tarafından ısıtılıp eritilir ve ardından malzemeler katman katman işlenir (Yang

& Du, 2022). Baskı işlemi, ekipman yapım platformunda bulunan köpük taban üzerinde gerçekleşir. Yapı malzeme-si makarası (4) kullanılarak basılan parça (3), destek malzemesi makarasından (6) elde edilen parça destekleri (5) üzerinde yönlendirilir. Malzeme telleri (4, 6), destek malzemesi filamenti (7) ve yapı malzemesi (8) üzerinden geçer ve bu da ekstrüzyon kafasında [10] bulunan ve sıvılaştırıcılar (11) kullanılarak eritme durumuna getirilen tahrik tekerlekleri (9) yardımıyla yönlendirilir. Teller, yüzeye yerleştirilmeden önce ekstrüzyon nozullarından (12) geçer. FDM işlemi, sıvı ahşap gibi biyolojik olarak parçalanabilir malzemelerin basılması için de başarıyla kullanılabilir. Arbofill, arboblend ve arboform olmak üzere üç tür sıvı ahşap vardır (Carausu vd., 2018).

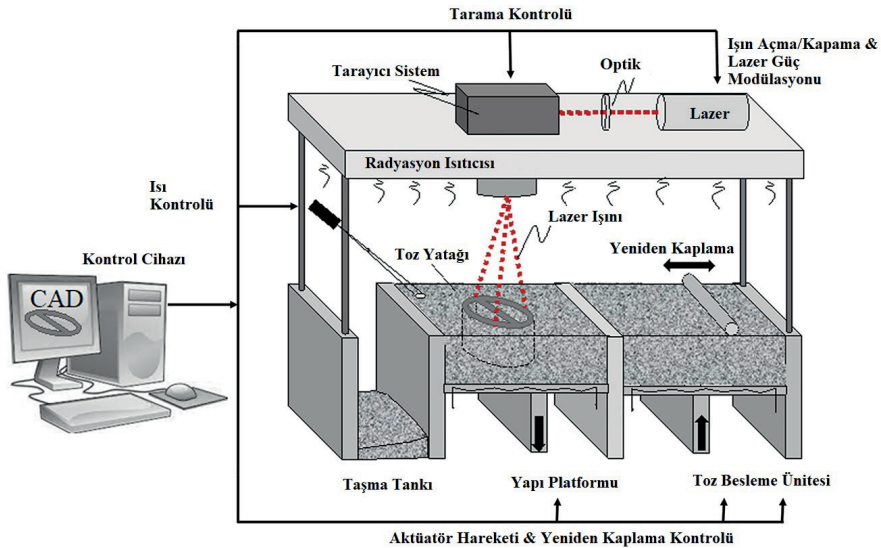


Şekil 2: FDM 3B Yazıcı: 1. Köpük taban, 2. ekipman yapım platformu, 3. Basılan parça, 4,6. yapı malzemesi makarası, 5. parça destekleri, 6. destek malzemesi makarası, 7. destek malzemesi filament, 8. yapı malzemesi, 9. tahrik tekerlekleri, 10. ekstrüzyon kafası, 11. sıvılaştırıcılar, 12. ekstrüzyon nozulları (Carausu vd., 2018).

2. SLS 3B Yazıcı:

Seçici lazer sinterleme türü olan SLS' de malzeme olarak genellikle toz (metal, seramik, balmumu tozu, plastik tozu vb.) kullanır ve sinterleme ve bağlama yoluyla gerçekleştirilir. SLS 3B yazıcıları oldukça basit olup toz besleme ünitesi, bir yapı platformu, bir bıçak veya dönen silindir, bir taşıma tankı ve bazı kızılötesi ısınlama lambaları ve/veya direnç ısıtıcıları içeren bir toz dağıtım haznesi; dijital olarak programlanmış bir tasarıma göre öngörülen yatay konturu oluşturan bir CO2 kızılötesi lazer ve bir lazer tarayıcı ünitesi;

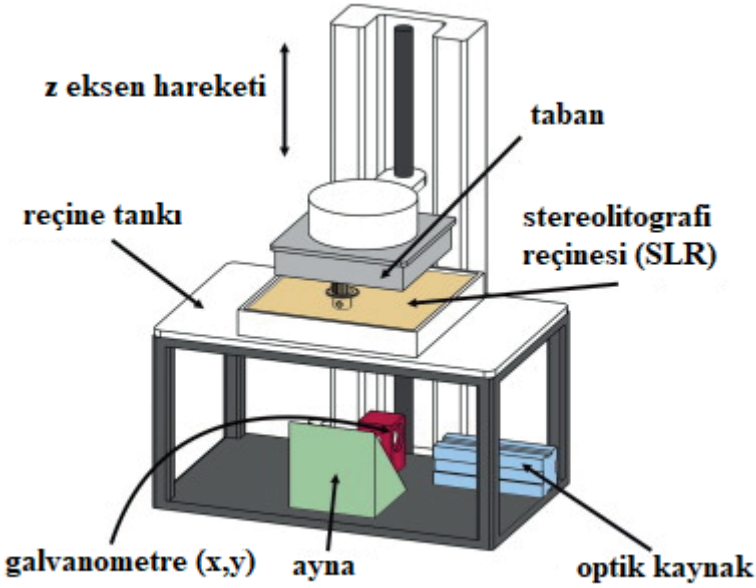
tüm işlem parametrelerini kontrol eden bir bilgisayardan (Şekil 3) oluşur. SLS işlemi ön ısıtma, yapı ve soğutma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Ön ısıtma adımında, toz yatağı, gerekli lazer enerjisini ve soğutma sırasında parça bozulmasını en aza indirmek için yumuşama sıcaklığının hemen altına ısıtılır. Yatak sıcaklığı (T_b) olarak adlandırılan önceden tanım-lanmış sıcaklık, tüm yapım işlemi boyunca korunur. Yapım adımında, aşağıdaki alt adımlar her katman için tekrarlanır. Öncelikle, yapı platformu katman kalınlığına eşit bir değerde alçaltılır ve toz parçacıkları bir silindir veya kaplama bıçağı kullanılarak üzerine yayılır. Ardından, bir lazer ışını toz katmanını taramakla kalan tozu öngörülen geometriye göre eritir. Lazer ışınına maruz kaldıktan sonra toz parçacıkları birleşmeye başlar. Bu olay, malzemenin erime sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda meydana gelir. Daha sonra, katılaşmayı sağlamak, yani bitişik parçacıkların birbirine bağlanmasını sağlamak için parça kademeli olarak T_b değerine kadar soğutulur. Toz biriktirme işlemi genellikle, işlem sırasında tozların çevresel kirlenmesini önlemek için inert bir atmosferde (örneğin argon ve azot) gerçekleştirilir. Soğutma aşamasında, ısı kaynağı kapatılır ve toz yatağı kademeli olarak parça çıkarma sıcaklığına kadar soğutulur. Kalıplama yöntemi, basit üretim süreci, yüksek esneklik, geniş malzeme seçimi, düşük malzeme fiyatı, düşük maliyet, yüksek malzeme kullanım oranı ve kalıplama hızının hızlı olması gibi özelliklere sahiptir. Bu nedenle çoğunlukla dökümhane endüstrisinde kullanılmakta olup hızlı şablonlar yapmak için doğrudan kullanılabilirler (Canpolat & Aydın, 2019; Morano & Pagnotta, 2023b; Yang & Du, 2022).



Şekil 3. SLS 3B Yazıcının Temel Bileşenleri (Morano & Pagnotta, 2023a).

3. SLA 3B Yazıcı:

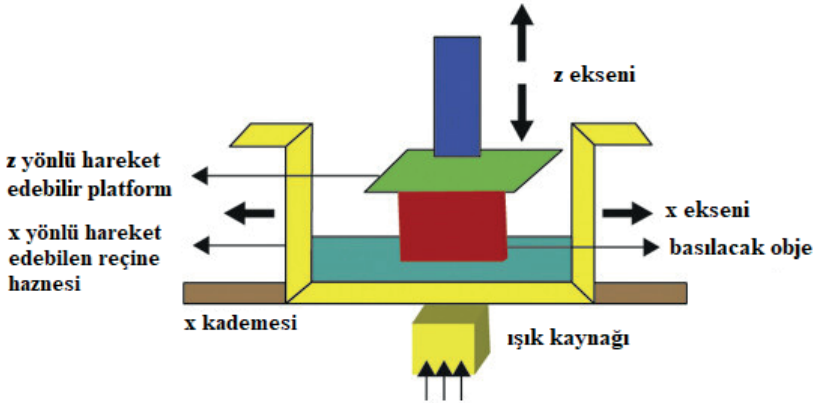
Işıklı kürlenene üç boyutlu kalıplama türü olan SLA dünyadaki en eski 3B baskı süreci olarak adlandırılabilir ve aynı zamanda bu süreci kullanan dünyanın ilk yazıcısıdır. SLA’da esas olarak sıvı ışığa duyarlı reçine kullanılır ve ışıkla kürlenir. Buradaki işlem prensibi belirli bir dalga boyu ve yoğunluk-taki lazeri ışıkla sertle-şen malzemenin yüzeyine odaklamak, onu noktadan çizgiye ve çizgiden yüzeye katılaştırmak, yatay bir kesit çizimi tamamlamak ve ardından ardından bir katmanın yüksekliğini dikey yönde hareket ettirmek, bir sonraki katmanı katılaştırmaya devam etmek ve üç boyutlu gerçek bir nesne oluşturmak için katman katman istiflemektir. SLA teknolojisi temel olarak üç boyutlu bir modelin ilk inşası, numune verilerinin işlenmesi, ışığa duyarlı reçine malzemelerin kürlenmesi ve numunelerin son işlenmesi gibi işlemleri içerir. SLA kalıplama sürecindeki yüksek otomasyon seviyesi, prototiplerin iyi yüzey kalitesi, yüksek boyutsal doğruluk ve nispeten ince boyutlu kalıplama elde etme yeteneği nedeniyle en yaygın kullanılan yöntemdir (Deng vd., 2022; Yang & Du, 2022).



Şekil 4: SLA 3B Yazıcı (Weng, Zhou, Lin, Senthil, & Wu, 2016)

4. DLP 3B Yazıcı:

Dijital ışık işleme (DLP) 2000’li yılların başında ortaya çıkmış olup daha gelişmiş sıvı bazlı baskı yöntemlerinin öncüsüdür. Fotopolimer parçaları hızlı bir şekilde üretmek için kullanılan bir AM teknolojisi olan DLP SLA’ya çok benzerdir. Aralarındaki en önemli fark SLA işleminde bir katmanı izleyen bir lazer kullanılırken, DLP makinesinde tüm katmanı tek seferde kürlemek için yansıtılmış bir ışık kaynağı kullanılmaktadır. DLP’de yüksek çözünürlüklü bir dijital ışık projektörü, ışığa duyarlı reçineyi hızla kürler. Bir HD televizyon ekranına benzeyen projektör, sıvı polimerle dolu bir kabın yüzeyine karmaşık ışık desenleri yansıtır. Her pozlama, modelin tüm katmanlarını aynı anda katılaştırırken, ışının dinamik ışık desenleri, karmaşık geometrileri üstün hız ve doğrulukla oluşturmak için hassas bir şekilde kontrol edilir (Equbal, Equbal, Khan, & Badruddin, 2025).

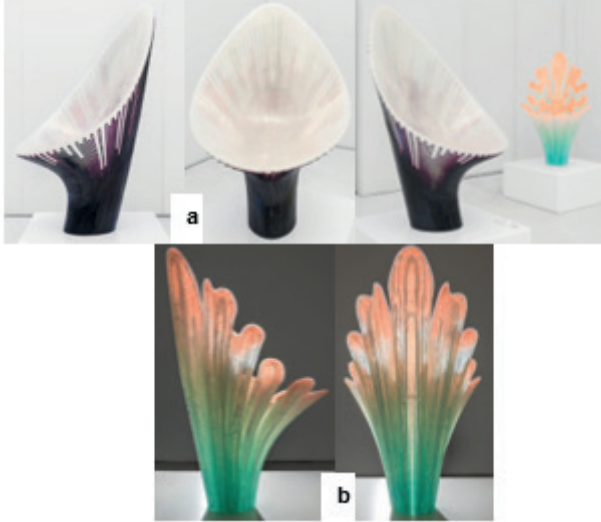
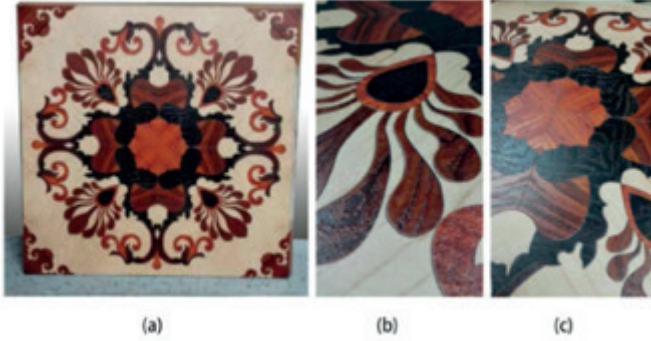


Şekil 5: DLP yönteminin grafiksel gösterimi (Srinivasan vd., 2021).

4. Mobilya Alanında Ekodizayn Tabanlı 3B Baskı Uygulaması Örnekleri

3B baskı teknolojisinin mobilya üretim endüstrisindeki uygulama kapsamı, tek parça mobilya üretiminden kalıp üretimine, ürün geliştirmeye ve parça üretimine kadar genişlemektedir. Geleneksel mobilyalar çoğunlukla kalıp üretimine dayanmaktadır. 3B baskının kişiselleştirilmiş ve karmaşık şekil üretim özellikleri, mobilyaların çeşitli şekiller sunmasını ve mobilya bileşenlerinin kolayca monte edilip sökülmesini sağlar; bu da akıllı mobilya alanı için oldukça uygundur. Ayrıca, 3B yazdırılmış ahşap ürünler, mobilya ve ofis mobilyaları için uygun olan doğal bir dokuya, mukavemete, sertliğe, hassasiyete ve yüzeye sahiptir. Örneğin, 3B yazdırılmış WPC ürünleri yal-

nızca ahşap dokusuna sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda belirli bir çizilmeye dayanıklı çizgiye ve aşınma direncine de sahiptir. Şekil 6’da gösterildiği gibi, el işi çalışmalarının etkisini taklit etmek ve estetiği artırmak için ahşap dokular 3B baskı teknolojisi aracılığıyla doğrudan panellere basılabilir (Feng vd., 2019; Y. Li, Ren, Zhu, & Li, 2023; Sang, Manley, Wu, & Feng, 2020).



Şekil 7: Bow sandalye (a) ve Rise sandalye (Url-1, Url-2).

“Bow” ve “Rise” sandalyeleri, Zaha Hadid Mimarlık tarafından 3B yazıcı teknolojileri ve malzeme bilimi alanın-da yürütülen kapsamlı araştırmaların

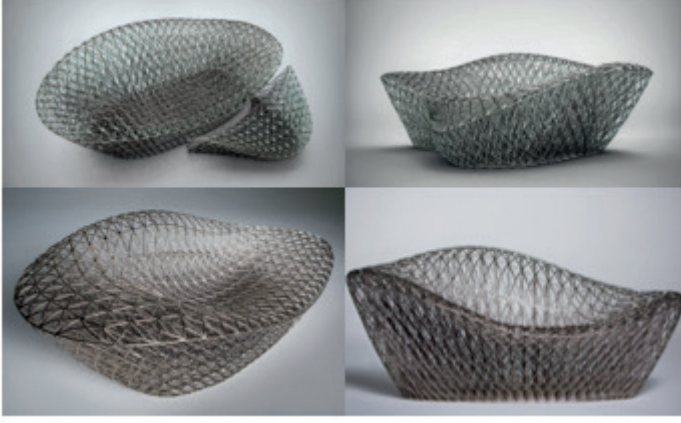
birer üründür. Patric Schumacher ve Sebastian Andia tarafından tasarlanan bu ürünlerde, doğadaki strüktürel formların, yenilikçi malzemeler ve gelişmiş üretim teknikleriyle birleştirilmesi hedeflenmiştir.

Sandalyeler, plastik parçacıklar kullanan bir pellet ekstruder (topak ekstruder) ile üretilmiştir. Kullanılan malzeme, mısır nişastası gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen, toksik olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilir bir plastik olan PLA' dır. Tasarımda, su altı ekosisteminden ilham alınarak canlı ve parlak renkler tercih edilmiş-tir. Renk ve desen kullanımı, mobil-yanın geleneksel mekânla kurduğu ilişkiyi sorgulamakta ve yeniden tanımla-maktadır (Canpolat & Aydın, 2019).



Şekil 8: Peeler sandalye (Url-3).

Daniel Widrig'in tasarladığı "Peeler" sandalye hem insan vücudunun ergonomik ihtiyaçlarını hem de üretim sürecinde kullanılan robotik kolun hareket kabiliyetini göz önünde bulundurarak tasarlanmıştır. 3B baskı teknolojisi ile parametrik tasarımı bir araya getiren bu ürün, geleceğin yenilikçi tasarım yaklaşımlarına ve üretim yön-temlerine işaret etmektedir. Yalnızca 7 mm kalınlığında üç parçadan oluşan PLA malzeme kullanılarak üretilen sandalye, malzeme ekonomisi ve üretim verimliliği açısından da dikkat çekicidir. Widrig, yazılım teknolojilerin-deki ilerlemelerin, tasarım disiplinleri arasındaki geleneksel sınırları giderek bulanıklaştırdığını vurgulamaktadır (Canpolat & Aydın, 2019).



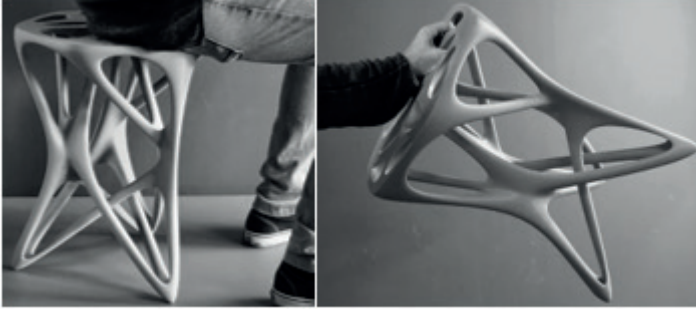
Şekil 9: "Sofa So Good" Kanepe (Url-4).

3B baskı teknolojisi, tasarım sürecinde doğadaki formların yapısal organizasyonlarından yararlanmayı mümkün kılan yenilikçi bir üretim yöntemidir. Bu yaklaşımı benimseyen tasarımcı Janne Kyttanen, örümcek ağları ve ipek böceği kozasının strüktürel özelliklerinden esinlenerek "Sofa So Good" adlı kanepayı tasarlamıştır. Monoblok bir strüktüre sahip olan bu ürün, 3B baskı teknolojisiyle üretilmiş ve stereolitografi yöntemi kullanılarak 2,5 litre foto-reaktif reçine ile basılmıştır. 150x75x55 cm ölçülerindeki, 1,5 metre uzunluğundaki kanepa yalnızca 2,5 kg ağırlığındadır ancak 100 kg'a kadar taşıma kapasitesine sahiptir. İstenen estetik etkiyi sağlamak amacıyla yüzeyde bakır ve krom kaplama uygulanmıştır (Canpolat & Aydın, 2019).



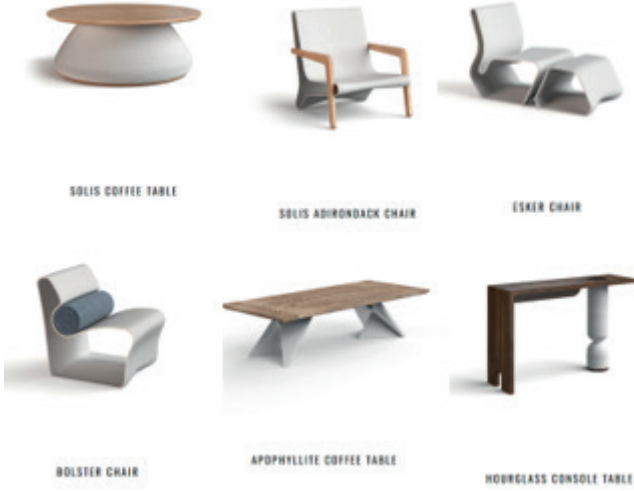
Şekil 10: Endless Flow Rocking Sandalye ve Endless Sandalye

Hollandalı tasarımcı Drik Vander Kooij, 3B yazıcı kullanarak Endless Flow ve Endless mobilyalarını tasarlamış-tır. Hammadde olarak geri dönüş-türülmüş plastik kullanan Kooij çoğu 3B baskılı mobilyanın aksine, sandal-yeyi 3B olarak basar. Baskı sırasında yazıcı yalnızca ileri geri hareket eder. Bunun yerine, 3B yazıcısının benzersiz bir görünüm oluşturmak için birden fazla yönde baskı yapmasına izin verir. Böylece tasarımlarına bakan insanlar sandalyelerinin 3B baskıyla üretildiğini fark etmeyeceklerdir (Yang & Du, 2022, URL,5).



Şekil 11: Marco Mattia Cristofori tarafından tasarlanan The Terra Stool mobilya (URL-7).

3B yazıcılar, yüksek çözünürlükte ve organik formlarda üretim yapabilme yetenekleri sayesinde geleneksel üre-tim yöntemlerinden ayrılmaktadır. Geleneksel tekniklerde, her katmanın farklı bir geometriye sahip olması üre-tim sürecinde zorluk yaratırken, 3B yazıcı teknolojileri bu durumu avanta-ja çevirerek daha esnek ve yaratıcı tasarımlara olanak tanır. Marco Mattia Cristofori tarafından tasarlanan “The Terra Stool”, biyonik tasarım ilkeleri doğrultusunda geliştirilmiş olup, 60 dereceyi geçmeyen açılar sayesinde des-tek malzemesi gerektirmeden tek parça olarak üretilmiştir. Üretim sürecinde çevre dostu bir malzeme olan PLA kullanılmıştır. Geleneksel doğrusal tasarımlarda dik açılar, yapısal yük taşıma açısından zayıf noktalar oluştururken, 3B yazıcıların eğrisel formlara olanak tanıması bu sorunun önüne geçmekte ve teknolojinin gelişerek yaygınlaşmasını hızlandıran önemli bir avantaj sağ-lamaktadır (Canpolat & Aydın, 2019, URL-7).



Şekil 12: 3B yazıcı ile üretilen mobilyalar (URL-8).

3B yazıcıyla elde edilen ürünlerin ahşap ile birlikte kullanıldığı tasarımlar da mevcuttur. Buna örnek olarak Mo-del No. Firmasının mobilyaları verilebilir. Bu firma üretim kaynaklı atıkları yaklaşık %90 oranında azaltmakla birlikte geleneksel mobilyalara kıyasla karbon emisyonlarını %50'den fazla azaltmaktadır. Ürünlerinde ecodizayna bağlı kalarak 3B baskı teknolojisini kullanmaktadırlar. Şekil 12' de bu firmanın ürün örnekleri verilmiştir (URL-8, URL-9).

5. Sonuç

Günümüzde artan çevresel kaygılar ve doğal kaynakların hızla tükenmesi, sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda, biyobozunur malzemelerle üretilen ürünler ile geri dönüştürülebilir materyallerin yeniden üretim süreçlerine kazandırılmasına yönelik çalışmalar önemli ölçüde artış göstermektedir. Son yıllarda, çevresel etkileri en aza indirmeyi amaçlayan ekodizayn yaklaşımları da tasarım alanında dikkat çeken bir eğilim haline gelmiştir.

Özellikle üretim süreçlerini hızlandırması ve prototipleme kolaylığı sağlaması açısından üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojileri, farklı sektörlerde yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, mobilya tasarımı ve üretimi bağlamında 3B yazıcılarla biyobozunur malzemeler kullanılarak üretilen ürün sayısı hâlen oldukça sınırlıdır. Bu durum, söz konusu teknolojinin mobilya endüstrisindeki uygulamalarının, geleneksel üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında henüz erken bir aşamada olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, bu alana yönelik akademik araştırmaların ve endüstriyel uygulamaların da oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Ancak küresel ölçekte yaşanan teknolojik gelişmeler ve çevre-sel sürdürülebilirlik odaklı politikalar doğrultusunda, önümüzdeki yıllarda bu alana olan ilginin artması ve hem akademik hem de sektörel çalışmaların çeşitlenmesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Al, G., Aydemir, D., Ayırlmis, N., Kaygin, B., & Gunduz, G. (2018). The effect of nano-boron nitride on some properties of biopolymer nanocomposites with cellulose nanofibrils and nanoclays. *Drvna Industrija*, 69(1). <https://doi.org/10.5552/drind.2018.1737>
- Al, Gulyaz, Aydemir, D., & Altuntaş, E. (2024). The effects of PHB-g-MA types on the mechanical, thermal, morphological, structural, and rheological properties of polyhydroxybutyrate biopolymers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264, 130745. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.130745>
- Aldana, D. S., Villa, E. D., Hernández, M. D. D., Sánchez, G. G., Cruz, Q. R., Gallardo, S. F., ... Casarrubias, L. B. (2014). Barrier Properties of Polylactic Acid in Cellulose Based Packages Using Montmorillonite as Filler. *Polymers* 2014, Vol. 6, Pages 2386-2403, 6(9), 2386-2403. <https://doi.org/10.3390/POLYM6092386>
- Aliotta, L., Sergi, C., Pont, B. D., Coltelli, M. B., Gigante, V., & Lazzeri, A. (2024). Sustainable 3D printed poly (lactic acid) (PLA)/Hazelnut shell powder bio composites for design applications. *Materials Today Sustainability*, 26, 100780. <https://doi.org/10.1016/J.MTSUST.2024.100780>
- Barhalescu, M. L., Jarcau, M., Poroach-Seritan, M., Costescu, E., Vaideanu, D., & Petrescu, T. C. (2019). The behaviour of “liquid wood” when exposed to some physico-chemical factors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 591(1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/591/1/012034>
- Canpolat, T., & Aydın, K. (2019). Mobilya Sektörü Özelinde Üç Boyutlu Yazıcılarla Tasarım ve Malzeme-Biçim-Üretim Yöntemi Üzerine İlişkisel Düşünme. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4), 181-192. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.704214>
- Carausu, C., Mazurchevici, A., Ciofu, C., & Mazurchevici, S. (2018). The 3D printing modelling of biodegradable material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 400, 042008. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/400/4/042008>
- Deng, W., Xie, D., Liu, F., Zhao, J., Shen, L., & Tian, Z. (2022). DLP-Based 3D Printing for Automated Precision Manufacturing. *Mobile Information Systems*, 2022(1), 1-14. <https://doi.org/10.1155/2022/2272699>
- Eqbal, A., Eqbal, M. A., Khan, Z. A., & Badruddin, I. A. (2025). A review on the rapid liquid printing (RLP): future 3D printing technology. *Progress in Additive Manufacturing*, 10(5), 3157-3173. <https://doi.org/10.1007/S40964-024-00815-6/FIGURES/4>
- Feng, X., Wu, Z., Sang, R., Wang, F., Zhu, Y., & Wu, M. (2019). Wood texture with 3D printing. *BioResources*, 14(4), 8196-8211.
- Hasan, K. M. F., Rahman, M. M., Rima, F. K., Sultana, J., Taher, M. A., Horváth, P. G., ... Alpár, T. (2025). Sustainable prospects of lignocellulosic wood and natural fiber-based materials in 3D and 4D printing. *Advanced Composites and Hybrid*

Materials 2025 8:2, 8(2), 1-42. <https://doi.org/10.1007/S42114-025-01273-6>

- Jin, Z., Li, Y., Yu, K., Liu, L., Fu, J., Yao, X., ... He, Y. (2021). 3D Printing of Physical Organ Models: Recent Developments and Challenges. *Advanced Science*, 8(17), 2101394. <https://doi.org/10.1002/advs.202101394>
- Karlsson, R., & Luttrupp, C. (2006). EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), 1291-1298. <https://doi.org/10.1016/J.JC-LEPRO.2005.11.010>
- Li, H., Yin, Y., Xiang, Y., Liu, H., & Guo, R. (2020). A novel 3D printing PCL/GelMA scaffold containing USPIO for MRI-guided bile duct repair. *Biomedical Materials*, 15(4), 045004. <https://doi.org/10.1088/1748-605X/AB797A>
- Li, Y., Ren, X., Zhu, L., & Li, C. (2023). Biomass 3D Printing: Principles, Materials, Post-Processing and Applications. *Polymers* 2023, Vol. 15, Page 2692, 15(12), 2692. <https://doi.org/10.3390/POLYM15122692>
- Liu, F., Vyas, C., Poologasundarampillai, G., Pape, I., Hinduja, S., Mirihanage, W., & Bartolo, P. (2018). Structural Evolution of PCL during Melt Extrusion 3D Printing. *Macromolecular Materials and Engineering*, 303(2), 1700494. <https://doi.org/10.1002/MAME.201700494;CTYPE:STRING:JOURNAL>
- Luo, Z., Wu, Y. L., Li, Z., & Loh, X. J. (2019). Recent Progress in Polyhydroxyalkanoates-Based Copolymers for Biomedical Applications. *Biotechnology Journal*, 14(12), 1900283. <https://doi.org/10.1002/BIOT.201900283>
- Manoj, A., & Panda, R. C. (2022). Biodegradable Filament for 3D Printing Process: A Review. *Engineered Science*, 18, 11-19. <https://doi.org/10.30919/es8d616>
- Mazurchevici, S. N., Mazurchevici, A. D., & Nedelcu, D. (2020). Dynamical Mechanical and Thermal Analyses of Biodegradable Raw Materials for Additive Manufacturing. *Materials* 2020, Vol. 13, Page 1819, 13(8), 1819. <https://doi.org/10.3390/MA13081819>
- Mazurchevici, S.-N., Vaideanu, D., Rapp, D., Varganici, C.-D., Cărauşu, C., Boca, M., & Nedelcu, D. (2021). Dynamic Mechanical Analysis and Thermal Expansion of Lignin-Based Biopolymers. *Polymers*, 13(17), 2953. <https://doi.org/10.3390/polym13172953>
- Molinaro, S., Cruz Romero, M., Boaro, M., Sensidoni, A., Lagazio, C., Morris, M., & Kerry, J. (2013). Effect of nanoclay-type and PLA optical purity on the characteristics of PLA-based nanocomposite films. *Journal of Food Engineering*, 117(1), 113-123. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2013.01.021>
- Morano, C., & Pagnotta, L. (2023a). Additive manufactured parts produced by selective laser sintering technology: Porosity formation mechanisms. *Journal of Polymer Engineering*, 43(6), 537-555. https://doi.org/10.1515/POLYENG-2023-0028/ASSET/GRAPHIC/J_POLYENG-2023-0028_FIG_006.JPG
- Morano, C., & Pagnotta, L. (2023b). Additive Manufactured Parts Produced Using Selective Laser Sintering Technology: Comparison between Porosity of Pure and

- Blended Polymers. *Polymers* 2023, Vol. 15, Page 4446, 15(22), 4446. <https://doi.org/10.3390/POLYM15224446>
- Nedelcu, D., Ciofu, C., & Lohan, N. M. (2013). Microindentation and differential scanning calorimetry of “liquid wood”. *Composites Part B: Engineering*, 55(1), 11-15. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2013.05.024>
- Pigosso, D. C. A., Rozenfeld, H., & McAloone, T. C. (2013). Ecodesign maturity model: a management framework to support eco design implementation into manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, 59, 160-173. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2013.06.040>
- Roudbari, M. S. (2025). *Biodegradable Composites for 3D Printing in Architecture: Developments and Prospects*. Geliş tarihi gönderen <https://www.researchgate.net/publication/388625261>
- Sang, R., Manley, A. J., Wu, Z., & Feng, X. (2020). Digital 3D Wood Texture: UV-Curable Inkjet Printing on Board Surface. *Coatings* 2020, Vol. 10, Page 1144, 10(12), 1144. <https://doi.org/10.3390/COATINGS10121144>
- Srinivasan, D., Meignanamoorthy, M., Ravichandran, M., Mohanavel, V., Alagarsamy, S. V., Chanakyan, C., ... Rajkumar, S. (2021). 3D Printing Manufacturing Techniques, Materials, and Applications: An Overview. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021(1), 5756563. <https://doi.org/10.1155/2021/5756563>
- Svagan, A. J., Åkesson, A., Cárdenas, M., Bulut, S., Knudsen, J. C., Risbo, J., & Plackett, D. (2012). Transparent films based on PLA and montmorillonite with tunable oxygen barrier properties. *Biomacromolecules*, 13(2), 397-405. https://doi.org/10.1021/BM201438M/ASSET/IMAGES/LARGE/BM-2011-01438M_0007.JPEG
- Thamarai, P., Vickram, A. S., Saravanan, A., Deivayanai, V. C., & Evangeline, S. (2024). Recent advancements in biosynthesis, industrial production, and environmental applications of polyhydroxyalkanoates (PHAs): A review. *Bioresource Technology Reports*, 27, 101957. <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2024.101957>
- Url-1, <https://www.zaha-hadid.com/design/bow-chair/#> (Erişim tarihi: 15.08.2025).
- Url-2, <https://www.zaha-hadid.com/design/rise-chair/#> (Erişim tarihi: 15.08.2025).
- Url-3, <http://danielwidrig.com/peeler-2018/#> (Erişim tarihi: 15.08.2025).
- Url-4, <https://design-milk.com/complex-3d-printed-sofa-janne-kyttanen/> (Erişim tarihi: 15.08.2025).
- Url-5, <https://www.moma.org/collection/works/160528> (Erişim tarihi: 15.08.2025).
- Url-6, <https://kooij.com/endless-chair> (Erişim tarihi: 15.08.2025).
- Url-7, <https://medium.com/bigrep-3d-printers/big-inspiration-marco-mattia-cristofori-on-furniture-design-and-the-terra-stool-dc5fcd1a799e> (Erişim tarihi: 18.08.2025).
- Url-8, <https://www.model-no.com/> (Erişim tarihi: 18.08.2025).
- Url-9, <https://www.model-no.com/why-model-no#3d> (Erişim tarihi: 18.08.2025).

- Weng, Z., Wang, J., Senthil, T., & Wu, L. (2016). Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing. *Materials & Design*, 102, 276-283. <https://doi.org/10.1016/J.MAT-DES.2016.04.045>
- Weng, Z., Zhou, Y., Lin, W., Senthil, T., & Wu, L. (2016). Structure-property relationship of nano enhanced stereolithography resin for desktop SLA 3D printer. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 88, 234-242. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2016.05.035>
- Yang, S., & Du, P. (2022). The Application of 3D Printing Technology in Furniture Design. *Scientific Programming*, 2022(1), 1960038. <https://doi.org/10.1155/2022/1960038>



SÜS BİTKİLERİ ALANINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER VE YAPAY ZEKA KULLANIMI

“ ”

Özlem AKAT SARAÇOĞLU¹

Hülya AKAT²

1 Doç. Dr., Ege Üniversitesi, Bayındır Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü Seracılık Programı, İzmir, Türkiye. ozlem.akat@ege.edu.tr, Orcid ID: 0000-0003-1680-783X

2 Doç. Dr., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Ortaca Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü Peyzaj ve Süs Bitkileri Programı, Muğla, Türkiye. ahulya@mu.edu.tr, Orcid ID: 0000- 0002-0927-8530

GİRİŞ

Giderek artan insan nüfusunun ihtiyaçlarına paralel hızla gelişen bilgi ve iletişim teknolojisi, geleneksel tarımın modernleşmesini sağlamıştır. Teknolojinin tarıma entegrasyonu ile akıllı tarım teknolojilerini ortaya çıkmış ve tarımın tüm sektörlerinde yapay zeka (AI) ve yenilikçi teknolojiler kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Son yıllarda tarımın alt sektörlerinden biri olan, büyük ekonomik girdi sağlayan süs bitkileri alanında yapay zeka teknolojisi kullanımı yaygın hale gelmektedir (Farjana ve ark., 2024). Teknolojik gelişmeler; üreticilerin tarımsal üretimde verimi en üst düzeye çıkarmalarına ve ürün kayıpları azaltmalarına olanak tanımaktadır. Son yıllarda süs bitkileri sektöründeki teknolojik gelişmeler, çiçeklerin kalitesini artırarak üretimde önemli bir yer edinmiştir (Wani ve ark., 2023). Teknoloji ve yapay zeka alanındaki yenilikler, süs bitkileri yetiştiriciliğindeki kayda değer ilerlemelerin yanında yapay zeka temelli uygulamaların süs bitkileri sektörünün çeşitli alt alanlarında da yayılarak genişlemesine neden olmuştur (Tay ve ark., 2021). Şu anda çoğu ürünün geleneksel şekilde yetiştirildiği ve manuel olarak izlendiği sektörde büyük bir etkiye sahip olmak için yapay zeka teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapay zeka uygulamaları yardımıyla doğru girişimlerde bulunarak süs bitkilerini anlık olarak tek tek takip etmek, bitki yetiştiricilik ortamlarının sıcaklık, nem vb. çeşitli iklim koşullarına yönelik parametreleri ve bitki kök bölgesi ortamı içeriğindeki bitki besin maddesi miktarları kolaylıkla izlenebilmektedir. Geleneksel süs bitkileri yetiştiriciliğinde; bitki bakım yöntemlerinden sulama ve gübreleme uygulamaları ile hastalık ve zararlı mücadelesine yönelik çalışmalar genellikle sabit programlara dayandırılarak gerçekleştirilmektedir ki, bu şekilde yürütülen uygulamalar, çevresel değişikliklere yanıt vermek için gerekli olan gerçek zamanlı uyarlanabilirlik özelliğinden yoksun sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Oysaki yeni teknolojiler ve yapay zeka kullanımı ile süs bitkileri üretim sahası olan seralarda veri odaklı öngörüler ve dinamik yönetim stratejileri kullanılarak hassasiyet düzeyi yüksek sistemlerle bu sınırlayıcı durumları ortadan kaldırmaktadır (Farias ve ark., 2022).

Moleküler belirteç destekli yetiştiricilik gibi yeni yetiştirme tekniklerinin geliştirilmesini, üstün çeşitleri belirlemek için yüksek verimli fenotipleme gibi modern teknolojilerin kullanılmasını kadar pek çok alanı içermektedir. Bunun yanında, sensörler ve uzaktan izleme teknolojileri aracılığıyla hassas tarımsal teknikler kullanılarak, bitki gelişiminin yakından izlemesini mümkün kılan, su ve gübre gibi tarımsal girdileri optimize ederek yüksek ürün verime ve kaliteye ulaşmayı hedefleyen kaynak verimliliğine hizmet eden sistemler yapay zeka alanındaki önemli gelişmelerdendir. Bitkilerin sulama ve gübreleme uygulamalarını optimize eden bu teknolojiler ile su ve gübre kullanımını azaltılırken, veri işleme ve genetik mühendisliği teknolojileri ile

daha uzun raf ömrü, benzersiz renkler ve koku gibi gelişmiş özelliklere sahip yeni süs bitkisi çeşitlerin yaratılmasına olanak sağlanmakta, bitkinin genetik kodu değiştirilerek zararlılara ve hastalıklara karşı daha dirençli bitkiler geliştirilmekte, bu da zararlı kimyasallara olan ihtiyacı azaltılarak sektörün sürdürülebilirliği desteklenmekte ve tarımsal girdilerin çevresel etkilerini hafifletilebilmektedir (Cardoso ve Vendrame, 2022; Huylenbroeck ve Bhattarai, 2022; Khan ve diğerleri, 2022). Bu alanda gerçekleştirilen araştırmalar giderek artan bir şekilde yapay zekanın tarımsal yetiştiricilik süreçlerini kolaylaştırabileceğini, daha verimli ve çevre dostu hale getirebileceğini ve bunun sonucunda da sürdürülebilir tarımın hedefleriyle uyumlu işleyiş yürütülebileceğini göstermektedir (Safonov ve ark., 2019).

1. Süs Bitkileri Yetiştiriciliğinde Yapay Zeka (AI) Uygulamalarının Yeri

Süs bitkileri endüstrisinin toplu karbon ayak izini azaltmak için teknolojiler hızla geliştirilmiş ve 2000'li yıllardan sonra süs bitkileri endüstrisi, dünyanın 4. sanayi devrimini başlatmasıyla ortaya çıkan teknolojilerin kullanımında en hızlı değişimini yaşamıştır (Hossen ve ark., 2020). Bu bağlamda, seralarda gerçekleştirilen süs yetiştiriciliğinde, yapay sensör ağları (WSN) gibi yapay zeka destekli araçlar, bitkileri gerçek zamanlı izleyerek değerlendiren otomatik izlem ve tahmin kontrol sistemlerini kapsayan sistemler kullanılmaya başlamıştır. Tarımsal alanlarda kullanılan karmaşık algoritmalar içeren bütün teknolojilerin temeli; insan zekasını taklit ederek, bitkileri strese sokan tuzluluk, sıcaklık, kuraklık vb. abiyotik faktörlerin yanı sıra hastalık ve zararlı aktivitesi gibi biyotik etmenlerin erken belirtilerini saptayabilmek için birden fazla sensörden gelen verileri analiz edebilmektir (Singh ve ark., 2022). Günümüzde; özellikle zararlı etmenlerine karşı oldukça hassas, süs bitkileri çeşitlerinde kullanılan yapay zeka teknolojileri; bitkilerin verimlerinin yanında kalite parametreleri için kritik bir yön olan bitki sağlığı yönetimini destekleme potansiyeline sahiptirler (Salybekova ve ark., 2024). Bu teknoloji, ürün girdilerini optimize etmek, atığı azaltmak ve verimi artırmak için çeşitli sensörler, İnsansız Hava Araçları (İHA) ve Küresel Konumlama Sistemi (GPS) haritalama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (RS), Verim İzleme, Değişken Oranlı Uygulama (VRA), Verim Haritalama, Sahaya Özgü Yönetim Bölgeleri (SSMZ) ve Ürün Modelleme gibi birçok tekniği içermektedir. Üreticiler, bitki gelişimi ve sağlığını izleyerek sulama, gübreleme ve zararlı yönetimi uygulamalarını daha hassas bir şekilde düzenleyebilmektedir (Belal ve ark., 2021). Süs bitkileri yetiştiriciliğindeki yapay zeka araştırmalarının önemi üç temel alanda kategorize edilebilmektedir. Bunlardan ilki; yapay zeka destekli bitki bakımı optimizasyonu olup, doğrudan ürün verimliliğini artırarak kaynak maliyetini düşürmekte ve verimi artırırken dekoratif bitki yetiştiriciliğinin ekolojik ayak izini de en aza indirmektedir

(Tay ve ark., 2021; Singh ve ark., 2022). İkincisi, yapay zeka tabanlı geliştirilen izleme sistemleri sayesinde bitki hastalık ve zararlı aktivitelerinin erken tespitine olanak tanıyarak ürün kayıplarını azaltılmasında ve bitki sağlığının korunmasında önemli rol oynamaktadır (Singh ve Ranjan, 2024). Son olarak, yapay zeka dekoratif bitki çeşitlerini çoğaltma ve çeşitliliği yönetmedeki rolü ile biyolojik çeşitliliği desteklemekte ve peyzaj tasarımları için benzersiz estetik fırsatlar sunmaktır (Farias ve ark., 2022; Oberti ve Schmilovitch, 2021).

Özetle, süs bitkilerinin yetiştirilmesinde yapay zekanın benimsenmesi yalnızca tarımsal uygulamaları ilerletmekle kalmaz, aynı zamanda çevre korumayı, zararlı yönetimini ve estetik çeşitliliği de artırmaktadır. Bitki üretimine yönelik bu bütünsel yaklaşım, yapay zekanın dönüştürücü potansiye-line örnek teşkil ederek, sürdürülebilir ve akıllı tarım alanında gelecekteki araştırmalar ve gelişmeler için bir temel oluşturmaktadır. Türkiye süs bitkileri yetiştiriciliğinde yapay zeka destekli teknik ve teknolojilerin kullanımına yönelik 2024 yılı verileri bir raporla ortaya konmuştur. Buna göre; Türkiye’de 2020-2024 yılları arasında süs bitkileri üretim alanlarında geleneksel ve modern tekniklerin kullanıldığı üretim sahalarının genel değerlendirmesi yapan TAGEM Süs Bitkileri Sektör Politika Belgesi kapsamında; ağaç ve çalı bitkileri üretiminde, yetiştiriciliğin büyük bir kısmının açık alanlarda gerçekleştirildiği, örtü altı yapılarında gerçekleştirilen kısmının ise sadece bitkileri koruma amaçlı gerçekleştirildiği bildirilmiştir. Mevsimlik çiçek ve iç mekan bitkileri üretiminde arazinin neredeyse tamamının tam otomasyonlu seralarda gerçekleştirildiği ve ileri teknolojinin kullanıldığı iklimlendirmeli koşulların bulunduğu yüksek sistemli yapılardan oluştuğu ifade edilmiştir. Dış mekan bitkileri üretiminde yükleme, taşıma, söküm vb. işler için ağırlıklı olarak kullanılan makineler tercih edilirken, mevsimlik çiçekçilik alanında ise kısa zamanda çok sayıda bitkinin seri üretimini gerçekleştiren tohum ekme, fide dikme, saksı doldurma gibi işlerde otomasyonu sağlanmış teknolojik alet ve ekipmanlardan faydalandığı, yapay zeka ve üretim teknolojilerinin giderek yaygınlaşan bir sektör olma yolunda ilerlediği belirtilmektedir (Anonim, 2025a).

Dünya üzerinde, süs bitkileri pazarında başarının anahtarı olarak kabul edilen tüketici tercihlerine yönelik üretim oluşturmak amacıyla da yapay zeka uygulamalarından yararlanıldığı bilinmektedir. Bu amaçla, yapay zeka uygulamaları, işletmeler için tüketici verilerini toplayıp yorumlayarak bir sektör raporu oluşturmakta ve bu doğrultuda analiz temelli bir üretim deseni oluşturmaktadır. Bu yönde, sosyal medya trendleri, çevrimiçi tüketici yorumları ve satın alma geçmişleri analiz edilerek müşterilerin taleplerine yönelik değerli bilgiler ortaya konulabilmektedir. İşletmeler, elde ettikleri bu bilgileri pazarlama stratejilerini özelleştirmek ve tüketici ihtiyaçlarını karşılayan ürünler geliştirmek için kullanabilmektedir. Yapay zeka destekli kişi-

selleştirilmiş pazarlama kampanyaları, belirli müşteri segmentlerini hassasiyetle hedefleyerek etkileşimi ve ürün satışlarını artırabilmektedir. Örneğin, yapay zeka teknolojileri bir müşterinin önceki satın alma tercihlerine göre çiçek aranjmanları önerebilmekte ya da trend olan mevsimlik çiçek önerilerini listeleyebilmektedir (Singh ve Ranjan, 2024). Süs bitkileri endüstrisi, bir taraftan mevcut tarım teknolojilerinden yararlanırken diğer taraftan da yeni teknolojileri keşfederek üretim, dağıtım ve pazarlama süreçlerini sürekli olarak geliştirmektedir (Wani ve ark., 2023).

Tüm bu üstün özelliklerine rağmen, yapay zeka teknolojilerini süs bitkileri uygulamalarına entegre etmekte birtakım zorluklarla karşılaşmaktadır. Örneğin, seralardaki çevresel değişkenleri yönetmek ve farklı bitki türlerinde zararlı davranışlarını tahminlemek amacıyla kullanılan yapay zeka modellerini uyarlamak için daha fazla ampirik test ve düzenlenme gerekmektedir (Lim ve ark., 2023). Tarımsal üretimde yapay zekaya yönelik mevcut çalışmalar, sıcaklık ve nem gibi bazı çevresel faktörlere karşı belirli bitki çeşitlerinin tepkilerini hesaplamak üzerine düzenlendiği için, bu modellerin daha hassas ve ayrıntılı kalibrasyon zorunluluğunun önemi vurgulanmaktadır (Mahmud ve ark., 2023). Bu faktörlerin ele alınması, yapay zeka modellerinin tarımın çeşitli alt sektörleri alanlarında etkili olmasını sağlamaktadır. Bu bölümde, süs bitkileri alanında ve alanla ilişkili alt sektörlerde kullanılan yapay zeka uygulamaları ve teknolojilerin tanıtılması amaçlanmıştır.

1.1. Biyoteknoloji

Güncel biyoteknolojik gelişmelerin hedefi; ürünlerin, abiyotik – biyotik stres faktörleri, hastalıklar, ekonomik koşulların etkisiyle bitki yetiştiriciliğinde ortaya çıkan kısıtlamalarını elimine ederek verimini ve kalitesini artırmaktır (Demirel ve ark., 2022). Biyoteknoloji ve genetik mühendisliği, süs bitkileri endüstrisinde devrim yaratan tekniklerdendir. Doku kültürü, moleküler ıslah, bitkilerin genetik modifikasyonu, genom düzenleme, transgenik ve genetik belirteçlerin kullanımı gibi teknikler, bitkilerin çeşitli nitel ve nicel özelliklerini iyileştirmek ve değiştirmek üzere yaygınca kullanılmaktadır (Wani ve ark., 2023). Bitkilerin doğal gen havuzunda bulunmasa bile genetik mühendisliği teknikleriyle, üstün bir genin, süs bitkilerine kolayca eklenebilmesine yönelik teknolojilerini içeren genom düzenleme teknolojisi, bitki ıslahı dahil olmak üzere birçok alanda giderek yaygınlaşan kullanım sahası bulmaktadır (Akat Saraçoğlu ve Akat, 2025; Chandler ve Brugliera, 2011). Biyoteknoloji alanındaki gelişmeler, ayrıca bitki hastalık ve zararlılarına karşı dirençli transgenik bitkilerin geliştirilmesiyle sonuçlanmış, kimyasal pestisitlere olan ihtiyacı azaltmış ve bitki sağlığını iyileştirmiştir (Wani ve ark., 2023). Ayrıca, CRISPR/Cas9 teknolojisi ve transgenik bitkilerin kullanımını içeren moleküler genetik araçlar aracılığıyla süs bitkilerinin stres dayanımı yüksek *NHX1*, *P5CS*, *HKT1* gibi genlerin aktarımıyla tuzluluk kaynaklı stres

koşullarına direnci artırdığı da bildirilmektedir (Akat Saraçoğlu ve Akat, 2025; Zhao ve ark., 2020). Kontrollü koşullarda gerçekleştirilen doku kültürü ve klonal çoğaltımlarında, aynı tip özelliklere sahip bitkilerin üretilmesini olanaklı kılar ki bu da homojen bir üretim sağlamaktadır. İn vitro çoğaltım, yalnızca yeni ve köklenmesi zor süs bitkisi çeşitlerinin büyük ölçekli üretimleri için değil, aynı zamanda süs bitkilerinde kimera yönetimi ile yeni ve özgün çeşitlerin geliştirilmesi için de kullanılmaktadır (Datta, 2019). Bu nedenle biyoteknolojik uygulamaların, süs bitkileri pazarının artan taleplerini karşılamaları ve tüketicilerin ihtiyaç ve isteklerine göre kalite özelliklerini keşfetmeleri için fırsatlar sunması beklenmektedir. Özellikle RNA müdahalesi, süs bitkilerindeki belirli genleri susturmak için kullanılmaktadır. Bu sayede daha uzun vazo ömrüne sahip çiçek üretimi ve hastalık-zararlılara karşı daha fazla dayanım gösteren bitki elde etmek mümkün olabilmektedir (Din ve ark., 2021). Ayrıca, biyoteknolojinin kullanımı, süs bitkilerinin hasat sonrası kayıplarını azaltmaya ve ürün ömrünü ve kalitesini artırmaya yardımcı olmaktadır (Salunkhe ve ark., 2012). Bununla birlikte, transgenik tekniklerle süs bitkileri için olumlu sonuçlanan bilimsel çalışmalar bulunmasına rağmen, GDO'lu bitkilerinin ticari boyutta yaygınlaşmasını düzenleyen ekonomik ve yasal kısıtlamalar, transgenik süs bitkilerinin uygun ve yetkili bir çerçevenin bulunmadığı bir koşulda uluslararası olarak piyasaya sürülme engeli ile karşılaşılmaktadır. Bu sorunu çözüme ulaştırmak adına, süs bitkileri ve diğer gıda dışı bitkiler için düzenleyici yasal gerekliliklerin azaltılması gerekliliği vurgulanmaktadır (Noman ve ark., 2017).

1.2. Nanoteknoloji

Süs bitkileri üretimde sürdürülebilirliği sağlamak üzere kullanılan 1-100 nm kadar küçük nanopartiküller; fiziksel, kimyasal, optik ve manyetik bazı kullanışlı atipik özelliklere sahiptirler (Ghimire ve ark., 2025). Nanoteknolojinin süs bitkileri alanındaki uygulamalarından biri de gübre ve pestisitlerin verimliliğini artırmak için nano skala parçacıkların kullanılmasını içermektedir. Süs bitkileri üreticileri, gübre ya da pestisit moleküllerini nanopartiküllere bağlayarak, ürün verimliliğini artırabilmekte, gereksinim duyulan kimyasal miktarlarını azaltarak bir taraftan da ekosistemin kirlenme riskini en aza indirebilmektedir (Kapoor ve ark., 2024). Nanopartiküller, ayrıca bitki besin elementleri ve diğer bileşikler doğrudan bitki hücrelerine iletmek, emilimi artırmak ve atıkları azaltmak için de kullanılabilir. Özellikle kesme çiçekçilikte, hasat sonrasında nano-gümüş gibi nanopartiküllerin ya da grafen oksit (GO) gibi nanomalzemelerin antibakteriyel özellikleri yardımıyla birçok kesme çiçeğin vazo ömrünü uzatmak, raf ömrünü iyileştirmek, suda mikrobiyal gelişme ve etilen üretimini engellemek için kullanılabilir. Nanoteknolojinin süs bitkileri yetiştiriciliğindeki bir diğer uygulaması, bitki gelişimini ve sağlığını izlemek için nano sensörlerin geliştirilmesi-

dir. Nano-sensörler ve nano-biyosensörler, daha çok bitki gelişimin etkileyen sıcaklık, nem vb. iklim koşullarını, bitki besin elementi miktarlarındaki ve diğer faktörlerdeki değişiklikleri tespit ederek, üreticiyi potansiyel sorunlar hakkında bilgilendirmek üzere tasarlanmış erken uyarı sistemlerini kapsamaktadır. Ancak, bu uygulamaların çoğu hala araştırma aşamasında olsa da süs bitkileri üretim ve tedarik zincirinin son halkası olan dağıtım aşamalarında oldukça fazla olanaklar sunmaktadır (Wani ve ark., 2023).

1.3. Akıllı Sera Teknolojileri

Süs bitkileri üretiminin gerçekleştirildiği örtü altı yapılarında kullanılan hassas tarım teknolojileriyle kısa süre içinde yüksek kaliteye sahip ürünler yetiştirilmektedir. Bitkisel üretim, bitki için ideal iklim koşullarında gerçekleştirilebilir ki bu da sadece bu koşulların kontrol edilmesi ve izlenmesini sağlayan sensör teknolojileri ile mümkün olabilmektedir. Bitki büyüme aşamaları, hedef alandaki dinamik değişiklikler, toprak tipi, iklim ve bitki tipi sensör konfigürasyonunu etkilemektedir. Bu teknolojiler, bitkisel üretimde sürecinde, bitki gelişiminin çeşitli aşamalarında ve çeşitli bitkisel üretim bileşenlerinde kullanılmaktadır. Özellikle süs bitkileri yetiştiriciliğinin yürütüldüğü seraların havalandırma, sisleme, ısıtma, soğutma, gölgeleme sistemlerine yönelik bileşenler uzaktan kontrol edilebilmekte ve gerekli zaman aralıklarında sensör bazlı otomatik talimatlar tanımlanarak tüm sera kliması tamamen kontrol altında tutulabilmektedir (Singh ve ark., 2022). Sera ürünlerinin gelişimi genellikle yetiştiriciliğin yürütüldüğü iklim koşullarından ve sulama yoluyla sağlanan su ve gübre miktarlarından etkilenmektedir. Bu nedenle, seralarda, gübre ve iklim koşullarını yöneterek iyi bir bitki gelişimi ve verimi sağlanabilmektedir. Bu amaçla seralarda kullanılan sıcaklık-nem sensörleri, CO₂ sensörü, toplam radyasyon ve PAR (Fotosentetik Aktif Radyasyon) sensörleri, rüzgar hız ve yön sensörleri, yağmur sensörleri gibi iklim sensörleri, boru sıcaklık ve basınç sensörleri, sıvı akış sensörleri, yaprak nemi ve sıcaklık ölçüm sensörleri, toprak sıcaklık-nem, pH ve EC sensörleri, ağırlık ölçüm sensörleri gibi akıllı teknolojilerle toprağa, bitkilere, yetiştirme ortamlarına ve sera iç ve dış ortam koşullarına yönelik verilerin izlenerek gerekli müdahalelerin yapılabilmesi mümkün olmaktadır. Yüksek sitemli sera yapılarında, özellikle havalandırma, sulama, gübreleme, aydınlatma ve ısıtma sistemleri mobil uygulamalar aracılığıyla uzaktan kontrol edebilmektedir. İstenilen zaman aralığında sera klima kontrolü sağlayan sistemler, istenilen sensörlerle kontrol bileşenleri arasında koşul bazlı otomasyon kurulabilmekte ve sensörler birbirleri ile karşılaştırılarak kontrol bileşenlerine açma-kapama kodları girilebilmektedir. Yapay zeka kontrollü seralar, hava durumu izleme ve otomatik iklim kontrol sistemleri entegre edilerek, gerçek zamanlı iklim verilerine göre yetiştirme koşullarının düzenlenmesine olanak tanımaktadır. Yapay zeka, ayrıca iklim modellerini ve toprak koşullarını inceleyerek,

ürün seçimine yardımcı olarak dayanıklı tür ve çeşitlerinin belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Akıllı sera teknolojileriyle donatılmış seralarda, yapay zeka görüş mekanizmalarından oluşan hasat robotlarının kullanımıyla, uygun ürünler otomatik tespit edip hasat edilerek tarım işgücü gereksinimleri azaltmaktadır ([Gammanpila](#) ve ark., 2024). Bu teknolojik gelişmelerle, ürün dayanıklılığı artırılmakta, ürün kayıpları azaltılmakta, tarımsal girdiler optimize edilerek bitkilerin genel verimliliği çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde dönüştürülmektedir. Bu amaçla üreticiler tarafından tercih edilen, tek başlarına ya da birlikte kullanılan bazı akıllı sera uygulamaları ve bunların çalışma ilkeleri aşağıda verilmiştir:

Sulama uygulamaları sonrasında ortamdan uzaklaşan drenaj çözeltisi miktarları, pH ve EC değerleri ile bitki kök ortamı (substrat) ağırlıkları anlık takip edilerek sulama uygulamaları yönetilebilmektedir.

Seraya konumlandırılan iklimlendirme istasyonları aracılığıyla; iklim koşulları eş zamanlı takip edilebilmekte, oluşturulan yapay zekalı iklimlendirme algoritmaları ve kablosuz ağlar aracılığıyla (WSN) havalandırma pencerelerinin açıklığı ve açık kalma süreleri, havalandırma fanlarının çalışma hızı ve çalışma süreleri, sera ısıtma sistemlerinin çalışma zamanları ve süreleri, gölgeleme perdelerinin açılma-kapanma zamanları, oransal nemi düzenleyen sisleme başlıklarının otomasyonu sağlanarak, bitki için optimum sera klima koşulları düzenlenebilmektedir.

Seralarda bulunan akıllı sera sistemlerinden kızılötesi ve özel kameralar aracılığıyla seradaki bitkilerin sağlık haritasını (NDVI) çıkarılabilmektedir. Sera içerisinden elde edilen görüntülerden, yapay zeka yardımıyla otomatik bitki hastalıklarının-zararlılarının tespiti ve bitki sağlığına yönelik tahminler yapılabilmektedir. Bu amaçla, bitki zararlıları için hazırlanan feromon tuzak sistemlerine yapışan zararlılara ait gün içinde çekilen fotoğraflar, yapay zeka teknolojileri aracılığıyla anlık işlenerek zararlı aktivitesinin otomatik olarak tespit edilmekte ve sisteme entegre veri depolayıcıya kaydedilerek raporlamaktadır. Bu teknolojiyle, hastalıklı bitkinin sera içindeki konumu işaretlenerek hastalık yayılmadan önleme olanağını bulunmaktadır. Ayrıca, hastalık ve zararlı popülasyonun artmasında önemli risk faktörü oluşturan iklim parametreleri, yazılımlar tarafından sürekli takip edilmektedir. Günlük periyotlarda, bitkiye özel hastalıklar için risk puanı hesaplaması yapılarak, risk puanı eşik değerine yaklaşılmaması durumunda erken uyarı sistemi devre girerek hastalık henüz ortaya çıkmadan önlemeye yönelik faaliyetlerin yürütülmesini olanaklı kılmaktadır. Bitkiye özel, fenolojik evrelere göre; her bir toprak ve iklim değerine ilişkin optimum koşullar takip edilerek, optimum sınırların altında ve üstünde değerlerin saptanması durumunda otomatik alarmlar devreye girerek, üreticiye alması gereken önlemler SMS aracılığıyla bildirilmektedir (Anonim, 2025b).

1.4. Hasat Sonu Teknolojileri

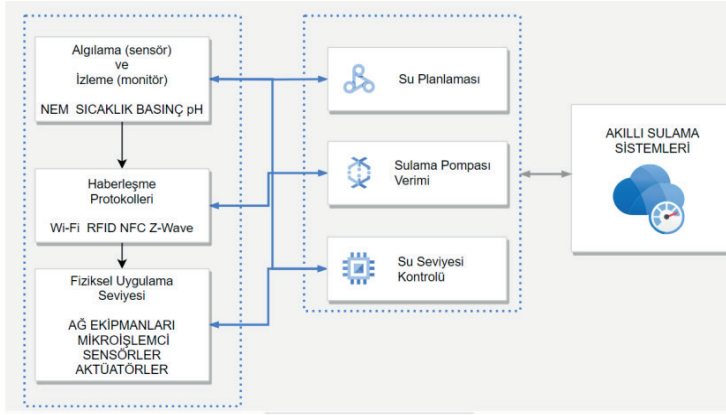
Tarım alanında hassas hasat, robotik teknolojilerin öne çıktığı bir diğer alandır. Bilgisayarlı görüş ve makine öğrenimi algoritmalarıyla donatılmış gelişmiş robotik sistemler aracılığıyla, olgunlaşma özelliği kazanmış ürünler tespit edilerek hassas hasat işlemleri gerçekleştirebilmektedir ([Gammanpila ve ark., 2024](#)). Son yıllarda, hasat sonrası teknik ve teknolojilerin gelişmesiyle birlikte özellikle kesme çiçeklerin vazo ömrünü uzatmak üzere hasat sonrası koruma yöntemleri arasında etilen etki inhibitörleri, büyüme düzenleyiciler, çiçek koruyucu uygulamalar, sıcaklık düzenlemesi ve çiçek kurutma gibi uygulamalara başvurulmaktadır (Sivala ve ark., 2024; Costa, 2021). Sensörlerin ürün ambalajlarına entegre edilmesi; sıcaklık, nem ve gaz bileşimi gibi çevresel koşulların gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlamaktadır. Bu sensörler, ürünün yetiştiriciliğinden satışına kadar hizmet veren paydaşları, optimum koşullardan meydana gelen sapmalar konusunda uyararak, bozulmayı önlemek için zamanında müdahalelerde bulunulmasını sağlamaktadır. Bu amaçla kullanılan RFID (Radyo Frekanslı Tanımlama) ve IoT (Nesnelerin İnterneti) sensörleri, soğuk zincirin bütünlüğünü korumak için uzaktan erişilebilen veriler sağlamaktadır (Sivala ve ark., 2024).

Özellikle kesme çiçeklerin vazo ömrünü uzatmak ve kalitesini iyileştirmek üzere geliştirilen hasat sonrası teknolojilerinden biri olan modifiye atmosfer paketlenme (MAP), kesme çiçeklerin kontrollü seviyelerde oksijen, karbondioksit ve nem içeren bir ortamda depolanması esasına dayanmaktadır. Bu teknikle, hasat edilen bitkilerin solunum hızları azaltılmakta, bakteri ve mantar gelişimi yavaşlatılarak çiçeklerin vazo ömrünü uzatılmaktadır. Son çalışmalar, kesme çiçeklere putresin ve spermidin gibi poliamin uygulamalarının, yaşlanmayı azaltacağı, hasat edilen çiçeklerin kalitesini koruyarak vazo ömürlerini uzatabileceğini göstermiştir (Qu ve ark., 2020). Kesme çiçeklerde hasat sonrası, şeker gibi karbonhidratlar, gümüş tiyosülfat (STS) ve amino-etoksivinil glisin gibi etilen biyosentez inhibitörleri ve 1-metilsiklopropren, klor dioksit ve 8-hidroksikinolin sülfat gibi koruyucular, mikrobiyal aktiviteyi önlemektedir (Vehniwal ve Abbey, 2019). Ayrıca, karides ve diğer kabukluların kitin kabuklarından elde edilen kitosan (CS) adı verilen madde; toksik etki oluşturmeyen, biyolojik olarak parçalanabilir ve biyoyoumlu özelliklere sahip alergen olmayan doğal bir biyostimulan malzemedir (Malerba ve Cerna, 2016). Çeşitli süs bitkileri ile tıbbi-aromatik bitkilerin, hasat öncesi ya da sonrası bu malzeme ile müdahale edilmesi, ikincil metabolitlerin biyosentezini artırarak, sahip olduğu antimikrobiyal ve antifungal özellikleri ile bitki içeriğindeki uçucu bileşenleri olumlu yönde koruduğu, mikrobiyal büyümeyi azaltarak ve su dengesini sağladığı bildirilmektedir. Nono-partikül biyostimulan malzemelerin bu özellikleri, benzer şekilde kesme çiçeklerin vazo ömürlerini uzattığı ve bazı bitkilerin de raf ömürleri üzerinde olumlu etki-

lerde bulunduğu bildirilmektedir (Ali ve ark., 2022). Bunun dışında, hasat sonrası paketlenme işlemlerinde optik X-ışını ve lazer teknolojilerini kullanan otomatik sistemler, ürünleri boyut, renk, ağırlık ve kalitelerine göre ayırıp sınıflandırabilmektedir. Otomasyonlu bu sistemler, işlemlerin doğruluğunu ve hızını artırarak işçilik maliyetlerini düşürmekte ve insan kaynaklı hataları en aza indirmektedir. Hasat sonu teknolojisi kapsamında başvurulana diğer bir uygulama olan Blockchain Teknolojisi, tarım da dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde benimsenen güvenli ve merkezi olmayan bir veri tabanı sistemi olarak tanımlanmaktadır. Süs bitkileri alanında, tedarik zinciri yönetimini, izlenebilirliği ve şeffaflığı iyileştirmenin bir yolu olarak Blockchain Teknolojisinin kullanımı henüz araştırılmaya devam etmektedir. Tüketiciler Blockchain Teknolojisini kullanarak süs bitkilerinin kökenini, çiçeklerin kalitesini ve tazeliğini doğrulayabilmekte, orijinal bir ürün satın aldıklarından emin olabilmektedir. Ayrıca, Blockchain Teknolojisi çiçekçilik alanındaki, taklit ve yanlış etiketleme ile ortaya çıkan şaibe riskini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Üretici ya da tüketiciler, Blockchain tabanlı ödeme sistemlerini kullanarak, bankalar ya da ödeme işlemcileri gibi araçlara ihtiyaç duymadan daha hızlı ödeme yapabilmektedir (Wani ve ark., 2023).

1.5. Akıllı Sulama Teknolojileri

Süs bitkileri yetiştiriciliğinde akıllı sulama uygulamaları; gelişmiş sistem ve yöntemler kullanarak, bitkilerin gereksinim duydukları sulama suyunun doğru miktarda ve uygun zamanda bitki kök bölgesine uygulanmasını olanaklı kılan teknolojileri içermektedir. Akıllı sulama teknolojileri, genellikle sera bitkileri ve peyzaj alanlarında gerçekleştirilen sulama uygulamalarında sulama suyu kullanımını optimize etmek için yararlanılan ileri teknolojik sistemlerdir. Bitkisel üretimde sulama teknolojisindeki en önemli gelişmelerden birisi damla sulama sistemlerinin kullanılmasıdır. Bu sistemler, sulama suyunu doğrudan bitkilerin kök bölgesine ileterek, buharlaşma ve yüzey akıştan kaynaklanan su kaybını en aza indirmektedir (Akat Saraçoğlu, 2021). Ayrıca, su uygulamasının hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlayarak, aşırı ya da yetersiz sulama riskini azaltmaktadır. Son yıllarda popülerlik kazanan bir diğer sulama teknolojisi ise toprak nem sensörlerinin kullanımıdır. Bu sensörler, topraktaki nem içeriğini ölçer ve yetiştiricilere gerçek zamanlı veriler sağlayarak sulama programlarını ayarlamalarına ve su stresi ya da aşırı sulamadan kaçınmalarına olanak tanımaktadır (Wani ve ark., 2023). Bu sistemler; sensörler, kontrolörler (otomasyon birimi), iletişim sistemleri, selenoid vanalar ve yağmurlama ya da damla sulama sistemleri, iklim istasyonları ve veri analitiği yazılımını oluşturan bileşenler bütünüdür. Sulama sistemlerine entegre edilen selenoid su vanaları, dengeli sulamanın gerçekleştirilmesini ve bitki su tüketiminin uzaktan kontrolünü sağlamaktadır (Şahin, 2024).



Şekil 1. Akıllı sulama sistemi bileşenleri (Kaynak: URL 1)

Akıllı teknolojiler kullanılan uygulamalarda sulamaların zamanlanması ve uygulanacak sulama suyu miktarları, toprak neminin izlenerek programlanması amacıyla hassas ölçümler yapan zaman alan reflektometresi (Time Domain Reflectometry-TDR), kapasitans sensörü (Frequency domain reflectometry-FDR), ortam izlemesinde kullanılan tansiyometrelerle dolaylı olarak belirlenebilmektedir. Ayrıca sera içi iklimini izlemeye dayalı tekniklerinden (Modeller), solar radyasyon, Penman -Monteith ve türevleri gibi modellerle yine dolaylı olarak sulamalar gerçekleştirilebilmektedir. Bunun dışında, bitkiye dayalı izleme tekniklerinden bitki özsuyu akış hızı ölçümleri (SAP Row), gövde çapı değişim ölçümleri, nötronmetreler, zayıflayan gama ışınlarını ölçen sensörler ve bitki kök bölgesi toprağında nem direnç ölçümleri yapan sensörlerden yararlanılmaktadır (Akat, 2011). Kontrolörler adı verilen mikro denetleyiciler, otomasyon birimine gelen verilere göre, sulama sistemine gerekli sinyalleri göndererek sulamaları yönetmektedir. Akıllı sulama sistemlerinde sulamaların yönetimi; toprak, bitki ve ortam koşullarının izlenmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla; toprak nemi, sıcaklığı, pH, EC'si takip edilerek toprak izleme, bitki gelişim indeksi, su stresi, kuraklık stresi, hastalık ve zararlı aktivitesinin erken tespiti mümkün olurken, ürün izleme ve yetiştiricilik ortamının nemi, sıcaklığı, ortama giren UV ışınları tespitiyle de akıllı sulamanın bağlamsal izlenmesi mümkün olabilmektedir (Mahmud ve ark., 2023). Tüm bu izlemler, en son iletişim teknolojileri kullanılarak gerçek zamanlı verilerin toplanması yoluyla gerçekleştirilmektedir (Şahin, 2024). Bunların dışında, ticari gübrelerin doğrudan bitki kök bölgesi ortamına uygulamasını sağlayan, gerekli dozda besin maddesinin sulama suyuna karıştırıldığı fertigasyon (sulama + gübreleme uygulamaları) teknolojileri de süs bitkilerinde kullanılan bir diğer akıllı sulama yaklaşımındandır. Bu yaklaşımda, bitkilerin sağlıklı büyümeleri için gerekli besin elementlerini

almaları sağlanırken diğer taraftan gübre ve su israfının da önüne geçilmektedir (Arachchillage ve ark., 2021; Cunha, 2023). Ayrıca RFID etiketleme ya da IoT teknolojileri kullanılan sulama sistemleri, sulamaların yönetimini ve takibini de mümkün kılan başka bir akıllı sulama uygulamalarındandır (Deng ve ark., 2020; Zheng, 2025).

1.6. Topraksız Tarım Teknolojileri

Süs bitkileri alanında topraksız tarım teknikleri ile gerçekleştirilen yetiştiricilik; verimin artırılması, bitki su tüketiminin azaltılması ve kontrollü gübre-ilaç gibi tarımsal kimyasal kullanımı nedeniyle giderek yaygınlaşan bir uygulama olmaktadır (Shrouf, 2017). Topraksız tarımın en önemli avantajlarından biri, büyüme koşullarını daha hassas bir şekilde kontrol etme yeteneğidir. Yetiştiriciler, bitkilere uygulanan besin çözeltisinin sıcaklığını, nemini ve besin maddesi seviyelerini kontrol ederek bitki gelişimini ve çiçek kalitesini optimize edebilmektedir (Zimmermann ve Fischer, 2020). Topraksız tarım ayrıca toprak ihtiyacını da ortadan kaldırarak toprak kaynaklı hastalık ve zararlı riskini azaltmaktadır (Savvas, 2002; Akat, 2011). Süs bitkileri yetiştiriciliğinde kullanılabilecek çeşitli topraksız tarım yöntemleri bulunmaktadır (Akat ve ark., 2019; Kahraman ve Akçal, 2018). Aeroponik, katı ortam (substrat) kültürü, hidroponik ve dikey tarım gibi yeni yetiştirme sistemlerinin kullanımıyla, iklim değişkenliğiyle ilişkili zorlukları azaltan kontrollü ortamlarda yıl boyu süs bitkileri üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Devrim yaratan bu yenilikler ve teknolojik gelişmeler, çiçekçilik sektöründeki üreticilere, daha az çevresel etkiyle yüksek verimli ve kaliteli ürünlerle daha sürdürülebilir yetiştiricilik imkanı sağlamaktadır.

1.7. Çatı Bahçeleri ve Dikey Bahçeler

Yapılaşmanın yoğun olduğu şehir merkezlerinde, çok katlı binalarda uzun süreli geçirilen zamanlar, insanların yeşile duydukları özlemi bir kat daha artırmaktadır. Doğanın bir parçası olan insan karşılıklı etkileşimde bulunduğu ekosistemi ihtiyaçları doğrultusunda dönüştürmeye başlamıştır (Çetinkale Demirkan ve Akat, 2017; Çetinkale Demirkan ve Çetin, 2024). İnsanlar bu yöndeki ihtiyaçlarını karşılamak üzere iç mekanlarda saksılı süs bitkilerini kullanmaya eğilim gösterebilirler bile, bu ihtiyacın tam olarak karşılanamadığı görülmektedir (Akat Saraçoğlu ve ark., 2022). Yeşil çatılar, akıllı çatılar ya da çatı bahçeleri ile bahçe duvarları, yeşil duvarlar ya da dikey bahçeler/duvarlar gibi isimlerle tanımlanan yeni peyzaj trendleri, peyzaj düzenlemelerinde, kentlere yeşil alan eklemenin ve kentsel ısı adası etkisini azaltmanın bir yolu olarak alternatif çözümler sunmaktadır. Bu bağlamda, kentleşmenin insan psikolojisi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak, özellikle ekolojik dengeyi korumak ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine çözüm oluşturmak üzere, teknolojinin gelişmesiyle birlikte kentsel alanlarda,

çatı bahçeleri ve duvar peyzajı uygulamalarına başvurulmaktadır (Çakar ve Akat Saraçoğlu, 2024; Akat Saraçoğlu ve ark., 2022). Kent merkezindeki binalara bitki örtüsü entegre edilerek kentsel ortamları iyileştirmek için yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler sağlayan bu uygulamalar özellikle, malzeme ve kurulum tekniklerindeki sağlanan gelişmelerle, kurulum ve bakım işlemleri ile maliyetlerin düşürülmesini mümkün kılmaktadır (Wani ve ark., 2023). Çeşitli bitki tür ve çeşitlerinden oluşan, yaşayan duvarlar ya da dikey bahçeler olarak da bilinen yeşil duvarlar; çatı bahçelerine benzeyen prensiplerle oluşturulmakla birlikte, binaların yan taraflarına dikey olarak monte edilerek hem estetik ve hem de işlevsel amaçlarla kullanılabilir. Ancak gerek çatı bahçelerinin gerekse dikey bahçelerin sağlıklı kalabilmeleri ve canlılıklarının sürdürebilmeleri için uygun sulama, gübreleme ve zararlı yönetimini kapsayan düzenli bir bakım programına ihtiyaç duyulmaktadır. Kentsel dokuya entegre edilen çatı bahçeleri, mikro-klima kontrolü sağlamanın yanı sıra, barındırdıkları bitki örtüsüyle rüzgârın hızını azaltmakta ve ses dalgalarını absorbe ederek ses yalıtımı sağlamakta, kuşlar ve böcekler için yaşam alanı oluşturmakta, kent havasını temizleyerek kent yaşamına dahil olan tüm canlıların için olumlu koşullar oluşturmaktadır. Ayrıca bu peyzaj tasarımlarının, turizm, işyerleri, alışveriş merkezleri, eğitim ve sağlık alanında hizmet veren yapılarda kullanıcılara gelenekselin dışında farklı ve özel dinlenme mekanları oluşturarak, kent estetiğinin iyileştirilmesi, işte prodüktivitenin sağlanması ve sosyal ilişkilerin geliştirilmesi açısından da olumlu etkiler sağlamaktadır (Cakar ve ark., 2023).

1.8. Robotik Uygulamalar

Son yıllarda, tarım endüstrisinin en dikkat çekici trendlerden biri kişiselleştirilmiş robotik uygulamalardır. Bilgisayar görüşüyle bütünleşik robotlar, bitki tespiti ve haritalaması, ürün tespiti ve lokalizasyonu, robot tabanlı hasat, navigasyon ve engel tespit sistemleri gibi tarımın birçok alanında yaygın olarak benimsenmiştir. Bu alanda kullanılan robotik hasat gibi gelişmiş otomasyonlar; üretim verimliliğini artırabilmekte, maliyetleri düşürerek israfı en aza indirebilmektedir (Mahmud ve ark., 2023). Çeşitli bitki türlerine yönelik yürütülen çalışmalarda; 3B LiDAR (3 boyutlu tahratsız ışık algılama ve mesafe belirleme- Ligth Detection Ranking) sensör tabanlı bir mikro-elektro-mekanik sistemler aracıyla bitki tanıma, haritalama ve navigasyon tarama yapan yer tabanlı robotlar ve RGB-D (Kırmızı-Yeşil-Mavi-Derinlik/ Red Green Blue- Depth) kameralı hasat robotu ile ürün lokalizasyon yöntemi geliştirilerek hassas hasat işlemlerinin yapılabilmesini ortaya konmuştur (Wesis ve Biber, 2011; Ge ve ark., 2020). Geleneksel bitki tanıma yöntemleri, genellikle uzman bilgisine dayanır ve zaman alıcı olabilmektedir. Ancak son yıllarda geliştirilen görüntü işleme algoritmaları kullanılarak, süs bitkilerinin türlerini ve özelliklerini tanımlamak çok daha doğru ve kolay bir şekilde yapılabilir.

mektedir (Kara ve Bilgili, 2023). Robotik uygulamalar; ayrıca sulama, drenaj sistemleri ve gübreleme sistemlerinin otomasyonunda da kullanılmaktadır. Bu sistemler aracılığıyla bitkilere uygun su ve gübre akışı sağlanarak, sulama ve gübreleme hatalarının önüne geçilmekte ve mali kayıplar minimize edilmektedir. Robotik sistemlerle gerçekleştirilen gübreleme uygulamalarında, yapay zeka algoritmalarıyla bitki kök bölgesi ortamındaki drenaj performansı izlenerek, olası bir sorunda optimum drenaj koşullarını sağlamak amacıyla otomatik eylemler tetiklenmektedir. Bitkilerden ve toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşma (evaporasyon) ve terleme (transpirasyon) oranları ile bitki büyüme aşamaları gibi faktörleri göz önünde bulundurarak, yapay zeka algoritmaları tarafından yönlendirilen robotik, belirli alanlara ya da her bitkiye tek tek hassas ve hedefli sulama sağlamaktadır (Wani ve ark., 2023). Bu teknoloji ile bilinçli ve tekniğine uygun bir sulama olarak ifade edilen, doğru zaman ve miktarda, ihtiyaç duyulan doğru miktardaki sulama suyunun bitki kök bölgesi ortamına uygulanması mümkün olabilmektedir (Akat Saraçoğlu, 2021). Bitki kök bölgesi ortamının nem verilerini analiz etmek ve sulama programlarını optimize etmek amacıyla yapay zeka algoritmaları, su dağıtımını kontrol etmek için ise otomatik vanalar gibi robotik teknolojilerin kullanıldığı sulama uygulamalarında; tansiyometre tabanlı, iklim verilerine dayalı ve kablosuz sensör teknolojilerinin damla sulama sistemine entegre edilmesiyle su kullanım randımanının (WUE) yanı sıra ürünlerin verim değerleri de yükseltilebilmektedir (Munyaradzi ve ark., 2022). Benzer şekilde seralara ya da açık tarla parsellerine yerleştirilen yapay zeka destekli sensörler ve robotik sistemler yardımıyla, bitki kök bölgesi ortamının besin maddesi miktarları tespit edilerek, besin maddesi eksiklikleri ya da fazlalıklarına (toksisite) yönelik belirteçler sürekli olarak izlenebilmektedir. Bu amaçla bitki besin maddesi izleme sistemleri ve yapay zeka algoritmalarından gelen veriler aracılığıyla, otomatik püskürtücüler, fertigasyon robotları, robotik yayıcılar ve drone tabanlı robotik gübre aplikatörleriyle uygun miktarda ve bileşimdeki besin elementleri doğrudan bitkilere iletebilmektedir. Tarımsal robotik uygulamalar üzerine yapılan çalışmalardan birinde, yapay zeka ve makine öğrenmesi ile desteklenen yenilikçi bir matematiksel model, “chemPEGS” (kimyasal olarak işlevselleştirilmiş kağıt tabanlı elektrikli gaz sensörü) olarak bilinen özel toprak sensörü, toprak bakterilerinin aktivitesi nedeniyle nitritlere (NO_2) ve nitratlara (NO_3) dönüşen temel bir kimyasal olan topraktaki amonyum seviyelerini ölçerek, bitki hastalıklarını tespit edebilmektedir. Bu model aracılığıyla, bitkinin yetiştirildiği ortamın iklim koşulları, gübreleme zamanlaması, toprak asitliği ve toprak iletkenliği hakkındaki bilgiler de dahil olmak üzere bir dizi veriyi etkili bir şekilde kullanılarak analiz edilmekte ve gelecek 12 günlük periyot için toprağın içerdiği azot seviyeleri doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir. Çeşitli bitki türleri için bitki sağlığını olumsuz yönde etkileyen virüsleri, yaprak bitlerini, bakterileri ve patojenleri tespit

etmeye yönelik olarak; tek atışlı çoklu kutu dedektörlerini (SSD-MobileNet ve OpenCV tarafından etkinleştirilen görüntü işleme teknikleri) (Hruday ve ark., 2024), bulanık mantık yaklaşımını (kısmi gerçeklere izin veren bir matematiksel sistem olan bulanık mantık kavramına dayanırlar), görüntü işleme ve veri izlemeye dayalı yapay sinir ağlarını ve spektral algılamayı içeren çığır açan robotik sistemler kullanılmaktadır ([Gammanpila](#) ve ark., 2024). Yüksek çözünürlüklü kamera sensörleri ve derin öğrenme tekniklerinin bir araya getirildiği robot görüşünün geliştirilmesi, süs bitkisi yönetim robotlarının geliştirilmesinde kullanılabilir görünmektedir. İlaçlama, ot ayıklama, toprak örnekleme ve toprak çapalama gibi uygulamalar etkili bir şekilde çözülebilmekte ve fidanlıklardaki bitki türleri için farklı kültürel işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Robot görüşünün makine ve derin öğrenmeyle bir araya getirilmesi, fidanlıklarda bitki sayımı, dal/sap sayımı ve diğer temel görevler için de uygulanabilmektedir. Süs bitkileri üretim sahaları ve fidanlıklarda, öncelikle görüntü tanıma ve makine öğrenimi ile birleştirilmiş yapay zeka algoritmaları ile gerçek zamanlı yabancı ot tespiti ve sınıflandırmasını mümkün kılan robotik uygulamalarla, üreticilere yabancı ot varlığı, yoğunluğu ve dağılımı hakkında bilgiler sağlanmaktadır. Ayrıca, herbisitler, mekanik yöntemler ya da diğer yabancı ot yönetim teknikleri ile doğrudan yabancı otlara odaklanan yönetim stratejileri uygulanabilmektedir (Mahmud ve ark., 2023).

1.9. İHA (İnsansız Hava Araçları) Teknolojileri

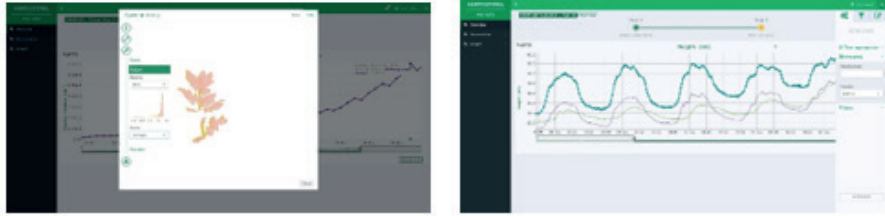
İHA teknolojileri, süs bitkileri için optimum tarımsal kimyasal gereksinimi miktarını belirlemenin yanında, özellikle süs bitkileri fidanlıklardaki odunsu bitkiler ve ağaç-ağaççık türleri için bitki yüksekliği ve gövde çapını belirlemek, diğer amaçlar için değerli bilgiler de sağlamaktadır. Ayrıca, ağaçlar için gölgelik hacmi ya da büyüme bilgilerinin kullanılması, yetiştiricilerin etkili doğru budama teknikleri uygulamasına olanak tanıyarak ağaçların hayatta kalma oranlarını artırmasını sağlamaktadır (Rayamajhi ve ark., 2024). Birçok hassas teknoloji arasında, yaygın olarak dron olarak bilinen İHA'lar, ağaç sayıları, bitki yükseklikleri, örtülü fidanlık alanı ve gölgelik hacmi gibi değerli bilgiler sağlayarak yetiştiricilerin verimli ve bilinçli karar almalarına yardımcı olarak çözüm sunabilmektedir (Mahmud ve ark., 2023). İHA'lar yalnızca, yetiştiricilik aşamasında değil aynı zamanda sonrasında da ürünlerin sağlıklarının düzenli olarak izlenmesi, afetler sırasında hasar tahmini ve ürün sigortasının belirlenmesi için de etkili bir şekilde kullanılabilinmektedir. Küresel çalışmalar arasında, zararlı ve hastalıkların tespitinin yanı sıra kimyasalların hassas bir şekilde uygulanması için kullanılan uğur böceği benzeri küçük bir İHA teknolojisi ürünü olan RIPPA (Akıllı Algı ve Hassas Uygulama Robotu) yer almaktadır. Prasad ve ark. (2024), Hindistan'da süs bitkilerinde akıllı teknoloji kullanımı üzerine yürütülen RHEA (Tarım ve Ormancılık Yönetimi için Robot Filoları) projesinde, traktör ünitelerine

entegre edilmiş robotlar ve makine görüş tabanlı yabancı ot ve ürün sırası tespit sistemleriyle, yabancı ot alanlarının %90'ına yakın bir kısmının tespit edebildiğini, uygulanan fiziksel-kimyasal mücadele yöntemlerin kombinasyonu ile büyük bir çoğunluğunun ortadan kaldırılabilirdiğini ifade etmişlerdir (Prasad ve ark., 2024) Son zamanlarda, sensörlü İHA'lar ve LiDAR sistemleri, genellikle çok büyük alanları kapsayan ağaç özellikleri ölçümünde kullanılmaktadır. LiDAR teknolojisinin hassas derinlik ayrıntıları sağlamasına rağmen sınırlı dikey ve yatay çözünürlüğe sahip olduğu belirtilmektedir. Yüksek çözünürlüklü RGB kamera zengin bir doku sunarak, bir İHA'ya monte edilmesi durumunda; ağaç tepelerinin kapsamlı görsel ayrıntılarını sunan eksiksiz bir model oluşturmak üzere işlenebilecek görüntüler yakalayabilmektedir. Nitekim, İHA'lardaki RGB sensörler, maliyet etkinliği, yüksek çözünürlüklü görüntüleri ve geleneksel fotogrametrik yöntemlere ve İHA-LiDAR'a kıyasla daha hızlı çalışma hızları nedeniyle popülerlik kazanmaktadır (Birdal ve ark., 2017). Son yıllarda, diğer sensör tipleri sera izleme araç setlerinin genişletilmesine olanak sağlamıştır. Örneğin; bitki üretim alanlarına yerleştirilen spektrometreler ışık emilimini ölçmeye yardımcı olarak, bitki stresinin göstergesi olan fotosentetik aktivite seviyelerini ortaya çıkartmaktadır. Akustik sensörler, zararlı varlığını işaret edebilen ses emisyonlarını izlerken, elektrofizyolojik sensörler ise bitkilerdeki elektriksel değişiklikleri izleyerek zararlı kaynaklı stresi yönetilebilir hale getirmektedir (Branding ve ark., 2023). Ek olarak, termal ve multispektral görüntüleme ile donatılmış dronlar, geniş tarım alanlarındaki büyüme anomalilerini tespit etmek için hava verilerini toplamaktadır (Domingues ve ark. 2022). Ayrıca, meteoroloji istasyonlarından toplanan iklim koşulları gibi dış etkenlere yönelik veriler, don ya da sıcak hava dalgaları gibi riskleri tahmin etmek üzere hayati öneme sahiptirler. Bu birleşik izleme araçları, yetiştirme ortamı ve bitki sağlığı durumu hakkında ayrıntılı veriler sağlamaktadır. Bu verilerin yapay zeka algoritmalarıyla analiz edilmesi, erken sorun tespitine olanak tanıyarak tarımsal sürdürülebilirliği destekleyen verimli ürün yönetimini garanti etmektedir (Toscano-Miranda ve ark., 2022).

1.10. Veri Analizleri ve Yazılım

Veri analizi ve yazılım, toplanan verileri işleyip yorumlayan akıllı yetiştiricilik sisteminin temel bileşenleridir. Gelişmiş algoritmalar ve yazılım uygulamaları, öneriler oluşturmak için sensör verilerini, hava durumu tahmin verilerini ve yetiştiriciliğe yönelik diğer faktörleri analiz etmektedir. Gerçekleştirilen veri analitiği ve yazılımlar doğrultusunda, bitki yetiştiriciliğinin hangi uygulaması için kullanılıyorsa o uygulamaya yönelik üreticilerin daha doğru kararlar almasını sağlarken, tarımsal sürdürülebilirliği de desteklemektedir (Şahin, 2024). Örneğin, piyasada süs bitkileri üreticileri tarafından kullanılan HortControl isimli veri analiz programıyla, bitki yetiştiriciliğinin yürütül-

düğü alanda bulunan sensörlerden (PlantEye, DroughtSpotter ve Hava İstasyonu) gelen tüm veriler, merkezi sistemde saklanara HortControl veri analiz paket programına işlendikten sonra bitkiye ilişkin büyüme dinamikleri (örneğin bitki yükseklikleri: mm cinsinden) zaman içinde görselleştirilmektedir (Anonim, 2025c).



Şekil 2. Bitkilerin renkleri ve yüksekliklerine ilişkin verilerin kaydedildiği ve işlendiği HortControl isimli veri analiz seti görseli (Kaynak: URL 2)

1.11. Radyofrekanslı Tanımlama Teknolojisi (RFID)

Radyofrekanslı tanımlama teknolojisi (RFID) teknolojisi, üretimden tüketime kadar çok çeşitli sektörler ile bunlarla iş birliği içerisindeki alt sektörlerde de güvenle kullanılabilen bir teknoloji olup, bir nesneye takılı bir etiket ile okuyucu arasında veri aktarmak için radyo dalgalarını kullanan, konum eşleştirme prensibiyle hareket eden otomatik bir tanımlama sistemi olarak ifade edilmektedir (Ampatzidis ve ark., 2009). Stratejik bir teknoloji aracı olarak tanımlanan RFID, özellikle, ürün tedarik zincirinde ürünlerin güvenliğinin sağlanması noktasında kullanılmaktadır. Yenilikçi RFID teknolojisi ile ürün tedarik zincirinde; verimlilik, doğruluk, görünürlük ve güvenlik sağlayabilmenin yanında, zincirin herhangi bir aşamasında üretici, tedarikçi, dağıtıcı ve perakendeciler tarafından paylaşılabilen gerçek zamanlı bilgi (stok, lojistik, teslimat) aktarımı da mümkün olabilmektedir. Kablosuz sensörler kullanarak, insan müdahalesi olmadan ürünlerin tanımlanmasına ve veri iletişimine olanak sağlayan RFID etiketler, sıcaklık ve nem gibi çevresel değişkenleri de ölçerek iletme özelliklerine sahiptirler (Kızıllırmak Esmer ve Yalçın Melikoğlu, 2015). Bitki üretimlerinin gerçekleştirildiği seralarda, RFID teknolojisi, saksılar gibi eşyaların takibi (Barge ve ark., 2010) ya da uzaktan algılama için kullanılabilir. RFID teknolojisini sera da spektral görüntüleme ve çevresel algılama ile birleştirilerek sera sıcaklığı, bağıl nem ve aydınlatma koşullarının etkileri yetiştirilen bitkiler üzerinde ölçülebilmektedir (Yang ve ark., 2008). Yaprakların yoğunluğu nedeniyle meyve bahçeleri gibi GPS verisinin elde edilemediği açık ve yoğun alanlarda RFID teknolojisi, hasat sırasında hasat edilen meyveleri karşılık gelen ağaç-

larla eşleştirmek için kullanılabilir (Ampatzidis ve ark., 2009). Benzer şekilde, süs bitkileri endüstrisinde RFID etiketi teknolojisi, çiçeklerin üretim noktasından mağazaya kadar takibi ve izlenmesi için kullanılmakta, tedarik zincirinde daha fazla şeffaflık ve verimlilik sağlayan bilgi tutabilen bir barkod işlevi görmektedir (Kumar ve Srivastava, 2018). Farklı uygulamalar için çeşitli şekil ve formlardaki aktif ve pasif olmak üzere iki RFID etiket tipi bulunmaktadır (Fernandez, 2014). Pasif etiketler su, ısı, kir ve kimyasallar dahil olmak üzere sürekli olarak elementlere maruz kalmaya dayanacak şekilde tasarlanan kağıt, plastik ya da polivinil materyallerden üretilebilmektedir. Her RFID etiketinin benzersiz bir tanımlama kodu bulunmaktadır. Bu etiketler; bitkilerin cinsleri, türleri, çeşitleri ve ekim-dikim tarihlerini kapsayan önemli üretim bilgileriyle kodlanmaktadır. Pasif RFID etiketleri nispeten ucuzdur ve üreticiler tarafından benimsenmesi arttıkça, ölçek ekonomileri nedeniyle maliyetlerin de düşmesi beklenmektedir. Bu etiketler, bir RFID sorgulayıcısı ile belirli bir UHF radyo frekansı kullanılarak okunmaktadır. RFID etiketlerinin tarımsal faaliyetlerdeki avantajlarından biri, kir ya da hasar nedeniyle belirsizleşebilen barkodların aksine temiz bir etiket gerektirmemesidir (Ruiz-Garcia ve Lunadei, 2011; Want, 2006). Bu teknoloji ayrıca çiftlik hayvanlarını tanımlamak ve izlemek, sulama sistemi yönetimini takip etmek amacıyla da kullanılabilir (Deng ve ark., 2020).

1.12. Nesnelerin İnterneti (IoT) Tabanlı Teknolojiler

Akıllı tarıma büyük katkı sağlayan, algılama katmanı, ağ katmanı ve uygulama katmanını olmak üzere üç katmanlı bir sistem olan Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojileri; tarımın kalkınma biçimini değiştirme potansiyeline sahiptirler. IoT teknolojisi, akıllı tarımı gerçekleştirmek için cihazların uzaktan bağlanmasına olanak tanıyan yeni bir teknoloji olup, birbirleriyle iletişim kuran ve veri alışverişinde bulunan bağlantılı cihaz ve sensörlerden oluşan bir ağ olarak tanımlanmaktadır. 2050 yılına kadar IoT teknolojisinin tarımsal üretimde verimi %70 düzeyinde artıracığı tahmin edilmektedir. IoT, tarıma güçlü bir teknik destek sağlamakta ve yaygınlaşan akıllı seraların da temelini oluşturmaktadır. Farklı bitkiler için özelleştirilmiş veri tabanına dayanarak sıcaklık gibi çevresel koşulları otomatik olarak kontrol edebilmektedir. Hatta tarım işçilerinin müdahalesi olmaksızın ilaçlama uygulamaları yürütülebilmektedir. Gelecekte IoT tabanlı sistemlerle donatılmış seralarda, ürün miktarının da yaklaşık %30 düzeyinde artabileceği tahmin edilmektedir (Prasad ve ark., 2024). Algılama katmanı, bilgi iletişim teknolojisi (BİT) destekli cihazlar olan sensör sistemlerini içermektedir. Bu katman; RFID etiketlerini, kameraları (renkli, spektral ve kızılötesi), nesneleri tanımak için geliştirilmiş tarama sistemlerini ve gerçek zamanlı bilgi toplamak için kullanılan sensör ağlarını içermektedir. Ağ katmanı; evrensel hizmeti gerçekleştirmek için IoT sisteminin bir altyapısı olup, algılama katmanı ve uygulama katmanlarının birleşimine yönelmekte-

dir. Uygulama katmanı ise, IoT sistemini belirli bir endüstrinin teknolojiyle birleştiren bir katmanı olarak ifade edilmektedir. Üreticiler, sensörler ve diğer ekipmanları kullanarak tarımsal çevreyi uzaktan izleyerek, nihayetinde daha sürdürülebilir tarım yöntemleriyle sonuçlanabilen veri odaklı kararlar alabilmektedir (Patil ve Kale, 2016). Süs bitkileri endüstrisinde kullanılan IoT tabanlı teknoloji, bitki üretiminin ve tedarik zinciri yönetiminin verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır. Ayrıca IoT sensörleri, bitkilerin büyümeleri ve gelişimlerinde kritik rol oynayan sıcaklık, nem ve ışık seviyeleri gibi bazı çevresel faktörlerin yanı sıra pestisit ve bitki besin maddesi miktarlarını izlemek ve kaydetmek için kullanılan bir ağ sistemdir (Burud ve ark., 2023). Bitki yetiştiriciliğinin gerçekleştirildiği alanlarda IoT uygulamaları; sıcaklık ve nem seviyelerini ayarlamak, bitkilerin büyüme hızlarını, bitki besin alımlarını ve su tüketimlerini ölçmek üzere bitkilere entegre edilerek kullanılmaktadır. Üreticiler, bu teknolojiyi kullanarak sensörlerle topladıkları veriler arayıcılığıyla en iyi verimi ve kaliteyi sağlayabilecek süs bitkisi yetiştirme koşullarını optimize edebilmekte, tedarik zincirinde ürün atıklarını azaltabilmekte ve tüketicilere yüksek kalitede ürünler sunulabilmektedir. Ayrıca, IoT teknolojisi, nakliye sırasında çiçeklerin konumu ve durumu hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayarak tedarik zinciri yönetimini iyileştirmek için kullanılabilir. IoT sensörleri; nakliye sırasında sıcaklığı, nemi ve diğer koşulları izleyebilmekte ve bitkiler için ideal koşullardan herhangi bir sapma olması durumunda yetiştiricileri ve ürün dağıtıcılarını uyarabilmektedir (Wani ve ark., 2023; Şahin, 2024). IoT tabanlı sistemler; pazar, sensörler, yazılımlar, bağlantı teknolojileri, veri analitiği ve bulut bilişim gibi çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlerden sensörler; ürün sağlığı ve toprak koşullarının izlenmesinde kritik bir rol oynayarak, çiftçilerin kaynak kullanımını optimize etmelerini ve ürün verimi artırmalarını sağlamaktadır. Yazılım çözümleri bileşeni, çeşitli kaynaklardan gelen verileri bütünleştirerek karar alma süreçlerinde uygulanabilir içgörüler sunmaktadır. Bağlantı teknolojileri bileşeni ise; cihazlar arasında gerçek zamanlı iletişimi kolaylaştırarak kesintisiz çalışma sağlamaktadır (Dhapse, 2025). Bitkilere entegrasyonu sağlanan bu teknoloji ile bitkilerin uzaktan izlenmesi, cep telefonlarından ve diğer cihazlardan bilgi alınması mümkün olabilmekte ve gerektiği durumlarda da otomatik ya da manuel kontrol sağlanarak söz konusu koşullara müdahale edilebilmektedir (Öztürk ve ark., 2021). İnternet ve kablosuz iletişimin bir arada kullanıldığı Uzaktan İzleme Sisteminde (Remote Monitoring System) temel amaç, tarımsal üretim ortamının gerçek zamanlı verilerini toplayarak tarımsal tesislere en kısa zamanda en kolay erişimi sağlamaktır. Bu veriler, Kısa Mesaj Servisi (SMS) aracılığıyla hava durumu, ürün gelişimine yönelik uyarılar, ilaçlama zamanı bildirimleri vb. konularda öneriler içermektedir (Patil ve Kale, 2016). Böylece, bitki gelişimini ve sağlığını etkileyebilecek sorunlar ciddi boyutlarda ulaşmadan erken dönemde tespit edilerek, önlem alınmasını kolaylaştırmaktadır.

SONUÇ

Süs bitkileri yetiştiriciliğinde; otomasyon, robotik uygulamalar, yapay zeka sistemleri ve sensör teknolojileri ile gerçekleştirilen işlemler tarımsal işçilik maliyetlerini düşürmekte, bitkilerin üretimde verim ve kalite parametrelerini artırma noktasında önemli bir rol oynamaktadır. Bitki yetiştiriciliğinde kullanılan otomatik tohum ekim ve hasat sistemleri aracılığıyla, aynı görevi manuel gerçekleştiren tarım işçisine göre çok daha hızlı ve çok daha doğru bir şekilde gerçekleştirebilir ki bu tarımsal işgücü ihtiyacı çok büyük ölçüde azaltmaktadır. Yapay zeka ve IoT teknolojileri, hassas tarım uygulamaları, nanoteknolojik ve biyoteknolojik teknikler, verimi artırmak için iklim takibi sağlayan sensörler, IHA teknolojisi ve GPS haritalaması gibi uygulamalar tarımsal girdilerin optimize edilmesini sağlamakta, tarımsal atığı azaltmakta, bitkisel üretimin verim ve kalitesini yükseltmektedir.

Son yıllarda bütün verileri anlık işleme ve analiz etme yeteneğine sahip teknolojilerin kullanılması, süs bitkileri sektörünün, genetik mühendisliği gibi en önemli teknolojik gelişmelerden yararlanarak daha uzun vazo ömrüne sahip, biyotik-abiyotik stres koşullarına direnç gösterebilen, geniş renk yelpazesi ve tüketiciyi teşvik eden koku gibi iyileştirilmiş özellikleri bulunan yeni süs bitkileri tür ve çeşitlerinin yaratılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca, yüksek teknolojik uygulamalar sayesinde; yetiştiriciler, bitkinin genetik kodunu manipüle ederek zararlılara ve hastalıklara karşı daha fazla direnç gösteren bitki türleri geliştirebilir duruma gelmiştir ki, bu da çevre ve insana zarar veren tarımsal kimyasalların daha az kullanımını olanaklı kılarak sektörü daha sürdürülebilir hale getirmektedir. Özetle, süs bitkilerinin yetiştirilmesinde yapay zekanın benimsenmesi yalnızca tarımsal uygulamaları ilerletmekle kalmaz, aynı zamanda çevre korumayı, zararlı yönetimini ve estetik çeşitliliği de artırmaktadır. Diğer taraftan, genetik mühendisliği ile elde edilen modifiye edilmiş bitkilerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkileri hakkında soruları da gündeme getirmektedir. Otomasyon ve yapay zekanın kullanımı, özellikle üretim alanlarının çoğunun şu anda bulunduğu küresel düzeyde insan işgücü kayıplarına yol açabilmektedir. Süs bitkisi endüstrisinde yapay zeka otomasyon sistemleri ve robotik teknolojilerde eksikler bulunmaktadır ki bu nedenle, uygulanabilir bazı robotik sistemler geliştirmek için bu konularda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, bu teknolojik yeniliklerin çevre, ekonomi ve toplum üzerindeki potansiyel etkisini araştırmak ve sürdürülebilir süs bitkileri üretimini teşvik etmek için bunları dikkatli ve ölçülü bir şekilde kullanmayı esas alan potansiyel dezavantajları elimine edebilecek üretim teknolojilerini benimsek gerekmektedir.

REFERANSLAR

- Akat, Ö. (2011). Topraksız Tarım Sulamasında Kullanılan Teknikler. Tarım Türk, Türkiye'nin Bitkisel Üretim ve Hayvancılık Dergisi, Ağustos Sayı: 30:76-78.
- Akat Saraçoğlu, Ö. (2021). Sulama uygulamaları. Pratik Tarım Uygulamaları (Eds. H. Akat ve İ. Yokaş), 362-399 s, Efil Yayınevi, Ankara, 488 s.
- Akat Saraçoğlu, Ö., Akat, H. (2025). Süs Bitkileri Yetiştiriciliğinde Tuz Stresini Azaltmaya Yönelik Geliştirilen Stratejiler. Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Akademik Çalışmalar XIII, (Eds. Doç. Dr. Alametdin BAYAV ve Dr. Ayşe Vildan PEPE), 10. Bölüm:199-239 s., İksad Publising Yayınları, Eylül-2025. DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17161550>.
- Akat Saraçoğlu, Ö., Çakar, H., Akat, H. ve Adanacioğlu, H. (2022). Performance Analysis of Different Geotextile Materials in Extensive Roof Garden Designs. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 30(4): 484-492. ISSN 1648-6897/eISSN 1822-4199. DOI: <https://doi.org/10.3846/jeelm.2022.18057>.
- Akat Saraçoğlu, Ö., Meriç, M.K., Tüzel, İ.H., Kukul Kurttaş, Y.S. (2019). Responses of *Gerbera jamesonii* Plants to Different Salinity Levels and Leaching Ratios When Grown in Soilless Culture. Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches. (Eds. Mirza Hasanuzzaman, Khalid Rehman Hakeem, Kamrun Nahar, Hesham Alharby). Springer Nature, Singapore, pp:357-379, ISBN 978-3-030-06117-3 ISBN 978-3-030-06118-0 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0>.
- Ali, E.F., Issa, A.A., Al-Yasi, H.M., Hessini, K., and Hassan, F.A.S. (2022). The efficacies of 1-methylcyclopropene and chitosan nanoparticles in preserving the postharvest quality of Damask rose and their underlying biochemical and physiological mechanisms. Biology, 11(2):242. <https://doi.org/10.3390/biology11020242>.
- Ampatzidis, Y.G., Vougioukas, S.G., Bochtis, D.D., Tsatsarelis, C.A., Βουγιούκας, Σ., Μπόχτης, Δ., Τσατσarelής, Κ. (2009). A yield mapping system for hand-harvested fruits based on RFID and GPS location technologies: field testing. Precision Agric., 10(1):63-72, <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9095-8>.
- Anonim, (2025a). <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/SU%CC%88S%20BI%CC%87TKI%CC%87LERI%CC%87sekt%C-C%88rpolitika%20.pdf> (Erişim Tarihi: 03.09.2025).
- Anonim, (2025b). <https://seracell.com.tr/> (Erişim tarihi: 04.09.2025).

- Anonim, (2025c). https://phenospex.com/products/plant-phenotyping/science-hortcontrol-data-management-software/?_gl=1%2A1a-ox61u%2A_up%2AMQ..%2A_gs%2AMQ..&gclid=Cj0KCQjwzt_FBh-CEARIsAJGFWVlfbK9R2dGBq6kp4FNkrahH1xfnV-L2_6bwMDMi-BQs7OXXvZRub2yUaAqDNEALw_wcB&gbraid=0AAAAAC3qrWZ-VUXe29jo_xms5WaSR03Zs7 (Erişim tarihi: 03.09.2025).
- Arachchillage, U.S.S.S., Amarasinghe, D.H.L., Kirindegamaarachchi, M.C., Asanka, B.L., Wmkssw, F. (2021). Smart Intelligent Floriculture Assistant Agent (SIFAA). In 2021 3rd International Conference on Advancements in Computing (ICAC), pp. 449-454. <https://doi.org/10.1109/ICAC54203.2021.9670885>.
- Barge, P., Gay, P., Piccarolo, P., Tortia C. (2010). RFID Tracking of Potted Plants from Nursery to Distribution. International Conference Ragusa SHWA2010 September 16-18, 2010 Ragusa Ibla Campus- Italy Work Safety and Risk Prevention in Agro-food and Forest Systems.
- Belal, A.A., EL-Ramady, H., Jalhoum, M., Gad, A., Mohamed, E.S. (2021). Precision Farming Technologies to Increase Soil and Crop Productivity. (Eds. Abu-hashim, M., Khebour Allouche, F., Negm, A.) Agro-Environmental Sustainability in MENA Regions. Springer Water. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78574-1_6.
- Birdal, A. C., Avdan, U., Türk, T. (2017). Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2):1144–1156. doi:10.1080/19475705.2017.1300608.
- Branding, J., Von Hörsten, D., Wegener J.K., Böckmann, E., Hartung, E. (2023) Towards noise robust acoustic insect detection: from the lab to the greenhouse. *KI Künstliche Intelligenz*, 37:157–173. <https://doi.org/10.1007/s13218-023-00812-x>.
- Burud, A., Kolar, S.M., Karthik, D.R. (2023). Propagation Techniques in Floriculture. *Floriculture and Landscaping Chronicles: A Collaborative Insights* (Eds. Anand Burud, Shruti Mallikarjun, Kolar Karthik, D. R. Devarai Lava Kumar Damini Yadav Nitesh Kaushal), 65-78 pp. ISBN: 978-81-969866-2-9.
- Cakar, H., Akat Saracoglu, O., Akat, H., Kılıc, C.C., Adanacioglu, H. (2023). The Potential For Using Different Substrates In Green Roofs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 31(1):44-51. ISSN 1648–6897/EISSN:1822-4199. DOI: 10.3846/jeelm.2023.18487. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2023.18487>.
- Cardoso, J.C., and Vendrame, W.A. (2022). Innovation in propagation and cultivation of ornamental plants. *Horticulture* 8(3):229, <https://doi.org/10.1007/s11258-022-10000-0>.

org/10.3390/horticulturae8030229.

- Chandler, S.F, Brugliera, F. (2011). Genetic modification in floriculture. *Biototechnology letters*, 33(2):207-214 <https://doi.org/10.1007/s10529-010-0424-4>.
- Costa, L.C. (2021). Postharvest physiology of cut flowers. *Ornam. Hortic.*, 27:(03), Open-access Jul-Sep. 2021 <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v27i3.2372>.
- Çakar, H. ve Akat Saraçoğlu, Ö. (2024). Çatı Bahçelerinde Kurakçıl Peyzaj Yaklaşımının Değerlendirilmesi. *Peyzaj Mimarlığı*, (Ed. Prof. Dr. Murat ÖZYAVUZ), Yaz Yayınları, Bölüm 1: 20-41. E_ISBN 978-625-6104-58-7, Ekim 2024 – Afyonkarahisar.
- Çetinkale Demirkan, G. ve Akat, H. (2017). Kurak Bölgelerde Su Etkin Peyzaj Düzenlemeleri Yaklaşımıyla Xeriscape. 3. Asm International Congress of Agriculture and Environment, 9-18 Kasım Antalya.
- Çetinkale Demirkan G. ve Çetin, G. (2024). Sağlık Mekanları ile Doğa Arasında Köprü Olarak Biyofilik Tasarım: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesinin İrdelenmesi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 20(Özel Sayı): 108-132.
- Cunha, A.R. (2023). Artificial Intelligence as a tool in floriculture research. *Ornamental Horticulture*, 29(4):428-429.
- Datta, S. K. (2019). Need based tissue culture in floriculture: a success story. *The Journal of Plant Science Research*, 35(2):247-256. <https://doi.org/10.32381/JPSR.2019.35.02.14>.
- Demirel, Ö., Akveç, O., Can, C. (2022). Bitki Biyoteknolojisine Güncel Bir Bakış. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences International Indexed and Refereed*, 9 (20):110-149. <https://doi.org/10.38065/euroasiaorg.937>.
- Deng, F., Zuo, P., Wen, K., and Wu, X. (2020). Novel soil environment monitoring system based on RFID sensor and LoRa. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169: Article Number:105169. Doi: 10.1016/j.compag.2019.105169.
- Dhapthe, A. (2025). IoT in Agriculture Market Research Report By Application (Precision Farming, Livestock Monitoring, Smart Greenhouses, Crop Monitoring, Supply Chain Management), By Technology (Sensors, Software, Connectivity Technologies, Data Analytics, Cloud Computing), By End-use (Farms, Agricultural Cooperatives, Food Producers, Research Institutions), By Component (Hardware, Software, Services), and By Regional (North America, Europe, South America, Asia Pacific, Middle East and Africa) - Forecast to 2035

Source: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/iot-agriculture-market/toc>

- Din, A., Qadri, Z.A., Wani, M.A., Rather, Z.A., Iqbal, S., Malik, S.A. ve Hussain, P.R., Rafiq, S, Nazki, I.T. (2021). Congenial In Vitro γ -ray-Induced Mutagenesis Underlying the Diverse Array of Petal Colours in Chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum kitam*) cv. "Candid". Biology and Life Science Forum, 4(21):393–405. <https://doi.org/10.3390/IE-CPS2020-08780>.
- Domingues, T., Brandão, T., Ferreira, J.C. (2022) Machine learning for detection and prediction of crop diseases and pests: a comprehensive survey. Agriculture 12(9):1350. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091350>.
- Farjana, S., Ali, M., Jeon, Y., Nam, D.H., Chung, S.O., Lee, G.J. (2024). Artificial Intelligence in Floriculture and Its Industrial Applications. International Journal of Advanced Smart Convergence, 13(4):487–503. <https://doi.org/10.7236/IJASC.2024.13.4.487>.
- Farias, E.S., Farias, A.A, Santos R.C., Santos, A.A., Picanço, M.C. (2022) Forecasting the seasonal dynamics of *Trichoplusia ni* (Lep.: Noctuidae) on three Brassica crops through neural networks. Int J Biometeorol, 66(5):875–882. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02244-y>.
- Fernandez, R.T. (2014). Rfid: How it works and what it can do for the green industry. AmericanHort. Connect News1, 9:6-11.
- Gammanpila, H.W., Nethmini Sashika, M.A., Priyadarshan, S.V.G.N. (2024). Advancing Horticultural Crop Loss Reduction Through Robotic and AI Technologies: Innovations, Applications, and Practical Implications. Advances in Agriculture, Volume 2024, Article Number: 2472111, <https://doi.org/10.1155/2024/2472111>.
- Ge, Y., Xiong, Y., From, P.J. (2020). Symmetry-Based 3D Shape Completion for Fruit Localisation for Harvesting Robots. Biosyst. Eng., 197:188–202.
- Ghimire, P., Bhandari, N., Lamsal, G., Pun, U. (2025). Recent Advances in Floriculture Industry. Clean environment & Economic Prosperity Through Floriculture Nepalese Floriculture. https://www.researchgate.net/profile/Nirajan-Bhandari-2/publication/390628666_Recent_Advances_in_Floriculture_Industry/links/67f6a59e03b8d7280e2fb6bf/Recent-Advances-in-Floriculture-Industry.pdf (Erişim tarihi:09.09.2025).
- Hossen, M.A., Talukder, M.R.A., Al Mamun, M.R., Rahaman, H., Paul, S., Rahman, M.M., Miaruddin, M., Ali, M.A., İslam, M.N. (2020). Mechanization status, promotional activities and government strategies of Thailand and Vietnam in comparison to Bangladesh. AgriEngineering, 2(4):489-510; <https://doi.org/10.3390/agriengineering2040033>.

- Hruday P.J., Kiran A.B.V.S., Reddy, V.H.P. (2024). Horticulture Robot for Precision Plant Health Management, 10th International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 2024, Melmaruvathur, India, IEEE, 448–452, <https://doi.org/10.1109/ICCSP60870.2024.10544096>.
- Huylenbroeck, J.V., Bhattarai, K. (2022). Ornamental plant breeding: Entering a new era? *Ornamental Horticulture*, 28(3):297–305.
- Kahraman, Ö., Akçal, A. (2018). The effects of different nutrient solutions on summer snowflake's development in soilless culture. *COMU J. Agric. Fac.*, 6:169–176.
- Kapoor, P., Gupta, H., Vasishta, N., Thakur, D., Priti, Bhargava, B. (2024). Nanotechnology in Ornamentals: Current Trends and Future Aspects. (Eds. Bhargava, B., Kumar, P., Verma, V.). *Ornamental Horticulture: Latest Cultivation Practices and Breeding Technologies*. 319-33 pp. Springer, Singapore.
- Kara, İ., Bilgili, B.C. (2023). Kentsel Yeşil Alan Çalışmalarında Yapay Zekâ Kullanımı. *Park ve Bahçe Süs Bitkileri*. (Eds. Dr. Öğr. Üyesi Nuray Çiçek, Prof. Dr. Cengiz Yücedağ), İksad Publishing, Bölüm:11:201-214. ISBN: 978-625-367-418-2, Ankara.
- Khan, N., Ray, R. L., Zhang, S., Osabuohien, E., and Ihtisham, M. (2022). Influence of mobile phone and internet technology on income of rural farmers: Evidence from Khyber Pakhtunkhwa Province, Pakistan. *Pak Techno Soc.* 68: Article Number:101866. Doi:10.1016/j. tech-soc.2022.101866.
- Kızılırmak Esmer, Ö. ve Yalçın Melikoğlu, A. (2015). Gıda Güvenliğinin Sağlanmasında Radyo Frekanslı Tanımlama Teknolojisinin Rolü. *Akademik Gıda, Gıda Bilimi ve Teknoloji Dergisi*, 13(1):72-80.
- Kumar, V., Srivastava, A. (2018). The Role of RFID in Agro-Food Sector. *Agri Res & Tech: Open Access J.*, 14(4): Article Number: 555924. Doi: 10.19080/ARTOAJ.2018.14.555924.
- Lim, J.W., Reza, M.N., Chung, S.O., Lee, K.Y., Lee, S.Y., Lee, K.N., Lee, B. (2023). Application of artificial neural network in smart protected horticulture: A review. *Precis Agric Sci Technol.*, 5(1):29–41. <https://doi.org/10.12972/pastj.20230003>.
- Mahmud, M.S., Zahid, A., Das, A.K. (2023). Sensing and Automation Technologies for Ornamental Nursery Crop Production: Current Status and Future Prospects. *Sensors*, 23(4): Article Number: 1818; <https://doi.org/10.3390/s23041818>.
- Malerba, M., Cerana, R. (2016). Chitosan effects on plant systems. *Int. J. Mol. Sci.*, 17(7): 996.

- Munyaradzi M., Hapanyengwi G., and Masocha M., et al. (2022). Precision Irrigation Scheduling Based on Wireless Soil Moisture Sensors to Improve Water Use Efficiency and Yield for Winter Wheat in Sub-Saharan Africa. *Advances in Agriculture*. Article Number: (1):11, <https://doi.org/10.1155/2022/8820764>.
- Noman, A., Aqeel, M., Deng, J., Khalid, N., Sanaullah, T., and Shuilin, H. (2017). Biotechnological Advancements for Improving Floral Attributes in Ornamental Plants. *Front. Plant Sci.* 8:530. Doi:10.3389/fpls.2017.00530.
- Oberti, R., Schmilovitch, Z.E. (2021). Robotic spraying for precision crop protection. *Innovation in agricultural robotics for precision agriculture. A roadmap for integrating robots in precision agriculture* (Eds. Oberti R., Schmilovitch Z.E.), Springer, Cham, pp 117–150. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-77036-5>.
- Öztürk, E., Yavuz Çelik, Y., Pınar Kırcı, P. (2021). Akıllı Tarımda Sensör Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 28*:1279-1282, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2042463>.
- Patil, K.A., Kale, N.R. (2016). A model for smart agriculture using IoT, In *Proceedings of the 2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication*, Jalgaon, India, December 2016: 543–545.
- Prasad, K.V., Jeevan Kumar, S.P., Prabha K. (2024). Smart technologies in ornamental horticulture. *Indian Horticulture*, 69(5):12-15.
- Qu, Y., Jiang, L., Wuyun, T., Mu, S., Xie, F., Chen, Y., Zhang, L. (2020). Effects of exogenous putrescine on delaying senescence of cut foliage of *Nephrolepis cordifolia*. *Front. Plant Sci.* 2020 Sep 10(11): Article Number: 566824, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33013988/>
- Rayamajhi, A., Jahanifar, H., Mahmud, M.S. (2024). Measuring ornamental tree canopy attributes for precision spraying using drone technology and self-supervised segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume: 225, Article Number: 109359. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109359>.
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L. (2011). The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 79(1):42-50. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.08.010>.
- Safonov, V.A, Danilova, V.N., Ermakov, V.V., Vorobyov, V.I. (2019) Mercury and methylmercury in surface waters of arid and humid regions, and the role of humic acids in mercury migration. *Periódico Tchê Química*, 16(31):892–902.
- Salunkhe, D.K., Bhat, N.R., Desai, B.B. (2012). Postharvest biotechnology of fl

owers and ornamental plants. Springer Science & Business Media. Doi: 10.1007 /978-3-642-73803-6.

- Salybekova, N., Issayev, G., Serzhanova, A., Mikhailov, V. (2024). Utilising artificial intelligence for cultivating decorative plants. *Botanical Studies*, 65: Article number: 39. <https://doi.org/10.1186/s40529-024-00445-9>.
- Savvas, D. (2002). Nutrient solution recycling. *Hydroponic Production of Cegetables and Ornamentals* (Athens, Greece: Embryo Publications): 299–343.
- Shrouf, A. (2017). Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *Int. Sch. Res. Netw. Agron. (ISRN)*, 27(1):247–255.
- Singh K.U., Kumar A., Raja L., Kumar V., Singh Kushwaha, A.K., Vashney N., Chetri M. (2022). An artificial neural network-based pest identification and control in smart agriculture using wireless sensor networks. *J. Food Qual.*, Article Number: 5801206. <https://doi.org/10.1155/2022/5801206>.
- Singh, S., Ranjan, J. (2024). AI in Floriculture: Revolutionizing Flower Farming and Sustainability. *Agri. Roots*, 2(8): Article number: 0119. <https://www.agrirootsmagazine.in/wp-content/uploads/2024/08/ARTICLE-ID-0119.pdf>.
- Sivala, K., Ali, S.M., Ganachari, A., Santosh, D.T. (2024). Emerging Trends in Post Harvest Technologies and Applications. International Books & Periodical Supply Service, India, ISBN 978-81-19105-0-0E-ISBN 978-81-19105-00-0. https://www.researchgate.net/publication/386642960_Emerging_Trends_in_Post_Harvest_Technologies_and_Applications.
- Şahin, H. (2024). Tarımsal Akıllı Sulama Sistemlerinde Yapay Zeka, Derin Öğrenme ve Nesnelerin İnterneti Uygulamaları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1):41-60.
- Tay, A., Lafont, F., Balmat, J.F. (2021) Forecasting pest risk level in roses greenhouse: adaptive neuro-fuzzy inference system vs artificial neural networks. *Inf Process Agric* 8(3):386–397. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.10.005>.
- Toscano-Miranda, R., Toro, M., Aguilar, J., Caro, M., Marulanda, A., Trebilcok, A. (2022). Artificial-intelligence and sensing techniques for the management of insect pests and diseases in cotton: a systematic literature review. *J. Agric. Sci.*, 160(1–2):16–31. <https://doi.org/10.1017/S002185962200017X>.
- URL 1. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3794048> (Erişim tarihi: 04.09.2025)

- URL 2 https://phenospex.com/products/plant-phenotyping/science-hort-control-data-management-software/?_gl=1%2A1aox61u%2A_up%2AMQ..%2A_gs%2AMQ..&gclid=Cj0KCQjwzt_FBhCEARIsAJGFWVlfbK9R2dGBq6kp4FNkrahH1xfnV-L2_6bwMDMiBQ-s7OXXvZRub2yUaAqDNEALw_wcB&gbraid=0AAAAAC3qrWZ-VUXe29jo_xms5WaSR03Zs7 (Erişim tarihi: 03.09.2025)
- Vehniwal, S.S., Abbey, L. (2019). Cut flower vase life – influential factors, metabolism and organic formulation. *Horticult. Int. J.*, 3(6):275-281. Doi: 10.15406/hij.2019.03.00142
- Wani, M.A., Din, A., Nazki, I.T., Rehman, T.U., Al-Khayri, J.M., Jain, S.M., Lone, R.A., Bhat, Z.A., Mushtaq, M. (2023), Navigating the future: exploring technological advancements and emerging trends in the sustainable ornamental industry. *Front. Environ. Sci.*, 11: Article Number:1188643.
- Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. In *IEEE Pervasive Computing*, 5(1):25-33, Doi: 10.1109/MPRV.2006.2.
- Weiss, U., Biber, P. (2011). Plant Detection and Mapping for Agricultural Robots Using a 3D LIDAR Sensor. *Robot. Auton. Syst.*, 59:265–273.
- Yang, I.C., Chen, S., Huang, Y.I., Hsieh, K.W., Chen, C.T., Lu, H., Chang, C.L., Lin, H.M., Chen, Y.L., Chen, C.C., Lo, Y.M. (2008). RFID-integrated multi-functional remote sensing system for seedling production management. In: 2008 ASABE Annual International Meeting. Providence, Rhode Island, USA. Food Processing Automation Conference Proceedings, 28-29 June 2008, Providence, Rhode Island 701P0508cd. Doi:10.13031/2013.24547.
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J.K., & Shabala, S. (2020). Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, 2(4): Article Number:100017.
- Zheng, K. (2025). Design and Application of Garden Water Management Models Incorporating Internet of Things (IoT) Technology. *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*, 127a: 985-1003. <https://www.combinatorialpress.com/jcmcc>.
- Zimmermann, M., and Fischer, M. (2020). Impact assessment of water and nutrient reuse in hydroponic systems using Bayesian Belief Networks. *J. Water Reuse Desalination*, 10:431–442. Doi:10.2166/wrd.2020.026.



MEYVECİLİKTE DON ZARARINI AZALTMAYA YÖNELİK MODERN AKTİF KORUMA YÖNTEMLERİ

“ ”

Ali BAYAT¹

¹ Prof. Dr. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye alibayat@cu.edu.tr ORCID: 000-0002-7104-9544

1. Giriş

Tarım sektörü, üretim sürecinin doğrudan çevresel koşullara bağımlı olması nedeniyle iklimsel risklere en açık ekonomik faaliyetlerden biridir. Bu risklerin başında gelen don olayları, özellikle meyve ağaçları gibi çok yıllık bitkiler üzerinde ciddi ve çoğu zaman geri döndürülemez zararlar meydana getirmektedir. Geç donlar, özellikle ilkbahar döneminde tomurcukların açılmasından meyve bağlanmasına kadar olan hassas fenolojik evrelerde ortaya çıkmakta ve ürün kaybına neden olmaktadır (Snyder & Melo-Abreu, 2005). Meyve üretiminde yaşanan bu kayıplar, yalnızca bir yılın verimini değil, sonraki dönemlerin bitkisel gelişimini ve üretim potansiyelini de olumsuz yönde etkilemektedir.

Bitkilerin düşük sıcaklıklara karşı tolerans düzeyi; tür, çeşit, gelişim evresi ve çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle elma, armut, kiraz, şeftali, kayısı gibi erken çiçeklenen türler, ilkbahar geç donlarına karşı oldukça hassastır. Don olayı sırasında ortam sıcaklığının 0 °C'nin altına düşmesiyle birlikte bitki dokularında hücre içi buz kristalleri oluşmakta; bu da hücre zarlarının yapısını bozarak dokusal tahribata neden olmaktadır (Ashworth & Stirm, 1990). Bu fizyolojik zararlar, çiçek dökülmesi, meyve tutumunun engellenmesi veya deformasyonlarla sonuçlanmaktadır.

Dondan kaynaklı zararları en aza indirmek için geliştirilen çeşitli koruma yöntemleri, temel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır: pasif (önleyici) ve aktif (müdahaleci) yöntemler. Pasif yöntemler, uzun vadeli planlama ve arazi yönetimi stratejilerini içerirken; aktif yöntemler, don riski gerçekleşmeden hemen önce veya gerçekleştiği sırada yapılan doğrudan müdahaleleri kapsamaktadır (Martínez-Casasnovas et al., 2010). Pasif stratejiler; uygun tür ve çeşit seçimi, uygun bahçe tesisi, dikim sıklığı, eğim ve yön faktörlerinin dikkate alınması gibi uygulamaları içerir. Ancak pasif yöntemlerin etkisi, anlık sıcaklık değişimlerine karşı sınırlı kalmakta ve özellikle iklimsel değişkenliğin arttığı son yıllarda yetersiz kalabilmektedir.

Bu nedenle aktif yöntemlerin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Aktif dondan korunma yöntemleri; ısıtma sistemleri, fanlar, sprinkler sistemler, sisleme cihazları, helikopterle hava karıştırma ve bazı kimyasal maddelerin kullanımı gibi uygulamaları kapsamaktadır. Bu yöntemlerin temel amacı, don anında mikroklima koşullarını değiştirmek ya da bitki dokularını doğrudan koruyacak fiziksel bir müdahalede bulunmaktır. Örneğin yağmurlama sulama sistemleri, suyun donarken açığa çıkardığı gizli ısıdan faydalanarak bitki yüzeyinde sıcaklığın 0 °C'nin altına düşmesini engelleyebilir (Snyder & Melo-Abreu, 2005). Benzer şekilde, rüzgar makineleri, atmosferdeki inversiyon tabakasını kırarak sıcak havanın ağaç seviyesine inmesini sağlayarak don zararını azaltabilir.

Küresel iklim değişikliğinin etkisiyle birlikte sıcaklık rejimlerinde meydana gelen düzensizlikler, don olaylarının sıklığını ve şiddetini artırmaktadır. İklimsel tahmin modelleri, özellikle ılıman iklim kuşağında bulunan bölgelerde don olaylarının mevsim dışı dönemlerde de meydana gelebileceğini ortaya koymaktadır (Luedeling, 2012). Bu durum, geleneksel yöntemlerin yeterliliğini sorgulatmakta ve daha gelişmiş, teknoloji tabanlı çözümlerin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Nitekim son yıllarda, sensör tabanlı izleme sistemleri, otomatik müdahale sistemleri ve erken uyarı mekanizmaları gibi yenilikçi teknolojiler, aktif don koruma stratejilerinin etkinliğini artıran önemli araçlar haline gelmiştir (Gerard et al., 2021).

Bu çalışmanın amacı, meyve ağaçlarının don olaylarına karşı korunmasında uygulanan aktif yöntemleri bilimsel temelleri ve uygulama örnekleri çerçevesinde değerlendirmektir. Çalışma kapsamında, aktif koruma yöntemleri sistematik olarak sınıflandırılacak, yöntemlerin teknik detayları ve uygulama sınırları açıklanacak; etkililik, maliyet ve sürdürülebilirlik açısından karşılaştırmalar yapılacaktır. Ayrıca Türkiye ve dünya ölçeğinde farklı iklim bölgelerinde kullanılan uygulama örneklerine de yer verilerek, aktif yöntemlerin pratikteki karşılığı irdelenecektir. Bu kapsamda elde edilen bilgiler, hem akademik araştırmalara katkı sağlamayı hem de uygulayıcı çiftçilere yönelik rehberlik sunmayı amaçlamaktadır.

2. Don Olaylarının Tarıma Etkisi

Don, tarımda verim ve kalite kayıplarının yanı sıra ekonomik istikrarsızlığa yol açan başlıca meteorolojik risk faktörlerinden biridir. Özellikle meyve üretiminde, çiçeklenme ve genç meyve dönemlerinde yaşanan düşük sıcaklık olayları, üretimin tüm döngüsünü etkileyerek ciddi zararlar doğurur. Don, sadece fizyolojik tahribata değil, aynı zamanda pazarlama ve fiyat dalgalanmalarına da neden olarak tarım sektöründe zincirleme bir krize yol açabilmektedir (FAO, 2005).

Meyve ağaçlarının soğuk hava koşullarına karşı dayanıklılığı, tür ve çeşit özelliklerine, fenolojik evrelerine ve adaptasyon yeteneklerine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; erik, şeftali, kayısı gibi türler erken çiçek açtıkları için geç ilkbahar donlarına karşı son derece hassastır. Bu türlerde çiçeklenme döneminde meydana gelen -2 °C ile -5 °C arasındaki kısa süreli sıcaklık düşüşleri bile çiçek dokularında ölümlerle sonuçlanabilmektedir (Rodrigo, 2000).

Donun etkileri, bitkinin gelişme evresine bağlı olarak farklı şekillerde ortaya çıkar:

- **Tomurcuk dönemi:** Hücre zarlarının hasar görmesiyle tomurcuklar açılmadan ölür.

- **Çiçeklenme dönemi:** Dişi organların zarar görmesi döllenmenin gerçekleşmemesine neden olur.
- **Genç meyve dönemi:** Don sonucu hücre yapısı bozulur, meyve dökülmesi veya deformasyonu meydana gelir.
- **Vejetatif gelişim:** Don, yıllık sürgünlerde ve yapraklarda kuruma ile sonuçlanabilir.

Don olaylarının tarımsal üretime etkisi yalnızca biyolojik düzeyde değil, ekonomik düzeyde de derindir. Türkiye’de 2014 yılında yaşanan geç ilkbahar donları sonucunda özellikle Malatya’da kayısı üretimi %90’a varan oranda zarar görmüş; bu durum hem iç piyasada arz sıkıntısına hem de ihracat kayıplarına yol açmıştır (TÜİK, 2014). Benzer şekilde, Avrupa’nın birçok ülkesinde son yıllarda artan don olayları nedeniyle elma ve kiraz üretiminde büyük düşüşler yaşanmıştır (Eccel et al., 2009).

Donun meydana getirdiği zararlar yalnızca bir sezonla sınırlı kalmayabilir. Ağaçların sürgün, çiçek tomurcuğu ve ana dallarında oluşan yapısal zararlar, bir sonraki yılın verimini de düşürebilir. Ayrıca, sık tekrar eden don olayları nedeniyle üreticiler düşük verim riskiyle karşı karşıya kalmakta, bu durum finansal sürdürülebilirliklerini tehdit etmektedir (Martínez-Casasnovas et al., 2010).

Küresel iklim değişikliğinin etkisiyle, don olaylarının mevsimsel kalıpları değişmekte; bu durum, üreticiler için daha öngörülemez bir üretim ortamı yaratmaktadır. Özellikle erken ısınan ilkbahar dönemlerinde bitkilerin fenolojik gelişimi hızlanmakta, ancak ardından gelen geç donlar nedeniyle daha yüksek zarar oranları gözlemlenmektedir (Luedeling, 2012). Bu durum, üretim sistemlerinin hem teknik hem de ekonomik olarak daha kırılgan hale gelmesine yol açmaktadır.

Bu bağlamda, don olaylarının tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin azaltılması, yalnızca bitki düzeyinde değil; tarımsal yönetim, sigorta sistemleri, erken uyarı mekanizmaları ve aktif korunma stratejilerinin entegrasyonu düzeyinde ele alınmalıdır. Bu bütüncül yaklaşım, hem çiftçilerin üretim risklerini azaltmakta hem de gıda arz güvenliğinin sağlanmasına katkı sunmaktadır.

3. Don Tipleri ve Bitkiler Üzerindeki Etkileri

Don, atmosfer sıcaklığının 0 °C’nin altına düşmesi sonucu ortaya çıkan ve bitkiler üzerinde fizyolojik zarar oluşturan bir meteorolojik olaydır. Tarımsal açıdan en kritik olan donlar, bitkinin aktif gelişme dönemiyle çakıştığı, özellikle çiçeklenme ve meyve tutumu aşamalarında büyük zararlara yol açmaktadır. Ancak don olaylarının tarım üzerindeki etkisi, yalnızca sıcaklık değerine değil, aynı zamanda don tipine bağlı olarak da değişiklik gösterir (Snyder & Melo-Abreu, 2005).

Genel olarak tarımsal meteorolojide donlar üç ana başlık altında sınıflandırılır:

3.1 Radyasyon Donu

Radyasyon donu, açık ve rüzgarsız gecelerde, yüzeyin ısı kaybederek hızla soğuması sonucu meydana gelir. Bu tip don olaylarında genellikle *sıcaklık inversiyonu* gözlenir; yani toprak yüzeyine yakın hava tabakası üst katmanlara göre daha soğuktur. Radyasyon donu genellikle gece geç saatlerde başlar ve sabaha karşı etkisini artırır. Özellikle çukur alanlarda ve hava sirkülasyonu zayıf olan bölgelerde daha yoğundur (Martínez-Casasnovas et al., 2010).

Bu tip donlar, aktif koruma yöntemlerine karşı daha duyarlıdır çünkü mikroklima müdahaleleri (örneğin rüzgar makineleri, yüzey ısıtıcıları) ile sıcaklık manipüle edilebilir. Ancak, bahçenin topografik yapısı ve sıcaklık inversiyonunun yüksekliği bu müdahalenin etkinliğini belirler.

3.2 Adveksiyon Donu

Adveksiyon donu, kutupsal ya da yüksek enlemleri bölgelerden gelen soğuk hava kütlelerinin yatay hareketi sonucu oluşur. Bu durumda, hava genellikle kuru, rüzgarlı ve geniş bir alanı etkileyici niteliktedir. Yüzeyin değil, atmosferin genel sıcaklığında meydana gelen düşüş söz konusudur. Dolayısıyla inversiyon tabakası görülmez ve hava kütlelerinin tamamı soğuktur (Eccel et al., 2009).

Adveksiyon donlarında ısıtma sistemleri, rüzgar makineleri gibi yöntemler çoğunlukla etkisiz kalmakta; çünkü hava kütlesi bütün olarak soğuktur ve yukarıdan aşağıya karışım fayda sağlamaz. Bu tip donlar, özellikle geniş coğrafi alanlarda ani sıcaklık düşüşleriyle birlikte gelir ve pasif yöntemlerle sınırlı koruma sağlanabilir.

3.3 Karma (Radiatif-Advektif) Don

Karma don, radyasyon ve adveksiyon donlarının özelliklerini birlikte taşıyan karmaşık olaylardır. Bu durumda hem yüzey soğuması hem de soğuk hava hareketi bir arada etkili olur. Özellikle gece boyunca başlayan radyasyon donuna sabah saatlerinde advektif soğuk hava girişinin eklenmesiyle oluşur. Karma donlar, müdahale edilmesi en zor don tiplerinden biri olup genellikle hem aktif hem de pasif yöntemlerin birlikte kullanımını gerektirir.

Don Tiplerinin Bitkisel Dokuya Etkileri

Farklı don tipleri, bitkisel dokular üzerinde farklı türde zararlar oluşturabilir. Örneğin, radyasyon donlarında zarar genellikle yüzeye yakın çiçek, yaprak ve genç sürgünlerde yoğunlaşırken; adveksiyon donlarında zarar daha derin doku ve kök bölgelerine kadar ulaşabilir. Bitkilerde don hasarı, hücre içindeki suyun buz kristaline dönüşmesiyle başlar. Bu kristaller hücre zarı-

nı parçalayıp ozmotik dengenin bozulmasına yol açar. Bunun sonucu olarak doku kahverengileşir, su kaybeder ve canlılığını yitirir (Ashworth & Stirm, 1990).

Fenolojik evre ile don şiddeti arasında doğrusal bir ilişki bulunur. Örneğin:

- **Tomurcuklar** genellikle -2°C 'de zarar görmeye başlar.
- **Çiçeklenme evresi** -1.1°C ila -2.2°C aralığında yüksek duyarlılık gösterir.
- **Genç meyveler** -1.7°C ila -2.8°C gibi değerlerde zarar görebilir.

Bu nedenle don tipinin önceden belirlenmesi ve ona uygun bir müdahale stratejisinin geliştirilmesi, meyve üretiminde verim kaybının önlenmesinde kritik öneme sahiptir. Don tahmin sistemlerinin doğruluğu ve çiftçilerin bu tahminlere erişimi, etkili bir koruma stratejisinin ilk adımıdır.

4. Dondan Korunma Yöntemlerine Genel Bakış

Don olaylarının tarımsal üretim üzerindeki yıkıcı etkilerine karşı alınabilecek önlemler, genel olarak **pasif** ve **aktif** olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemler, hem fiziksel çevrenin yönetimi hem de teknik müdahaleler aracılığıyla mikroklimatik koşulları değiştirmeyi amaçlar. Yöntem seçimi; bölgenin iklim özelliklerine, topografik yapısına, yetiştirilen ürünün türüne ve üreticinin ekonomik gücüne göre farklılık gösterebilir (Snyder & Melo-Abreu, 2005).

4.1 Pasif Koruma Yöntemleri

Pasif yöntemler, don riskini azaltmak amacıyla uzun vadeli planlama ve yapısal düzenlemelere dayanan stratejilerdir. Bu yöntemlerde temel amaç, bitkiyi doğrudan korumaktan ziyade, don riskinin oluşma olasılığını minimize etmektir.

Başlıca pasif yöntemler şunlardır:

- **Uygun arazi seçimi ve bahçe yerleşimi:** Don riski düşük olan yüksek eğimli, hava akımına açık alanlar tercih edilmelidir. Çukur ve kapalı vadiler, soğuk hava birikimi nedeniyle yüksek risklidir.
- **Çeşit seçimi:** Geç çiçeklenen çeşitlerin tercih edilmesi, çiçeklerin don tehlikesi olan döneme daha geç girmesini sağlar.
- **Toprak yönetimi:** Toprağın nemli tutulması, ısı iletkenliği artırarak gece ısı kaybını azaltabilir.
- **Yön ve eğim kullanımı:** Güney yamaçlara kurulmuş bahçeler, daha fazla güneş alarak geceye daha sıcak girer ve don riskini azaltabilir.

- **Bitki sıklığı ve sıralama:** Bitkiler arası mesafenin don havasının hareketine izin verecek şekilde ayarlanması önemlidir.

Pasif yöntemlerin avantajı, uygulama maliyetlerinin düşük olmasıdır. Ancak bu yöntemler don olayları başladıktan sonra etkili değildir. Dolayısıyla tek başlarına yeterli koruma sağlamazlar.

4.2 Aktif Koruma Yöntemleri

Aktif yöntemler, don tehlikesi anında veya hemen öncesinde yapılan doğrudan müdahaleleri içerir. Amaç, çevresel koşulları değiştirerek bitki çevresindeki sıcaklığı kritik eşiğin üzerinde tutmak ya da bitki dokularını fiziksel olarak korumaktır. Bu müdahaleler, mekanik, termal veya kimyasal araçlarla gerçekleştirilebilir.

Aktif yöntemler genellikle aşağıdaki kategorilerde sınıflandırılır:

- **Isıtma sistemleri** (açık alevli ısıtıcılar, motorlu ısıtıcılar),
- **Hava sirkülasyonu sağlayan sistemler** (rüzgar makineleri, helikopterler),
- **Su ile koruma yöntemleri** (yağmurlama sulama, mikro sulama),
- **Kimyasal uygulamalar** (anti-transpirantlar, büyüme düzenleyiciler),
- **Fiziksel örtüler** (termal battaniyeler, don tülü vb.),
- **Nemlendirme ve sisleme sistemleri.**

Aktif yöntemlerin uygulama etkinliği, donun tipi ve şiddetine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin radyasyon donlarında fan ve ısıtma sistemleri etkili olabilirken, adveksiyon donlarında bu yöntemlerin başarı şansı oldukça düşüktür (Eccel et al., 2009).

Bu çalışmanın odak noktası, özellikle aktif koruma yöntemlerinin bilimsel temelleri, uygulama biçimleri ve saha örnekleri üzerinden değerlendirilmesidir. Bir sonraki bölümde bu yöntemlerin her biri ayrı ayrı ele alınacak, etkililik düzeyleri ve uygulama pratikleri ayrıntılı olarak tartışılacaktır.

5. Aktif yöntemler

5.1 Isıtma Sistemleri

Isıtma sistemleri, meyve bahçelerinde don olaylarına karşı geliştirilen en eski ve doğrudan müdahale yöntemlerinden biridir. Temel amaç, don riski altındaki alanda çevresel sıcaklığı yükselterek, bitki yüzeyinde oluşabilecek kritik sıcaklık düşüşünü önlemektir. Bu sistemler genellikle radyasyon donlarına karşı daha etkilidir çünkü bu tür don olaylarında sıcaklık düşüşü yüzey kaynaklıdır ve kontrollü ısıtma ile mikroklima koşulları iyileştirilebilir (Snyder & Melo-Abreu, 2005).

Isı Transferi ve Etki Mekanizması

Isıtma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan mekanizma, çevreye yayılan termal enerjinin konveksiyon ve radyasyon yoluyla bitki yüzeyine ulaşmasını sağlamaktır. Isıtıcı cihazlardan çıkan ısı, havadaki partiküller ve su buharı ile taşınarak ağaçların etrafında sıcaklık tabakası oluşturur. Böylece çiçek ve tohumcuklar, kritik eşik olan -1°C ila -2°C aralığının üzerinde tutulabilir.

Isıtma Sistemlerinin Türleri

Isıtma sistemleri genel olarak aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırılabilir:

1. Açık Alevli Isıtıcılar (Konvansiyonel Sobalar)

- En yaygın kullanılan sistemlerdendir.
- Genellikle dizel, gaz yağı, odun veya kömür gibi yakıtlarla çalışır.
- Bahçeye homojen şekilde dağıtılan soba veya varillerin yakılmasıyla çalışır.
- **Avantajları:** Uygulaması basit, anında müdahale imkânı sağlar.
- **Dezavantajları:** Yakıt tüketimi yüksektir, emisyon salınımı fazladır, geniş alanlar için çok sayıda ünite gerekir.

2. Fanlı Isıtıcılar (Mekanik Dağıtımlı)

- Isıtıcı ve fan entegre sistemlerden oluşur.
- Isıtılan havayı belirli bir alana yönlendirerek sıcak hava sirkülasyonu sağlar.
- Özellikle küçük ve orta ölçekli bahçelerde kullanılır.
- **Avantajları:** Sıcak hava dağılımı daha kontrollüdür.
- **Dezavantajları:** Elektrik veya jeneratör ihtiyacı vardır.

3. Sıvı Yakıtlı Mobil Isıtıcılar

- Tekerlekli sistemler olup farklı alanlara taşınabilir.
- LPG, doğal gaz gibi sıvılaştırılmış gazlar veya sıvı yakıtlarla çalışır.
- **Avantajları:** Taşınabilirlik, hedefe yönelik ısıtma.
- **Dezavantajları:** Ekipman maliyeti yüksektir, bakım gerektirir.

4. Elektrikli Isıtıcılar

- Nadiren kullanılır; daha çok seralarda veya çok küçük alanlarda tercih edilir.

- **Avantajları:** Temiz enerji kullanımı, çevreye duyarlı sistemlerdir.
- **Dezavantajları:** Tarla koşullarında enerji altyapısı yetersizliği nedeniyle sınırlı uygulanabilirlik.

Uygulama Yoğunluğu ve Maliyet

Isıtıcı sistemlerin don riskini azaltmadaki etkinliği, sistemin yoğunluğuna ve yerleşim düzenine bağlıdır. Genellikle hektar başına 20–40 ısıtıcı ünite önerilmektedir. Ancak bu tür bir sistemin uygulanabilirliği, büyük ölçüde yakıt temini, işgücü ve kurulum kolaylığı ile ilişkilidir. Maliyet analizi yapıldığında, ısıtma sistemleri en yüksek işletme maliyetine sahip aktif yöntemler arasında yer alır (Martínez-Casasnovas et al., 2010).

Etkililik ve Sınırlamalar

Isıtma sistemleri, özellikle rüzgarsız ve inversiyon tabakasının olduğu radyasyon donlarında etkilidir. Ancak rüzgarlı havalarda ısının dağılımı bozulacağından bu yöntemin etkinliği önemli ölçüde azalır. Ayrıca yakıt kullanımı nedeniyle karbon salımı ve yangın riski gibi çevresel ve güvenlik sorunları da göz önünde bulundurulmalıdır (FAO, 2005).

Isıtma sistemlerinin Avantaj ve dezavantajları **Tablo 1** de özetlenmiştir.

Tablo 1. Isıtma Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Sistem Türü	Avantajları	Dezavantajları
Açık Alevli Soba	Basit kurulum, yaygın kullanım	Yüksek yakıt tüketimi, düşük verimlilik
Fanlı Isıtıcı	Daha homojen sıcaklık dağılımı	Elektrik ihtiyacı, sınırlı etki alanı
Mobil LPG Isıtıcı	Hedefe yönelik kullanım, taşınabilirlik	Yüksek maliyet, teknik bakım gerektirir
Elektrikli Isıtıcı	Temiz enerji, sessiz çalışır	Saha uygulamasına uygun değildir

5.2 Rüzgar Makineleri (Fan Sistemleri)

Donla mücadelede kullanılan aktif yöntemlerden biri olan rüzgar makineleri, özellikle **radyasyon donlarına** karşı etkili bir koruma aracı olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem, yüzey soğuması sonucu oluşan **inversiyon tabakası** içindeki sıcak havayı, fan yardımıyla aşağı yönlü sirküle ederek ağaçların bulunduğu seviyedeki sıcaklığı yükseltmeyi hedefler. Rüzgar makineleri, mikroklimayı doğrudan etkileme potansiyeline sahip olması nedeniyle, ticari meyve üretiminde giderek yaygınlaşmaktadır (Snyder & Melo-Abreu, 2005).

Çalışma Prensibi

Radyasyon donları sırasında, gece boyunca yüzeydeki ısının atmosferin üst katmanlarına doğru yayılması sonucunda, yer seviyesinde soğuk hava birikirken yaklaşık 15–40 metre yüksekte nispeten daha sıcak bir hava tabakası oluşur. Bu durum **termal inversiyon** olarak adlandırılır. Rüzgar makineleri, bu sıcak havayı aşağıya indirerek, ağaçların çevresindeki sıcaklığın 0 °C'nin üzerinde tutulmasına katkı sağlar (Gerard et al., 2021).

Rüzgar makineleri genellikle 10–12 metre yüksekliğe monte edilen, 4–6 metre çapında büyük pervanelerden oluşur. Bu sistemler, bir içten yanmalı motorla çalıştırılarak pervaneleri döndürür ve sıcak havanın yüzeye doğru sirküle olmasını sağlar.

Sistem Tipleri

Rüzgar makineleri genellikle iki temel gruba ayrılır:

1. Sabit (Tek Kuleli) Fan Sistemleri

- Bir kuleye monte edilen büyük pervaneler, 360 derece dönecek şekilde tasarlanır.
- Tipik olarak 4–6 hektarlık bir alanı koruyabilir.
- **Avantajları:** Otomatik çalıştırma sistemleri ile birleştirildiğinde erken müdahale mümkündür.
- **Dezavantajları:** Kurulum maliyeti yüksektir, topografyaya bağlı olarak etki alanı sınırlı olabilir.

2. Taşınabilir (Mobil) Fan Sistemleri

- Genellikle traktörle çekilebilen römork tipi sistemlerdir.
- Küçük ve orta ölçekli bahçeler için uygundur.
- **Avantajları:** İhtiyaca göre farklı bölgelere taşınabilir.
- **Dezavantajları:** Sabit sistemlere göre daha düşük kapasiteli ve manuel çalıştırma gerektirir.

Uygulama Koşulları ve Etkinlik

Rüzgar makinelerinin etkili olabilmesi için ortamda belirgin bir inversiyon tabakası bulunmalıdır. Aksi halde yani adveksiyon donlarında, üst hava katmanları da soğuk olduğundan sıcaklık farklılığı yeterli olmayacak ve sistem etkisiz kalacaktır. Etkinlik açısından, inversiyon sıcaklık farkının en az 2 °C olması önerilmektedir (Martínez-Casasnovas et al., 2010).

Rüzgar makinelerinin koruma sağladığı tipik sıcaklık artışı 1–2 °C civarındadır. Bu, bazı meyve türlerinin çiçeklenme dönemlerinde kritik olan

-2 °C ila -2.5 °C sınırlarında önemli fark yaratabilir.

Enerji ve Maliyet

Fan sistemleri genellikle dizel motorla çalışır ve saatte 4–6 litre yakıt tüketir. Elektrikli modeller de mevcuttur ancak saha koşullarında uygulama sınırlıdır. Sabit kuleli sistemlerin kurulum maliyeti ortalama 15.000–25.000 USD arasında değişmektedir (FAO, 2005).

Uzun vadede, düşük işletme maliyeti ve otomasyon entegrasyonu sayesinde birçok üretici için **maliyet-etkin** bir çözüm sunmaktadır.

Rüzgar makinalarına ait bazı karşılaştırmalar **Tablo 2** de verilmiştir.

Tablo 2. Rüzgar Makinelerinin Teknik Özellikleri ve Karşılaştırmalı Avantajları

Özellik	Sabit Sistem	Taşınabilir Sistem
Kapsama Alanı	4–6 ha	1–3 ha
Otomasyon İmkânı	Yüksek	Düşük
Kurulum Maliyeti	Yüksek	Orta
Taşınabilirlik	Yok	Var
Etki Süresi	Uzun	Kısa
Enerji Tüketimi	Orta	Orta

Sınırlamalar

- **Topografik Etki:** Rüzgar makineleri, eğimli arazilerde etkinliğini kaybedebilir. Sıcak havanın aşağı akışı engellenebilir.
- **Gürültü ve Bakım:** Sistemler yüksek sesli çalışır. Periyodik bakım, özellikle motorlu sistemlerde zorunludur.
- **Rüzgar Etkisi:** Doğal rüzgarın şiddetli olduğu gecelerde sirkülasyon bozulabilir.

5.3 Helikopter Kullanımı

Meyve ağaçlarının dondan korunmasında kullanılan en sıra dışı fakat etkili aktif yöntemlerden biri de **helikopterlerle yapılan hava karıştırma uygulamalarıdır**. Bu yöntem, özellikle yüksek katmanlarda sıcak hava bulunan radyasyon tipi don olaylarında, inversiyon tabakasını kırmak ve yüzeye sıcak hava indirmek amacıyla kullanılmaktadır. Helikopterin döner kanatları, geniş bir alanda güçlü hava sirkülasyonu oluşturarak alt seviyelerdeki soğuk hava tabakasını dağıtır ve daha sıcak üst hava kütlelerinin aşağıya taşınmasını sağlar (Snyder & Melo-Abreu, 2005).

Çalışma Prensibi

Radyasyon donları sırasında yüzeye yakın hava tabakası soğurken, yaklaşık 15–50 m yükseklikte **termal inversiyon** tabakası oluşur. Helikopter, bu katmana girerek pervane etkisiyle sıcak havayı aşağıya doğru yönlendirir ve böylece meyve ağaçlarının bulunduğu alanın sıcaklığının birkaç derece yükselmesini sağlar (Gerard et al., 2021). Uygulamanın başarılı olabilmesi için sıcaklık farkının en az 2–3 °C olması gerekir.

Uygulama Özellikleri

- Helikopterler genellikle gece veya sabaha karşı, sıcaklık düşüşünün en kritik olduğu saatlerde uçurulur.
- 20–30 dakika süren uçuşlar, hektarlarca alanda sıcaklık artışı sağlayabilir.
- Bir helikopter, rüzgar durumuna bağlı olarak yaklaşık **10–20 hektarlık** bir alanı etkili şekilde koruyabilir (FAO, 2005).

Avantajlar

- **Geniş Alan Kapsama:** Büyük ölçekli meyve bahçelerinde çok sayıda don koruma ekipmanı yerine tek bir helikopterle müdahale yapılabilir.
- **Hızlı ve Esnek Müdahale:** Don riski başladığında kısa sürede harekete geçilerek belirli bölgelere öncelikli müdahale sağlanabilir.
- **İnversiyon Avantajı:** Sıcak hava tabakası güçlü olduğunda, sistem oldukça yüksek verim sağlar.

Dezavantajlar ve Sınırlamalar

- **Yüksek Maliyet:** Uçuş saat ücretleri oldukça yüksektir ve don mevsimi boyunca birkaç defa tekrarlanması gerekebilir.
- **Hava Şartlarına Bağımlılık:** Rüzgarlı havalarda helikopterin stabil uçuşu ve etkili hava karıştırması mümkün değildir.
- **Uzmanlık Gerektiren Operasyon:** Eğitimli pilot ve planlı uçuş rotaları gereklidir; bu da erişilebilirliği sınırlar.
- **Çevresel ve Güvenlik Riskleri:** Gece uçuşlarının görsel sınırlılıkları ve ses kirliliği gibi riskleri mevcuttur.

Uygulama Örnekleri

- **ABD'nin Kaliforniya eyaleti** gibi yüksek gelirli tarım bölgelerinde, helikopter destekli don mücadelesi yaygındır.
- Yeni Zelanda ve Şili gibi ülkelerde de ticari meyvecilikte, özellikle üzüm ve elma bahçelerinde uygulanmaktadır.

- Türkiye’de ise sınırlı sayıda büyük ölçekli üretici tarafından denenmekte olup yaygın bir kullanım alanı bulamamıştır.

Helikopterlerin don korumaya ait genel özellikleri **Tablo 3** de verilmiştir

Tablo 3. Helikopterle Don Korumanın Genel Özellikleri

Kriter	Değerlendirme
Uygulama Alanı	10-20 ha
Etkinlik	Orta-Yüksek (inversiyon varsa)
Maliyet	Çok Yüksek
Operasyonel Zorluk	Yüksek (pilot, hava izni vb.)
Kullanım Sıklığı	Sadece kritik gecelerde
Yaygınlık	Düşük (yüksek gelirli çiftliklerde)

5.4 Su ile Koruma Yöntemleri (Sprinkler ve Mikro Sulama)

Don zararından korunmak için uygulanan aktif yöntemler arasında **su temelli sistemler**, bilimsel dayanakları ve yüksek etkinlikleri sayesinde özellikle ticari meyve yetiştiriciliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, **suyun donarken çevreye verdiği gizli ısıyı (latent heat of fusion)** kullanarak, bitkinin çevresindeki sıcaklığı 0 °C civarında sabit tutmayı amaçlar (Snyder & Melo-Abreu, 2005). Özellikle ilkbahar geç donlarına karşı etkili olan bu teknik, dikkatli planlama ve sürekli izleme gerektiren bir sistemdir.

Çalışma Prensipleri

Su donarken, birim hacim başına yaklaşık **334 kJ/kg** gizli ısı açığa çıkarır. Bitki yüzeyine sürekli olarak su püskürtüldüğünde, bu suyun donma sürecinde açığa çıkan enerji, bitkinin yüzey sıcaklığını donma noktasının biraz üzerinde tutarak hücre içi sıcaklıkların tehlikeli seviyelere düşmesini önler. Ancak bu koruma etkisi, sadece suyun donma süreci devam ettiği sürece geçerlidir. Eğer uygulanan su miktarı yetersiz kalırsa, sistem tam tersi etki yaparak bitkide daha büyük zarara neden olabilir (Gerard et al., 2021).

Sistem Türleri

1. Üstten Yağmurlama (Overhead Sprinkler) Sistemleri

- Geniş alanlı bahçelerde kullanılır.
- Ağaçların tamamına yukarıdan su püskürtülür.
- **Avantajları:** Geniş koruma alanı sağlar, özellikle elma, armut gibi dik yapılı ağaçlarda etkilidir.

- **Dezavantajları:** Su tüketimi yüksektir, don süresince sistemin kesintisiz çalışması gerekir.

2. Mikro Yağmurlama (Under Tree or Micro Sprinkler) Sistemleri

- Genellikle ağaç altına yerleştirilmiş düşük basınçlı mikro fiskiyelerle uygulanır.

- Amaç, ağacın kök bölgesindeki sıcaklığı artırarak genel mikroklimayı değiştirmektir.

- **Avantajları:** Daha az su kullanır, hassas kontrollüdür.

- **Dezavantajları:** Ağaç üst kısmına doğrudan etki sınırlıdır, güçlü in-versiyon gerektirir.

3. Sisleme (Mist) Sistemleri

- Yüksek basınçla çok ince su partikülleri püskürtülür.

- Soğuk havada buharlaşma ile ısı absorbe edileceği için çoğu zaman **zararlı** olabilir ve sadece belirli koşullarda tercih edilir.

Uygulama Kriterleri ve Kritik Hususlar

- Uygulama **don başlamadan hemen önce** başlatılmalı ve **hava sıcaklığı 0 °C'nin üzerine çıkana kadar** kesintisiz sürdürülmelidir.

- Uygulama sırasında rüzgâr hızı düşük olmalıdır; yüksek rüzgâr durumunda su yön değiştirerek koruma etkisini azaltır.

- Su kalitesi, donma noktasını etkileyebilir; yüksek tuz içeriği olan sularda donma noktası daha düşüktür.

- Sistem arızası veya suyun kesilmesi, çok kısa sürede bitkide ciddi hasara yol açabilir (Rodrigo, 2000).

Etkililik ve Sınırlamalar

- Yağmurlama sulama sistemleri, sıcaklığı 0–1 °C arasında sabit tutabilir.

- **Radyasyon donlarında** yüksek etkilidir; ancak **adveksiyon donlarında**, ortam genelinde sıcaklık çok düşük olduğu için etkisiz kalabilir.

- Su kaynaklarının yeterli olması ve altyapı maliyetlerinin karşılanabilir olması gerekir.

Tablo 4 de Su ile koruma yöntemlerinin genel bir karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 4. Su ile Koruma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Sistem Türü	Su Tüketimi	Koruma Etkisi	Uygulama Kolaylığı	Risk Durumu
Üstten Yağmurlama	Yüksek	Yüksek	Orta	Sistem arızasında ciddi zarar
Mikro Yağmurlama	Orta	Orta	Yüksek	Düşük
Sisleme	Düşük	Düşük/ negatif	Zor	Yüksek (soğutucu etki)

Türkiye ve Dünya'dan Uygulama Örnekleri

- **Türkiye'**de özellikle **Malatya** ve **Isparta** gibi don riski yüksek bölgelerde elma ve kayısı üreticileri tarafından **yağmurlama sistemleri** kullanılmaktadır.
- **ABD, İtalya, Şili ve Avustralya** gibi ülkelerde hem ticari meyve bahçelerinde hem de bağcılıkta yaygın olarak uygulanmaktadır.
- **Yeni Zelanda'**da entegre sensör sistemleriyle otomatik çalışan don algılama ve sulama sistemleri yaygındır (Sánchez et al., 2018).

5.5 Termal Battaniyeler ve Geçici Örtüler

Don zararına karşı geliştirilen aktif korunma yöntemlerinden biri de bitkilerin fiziksel olarak izole edilmesini sağlayan **termal battaniyeler, don tülleri** ve diğer **geçici örtü sistemleridir**. Bu yöntemler, bitki çevresindeki ısı kaybını azaltmak, radyasyonla soğumayı sınırlamak ve doğrudan soğuk hava ile temasın önüne geçmek amacıyla uygulanmaktadır. Özellikle genç meyve fidanlarında, düşük boylu meyve türlerinde ve küçük alanlarda etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Snyder & Melo-Abreu, 2005).

Çalışma Prensipleri

Örtüleme sistemleri, bitkinin etrafında yarı kapalı bir mikroklima oluşturarak, sıcak hava kaybını geciktirir. Aynı zamanda, gündüz süresince toprak ve bitki tarafından emilen güneş enerjisinin gece boyunca daha az kaybolmasına yardımcı olur. **Radyasyon tipi donlarda** ısı kaybının başlıca nedeni yüzeyden yukarı doğru olan radyatif enerji yayılımı olduğundan, örtüler bu kaybı azaltmada etkilidir (Luedeling, 2012).

Örtü Türleri

1. Termal Battaniyeler

- Genellikle polyester, polipropilen veya alüminyum kaplamalı sentetik kumaşlardan üretilir.
- Yüksek ısı yalıtımı sağlar.

- Tek tek ağaçlar ya da fidanlar üzerine doğrudan örtülür.
- **Avantajları:** Isı tutma kapasitesi yüksektir, taşınabilir ve tekrar kullanılabilir.

- **Dezavantajları:** Geniş alanlarda iş gücü yoğun uygulama gerektirir.

2. Don Tülü (Floating Row Covers)

- İnce, yarı geçirgen, genellikle UV dayanımlı polipropilen malzemeden yapılır.

- Bitkinin üzerine doğrudan serilir; bazen destek çerçevelerle yükseltir.

- **Avantajları:** Hava ve ışık geçirgenliği sayesinde bitki fotosentez yapmaya devam eder.

- **Dezavantajları:** Hafif donlarda etkilidir, kuvvetli don olaylarında yetersiz kalabilir.

3. Plastik Tüneller / Mini Seralar

- Özellikle çilek, kivi gibi düşük boylu meyve türlerinde tercih edilir.

- Toprağa sabitlenmiş çerçeveler üzerine plastik örtü gerilir.

- **Avantajları:** Uzun süreli koruma sağlar.

- **Dezavantajları:** Yoğun yağışma ve havalandırma ihtiyacı doğurabilir.

Kullanım Alanları ve Etkinlik

- Genç fidan dikim alanları, fide üretim sahaları ve yüksek değerli meyve ağaçlarının koruması için uygundur.

- Hafif ila orta şiddetli don olaylarında 2–4 °C'lik bir sıcaklık farkı sağlayabilir.

- Toprak yüzeyinden yayılan ısıyı tutarak bitki etrafında sıcak hava birikimi oluşturur (Ashworth & Stirm, 1990).

Tablo 5 de Örtü türlerinin bir karşılaştırması verilmiştir.

Tablo 5. Örtüleme Sistemlerinin Karşılaştırmalı Özellikleri

Örtü Türü	Sıcaklık Kazancı	Uygulama Alanı	Yeniden Kullanım	Don Şiddetine Etki
Termal Battaniye	2–4 °C	Küçük – Orta	Yüksek	Orta
Don Tülü	1–2 °C	Orta – Geniş	Orta	Hafif
Plastik Tünel	3–5 °C	Küçük	Yüksek	Orta – Yüksek

Sınırlamalar ve Riskler

- **Rüzgâr riski:** Uygun şekilde sabitlenmeyen örtüler rüzgarla savrulabilir.
- **Yoğuşma problemi:** Plastik örtülerde yoğuşma, hastalık riskini artırabilir.
- **Zamanlama hassasiyeti:** Don başlamadan önce uygulanmalı ve güneşli havalarda zamanında kaldırılmalıdır.
- **Maliyet:** Tek seferlik kullanımda maliyet etkinliği düşebilir.

Uygulama Örnekleri

- **İtalya ve Fransa'da** bağıcılıkta geç donlara karşı alüminyum kaplamalı battaniyeler kullanılmaktadır.
- **Türkiye'de** özellikle fidan üretim alanlarında don tülleri ve plastik tüneller uygulama alanı bulmaktadır.
- **Japonya'da** yüksek nemli alanlarda nem geçirgen termal örtülerle entegre sistemler kullanılmaktadır (Sánchez et al., 2018).

5.6 Kimyasal Maddelerle Koruma

Meyve ağaçlarında don zararının önlenmesi amacıyla geliştirilen aktif yöntemlerden biri de **kimyasal uygulamalardır**. Bu teknik, doğrudan çevresel sıcaklığı değiştirmeyi hedefleyen mekanik ve termal yöntemlerden farklı olarak, bitkinin **don toleransını artırmaya** ya da don hasarını sınırlandırmaya yönelik olarak uygulanır. Kimyasal maddelerle yapılan müdahaleler; bitki dokularının su kaybını azaltmak, buz kristallerinin oluşumunu yavaşlatmak veya bitki fenolojisini kontrol altında tutmak gibi farklı etki mekanizmalarına sahiptir (Wisniewski et al., 2003).

Etkime Mekanizmaları

Kimyasal koruma yöntemleri birkaç farklı mekanizma üzerinden etki eder:

1. **Hücre zararını stabilize etme:** Hücre içi suyun donmasını geciktirerek zar hasarını azaltır.
2. **Transpirasyonu azaltma:** Su kaybını sınırlayarak hücre içi su dengesini korur.
3. **Fenolojik gelişimi yavaşlatma:** Bitkinin çiçeklenmesini geciktirerek don riski yüksek dönemi atlatmasını sağlar.

4. Antifriz proteinleri ve kriyoprotektanlar: Hücre içi buz kristali oluşumunu engelleyen veya sınırlandıran moleküllerdir.

Başlıca Kullanılan Kimyasal Maddeler

1. Anti-transpirantlar

- Stomaların kapanmasını teşvik ederek terlemeyi azaltır.
- Bitki içi su dengesinin korunmasına yardımcı olur.
- **Örnek maddeler:** film-forming polimerler, parafin bazlı ürünler.
- **Sınırlamalar:** Fotosentezi azaltabilir, uzun süreli kullanım fitotoksisiteye neden olabilir.

2. Büyüme Düzenleyiciler (Growth Regulators)

- Bitkinin fenolojik gelişimini yavaşlatır, örneğin çiçeklenmeyi geciktirerek don riski yüksek dönemden sonra açmasını sağlar.
- **Örnek maddeler:** Daminozide, paclobutrazol, gibberellin inhibitörleri.
- **Sınırlamalar:** Doz aşımı gelişim geriliği yaratabilir.

3. Kriyoprotektanlar

- Hücre içi buz oluşumunu engelleyici maddelerdir.
- Protein bazlı veya şeker-alkol yapılı bileşikler olabilir.
- Araştırma aşamasında olan biyoteknolojik ürünler arasında yer alır (Wisniewski et al., 1996).

4. Antifriz Proteinleri (AFP) ve Sentetik Maddeler

- Özellikle biyoteknoloji destekli araştırmalarda, soğuk toleransı yüksek canlılardan izole edilen antifriz proteinleri kullanılarak meyve ağaçlarında don toleransı artırılmaya çalışılmaktadır.
- Henüz tarla koşullarında yaygın kullanımı bulunmamaktadır.

Etkililik Durumu ve Uygulama Koşulları

- Bu kimyasallar, donun şiddetli olduğu (-3 °C altı) durumlarda sınırlı başarı sağlar.
- Hafif donlarda ve önleyici amaçla kullanıldığında etkili olabilir.
- Uygulama zamanlaması, çevre sıcaklığı ve bitki gelişim evresi başarıyı belirler.
- Etkililik, genellikle 3–5 günlük sürelerle sınırlıdır; tekrarlayan uygulama gerekebilir.

Tablo 6. Kimyasal Koruma Maddelerinin Özellikleri

Kimyasal Türü	Etki Mekanizması	Etkililik	Risk Durumu	Uygulama Alanı
Anti-transpirant	Terlemeyi azaltır	Orta	Orta (fitotoksik)	Tohumluk ve fidanlar
Büyüme düzenleyici	Çiçeklenmeyi geciktirir	Orta	Orta	Taş çekirdekli türler
Kriyoprotektan	Buz kristali oluşumunu önler	Düşük	Düşük	Deneme aşamasında
Antifriz proteinleri	Hücre içi soğuk hasarını önler	Yüksek*	Bilinmiyor	Araştırma düzeyinde

* Laboratuvar koşullarında

Sınırlamalar

- **Fitotoksisite riski:** Bazı kimyasalların yanlış dozda uygulanması bitkide kalıcı zarara yol açabilir.
- **Sınırlı saha etkinliği:** Kontrollü laboratuvar koşullarında başarılı olsa da, sahada başarı oranı düşebilir.
- **Yasal kısıtlamalar:** Bazı maddelerin kullanımı ülkeden ülkeye değişen mevzuatlarla sınırlanmıştır.
- **Maliyet:** Tek seferlik uygulama ucuz olabilir ancak tekrarlanan uygulamalar maliyeti artırabilir.

Uygulama Örnekleri

- ABD’de narenciye üretiminde çiçeklenme dönemi öncesi büyüme düzenleyicilerin kullanımı yaygındır.
- Türkiye’de fidan üretim merkezlerinde parafin bazlı anti-transpirantlar denenmiştir.
- Avrupa’da düşük sıcaklık riskinin yüksek olduğu bağcılık alanlarında fenolojik geciktirme stratejileri uygulanmaktadır (Rodrigo, 2000).

5.7 Sisleme Sistemleri (Fogging / Misting)

Sisleme sistemleri, don olaylarına karşı kullanılan aktif koruma yöntemlerinden biri olup, bitki çevresindeki **hava nem oranını artırarak ve radyasyonla ısı kaybını sınırlayarak** don zararını önlemeye çalışır. Bu sistemler, atmosferde ince su damlacıkları (sis veya buğu) oluşturarak, yüzeyden gökyüzüne doğru gerçekleşen radyatif ısı kaybını azaltmak amacıyla tasarlanmıştır. Özellikle **radyasyon tipi donlar** için teorik olarak etkili olabilir (Snyder & Melo-Abreu, 2005).

Çalışma Prensibi

Açık ve sakın gecelerde, toprak ve bitki yüzeyinden ısı kaybı, atmosferin üst katmanlarına doğru **radyasyon yoluyla** gerçekleşir. Eğer gece boyunca gökyüzü berraksa ve nem oranı düşükse, bu ısı kaybı çok daha şiddetli olur. Sisleme sistemleri, bu koşullarda havada ince bir su partikül tabakası oluşturarak:

- **Isı kaybını yansıtır,**
- **Havanın ısı iletkenliğini düşürür,**
- **Bitki çevresindeki nemi artırarak** sıcaklık düşüşünü yavaşlatır (Gerard et al., 2021).

Böylece, yüzey sıcaklıkları kritik eşik olan 0 °C'nin üzerinde tutulabilir veya donun şiddeti azaltılabilir.

Sistem Türleri

1. Yüksek Basıncılı Sisleme Sistemleri

- Su, özel nozüller aracılığıyla mikron boyutunda sis zerreciklerine dönüştürülerek havaya verilir.
- Sis, gece boyunca bahçe üzerinde asılı kalır ve gökyüzü ile doğrudan radyatif teması engeller.
- Bu sistemler genellikle sabit olarak kurulur ve otomatik tetikleyicilerle kontrol edilebilir.

2. Gaz Bazlı Sisleme (Smoke Fogging)

- Organik maddelerin (lastik, saman, talaş vb.) yakılmasıyla duman oluşturularak ısı kaybı engellenmeye çalışılır.
- Geleneksel bir yöntemdir ve modern sisleme sistemlerine göre daha az etkilidir.
- Yüksek karbon salımı ve çevre kirliliği oluşturur.

Etkinlik ve Uygulama Koşulları

Sisleme sistemleri, yalnızca **radyasyon donlarının** görüldüğü, **rüzgarsız ve sakın** gecelerde etkili olabilir. Rüzgarın varlığı, oluşan sis tabakasını dağıtarak koruyucu etkisini ortadan kaldırır. Benzer şekilde, **adveksiyon tipi donlar** gibi hava kütlesi kaynaklı ani sıcaklık düşüşlerinde etkili değildir.

Sistemin başarılı olması için: Sis yoğunluğunun yeterli olması, gece boyunca kalıcı olması, lanın düz ve hava sirkülasyonunun sınırlı olması gerekir.

Avantajlar

- Düşük enerji tüketimi (özellikle modern otomatik sistemlerde).
- Suyun düşük debide kullanılması.
- Mikroklima üzerinde doğrudan etkili olabilir.
- Sulama gibi su birikimi oluşturmaz; bu da toprağın yapısını korur.

Dezavantajlar ve Sınırlamalar

- **Rüzgârlı hava koşullarında etkisizdir.**
- Sis tabakası yeterince kalıcı değilse etkisi sınırlı olur.
- Aşırı nem, mantar hastalıklarını tetikleyebilir.
- Yüksek kurulum maliyetleri ve teknik uzmanlık gerektirebilir.

Tablo 7. Sisleme Sistemlerinin Özellikleri

Özellik	Değerlendirme
Etki Mekanizması	Radyatif ısı kaybını engelleme
Uygulama Alanı	Küçük – Orta ölçekli bahçeler
Su Tüketimi	Düşük (0.5–2 mm/saat)
Enerji Gereksinimi	Orta
Etkinlik	Hafif donlarda etkili, rüzgarda yetersiz
Hastalık Riski	Nem artışı nedeniyle orta-yüksek

Uygulama Örnekleri

- **Yeni Zelanda ve Fransa**'da yüksek değerli bağcılık alanlarında sisleme sistemleri entegre şekilde kullanılmaktadır.
- **Türkiye**'de yaygın olmamakla birlikte, modern bahçelerde otomatik sisleme sistemleri kurulumu denenmektedir.
- Geleneksel duman üretme yöntemi ise geçmişte küçük aile işletmelerinde yaygın olarak uygulanmıştır ancak bugün hem etkinliği hem de çevresel etkileri nedeniyle terk edilmektedir.

6. Aktif Yöntemlerin Etkililiği ve Karşılaştırılması

Don zararını önlemeye yönelik aktif yöntemler, farklı teknik özelliklerle, işletme koşullarına ve maliyet yapılarına sahiptir. Bu yöntemlerin hangi koşullarda etkili olduğu, saha deneyimleri ve bilimsel verilerle değerlendirildiğinde, üreticilerin karar alma süreçlerinde önemli bir yol gösterici olmaktadır. Ancak yöntemlerin başarısı; **donun tipi, bitki türü, bahçenin büyüklüğü, bölgesel iklim koşulları ve ekonomik olanaklar** gibi çok sayıda

değişkene bağlı olarak farklılık göstermektedir (Snyder & Melo-Abreu, 2005).

Bu nedenle aktif yöntemlerin bütüncül olarak analiz edilmesi, **entegre stratejilerin** geliştirilmesine de olanak sağlayacaktır. Aşağıda, bu yöntemlerin karşılaştırmalı değerlendirmesi sunulmuştur.

6.1 Karşılaştırmalı Teknik Analiz (Tablo 8)

Tablo 8. *Aktif Yöntemleri Teknik açıdan karşılaştırılması*

Yöntem	Etkililik (°C koruma)	Enerji / Kaynak Gereksinimi	Maliyet	Uygulama Kolaylığı	Etki Alanı	Uygun Don Tipi
Isıtma Sistemleri	2–4 °C	Yüksek (yakıt)	Yüksek	Orta	Orta	Radyasyon
Rüzgar Makineleri	1–2.5 °C	Orta (yakıt/elektrik)	Yüksek	Orta	Geniş	Radyasyon (inversiyon)
Helikopter Kullanımı	1–3 °C	Yüksek (havacılık)	Çok Yüksek	Düşük	Çok Geniş	Radyasyon (büyük alan)
Su ile Koruma	0–1.5 °C	Yüksek (su)	Orta	Orta-zor	Orta	Radyasyon
Termal Örtüler	2–4 °C	Yok	Düşük	Kolay	Küçük-Orta	Hafif-orta don
Kimyasal Maddeler	0.5–2 °C (koşullu)	Düşük (ilaç)	Düşük–Orta	Kolay	Orta	Hafif don
Sisleme Sistemleri	0.5–1 °C	Orta (su/basınç)	Orta	Zor	Küçük–Orta	Radyasyon (rüzgarsız)

6.2 Yöntemlerin Avantaj ve Dezavantajlarının Özet Değerlendirmesi (Tablo 9)

Tablo 9. *Aktif Yöntemlerin Avantaj ve Dezavantajlarının Karşılaştırılması*

Yöntem	Başlıca Avantajları	Temel Sınırlamaları
Isıtma Sistemleri	Hızlı müdahale, doğrudan sıcaklık artışı	Yakıt maliyeti yüksek, emisyon riski, çevresel etki
Rüzgar Makineleri	Geniş alanı kapsar, otomasyonla entegre edilebilir	Yüksek kurulum maliyeti, rüzgarlı havalarda etkisiz
Helikopter	Çok geniş alanda etkili, hızlı müdahale	Yüksek işletme ve lojistik maliyeti, güvenlik sorunları
Su ile Koruma	Bilimsel temeli güçlü, sürekli uygulamayla etkili	Su kesilirse daha büyük zarar, altyapı gerektirir
Termal Örtüler	Uygulaması kolay, düşük maliyetli, tekrar kullanılabilir	Geniş alanlarda iş gücü gereksinimi
Kimyasallar	Düşük maliyet, fenolojik esneklik	Etkililik sınırlı, fitotoksiste riski
Sisleme	Enerji verimli, mikroklima etkisi yaratır	Sadece belirli hava koşullarında etkili

6.3 Kombine Yöntem Kullanımı

Birçok üretici, tek bir yöntemin sınırlı etkililiği nedeniyle **hibrit (kombine) sistemler** kullanmayı tercih etmektedir. Örneğin:

- **Fan + Isıtma sistemi** kombinasyonu, sıcak hava akımını destekleyerek daha geniş ve etkili bir ısı dağılımı sağlar.
- **Yağmurlama + Termal örtü**, fidan dikim alanlarında hem dış ortam kontrolü hem de fiziksel koruma sağlar.
- **Kimyasal + fiziksel** stratejilerle çiçeklenme geciktirilip üzerine koruyucu örtü yerleştirilebilir.

Bu kombinasyonlar, özellikle **iklim değişikliği koşullarında artan don frekansı ve öngörülemezlik** nedeniyle daha sürdürülebilir çözümler sunmaktadır (Luedeling, 2012).

6.4 Yöntem Seçiminde Karar Kriterleri

- **Don tipinin belirlenmesi (radyasyon vs adveksiyon)**
- **Alan büyüklüğü ve topografya**
- **Su ve enerji kaynaklarının erişilebilirliği**
- **Bitki türü ve fenolojik evresi**
- **Yatırım ve işletme bütçesi**
- **İklim değişkenliği tahminleri**

Donla mücadelede başarı, sadece yöntemin teknik yeterliliğine değil, **uygun koşulda, doğru zamanlamayla, yeterli kapasitede uygulanmasına** da bağlıdır (Sánchez et al., 2018).

7. İklim Değişikliği Bağlamında Aktif Yöntemlerin Önemi

Küresel iklim değişikliği, sadece ortalama sıcaklıkların artmasına değil, aynı zamanda iklimsel değişkenliğin artmasına ve aşırı hava olaylarının sıklığında ciddi bir artışa neden olmaktadır. Bu kapsamda, özellikle ılıman ve karasal iklim kuşağında bulunan bölgelerde **don olaylarının zamanlamasında, şiddetinde ve öngörülebilirliğinde önemli değişiklikler** gözlemlenmektedir (IPCC, 2021). Bu değişim, tarımsal üretimin en hassas bileşenlerinden biri olan meyve ağaçları için hem kısa hem de uzun vadeli ciddi tehditler oluşturmaktadır.

7.1 Değişen Don Dinamikleri

İklim değişikliği, don olaylarının tamamen ortadan kalkması yerine, çoğu bölgede bu olayların **mevsim dışı** ve **daha öngörülemez** hale gelmesine yol açmaktadır. Örneğin, kış aylarının ortalama sıcaklıklarının artması sonucunda:

- Bitkiler daha erken uyanmakta,
- Tomurcuklar daha erken gelişmekte,
- Bu durum, **erken çiçeklenme – geç don** çakışmasını artırmaktadır (Luedeling, 2012).

Dolayısıyla geçmişte nadiren yaşanan zararlı don olayları, günümüzde daha sık ve yıkıcı şekilde tarımı etkilemektedir. Bu özellikle **kayısı, şeftali, badem** gibi erken çiçeklenen türlerde büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Eccel et al., 2009).

7.2 Pasif Yöntemlerin Yetersizliği

Geleneksel pasif yöntemler —örneğin eğim seçimi, geç çiçeklenen çeşit kullanımı gibi— iklimsel belirsizliğin bu denli arttığı bir ortamda **tek başına yeterli koruma sağlamaktan uzak hale gelmiştir**. Bu yöntemler, yalnızca sabit iklim desenlerine sahip bölgelerde etkili olabilmektedir.

Bu nedenle, ani don riski taşıyan senaryolarda:

- Gerçek zamanlı müdahale imkânı sunan,
- Hava koşullarına göre ayarlanabilen,
- Mekanik, su veya ısı enerjisi temelli **aktif yöntemlere yönelmek** bir zorunluluk haline gelmiştir.

7.3 Aktif Yöntemlerin Stratejik Önemi

İklim değişikliğinin etkilerine karşı dirençli bir tarım yapısının kurulmasında aktif yöntemlerin rolü çok yönlüdür:

Uyarlanabilirlik

Aktif sistemler, değişken hava koşullarına karşı **anlık müdahale** şansı tanır. Bu da değişen iklim koşullarında, esnek ve hızlı koruma sağlayabilen sistemlerin önemini artırır.

Dijitalleşme ve Otomasyonla Entegrasyon

Modern aktif sistemler artık **erken uyarı sistemleri, otomatik sıcaklık sensörleri, IoT tabanlı kontrol panelleri** ile donatılmakta; bu da verimliliği artırırken insan hatasını azaltmaktadır (Gerard et al., 2021).

Yüksek Katma Değerli Üretimi Koruma

İklim değişikliğinin en fazla etkilediği ürün gruplarından biri olan meyveler, özellikle ihracata konu olan çeşitlerde **ulusal ekonomiye ciddi katkı sunmaktadır**. Bu ürünlerin üretim güvenliğinin sağlanması, aktif don koruma yatırımlarını stratejik hale getirmektedir.

7.4 Politika ve Destekleme Açısından Yeni Gereklilikler

İklim değişikliğinin don olaylarını artırıcı etkisi, sadece teknik değil, aynı zamanda **politik ve ekonomik** düzeyde de aktif koruma yöntemlerine yönelimi gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda:

- Tarımsal sigorta sistemlerinin kapsamı genişletilmeli,
- Don koruma sistemlerinin kuruluşu için **devlet destekli teşvikler** sağlanmalı,
- Kırsal kalkınma projeleri içinde aktif don koruma yatırımları teşvik edilmelidir.

Avrupa Birliği, Avustralya, ABD ve Şili gibi ülkelerde, bu tür teşviklerin don riskine açık bölgelerde üreticilerin sistem kurulumlarını hızlandırdığı ve verim kayıplarını azalttığı gösterilmiştir (Sánchez et al., 2018).

9. Sonuç ve Öneriler.

Meyve ağaçlarının geç don olaylarından korunması, iklim değişikliğinin ve üretim risklerinin arttığı günümüzde, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından stratejik bir öncelik haline gelmiştir. Bu çalışma kapsamında, özellikle donla mücadelede aktif yöntemlerin bilimsel temelleri, teknik özellikleri, saha uygulamaları ve karşılaştırmalı etkinlikleri ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir.

Don olayları, meyve üretimini doğrudan etkileyen, çoğunlukla geri döndürülemez zararlar meydana getiren iklimsel bir risktir. Özellikle erken çiçeklenen türlerde, sıcaklıkların 0 °C'nin altına düştüğü durumlarda meydana gelen fizyolojik tahribatlar, hem mevcut yılın hem de izleyen sezonların verimini ciddi ölçüde düşürebilmektedir. Bu zararın boyutu, donun tipi (radyasyon, adveksiyon veya karma), süresi, bitkinin fenolojik evresi ve bölgesel mikroklima koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Aktif don koruma yöntemleri, bu koşullara karşı doğrudan müdahale imkânı sunan tekniklerdir. Çalışmada ele alınan başlıca aktif yöntemler —ısıtma sistemleri, rüzgar makineleri, helikopter kullanımı, su temelli koruma sistemleri, termal örtüler, kimyasal uygulamalar ve sisleme sistemleri— her biri farklı don türlerine, bitki yapılarına ve üretim ölçeklerine göre değişen düzeylerde etki göstermektedir. Yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki- Isıtma sistemleri doğrudan sıcaklık artışı sağlasa da yüksek maliyet ve yakıt tüketimi nedeniyle sürdürülebilirliği sorgulanmaktadır.

- Rüzgar makineleri, inversiyon koşullarında geniş alanlarda etkili olurken, helikopter kullanımı yalnızca büyük ölçekli ticari işletmelere uygundur.

- Su ile koruma yöntemleri, bilimsel temeli en sağlam olanlardan biridir; ancak uygulama riski ve su bağımlılığı dikkatle yönetilmelidir.

- Termal battaniyeler ve örtüler düşük maliyetli ve lokal çözümler sunarken, kimyasal uygulamalar genellikle tamamlayıcı olarak kullanılmaktadır

- Sisleme sistemleri, belirli mikroklima koşullarında fayda sağlayabilir; ancak rüzgâr ve nem kontrolü kritik sınırlayıcı faktörlerdir.

Ayrıca çalışmada vurgulanan en önemli temalardan biri, iklim değişikliği ile birlikte don olaylarının doğasının değişmekte olduğudur. Artan sıcaklık dalgalanmaları, erken çiçeklenme ve geç don riskini daha da artırmakta; bu da üreticilerin sadece pasif önlemlerle değil, proaktif ve teknoloji temelli çözümlerle korunma stratejileri geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda temel öneriler:

1. Yöntem seçiminde esneklik: Tek yöntem yerine entegre sistemler önerilmelidir.

2. Erken uyarı sistemleri ile otomasyon: İnsan hatası minimize edilmelidir.

3. Eğitim ve teşvik: Üreticiler desteklenmelidir.

4. Ar-Ge yatırımları artırılmalıdır.

5. Tarımsal sigorta ve kamu politikaları aktif korumayı içermelidir.

Sonuç olarak, aktif yöntemler iklim değişikliğine karşı dirençli, sürdürülebilir ve ileriye dönük tarım uygulamalarının temel bileşenleri arasında yer almaktadır.

KAYNAKLAR

- Ashworth, E. N., & Stirm, V. E. (1990). Seasonal variations in freeze tolerance of woody plants. *HortScience*, 25(5), 503–506.
- Eccel, E., Rea, R., Caffarra, A., & Crisci, A. (2009). Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios. *Science of The Total Environment*, 407(26), 691–701. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.023>
- FAO. (2005). *Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics* (Vol. I & II). FAO Plant Production and Protection Paper No. 170. <https://www.fao.org/3/y7223e/y7223e00.htm>
- Gerard, P. D., Karunasena, H., & Hoogenboom, G. (2021). Modelling of frost mitigation measures in orchards using microclimate simulations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 296, 108221. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108221>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production. *Scientific Reports*, 2, 00252. <https://doi.org/10.1038/srep00252>
- Martínez-Casasnovas, J. A., Ramos, M. C., & Ribes-Dasi, M. (2010). Analysis of frost risk in fruit tree orchards using digital terrain models. *Biosystems Engineering*, 107(2), 116–124. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.07.004>
- Rodrigo, J. (2000). Spring frosts in deciduous fruit trees—morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, 85(3), 155–173. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00152-4)
- Sánchez, E., Medrano, H., Bota, J., & Gimeno, V. (2018). Innovative frost protection strategies in fruit orchards. *Acta Horticulturae*, 1195, 35–42. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1195.5>
- Snyder, R. L., & Melo-Abreu, J. P. (2005). *Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics* (Vol. 1 & 2). FAO Plant Production and Protection Paper No. 170.
- TÜİK. (2014). Tarımsal Üretim İstatistikleri – Malatya Kayısı Raporu
- Wisniewski, M., Glenn, D. M., & Gusta, L. V. (2003). Use of antifreeze proteins to modify freezing stress responses. *HortScience*, 38(7), 1333–1336.
- Wisniewski, M., Webb, R., Balsamo, R., Close, T., Yu, X. M., Griffith, M., & Gusta, L. V. (1996). Control of ice nucleation in plants and frost damage: Role of antifreeze proteins. *Plant Physiology*, 111(2), 327–334. <https://doi.org/10.1104/pp.111.2.327>