

Haziran, 2026

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA TEORİ VE UYGULAMALAR

EDİTÖRLER

PROF. DR. NİGAR YARPUZ BOZDOĞAN
DOÇ. DR. HİKMET YAZICI

Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Teori ve Uygulamalar

Editörler

Prof. Dr. Nigar Yarpuz Bozdoğan

Doç. Dr. Hikmet Yazıcı

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editörler
Prof. Dr. Nigar Yarpuz Bozdoğan & Doç. Dr. Hikmet Yazıcı

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Haziran, 2026

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-8513-88-2

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480,
Mamak, Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

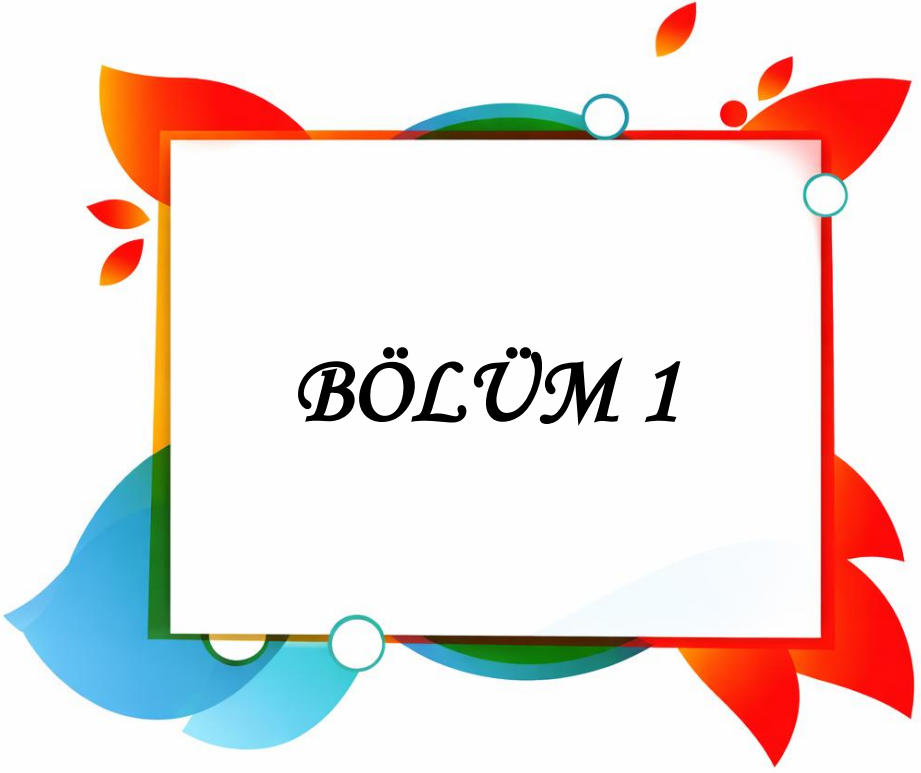
İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....	5
Tarla Bitkileri Üretiminde Zararlılarla Organik Mücadelede Ekolojik Yoğunlaştırma, Biyolojik Ajanlar ve Bitkisel Kökenli Yaklaşımlar	
Birol Taş	
BÖLÜM 2.....	17
Kinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)’nın Mikroçoğaltımı	
Şeyma Doğancı & Sevil Sağlam Yılmaz	
BÖLÜM 3.....	37
Lavanta (<i>Lavandula</i> spp.)’nın Mikroçoğaltımı	
Büşra Avcı Yurtdaş & Sevil Sağlam Yılmaz	
BÖLÜM 4.....	57
Deniz Üstü Rüzgâr Enerji Santralleri (Düres) ile Balıkçılık Faaliyetleri Arasındaki Olası Etkileşimler	
Adnan Tokaç	
BÖLÜM 5.....	63
Kök Akıntılarının Rizosferdeki Bitki–Fungus İlişkilerindeki Rolü	
Ömer Ümit Okçu & Nuray Özer	
BÖLÜM 6.....	89
Hünnapta (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) Fungal ve Oomycete Hastalık Etmenleri: Etmen Çeşitliliği, Tanılama ve Epidemiyolojik Özellikler	
Nuray Özer & Ömer Ümit Okçu	
BÖLÜM 7.....	115
<i>Hedera helix</i> L. (Duvar Sarmaşığı): İstilacı Dinamikleri, Fitokimyasal Potansiyeli ve Entegre Yabancı Ot Yönetimi	
Alper Sezgin & Ayşe Yazlık	
BÖLÜM 8.....	137
Dağlık Alanlarda Turizm Uygunluk ve Rota Optimizasyonu İçin Karar Destek Modeli	
Volkan Deneri & Şehriban Şahan	

BÖLÜM 9..... 171

Amarant (*Amaranthus spp.*)’ın Mikroçoğaltımı

Mustafa Doğan & Sevil Sağlam Yılmaz



BÖLÜM 1

Tarla Bitkileri Üretiminde Zararlılarla Organik Mücadelede Ekolojik Yoğunlaştırma, Biyolojik Ajanlar ve Bitkisel Kökenli Yaklaşımlar

Birol Taş¹

Giriş

Tarla bitkileri üretiminde zararlı yönetimi yaklaşımı uzun yıllar boyunca, çoğunlukla sentetik pestisit uygulamalarına dayanmıştır. Ancak özellikle tahıllar ve yağ bitkilerinin yetiştiriciliğinde, zararlı yönetiminin yalnızca tarla içi uygulamalara indirgenmesi çoğu durumda yeterli olmamakta, ürün çeşitlendirmesi ve doğal yaşam alanının kesintiye uğramadan, bölünmeden ve bütüncül bir şekilde var olmaya devam ettiği düşüncesiyle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Stell ve ark., 2022; Rakotomalala ve ark., 2023; Jachowicz ve Sigsgaard, 2025).

Tarımda zararlı böceklerle karşı uygulanacak organik mücadele yönetimi, öncelikle ekim alanının uygun biçimde düzenlenmesine ve diğer kontrol uygulamaları yoluyla zararlıların yaşam alanının manipüle edilmesine dayanır (Zehnder ve ark. 2007). Bu manipülasyonların, zararlıların gelişimini ve çoğalmasını sınırlandırırken, bitkinin büyüme ve gelişmesini destekleyecek şekilde planlanması gerekmektedir. Bitki lehine gerçekleştirilecek uygulamalarda, bitkilerin biyolojik aktivitesi yüksek ve sağlıklı topraklarda yetiştirilmesi, ayrıca özellikle su stresi başta olmak üzere bitkide stres oluşturan olumsuzlukların en aza indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Çünkü bitkiler büyüme koşullarının optimal olmadığı koşullarda hastalık etmenleri ve zararlı böceklerin neden olduğu sorunlara karşı daha duyarlı hâle gelmektedir. Bununla birlikte, sağlıklı bir bitki yetiştiriciliğinde tek unsur yalnızca sağlıklı toprak değildir; uygun çeşit seçimi, dengeli besleme, ekim nöbeti, faydalı organizmaların korunması ve tarla içi biyolojik çeşitliliğin artırılması da organik mücadelede başarıyı destekleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır.

¹ Prof. Dr., Kurum Bilgisi: Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, ORCID: 0000-0003-4975-0278

Tarımda zararlı böceklerle organik mücadele sürecinde, ürünlere zarar veren organizmaların baskı altında tutulmasında **Entegre Zararlı Yönetimi (EZY)** yaklaşımının esas alınması son derece önemlidir. EZY, zararlı böceklerin, yabancı otların ve hastalık etmenlerinin yönetiminde; ekolojik süreçleri, doğal dengeyi ve çevreye duyarlı mücadele yöntemlerini esas alan bütüncül bir yaklaşımdır. Bu bağlamda EZY, zararlıların tamamen ortadan kaldırılmasını değil, popülasyonlarının ekonomik açıdan kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulmasını hedeflemektedir. Bu yaklaşım, zararlı yönetiminde en uygun yöntemin tek başına kimyasal müdahale olmadığını; öncelikle kültürel, biyolojik, mekanik ve diğer çevre dostu uygulamaların da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle yetiştiriciler, doğal süreçleri merkeze alan ve çevreye en az zarar veren yöntemlerden başlayarak, zararlı baskısının şiddetine göre mücadele tedbirlerini aşamalı biçimde artırmalıdır (Stern ve ark. , 1959)

EZY'nin kuramsal ve uygulamalı temelini, Ekonomik Zarar Seviyesi (EVS) ile Ekonomik Zarar Eşiği (EE) kavramları oluşturmaktadır. EVS, üründe ekonomik kayba yol açabilecek en düşük zararlı popülasyon yoğunluğu olarak (Pedigo vd, 1986), EE ise, zararlı popülasyonunun ekonomik zarar seviyesine ulaşmasından önce müdahalenin başlatılmasını gerekli kılan kritik yoğunluk düzeyi olarak tanımlanmaktadır. Bu çerçevede Stern ve arkadaşları (1959), ekonomik zarar düzeyine ulaşılmadan önce kontrol önlemlerinin devreye alınması gerektiğini vurgulayarak, eşik temelli karar verme yaklaşımının entegre mücadelede merkezi bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Sonraki çalışmalar da ekonomik zarar eşiği yaklaşımının, gereksiz pestisit kullanımını azaltması, doğal düşmanların korunmasına katkı sağlaması ve agroekosistemde ki biyolojik dengenin sürdürülmesine destek vermesi bakımından EZY'nin temel taşlarından biri olduğunu göstermiştir (Higley ve Pedigo,1993)

Organik üretim sistemleri açısından değerlendirildiğinde ise EZY, yalnızca zararlı popülasyonunun izlenmesine dayanan teknik bir karar mekanizması olmayıp, aynı zamanda üretim alanının ekolojik dayanıklılığını artırmayı amaçlayan bir yönetim anlayışıdır. Bu nedenle:

- Ekim nöbeti uygulamaları,
- Dayanıklı çeşit kullanımı,
- Habitat yönetimi,
- Faydalı organizmaların korunması,
- Uygun sulama uygulamaları,

organik zararlı yönetiminin ayrılmaz bileşenleri arasında yer almaktadır. Özellikle zararlıların yaşam döngüsü, çoğalma dinamikleri ve tarla ekosistemindeki doğal düşmanlarla olan ilişkileri dikkate alınarak yürütülen izleme ve değerlendirme çalışmaları, müdahalenin zamanı ve düzeyinin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Böylece organik mücadelede amaç,

yalnızca mevcut zararlıyı baskı altına almak değil, aynı zamanda zararlı salgınlarını teşvik eden ekolojik dengesizlikleri en aza indirerek sürdürülebilir bir üretim sistemini oluşturmaktır.

Güncel literatürde organik mücadele- bu yoğunlukla koruyucu biyolojik mücadele olarak da adlandırılır- zararlı yönetimi, seçici biyolojik girdiler ve kültürel önlemlerin birlikte kurgulandığı bir sistem olarak ele alınmaktadır. Stell ve arkadaşlarına (2022) göre koruyucu biyolojik mücadele, ürüne has veya ürün ile ilgisi olmayan zararlıların uzamsal-zamansal düzenlenmesi yoluyla doğal düşman popülasyonlarını desteklemeyi ve böylece zararlıları ekonomik eşiklerin altında tutmayı hedefler. Rakotomalala ve arkadaşları (2023) birlikte ekimin faydalı artropodları artırıp zararlı yoğunluğunu azaltabildiğini, Jachowicz ve Sigsgaard (2025) ise tarla kenarında veya içerisinde oluşturulacak çiçek şeritlerinin doğal düşmanları anlamlı biçimde artırdığını göstermektedir. Bu nedenle tarla bitkilerinde organik mücadele, tek bir preparata dayalı değil, ekosistem işlevlerini aynı anda güçlendiren çok bileşenli bir tasarım olarak anlaşılmalıdır. Bu çerçevede tarla bitkilerinde özellikle önemlidir; çünkü zararlı baskısı çoğu zaman yalnızca tarla içi uygulamalarla açıklanamaz. Salat-Moltó ve arkadaşları (2023), Akdeniz koşullarında tahıl alanlarında çevredeki organik üretim yapan tarlaların oranı arttıkça yaprakbiti parazitlenmesinin yükseldiğini göstermiştir. Aynı çalışmada yaprakbiti yoğunluğunun daha çok tarla içi faktörler, özellikle ürün yoğunluğu ve çeşit özellikleri tarafından şekillendiği bildirilmiştir. Bu bulgu, organik mücadelede “tarla ölçeği” ile “peyzaj ölçeği” arasında iş bölümü bulunduğunu; zararlının baskılanmasının doğal düşmanların hareketliliği ve çevredeki organik altyapı ile değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Salat-Moltó ve ark., 2023).

Tarla bitkileri, geniş alanlarda yetiştirilmeleri, yoğun mekanik işlemlere maruz kalmaları ve yıl içi vejetasyon sürelerinin sınırlı olması nedeniyle organik mücadele açısından özel güçlükler taşır. Özellikle tahıllar (özellikle buğday, arpa, yulaf, mısır, çeltik) ve yağ bitkileri(özellikle ayçiçeği, kolza, susam, soya) gibi yıllık ürünlerde ürünün homojenliği ve sık yapılan kültürel işlemler, doğal düşman topluluklarının sürekliliğini sınırlandırabilmektedir. Bu nedenle tarla bitkilerinde organik mücadelede başarı, yalnızca “zararlı görüldüğünde uygulama yapmak” ile değil; ekim sistemi tasarımından tarla kenarı habitatlarına, toprak verimliliğinden uygulama zamanlamasına kadar uzanan bütüncül bir ekolojik yoğunlaştırma yaklaşımı ile ilişkilidir (Stell ve ark., 2022; Jachowicz ve Sigsgaard, 2025).

Habitat Yönetimi ve Koruyucu Biyolojik Mücadele

Çiçek şeritleri ve tarla kenarı habitatları, organik mücadelede en sık önerilen ekolojik mühendislik araçlarındandır. Bununla birlikte güncel veriler, bu araçların etkisinin otomatik ve doğrusal olmadığını göstermektedir. Jachowicz ve Sigsgaard’ın (2025) tek yıllık tarla bitkilerinde yaptıkları meta-analize göre, çiçek

şeritleri faydalı böceklerin sayısını %48 artırmaktadır; ancak zararlıları azaltma başarısı her zaman aynı değildir. Asıl önemli olan "hangi çiçekleri ve kaç farklı türü ektiğidir. Çünkü farklı türler farklı doğal düşmanların da ortaya çıkmasını sağlayacaktır (Jachowicz ve Sigsgaard, 2025).

Buna karşılık, her çiçek şeridi tasarımı her zararlı grubu için üstün sonuç vermemektedir. Rodenwald ve arkadaşları (2023), konvansiyonel tahıl alanlarında hem çiçek şeritlerinin hem de çimsi kalıcı tarla kenarlarının, yaprak böcekleri üzerinde biyolojik mücadeleyi güçlendirebildiğini; fakat yaprakbitleri açısından aynı düzeyde bir iyileşme sağlamadığını bildirmiştir. Dahası, bu çalışmada yaprakbiti parazitlenmesinin çiçek şeritlerinden ziyade çimsi şeritlerin yanında daha yüksek olabildiği gösterilmiştir. Bu sonuç, organik mücadelede “çiçek şeridi eklemek” yerine mevcut yarı-doğal habitatları korumanın ve hedef zararlı-doğal düşman ilişkisini dikkate almanın daha savunulabilir bir yaklaşım olabileceğini düşündürmektedir (Rodenwald ve ark., 2023).

Mısır özelinde yapılan çalışmalar da habitat tasarımının ayrıntılarının önemli olduğunu göstermektedir. Li ve arkadaşları (2024), 2 m, 4 m ve 6 m genişliğindeki çiçek şeritlerinin mısır tarlalarında örümcek ve karabiti topluluklarını farklı biçimlerde etkilediğini; şerit kenarında örümcek yoğunluğunun hem 2021 hem 2022 yıllarında bitişik tarım alanına göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Aynı çalışmada 4 m ve 6 m genişliğindeki şeritlerin karabiti topluluk yapısını 2 m şeritlerden daha belirgin biçimde farklılaştırdığı saptanmıştır. Bu bulgu, organik mücadelede habitat yönetiminin yalnızca “var/yok” düzeyinde değil, şerit genişliği ve bileşim gibi tasarım parametreleri üzerinden optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir (Li ve ark., 2024).

Çeşitlendirilmiş Ekim Sistemleri ve Birlikte Ekim

Tarla bitkilerinde organik mücadelede en güçlü ve en tutarlı araçlardan biri ürün çeşitlendirmesidir. Rakotomalala ve arkadaşlarının (2023), 18 ülkeden 63 makaleyi içeren sistematik derleme ve meta-analizi, birlikte ekimin faydalı artropodları artırdığını ve zararlı yoğunluğunu azalttığını ortaya koymuştur. Aynı çalışma, tahıl-baklagil kombinasyonlarının tahıl-tahıl kombinasyonlarından daha etkili olduğunu, sıra veya şerit düzenindeki birlikte ekimlerin de karışık ya da relay sistemlere kıyasla daha güçlü biyolojik mücadele çıktıları ürettiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, organik üretimde çeşitlendirme kararlarının yalnızca agronomik değil, trofik ağ mantığıyla da planlanması gerektiğini düşündürmektedir (Rakotomalala ve ark., 2023). Bu genel eğilim, tür ve sistem bazlı çalışmalarla da desteklenmektedir. Hatt ve Döring (2025), Almanya’da iki yıllık bir tarla denemesinde bakla-buğday ile haşhaş-arpa birlikte ekimini çok yıllık çiçek şeritleriyle birleştirdiklerinde, özellikle çiçek şeritlerine 10 m mesafede yaprakbiti predasyonunun (bir canlının başka bir canlıyı avlayarak tüketmesi) arttığını ve yaprakbiti kolonizasyonunun azaldığını göstermiştir. Aynı çalışmada birlikte ekimin yabancı ot biyokütlesini sürekli biçimde düşürdüğü ve

arazi eşdeğerlik oranının 1'in üzerinde kaldığı, en yüksek değerin ise birlikte ekim ile çiçek şeritlerinin beraber kullanıldığı sistemde gözlemlendiği bildirilmiştir. Bu sonuç, organik mücadelede çeşitlendirmenin yalnızca zararlı baskısı değil, toplam sistem verimliliği bakımından da savunulabilir olduğunu ortaya koymaktadır (Hatt ve Döring, 2025).

Benzer şekilde, Saleem ve arkadaşları (2025) Pakistan'da organik ve konvansiyonel koşullarda yürüttükleri denemelerde buğdayın kanola ile birlikte ekilmesinin yaprakbiti popülasyonlarını azalttığını ve bunun doğal düşman bolluğu ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Çalışmada organik ve çeşitlendirilmiş sistemlerde biyolojik mücadelenin daha güçlü olduğu özellikle vurgulanmıştır. Bu bulgu, organik tarımda birlikte ekimin yalnızca tür sayısını artırarak değil, çiçeksel kaynaklar ve av/prey sürekliliği sağlayarak “düşman hipotezini” güçlendirdiğini düşündürmektedir (Saleem ve ark., 2025).

Yağ bitkilerinde de benzer yararlar rapor edilmiştir. Järvinen ve arkadaşları (2023), baharlık şalgam yağ bitkisi ile baklanın birlikte ekildiği sistemlerde zararlı bolluğunun monokültüre göre daha düşük olduğunu; baskın genel avcı grupların ise karabitle ve örümcekler olduğunu bildirmiştir. Breitenmoser ve arkadaşları (2022) ise kışlık kanolada eşlikçi bitkiler kullanılan sistemlerde bitki başına lahana sap gizli böceği larvasının yaklaşık 1,5 kat, *Ceutorhynchus napi* kaynaklı bitki zararının yaklaşık 5 kat ve *Brassicogethes aeneus* yakalanma düzeyinin yaklaşık 2 kat azaldığını göstermiştir. Bu sonuçlar, organik mücadelede birlikte ekimin yalnızca tahıllar için değil, yağ bitkilerinde de işlevsel bir strateji olduğunu göstermektedir (Breitenmoser ve ark., 2022; Järvinen ve ark., 2023).

Mikrobiyal Biyopestisitler ve Entomopatojenler

Organik mücadelede biyolojik ajanların önemi yalnızca habitat yönetimi ile sınırlı değildir; doğrudan uygulanan mikrobiyal etmenler de özellikle yüksek baskı yapan zararlılarda önemli bir tamamlayıcıdır. Tarla bitkilerinde bu konuda en dikkat çekici saha kanıtları, mısırdaki derin yaprak hunisi içinde beslenen sonbahar yaprak kurduna karşı geliştirilen hedefe yönelik uygulamalardan gelmektedir. Azazy ve arkadaşları (2025), yaprak hunisine uygulanan entomopatojen nematod, bakteri ve fungus temelli preparatların tarla koşullarında anlamlı baskılama sağlayabildiğini göstermiştir. Bu bulgu, organik mücadelede biyolojik girdilerin etkisinin yalnızca etken madde seçimine değil, zararlıların beslendiği mikrohabitate uygun uygulama biçimine de bağlı olduğunu göstermektedir (Azazy ve ark., 2025).

Azazy ve arkadaşları (2025), mısır tarlasında yaprak yüzeyine uygulanan entomopatojen ajanların sonbahar yaprak kurdu üzerindeki etkisini karşılaştırmış ve *Steinernema carpocapsae* uygulamasının 2022'de 5 ve 10 gün sonunda sırasıyla yüzde 80,3 ve yüzde 92,7; 2023'te ise yüzde 90,1 ve yüzde 93,3 oranında larva azalması sağladığını bildirmiştir. Aynı çalışmada *Bacillus thuringiensis*

subsp. kurstaki temelli ürünlerin yüzde 76,9-84,5; *Beauveria bassiana* temelli ürünün ise yaklaşık yüzde 70,9-73,8 oranında azalma sağladığı gösterilmiştir. Bu veriler, organik mücadelede mikrobiyal ajanların etkinliğinin yalnızca etken maddeye değil, zararlının beslendiği mikrohabitate uygun uygulama biçimine de bağlı olduğunu göstermektedir (Azazy ve ark., 2025).

Bu derlemede değerlendirilen doğrudan saha çalışmalarının önemli bir bölümü mısır-sonbahar yaprak kurdu sistemi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu durum, entomopatojen ve biyopestisit uygulamaları için mısırdaki güçlü bir kanıt tabanı oluşmaya başladığını; buna karşılık diğer tarla bitkileri ve farklı zararlı kompleksleri için daha fazla çok yıllık ve karşılaştırmalı saha çalışmasına ihtiyaç bulunduğunu düşündürmektedir (Bayissa ve ark., 2023; Chawanda ve ark., 2023; Gebreziher ve Gebreazgaabher, 2024; Azazy ve ark., 2025).

Bitkisel Kökenli Ürünler, Toprak Yönetimi ve Agroekolojik Uygulamalar

Bitkisel kökenli preparatlar, yerel erişilebilirlikleri ve organik sistemlerle uyumları nedeniyle özellikle küçük ve orta ölçekli tarla bitkisi üreticileri için dikkat çekici araçlardır. Chawanda ve arkadaşları (2023), mısırdaki sonbahar yaprak kurduna karşı yaprak hunisine uygulanan farklı toprak tipleri ve odun külünün larva sayısı ile yaprak zararını yaklaşık yüzde 50 oranında azaltabildiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada kül ve toprak uygulamalarının verimi işlenmemiş kontrole göre yüzde 24-36 artırdığı; neem, tütün, limon otu ve *Lippia javanica* temelli toz ve ekstraktların da larva sayısını ve yaprak zararını anlamlı biçimde azalttığı gösterilmiştir. Bu sonuç, organik mücadelede düşük maliyetli yerel materyallerin, doğru zamanlama ile kullanıldığında güçlü bir “ilk savunma hattı” oluşturabileceğini göstermektedir (Chawanda ve ark., 2023).

Organik zararlı yönetiminde toprak verimliliği uygulamalarının rolü de giderek daha netleşmektedir. Bayissa ve arkadaşları (2023), Etiyopya’da yürüttükleri çalışmada yüzde 100 mısır artık yönetiminin sonbahar yaprak kurdu bulaşıklığını Mana bölgesinde yüzde 26,4’ten yüzde 15,4’e, Omo Nada’da ise yüzde 42,5’ten yüzde 24,1’e düşürdüğünü göstermiştir. Aynı çalışmada çim çatı altında depolanan çiftlik gübresi kullanılan parsellerde bulaşıklığın Mana’da yüzde 10,8’e ve Omo Nada’da yüzde 22’ye kadar gerilediği; gübre uygulanmayan parsellerde ise bu oranların sırasıyla yüzde 37,3 ve yüzde 54,5 olduğu bildirilmiştir. Bu veriler, organik mücadelede bitki besleme ve artık yönetiminin yalnızca verim değil, zararlı baskısı üzerinde de belirleyici olabildiğini göstermektedir (Bayissa ve ark., 2023).

Mısırdaki sonbahar yaprak kurdu için geliştirilen entegre agroekolojik sistemler de önemli bulgular sunmaktadır. Gebreziher ve Gebreazgaabher (2024), gece ışık tuzakları ile push-pull sistemini birleştiren uygulamanın, yalnız başına ışık tuzağına ya da yalnız başına push-pull sistemine (*push: Ana ürünün yakınına ekilen bazı bitkiler, zararlıların hoşlanmadığı koku veya kimyasallar salgılar ve zararlı ana üründen uzaklaşır; pull: Tarlanın kenarına ekilen bazı bitkiler ise*

zararlılar için daha çekici olur. Zararlılar bu bitkilere yönelir ve ana ürüne daha az zarar verir.) göre mısır parselleri içindeki ergin güve yakalanmasını ve yumurta bırakımını daha güçlü biçimde azalttığını bildirmiştir. Çalışma, davranış yönlendirme ile habitat manipülasyonunun birlikte kullanıldığında farklı yaşam dönemlerini aynı anda hedefleyebildiğini göstermektedir. Bu yaklaşım, organik mücadelede yalnızca öldürücü değil, yönlendirici ve caydırıcı ekolojik mekanizmaların da kullanılabileceğini ortaya koymaktadır (Gebreziaher ve Gebreazgaabher, 2024).

Çeltikte yapılan yeni çalışmalar, bitkisel ekstraktların seçicilik açısından da avantaj sağlayabileceğini göstermektedir. Seni ve arkadaşları (2025), farklı bitkisel ekstraktların çeltikte başlıca lepidopter zararlıları baskıladığını; *Azadirachta indica* ekstraktının her iki ana zararlıya karşı en etkili seçenek olduğunu, *Lantana camara* ekstraktının ise özellikle sarı sap kurduna karşı umut verici sonuç verdiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada test edilen bitkisel uygulamaların, faydalı böcekler üzerinde olumsuz bir etki göstermediği vurgulanmıştır. Bu bulgu, organik mücadelede botanik ürünlerin yalnızca öldürücü etkinlik açısından değil, doğal düşmanlarla uyumluluk açısından da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Seni ve ark., 2025).

Çizelge 1. Tuzak bitki yetiştiriciliğinde potansiyele sahip araştırmalar (Abate, 1988:135; Kloen ve Altieri, 1990:90; Hokkanen, 1991:119)

Zararlılar	Ana Bitki	Tuzak Bitki
<i>Nilaparvata lugens</i>	Çeltik	Çeltik
<i>Nephotettix virescens</i> +RTV	Çeltik	Çeltik
<i>Thrips tabaci</i>	Pamuk fideliği	Soğan, Sarımsak,
<i>Diabrotica spp.</i>	Mısır	Mısır
<i>Anomala cupripes</i>	Soya fasulyesi	Soya fasülyesi
<i>Anomala expansa</i>	Soya fasulyesi	Soya fasülyesi
<i>Atherigona spp.</i>	Mısır	Sorgum
<i>Chilo partellus</i>	Mısır	Sorgum
<i>Eldana saccharina</i>	Şeker kamışı	Mısır
<i>Heliothis armigera</i>	Kuru Fasulye	Mısır
<i>Euxoa messoria</i>	Çavdar	Tütün
<i>Euxoa tessellata</i>	Çavdar	Tütün
<i>Ostrinia nubilalis</i>	Pamuk	Mısır
<i>Athalia rosae</i>	Kışlık kolza	Kolza

Mısırdaki ise literatür, özellikle sonbahar yaprak kurdu gibi gizlenerek beslenen zararlılara karşı tek bir taktiğin nadiren yeterli olduğunu göstermektedir. Yaprak hunisine yönlendirilen entomopatojen nematodlar ve mikrobiyal ürünler yüksek etkinlik sağlayabilmekte; kül-toprak uygulamaları, botanikal preparatlar, organik artık yönetimi ve push-pull tabanlı sistemler ise baskıyı farklı mekanizmalarla azaltabilmektedir. Bu nedenle mısırdaki organik mücadele, “aynı zararlıya karşı farklı biyolojik ve kültürel kapıların aynı anda kapatılması” mantığıyla düşünülmelidir (Bayissa ve ark., 2023; Chawanda ve ark., 2023; Gebreziher ve Gebreazgaabher, 2024; Azazy ve ark., 2025).

Yağ bitkilerinde bulgular, organik mücadelenin bitki topluluğu mimarisiyle yakın ilişkili olduğunu göstermektedir. Kanola ve şalgam yağ bitkisi gibi sistemlerde eşlikçi bitkiler, birlikte ekim ve avcı topluluklarını destekleyen sisteminin habitat tasarımları; hem zararlı yoğunluğunu azaltabilmekte hem de üretim dışı girdilere bağımlılığını sınırlayabilmektedir. Özellikle karabidler ve örümcekler gibi genel avcılarının sürekliliği, bu sistemlerin pestisit dışı baskılama gücünün ana bileşenlerinden biri olarak görünmektedir (Breitenmoser ve ark., 2022; Järvinen ve ark., 2023).

Sonuç

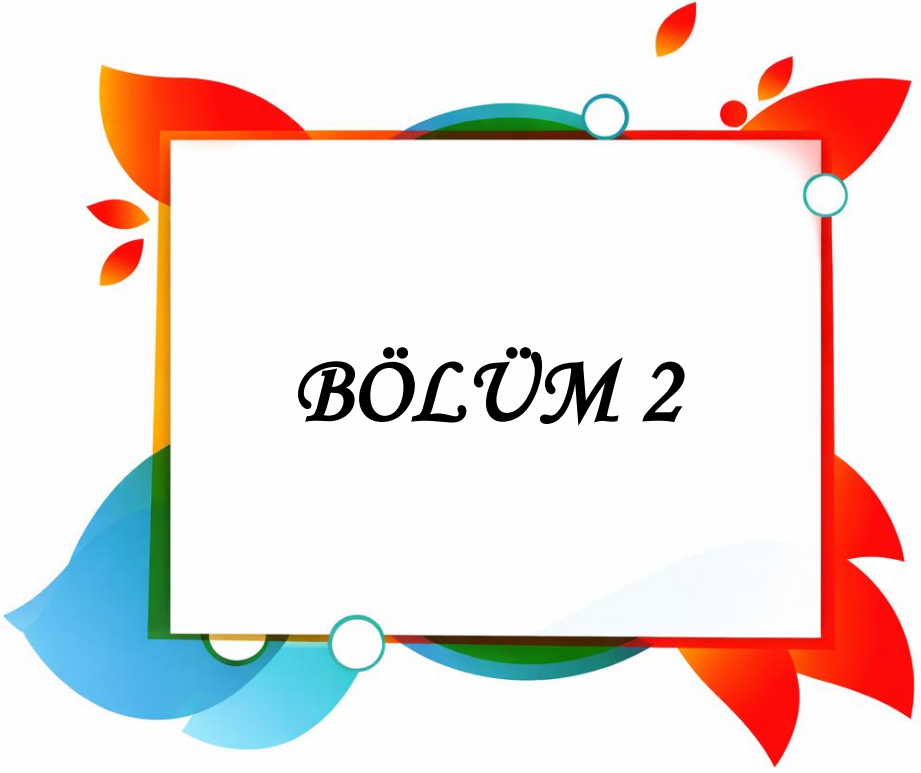
Güncel literatür, tarla bitkileri üretiminde organik mücadelenin “sentetik insektisitlerin biyolojik eşdeğerini bulmak” şeklinde dar bir problem olmadığını; ürün deseni, habitat yönetimi, doğal düşman desteği, organik toprak verimliliği, biyopestisit seçimi ve uygulama zamanlamasını birlikte ele alan bir sistem tasarımı olduğunu göstermektedir. Çiçek şeritleri, birlikte ekim, eşlikçi bitkiler, entomopatojen ajanlar ve botanikal preparatlar ayrı ayrı değer taşımakla birlikte, en savunulabilir sonuçlar çoğunlukla bu araçların birbirini tamamladığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Özellikle tahıllarda yaprakbiti baskısı, mısırdaki sonbahar yaprak kurdu ve yağ bitkilerinde karmaşık zararlı toplulukları için organik mücadele, peyzaj düzeyi ile tarla düzeyini bir araya getiren çok katmanlı bir çerçeve gerektirir (Rakotomalala ve ark., 2023; Azazy ve ark., 2025; Hatt ve Döring, 2025).

Bu nedenle bilimsel ve pratik açıdan en güçlü yaklaşım, yerel ekolojiye uyarlanmış, ölçülebilir ve ekonomik olarak değerlendirilebilir organik mücadele paketlerinin geliştirilmesidir. Gelecekte yapılacak çalışmaların verim, kalite, ekonomik geri dönüş, doğal düşman sürekliliği ve hedef dışı etkileri aynı deneysel çerçevede birlikte izlemesi, tarla bitkilerinde organik mücadelenin geniş ölçekli benimsenmesini hızlandıracaktır. Mevcut saha literatürü, doğru tasarlanmış organik mücadele paketlerinin özellikle tahıllarda yaprakbiti baskısını, mısırdaki sonbahar yaprak kurdu zararını ve yağ bitkilerinde zararlı komplekslerinin baskısını azaltabildiğini göstermektedir (Salat-Moltó ve ark., 2023; Saleem ve ark., 2025; Azazy ve ark., 2025). Organik mücadele, bu yönüyle yalnızca zararlı baskısını azaltan bir strateji değil; aynı zamanda daha dayanıklı ve dış girdilere daha az bağımlı bir tarımsal üretim modelinin temel bileşenidir.

Kaynakça

- Abate, T. (1988). Experiments with trap crops against A (rican bollworm) *Heliothis armigera*, in Ethiopia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 48:135-140.
- Azazy, A., Adly, A., El Sappagh, I., Khalil, A., & El-Saadany, H. (2025). Field application of entomopathogenic agents against the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 35:19.
- Bayissa, W., Abera, A., Temesgen, J., Abera, G., & Mendesil, E. (2023). Organic soil fertility management practices for the management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), in maize. *Frontiers in Insect Science*, 3:1210719.
- Breitenmoser, S., Steinger, T., Baux, A., & Hiltbold, I. (2022). Intercropping winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) has the potential to lessen the impact of the insect pest complex. *Agronomy*, 12 (3), 723.
- Chawanda, G., Tembo, Y. L. B., Donga, T. K., Kabambe, V. H., Stevenson, P. C., & Belmain, S. R. (2023). Agroecological management of fall armyworm using soil and botanical treatments reduces crop damage and increases maize yield. *Frontiers in Agronomy*, 5:1114496.
- Gebreziher, H. G., & Gebreazgaabher, F. G. (2024). Night-time light-traps and push-pull integrated system enhanced the control of different life stages of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, (Lepidoptera: Noctuidae). *CABI Agriculture and Bioscience*, 5:104.
- Hatt, S., & Döring, T. F. (2025). The interplay of intercropping, wildflower strips and weeds in conservation biological control and productivity. *Journal of Pest Science*, 98, 159-174.
- Higley, L., Pedigo, L. (1993). Economic injury level concepts and their use in sustaining environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 46, 1-4, 233-243
- Hokkanen, H.M. (1991). Trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.*, 36, 119-138.
- Jachowicz, N., Sigsgaard, L. (2025). Highly diverse flower strips promote natural enemies more in annual field crops: A review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 381:109412.
- Järvinen, A., Hyvönen, T., Raiskio, S., Himanen, S. J. (2023). Intercropping shifts the balance between generalist arthropod predators and oilseed pests towards natural pest control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 348, 108415.

- Kloen, H., ve Altieri, M.A. (1990). Effect of mustard (*Brassica hirta*) as a non-crop plant on competition and insectpests in broccoli (*Brassica oleracea*). *Crop Protection*, 9: 90-96.
- Li, J.-L., Huang, L.-M., Xiang, Z.-Y., Zhao, J.-N., Yang, D.-L., Wang, H., & Zhang, Y.-J. (2024). Influence of floral strip width on spider and carabid beetle communities in maize fields. *Insects*, 15 (12), 993.
- Pedigo, L.P., Hutchins, S.H., ve Higley, L.G. (1986). Economic injury levels in theory and practice. *Annual Review of Entomology*, 31(1), 341-368.
- Rakotomalala, A. A. N. A., Ficiciyan, A. M., & Tscharncke, T. (2023). Intercropping enhances beneficial arthropods and controls pests: A systematic review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 356: 108617.
- Rodenwald, N., Sutcliffe, L. M. E., Leuschner, C., & Batáry, P. (2023). Weak evidence for biocontrol spillover from both flower strips and grassy field margins in conventional cereals. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 355: 108614.
- Salat-Moltó, A., Blanco-Moreno, J. M., Pérez Hidalgo, N., Michelena, J. M., Ferrer Suay, M., Guerrieri, E., & Caballero-López, B. (2023). Aggregation of organically managed fields promotes aphid parasitism in cereal crops under Mediterranean conditions. *Landscape Ecology*, 38, 3555-3567.
- Saleem, S., Farooq, M. O., Razaq, M., Hatt, S., & Shah, F. M. (2025). Wheat intercropping with canola promotes biological control of aphids by enhancing enemy diversity. *Biological Control*, 200, 105677.
- Seni, A., Pal, R., Mohapatra, S., Mandal, D., Bansude, S. K., Seth, P., Barla, S., & Sahu, J. (2025). Pesticidal plant extract effect against major lepidopteran insect pests and their natural enemies in rice *Oryza sativa* L. *Frontiers in Insect Science*, 4, 1500542.
- Stell, E., Meiss, H., Lasserre-Joulin, F., & Therond, O. (2022). Towards predictions of interaction dynamics between cereal aphids and their natural enemies: A review. *Insects*, 13(5), 479.
- Stern, V.M., Smith, R.F., Van den Bosch, R.R. ve Hagen, K. (1959). The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: the integrated control concept. *Hilgardia*, 29(2), 81-101.
- Zehnder, G., Gurr, M., Kühne, S., Wade, M., Wratten, S., Wyss, E. (2007). Arthropod Pest Management in Organic Crops. *Annual Review Entomology*, 52, 57-80



BÖLÜM 2

Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)’nın Mikroçoğaltımı

Şeyma Doğancı¹ & Sevil Sağlam Yılmaz²

GİRİŞ

Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) bitkiler aleminin karanfil çiçekliler (*Caryophyllales*) takımına, horozibiğigiller (*Amaranthaceae*/eski adıyla *Chenopodiaceae*-Kazayağıgiller) familyasına mensup otsu ve çift çenekli bir bitkidir. Kazayağı (*Chenopodium* L.) cinsine mensup bu tür aynı zamanda Syn. *Chenopodium canihua* O.F.Cook; *Chenopodium ccoyto* Toro Torr.; *Chenopodium quinoa* Krock. olarak da anılmaktadır (Tan ve Temel, 2019). Kinoa bitkisinin kültüre alınması yaklaşık MÖ 5000 yıllarına dayanmaktadır. Kinoa seleksiyon, introdüksiyon, melezleme ve mutasyon ıslahı yapılmaktadır (Bhargava ve ark., 2008; Gomez Pando ve Eguiluz de la Barra, 2013). Gen bankalarında saklanan 16 binden fazla gen kaynağı materyali bulunmaktadır. *C. quinoa* $x=9$ temel kromozom sayısına sahip allotetraploid ($2n=4x=36$) bir türdür. Kültürü yapılan kinoanın atalarının diploid olan *C. standleyanum* ve *C. album* olduğu tahmin edilmektedir (Heiser ve Nelson, 1974; Tan ve Temel, 2019).

Bitkinin ana gen merkezi Peru ve Bolivya’dır. 2024 yılı FAO verilerine göre dünyada kinoa üretimi yapan Peru, Bolivya, Ekvator ve Bhutan’nın toplam ekim alanları ve üretimleri sırasıyla yaklaşık 183 bin ha ve 166 bin ton’dur (Tablo 1).

Tablo 1. 2024 yılında kinoa üretimi yapan ülkelere ait ekim alanı, üretim ve verim değerleri (FAO, 2026)

Ülkeler	Ekim Alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (kg/da)
Peru	63693	114 461	180
Bolivya	118 056	50 261	43
Ekvator	800	1128	141
Bhutan	36	40	112
Toplam	182 585	165 890	91

¹ Dr. Öğr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Biyoteknoloji A.B.D., Kırşehir, Türkiye, 0009-0005-6937-2755

² Prof. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Kırşehir, Türkiye, 0000-0003-1302-9147

Küçük hacimde büyük besin değerine sahip olan kinoa tohumlarını NASA (National Aeronautics and Space Administration/Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi Başkanlığı) astronotların beslenmesinde kullanmaktadır. FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) 2013 yılını kinoa yılı ilan etmiş ve bu uygulama ile bitkiye dikkat çekerek bitkinin dünyada gıda ihtiyacı olan toplumlar için umut olabileceğini bildirmiştir (Demir ve ark., 2016).

Türkiye’de kinoa çalışmaları 2000’li yıllarda başlamıştır. İlk bilimsel çalışma 2009-2012 yıllarında yürütülen Çukurova Üniversitesi’nin de dahil olduğu AB destekli “Akdeniz Bölgesinin Kurak Alanlarında Gıda Üretimini Güvence Altına Alan Sürdürülebilir Su Kullanımı Sustainable water use securing food production in dry areas of the Mediterranean region (SWUP-MED)” isimli proje olmuştur (Tan ve Temel, 2019). Bölgelere yönelik kinoa çeşitlerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar yanında verim ve kalite unsurlarının tespiti yönünde de araştırmalar devam etmektedir (Geren ve ark., 2014; Geren ve ark., 2015; Kır ve Temel, 2016; Geren ve Güre, 2017; Kır ve Temel, 2017; Tan ve Temel, 2017a, 2017b; Temel ve Keskin, 2018; Temel ve Şurgun, 2019). Son yıllarda yurtdışından getirilen materyallerden ülkemize uygun çeşitlerin belirlenmesi ve yeni çeşitlerin geliştirilmesi çalışmalarına hız verilmiştir. 2016 yılında Tohumluk Tescil Sertifikasyon Merkezi/Ankara tarafından tesciline onay verilmiş ilk kinoa çeşidi Limtar White olmuştur. 2018 yılında ise Atlas, Carmen, Jessie, Pasto, Riobamba çeşitlerine tescil onayı verilmiştir. 2025 yılında ise Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (BATEM/Mersin) tarafından Koçum07 kinoa çeşidi tescil edilmiştir.

İklim İstekleri ve Morfolojisi

Kinoanın sıcaklık isteği çok fazla değildir ve özellikle vejetatif gelişme döneminde serin iklim şartlarını sevmektedir. Kinoa bitkileri kurağa karşı dayanıklıdır (González ve ark., 2009). Kurağa dayanıklılığı gelişmiş kazık kök sistemine sahip olmasındandır. Bitki yaklaşık 100-150 cm boylanabilmektedir. Kalın, dik, odunsu saplara ve geniş yapraklara sahiptir. Yapraklar üçgen şeklinde olup genellikle yeşildir; bitki olgunlaştıkça sarı, kırmızı veya mor renge dönmektedir (Tan ve Yöndem, 2013). Çiçekleri salkım şeklinde olup, çiçeklenme zamanı Temmuz-Ağustos aylarıdır. Hermofrodit (kendi kendine tozlanan) çiçek yapısına sahiptir. Tohumları yuvarlak, 2-3 cm çapında ve bin tane ağırlığı 2-5 g’dır. Tohumları siyah, turuncu, pembe, kırmızı, sarı veya beyaz renklidir (Repo-Carrasco ve ark., 2003) (Şekil 1).



Şekil 1. Kinoa bitkisine ait yaprak, çiçek ve tohumlar (Anonim, 2026)
Beslenmedeki Önemi ve Kullanım Alanları

Günümüzde insanlar sağlıklı yaşam ve hastalıklardan korunmak amacıyla besin kaynaklarını seçerken dikkatli davranmaktadır. Bu nedenle insanlar alternatif besin kaynaklarına ve besin değeri yüksek tahıllara yönelmektedir. Kinoa tohumundaki toplam protein miktarı ortalama %15 civarında olup, bu oran mısır (%11), buğday (%10) ve çeltik (%9) gibi diğer önemli tahıllara göre daha yüksektir (Repo-Carrasco ve ark., 2003). Kinoa doymamış yağ ve esansiyel aminoasitleri de yüksek miktarda içermektedir. Kinoanın en önemli özelliklerinden biriside tohumlarının gluten içermemesidir. Buda kinoayı glutene alerjisi olan çölyak hastaları için önemli bir besin kaynağı yapmaktadır (Jacobsen, 1993).

Kinoa tohumu insan beslenmesinde pilav, kısır, sarma, dolma, salata, çorba ve benzeri yemeklerin yapımında kullanılmaktadır. Kinoa unundan makarna, krep, ekmek, bisküvi, kek ve kraker yapılmakta, silajlık yem kaynağı olarak da kullanılmaktadır (Van Schooten ve Pinxterhuis, 2003). Kuşlar, kümes hayvanları, balıklar ve tavşanlar için kinoa tohumları hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. İçerisinde bulunan saponin maddesi sabun, deterjan, şampuan, yangın

söndürücü, ilaç, diş macunu, pestisit, antibiyotik ve kozmetik ürünlerin yapımında; selülozca zengin olduğu için de kağıt ve karton yapımında kullanılmaktadır. Kinoanın tohum kabuklarında beyazdan siyaha kadar değişen yaklaşık 66 farklı ton bulunmaktadır. Bu özelliğinden kaynaklı olarak kozmetik ve ilaçlarda renklendirici ve kumaş boyamak amacıyla organik boya üretiminde de kullanılmaktadır (Esatbeyoğlu ve ark. 2015).

Tarımı ve Yetiştiriciliği

Bitkinin dünyada tarımı ve kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Tan ve Yöndem, 2013). Bugün başta Peru, Kolombiya ve Şili gibi Güney Amerika ülkeleri olmak üzere; ABD, Çin, Kanada, Hindistan gibi elliden fazla ülkede yetiştiriciliği yapılmaktadır. Avrupa’da “Quinoa-A multipurpose crop for the EC’s agricultural diversification” AB projesi ile kinoa tarımı 1993 yılında birçok ülkede uygulanmaya başlamıştır. Avrupa’da ilk geliştirilen çeşit erken olgunlaşan Carmen çeşididir (Jacobsen, 2003). Türkiye’de 2009 yılından beri ekilmekte olup, Adana ve Konya’da küçük tarlalarda üretimine başlanmıştır (Geren ve ark., 2014).

Yetiştiriciliğinde bölgeye ve iklime uygun doğru çeşit seçimi yapıldıktan sonraki en önemli aşama ekim işlemidir. Kinoa tohumları çok küçüktür ve tohum çapları 1.0-2.6 mm arasındadır (Aguilar ve Jacobsen, 2003). Tohum ekimi toprak tipi ve nemine bağlı olarak 1.5-2.0 cm derinlikte olmalıdır. Makineli tarıma uygun olup, mibzerle ekimi yapılabilir. Toprak sıcaklığının uygun olması durumunda 3-5 gün içerisinde çıkışlar meydana gelmektedir. Kinoanın toprak yapısına bağlı olarak azotlu gübrelemeye tepkisi oldukça yüksektir (Gomaa, 2013). En yüksek verim 15-20 kg N/da dozlarından alınmaktadır. Su ihtiyacı 250-380 mm/yıl’dır. Kinoa’nın vejetasyon süresi 90-240 gündür. Bitkiler hasat olgunluğuna geldiğinde kurumaya başlayıp renkleri soluk sarı veya kırmızıya dönmekte ve yapraklarını dökmeye başlamaktadır. Hasatı biçerdöverlerle veya geleneksel usullerle yapılabilir. Kinoa da hasat işlemleri; hasat edilen ürünün toplanması, harman, depolama ve kabuk çıkartma olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Fizyolojik olgunluğa ulaşan bitkilerin içerdiği nem harmanlama işlemini zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı bitkilerin belli bir süre tarla koşullarında ön kurutma işleminden geçtikten sonra harman işlemi gerçekleştirilmektedir (Kır, 2016). Harman geleneksel yöntemde elle yapılmaktadır (Salas, 2003). Tohum verimi 100-350 kg/da arasındadır (Johnson ve Croissant, 1990; Schulte auf’ın Erley ve ark., 2005). Kuru ot verimi ise 400-1100 kg/da arasında değişmektedir (Carlsson ve ark., 1984; Soliz-Guerrero ve ark., 2002).

Kinoa tek yıllık bir bitki olduğundan, yetiştirme sezonu içerisinde ot için bir defa hasat yapılmaktadır. İklim ve toprak istekleri bakımından fazla bir seçiciliği olmayan kinoa bitkisinin en önemli problemi virüs hastalıklarıdır. Hastalığın etkileri daha güçsüz büyüme, yaprakların kıvrılması, yaprak veya çiçekte çizgiler oluşması, verimde azalmalar, hatta bitki ölümleri olarak görülebilmektedir (Smith, 2013). Kırmızı köklü tilkikuyruğu (*Amaranthus retroflexus*), süpürge otu (Kochia), yabancı hardal (*Sinapis arvensis*) ve sirken (*Chenopodium album*) kinoa tarlalarında en fazla görülen yabancı otlardır. Verim ve kalite kayıplarına yol açan fungal bir patojen olan *Peronospora variabilis*, kinoada külleme hastalığına neden olmaktadır. Hastalığa karşı en önemli mücadele yöntemleri, uygun kinoa çeşitlerinin kullanımı ve rotasyondur.

KİNOA'NIN MİKROÇOĞALTIMI

Bitki doku kültürü; aseptik şartlarda, yapay bir besin ortamında, bütün bir bitki, hücre, doku veya organ gibi bitki kısımlarından yeni doku, bitki veya bitkisel ürünlerin üretilmesidir (Babaoğlu ve ark., 2002). Bu yöntem, genetik mühendisliği teknikleri ile bitkilerin genetik düzeyde iyileştirilmelerinin (Komari, 1990; Xiao ve ark. 2022; Wang ve ark. 2023; Sidorov ve ark. 2024) yanında, hastalıksız bitkilerin üretilmesinde, genetik kaynakların korunmasında ve bitki türlerinin klonal çoğaltılmasında (mikroçoğaltım) kullanılmaktadır.

Mikroçoğaltım, kontrollü koşullar altında kısa sürede, sınırlı alanda, çok sayıda bitki elde etme olanağı sağlayan, yılın her zamanında üretimin mümkün olduğu önemli bir doku kültürü tekniğidir (Dilmen ve Göktürk Baydar, 2016; Bürün, 2021). Hücrelerin veya dokuların tüm hücre tiplerini oluşturma ve bir bitkiyi yeniden üretme potansiyeli (totipotensi), mikroçoğaltmanın temel prensibidir (Horn ve ark., 1988). Eğer bitkilerin uygun besin maddeleri ihtiyacı, hormon ve kültür istekleri yeterince biliniyorsa, mikroçoğaltım tekniği kullanılarak tüm bitki türlerinin üretilmesi mümkündür (Hartman ve Kester, 1975).

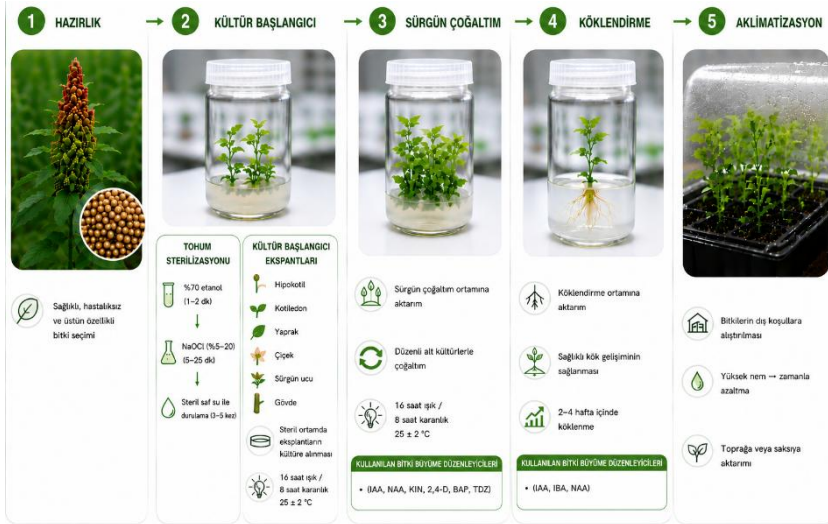
Genel olarak, başarılı bir mikroçoğaltmanın gerçekleşmesi için beş aşama gereklidir. Bu aşamalar hazırlık, kültür başlangıç, sürgün çoğaltım, köklendirme ve aklimatizasyon aşamalarıdır (Singh ve Kumar, 2020). Kinoa bitkisinde ilk mikroçoğaltım çalışmalarının genel çerçevesi ve temel amaçları; *in vitro* sürgün rejenerasyonunu oluşturmak, steril kültür sistemlerini optimize etmek ve bitkinin vejetatif çoğaltım kapasitesini belirlemek olmuştur. Kinoada bugüne kadar yapılmış mikroçoğaltım çalışmaları Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Kinoada yapılmış mikroçoğaltım çalışmaları

Sıra No	Eksplant	Sterilizasyon Yöntemi	Besin Ortamları ve Hormonlar	Köklendirme	Kültür Koşulları	Kaynak
1.	Sürgün ucu	%10 Ca(OCl) ₂ 20 dk, iki kez steril su ile durulama	B5, 0.22 mg/L BAP, 0.018 mg/L NAA	B5	22 °C' de 12 saatlik fotoperiyot	Burnouf-Radosevich ve Paupardin, 1985
2.	Yaprak	Belirtilmemiş	LS, 3 mg/L IAA, 3 mg/L NAA, 0.1 mg/L KIN	MS	-	Komari, 1990
3.	Hipokotil	%70 etanol 5 dk, NaOCl (%0.6 aktif madde) 30 dk	MS, 0.1 mg/L 2,4-D	MS	25 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Eisa ve ark. 2005
4.	Hipokotil	%70 etanol 15 sn, NaOCl (%0.525 aktif madde) 10 dk	MS, 0.5 mg/L 2,4-D, 0.05 mg/L BAP, 1 mg/L BAP, 1 mg/L KIN, 0.2 mg/L IBA	MS	25 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Hesami ve Daneshvar, 2016
5.	Gövde	%70 etanol 5 dk, %50 NaOCl 30 dk	MS, 0.2 mg/L BAP, 0.5 mg/L 2,4-D	MS	25 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Telahigue ve Toumi, 2017
6.	Kotiledon	%70 etanol 15 sn, %20 NaOCl 5 dk	MS, 2 mg/L BAP	MS	25 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Hesami ve ark., 2018
7.	Hipokotil, Yaprak	10 dk %1'lik sıvı deterjanla, ardından 30 sn %70 etanol, %0.2 Tween20, NaOCl (%1.8 aktif madde) 30 dk	1.5 MS, 1.5 mg/L BAP, 1.5 mg/L 2,4-D	MS	Gündüz 23 °C ve gece 18 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Henarejos-Escudero ve ark. 2018
8.	Sürgün ucu, Gövde	%5 NaOCl 5-10 dk, üç kez steril su ile durulama	MS, 0.5 mg/L 2,4-D	MS	24 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Sağlam Yılmaz ve Doğancı, 2018
9.	Hipokotil, Kotiledon	%0.003'lük Tween-20, %60 NaOCl 20 dk	MS, 2 mg/L 2,4-D, 0.05 mg/L KIN	MS	26 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Shahin, 2019
10.	Sürgün ucu	vakum odası içinde NaOCl (25 g/L) 10 dk, üç kez steril su durulama	MS, 1 mg/L KIN, 1 mg/L BAP	MS, 2 mg/l IBA	25 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Regalado ve ark., 2020

11.	Kotiledon	%70 etanol 15 sn, %10 NaOCl 20 dk	MS	0.5 MS, 10 mg/L ZnO-NPs	25 °C' de 12 saatlik fotoperiyot	Al Gethami ve Sayed, 2020a
12.	Kotiledon	%70 etanol 15 sn, %10 NaOCl 20 dk	MS, 10 g/L sukroz	0.5 MS	25 °C' de 12 saatlik fotoperiyot	Al Gethami ve El Sayed, 2020b
13.	Çiçek salkımı, protoplastlar	%20 NaOCl 20 dk, steril su ile durulama	DKW, MS (B5vitamin), MS, 1 mg/L KIN, 0.5 mg/L BAP, 3 mg/L BAP, 0.01 mg/L IAA, 1 mg/L BAP, 1 mg/L KIN, 0.2 mg/L IBA	-	25 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Sidorov ve ark., 2024
14.	Hipokotil	%75 etanol 1 dk, %10 NaOCl 20 dk	MS, 3MS, 0.2 mg/L BAP, 2 mg/L NAA, 0.1 mg/L BAP, 0.01 mg/L NAA,	MS, 0.6 mg/L IBA	25 °C'de 16 saatlik fotoperiyot	Xie ve ark. 2025

Kinoa bitkisinin mikroçoğaltım aşamaları (hazırlık, kültür başlangıç, sürgün çoğaltım, köklendirme, aklimatizasyon) Şekil 2.'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Kinoa mikroçoğaltım aşamaları

Hazırlık aşaması

Kinoa’da mikroçoğaltımın başarısı genotipe bağlı olarak değişmekle birlikte, hazırlık aşamasında ana bitkinin (donör bitki) seçimine de doğrudan bağlıdır. Donör bitki sağlıklı ve aktif gelişim döneminde olmalıdır. Genellikle genç ve vejetatif dönemdeki bitkilerin tercih edilmesi çalışmanın başarısını doğrudan

etkilemektedir. Stres altındaki, hastalık ve zararlılarla bulaşmış olan bitkiler kullanılmamalıdır.

Kinoanın mikroçoğaltım çalışmalarında Burnouf-Radosevich ve Paupardin (1985), Blanca de Junin ve Real de Puno kinoa çeşitlerini; Henarejos-Escudero ve ark. (2018), BGQ-174, BGQ-77, POQ-132, Blanca de Junín çeşitlerini; Sağlam Yılmaz ve Doğancı (2018), Limtar White, Limtar Black, Limtar Red çeşitlerini, Regalado ve ark.,(2020) ise Cahuil ve Villa çeşitlerini; Xie ve ark., (2025), Qingqua I çeşidini kullanmışlardır.

Çalışmalarda en iyi çimlenme oranları ise %22-100 arasında değişmiştir. Hesami ve Daneshvar (2016), Hesami ve ark. (2018) ve Sağlam Yılmaz ve Doğancı (2018) %100; Demirci (2019) %40; Regalado ve ark., (2020) %68-95; Al Gethami ve El Sayed (2020b) çimlenme oranını %22 olarak tespit etmişlerdir.

Kültür Başlangıç Aşaması

Kinoada kültür başlangıç aşaması, *in vitro* mikroçoğaltım sürecinin en kritik evrelerindendir. Steril eksplantın besi ortamına alınarak ilk gelişimin başlatıldığı dönemdir. Kültür başlangıç aşamasının ilk basamağında eksplantlar kültür ortamına alınır. Sterilize edilmiş doku parçaları ya da *in vitro* geliştirilmiş bitkicikler biyogüvenlik kabininde aseptik koşullarda besi ortamına aktarılmaktadır. Amaç, kontaminasyonsuz ilk büyümenin başlatılmasıdır. Ardından ilk tepki indüksiyon süreci, eksplantta kallus oluşumu, sürgün başlangıcı, bazen doğrudan organogenezdır. Kültürün stabilizasyonunda ilk 1–3 hafta kritiktir. Bu dönemde kontaminasyon kontrol edilmekte, uygun gelişme gösteren ekplantlar alt kültüre alınmaktadır. Eksplant tipi ve yaşı, sterilizasyon etkinliği, hormon konsantrasyonu, genotip, ışık ve sıcaklık gibi iklim koşulları başarıyı temelden etkileyen faktörlerdir. Bu dönem hücresel yeniden programlanma evresidir. Bu sebeple kinoanın mikroçoğaltımında bu aşamadaki başarı mikroçoğaltımın diğer aşamalarını doğrudan etkilemektedir.

Kinoa ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; eksplant kaynağı olarak yaprak segmentleri (Komari, 1990; Henarejos-Escudero ve ark. 2018;); hipokotiller (Eisa ve ark. 2005; Hesami ve Daneshvar, 2016; Henarejos-Escudero ve ark. 2018; Shahin, 2019; Xie ve ark. 2025); kotiledonlar (Hesami ve ark., 2018; Shahin, 2019; Al Gethami ve Sayed, 2020a; Al Gethami ve El Sayed, 2020b) internodlar (Telahigue ve Toumi, 2017); sürgün ucu ve gövde (Burnouf-Radosevich ve Paupardin, 1985; Sağlam Yılmaz ve Doğancı, 2018; Regalado ve ark., 2020); çiçek salkımları (Sidorov ve ark., 2024) kullanılarak sürgün çoğaltımı gerçekleştirilmiştir. Kinoa bitkisinin mikroçoğaltımında en yüksek rejenerasyon genellikle kotiledon (%93) ve hipokotil (%97) eksplantlarında görülmektedir (Xie ve ark. 2025; Hesami ve ark., 2018; Al Gethami ve El Sayed, 2020b).

Doku kültürü çalışmalarında sterilizasyon aşaması çok önemlidir. Yüzey sterilizasyonunda amaç, mikroorganizmaları uzaklaştırmaktır. Virüs, bakteri, mantar ve maya gibi mikroorganizmalar *in vitro* çalışmalarda bulaşık olarak kabul edilmekte ve kayıplar kontaminasyon nedeniyle meydana gelmektedir (Oyebanji ve ark., 2009). Kültür ortamında kullanılan eksplantın iç kısımlarında bulunan mikroorganizmalar bazen uzaklaştırılmadığından yüzey sterilizasyonu yeterli olamamaktadır. Başarılı bir sterilizasyon sağlanmaması sonucu mikroorganizmalar, eksplant ile rekabet ederek ortamda çoğalmaya başlamakta olup, bunun sonucunda eksplantların büyümesi azalmakta, nekroz oluşmakta ve eksplant kaybedilmektedir. Eksplant elde edilememesinden kaynaklı olarak bir sonraki aşamaya geçilememekte ve çalışma başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Bu durum, zaman kaybına ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Yüzey sterilizasyonunda kullanılan kimyasal madde ve konsantrasyonu önemlidir. Kullanılan dezenfektan eksplantın canlılığına etki etmemeli, yalnızca eksplanttaki mikroorganizmaları öldürmelidir. Sterilizasyon uygulaması tür, genotip hat ve çeşide göre değişmektedir (Babu ve ark. 2022; Ekinci ve ark. 2023; Ak ve Yücel, 2025). Tipik protokol, akan su altında ön yıkama, %70 etanol ile kısa süreli muamele, sodyum hipoklorit (NaOCl) veya civa klorür (HgCl_2) ile sterilizasyon ve steril distile su ile birkaç kez durulamaktır. Ancak bunların yanında kalsiyum hipoklorit (CaOCl_2), hidrojen peroksit (H_2O_2), gümüş nitrat (AgNO_3) ve plant preservative mixture (PPM) da kullanılan diğer kimyasal sterilizatörlerdir. Fiziksel olarak da sterilizasyon otoklavlama ve UV sterilizasyonu şeklinde yapılmaktadır. Ayrıca destekleyici sterilizasyon işlemleri de Tween 20, ultrasonik banyo uygulamaları, fungusit ve termoterapi gibi ön uygulamalardır. Kinoa üzerine yapılmış doku kültürü çalışmalarında; sterilizasyon ajanı olarak NaOCl (Shahin, 2019; Demirci, 2019; Sidorov ve ark., 2024; Sağlam Yılmaz ve Doğanci, 2018; Hesami ve ark., 2018; Regalado ve ark., 2020) ve CaOCl_2 (Burnouf-Radosevich ve Paupardin, 1985)'ün farklı doz (%5-20) ve sürelerinin (5-25 dk) test edildiği görülmektedir.

Kinoa'nın mikroçoğaltım çalışmalarında başlangıç ortamları olarak MS (Murashige & Skoog) besi ortamı temel alınmış, BAP, IAA, IBA gibi büyüme düzenleyicilerle sürgün oluşumu sağlanmıştır. Temel besin ortamı olarak MS'in yanında $\frac{1}{2}$ MS, B5 ve DKW ortamlarının da kullanıldığı görülmektedir (Burnouf-Radosevich ve Paupardin, 1985; Hesami ve ark. 2018; Sidorov ve ark. 2024; Al Gethami ve El Sayed, 2020b).

Çalışmalarda iklim ve fotoperiyot koşulları olarak ise; 22 °C'de 12 saat (Burnouf-Radosevich ve Paupardin, 1985); 25 °C'de 12 saat (Shahin, 2019); 25 °C'de 16 saat (Sidorov ve ark., 2024; Xie ve ark., 2025; Sağlam Yılmaz ve

Doğancı, 2018; Wang ve ark., 2023) aydınlık ve 26 °C’de karanlık koşullar (Hesami ve Daneshvar, 2016) kullanılmıştır.

Sürgün Çoğaltım Aşaması

Sürgün çoğaltım aşamasında kullanılan büyüme düzenleyici kombinasyonlarına bağlı olarak doğrudan ve dolaylı organogenes veya somatik embriyogenes meydana gelmektedir. Hücre ve doku kültürü tekniklerinde bitkilerin çoğaltılmasında kök ve sürgün üretimine organogenez adı verilmektedir. Organogenez, embriyogeneze göre daha kontrol edilebilir bir süreçtir (Onay, 2005). Kallus oluşumu hücrelerin düzensiz olarak bölünüp çoğalması ile oluşmakta ve dolaylı organogenes ile dolaylı somatik embriyogenesin kökenini oluşturmaktadır. Sürgün çoğaltım aşaması çoğunlukla ya adventif (yaprak koltuk altı (aksiller) ya da sürgün tepelerinin (apikal) dışında herhangi bir yerde oluşan tomurcuklar) ya da aksiller (koltuk altı) tomurcuklar (yaprak koltuklarında bulunan tomurcuk) kullanılmaktadır. Sürgün çoğaltım aşamasında amaç, eksplanttan çok sayıda genetik olarak aynı özelliklere sahip sağlıklı sürgünler elde etmektir.

Kinoa sürgün çoğaltım aşamasında IAA, NAA, KIN, 2,4-D, BAP, TDZ hormonları tek başına yada kombinasyon halinde kullanılmıştır (Komari, 1990; Eisa ve ark., 2005; Telahigue ve Toumi, 2017; Sağlam Yılmaz ve Doğancı, 2018; Sidorov ve ark., 2024; Xie ve ark., 2025). Çalışmalarda en iyi kallus oluşum oranlarının %92-100 arasında değiştiği belirlenmiştir. Eisa ve ark. (2005), 0.1 mg/l 2,4-D içeren ortamında %92; Xie ve ark. (2025), 0.2 mg/l BAP+2 mg/l NAA içeren ortamda %97; Telahigue ve Toumi (2017), 0.2 mg/l BAP+0.5 mg/l 2,4-D içeren ortamında %100; Sağlam Yılmaz ve Doğancı (2018), 0.50 mg/l 2,4-D içeren ortamda %100 başarı ile kallus elde etmişlerdir.

Komari (1990), yaprak eksplantlarını kullandıkları çalışmada 3 mg/l IAA, 3 mg/l NAA ve 0.1 mg/l Kin ilave edilmiş LS ortamını kullanarak her üç haftada bir alt kültürleme ile kallus oluşumunu sağlamıştır. Eisa ve ark. (2005), hipokotil eksplantlarını kullandıkları çalışmada 0.1 mg/l 2,4-D ilave edilmiş MS ortamında indirekt somatik embriyogenes gerçekleştirmişlerdir. Dört hafta sonra, %92 oranında renksiz bir kallus elde edilmiştir. Telahigue ve Toumi (2017), boğum arası eksplantlarını kullandıkları çalışmada 0.2 mg/l BAP ve 0.5 mg/l 2,4-D ilave edilmiş MS ve B5 ortamlarında kallus oluşturmuşlardır. Sağlam Yılmaz ve Doğancı (2018), sürgün ucu ve gövde eksplantlarından 2,4-D, TDZ ve BAP kullanarak somatik embriyogenesis araştırmışlardır. 0.5-1.0 mg/l 2,4-D içeren MS ortamlarında heriki eksplanttan da % 100 oranında kallus oluşumu elde etmişlerdir. Ancak sürgün ucu eksplantından daha fazla somatik embriyo oluşumunun gözlemlendiği bildirilmiştir. Sidorov ve ark. (2024), doğranmış çiçek salkımı kültürlerinden protoplastları izole etmişler ve 72 g/l glikoz, 1 mg/l

NAA, 1 mg/l BAP ve 0.25 mg/l 2,4-D ilave edilmiş KM ortamında (Kao ve Michayluk 1975) kültüre almışlardır. Ancak kalluslar farklı büyüme düzenleyici kombinasyonlarına sahip ortamlara aktarıldıktan sonra bile rejenerasyon elde edilememiştir. Xie ve ark. (2025), hipokotil eksplantlarını kullandıkları çalışmada 0.2 mg/l BAP ve 2 mg/l NAA ilave edilmiş MS ortamında kallus oluşumu sağlamışlardır. 25°C'de 16 saatlik fotoperiyotta 3 hafta sonra bir kez alt kültüre aldıkları kültürlerden 42 gün sonra %97'lik bir başarı ile kallus elde etmişlerdir.

Kinoa'nın mikroçoğaltımında sürgün çoğaltım aşamasının önemli bir diğer kriteri eksplant başına sürgün sayısıdır. Kinoa'da bu değerin ortalama 3.5-8.5 adet sürgün/eksplant olduğu görülmektedir. Al Gethami ve El Sayed (2020a), 3 mg/l BAP içeren ortamda 3.5 adet; Burnouf-Radosevich ve Paupardin (1985), 0.22 mg/l BAP+0.018 mg/l NAA içeren ortamda 8.5 adet; Hesami ve Daneshvar (2016), 1.0 mg/l BAP+1.0 mg/l KIN+0.2 mg/l IBA içeren ortamda 6.3 adet; Hesami ve ark. (2018), 2 mg/l BAP içeren ortamda 5 adet; Regalado ve ark. (2020), 1 mg/l KIN+1 mg/l BAP içeren ortamda 1-2 adet sürgün elde etmişlerdir.

Köklendirme Aşaması

Köklendirme aşaması, rejenerasyonla elde edilen bitkilerin *in vitro* koşullardan *in vivo* ortamlara yani büyütme odaları, seralar veya açık arazilere aktarılmasına hazırlık sağlayan aşamadır. Bu aşama yalnızca sürgünlerin köklenme başarısıyla sınırlı değildir, aynı zamanda bitkilerin aklimatizasyon sürecini de etkilemektedir. Bitkilerin dış koşullara aktarma sonrasındaki tutunma ve yaşama oranları, köklenme başarısıyla ilgilidir. Ayrıca ışık yoğunluğu, besin ortamının içeriği ve karbon kaynağı gibi faktörler de köklenme başarısını etkileyen önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Kök oluşumu, oksin uygulamalarıyla hem *in vitro* hem de *in vivo* koşullarda uyarılabilir (Ostrolucka ve ark. 2007). Genellikle oksin grubu bitki büyüme düzenleyicileri IAA, IBA ve NAA kök oluşumunu teşvik etmek amacıyla kullanılmaktadır (Bonga ve ark. 1992; De Klerk ve ark. 2001).

Kinoa'nın *in vitro* köklendirme aşamasında IBA ve NAA kullanıldığı ve köklenme oranlarının da %60-87 arasında değiştiği görülmektedir. Regalado ve ark. (2020), Cahuil ve Villa kinoa çeşitlerinin 1.5–2.0 cm uzunluğundaki sürgünlerini 8 g/l bakteriyolojik agar ve 2 mg/l IBA ilave edilmiş MS besin ortamında köklendirmişler ve yüksek oranda (%83- 87) köklenme elde etmişlerdir. Al Gethami ve El Sayed (2020b), yaptıkları çalışmada, köklenme için ½MS ve tam MS kullanmışlardır. 0.2 mg/l NAA, 10 g/l sukroz ilave edilmiş ½ MS ortamında %60 köklenme elde etmişlerdir.

Aklimatizasyon Aşaması

Bu aşama, *in vitro* koşullarda geliştirilen bitkiciklerin laboratuvar ortamından dış ortama aktarılma sürecidir (Hasnain ve ark., 2022). Ortam nemi kademeli olarak yüksek nemden başlayarak düşük nem koşullarına doğru azaltılarak bitkilerin dış ortama alışmaları sağlanmaktadır. Burnouf-Radosevich ve Paupardin (1985), kinoa üzerine yaptıkları çalışmada sera ortamına transfer ettikleri bitkilerin çiçeklenme aşamasında 2 metreye kadar uzadığını bildirmişlerdir. Regalado ve ark. (2020), ise 25°C'de 16 saatlik fotoperiyotta Cahuil ve Villa kinoa çeşitlerinden oluşan 100'er adet sürgünden sırasıyla 73 ve 77 adet fide elde etmişlerdir. Al Gethami ve El Sayed (2020a), yaptıkları çalışmada yarım MS ortamında %60 köklenme gösteren kinoa bitkiciklerinin gelişimlerini takip etmek için seraya transfer etmişlerdir. Ancak Aklimatizasyon başarı oranı bildirilmemiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Kinoa bitkisinin kuraklık ve stres koşullarına dayanıklı olması, küresel iklim değişikliğine uyum açısından büyük bir avantajdır. Bu nedenle, kinoa tarımı daha geniş alanlarda değerlendirilerek alternatif bir ürün olarak öne çıkarılmalıdır. Kinoa üzerine ilk mikroçoğaltım çalışmaları 1980'li yıllarda yapılmıştır. *In vitro* 'da en başarılı tohum yüzey sterilizasyonu etanol ve sodyum hipoklorit kullanımından elde edilmiş, en yüksek çimlenme oranlarına ise 25°C de 16 saatlik fotoperiyot altında tam MS kullanılarak ulaşılmıştır. Eksplant olarak en çok hipokotil ve kotiledon eksplantları kullanılmış olup, bu eksplantlardan doğrudan ve dolaylı organogenez ile somatik embriyogenez aracılığıyla çalışmaların yapıldığı görülmüştür. IBA, BAP, NAA, 2,4-D bulunan ortamlarda rejenerasyon oranları %98-100 arasında değişim göstermiştir. IBA 0.2-2 mg/l; BAP 0.1-3 mg/l; NAA 0.01-3 mg/l; 2,4-D 0.5-2 mg/l aralıklarında kullanımları kinoa bitkisinin mikroçoğaltımında etkin rol almıştır. Sadece üç çalışmada köklendirme ile ilgili bilgiye ulaşılmış olup köklendirme başarısı bu çalışmalarda %60-80 arasında değişmiştir. Aklimatizasyonun sera ortamındabaşarıyla sağlandığı ve bitkilerin iki metreye kadar boylandığının bildirilmiştir. Kinoa bitkisinin mikroçoğaltımının incelendiği bu bölüm konu üzerine araştırma yapacak bilim insanlarına gerek bitkinin doku kültürü gerekse gen transformasyonu ve ıslahı konularında ışık tutacaktır.

KAYNAKLAR

- Aguilar, P.C. ve Jacobsen, S.E. (2003). Cultivation of quinoa on the Peruvian Altiplano. *Food Reviews Int.*, 19: 31-41.
- Ak, B.E., Yücel, N.K. (2025). *In Vitro* Bitki Doku Kültüründe Temel Yaklaşımlar, Problemler ve Yeni Teknolojiler. Livre de Lyon. Kitap Bölümü 1.
- Al Gethami, FR., El Sayed HESA. (2020a). *In vitro*: Influence of Various Concentrations of Plant Growth Regulators (BAP & NAA) and Sucrose on Regeneration of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant. Asian Journal of Biology*. 9(4): 34-43.
- Al Gethami, FR., El Sayed HESA. (2020b). Assessment Various Concentrations Of Zno-Nanoparticles On Micropropagation For *Chenopodium Quinoa* Willd. *Plant. J Adv Biol Biotechnol* 23:33–42.
- Anonim (2026). <https://antropocene.it/en/2022/12/14/chenopodium-quinoa-2/>
- Babaoğlu, M., Özcan, S., Sancak, C. (2002) . Bitki Biyoteknolojisi I. Selçuk Üniversitesi Yayınları, Konya, 2002.
- Babu, G.A., Mosa Chiristas, K., Kowsalya, E., Ramesh, M.Sohn, SI., Pandian, S. (2022). Improved Sterilization Techniques For Successful *In Vitro* Micropropagation. In; Gupta S., Chadurvedi, P. (Eds) Commercial Scale Tissue Culture For Horticulture And Plantation Crops. Springer, Singapore.
- Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2008). Implications of direct and indirect selection parameters for improvement of grain yield and quality components in *Chenopodium quinoa* Willd. *International Journal of Plant Production*, 2(3), 183-191.
- Bonga, J.; Von Aderkas, P. (1992). *In vitro* Culture of Trees. Kluwer Academic Publishers, 72-125, Dordrecht, Netherlands.
- Burnouf-Radosevich, M., Paupardin, C. (1985). Vegetative Propagation Of *Chenopodium Quinoa* By Shoot Tip Culture. *Am J Bot* 72:278–283.
- Bürün, B. (2021). Bitki biyoçeşitliliğinin korunmasında biyoteknolojinin kullanımı ve Türkiye'deki çalışmalar. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology C- Life Sciences and Biotechnology*, 3 (2), 1-16.
- Carlsson, R., Hanczakowski, P. ve Kaptur, T. (1984). The quality of the green fraction of leaf protein concentrate from *Chenopodium quinoa* Willd. grown at different levels of fertilizer nitrogen. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 11(4): 239-245.
- De Klerk, G.J. (2001). In: *Plant Roots: The Hidden Half*. (ed) Waisel, Y., Eshel, A. and Kafkafi, U. New York, Basel, Marcel Dekker Publishers, 349–357.
- Demirci, G. (2019), Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Bitkisinde *In Vitro* Koşullarda Farklı Eksplantlar Kullanılarak Sürgün Rejenerasyon

Çalışmaları. Yüksek Lisans Tezi. Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 2019.

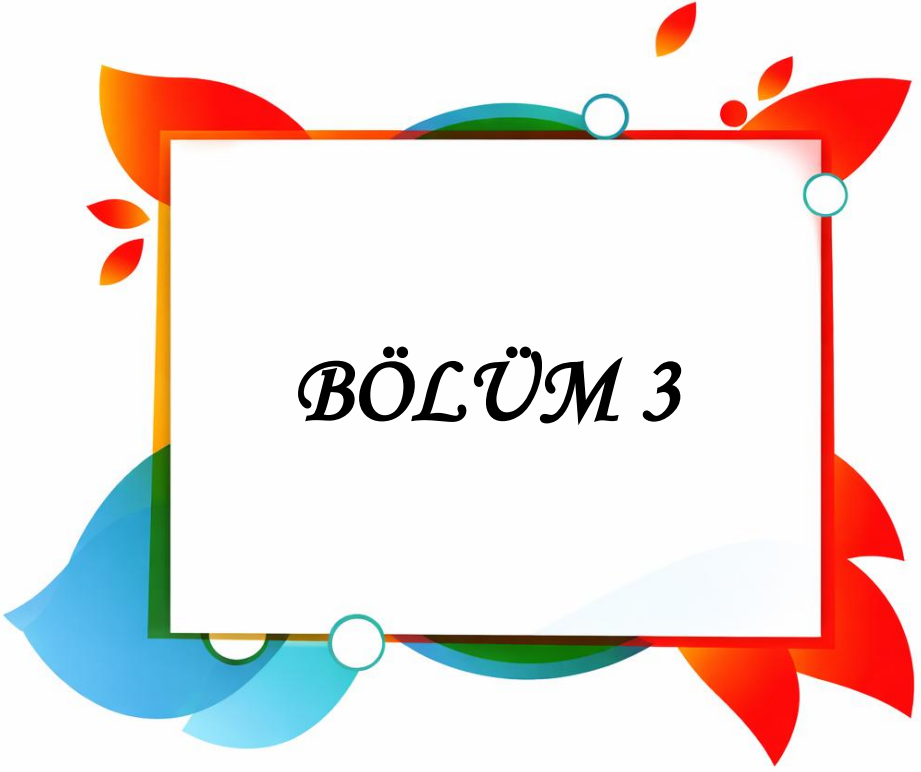
- Demir, M. K. and Kılınç, M. (2016). Kinoa: Besinsel ve antibesinsel özellikleri. *Journal of Food and Health Science*, 2(3):104-111.
- Dilmen, R. ve Göktürk Baydar, N. (2016). Yağ Gülü (*Rosa damascena* mill.)'nde doku kültürü uygulamaları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11 (2), 134-141.
- Eisa, S., Koyro, HW., Kogel, KH., Imani, J. (2005). Induction Of Somatic Embryogenesis İn Cultured Cells Of *Chenopodium Quinoa*. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 81:243–246.
- Ekinci, H., Ak, B.E., Saskin, N. (2023). Screening Of Some Checimal Disinfectatnts For Explant Sterilazation During İn Vitro Micropropagation Of UCB-1 (P. Atlantica x P. İntegerrima). In: *Proceedings of V. Balkan Agricultural Congress*; Edirne, Türkiye pp. 159-168.
- Esatbeyoğlu, T., Wagner, A.E., Schini-Kerth, V.B., Rimbach, G. (2015). Betanin-A food colorant with biological activity. *Molecular Nutrition & Food Research*, 59(1), 36–47.
- FAO (2026). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat. Erişim Adresi (12.05.2026): <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Geren, H., & Güre, E. (2017). Farklı azot ve fosfor seviyelerinin kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'da tane verimi ve bazı verim unsurlarına etkisi üzerinde bir ön araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(1), 1-8.
- Geren, H., Kavut, Y. T., & Altınbaş, M. (2015). Bornova ekolojik koşullarında farklı sıra arası uzaklıkların kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'da tane verimi ve bazı verim özellikleri üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52(1), 69-78.
- Geren, H., Kavut, Y. T., Topçu, G. D., Ekren, S., & İştıplıler, D. (2014). Akdeniz iklimi koşullarında yetiştirilen kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)'da farklı ekim zamanlarının tane verimi ve bazı verim unsurlarına etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 51(3), 297-305.
- Gomaa, E.F. (2013). Effect of nitrogen, Phosphorus and biofertilizers on quinoa plant. *Journal of Applied Sci. and Res.*, 9(8): 5210- 5222.
- Gomez Pando, L., & Eguiluz de la Barra, A. (2013). Developing genetic variability of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with gamma radiation for use in breeding programs. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 349-355.
- Gonzalez, J.A., Gallardo, M., Hilal, M., Rosa, M. ve Prado, F.E. (2009). Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: Dry matter partitioning. *Bot. Stud.*, 50(1): 35-42.

- Hartman, H.T. and Kester, D.E. (1975). Plant Propagation. Principles and Practicies. Prentice-Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 662 pp.
- Hasnain A., Naqvi S.A.H., Ayesha S.I., Khalid F., Ellahi M., Iqbal S., Hassan M.Z., Abbas A., Adamski R., Markowska D., Baazeem A., Mustafa G., Moustafa M., Hassan M.E., Abdelhamid M.M.A. (2022). Plants in vitro propagation with its applications in food, pharmaceuticals and cosmetic industries; current scenario and future approaches. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1009395.
- Heiser, C.B. ve Nelson, D.C. (1974). On the origin of cultivated chenopods (*Chenopodium*). *Genetics*, 78: 503-505.
- Henarejos-Escudero, P., Guadarrama-Flores, B., Guerrero-Rubio, MA. (2018). Development Of Betalain Producing Callus Lines From Colored Quinoa Varieties (*Chenopodium Quinoa* Willd). *J Agric Food Chem* 66:467–474.
- Hesami, M., Daneshvar, MH. (2016). Development Of A Regeneration Protocol Through İndirect Organogenesis in *Chenopodium Quinoa* willd. *J Agric Vet Sci* 4:25–32.
- Hesami, M., Naderi, R., Yoosefzadeh-Najafabadi, M. (2018). Optimizing Sterilization Conditions and Growth Regulator Effects On *In Vitro* Shoot Regeneration Through Direct Organogenesis in *Chenopodium Quinoa*. *Biotechnologia* 99:49–57.
- Horn, W., Schlegel, G., Hauft. (1988). B.Micropropagation of roses. *Acta Hort.*; 226; 623-626
- Jacobsen, S.E. (1993). Quinoa: *Chenopodium quinoa* Willd: A Novel Crop for European Agriculture. Department of Agricultural Science. The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark, 145 p.
- Jacobsen, S.E., Mujica, A. Ve Jensen, R.C. (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews Int.*, 19: 99-109.
- Johnson, D.L. and Croissant, R.L. (1990). Alternate Crop Production and Marketing in Colorado. Fort Collins, Colorado: Colorado State University Cooperative Extension, Technical Bulletin LTB90-3.
- Kır, A. E., & Temel, S. (2016). Iğdır ovası kuru koşullarında farklı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) çeşit ve populasyonlarının tohum verimi ile bazı tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(6), 145-154.
- Kır, A. E., & Temel, S., (2017). Sulu koşullarda farklı kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotiplerinin tohum verimi ile bazı tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 353-361.

- Komari, T. (1990). Transformation Of Cultured Cells Of *Chenopodium Quinoa* By Binary Vectors That Carry A Fragment of DNA From The Virulence Region Of pTiBo542. *Plant Cell Rep* 9:303–306.
- Onay, A. (2005). Pistachio, *Pistacia vera* L. In: *Protocols for Somatic Embryogenesis In Woody Plants*. In: *Forestry Sciences*, (Eds.: S.Mohan Jain & P. Gupta). Kluwer Academic Publishers, The Netherlands., pp. 289-300.
- Ostrolucka, M.G.; Gajdosova, A.; Libiakova, G.; Hrubikova, K.; Bežo, M. (2007). Protocol for Micropropagation of Selected *Vaccinium*spp. In: *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*, Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Oyebanji, O. B., Nweke, O., Odebunmi, O., Galadima, N. B., Idris, M. S., Nnodi U. N., Afolabi A. S., ve Ogbadu, G. H. (2009). Simple, effective and economical explant-surface sterilization protocol for cowpea, rice and sorghum seeds. *African Journal of Biotechnology*, 8(20): 5395-5399.
- Regalado, J. J., Tossi, V. E., Burrieza, H. P., Encina, C. L., Pitta-Alvarez, S. I. (2020). Micropropagation Protocol For Coastal Quinoa. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* (2020) 142:213–219.
- Repo-Carrasco, R., Espinoza C., Jacobsen S.E., (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19(1-2): 179-189.
- Sağlam Yılmaz, S., Doğancı, Ş. (2018). The Effects Of 2,4-D And BAP On *In Vitro* Somatic Embryogenesis İn Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). In: Kovačević D (ed) *Book of proceedings: IX International Scientific Agriculture Symposium Agrosym 2018*. University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture, East Sarajevo, Republic of Srp.
- Salas, S. (2003). Quinoa - Postharvest and commercialization. *Food Reviews Int.*, 19:191-201.
- Schulte auf'm Erley, G., Kaul, H.P., Kruse, M. ve Aufhammer, W. (2005). Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European J. Agron.*, 22: 95-100.
- Shahin, H. (2019). Callus Formation And Production Of Secondary Metabolites By Seedling Explants Of *Chenopodium quinoa*. 59:451–460.
- Sidorov, V., Maughan, P.J., Yang, P. (2024). The Development Of An *In Vitro* Floral Culture Transformation System For Quinoa. *Vitro Cell Dev Biology - Plant*.
- Singh, J. and Kumar, A. (2020). Plant tissue culture and its application in agriculture as biotechnological tool. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Special Issue (11), 274-284.

- Smith, R.H. (2013). Plant Tissue Culture: Techniques and Experiments, Elsevier Inc. All rights reserved, ss: 119-126, DOI: 10.1016/B978-0-12-415920-4.00011-6.
- Soliz-Guerrero, J.B., Jasso de Rodriguez, D., Rodriguez-Garcia, R., Angulo-Sanchez, J.L. and Mendez-Padilla, G. (2002). Quinoa saponins: concentration and composition analysis. In: Janick, J., Whipkey, A. (Eds.). Trends in new crops and new uses. Alexandria: ASHS Press, pp.110-114.
- Tan, M. ve Temel, S. (2019). Her Yönüyle Kinoa Önemi, Kullanılması Ve Yetiştiriciliği, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, ERZURUM, Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, IĞDIR, Iksad Publications – 2019© ISBN: 978-605-7875-88-4.
- Tan, M. ve Yöndem, Z. (2013). İnsan ve Hayvan Beslenmesinde Yeni Bir Bitki: Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Erzurum. Alınteri, 25 (B) – 2013 62-66 ISSN:1307-3311.
- Tan, M., & Temel, S. (2017a). Erzurum ve Iğdır şartlarında yetiştirilen farklı kinoa genotiplerinin kuru madde verimi ve bazı özelliklerinin belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(4), 257-263.
- Tan, M., & Temel, S. (2017b). Studies on the adaptation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Eastern Anatolia Region of Turkey. AGROFOR International Journal, 2(2), 33-39.
- Telahigue, D., Toumi, L. (2017). Influence Of Medium And Growth Regulators On Callogenesis Of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) And Effect Of Hydrous Stress Induced By P.E.G 6000 On The Callus. Hortic Biotechnol Res 3:1–09.
- Temel, I., & Keskin, B. (2018). Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)’nın ot verimi ve bazı verim unsurlarına farklı sıra üzeri ve sıra arası mesafelerin etkileri. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 522-532.
- Temel, S., & Şurgun, N. (2019). Farklı dozlarda uygulanan azot ve fosforlu gübrelemenin kinoa’nın ot verimi ve kalitesine etkisi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(3), 1785-1796.
- Van Schooten, H.A., Pinxterhuis, J.B. (2003). Quinoa as an alternative forage crop in organic dairy farming. Optimal Forage Systems for Animal Production and the Environment Grassland Science in Europe, 26-28 May 2003, Pleven, Bulgaria, Vol: 8, p: 445- 448.
- Wang, Y., Zhang, Y., Dai, C. (2023). The Establishment Of Two Efficient Transformation Systems To Manipulate And Analyze Gene Functions in Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd). J Adv Biol Biotechnol 26:20–31.

- Xiao X, Meng F, Satheesh V et al (2022). An Agrobacterium-mediated transient expression method contributes to functional analysis of a transcription factor and potential application of gene editing in *Chenopodium Quinoa*. *Plant Cell Rep* 41:1975–1985.
- Xie, Y., Liu, J., Zheng, K. (2025). Efficient *In Vitro* Regeneration And Overcoming Premature Senescence Of *Chenopodium Quinoa* Willd. *Sci Rep* 15:1–11.



BÖLÜM 3

Lavanta (*Lavandula* spp.)’nın Mikroçoğaltımı

Büşra Avcı Yurtdaş¹ & Sevil Sağlam Yılmaz²

GİRİŞ

Lavanta (*Lavandula* spp.) hoş kokusu, estetik görünümü ve çok yönlü kullanım alanlarıyla dikkat çeken; çok yıllık, her dem yeşil, yarı çalimsı formda ve dünya çapında yüksek ekonomik değere sahip aromatik bir bitkidir (Nobre, 1996; Oskouie ve ark, 2018). İsmi, Latince "yıkamak/temizlemek" anlamına gelen ‘lavare’ kelimesinden türetilmiştir. Bitkinin antik Yunan ve Roma dönemlerinde banyo sularına ve kıyafetlere hoş koku vermesi ve temizlik amacıyla kullanıldığı bilinmektedir (Basch ve ark., 2004).

Lavanta bitkisinin dünya genelinde yaklaşık 39 türü, 79 alttürü, çok sayıda hibriti ve 400’e yakın tescilli çeşiti bulunmaktadır (Gonçalves ve Romano, 2013; Passalacqua ve ark., 2017; Radi ve ark., 2022; Crişan ve ark., 2023). Bitkinin anavatanı Akdeniz havzasıdır. Ancak Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika’da da kültüre alınarak geniş bir coğrafyada yetiştirilmektedir. Özellikle Fransa, İspanya ve İtalya gibi ülkelerde ve Balkanların dağlık bölgelerinde doğal olarak yayılış göstermektedir (Kara ve Baydar, 2012).

Dünya lavanta üretiminin yaklaşık üçte ikisi Fransa (%34) ve Bulgaristan (%32) tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu ülkeleri sırasıyla Rusya, Ukrayna, Moldova, Romanya, Hırvatistan, Macaristan, Polonya, İtalya, İspanya, Portekiz, Türkiye, Fas, Birleşik Krallık, ABD, Avustralya, Güney Afrika ve Çin izlemektedir (Akyön ve Özel, 2024). Fransada üretim ağırlıklı olarak Provence bölgesinde gerçekleştirilmektedir. Ülkede yaklaşık 4.000 ha alanda gerçek lavanta (*Lavandula angustifolia*) ve 15 000 ha alanda lavandin yetiştiriciliği yapılmaktadır (CENSO, 2024). Türkiye’de lavanta yetiştiriciliği 1970’li yıllara uzanmakta olup, Fransız bir gül yağı fabrikasının ortağı olan Zeki Konur’un Fransa’dan getirdiği lavanta bitkisi, 1990’lara kadar gül bahçelerinin çevresinde ve ev bahçelerinde daha çok süs ve hobi (peyzaj) amacıyla kullanılmıştır. 1990’lardan itibaren üretim alanlarında belirgin bir genişleme yaşanmış; günümüzde devlet teşvikleri ve artan ilginin etkisiyle üretim Isparta (%38, özellikle Kuyucak köyü), Afyonkarahisar (%20), Burdur (%14) ve Çanakkale (%9) illeri başta olmak üzere 23 ile yayılmıştır (BAKA, 2020). Türkiye’de

¹ Arş. Gör., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Kırşehir, ORCID: 0000-0003-1108-808X

² Prof. Dr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Kırşehir, ORCID: 0000-0003-1302-9147

lavanta üretimine ilişkin en eski istatistiki veriler ise 2012 yılında tutulmaya başlanmış olup, 2012-2025 yıllarına ait lavanta ekim alanı, üretim miktarı ve verim değerleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Türkiye’de lavanta ekim alanı, üretim miktarı ve veriminin yıllara göre değişimi (TÜİK, 2026).

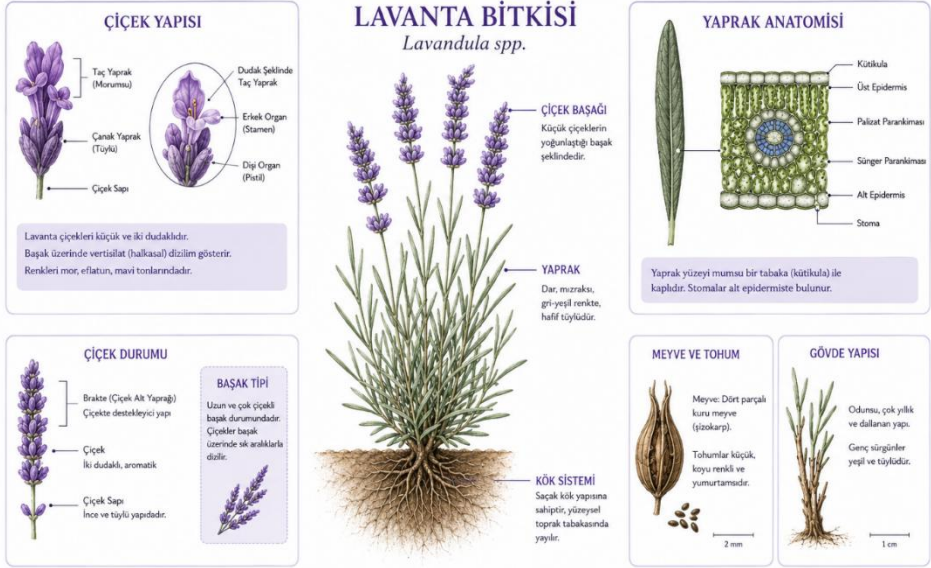
Yıl	Ekim Alanı (dekar)	Üretim (ton)	Verim (kg/dekar)
2012	509	123	242
2013	709	105	148
2014	2 189	297	136
2015	3 218	400	124
2016	5 700	747	131
2017	6 606	845	128
2018	8 684	1 040	120
2019	11 903	1 462	123
2020	22 188	3 499	158
2021	35 810	6 108	171
2022	47 176	7 722	164
2023	52 329	9 509	182
2024	49 937	9 070	182
2025	46 556	8 713	187

Tablo 1.’e göre Türkiye 2025 yılı itibariyle 46 556 da lavanta ekim alanına, 8 713 ton üretime ve 187 kg/da verime sahiptir.

Lavantanın Morfolojik Özellikleri

Lavanta bitkisinin boyu, türe bağlı olarak yaklaşık 20-150 cm arasında değişiklik göstermektedir (Akyön ve Özel, 2024). Toprakta yaklaşık 2–3 metre derinliğe kadar ulaşabilen güçlü, odunsu ve kalın bir kazık kök sistemine sahiptir. Bu derin kök yapısı bitkinin kuraklığa karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Gövdesi dipten dallanarak küresel bir form oluşturmaktadır. Yaşlı dallar odunlaşmış ve pullu bir kabukla kaplıyken, genç sürgünler yeşil ve dört köşeli (kare) yapıdadır (Coltun, 2016). Yaprakları çoğunlukla gümüşü-grimsi yeşil renkte, doğrusal-mızrak şeklinde ve dal üzerinde karşılıklı dizilmişlerdir (Kirimer ve ark., 2017). Yaprakların her iki yüzü de tüylerle kaplı olup, bu tüyler bitkiyi aşırı güneş ışığından, rüzgardan ve su kaybından korumaktadır (Prusinowska ve

Smigielski, 2014). Çiçekleri ise dalların ucundaki 10-45 cm uzunluğundaki sapların üzerinde, başak şeklinde toplanmaktadır. Her başak genellikle 5-15 başakçık içermekte ve çiçek rengi çoğunlukla mavimsi mor tonlarında görülmekle birlikte beyaz ve pembe çiçekli çeşitleri de bulunmaktadır. Çiçek yapısı zigomorf ve iki dudaklı formdadır. Lavantanın ekonomik açıdan en değerli kısmı olan uçucu yağ, özellikle çanak yaprak (kaliks) üzerinde yoğunlaşan tek hücreli salgı tüylerinde (trikomlarda) depolanmaktadır (Gonçalves ve Romano, 2013; Coltun, 2016; Kirimer ve ark., 2017; Constantinescu ve ark., 2022). Lavantanın morfolojik özellikleri Şekil 1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Lavantanın morfolojik özellikleri

İklim ve Toprak İstekleri

Lavanta tam güneş isteyen türler arasında yer almakta olup optimum gelişim için günde en az 6–8 saat doğrudan güneş ışığına ihtiyaç duymaktadır. Özellikle bahar ve yaz aylarında 20–30 °C sıcaklıkların görüldüğü bölgelerde daha iyi gelişim göstermekte, vejetasyonun başlaması için ise yaklaşık 10–15 °C sıcaklık gerekmektedir. Lavanta kış soğuklarına karşı dayanıklı bir bitki olup olgun bireyler kar örtüsü altında yaklaşık -30 °C'ye kadar dayanabilmektedir. Bununla birlikte bitki, sonbahar sonlarında meydana gelen ani don olaylarına karşı duyarlılık gösterebilmektedir (Constantinescu ve ark., 2022). Bitki, iyi drene edilmiş, kireççe zengin ve pH değeri 5.8-8.3 arasında olan topraklarda optimum gelişim göstermektedir. Buna karşın, taban suyu yüksek, ağır killi ve asidik karakterli topraklar kök çürüklüğü riskini artırdığı için lavanta yetiştiriciliği açısından uygun görülmemektedir. Ayrıca lavanta, kuraklığa, yüksek sıcaklıklara ve çevresel stres koşullarına karşı oldukça dayanıklıdır (Crişan ve ark., 2023;

Akyön ve Özel, 2024). Lavanta plantasyonları; sarı sararma (stolbur fitoplazma), fungal kök çürümeleri (*Armillaria mellea*, *Rosellinia necatrix*) ve alfa mozaik virüsü gibi çeşitli hastalık etmenlerinin baskısı altında kalabilmektedir. Bu hastalıklar plantasyonların ekonomik ömrünü önemli ölçüde azaltabilmektedir (Crişan ve ark., 2023).

Ekonomik Önemi ve Kullanım Alanları

Ticari ve ekonomik açıdan en fazla kullanılan lavanta türleri *Lavandula angustifolia*, *Lavandula intermedia* ve *Lavandula stoechas*'tır. *L. angustifolia*, gerçek lavanta, İngiliz lavantası ya da lavender olarak bilinmekte olup, en kaliteli uçucu yağ bu türden elde edilmektedir. Yüksek linalool (%20–45) ve linalil asetat (%25–50) içeriği sayesinde kozmetik, ilaç ve gıda sanayisinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Akyön ve Özel, 2024). *L. intermedia*, lavandin ya da melez lavanta olarak bilinmektedir ve *L. angustifolia* ile *L. latifolia* türlerinin melezidir. Gerçek lavantaya kıyasla daha yüksek oranda uçucu yağ verimine sahip olsa da yağ kalitesi daha düşüktür. *L. stoechas* ise karabaş otu olarak bilinmektedir. Türkiye’de Aydın, İstanbul, İzmir ve Muğla illerinde doğal yayılış göstermekte ve geleneksel tıpta (kulak-burun-boğaz, idrar yolu hastalıkları, yara iyileştirme) yaygın olarak kullanılmaktadır (Kara ve Baydar, 2012; Aydemir, 2023). Dünya genelinde üretimi en yaygın olan lavanta türü lavandindir. Küresel lavanta üretim alanlarının yaklaşık %80’ini lavandin, %20’sini ise lavender oluşturmaktadır. Dünya lavanta yağı ticaret hacmi 2020 yılında yaklaşık 38 milyon Amerikan dolarıdır (BAKA, 2020).

Lavanta yüksek ekonomik değere sahip aromatik bitkiler arasında yer almakta olup uçucu yağı ve bitkisel ürünleri çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Güçlü yatıştırıcı, sedatif, anti-anksiyete, antimikrobiyal ve yara iyileştirici etkileri nedeniyle tıp ve farmakoloji alanında; parfüm, kozmetik, sabun ve deterjan sanayisinde temel bir aroma kaynağı olarak endüstride; çay, aromatik bal, dondurma ve tatlı yapımında ise doğrudan veya aroma verici olarak gastronomi alanında kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra lavanta, görsel çekiciliği ve hoş aroması nedeniyle dünya genelinde en çok tercih edilen süs bitkileri arasında yer almaktadır. Peyzaj düzenlemeleri, arıcılık faaliyetleri, erozyon kontrolü ve yangın sonrası alanların yeniden ağaçlandırılması gibi uygulamalarda da kullanımı mevcuttur. Bu yönüyle lavanta yalnızca endüstriyel bir ürün değil, aynı zamanda peyzaj mimarları, mülk sahipleri ve fotoğrafçılar açısından yüksek estetik değere sahip stratejik bir bitki niteliği taşımaktadır (BAKA, 2020; Kobets ve ark., 2024).

Lavantanın Üretim Yöntemleri

Bitkinin üretimi temel olarak generatif (eşeyli, tohumla) ve vejetatif (eşaysız) olarak gerçekleştirilmektedir. Generatif üretim, türün diploid ve tetraploid yapısı nedeniyle mümkün olmakla birlikte ticari açıdan bazı sınırlılıklar taşımaktadır. Tohumla çoğaltılan bitkilerde büyüme hızı ve uçucu yağ bileşimi bakımından

yüksek genetik varyasyon görülmekte, bu durum üretim alanlarında homojenliği azaltmaktadır. Ayrıca fidelerin ekonomik verim çağına ulaşması yaklaşık 4 yıl almakta ve tohumlarda gözlenen dormansi nedeniyle çimlenme için soğuk katlama (+4°C'de 6–8 hafta) veya giberellik asit (GA₃) uygulamaları gibi ön işlemler gerekmektedir (Chavagnat, 1978). Bu yöntemde tohumlar doğrudan araziye ekilebilmekle birlikte, çoğunlukla fide yastıklarında veya viyollerde yetiştirilip daha sonra tarlaya şaşırtılmaktadır (Aydemir, 2023). Ancak tohumla üretimde çimlenme oranları düşük ve yavaştır (Chaimae ve ark., 2020). Tohumdan elde edilen bitkilerin büyüme hızı, çiçek rengi ve uçucu yağ bileşiminde yüksek düzeyde genetik varyasyon görülmekte, bu da üretimde homojenliği olumsuz etkilemektedir (Karakaş ve İzci, 2024). Bu durum, sanayinin ihtiyaç duyduğu tekdüze ve yüksek kaliteli ürün elde edilmesini zorlaştırmaktadır (Kumari ve ark., 2024).

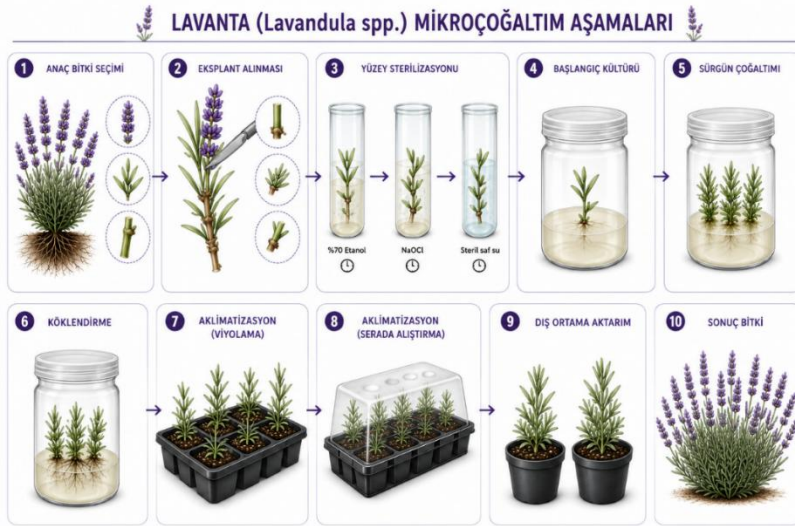
Vejetatif üretim, genetik olarak ana bitkiyle aynı özelliklere sahip klon bireyler elde edilmesini sağladığından geleneksel yetiştiricilikte en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu kapsamda en sık başvuru teknik çelikle çoğaltma olup, genellikle bir yıllık odunsu ya da yeşil sürgünlerden alınan 10–15 cm uzunluğundaki çelikler kullanılmaktadır (Kobets ve ark., 2024). Çelikler çoğunlukla sonbahar veya erken ilkbahar döneminde 3-5 yaşındaki sağlıklı bitkilerden alınmakta (Coltun, 2016) ve köklenme oranını artırmak amacıyla IBA (Indol-3-bütirik asit) veya NAA (Naftalen asetik asit) gibi oksin grubu hormonlarla muamele edilmektedir (Karakaş ve İzci, 2024). Bunun yanı sıra kökten bölme şeklinde ayırma ve daldırma yöntemleri de kullanılabilir. Ancak bu tekniklerin çoğaltma katsayısı daha düşüktür (Kobets ve ark., 2024). Çelikle çoğaltma yavaştır ve yoğun iş gücü gerektirmektedir (Akyön ve Özel, 2024). Ayrıca bazı üstün klon ve türlerde köklenme başarısı da düşük olmaktadır (Karakaş ve İzci, 2024). Bir diğer vejetatif çoğaltım metodu da doku kültürleri ile çoğaltımdır.

Doku kültürü, *in vitro* koşullarda yapay besin ortamlarında bir bitkiden alınan ve eksplant olarak adlandırılan bitki parçalarından yeni bitkilerin ve/veya bitkisel ürünlerin üretilmesini sağlayan bir tekniktir. Lavanta bitkisinin doku kültürü çalışmalarında, meristem kültürü teknikleri kullanılarak hastalıklardan arı sağlıklı bitkiler elde edilebilmektedir. Ayrıca moleküler markörler ve genetik transformasyon tekniklerinden yararlanılarak kuraklık, tuzluluk ve patojenlere karşı dayanıklı yeni çeşitlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir (Crisan ve ark., 2023). Bununla birlikte, nadir ve nesli tehlike altındaki lavanta türleri *in vitro* koşullarda gen bankalarında korunarak, doğal popülasyonlara zarar verilmeden sürdürülebilir üretim ve biyoçeşitliliğin devamlılığı sağlanabilmektedir (Şimşek ve ark., 2024). Mikroçoğaltım (klonal, hızlı çoğaltım) ise lavantanın üretiminde kullanılan önemli bir doku kültürü yöntemidir. Bu yöntem, geleneksel üretim tekniklerinin yavaş çoğalma hızı ve hastalık riski gibi sınırlılıklarını aşmak amacıyla geliştirilmiş modern bir

yaklaşımdır (Chaimae ve ark., 2020) ve lavanta bitkisinin çoğaltımında da kullanılmaktadır (Şimşek ve ark., 2024). Mikroçoğaltım hastaliksız bitki üretimi ve genetik homojenliğin korunması gibi avantajları nedeniyle geleneksel yöntemlere kıyasla önemli üstünlükler sunmaktadır (Kumari ve ark., 2024). Başlangıç maliyetinin yüksek olmasına rağmen, daha tutarlı verim ve uçucu yağ kalitesi sağlaması nedeniyle uzun vadede ekonomik açıdan avantajlı bir üretim yöntemi olarak kabul edilmektedir (Zuzarte ve ark., 2010; Chaimae ve ark., 2020; Kumari ve ark., 2024).

LAVANTANIN MİKROÇOĞALTIMI

Lavantanın mikroçoğaltımında başlangıç materyali olarak genellikle gövde boğumları, sürgün uçları, meristemler veya yaprak parçaları kullanılmaktadır (Devasigamani ve ark., 2020). Uygulama süreci; eksplantların sodyum hipoklorit (NaOCl) veya etil alkol ile sterilizasyonu, sitokinin (BAP, kinetin vb.) içeren Murashige ve Skoog (MS) besin ortamında sürgün oluşumunun teşvik edilmesi, oluşan sürgünlerin IBA içeren ortamlarda köklendirilmesi ve bitkiciklerin kontrollü koşullarda dış ortama alıştırılması (aklimatizasyon) aşamalarından oluşmaktadır (Kirimer ve ark., 2017; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022; Akyön ve Özel, 2024). Lavanta bitkisinin mikroçoğaltımı mevsimden bağımsız hızlı ve kitlesel üretim imkânı sunması bakımından önemlidir. Bunun yanı sıra bu yöntem, hastalıklardan arındırılmış ve genetik olarak anaçla tamamen aynı bitki materyali elde edilmesine olanak sağlamaktadır (Şimşek ve ark., 2024). Lavantanın mikroçoğaltım aşamaları [hazırlık (1-2), kültür başlangıcı (3-4), sürgün çoğaltımı (5), köklendirme (6), aklimatizasyon (7-10)] Şekil 2.'de verilmiştir.



Şekil 2. Lavantanın mikroçoğaltım aşamaları

Lavantanın mikroçoğaltımında en yaygın kullanılan ve üzerinde en fazla bilimsel çalışma yürütülen tür *L. angustifolia*'dır (Crişan ve ark., 2023). Bu tür, lavandin gibi melez türlere kıyasla yaklaşık 3-5 kat daha yüksek ekonomik değere sahip olup, parfüm ve ilaç sanayisi için üstün kalitede uçucu yağa sahiptir (Kara ve Baydar, 2012; Gonçalves ve Romano, 2013). Bitkinin uçucu yağı, farmasötik ve kozmetik değeri belirleyen linalool ve linalil asetat bileşenleri bakımından oldukça zengindir (Falk ve ark., 2009). Geleneksel üretim yöntemlerinden tohumla çoğaltımda büyüme hızı ve uçucu yağ kalitesi bakımından yüksek genetik varyasyon görülebilmektedir. Çelikle üretimde ise sürecin yavaş ilerlemesi ve bazı türlerde köklenme veriminin düşük olması, araştırmacıları kontrollü koşullarda homojen ve hastaliksız bitki üretimi sağlayan mikroçoğaltım tekniklerine yöneltmiştir (Kumari ve ark., 2024). Ayrıca mikroçoğaltım, doğal popülasyonların aşırı sömürülmesini önleyerek biyoçeşitliliğin korunmasına hizmet etmekte ve genetik mühendisliği çalışmaları için temel oluşturmaktadır (Gonçalves ve Romano., 2013). Lavantanın mikroçoğaltımı üzerine yürütülen çalışmalar ve uygulanan protokoller türler bazında Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Lavantanın mikroçoğaltımına ilişkin çalışmalar ve uygulanan protokoller

Tür	Eksplant	Sterilizasyon	Besin Ortamı	Köklendirme	Kültür Koşulları	Kaynak
<i>L. stoechas</i>	Tekli boğum apikal sürgün	Belirtilmemiş	Margara N30K + 217.2 µM AdS + 0.05 µM NAA	Margara + 5.4 µM (1.0 mg/L) NAA	8 saat karanlık	)
	Kotiledon boğum meristematik uç	%20 çamaşır suyu - 7 dk	MS + 0.25 mg/L BAP	MS + 1.0 mg/L IBA	8 saat karanlık	h ve Khawar (2022)
<i>L. angustifolia</i>	Sürgün ucu boğum	%50 EtOH- 1 dk + %2 NaOCl- 20 dk	MS + 0.20 mg/L TDZ	1/2 MS + mg/L NAA	8 saat karanlık	k. (2011)
	Yaprak gövde	%70 EtOH- 1 dk + %1 NaOCl -20 dk	MS + 2 mg/L 2,4-D + 2 mg/L BAP	Belirtilmemiş	anlık	k. (2014)
	Tohum sürgün	%70 EtOH-1 dk + %75 NaOCl-10 dk	WPM+0.1 mg/L BA	WPM + 0.5 mg/L IAA + 1.0 g/L aktif karbon	8 saat karanlık	ark. (2017)
	Sürgün	%70'lik EtOH-30 sn + %7 NaOCl-20 dk	MS+0.1mg/L KIN+0.01 mg/L IAA	MS + 0.2 mg/L IBA veya NAA	8 saat karanlık	k. (2017)
	Tohum	%70 EtOH- 30 sn + %20 NaOCl-20 dk	MS + 1.0-2.0 mg/L Zeatin	Hormonsuz MS	8 saat karanlık	hifor (2018)
	Aksiller tomurcuk	Belirtilmemiş	MS + 1.0 mg/L Kinetin+ 0.1 mg/L GA ₃	Spontan köklenme	8 saat karanlık	ark. (2019)
	Yaprak	Belirtilmemiş	MS + 8.88 µM BAP + 5.36 µM NAA	MS + 8.88 µM BAP + 4.92 µM IBA + 2.68 µM NAA	8 saat karanlık	ni ve ark. (2020)
<i>L. dentata</i>	Tekli boğum	%3 NaOCl-5 dk	MS + 1.0 mg/L BA veya 2.0 mg/L Kinetin	1/2 MS + 0.25/0.5/1.0 mg/L IBA	8 saat karanlık	
	Aksiller tomurcuk boğum	%3 NaOCl + %0.01 Tween-20- 15 dk	MS + 5.0 µM BA veya 20 µM Kinetin	1/2 MS hormonsuz	8 saat karanlık	k. (1998)

<i>L. latifolia</i>	Aksiller tomurcuk	%70 EtOH- 30 sn+%1 NaOCl-20 dk	MS + 2.2 µM BA + 2.5 µM IBA	MS + 2.5 µM NAA	8 saat ışık/8 saat karanlık	ay ve ark. (2005)
	Tohum	GA ₃ - 48 saat + %70 EtOH-1 dk + %4 NaOCl-20 dk	MS + 5.0 µM BAP	Hormonsuz MS	8 saat karanlık	e ark. (2021)
	Hipokotil	Belirtilmemiş	MS + 0.60 µM IAA + 8.9 µM BA	Hormonsuz 1/2 MS	8 saat ışık/8 saat karanlık	gura (1989)
	Boğum	%3 NaOCl + %0.1 Tween 20-30 dk	MS + 8.88 µM BA + 0.57 µM IAA	Hormonsuz 1/2 MS	8 saat karanlık	s ve Calvo (1996)
<i>L. officinalis</i>	Apikal meristem 2-4 boğumlu gövde	EtOH-30 sn+%0.1HgCl ₂ -3 dk	MS + 2.5 mg/L Kinetin	Hormonsuz 1/2 MS	8 saat karanlık	ç., (2015)
<i>L. pedunculata</i>	Boğum aksiller tomurcuk	%70 EtOH-30 sn+%7 Ca(ClO) ₂ -5 dk	MS + 0.1/0.25/0.50 mg/L BA	Hormonsuz MS	8 saat karanlık	rk. (2010)
<i>L. angustifolia</i> & <i>L. intermedia</i>	Sürgün ucu gövde	%70 EtOH-30 sn+%10 NaOCl-10 sn	MS + 2.2 µM BA + 2.5 µM IBA	MS + 2.5 µM NAA	8 saat karanlık	dar (2012)
<i>L. angustifolia</i> & <i>L. latifolia</i>	Yaprak	%70 EtOH-30 sn+%0.3 NaOCl-20 dk	MS + B ₅ +GA ₃ + BAP + IAA	GA ₃ , BAP ve IAA içeren sıvı ortam	8 saat ışık/8 saat karanlık	)
	Tohum boğum	%95 EtOH-30 sn+ %20 NaOCl-45 dk	MS + 1.5 mg/L Kinetin +0.05 mg/L NAA MS + 0.5 mg/L BAP + 0.05 mg/L NAA	MS + 0.4 mg/L NAA veya 0.4 mg/L IBA MS + 0.3 mg/L NAA	8 saat karanlık	e ark. (2007)

Lavantanın mikroçoğaltım prosedürü; uygun başlangıç materyalinin seçimi, sterilizasyonu, sürgün gelişiminin teşvik edilmesi, köklendirme ve dış ortama uyum süreçlerinden oluşmaktadır.

Hazırlık Aşaması

Lavantanın *in vitro* mikroçoğaltımı, doku kültürü laboratuvarlarında steril koşullar altında yürütülen ve uygun bitki materyalinin seçimi ve dezenfeksiyon işlemlerini kapsayan bir süreçtir (Gonçalves ve Romano, 2013). Mikroçoğaltım çalışmalarında kültürü başlatmak amacıyla ana bitkiden küçük bitki parçaları alınmaktadır ve bu bitki parçaları ‘eksplant’ olarak adlandırılmaktadır. Lavanta türlerinde eksplant kaynağı olarak, sürgün uçları, tekli veya çoklu boğum segmentleri, yaprak parçaları, hipokotil segmentleri ve tohumlar yaygın olarak kullanılmaktadır (Segura ve Calvo, 1991; Nobre, 1996; Zuzarte ve ark., 2010; Miclea ve Chifor, 2018; Devasigamani ve ark., 2020). Yüksek rejenerasyon kapasitesine sahip olması nedeniyle aksiller tomurcuk içeren boğum segmentleri en sık kullanılan eksplant tipi olarak öne çıkmaktadır (Gonçalves ve Romano, 2013). Kullanılan eksplantlar tarla veya sera koşullarında yetiştirilmiş, sağlıklı gelişim göstermiş ve çoğunlukla 3-6 aylık veya daha yaşlı anaç bitkilerden elde edilmektedir (Jordan ve ark., 1998; Hamza ve ark., 2011; Prasad ve ark., 2015).

Dış ortamdan alınan eksplantlar üzerinde mantar ve bakteri gibi çeşitli mikroorganizmalar bulunabildiğinden, *in vitro* kültürün başarılı şekilde sürdürülebilmesi için etkili bir sterilizasyon işlemi uygulanmalıdır (Kumari ve ark., 2024). Bu amaçla eksplantlara öncelikle ön yıkama işlemi yapılmakta ve

materyaller genellikle akan çeşme suyu altında 15–60 dakika süreyle yıkanmaktadır (Al-Bakhit ve ark., 2007; Hamza ve ark., 2011; Kumari ve ark., 2024). Bazı çalışmalarda yüzey gerilimini azaltmak amacıyla yıkama suyuna birkaç damla Tween 20 veya Tween 80 gibi deterjanlar ilave edilmektedir (Jordan ve ark., 1998; TienVinh ve ark., 2017; Sekhi ve ark., 2025). Ön sterilizasyondan sonra biyogüvenlik kabiniinde asıl sterilizasyon aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada en yaygın kullanılan yöntem, eksplantın kısa süreli (30-60 sn) %70’lik etanol uygulamasının ardından sodyum hipoklorit (NaOCl) veya kalsiyum hipoklorit [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$] çözeltisine daldırılması şeklindedir (Echeverrigaray ve ark., 2005; Zuzarte ve ark., 2010; Andrys ve ark., 2017; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022; Kumari ve ark., 2024). Bunun yanı sıra bazı hassas türlerde dezenfeksiyon için civa klorür (HgCl_2) veya çeşitli fungusitler de kullanılmaktadır (Prasad ve ark., 2015; Domingues ve ark., 2024). Dezenfeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra kimyasal kalıntıların bitki dokularına zarar vermesini önlemek için eksplantlar steril kap içerisinde en az 3-5 kez steril saf su ile durulanmaktadır (Hamza ve ark., 2011; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022; Kumari ve ark., 2024; Domingues ve ark., 2024).

Kültür Başlangıç Aşaması

Sterilizasyon işlemleri tamamlandıktan sonra lavantanın *in vitro* gelişimi için gerekli olan makro ve mikro besin elementlerini içeren besin ortamları hazırlanmaktadır. Lavanta türleri için en yaygın kullanılan temel besin ortamı MS (Murashige ve Skoog) ortamı olup (Kara ve Baydar, 2012; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022; Sekhi ve ark., 2025), türün gereksinimlerine göre WPM (Woody Plant Medium) veya Margara (N30K) gibi farklı besin ortamları da kullanılabilir (Gonçalves ve Romano 2013; TienVinh ve ark., 2017; Domingues ve ark., 2024). Besin ortamına karbon kaynağı olarak genellikle 30 g/L sakkaroz ilave edilmekte, ortamın katılaştırılması için 6-8 g/L agar veya 5 g/L phytagel kullanılmaktadır (Kara ve Baydar, 2012; Prasad ve ark., 2015; Kirimer ve ark., 2017; Miclea ve Chifor, 2018; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022; Sekhi ve ark., 2025). Lavanta eksplantları kesildiklerinde fenolik bileşikler salgılayabilmekte ve bu durum besin ortamında kararmaya ve doku ölümüne neden olabilmektedir. Bu nedenle bazı çalışmalarda besin ortamına 10 mg/L askorbik asit ilave edilmektedir. Ayrıca fenolik bileşik birikimini önlemek amacıyla eksplantların ilk 24–36 saat içerisinde taze besin ortamına aktarılması etkili bir yöntem olarak uygulanmaktadır (Nobre, 1996; Zuzarte ve ark., 2010). Hazırlanan besin ortamlarının pH değeri genellikle 5.6-5.8 aralığında olmaktadır. Besin ortamları ve kullanılacak cam materyaller otoklavda 121 °C sıcaklık ve 1.5 atm basınç altında 15-20 dk süreyle sterilize edilmektedir (Calvo ve Segura, 1989; Kara ve Baydar, 2012; Andrys ve ark., 2017; Devasigamani ve ark., 2020; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022; Sekhi ve ark., 2025).

Eksplantlar besin ortamına yerleştirildikten sonra kontrollü iklim odalarında gelişmeye bırakılmaktadır. Bu aşamada kültür odası genellikle 24–26 °C arasında sabit tutulmakta ve bitki gelişimini desteklemek amacıyla çoğunlukla 16 saat ışık / 8 saat karanlık fotoperiyodu uygulanmaktadır (Echeverrigaray ve ark., 2005; Al-Bakhit ve ark., 2007; Prasad ve ark., 2014; Devasigamani ve ark., 2020; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022). Işık şiddeti ise çalışmanın aşamasına ve kullanılan türe bağlı olarak 1.500–20.000 lüks arasında ayarlanmaktadır (Hamza ve ark., 2011; Kirimer ve ark., 2017; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022). Kültür başlangıcını takip eden ilk 7–15 gün içerisinde aksiller tomurcuk gelişimi ve ilk sürgün oluşumları gözlemlenmektedir (Jordan ve ark., 1998; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022). Bu süreç boyunca kültürler mantar ve bakteri kontaminasyonu açısından düzenli olarak kontrol edilmekte, sağlıklı şekilde sürgün gelişimi gösteren eksplantlar ise yaklaşık 4–8 hafta sonunda çoğaltım aşamasına aktarılabilir durumuna ulaşmaktadır (Prasad ve ark., 2014).

Sürgün Çoğaltım Aşaması

Bu aşamada kısa sürede çok sayıda, genetik olarak ana bitkiyle aynı özelliklere sahip ve hastalıktan ari bitki materyali elde edilmesi hedeflenmektedir. Çoğaltım başarısı ise genotip, eksplant tipi, besin ortamının bileşimi ve bitki büyüme düzenleyicilerinin dengesine bağlı olarak değişmektedir. Sürgün çoğaltımı genellikle aksiller tomurcukların uyarılması veya adventif sürgün oluşumu yoluyla gerçekleştirilmektedir (Gonçalves ve Romano, 2013). Sürgün çoğaltım aşamasında en etkili bitki büyüme düzenleyicileri sitokininlerdir. Lavanta mikroçoğaltımında en yaygın kullanılan sitokinin BAP (6-benzilaminopurin) olup, kullanılan dozlar genellikle 0.1–2.0 mg/L arasında değişmektedir (TienVinh ve ark., 2017; Akyön ve Özel, 2024). Bunun yanında TDZ (thidiazuron) uygulamaları da düşük konsantrasyonlarda çok sayıda sürgün oluşumunu teşvik etmektedir (Falk ve ark., 2009). Kinetin (Kin) ve 2iP gibi diğer sitokininler ise özellikle sürgün boyunun artırılması ve hiperhidrisite (camsılaşma) riskinin azaltılması amacıyla kullanılmaktadır (Prasad ve ark., 2014; Andrys ve ark., 2017). Çoğaltım oranını artırmak amacıyla sitokininler düşük doz oksinlerle birlikte kullanılmaktadır. Özellikle BAP ile NAA kombinasyonlarının sürgün gelişimini teşvik ettiği bildirilmekle birlikte, bazı lavanta türlerinde oksin ilavesinin sürgün sayısını azaltabildiği de belirtilmektedir (Gonçalves ve Romano, 2013; Chaimae ve ark., 2020). Bu aşamada karşılaşılan en önemli sorunlardan biri hiperhidrisite (camsılaşma) problemidir. Özellikle yüksek sitokinin konsantrasyonları ve kültür kabı içerisindeki yüksek nem koşulları sürgünlerin şeffaf, sulu ve kırılgan bir yapı kazanmasına neden olabilmektedir. Hiperhidrisiteyi azaltmak amacıyla sitokinin dozunun düşürölmesi, agar miktarının artırılması veya besin ortamına AdS (adenin hemisülfat) gibi katkı maddelerinin ilave edilmesi önerilmektedir (Zuzarte ve ark., 2010; Gonçalves ve Romano, 2013; şimşek ve ark., 2024).

Köklendirme Aşaması

Sürgün çoğaltım evresinde yeterli gelişime ulaşan bitkiciklerin dış ortama aktarılmadan önce fonksiyonel bir kök sistemi oluşturması amaçlanmaktadır (Echeverrigaray ve ark., 2005). Köklendirme başarısı; kullanılan besin ortamı, oksin türü ve konsantrasyonu ile kültür koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Gonçalves ve Romano, 2013). Köklendirme aşamasında en yaygın kullanılan besin ortamı MS ortamıdır. Ancak bitkinin türüne ve çalışmanın kapsamına göre tam güçteki MS ortamı yerine makro elementlerin yarıya (1/2 MS) veya dörtte bire (1/4 MS) indirilmiş formülasyonları da kullanılmaktadır (Hamza ve ark., 2011; Gonçalves ve Romano, 2013; Andrys ve ark., 2017). Ayrıca türün ihtiyacına göre WPM gibi daha düşük mineral içerikli ortamlar da başarılı sonuçlar verdiği bildirilmektedir (TienVinh ve ark., 2017). Kök oluşumunu teşvik etmek amacıyla besin ortamına genellikle oksin grubu bitki büyüme düzenleyicileri ilave edilmektedir (Sekhi ve ark., 2025). Lavanta mikroçoğaltımında köklendirme amacıyla en yaygın kullanılan oksin IBA olup, özellikle *L. angustifolia* türünde 1.0–1.25 mg/L IBA dozlarının etkili olduğu bildirilmektedir. Ayrıca *L. stoechas* türünde en uzun kök ve sürgün gelişiminin 1.0 mg/L IBA içeren ortamlarda elde edilmiştir (Kirimer ve ark., 2017; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022). Bunun yanında 1.0–2.0 mg/L NAA uygulamalarının da yüksek köklenme oranları sağladığı, ancak bazı çalışmalarda kök uzunluğunun IBA uygulamalarına göre daha düşük kaldığı bildirilmektedir. Bazı protokollerde ise 0.5 mg/L IAA (Indol-3-Asetik Asit) kullanımının kök gelişimini desteklediği ifade edilmektedir (Hamza ve ark., 2011; TienVinh ve ark., 2017). Alternatif olarak sürgün tabanlarının % 0.8 IBA tozuna batırılarak hormonsuz ortama aktarılmasıyla yüksek oranda köklenme elde edilebildiği rapor edilmiştir (Falk ve ark., 2009). Bazı protokollerde ayrıca toksik bileşikleri adsorbe etmek ve kök gelişimini iyileştirmek amacıyla ortama 2.0 g/L aktif karbon ilave edilmiştir (Şimşek ve ark., 2024). Eksplantlar üzerinde ilk kök uçları genellikle 6 ile 8 gün içerisinde görülmeye başlanmakta ve köklenme süreci türe bağlı olarak 1 ile 4 hafta arasında tamamlanmaktadır (Falk ve ark., 2009; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022).

Aklimatizasyon (dış ortama alıştırma) Aşaması

Mikroçoğaltımın son aşaması olan aklimatizasyon, *in vitro* koşullarda gelişen bitkiciklerin dış ortam koşullarına uyum sağlamasını amaçlamaktadır (Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022). Bu aşamada, yüksek nem ve kontrollü çevre koşullarında yetişen bitkicikler, dış ortamın değişken sıcaklık, ışık ve nem gibi çevresel koşullarına kademeli olarak adapte edilmektedir (Al-Bakhit ve ark., 2007). Aklimatizasyon başarısı, bitkiciklerin dış ortamda hayatta kalma oranını doğrudan etkilemektedir (Gonçalves ve Romano, 2013). Süreç, bitkiciklerin agar ortamından çıkarılması ve kök çevresinde kalan besin ortamı artıklarının steril veya ılık su ile dikkatlice temizlenmesi ile başlamaktadır (Sekhi ve ark., 2025).

Agar kalıntılarının uzaklaştırılması, fungal ve bakteriyel enfeksiyon riskinin azaltılması açısından önem taşımaktadır (Al-Bakhit ve ark., 2007; Abdalla ve ark., 2022). Temizlenen bitkicikler daha sonra uygun yetiştirme ortamlarına aktarılmaktadır. Bu amaçla en yaygın kullanılan substratlar torf-perlit (1:1), torf-kum (1:2) ve torf-perlit-vermikülit (1:1:1) karışımlarıdır (Devasigamani ve ark., 2020). *L. angustifolia* türünde torf, perlit ve killi toprak karışımının (1:1:1) yüksek hayatta kalma oranı sağladığı bildirilmiştir (Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022). *L. stoechas* türünde sterilize edilmiş torf ortamının adaptasyon açısından uygun olduğu (Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022), *L. dentata* türünde ise torf ve perlit (1:1) karışımının veya doğrudan Carolina Soil® gibi ticari substratların başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmektedir (Koefender ve ark., 2021; Karakaş ve İzci, 2024). Dikim sonrasında bitkiciklerin su kaybını azaltmak amacıyla başlangıçta yüksek nem koşulları sağlanmaktadır. Bu kapsamda bitkilerin üzeri genellikle şeffaf plastik örtüler veya mini tünellerle kapatılarak %90–95 oranında nem ortamı oluşturulmaktadır (Hamza ve ark., 2011; Devasigamani ve ark., 2020). İlk iki haftalık dönemde sağlanan yüksek nem koşulları, bitkilerin su kaybını azaltarak hayatta kalma oranını artırmaktadır (Al-Bakhit ve ark., 2007; Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022). Aklimatizasyon süreci ilerledikçe bitkilerin dış ortama adaptasyonu kademeli olarak gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla örtülerde delikler açılarak veya kapaklar aralanarak nem seviyesi kontrollü şekilde düşürülmektedir. Yaklaşık 2–8 haftalık alıştırma sürecinin ardından bitkiler sera veya doğrudan tarla koşullarına aktarılabilircek gelişim düzeyine ulaşmaktadır (Falk ve ark., 2009; Devasigamani ve ark., 2020).

LAVANTANIN MİKROÇOĞALTIMINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR

Lavantanın mikroçoğaltımı, geleneksel çoğaltma yöntemlerine kıyasla hızlı, kontrollü ve yıl boyu üretim imkânı sunmasına rağmen, laboratuvar koşullarında bitki gelişimini ve yaşama oranını sınırlayan çeşitli biyolojik, fizyolojik ve teknik sorunları da beraberinde getirmektedir.

Bu süreçte en sık karşılaşılan problemlerden biri fizyolojik bozukluklardır. Özellikle hiperhidrisite *in vitro* kültürlerde yaygın olarak gözlenen ve bitki dokularının aşırı su alması sonucu şeffaf, sulu ve kırılğan bir yapı kazanmasıyla karakterize edilen bir anomalidir (Zuzarte ve ark., 2010; Koefender ve ark., 2021; Abdalla ve ark., 2022). Bu durum, düşük lignifikasyon ve bozulmuş stomatal fonksiyonlarla ilişkili olup sürgün kalitesini ve çoğaltma başarısını olumsuz etkilemektedir (Abdalla ve ark., 2022). Hiperhidrisitenin oluşumunda yüksek sitokinin (2.0 mg/L veya yaklaşık 10 µM üzerindeki BAP) konsantrasyonu ile kültür kaplarındaki yüksek nem düzeyi belirleyici faktörler arasında yer almaktadır (Zuzarte ve ark., 2010; Gonçalves ve Romano 2013; Koefender ve ark., 2021). Bir diğer önemli fizyolojik sorun fenolik kararmadır. Eksplantların kesilmesiyle açığa çıkan fenolik bileşiklerin oksidasyonu sonucu doku ve besin

ortamında meydana gelen kararmalar, hücrel metabolizmayı olumsuz etkileyerek gelişimin durmasına ve eksplant ölümüne yol açabilmektedir (Gonçalves ve Romano 2013; Abdalla ve ark., 2022). Sürgün ucu nekrozu da mikroçoğaltım sürecinde karşılaşılan bir diğer fizyolojik problem olup genellikle besin ortamındaki kalsiyum eksikliği veya besin elementi dengesizlikleri ile ilişkilendirilmektedir (Şimşek ve ark., 2024).

Mikroçoğaltım sürecinde karşılaşılan sorunlar yalnızca fizyolojik bozukluklarla sınırlı değildir; biyolojik ve gelişimsel problemler de önemli kısıtlar oluşturmaktadır. Kontaminasyon özellikle sahadan alınan eksplantların taşıdığı bakteri ve fungal yük nedeniyle aseptik kültürlerin başlatılmasını zorlaştıran temel problemlerden biridir (Kumari ve ark., 2024). Bu durum hem üretim sürecinde zaman kaybına hem de maliyet artışına neden olmaktadır (Abdalla ve ark., 2022). Bunun yanı sıra bazı lavanta genotiplerinde kök oluşumunun zayıf olması, bitkiciklerin gelişiminin bir sonraki aşamaya geçmesini engelleyerek sürecin en kritik aşamalarından birini oluşturmaktadır (Falk ve ark., 2009). Mikroçoğaltımın son aşaması olan aklimatizasyon sürecinde ise laboratuvar koşullarında gelişen hassas bitkiciklerin düşük nem ve yüksek ışık şiddeti gibi dış ortam streslerine karşı duyarlılığı nedeniyle yüksek oranlarda kayıplar yaşanabilmektedir (Mokhtarzadeh ve Khawar, 2022). Bu durum, yöntemin ticari uygulanabilirliğini sınırlayan başlıca faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Akyön ve Özel, 2024).

Genetik ve ekonomik kısıtlar da mikroçoğaltım sürecinin önemli dezavantajları arasında yer almaktadır. Somaklonal varyasyon, *in vitro* kültür sürecinde ana bitkiden farklı genetik veya fenotipik özelliklere sahip bireylerin oluşması riskini ifade etmekte olup özellikle kallus üzerinden gerçekleşen dolaylı rejenerasyon süreçlerinde daha sık görülmektedir. Bu durum, kitlesel üretimde istenen genetik uniformitenin bozulmasına neden olmaktadır (Abdalla ve ark., 2022). Ayrıca mikroçoğaltım teknikleri; özel laboratuvar ekipmanları, kontrollü çevresel koşulları ve uzman personel gerektirdiğinden yüksek maliyetli bir üretim yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Zuzarte ve ark., 2010). Buna ek olarak bazı bitki dokularının *in vitro* koşullarda rejenerasyon uyarılarına yanıt vermemesi olarak tanımlanan rekalsitrant durumu da üretim başarısını sınırlayan bir diğer önemli faktördür (Abdalla ve ark., 2022). Bu bağlamda, lavantada mikroçoğaltım sürecinin etkinliğinin artırılabilmesi için söz konusu fizyolojik, biyolojik ve teknik sorunların kontrol altına alınması ve tür/genotip bazlı optimize edilmiş protokollerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Lavantanın geleneksel üretim yöntemleri genetik varyasyon, düşük çoğaltma hızı ve hastalık riski gibi önemli sınırlılıklar içermektedir. Bitkinin mikroçoğaltımı kısa sürede yüksek sayıda, hastaliksız ve genetik olarak uniform bitki üretimi sağlamasıyla öne çıkan üstün bir üretim yöntemidir. *In vitro* üretim

başarısı büyük ölçüde eksplant seçimi, besin ortamı bileşimi ve bitki büyüme düzenleyicilerinin optimize edilmesine bağlıdır. Bu doğrultuda, gövde boğumları ve sürgün uçlarının en uygun başlangıç materyali olduğu; sürgün çoğaltımında 1.0–2.0 mg/L BAP ve köklendirme aşamasında 1.00–1.25 mg/L IBA uygulamalarının yüksek verim sağladığı tespit edilmiştir. Mikroçoğaltım yoluyla elde edilen bitkilerin genetik açıdan ana bitkiyle uyumlu olduğu ve uçucu yağ bileşenleri bakımından sanayinin talep ettiği kalite standartlarını karşılayabildiği anlaşılmaktadır. Lavantada görülen hiperhidrisite, fenolik kararma, kontaminasyon, köklenme zorlukları ve aklimatizasyon kayıpları mikroçoğaltım sürecinin etkinliğini sınırlandıran başlıca sorunlardır. Özellikle aklimatizasyon aşaması, bitkiciklerin dış ortama adaptasyonu açısından en kritik basamak olarak öne çıkmaktadır. Uygun substrat kullanımı (torf-perlit) ve kontrollü nem koşullarının sağlanması, hayatta kalma oranlarının artırılmasında etkili olmaktadır. Lavanta üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanması için mikroçoğaltım protokollerinin tür ve genotip bazında optimize edilmesi gerekmektedir. Uçucu yağ üretimi sonrası oluşan yan ürünlerin değerlendirilmesi ve biyoteknolojik yöntemlerle üretilmiş sertifikalı bitki materyalinin kullanımının yaygınlaştırılması hem ekonomik katma değer oluşturacak hem de doğal lavanta popülasyonlarının korunmasına katkı sağlayacaktır. Mikroçoğaltım, lavanta bitkisinin standart, sürdürülebilir ve yüksek kaliteli üretimi için temel bir teknoloji niteliğindedir. Bu yöntem hem endüstriyel uygulamalar hem de biyoçeşitliliğin korunması açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

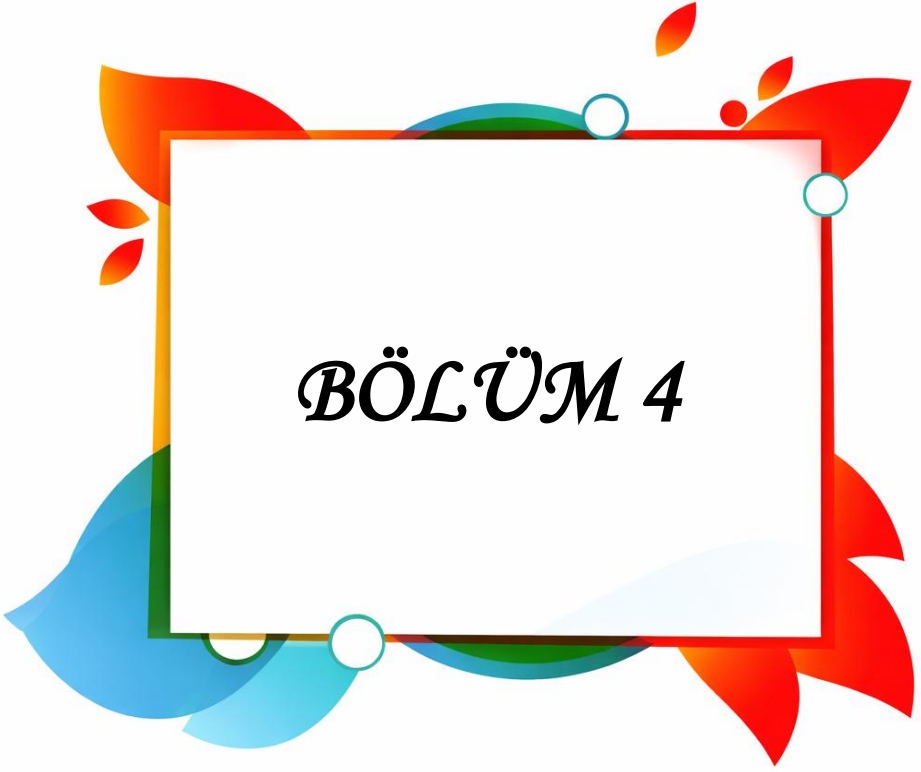
KAYNAKLAR

- Abdalla, N., El-Ramady, H., Seliem, M. K., El-Mahrouk, M. E., Taha, N., Bayoumi, Y., & Dobránszki, J. (2022). An academic and technical overview on plant micropropagation challenges. *Horticulturae*, 8(8), 677.
- Akyön, Y. B., & Özel, Ç. A. (2024). Lavanta bitkisinin tıbbi aromatik özellikleri ve *Lavandula angustifolia*'nın doku kültürü uygulamaları. *Tarla bitkilerinde verimlilik ve sürdürülebilirlik* (s. 17).
- Al-Bakhit, A. A., Sawwan, J. S., & Al-Mahmoud, M. S. (2007). *In vitro* propagation of two *Lavandula* species: *Lavandula angustifolia* and *Lavandula latifolia*. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 3, 16.
- Andrys, D., Kulpa, D., Grzeszczuk, M., Bihun, M., & Dobrowolska, A. (2017). Antioxidant and antimicrobial activities of *Lavandula angustifolia* Mill. field-grown and propagated *in vitro*. *Folia Horticulturae*, 29(2), 161-180.
- Aydemir, M. (2023). *Ege bölgesi'nde yetiştirilen lavanta türlerinin morfolojik özelliklerinin biyokimyasal içerikleri ile karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi.
- BAKA (Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı) (2020). *Lavanta tarımı ve endüstrisi fizibilite raporu*. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı. <https://baka.gov.tr/dokumanflipbook/lavanta-tarimi-ve-endu-strisi/539> (Erişim tarihi: 27 Mart 2026).
- Basch, E., Foppa, I., Liebowitz, R., Nelson, J., Smith, M., Sollars, D., & Ulbricht, C. (2004). Lavender (*Lavandula angustifolia* Miller). *Journal of Herbal Pharmacotherapy*, 4(2), 63–78.
- Calvo, M. C., & Segura, J. (1989). *In vitro* propagation of lavender. *HortScience*, 24, 375–376.
- CENSO (Comité Interprofessionnel des Huiles Essentielles Françaises) (2024). *The Territory: Activity Areas and Economic Territorial Position*. Available at: <https://www.censo-lavande.fr/en/an-essential-sector/an-essential-sector-113.html> (Erişim tarihi: 30.05.2026)
- Chaimae, S., Hakima, S., Chaimae, R., Wafae, S., Lazraq, A., Lahsen, E. G., & Ghizlane, E. (2020). Improvement of germination rate and *in vitro* multiplication of *Lavandula angustifolia*. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 8, 52–57.
- Chavagnat, A. (1978). *Lavender seed dormancy and germination*. In *Acta Horticulturae*. Vol. 83, 147–154. International Society for Horticultural Science.
- Coltun, M. (2016). Step-by-step creation of a lavender plantation. *Revista Botanică*, 13(2), 76–80.

- Constantinescu, E., NIȚU, S., Boruz, V., & Ștefan, I. O. (2022). Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.)-Medicinal-Alternative Species in the Structure of Crops in Agricultural Farms, in the Context of Climate Change. " *Annals of the University of Craiova-Agriculture Montanology Cadastre Series*", 52(1), 87-94.
- Crișan, I., Ona, A., Vârban, D., Muntean, L., Vârban, R., Stoie, A., & Morea, A. (2023). Current trends for lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) crops and products with emphasis on essential oil quality. *Plants*, 12(2), 357.
- Devasigamani, L., Devarajan, R., Loganathan, R., Rafath, H., Padman, M., Giridhar, L., & Kuppam, N. (2020). *Lavandula angustifolia* L. plants regeneration from *in vitro* leaf explants-derived callus as conservation strategy. *Biotechnologia Vegetal*, 20(2), 75–82.
- Domingues, J., Eira, A., Ramalho, I., Barrocas, I., & Gonçalves, J. C. (2024). *In vitro* Propagation and Conservation of *Lavandula stoechas* subsp. *luisieri* and *Pterospartum tridentatum*, Two Important Medicinal and aromatic Species from Portugal. *Plants*, 13(15), 2124.
- Echeverrigaray, S., Basso, R., & Andrade, L. B. (2005). Micropropagation of *Lavandula dentata* from axillary buds of field-grown adult plants. *Biologia Plantarum*, 49(3), 439-442.
- Falk, L., Biswas, K., Boeckelmann, A., Lane, A., & Mahmoud, S. S. (2009). An efficient method for the micropropagation of lavenders: Regeneration of a unique mutant. *Journal of Essential Oil Research*, 21(3), 225–228.
- Gonçalves, S., & Romano, A. (2013). *In vitro* culture of lavenders (*Lavandula* spp.) and the production of secondary metabolites. *Biotechnology Advances*, 31(2), 166–174.
- Hamza, A. M., El-Kafie, A., Omaira, M., & Kasem, M. M. (2011). Direct micropropagation of English lavender (*Lavandula angustifolia* Munstead). *Journal of Plant Production*, 2(1), 81–96.
- Jordan, A. M., Calvo, M. C., & Segura, J. (1998). Micropropagation of adult *Lavandula dentata* plants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73(1), 93-96.
- Kara, N., & Baydar, H. (2012). Effects of different explant sources on micropropagation in lavender (*Lavandula* sp.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 15(2), 250–255.
- Karakaş, İ., & İzci, B. (2024). Effects of rooting mediums and growth regulating agents on rooting parameters of lavender and lavandin cuttings (*Lavandula* sp.). *Journal of Agricultural Production*, 5(3), 138–152.

- Keykha, F., Khadem, A., Bagheri, A., Sharifi, A., & Ameri, M. (2014). Optimization of lavender (*Lavandula angustifolia*) callus culture. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 24(2), 279–285.
- Kirimer, N., Mokhtarzadeh, S., Demirci, B., Goger, F., Khawar, K. M., & Demirci, F. (2017). Phytochemical profiling of volatile components of *Lavandula angustifolia* Miller propagated under *in vitro* conditions. *Industrial Crops and Products*, 96, 120–125.
- Kobets, O., Derevianko, N., Zavorodnii, M., & Berezovska, M. (2024). Prospects for the use of growth regulators in vegetative propagation technology of *Lavandula angustifolia*. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15(2), 198–206.
- Koefender, J., Manfio, C. E., Camera, J. N., Schoffel, A., & Golle, D. P. (2021). Micropropagation of lavender: A protocol for production of plantlets. *Horticultura Brasileira*, 39, 404–410.
- Kumari, S., Fatmi, U., & Shukla, P. (2024). Sterilization protocol of nodal explants for *in vitro* propagation of lavender (*Lavandula angustifolia*). *Plant Archives*, 24(2).
- Miclea, I., & Chifor, R. (2018). Germination, *in vitro* propagation and acclimatization in *Lavandula angustifolia*.
- Mokhtarzadeh, S., & Khawar, K. M. (2022). *Lavandula stoechas* L. subsp. *Lavandula stoechas* bitkisinde doku kültürü çalışmalarının optimizasyonu. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 9(2), 330–339.
- Nobre, J. (1996). *In vitro* cloning and micropropagation of *Lavandula stoechas* from field-grown plants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 46(2), 151–155.
- Oskouie, A. A., Yekta, R. F., Tavirani, M. R., Kashani, M. S., & Goshadrou, F. (2018). *Lavandula angustifolia* effects on rat models of Alzheimer's disease through the investigation of serum metabolic features using NMR metabolomics. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 10(2), 83.
- Passalacqua, N. G., Tundis, R., & Upson, T. M. (2017). A new species of *Lavandula* sect. *Lavandula* (Lamiaceae) and review of species boundaries in *Lavandula angustifolia*. *Phytotaxa*, 292(2), 161–170.
- Prasad, A., Shukla, S. P., Mathur, A., Chanotiya, C. S., & Mathur, A. K. (2015). Genetic fidelity of long-term micropropagated *Lavandula officinalis* Chaix.: an important aromatic medicinal plant. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 120(2), 803–811.
- Prusinowska, R., & Smigielski, K. B. (2014). Composition, biological properties and therapeutic effects of lavender (*Lavandula angustifolia* L.). A review. *Herba polonica*, 60(2).

- Quazi, M. H. (1980). *In vitro* multiplication of *Lavandula* spp. *Annals of Botany*, 45, 361–362.
- Radi, F. Z., Zekri, N., Drioiche, A., Zerkani, H., Boutakiout, A., Bouzoubaa, A., & Zair, T. (2022). Volatile and non-volatile chemical compounds and biological power of the genus *Lavandula*. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(3), 273–294.
- Sánchez-Gras, M. C., & del Carmen Calvo, M. (1996). Micropropagation of *Lavandula latifolia* through nodal bud culture of mature plants. *Plant cell, tissue and organ culture*, 45(3), 259–261.
- Segura, J., & Calvo, M. C. (1991). *Lavandula* spp. (Lavender): *In vitro* culture, regeneration of plants, and the formation of essential oils and pigments. In *Medicinal and aromatic plants III* (pp. 283–310). Springer.
- Sekhi, Y. S., Abdulkareem, A. A., Almehemdi, A. F., & Farhan, T. F. (2025). Optimizing micropropagation and growth enhancement of *Lavandula angustifolia* using two cytokinins. *Anbar Journal of Agricultural Sciences*, 23(1), 667–678.
- Şimşek, Ö., Dalda Şekerci, A., Isak, M. A., Bulut, F., İzgü, T., Tütüncü, M., & Dönmez, D. (2024). Optimizing micropropagation and rooting protocols for diverse lavender genotypes. *Horticulturae*, 10(1), 52.
- TienVinh, D., Hoa, M. T., Khai, P. C., & Van Minh, T. (2017). Micropropagation of lavender (*Lavandula angustifolia*). *Seeds*, 4, 7–11.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2026). *Parfümeri, eczacılık ve benzeri alanlarda kullanılan bitkiler, yem bitkileri tohumu* [Veri seti]. TÜİK Veri Portalı. <https://veriportalı.tuik.gov.tr> (Erişim tarihi: 29 Mayıs 2026)
- Yegorova, N. A., Mitrofanova, I. V., Brailko, V. A., Grebennikova, O. A., Paliy, A. E., & Stavtseva, I. V. (2019). Morphogenetic, physiological, and biochemical features of *Lavandula angustifolia* at long-term micropropagation *in vitro*. *Russian Journal of Plant Physiology*, 66(2), 326–334.
- Zuzarte, M. R., Dinis, A. M., Cavaleiro, C., Salgueiro, L. R., & Canhoto, J. M. (2010). Trichomes, essential oils and *in vitro* propagation of *Lavandula pedunculata*. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 580–587.



BÖLÜM 4

Deniz Üstü Rüzgâr Enerji Santralleri (Düres) ile Balıkçılık Faaliyetleri Arasındaki Olası Etkileşimler

Adnan Tokaç¹

1. GİRİŞ

İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, deniz alanlarının enerji üretimi için kullanımını hızlandırmıştır. Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi (GWEC) tarafından yayımlanan rapora göre, 2023 yılı itibarıyla dünya genelinde kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesi yaklaşık 1 TW seviyesine ulaşmıştır (GWEC, 2024). Son yıllarda karasal alanların sınırlılığı ve denizlerdeki rüzgar hızının daha yüksek ve istikrarlı olması bu tür yenilenebilir enerji yatırımlarının denizlere kaymasına neden olmuştur. Bu yatırımlar, enerji bağımsızlığı ve düşük karbon emisyonu açısından büyük avantajlar sunsa da, deniz alanlarının paylaşımı konusunda balıkçılık gibi geleneksel sektörlerle mekânsal çatışmalar yaratmaktadır. Balıkçılık sektörü, DÜRES alanlarını genellikle bir mekânsal daralma diğer bir ifade ile geleneksel av sahalarından dışlanma ve ekonomik kayıp kaynağı olarak görürken, bazı ekolojik çalışmalar bu yapıların deniz canlıları için yeni habitatlar sunduğuna dikkat çekmektedir.

Deniz üstü rüzgar enerji santralleri gibi büyük ölçekli deniz altyapı projelerinin çevresel ve sosyo-ekonomik etkilerinin özellikle ülkemizi çevreleyen yarı kapalı ve yüksek biyolojik çeşitlilik barındıran denizlerde dikkatli biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye'yi çevreleyen denizler özellikle Kuzey Ege Denizi gibi dar kıta sahanlığı ve yüksek habitat heterojenliğine sahip aynı zamanda hassas bentik ekosistemlerin yaygın olduğu deniz alanları Kuzey Avrupa denizlerinden önemli ölçüde farklı bir ekolojik yapıya sahiptir. Bu nedenle Kuzey Denizi ve Baltık Denizi gibi bölgelerde geliştirilen açık deniz DÜRES modellerinin ülkemize çevreleyen denizler için doğrudan uygulanması uygun olmayabilir. Bu nedenle planlama süreçlerinde bölgenin özgün ekolojik ve sosyo-ekonomik özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir (Lloret ve ark., 2022). Ayrıca ülkemiz denizlerini de kapsayan Akdeniz sular sisteminde açık deniz DÜRES uygulamalarına ilişkin uzun dönemli çevresel veri oldukça sınırlıdır; canlı türleri, habitatlar ve balıkçılık kaynakları üzerindeki potansiyel etkiler konusunda önemli bilgi boşlukları bulunmaktadır (Paul ve ark., 2026). Açık deniz DÜRES'lerin çevresel etkilerinin genellikle inşaat, işletme ve söküm aşamalarında ortaya çıktığı, deniz tabanı habitatları, biyoçeşitlilik, balıkçılık

¹ Prof. Dr., Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, ORCID: 0000-0002-2968-7315

faaliyetleri ve ekosistem süreçleri üzerinde çeşitli etkiler oluşturabileceği belirtilmektedir (Bennun ve ark., 2021; Stranddorf ve ark., 2024). Bu nedenle planlanmada biyoçeşitlilik, balıkçılık ve insan refahı üzerindeki etkilerin bilimsel veriler ışığında ve bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Kuzey Ege Denizi; hidrodinamik yapısı, Çanakkale Boğazı etkisi, nispeten yüksek primer üretimi ve önemli göç yolları nedeniyle Türkiye denizel ekosistemleri içinde ayrıcalıklı bir konuma sahiptir. Bölge; küçük ve orta ölçekli balıkçılık faaliyetleri, pelajik ve demersal stoklar, posidonia çayırları ve kayalık resif habitatları, göçmen pelajik türlerin geçiş koridorları ve deniz memelileri ve hassas bentik topluluklar açısından yüksek ekolojik ve sosyo-ekonomik öneme sahiptir. Bu nedenle planlanan Denizüstü Rüzgâr Enerji Santralleri (DÜRES) projelerinin öncelikle bu çerçevede çok disiplinli bir değerlendirmeye tabi tutulması gerekmektedir. Bu kapsamlı çalışmalar yapılmadan herhangi bir değerlendirme yapılması doğru bulunmamaktadır. Bununla beraber öngörülebilir bazı ekolojik ve balıkçılık etkileri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2. DÜRES ve BALIKÇILIK ARASINDAKİ OLASI ETKİLEŞİMLER

Deniz üstü rüzgar enerji santrallerinin (DÜRES) balıkçılık üzerine olası etkileri başlıca;

- ✓ alan kullanımı ve av sahası kaybı
- ✓ yapay resif etkisi ve
- ✓ stok dinamikleri üzerine olan etkiler şeklinde ortaya çıkabilir.

Türbin yerleşim alanları ve güvenlik zonları, özellikle gırgır ve uzatma ağı balıkçılığı için fiili av sahası daralması yaratabilir ve balıkçılık için kullanılan alan ve av sahası kaybına neden olabilir. Seyir kısıtları küçük ölçekli balıkçılığı orantısız biçimde etkileyebilir. Özellikle Saros ve Edremit Körfezi kıyısız zonunda bu etki daha belirgin olabilir. Bu alanda kurulması düşünülen Bozcaada DÜRES 12687,73 ha, Edremit 12511,84 ha, Gökçeada 7556,71 ha ve Saros 18437,78 ha olmak üzere toplamda 51194,06 hektar alanın projeler için kullanımı söz konusu olacaktır. Muhtemelen de bu alanların büyük bir kısmında güvenlik ve benzeri nedenler ile balıkçılık faaliyetlerinin kısıtlanması veya tamamiyle yasaklanması söz konusu olması kuvvetle muhtemeldir.

Bunun dışında DÜRES'lerin türbin temelleri sert substrat sağlayarak bir yapay resif etkisine neden olabilir bu da resif ilişkili türlerde (Serranidae, Sparidae) lokal yoğunluk artışı yaratabilir ancak bu artış stok artışı değil, agregasyon (toplanma) etkisi olabilir. Türbinlerin neden olduğu gürültü ve elektromanyetik alan etkileri bölgedeki balık ve deniz memeli göç davranışlarını değiştirebilir. Yumurtlama alanlarının etkilenmesi durumunda uzun dönem stok üretkenliği risk altına girebilir (Bennun ve ark., 2021).

Denizel Ekosistem ve Habitat üzerine olası etkileri inşaat dönemi etkileri ile posidonia ve hassas habitatlar üzerine olası etkileri olmak üzere dikkate alınması gerekmektedir. İnşaat döneminde yapılacak faaliyetler dolayısı ile özellikle kazık çakma kaynaklı yüksek impuls gürültüsü, sediment yeniden süspansiyonu, türbidite artışı ve bentik habitat örtülmesi, *Posidonia oceanica* ve benzeri deniz çayırılarının fiziksel tahribatına, kablo güzergâhları ise yine habitat fragmentasyonuna yol açabilir.

Kurulması planlanan DÜRES'lerin yer alacağı deniz alanları Kuzey Ege'de yer almaktadır. Kuzey Ege, Çanakkale Boğazı ile bağlantılı bir geçiş sistemidir ve balık göçlerinin yoğun olarak yaşandığı deniz alanlarıdır. Lüfer, palamut, sardalya gibi türlerin mevsimsel göç yolları söz konusudur. Türbin kümelenmesi akıntı paternlerini lokal ölçekte değiştirebilir. Bu durum bölgedeki bazı balık türleri ve deniz memelilerinin göç davranışlarını etkileyebilir. Gürültü, özellikle inşaat döneminde pelajik türlerde yön değiştirmeye neden olabilir. Bu nedenle sözkonusu deniz alanlarına konuşlandırılacak DÜRES'lerin deniz alanına yapacağı hidrodinamik etkileri ve balık göçlerine olası etkileri üzerinde detaylı araştırma ve incelemelerin önceden yapılması gerekmektedir. Bu deniz alanları özellikle Saros ve Gökçeada açıkları yunus türlerinin geçiş alanıdır. DÜRES yapılarının balık göçleri, deniz memelileri ve üst trofik seviyeye olan uzun dönem etkileri henüz bilimsel literatürde netleşmemiştir. Bu nedenle bu tür hassas ekosistemlerin sürdürülebilirliğin sağlanması açısından azami hassasiyetin gösterilmesi elzemdir. Bölgesel hassasiyetin daha iyi anlaşılabilmesi açısından aşağıda tablo mümkün olduğunca kısa ve yalın olarak hazırlanmıştır.

Tablo 1 : Bölgesel hassasiyet değerlendirme tablosu

Bölge	Ekolojik Hassasiyet	Balıkçılık Yoğunluğu	Potansiyel Risk
Bozcaada	Göç koridoru	Orta	Göç sapması
Gökçeada	Açık deniz pelajik	Orta	Gürültü etkisi
Saros	Nispeten korunmuş	Yüksek	Habitat bozulması
Edremit	Kıyisal üretken	Yüksek	Av sahası kaybı

3. DÜRES PROJE ALANLARINDA KURULUM ÖNCESİ YAPILMASI ÖNERİLEN BİLİMSEL İNCELEMELER

DÜRES proje alanlarında kurulum öncesi aşağıdaki çalışmaların yapılması zorunlu görülmektedir.

Akustik balık stok surveyleri, bentik örnekleme, plankton dinamikleri ve deniz memelisi gözlemlerini içeren en az 2 yıllık temel ekosistem izleme çalışmasının yapılması gerekir. Posidonia ve hassas habitatların haritalanması yapılmalıdır. Balık göç hareketleri ile hidrodinamik ve mekanik gürültü modellemeleri yapılmalıdır. Balıkçılık alan çakışma analizi, kümülatif etki

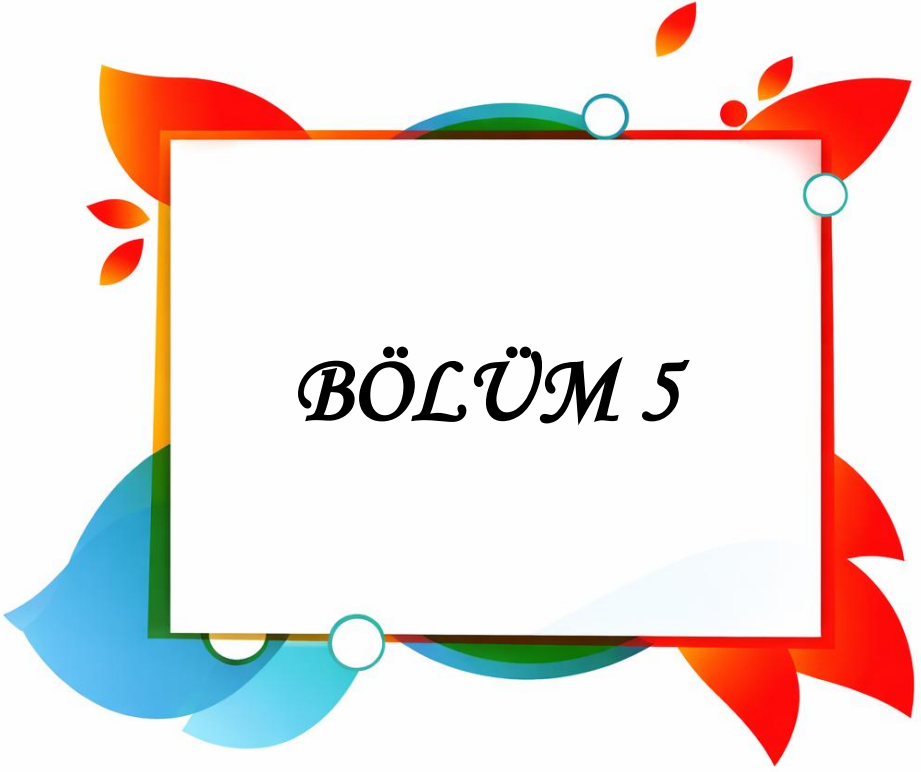
değerlendirmesi ve alternatif alan senaryolarını kapsayan denizel mekansal planlama çalışması yapılmalıdır. Ayrıca sosyo-ekonomik etki analizi çalışması kapsamında balıkçı kooperatiflerinden veri toplama, balıkçıların gelir kaybı analizi ve gerektiğinde tazmin ve telafi mekanizmalarının belirlenmesi gerekir.

DÜRES projeleri; balıkçılık baskısı, iklim değişikliği, deniz trafiği, turizm ve akuakültür ile birlikte değerlendirilmelidir. Tekil ÇED yaklaşımı yeterli görülmemektedir. Kuzey Ege Denizi yüksek ekolojik hassasiyete sahiptir göç koridorları ve üreme alanları mutlak korunmalıdır. Posidonia alanlarında kurulum yapılmamalıdır. İnşaat faaliyetleri üreme sezonu dışında planlanmalıdır. Gürültü azaltım teknolojileri zorunlu tutulmalıdır. Uzun dönemli adaptif izleme programı proje ömrü boyunca sürdürülmelidir. Balıkçılık paydaşları karar süreçlerine aktif olarak dahil edilmelidir.

Türkiye denizlerinde yapılması planlanan DÜRES projeleri, uygun alan seçimi ve ekosistem temelli planlama yaklaşımı ile gerçekleştirilebilir. Ancak; yetersiz bilimsel veri, eksik mekânsal planlama ve kümülatif etki analizinin yapılmaması durumunda geri dönüşü zor ekolojik ve sosyo-ekonomik sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu nedenle bu tür projelerin uygulamaya geçilmesine ait karar süreçlerinin çok disiplinli bilimsel veri, uzun dönemli izleme ve katılımcı yönetim ilkeleri temelinde yürütülmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Bennun, L., van Bochove, J., Ng, C., Fletcher, C., Wilson, D., Phair, N., & Carbone, G. (2021). Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: Guidelines for project developers. Gland, Switzerland: IUCN and The Biodiversity Consultancy. <https://portals.iucn.org/library/node/49283>
- Lloret, J., Turiel, A., Solé, J., Berdalet, E., Sabatés, A., Olivares, A., Gili, J. M., Vila-Subirós, J., & Sardá, R. (2022). Unravelling the ecological impacts of large-scale offshore wind farms in the Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment*, 824, 153803. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153803>
- Paul, W., Sabatés, A., & Lloret, J. (2026). Balancing wind energy expansion and fisheries in the Mediterranean Sea: A trait-based assessment of vulnerability to floating offshore wind farms for commercially important species. *Marine Environmental Research*, 214, 107770. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107770>
- Stranddorf, L., Colley, T., Delefosse, M., Svendsen, J. C., & Olsen, S. I. (2024). Marine biodiversity impact pathways for offshore wind farm decommissioning: Implications for life cycle impact assessment development. *Ecological Indicators*, 167, 112613. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112613>



BÖLÜM 5

Kök Akıntılarının Rizosferdeki Bitki–Fungus İlişkilerindeki Rolü

Ömer Ümit Okçu¹ & Nuray Özer²

GİRİŞ

Bitkiler ile mikroorganizmalar arasındaki karşılıklı etkileşimler, bitkilerin evrimsel gelişiminden bu yana devam eden köklü bir biyolojik ortaklığa dayanmaktadır. Bu uzun süreli birliktelik sonucunda bitkiler; kök, yaprak, tohum ve diğer dokularında çok sayıda mikroorganizmayı barındıran karmaşık mikrobiyal topluluklar geliştirmiştir. Bitkiyle ilişkili bu mikrobiyal topluluklar; büyümenin desteklenmesi, besin elementlerinin sağlanması, patojen baskılanması ve çevresel streslere dayanıklılık gibi birçok yaşamsal işlev üstlenmektedir (Smith vd., 2015; Smith vd., 2017; Mitter vd., 2017; Canarini vd., 2019; Uroz vd., 2019; Ma vd., 2022b). Ayrıca bitkiler ile ilişkili mikroorganizmalar arasında gerçekleşen kimyasal sinyalleşme mekanizmalarının, bitki gelişimi, stres toleransı ve mikrobiyal topluluğun şekillenmesinde önemli rol oynadığı bildirilmektedir (Badri ve Vivanco, 2009; Smith vd., 2015; Smith vd., 2017; Sun vd., 2021; Chai ve Schachtman, 2022). Bu kapsamda bitki ve ilişkili mikroorganizmaların, çevresel koşullara birlikte uyum sağlayan entegre bir bitki–mikroorganizma sistemi oluşturduğu kabul edilmektedir (Mitter vd., 2017; Uroz vd., 2019). Bu ilişkinin en yoğun gerçekleştiği alanlardan biri olan rizosfer, bitki kökleri ile toprak mikroorganizmaları arasında yoğun kimyasal alışverişin yaşandığı aktif bir etkileşim bölgesi olarak değerlendirilmektedir. Rizosferdeki bu etkileşimin temel belirleyicilerinden biri olan kök akıntıları, bitkilerin fotosentezle ürettikleri karbonun önemli bir bölümünü toprağa aktardıkları ve çevredeki biyolojik toplulukları yönlendirdikleri başlıca kimyasal araçlardır (Canarini vd., 2019). Bu salgılar; şekerler, amino asitler, organik asitler, fenolik bileşikler, flavonoidler, yağ asitleri, proteinler ve çeşitli sekonder metabolitlerden oluşan zengin bir bileşim sergilemektedir (Alamgir, 2018; Dubey vd., 2019; Kumar ve Dubey, 2020). Kök akıntılarının rizosfere salınımı pasif difüzyon, aktif taşıma ve hücrel kökenli salgılama süreçleri gibi farklı mekanizmalarla gerçekleşmekte; bu durum kök akıntılarını yalnızca metabolik artıklar değil, rizosfer ekolojisini

¹ Araş. Gör., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Tekirdağ, Türkiye. ORCID: 0000-0002-4809-4398

² Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Tekirdağ, Türkiye. ORCID: 0000-0001-6876-7580

yönlendiren işlevsel bileşikler bütünü hâline getirmektedir (Badri ve Vivanco, 2009; Dreyer vd., 2012; Sun vd., 2021).

Kök akıntılarının bileşimi sabit değildir; bitki türü, genotip, gelişim evresi, toprak özellikleri, çevresel koşullar ve mikrobiyal çeşitlilik gibi birçok faktöre bağlı olarak değişim göstermektedir (Prashar vd., 2014; Ma vd., 2022a; Upadhyay vd., 2022; Zambelli vd., 2025). Bu dinamik yapı sayesinde bitkiler, rizosferdeki mikrobiyal ve kimyasal ortamı pasif olarak kabul etmek yerine, köklerinden salgıladıkları bileşikler aracılığıyla aktif biçimde şekillendirebilmektedir. Nitekim kök akıntıları, yararlı mikroorganizmaların kök bölgesine çekilmesinde, simbiyotik ilişkilerin kurulmasında, besin elementlerinin mobilizasyonunda ve patojen mikroorganizmaların baskılanmasında önemli işlevler üstlenmektedir (Peters vd., 1986; Bais vd., 2002; Berg ve Smalla, 2009; Vannier vd., 2019; de Andrade vd., 2022; Zhao vd., 2021; Afzal vd., 2025). Kök akıntılarının bitki beslenmesindeki rolü özellikle çözünürlüğü düşük besin elementlerinin mobilizasyonunda belirginleşmektedir. Fosfor eksikliği koşullarında bazı bitki türlerinde organik asit, amino asit ve fenolik bileşik salgısının artması, bitkilerin besin yetersizliğine karşı kök akıntısı profillerini yeniden şekillendirebildiğini göstermektedir (de Andrade vd., 2022). Benzer şekilde, fosfor eksikliği altında bazı bitkiler tarafından salgılanan organik bileşiklerin, topraktaki fosforun çözünürlüğünü artırarak besin erişilebilirliğini yükselttiği bildirilmektedir (Khorassani vd., 2011). Bu durum, kök akıntılarının yalnızca mikrobiyal iletişimde değil, aynı zamanda besin döngüsünün düzenlenmesi ve bitki beslenmesinin desteklenmesinde de aktif rol üstlendiğini göstermektedir.

Kök akıntı profilleri, bitkinin gelişim dönemine bağlı olarak da değişebilmektedir. *Arabidopsis thaliana* üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, farklı gelişim evrelerinde salgılanan kök akıntılarının rizosferdeki mikrobiyal topluluk yapısını ve besin dönüşüm süreçlerini etkilediğini ortaya koymuştur. Özellikle hızlı büyüme döneminde salgılanan akıntıların mikrobiyal mineralizasyonu artırarak besin maddelerinin kullanılabilirliğini yükselttiği ve böylece bitki büyümesini desteklediği bildirilmektedir (Zhao vd., 2021). Bu esneklik, bitkilerin rizosfer koşullarını kimyasal sinyaller aracılığıyla aktif olarak şekillendirebildiğini göstermektedir. Kök akıntılarının bu seçici etkisi, özellikle bitki-fungus ilişkilerinin anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Rizosferde bulunan funguslar bitkilerle simbiyotik, nötr veya patojenik ilişkiler kurabilmekte; bu ilişkilerin yönü ve şiddeti büyük ölçüde kök bölgesindeki kimyasal sinyallerden etkilenmektedir. Arbusküler mikorizal funguslarla kurulan simbiyotik ilişkilerde kök kökenli sinyal molekülleri kolonizasyonun başlamasında rol oynarken, patojen funguslarla etkileşimlerde bazı kök akıntısı bileşenleri spor çimlenmesi, hif gelişimi, zoospor hareketliliği ve enfeksiyon süreçlerini doğrudan etkileyebilmektedir (Akiyama vd., 2005; Lanfranco vd., 2018; Chai ve Schachtman, 2022; Afzal vd., 2025; Zambelli vd., 2025). Bu

nedenle kök akıntıları, hem simbiyotik ilişkilerin teşvik edilmesinde hem de toprak kökenli fungal ve oomiset patojenlerin baskılanmasında önemli bir kimyasal aracı olarak değerlendirilmektedir. Bu derlemede, kök akıntılarının rizosferdeki kimyasal iletişimdeki rolleri ile funguslar ve oomiset patojenlerle kurulan simbiyotik veya patojenik ilişkiler üzerindeki etkileri güncel çalışmalar ışığında ele alınmıştır.

1. KÖK AKINTILARININ TANIMI, KİMYASAL BİLEŞİMİ VE FONKSİYONEL SINIFLANDIRILMASI

Kök akıntıları, bitki kökleri tarafından rizosfere salınan ve bitki–toprak–mikroorganizma etkileşimlerini yönlendiren çok bileşenli kimyasal karışımlardır. Metabolomik analizlerdeki gelişmeler, kök akıntılarının son derece geniş bir kimyasal çeşitliliğe sahip olduğunu göstermiştir. Bitkilerin çok geniş çeşitlilikte primer ve sekonder metabolit üretebildiği, bunların önemli bir bölümünün kökler aracılığıyla rizosfere salındığı, salınan bu akıntıların bitki mikrobiyomunun şekillenmesinde, faydalı mikroorganizmaların rizosferde kolonizasyonunda ve sürdürülebilir bitki gelişiminin desteklenmesinde kritik öneme sahip olduğu belirtilmektedir (Song vd., 2021)

Kök akıntıları genel olarak düşük molekül ağırlıklı bileşikler, yüksek molekül ağırlıklı bileşikler, sekonder metabolitler ve uçucu organik bileşikler olmak üzere dört ana grupta değerlendirilmektedir. Düşük molekül ağırlıklı bileşikler arasında şekerler, amino asitler ve organik asitler öne çıkmaktadır. Şekerler, özellikle glikoz, fruktoz ve sukroz, toprak mikroorganizmaları için temel karbon ve enerji kaynağıdır. Bu bileşikler mikroorganizmalar tarafından hızla alınarak rizosferde yoğun bir karbon akışına katkı sağlamakta, mikrobiyal çoğalmayı ve metabolik aktiviteyi desteklemektedir (Gunina ve Kuzyakov, 2015; Afzal vd., 2025). Amino asitler ise yalnızca azot kaynağı olarak değil, aynı zamanda faydalı mikroorganizmalar için kimyasal çekici sinyaller olarak da işlev görmektedir. Örneğin glutamin ve prolin gibi amino asitlerin yararlı bakterilerin kök yüzeyine yönelmesinde rol oynadığı bildirilmiştir. Bunun yanında amino asitler, mikrobiyal ve bitkisel hücre fizyolojisinde su–iyon dengesi ve metabolik düzenleme açısından da önemli fonksiyonlara sahiptir (Moe, 2013).

Organik asitler, kök akıntılarının rizosfer fonksiyonlarını belirleyen en aktif bileşenlerinden biridir. Sitrik asit (citric acid), malik asit (malic acid), fumarik asit (fumaric acid) ve oksalik asit (oxalic acid) gibi bileşikler köklerden toprağa salındığında metal iyonlarıyla kompleks oluşturarak özellikle fosfor, demir ve potasyum gibi elementlerin çözünürlüğünü artırmakta ve böylece bitki beslenmesini doğrudan desteklemektedir (Yang vd., 2019; Sharma vd., 2020; Fujii ve Sukartiningsih, 2021). Fosfor veya potasyum gibi besin elementlerinin sınırlı olduğu koşullarda bu organik asitlerin köklerden daha yüksek oranlarda salgılanması, bitkilerin stres koşullarına karşı kök akıntısı profillerini dinamik olarak yeniden düzenlediğini göstermektedir (Yang vd., 2019). Organik asitler

ayrıca rizosferdeki mikrobiyal toplulukları da şekillendirmektedir. Özellikle *Bacillus* gibi bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler, bu bileşikleri karbon ve enerji kaynağı olarak kullanarak kök yüzeyine doğru yönelim göstermekte ve kolonizasyon süreçlerini hızlandırmaktadırlar (Sharma vd., 2020). Bu nedenle organik asitler, kök akıntıları içinde yalnızca metabolik yan ürünler değil; besin döngüsünü, mineral madde erişilebilirliğini ve yararlı mikroorganizmaların yerleşimini yönlendiren temel biyokimyasal araçlar olarak değerlendirilmektedir.

Kök akıntılarının yüksek molekül ağırlıklı bileşenleri; polisakkaritler, jel yapılı kök salgıları ve proteinlerden oluşmaktadır. Polisakkarit yapılı jelimsi salgılar, toprak parçacıklarının bir araya gelmesini destekleyerek kök çevresindeki fiziksel ortamın düzenlenmesine katkı sağlayabilmektedir (Di Marsico vd., 2018). Protein fraksiyonu ise fosfataz gibi enzimleri içermekte; bu enzimler organik fosforun parçalanmasını sağlayarak bitkinin kullanımına sunmaktadır. Ayrıca kök salgılarında bulunan bazı proteinler, faydalı mikroorganizmaların kök yüzeyine tutunmasını kolaylaştırarak mikrobiyal kolonizasyonu desteklemekte ve simbiyotik ilişkilerin kurulmasına katkı sağlamaktadır (Sasse vd., 2018).

Sekonder metabolitler, kök akıntılarının savunma ve iletişim boyutunda öne çıkan bileşenleridir. Fenolik bileşikler, flavonoidler, terpenoidler, alkaloidler ve benzoksazinoidler bu grupta yer almaktadır. Fenolik bileşikler hem antimikrobiyal etki gösterebilmekte hem de toprak mikrobiyal kompozisyonunu şekillendirebilmektedir. Flavonoidler ise özellikle baklagillerde rizobiyumlarla kurulan simbiyotik iletişimde kritik rol oynamakta; kök nodüllerinin oluşumunu başlatan bakteriyel süreçleri uyarmaktadır (Schlaman vd., 1998; Cooper, 2004; Auguy vd., 2011). Terpenoidler, kök akıntılarında hem savunma hem de sinyal molekülü olarak işlev gören önemli bileşiklerdir. Bazı terpenoidlerin antifungal özellik taşıdığı, D-limonen (D-limonene) ve estragol (estragole) gibi uçucu terpenoidlerin *Phytophthora capsici* üzerinde baskılayıcı etki gösterdiği bildirilmiştir (Yang vd., 2022). Benzoksazinoidler özellikle buğdaygil türlerinde güçlü antimikrobiyal etkileriyle bilinmektedir. Bu bileşikler hem bitki savunmasında hem de rizosferdeki mikrobiyal etkileşimlerin düzenlenmesinde önemli rol oynayan sekonder metabolitler arasında değerlendirilmektedir (Frey vd., 1997; Melanson vd., 1997; Von Rad vd., 2001; Krogh vd., 2006; Sánchez-Moreiras vd., 2008; Niemeyer, 2009; Kato-Noguchi vd., 2010; Hussain ve Reigosa, 2011; Maag vd., 2016; Rice vd., 2022; Stahl, 2022).

Uçucu organik bileşikler, kök akıntılarının uzun mesafeli kimyasal sinyal bileşenleri olup, toprak atmosferinde hareket ederek yalnızca bitki-bitki etkileşimlerini değil, aynı zamanda rizosfer mikrobiyotasını ve fungus topluluklarını da şekillendirmektedir. Hem bitkiler tarafından hem de rizosfer ve endofitik bakteriler tarafından üretilen bu bileşikler patojen baskılanmasında

önemli rol oynamaktadır. Domates sisteminde özellikle *Bacillus subtilis* ve *B. megaterium* suşları tarafından üretilen 2-heptanon, 2,5-dimetil pirazin ve N-etil benzenamin gibi uçucu bileşiklerin *Rhizoctonia solani* gelişimini baskıladığı ve aynı zamanda bitki büyümesini teşvik ederek kök gelişimini artırdığı bildirilmiştir (Marzouk vd., 2021). Benzer şekilde bazı funguslar tarafından üretilen uçucu bileşiklerin de rizosferde mikrobiyal iletişimi düzenlediği; özellikle *Trichoderma* türleri tarafından salgılanan uçucu metabolitlerin, bitki savunma mekanizmalarını aktive ederek toprak kökenli patojen funguslara karşı biyolojik mücadelede etkili olduğu belirtilmektedir (Hung vd., 2015; Lee vd., 2016). Bu nedenle söz konusu bileşikler, bitki ve mikroorganizmalar arasında işleyen dinamik kimyasal iletişim ağının önemli bileşenleri olarak, rizosferde patojen baskılanması, mikrobiyal denge ve bitki sağlığının düzenlenmesinde çok yönlü işlevler üstlenmektedir.

2. RİZOSFERDE KİMYASAL İLETİŞİM MEKANİZMASI

Rizosfer, bitki köklerinin doğrudan etkisi altında bulunan ve yüksek biyolojik aktiviteye sahip karmaşık bir mikro çevredir. Bu bölgede bakteriler, funguslar, algler, oomisetler ve protistler gibi çok çeşitli mikroorganizmalar bir arada bulunmakta ve kök kaynaklı bileşiklerle sürekli etkileşime girmektedir (Canarini vd., 2019; Afridi vd., 2022a, b). Fotosentez ürünlerinin önemli bir kısmının kök akıntıları yoluyla toprağa aktarılması, rizosferi biyokimyasal açıdan aktif bir merkez hâline getirmekte; bu nedenle rizosfer, bitki–toprak–mikroorganizma etkileşimlerinin en yoğun gerçekleştiği dinamik bir arayüz olarak kabul edilmektedir (Bisseling vd., 2009; Huang vd., 2019; Hiremath vd., 2024; Patel vd., 2025).

Rizosferdeki kimyasal iletişim, köklerden salınan bileşiklerin mikroorganizmalar tarafından algılanması ve bu sinyallere yanıt verilmesiyle gerçekleşmektedir. Mikroorganizmalar, kök akıntılarında bulunan kimyasal bileşikleri algılayarak hareketlerini kemotaksi gibi mekanizmalar aracılığıyla yönlendirebilmektedir (Sun vd., 2021). Bu durum, rizosferdeki etkileşimlerin rastlantısal olmadığını; belirli kimyasal sinyaller, moleküler tanıma süreçleri ve çevresel koşullar tarafından şekillendirildiğini göstermektedir. Bitkiler tarafından salgılanan bileşikler, belirli mikrobiyal grupların seçici olarak çekilmesini sağlarken, bazı patojenlerin gelişimini de baskılayabilmektedir (Chaparro vd., 2014; Lanfranco vd., 2018). Bu seçici etkileşim yalnızca bitki kökenli sinyallerle sınırlı kalmamakta; mikroorganizmalar arasındaki kemotropik yanıtlar ve kolonizasyon süreçleri de rizosferdeki mikrobiyal yerleşimi etkileyebilmektedir (Palmieri vd., 2020).

Bitkiler tarafından üretilen bileşiklerin rizosfere taşınması pasif ve aktif taşıma mekanizmalarıyla gerçekleşmektedir. Düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin önemli bir bölümü, konsantrasyon farkına bağlı olarak basit difüzyon yoluyla hücre dışına taşınmaktadır (Chaparro vd., 2014; Tomkins vd., 2021). Hücre

zarının seçici geçirgen yapısı nedeniyle hidrofobik moleküller fosfolipid tabakasından difüzyon yoluyla geçebilirken, iyonlar ve polar bileşiklerin taşınımı özelleşmiş membran proteinleri aracılığı ile gerçekleşmektedir (Buchanan vd., 2015). Bu süreçte oluşan elektrokimyasal fark, moleküllerin taşınma yönünü belirlemektedir (Liu vd., 2023). Aktif taşıma ise ATP enerjisi gerektiren bir süreç olup, özellikle konsantrasyon farkına karşı taşınması gereken moleküller için önem taşımaktadır. Bu mekanizma, proteinlerin, sekonder metabolitlerin ve toksik bileşiklerin hücre dışına taşınmasında kritik rol oynamaktadır (Weston vd., 2012; Rohrbacher ve St-Arnaud, 2016; Canarini vd., 2019). Ayrıca bitkiler, ağır metal stresine yanıt olarak kök akıntılarının bileşimini değiştirerek metal iyonlarının alımı, taşınması ve tolerans mekanizmalarını düzenleyebilmektedir (Liu vd., 2023).

Rizosferdeki kimyasal etkileşimlerin ekolojik ve tarımsal açıdan önemli yansımalarından biri karışık ekim ve ara ekim sistemlerinde görülmektedir. Farklı bitki türlerinin birlikte yetiştirildiği bu sistemlerde, konukçu olmayan bitkiler tarafından salgılanan allelokimyasallar, patojenlerin spor çimlenmesi ve miselyal gelişimini baskılayarak komşu bitkilerde hastalık şiddetini azaltabilmektedir. Özellikle fenolik bileşikler gibi kök akıntısı bileşenlerinin *Cylindrocladium parasiticum*, *Fusarium* spp. ve *Verticillium dahliae* gibi toprak kökenli patojenlere karşı doğrudan antifungal etki gösterebildiği bildirilmektedir (Weir vd., 2004; Hao vd., 2010; Fu vd., 2015; Massalha vd., 2017). Benzer şekilde bazı bitkilerin ürettiği uçucu bileşiklerin, örneğin belirli *Allium* türlerinde olduğu gibi, toprak kökenli patojenlerden *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*'yi engelleyebildiği belirlenmiştir (Zhang vd., 2013).

Kökler aracılığıyla salgılanan sinyal molekülleri simbiyotik ilişkilerin kurulmasında da önemli işlevlere sahiptir. Örneğin strigolaktonlar, arbusküler mikorizal fungusların (AMF) spor çimlenmesini ve hif dallanmasını teşvik ederek simbiyotik ilişkinin başlatılmasına katkı sağlamaktadır (Akiyama vd., 2005; Hiremath vd., 2024). Buna karşılık AMF'ler, Myc faktörleri olarak adlandırılan lipo-kitoooligosakkaritler ve kitin türevleri salgılayarak bitkide kalsiyum sinyallemesini ve simbiyotik gen ekspresyonunu aktive etmektedir (Maillet vd., 2011; Sun vd., 2015). Bu karşılıklı sinyal alışverişi, bitki ve fungus arasında çift yönlü ve yüksek özgüllüğe sahip bir iletişim ağı oluşturmaktadır (Lanfranco vd., 2018).

Rizosferdeki kimyasal iletişim yalnızca bitki kökenli bileşiklerle sınırlı değildir; mikroorganizmalar da bitki gelişimini ve savunma yanıtlarını etkileyen sinyal molekülleri üretmektedir. Mikrobiyal uçucu organik bileşikler, sideroforlar ve fitohormon benzeri maddeler, bitki büyümesini ve stres yanıtlarını düzenleyebilmektedir (Dimkpa vd., 2012; Hu vd., 2018; Li vd., 2024). Özellikle 2,3-bütandiol ve aseton gibi mikrobiyal uçucu bileşiklerin bitkilerde fotosentez ve büyüme ile ilişkili genleri aktive ettiği bildirilmektedir (Cho vd., 2008;

Berlanga-Clavero vd., 2020). Bu süreçte mikroorganizmaların kolonizasyonu ve metabolik aktiviteleri kök akıntılarının bileşimini yeniden şekillendirirken, bitkiler de çevresel stres koşullarına yanıt olarak salgı profillerini değiştirebilmektedir (Lareen vd., 2016). Bu bağlamda rizosferdeki kimyasal iletişim; kök akıntıları, mikrobiyal sinyal molekülleri, kemotaksi, moleküler tanıma mekanizmaları ve çapraz etkileşim süreçlerinin birlikte işlediği dinamik bir ağ niteliğindedir. Bitkiler ve mikroorganizmalar arasında gerçekleşen bu çift yönlü etkileşimler, simbiyotik ilişkilerin kurulmasından patojen baskılanmasına kadar birçok biyolojik sürecin temelini oluşturmakta ve bitki sağlığı ile ekosistem işleyişinde belirleyici rol oynamaktadır.

3. KÖK AKINTILARININ BAZI PATOJEN FUNGUSLAR VE OOMİSETLER ÜZERİNE ETKİLERİ

Zhang vd. (2013), Güney Çin’de muz üretiminde ciddi kayıplara neden olan *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC)’ye karşı, muzun Çin soğanı (*Allium tuberosum*) ile birlikte yetiştirilmesi ve rotasyona alınmasının hastalık şiddeti üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, Çin soğanından elde edilen kök akıntılarının patojene karşı güçlü antifungal etki gösterdiği ortaya konmuştur. Köklerin orijinal akıntısında [0.5 g taze ağırlık (FW)/mL], maksimum engelleme oranı (%68.1) tespit edilmiştir. Bununla birlikte, uçucu organik bileşiklerin (VOC) etkisinin dikkat çekici olduğu ve FOC spor çimlenmesini %38.9 oranında engellediği bildirilmiştir. Kapalı sistem koşullarında Çin soğanı tarafından salınan VOC’ler patojenin miselyal gelişimini engellemiş, doğal kök ortamını taklit eden sistemlerde ise spor çimlenmesini baskılamıştır. Kimyasal analizler sonucunda 2-methyl-2-pentenal ile dört organosülfür bileşiği (dimethyl trisulfide, dimethyl disulfide, dipropyl disulfide ve dipropyl trisulfide) tanımlanmış ve bu bileşiklerin tamamının antifungal aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle 2-methyl-2-pentenal ve dimethyl trisulfide daha güçlü engelleme sergilemiştir. Ayrıca çalışmada doz-etki ilişkisi vurgulanmış; 50–100 µL/L konsantrasyondaki 2-methyl-2-pentenal’ın patojenin miselyal büyümesini tamamen durdurduğu rapor edilmiştir. Elde edilen bulgular, Çin soğanından salınan bileşiklerin patojenin temel gelişim aşamalarını doğrudan baskıladığını ve Panama hastalığının şiddetini önemli ölçüde azalttığını göstermiştir.

Gao vd. (2014), mısır-soya fasulyesi karışık ekim sistemlerinde kök etkileşimlerinin toprak kaynaklı hastalıkların baskılanmasındaki rolünü araştırmış ve iki yıllık tarla denemeleri sonucunda, mısırla birlikte yetiştirilen soya fasulyesinde *Cylindrocladium parasiticum* kaynaklı kırmızı kök boğazı çürüklüğünün önemli ölçüde baskılandığını göstermişlerdir. Özellikle mısır ile soya fasulyesinin 5 cm aralıkla yetiştirildiği karışık ekim uygulamasında en düşük hastalık değerleri elde edilmiştir. Bu uygulamada, monokültür soya fasulyesine kıyasla hastalık bulunma oranı düşük fosfor (DF) koşullarında 2009 ve 2010 yıllarında sırasıyla %53 ve %43, yüksek fosfor (YF) koşullarında ise

sırasıyla %59 ve %47 oranında azalmıştır. Hastalık indeksi ise DF koşullarında 2009 ve 2010 yıllarında sırasıyla %49 ve %57, YF koşullarında ise sırasıyla %46 ve %50 oranında düşmüştür. Bununla birlikte, yüksek fosfor uygulamasının hem monokültür hem de karışık ekim sistemlerinde kırmızı kök boğazı çürüklüğünü hafif düzeyde artırdığı bildirilmiştir. Çalışmada ayrıca kök akıntılarının patojen gelişimi üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Soya fasulyesi monokültüründen elde edilen kök akıntıları ile karşılaştırıldığında, düşük fosfor koşullarında mısır-soya fasulyesi karışık ekimi ve mısır monokültüründen elde edilen kök akıntıları *C. parasiticum* koloni çapını sırasıyla %54 ve %38, sporlanmayı ise %37 ve %27 oranında azaltmıştır. Çalışmada kök akıntılarında tespit edilen fenolik asitlerden sinamik asit (cinnamic acid) düzeyinin mısır-soya fasulyesi karışık ekiminde mısır monokültürüne göre anlamlı düzeyde arttığı ve *in vitro* koşullarda patojenin gelişimini belirgin şekilde baskıladığı ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra kök etkileşimlerinin soya fasulyesinde savunma ile ilişkili PR genlerinin ekspresyonunu ve ilgili enzim aktivitelerini düzenlediği belirlenmiştir. Bu moleküler yanıtların, bitkinin patojene karşı daha hızlı ve güçlü bir savunma oluşturmaya katkı sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Yang vd. (2014), mısır-biber ara ekim sistemlerinde toprak kökenli hastalıkların bitki-bitki-mikroorganizma etkileşimleri üzerindeki rolünü araştırmışlar ve biber monokültürüne kıyasla mısır ile birlikte yetiştirilen sistemlerde *P. capsici* kaynaklı Phytophthora yanıklığının önemli ölçüde baskılandığını ortaya koymuşlardır. 2009, 2010 ve 2011 yıllarında yürütülen çalışmada hastalık şiddetinin tek başına biber dikimine kıyasla sırasıyla %33.5, %49.1 ve %46 oranında azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca mısır sıralarının hastalığın yayılmasını fiziksel olarak sınırlandırdığı ve özellikle sıra üzeri mesafenin 10 cm olduğu uygulamalarda hastalığın tamamen engellendiği bildirilmiştir. Buna karşılık 35–45 cm sıra aralığında hastalık baskılanmasının belirgin şekilde zayıfladığı gözlenmiştir. Hastalık şiddeti ile mısır kök biyokütlesi arasında güçlü negatif korelasyon bulunması, etkinin doğrudan kök yoğunluğu ve kök dağılımıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar bu baskılanmanın temel mekanizmalarından birinin, mısır bitkilerinin oluşturduğu kök duvarı etkisi olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu yapı yalnızca patojenin sıralar arasında hareketini fiziksel olarak engellememiş, aynı zamanda kimyasal olarak aktif bir savunma bariyeri işlevi de görmüştür. Deneme sonuçları, mısır köklerinin *P. capsici* zoosporlarını çektiğini, ancak daha sonra gelişimlerini baskıladığını göstermiştir. Zoosporların hem mısır hem de biber köklerine yöneldiği; ancak biber köklerinde, hareketli zoosporların kamçılarını kaybederek kist hâline gelmesiyle oluşan kistleşmiş zoosporların 30 dakika içinde kök ucunda yaklaşık %70, uzama bölgesinde ise %40 oranında çimlenmeye başladığı belirlenmiştir. Buna karşılık, mısır kök ucunda oluşan kistleşmiş zoosporların %55.86'sının aynı süre içinde parçalandığı saptanmıştır. Çalışmada, mısır kök akıntılarının baskılayıcı etkisinde benzoksazinoid grubundan bir savunma bileşiği olan DIMBOA'nın

[2,4-dihydroxy-7-methoxy-2H-1,4-benzoxazin-3(4H)-one] önemli rol oynadığı vurgulanmıştır. Normal mısır köklerinde kistleşmiş zoosporların parçalanma oranı yüksek bulunurken, DIMBOA üretmeyen Bx1 mutantında bu oranın yalnızca %6.28’de kalması, bu bileşiğin hastalık baskılanmasındaki belirleyici etkisini ortaya koymuştur. Kimyasal analizlerde, mısır köklerinin özellikle yakın ekim koşullarında daha yüksek miktarda DIMBOA ve MBOA [6-methoxy-2-benzoxazolinone] salgıladığı belirlenmiştir. Ayrıca MBOA, BZO [benzothiazole] ve MBZO [2-(methylthio)-benzothiazole] bileşiklerinin patojen üzerinde güçlü antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle MBZO’nun 0.3 mg/mL konsantrasyonda zoospor hareketliliğini yalnızca 5 dakika içinde tamamen engellediği, BZO’nun ise kistleşmiş zoosporların çimlenmesi ve hif gelişimi üzerinde en yüksek baskılayıcı etkiye sahip olduğu bildirilmiştir.

Fu vd. (2015), patates soğanı ile birlikte yetiştirilen domates bitkilerinde *Verticillium dahliae* kaynaklı *Verticillium solgunluğunun* hem hastalık görülme oranının hem de hastalık şiddetinin önemli ölçüde azaldığını belirlemiştir. Çalışmada domates monokültürü (TM) ile karşılaştırıldığında, domates–patates soğanı birlikte yetiştirme sisteminde (TC) hastalık görülme oranının 2013 yılında 18. ve 28. günlerde sırasıyla %24.97 ve %27.13, 2014 yılında ise %35.58 ve %19.83 oranında azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca, birlikte yetiştirilen domates bitkilerinden elde edilen kök akıntılarının, 1 g FW/10 mL konsantrasyonunda *V. dahliae*’nin (Vd1) miselyal gelişimini ve spor çimlenmesini anlamlı düzeyde engellediği; ancak konsantrasyon 1 g FW/20 mL seviyesine düşürüldüğünde engelleme etkisinin kaybolduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar, tek başına yetiştirilen domates (TM) veya patates soğanından (OM) elde edilen kök akıntılarının patojen gelişimi üzerinde anlamlı bir baskılayıcı etki göstermediğini belirtmişlerdir. Moleküler analizler, birlikte yetiştirme koşullarında domateste savunma ile ilişkili genlerin güçlü biçimde aktive edildiğini göstermiştir. Özellikle patogenezele ilişkili proteinler, lignin biyosentezi, hormon metabolizması ve sinyal iletimine bağlı genlerin ekspresyonundaki artış, bitkinin savunma kapasitesinin yükseldiğini ortaya koymuştur.

Fang vd. (2016), tütünde ciddi kayıplara neden olan *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*’ya karşı kolza (*Brassica napus*) ile yapılan rotasyonun hastalık baskılanmasında önemli rol oynadığını belirlemiştir. Tarla denemeleri sonuçlarına göre, 2012 yılında kara bacak hastalığı bulunma oranı %25–35 arasında değişirken, kolza ile rotasyon uygulanan parsellerde hastalık bulunma oranının sürekli tütün ekimine kıyasla önemli ölçüde azaldığı saptanmıştır. 2013 yılında her iki uygulamada da bu oran düşmesine rağmen, rotasyon uygulamasındaki azalma oranı %67.47’ye ulaşmış ve bu değer sürekli tütün ekimindeki %47.41’lik azalmadan daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca 2012–2015 yılları arasında rotasyon süresi arttıkça hastalık görülme sıklığının kademeli olarak azaldığı belirlenmiştir. Hastalık baskılanmasına paralel olarak tütün

veriminde de önemli artış sağlanmış ve kolza rotasyonu sonrasında verimin sürekli tütün ekimine göre %128.8 arttığı bildirilmiştir. Çalışmada zoosporların kolza köklerine karşı güçlü bir kemotaktik yönelim gösterdiği, özellikle kök uçları ve kök tüyü bölgelerine çekildiği belirlenmiştir. Kök yüzeyine ulaştıktan sonra zoosporların hareketlerini kaybederek kist formuna geçtiği, ancak bu yapıların bir bölümünün 30 dakika içinde parçalandığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, 120 dakikalık inkübasyon sonunda kistleşmiş zoosporların yalnızca %33.84'ünün çimlendiği ve çim tüplerinin %46.11'inin kolza köklerine doğru büyüdüğü belirlenmiştir. Kolza kök akıntılarının antifungal etkileri incelendiğinde, patojenin miselyumunun 1.0 mg/mL konsantrasyondaki kök akıntılarına maruz bırakılması sonucunda engellenme oranı %21.09'a ulaşmıştır. Kimyasal analizlerde kök akıntılarında bulunan 14 bileşik içerisinde 2-butenic acid, valeric acid, 4-methoxyindole, cyclohexyl isocyanate, benzothiazole, 2-(methylthio)benzothiazole ve 1-(4-ethylphenyl)-ethanone'nun güçlü antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Bu bileşiklerin EC₅₀ değerlerinin 27.46–366.37 mg/L arasında değiştiği bildirilmiş, bazı alkanlar ve palmitic acid gibi diğer bileşiklerin ise belirgin antifungal etki göstermediği saptanmıştır.

Ren vd. (2016), karpuz–aerobik çeltik (*Oryza sativa*) birlikte ekim sisteminde kök akıntılarındaki fenolik asitlerin *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* (FON) üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, çeltik ve karpuz köklerinin farklı fenolik asit profillerine sahip olduğu belirlenmiş; çeltik kök akıntılarında p-kumarik asit (p-coumaric acid), salisilik asit (salicylic acid), ftalik asit (phthalic acid) ve p-hidroksibenzoik asit (p-hydroxybenzoic acid); karpuz kök akıntılarında ise ferulik asit (ferulic acid), salisilik asit, ftalik asit ve p-hidroksibenzoik asit saptanmıştır. Buna göre p-kumarik asitin çeltik kök akıntılarına özgü baskılayıcı bir bileşik, ferulik asitin ise karpuz kök akıntılarında bulunan ve patojen gelişimini teşvik edebilen bir bileşik olduğu değerlendirilmiştir. Fenolik asitlerin FON üzerindeki etkileri incelendiğinde, p-kumarik asitin spor çimlenmesini ve spor oluşumunu doza bağlı olarak güçlü biçimde baskıladığı görülmüştür. Dışarıdan uygulanan p-kumarik asit 20 mg/L üzerindeki konsantrasyonlarda FON spor çimlenmesini engellemiş; 160 mg/L düzeyinde çimlenmenin engellenme oranı %70.69'a ulaşmıştır. Aynı konsantrasyonda söz konusu bileşiğin spor oluşumunu neredeyse tamamen baskıladığı ve sporlanmayı %99.83 oranında engellediği bildirilmiştir. Buna karşılık, karpuz kök akıntılarına özgü ferulik asitin 40 mg/L üzerindeki konsantrasyonlarda FON spor çimlenmesini teşvik ettiği, yüksek dozlarda spor çimlenme oranının kontrolün %113.12'sine ulaştığı ve 160 mg/L düzeyinde sporlanmayı kontrole göre %55.68 artırdığı belirlenmiştir. Her iki bitkide de bulunan salisilik asitin ise doza bağlı çift yönlü etki gösterdiği; düşük konsantrasyonlarda spor çimlenmesini teşvik ederken, yüksek konsantrasyonlarda baskılayıcı etki oluşturduğu saptanmıştır. Araştırmacılar ayrıca bu bileşiklerin karpuzda savunma yanıtları üzerindeki etkilerini de

değerlendirmiştir. Bu kapsamda, fungal hücre duvarının önemli bileşenlerinden biri olan kitini parçalayan kitinaz enziminin CIPR3 geni tarafından kodlandığı ve bu nedenle CIPR3'ün patojene karşı savunma yanıtında önemli bir gösterge olduğu belirtilmiştir. Çalışmada p-kumarik asit uygulamasının FON ile inokule edilen karpuz köklerinde CIPR3 geninin ifade düzeyini artırdığı, yapraklarda kitinaz aktivitesini ve köklerde β -1,3-glukanaz aktivitesini yükselterek bitkinin savunma kapasitesini güçlendirdiği belirlenmiştir. Buna karşılık ferulik asit uygulamasının CIPR3 gen ifadesini baskıladığı ve karpuz yapraklarında kitinaz aktivitesini azalttığı bildirilmiştir.

Lv vd. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, buğday ile birlikte ekimin baklada *Fusarium solgunluğu* üzerindeki etkisi ve bu etkinin kök akıntılarıyla ilişkisi incelenmiştir. Etmen *Fusarium oxysporum* f. sp. *fabae* ile yapılan inokulasyon, baklada hastalık görülme sıklığını, hastalık indeksini ve rizosferdeki patojen yoğunluğunu önemli ölçüde artırmıştır. Kök akıntıları açısından değerlendirildiğinde, patojen enfeksiyonu sonrası bakla köklerinden salgılanan fenolik asitler, organik asitler, amino asitler ve şekerlerde sırasıyla %39.1, %329.0, %921.7 ve %1195.7 oranında artış gözlenmiştir. Buna karşılık, buğday ile birlikte ekim uygulaması bu artışları belirgin şekilde baskılamış ve aynı bileşik gruplarında sırasıyla %28.04, %55.69, %79.10 ve %78.75 oranında azalma sağlamıştır. Bu değişimlerin fonksiyonel sonucu olarak, ara ekim sisteminde rizosferdeki patojen popülasyonunun önemli ölçüde azaldığı ve buna bağlı olarak *Fusarium solgunluğunun* hastalık şiddeti ve görülme sıklığının tolere edilebilir seviyelere düştüğü belirlenmiştir.

Ülkemizde yürütülen bir çalışmada, farklı dayanıklılık düzeylerine sahip ayçiçeği ıslah hatlarının inokulasyon sürecinde oluşturduğu kök salgılarının ayçiçeği mildiyösü etmeni *Plasmopara halstedii*'ye karşı anti-oomiset etkileri değerlendirilmiştir (Kılıç, 2020). Denemelerde, dayanıklılık genlerinin varlığı ve simptomatolojik test sonuçlarına göre 9'u dayanıklı, 3'ü hassas olmak üzere toplam 12 ayçiçeği ıslah hattı kullanılmıştır. Kök inokulasyonu sırasında elde edilen kök salgıları ince tabaka kromatografisi (TLC) ile fraksiyonlara ayrılmış ve bu fraksiyonların patojenin sporangium boşalması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bazı dayanıklı hatların kök salgılarında patojenin erken enfeksiyon sürecini baskılayabilen aktif bileşenler bulunduğunu göstermiştir. Özellikle CL 217 R, HAR 5, K5 R SN:11/2014 ve K-9 R-SN:3/2014 hatları çok sayıda aktif fraksiyona sahip olmaları nedeniyle öne çıkmıştır. Sporangium boşalmasını %50 ve üzerinde engelleyen fraksiyonların kimyasal içerikleri GC/MS ve LC-MS/MS analizleriyle değerlendirilmiştir. İnokulasyon sürecinde elde edilen kök salgılarında, yalnızca dayanıklı hatlarda bulunan ve anti-oomiset etki gösteren bazı aktif fraksiyonlar belirlenmiştir. Bu fraksiyonlarda 2-ethyl-2-methyl-tridecanol (alkol), nonanal (aldehit), 2,6,10,15-tetramethylheptadecane (alkan), 2-(1-ethoxy-ethoxy)-1,1,1-trifluoro-4-iodobutane (alkil halojenür), 9-octadecenoic acid (Z)- (yağ asidi) ve 2-hydroxy-

3-[(1-oxooctadecyl)oxy]propyl ester (ester) bileşikler tespit edilmiştir. Ayrıca kök salgılarında gallik asit (gallic acid), klorojenik asit (chlorogenic acid), dihidroksibenzoik asit (dihydroxybenzoic acid) ve kumarik asit gibi fenolik bileşiklerin belirlenmiş olması, anti-oomiset etkinin fenolik asit profiliyle de ilişkili olabileceğini düşündürmüştür. Bu bulgular, ayçiçeğinde kök salgılarının *P. halstedii* ile erken temas aşamasında aktif savunma bileşenleri taşıyabildiğini göstermektedir.

Yang vd. (2021), rezene (*Foeniculum vulgare*) ile *Phytophthora nicotianae* arasındaki etkileşimleri inceleyerek rezene kök akıntılarının patojenin enfeksiyon sürecini nasıl baskıladığını ortaya koymuşlardır. Çalışmada, *P. nicotianae* zoosporlarının rezene köklerine karşı güçlü pozitif kemotaksi gösterdiği ve zoosporların yalnızca 5 dakika içerisinde köklere doğru yoğun şekilde yöneldiği belirlenmiştir. Ancak rezene köklerine ulaştıktan sonra zoosporların hızla hareketliliklerini kaybederek kistleşmiş zoospora dönüştüğü ve bunlardan bazılarının parçalandığı gözlenmiştir. Kontrol grubunda ise zoosporların hareketli kalmaya devam ettiği bildirilmiştir. Ayrıca 25 dakikalık etkileşim sonunda rezene köklerine yönelen çim tüplerinin ileri/geri hareket oranı ile kistleşmiş zoosporların parçalanma oranının kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde arttığı belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca rezene kök akıntıları doza bağlı antimikrobiyal aktivite sergilemiş ve 1000 mg/L konsantrasyonda hif gelişimindeki engellenme oranı %47.6'ya ulaşmıştır. Kimyasal analizlerde rezene kök akıntılarında bulunan propiyonik asit (propionic acid), kloroiyodometan (chloriodomethane), bütirik asit (butyric acid), N-formilpiperidin (N-formylpiperidine), 4-etilasetofenon (4-ethylacetophenone), vanilin (vanillin), benzotiyazol (benzothiazole) ve krotonik asit (crotonic acid) gibi çeşitli bileşiklerin patojenin miselyal gelişimine karşı engelleyici etki gösterdiği saptanmıştır. HPLC analizleri sonucunda özellikle 4-etilasetofenon, vanilin ve N-formilpiperidin'in rizosferde sürekli bulunan temel bileşikler olduğu belirlenmiştir. Bu bileşiklerin enfeksiyon süreçleri üzerindeki etkileri incelendiğinde, N-formilpiperidin bileşiğinin zoosporlara karşı en güçlü pozitif kemotaksik etkiyi gösterdiği, buna karşılık 4-etilasetofenon ve vanilin bileşiklerinin zoospor hareketliliğini doza bağlı olarak baskıladığı belirlenmiştir. Özellikle vanilin'in 10 mg/L konsantrasyonda yalnızca 5 dakika içerisinde zoospor hareketliliğini %72.6 oranında engellediği bildirilmiştir. Üç bileşiğin de kistleşmiş zoosporların çimlenmesi üzerinde belirgin etkisi bulunmamakla birlikte, hif gelişimini önemli ölçüde baskıladığı saptanmıştır. Ayrıca bu bileşiklere maruz kalan hiflerde yoğunlaşma, kısa ve anormal dallanma artışı gözlenmiş; özellikle 200 mg/L düzeyinde 4-etilasetofenon ve vanilin uygulamalarında belirgin morfolojik bozulmalar ortaya çıkmıştır. Bunun yanında reaktif oksijen türleri (ROS) birikiminin artması, patojenin normal gelişim süreçlerinin bozulduğunu göstermiştir.

Yang vd. (2022), rezene (*Foeniculum vulgare*)–biber (*Capsicum annuum*) ara ekim sisteminde rezene kökleri ve kök akıntılarının *P. capsici* enfeksiyon süreci üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada yirmi üç günlük gözlem sonunda, rezene ile birlikte yetiştirilen biberlerde hastalık bulunma oranı %58 olarak belirlenmiş; aynı sıra aralığında rezene olmadan yetiştirilen biberlerde bu oran %75'e, monokültür biber yetiştiriciliğinde ise %91.67'ye ulaşmıştır. Bu sonuçlar, rezene ile ara ekimin biberde *Phytophthora* yanıklığının oluşumunu ve yayılımını belirgin biçimde azalttığını göstermektedir. Mikroskopik gözlemler, *P. capsici* zoosporlarının rezene köklerine karşı güçlü bir kemotaktik yönelim gösterdiğini ve 5 dakika içinde köklere doğru yoğun biçimde hareket ettiğini ortaya koymuştur. Kök yüzeyine ulaştıktan sonra zoosporların büyük ölçüde hareketliliğini kaybederek kist formuna geçtiği, zoospor hareketlilik oranının ise yalnızca %4.14 düzeyinde kaldığı bildirilmiştir. Ancak 120 dakikalık inkübasyon sonunda rezene köklerinin kistleşmiş zoosporların çimlenmesini kontrole göre %62.23 oranında artırdığı belirlenmiştir. Araştırmada ayrıca rezene kök akıntılarının *P. capsici* zoosporlarını çekme yeteneğinin konsantrasyona bağlı olarak arttığı; 20 µg/mL konsantrasyonda zoospor hareketliliğini %40.5 oranında, kistleşmiş zoosporların çimlenmesini ise %13.2 oranında engellediği tespit edilmiştir. Kimyasal analizlerde rezene rizosferi ve kök akıntılarında D-limonen, estragol, anetol (anethole), γ-terpinen (γ-terpinene) ve β-mirsen (β-myrcene) olmak üzere beş temel terpen bileşiği belirlenmiştir. Bu bileşiklerin 100 µg/mL konsantrasyonda zoospor hareketliliğini sırasıyla %50.88, %66.83, %32.16, %55.27 ve %79.05 oranlarında baskıladığı bildirilmiştir. Ayrıca D-limonen, estragol ve özellikle anetolün kistleşmiş zoosporların çimlenmesi ve miselyal gelişim üzerinde güçlü engelleyici etki gösterdiği; anetolün 10 µg/mL konsantrasyonda miselyal gelişimi %96.5 oranında engellediği saptanmıştır. Araştırmada terpen bileşiklerinin birlikte uygulanması, tek tek uygulamalara göre daha güçlü bir baskılayıcı etki oluşturmuştur. Rizosferdeki doğal oranlarına göre hazırlanan terpen karışımları, hem 1× hem de 2× konsantrasyonlarda zoospor hareketliliğini tamamen durdurmuş ve engelleme oranı %100'e ulaşmıştır. Ayrıca 2× terpen karışımı, kistleşmiş zoosporların çimlenmesini tek bileşiklerden daha güçlü biçimde baskılamış ve zoospor parçalanma oranını %98.85'e yükseltmiştir. Çalışmada ayrıca rezene kök akıntıları ve terpen bileşiklerinin, özellikle anetol aracılığıyla *P. capsici* hiflerinde reaktif oksijen türleri (ROS) birikimini artırdığı belirlenmiştir.

Yang vd. (2024), buğday–bakla birlikte ekim sisteminde konukçu olmayan buğday kök akıntılarının, *Fusarium commun* kaynaklı bakla *Fusarium* solgunluğunun baskılanmasındaki rolünü incelemişlerdir. Tarla denemelerinde buğday ile birlikte yetiştirilen baklalarda hastalık bulunma oranı, bakla monokültürüne göre dallanma, çiçeklenme ve olgunlaşma dönemlerinde sırasıyla %22.67, %12.34 ve %15.67 oranında azalmıştır. Hastalık indeksi de aynı dönemlerde sırasıyla %4.67, %18.00 ve %16.00 oranında düşmüştür. Hastalık

baskılanmasına paralel olarak, birlikte ekim sisteminde bakla tane veriminin 965 kg km² arttığı bildirilmiştir. Çalışmada hastalık baskılanmasının kökler arası etkileşimden kaynaklanıp kaynaklanmadığını belirlemek amacıyla araştırmacılar, buğday ve bakla köklerinin temasını farklı düzeylerde sınırlandıran bir saksı denemesi kurmuşlardır. Köklerin ayrılmadığı birlikte ekim uygulamasında buğday ve bakla kökleri aynı ortamda serbestçe etkileşirken, yarı geçirgen ağ kullanılan uygulamada köklerin fiziksel teması engellenmiş; ancak su, besin maddeleri ve kök akıntıları gibi çözünebilir bileşiklerin geçişine izin verilmiştir. Plastik film kullanılan uygulamada ise hem kök teması hem de kök akıntılarının geçişi tamamen engellenmiştir. Bu denemede, köklerin serbestçe etkileşebildiği uygulamada baklanın toprak üstü biyokütlesi monokültüre göre %85.00, yarı geçirgen ağ kullanılan uygulamada ise %68.66 oranında artmıştır. Buna karşılık, köklerin plastik filmle tamamen ayrıldığı uygulamada biyokütle artışı belirgin olmamış ve hastalık baskılanması zayıflamıştır. Bu sonucu desteklemek amacıyla buğday kök akıntıları bakla monokültürüne dışarıdan da uygulanmıştır. Bu uygulama, baklanın toprak üstü biyokütlesini artırırken *Fusarium solgunluğunun* görülme oranını ve hastalık indeksini azaltmıştır. Böylece, birlikte ekim sisteminde gözlenen olumlu etkinin yalnızca bitkilerin fiziksel birlikteliğinden değil, buğday köklerinden salınan biyokimyasal bileşiklerden de kaynaklandığı ortaya konmuştur. Patojen gelişimi açısından değerlendirildiğinde, buğday kök akıntılarının miktarı arttıkça patojene karşı inhibitör etkinin güçlendiği belirlenmiştir. Bu kapsamda 5 mL kök akıntısı uygulaması koloni çapını %80.62, 1.6 mL uygulaması ise spor oluşumunu %49.63 oranında azaltmıştır. Kimyasal analizlerde buğday kök akıntılarında fenolik asitler, organik asitler ve amino asitlerin yüksek miktarda bulunduğu; antifungal testler için salisilik asit, p-hidroksibenzoik asit, tartarik asit (tartaric acid), malik asit, glutamik asit (glutamic acid) ve treonin (threonine)'nin seçildiği belirtilmiştir. Salisilik asit, p-hidroksibenzoik asit, tartarik asit ve glutamik asit genel olarak patojenin miselyal gelişimi ve spor oluşumunu doza bağlı olarak baskılamıştır. Buna karşılık p-hidroksibenzoik asit, malik asit ve treonin gibi bazı bileşiklerin düşük dozlarda spor oluşumunu teşvik edebildiği, yüksek dozlarda ise baskılayıcı etki gösterdiği bildirilmiştir.

SONUÇ

Bu derlemede ele alınan çalışmalar, kök akıntılarının özellikle patojen funguslar ve oomisetlerle ilişkilerde yalnızca besin kaynağı veya kimyasal salgı ürünü olarak değil, enfeksiyon sürecinin farklı aşamalarını etkileyebilen işlevsel bileşikler bütünü olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Fenolik asitler, organik asitler, terpenoidler, uçucu organik bileşikler, benzoksazinoidler ve bazı sülfürlü bileşikler; spor çimlenmesi, zoospor hareketliliği, kist oluşumu, hif gelişimi, miselyal büyüme ve sporlanma gibi patojen gelişiminin kritik basamakları üzerinde doğrudan etkili olabilmektedir.

Ara ekim, birlikte yetiştirme ve rotasyon sistemlerinde gözlenen hastalık baskılanması, çoğu durumda kök akıntılarının kimyasal bileşimiyle yakından ilişkilidir. Mısır, buğday, çeltik, rezene, Çin soğanı, kolza ve patates soğanı gibi farklı bitkilerle yürütülen çalışmalar, konukçu olmayan bitkilerin köklerinden salınan bileşiklerin patojen gelişimini doğrudan baskılayabildiğini veya konukçu bitkide savunma yanıtlarını uyarabildiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, karışık ekim ve rotasyon uygulamalarının yalnızca fiziksel alan kullanımı veya besin rekabetiyle açıklanamayacağını; rizosferde gerçekleşen kimyasal etkileşimlerin de hastalık baskılanmasında önemli rol oynadığını göstermektedir. Bununla birlikte kök akıntılarının etkisi her zaman tek yönlü değildir. Aynı bileşik grubu, bitki türüne, konsantrasyona, patojenin biyolojisine ve çevresel koşullara bağlı olarak baskılayıcı veya teşvik edici etki gösterebilmektedir. Örneğin bazı fenolik asitler yüksek konsantrasyonlarda patojen gelişimini baskılayarak, düşük konsantrasyonlarda spor çimlenmesi veya spor oluşumunu teşvik edebilmektedir. Benzer şekilde bazı kök akıntıları zoosporları köke doğru çekebildiğinde, ancak sonraki aşamalarda hareketliliği, çimlenmeyi veya hif gelişimini baskılayabilmektedir. Bu nedenle kök akıntılarının bitki-patojen ilişkilerindeki rolü, yalnızca antifungal etki kavramıyla değil, konsantrasyon, zamanlama, bileşik kombinasyonu ve rizosfer koşulları dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Kök akıntıları aynı zamanda simbiyotik ilişkilerin kurulmasında ve faydalı mikroorganizmaların rizosfere yönlendirilmesinde de önemli işlevler üstlenmektedir. Özellikle arbusküler mikorizal funguslarla kurulan ilişkilerde kök kökenli sinyal molekülleri, spor çimlenmesi, hif dallanması ve konukçu tanıma süreçlerinde belirleyici olabilmektedir. Bu yönüyle kök akıntıları, rizosferde hem yararlı simbiyontların desteklenmesi hem de patojenlerin sınırlandırılması arasında hassas bir kimyasal denge oluşturmaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, kök akıntısındaki tekil bileşiklerin etkilerinin yanı sıra bileşik karışımlarının, doz-etki ilişkilerinin ve doğal rizosfer koşullarındaki işlevlerinin birlikte değerlendirilmesine odaklanması gerekmektedir. Laboratuvar koşullarında belirlenen antifungal etkilerin sera ve tarla koşullarında doğrulanması, metabolomik analizlerin mikrobiyom ve fonksiyonel genomik yaklaşımlarla desteklenmesi, kök akıntılarının hastalık yönetimindeki gerçek potansiyelinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Bu bilgiler, sürdürülebilir tarımda ara ekim, rotasyon, biyolojik mücadele ve dayanıklı çeşit geliştirme stratejilerinin daha bilinçli biçimde kullanılmasına katkı sunabilir.

KAYNAKLAR

- Afridi, M. S., Fakhar, A., Kumar, A., Ali, S., Medeiros, F. H., Muneer, M. A., Ali, H., & Saleem, M. (2022a). Harnessing microbial multitrophic interactions for rhizosphere microbiome engineering. *Microbiological Research*, 265, 127199. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127199>
- Afridi, M. S., Javed, M. A., Ali, S., De Medeiros, F. H. V., Ali, B., Salam, A., Sumaira, Marc, R. A., Alkhalifa, D. H. M., Selim, S., & Santoyo, G. (2022b). New opportunities in plant microbiome engineering for increasing agricultural sustainability under stressful conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13, 899464. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.899464>
- Afzal, M.R., Naz, M., Yu, Y., Yan, L., Wang, P., Mohotti, J., Hao, G., Zhou, J.–J., Chen, Z., Zhang, L., & Wang, Q. (2025). Root exudates: The rhizospheric frontier for advancing sustainable plant protection. *Resources Environment and Sustainability*, 21, 100249. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2025.100249>
- Akiyama, K., Matsuzaki, K., & Hayashi, H. (2005). Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, 435, 824–827. <https://doi.org/10.1038/nature03608>
- Alamgir, A. N. M. (2018). Secondary metabolites: Secondary metabolic products consisting of C and H; C, H, and O; N, S, and P elements; and O/N heterocycles. In Therapeutic use of medicinal plants and their extracts: Volume 2. Phytochemistry and bioactive compounds (pp. 165–309). Cham, Switzerland: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92387-1_3
- Auguy, F., Abdel–Lateif, K., Dumas, P., Badin, P., Guerin, V., Bogusz, D., & Hocher, V. (2011). Activation of the isoflavonoid pathway in actinorhizal symbioses. *Functional Plant Biology*, 38, 690–696. <https://doi.org/10.1071/FP11014>
- Badri, D. V., & Vivanco, J. M. (2009). Regulation and function of root exudates. *Plant, Cell and Environment*, 32(6), 666–681. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01926.x>
- Bais, H. P., Walker, T. S., Schweizer, H. P., & Vivanco, J. M. (2002). Root specific elicitation and antimicrobial activity of rosmarinic acid in hairy root cultures of *Ocimum basilicum*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40(11), 983–995. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(02\)01460-2](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(02)01460-2)
- Berg, G., & Smalla, K. (2009). Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, 68(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2009.00654.x>
- Berlanga–Clavero, M.V., Molina–Santiago, C., De Vicente, A., & Romero, D. (2020). More than words: the chemistry behind the interactions in the plant

- holobiont. *Environmental Microbiology*, 22(11), 4532–4544.
<https://doi.org/10.1111/1462-2920.15197>
- Bisseling, T., Dangel, J. L., & Schulze-Lefert, P. (2009). Next-generation communication. *Science*, 324(5928), 691.
<https://doi.org/10.1126/science.1174404>
- Buchanan, B. B., Gruissem, W., & Jones, R. L. (2015). *Biochemistry and molecular biology of plants* (2nd ed.). Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Canarini, A., Kaiser, C., Merchant, A., Richter, A., & Wanek, W. (2019). Root exudation of primary metabolites: mechanisms and their roles in plant responses to environmental stimuli. *Frontiers in Plant Science*, 10, 422679.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00157>
- Chai, Y. N., & Schachtman, D. P. (2022). Root exudates impact plant performance under abiotic stress. *Trends in Plant Science*, 27(1), 80–91.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.08.003>
- Chaparro, J.M., Badri, D.V., & Vivanco, J.M. (2014). Rhizosphere microbiome assemblage is affected by plant development. *ISME Journal*, 8(4), 790–803.
<https://doi.org/10.1038/ismej.2013.196>
- Cho, S.M., Kang, B.R., Han, S.H., Anderson, A.J., Park, J.-Y., Lee, Y. H., Cho, B. H., Yang, K. Y., Ryu, C. M., & Kim, Y. C. (2008). 2R,3R–Butanediol, a bacterial volatile produced by *Pseudomonas chlororaphis* O6, is involved in induction of systemic tolerance to drought in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant–Microbe Interactions*, 21(8) 1067–1075.
<https://doi.org/10.1094/MPMI-21-8-1067>
- Cooper, J.E. (2004). Multiple responses of rhizobia to flavonoids during legume root infection. *Advances in Botanical Research*, 41, 1–62.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(04\)41001-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(04)41001-5)
- De Andrade, S.A.L., Borghi, A.A., De Oliveira, V.H., Gouveia, L.D.M., Martins, A.P.I., & Mazzafera, P. (2022). Phosphorus shortage induces an increase in root exudation in fifteen eucalypts species. *Agronomy*, 12, 2041.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12092041>
- Di Marsico, A., Scrano, L., Labella, R., Lanzotti, V., Rossi, R., Cox, L., Perniola, M., & Amato, M. (2018). Mucilage from fruits/seeds of chia (*Salvia hispanica* L.) improves soil aggregate stability. *Plant and Soil*, 425, 57– 69.
<https://doi.org/10.1007/s11104-018-3565-1>
- Dimkpa, C.O., Zeng, J., McLean, J.E., Britt, D.W., Zhan, J., & Anderson, A.J. (2012). Production of indole–3–acetic acid via the indole–3–acetamide pathway in the plant–beneficial bacterium *Pseudomonas chlororaphis* O6 is inhibited by zno nanoparticles but enhanced by cuo nanoparticles. *Applied and Environmental Microbiology*, 78, 1404–1410.
<https://doi.org/10.1128/AEM.07424-11>

- Dreyer, I., Gomez-Porras, J.L., Riaño-Pachón, D.M., Hedrich, R., & Geiger, D. (2012). Molecular evolution of slow and quick anion channels (SLACs and QUACs/ALMTs). *Frontiers in Plant Science*, 3, 263. <https://doi.org/10.3389/fpls.2012.00263>
- Dubey, A., Malla, M. A., Khan, F., Chowdhary, K., Yadav, S., Kumar, A., Sharma S., Khare, P.K., & Khan, M. L. (2019). Soil microbiome: a key player for conservation of soil health under changing climate. *Biodiversity and Conservation*, 28(8), 2405–2429. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01760-5>
- Fang, Y., Zhang, L., Jiao, Y., Liao, J., Luo, L., Ji, S., Li, J., Dai, K., Zhu, S., & Yang, M. (2016). Tobacco rotated with rapeseed for soil-borne phytophthora pathogen biocontrol: mediated by rapeseed root exudates. *Frontiers in Microbiology*, 7, 894. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00894>
- Frey, M., Chomet, P., Glawischnig, E., Stettner, C., Grun, S., Winklmaier, A., Eisenreich, W., Bacher, A., Meeley, R. B., Briggs, S.P., Simcox, K., & Gierl, A. (1997). Analysis of a chemical plant defense mechanism in grasses. *Science*, 277(5326), 696–699. <https://doi.org/10.1126/science.277.5326.696>
- Fu, X., Wu, X., Zhou, X., Liu, S., Shen, Y., & Wu, F. (2015). Companion cropping with potato onion enhances the disease resistance of tomato against *Verticillium dahliae*. *Frontiers in Plant Science*, 6, 726. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00726>
- Fujii, K., & Sukartiningih, C. H. (2021). Root exudation and biodegradation of organic acids in a tropical forest soil under dipterocarp and pioneer trees. *Plant and Soil*, 469, 213–226. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05132-3>
- Gao, X., Wu, M., Xu, R., Wang, X., Pan, R., Kim, H. J., & Liao, H. (2014). Root interactions in a maize/soybean intercropping system control soybean soil-borne disease, red crown rot. *Plos One*, 9(5), e95031. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095031>
- Gunina, A., & Kuzyakov, Y. (2015). Sugars in soil and sweets for microorganisms: review of origin, content, composition and fate. *Soil Biology and Biochemistry*, 90, 87–100. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.07.021>
- Hao, W. Y., Ren, L. X., Ran, W., & Shen, Q. R. (2010). Allelopathic effects of root exudates from watermelon and rice plants on *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *Plant and Soil*, 336(1), 485–497. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0505-0>
- Hiremath, S.S., Prasanna, N.L., Nigam, R., Kumar, S., & Elangovan, M. (2024). A review on role of root exudates in shaping plant-microbe-pathogen interactions. *Journal of Advances in Microbiology*, 24, 1–17. <https://doi.org/10.9734/jamb/2024/v24i12868>

- Hu, L., Robert, C. A., Cadot, S., Zhang, X. I., Ye, M., Li, B., Manzo, D., Cherver, N., Steinger, T., Van Der Heijden, M. G. A., Schlaeppi, K., & Erb, M. (2018). Root exudate metabolites drive plant–soil feedbacks on growth and defense by shaping the rhizosphere microbiota. *Nature Communications*, 9(1), 2738. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05122-7>
- Huang, A. C., Jiang, T., Liu, Y. X., Bai, Y. C., Reed, J., Qu, B., Goossens, A., Nützmann, H.W., Bai, Y., & Osbourn, A. (2019). A specialized metabolic network selectively modulates Arabidopsis root microbiota. *Science*, 364(6440), eaau6389. <https://doi.org/10.1126/science.aau6389>
- Hung, R., Lee, S., & Bennett, J. W. (2015). Fungal volatile organic compounds and their role in ecosystems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, 3395–3405. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6494-4>
- Hussain, M.I., & Reigosa, M.J. (2011). Allelochemical stress inhibits growth, leaf water relations, PSII photochemistry, non–photochemical fluorescence quenching, and heat energy dissipation in three C3 perennial species. *Journal of Experimental Botany*, 62, 4533–4545. <https://doi.org/10.1093/jxb/err161>
- Kato–Noguchi, H., Macías, F.A., & Molinillo, J.M. (2010). Structure–activity relationship of benzoxazinones and related compounds with respect to the growth inhibition and α -amylase activity in cress seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 167, 1221–1225. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.04.006>
- Khorassani, R., Hettwer, U., Ratzinger, A., Steingrobe, B., Karlovsky, P., & Claassen, N. (2011). Citramalic acid and salicylic acid in sugar beet root exudates solubilize soil phosphorus. *BMC Plant Biology*, 11, 121. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-121>
- Kılıç, T. H. (2020). *Ayçiçeği mildiyösü (Plasmopara halstedii (Farlow) Berl. Et de Toni) 'ne karşı dayanıklılık mekanizmasının incelenmesi üzerine çalışmalar*. Doktora Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye.
- Krogh, S.S., Mensz, S.J., Nielsen, S.T., Mortensen, A.G., Christophersen, C., & Fomsgaard, I.S. (2006). Fate of benzoxazinone allelochemicals in soil after incorporation of wheat and rye sprouts. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 54(4) 1064–1074. <https://doi.org/10.1021/jf051147i>
- Kumar, A., & Dubey, A. (2020). Rhizosphere microbiome: Engineering bacterial competitiveness for enhancing crop production. *Journal of Advanced Research*, 24, 337–352. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.04.014>
- Lanfranco, L., Fiorilli, V., & Gutjahr, C. (2018). Partner communication and role of nutrients in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 220(4), 1031–1046. <https://doi.org/10.1111/nph.15230>
- Lareen, A., Burton, F., & Schäfer, P. (2016). Plant root–microbe communication in shaping root microbiomes. *Plant Molecular Biology*, 90, 575–587. <https://doi.org/10.1007/s11103-015-0417-8>

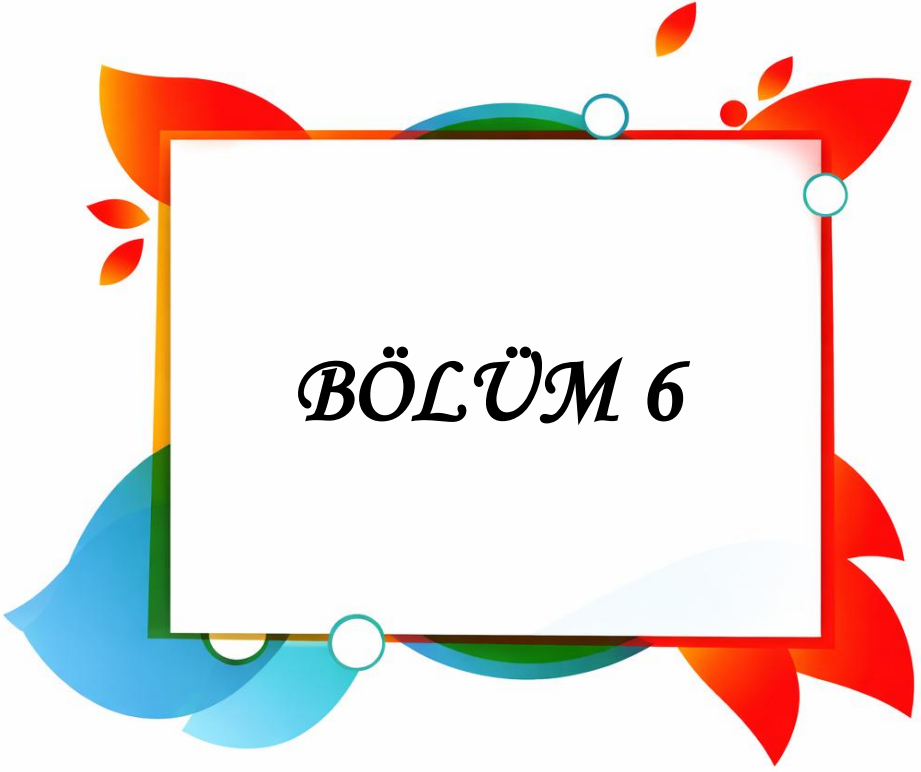
- Lee, S., Yap, M., Behringer, G., Hung, R., & Bennett, J. W. (2016). Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma* species mediate plant growth. *Fungal Biology and Biotechnology*, 3, 7. <https://doi.org/10.1186/s40694-016-0025-7>
- Li, Y., Chen, Y., Fu, Y., Shao, J., Liu, Y., Xuan, W., Xu, G., & Zhang, R. (2024). Signal communication during microbial modulation of root system architecture. *Journal of Experimental Botany*, 75, 526–537. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad263>
- Liu, J., Zhang, D., Luo, Y., Zhang, Y., Xu, L., Chen, P., Wu, E., Ma, Qian, Wang, H., Zhao, L., & Feng, B. (2023). Cadmium tolerance and accumulation from the perspective of metal ion absorption and root exudates in broomcorn millet. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 250, 114506. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114506>
- Lv, J., Dong, Y., Kun, D., Zhao, Q., Zhixian, Y., & Chen, L. (2020). Intercropping with wheat suppressed Fusarium wilt in faba bean and modulated the composition of root exudates. *Plant and Soil*, 448(1–2), 153–164. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04413-2>
- Ma, J., Wang, W., Yang, J., Qin, S., Yang, Y., Sun, C., & Huang, J. (2022a). Mycorrhizal symbiosis promotes the nutrient content accumulation and affects the root exudates in maize. *BMC Plant Biology*, 22, 64. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03370-2>
- Ma, W., Tang, S., Dengzeng, Z., Zhang, D., Zhang, T., & Ma, X. (2022b). Root exudates contribute to belowground ecosystem hotspots: A review. *Frontiers in Microbiology*, 13, 937940. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.937940>
- Maag, D., Köhler, A., Robert, C. A., Frey, M., Wolfender, J. L., Turlings, Ted, C.J., Glauser, G., & Erb, M. (2016). Highly localized and persistent induction of Bx1-dependent herbivore resistance factors in maize. *The Plant Journal*, 88(6), 976–991. <https://doi.org/10.1111/tpj.13308>
- Maillet, F., Poinso, V., André, O., Puech–Pagès, V., Haouy, A., Gueunier, M., Cromer, L., Giraudet, D., Formey, D., Niebel, A., Martinez, E.A., Driguez, H., Becard, G., & Dénarié, J. (2011). Fungal lipochitooligosaccharide symbiotic signals in arbuscular mycorrhiza. *Nature*, 469, 58–63. <https://doi.org/10.1038/nature09622>
- Marzouk, T., Chaouachi, M., Sharma A., Jallouli, S., Mhamdi, R., Kaushik, N., & Djébali, N. (2021). Biocontrol of *Rhizoctonia solani* using volatile organic compounds of solanaceae seed-borne endophytic bacteria. *Postharvest Biology and Technology*, 181, 111655. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111655>

- Massalha, H., Korenblum, E., Tholl, D., & Aharoni, A. (2017). Small molecules below-ground: the role of specialized metabolites in the rhizosphere. *The Plant Journal*, 90(4), 788–807. <https://doi.org/10.1111/tj.13543>
- Melanson, D., Chilton, M. D., Masters–Moore, D., & Chilton, W. S. (1997). A deletion in an indole synthase gene is responsible for the DIMBOA–deficient phenotype of bxbx maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(24), 13345–13350. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.24.13345>
- Mitter, B., Pfaffenbichler, N., Flavell, R., Compant, S., Antonielli, L., Petric, A., Berninger, T., Naveed, M., Tezerji, R.S., Von Malzhan, G., & Sessitsch, A. (2017). A new approach to modify plant microbiomes and traits by introducing beneficial bacteria at flowering into progeny seeds. *Frontiers in Microbiology*, 8, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00011>
- Moe, L. A. (2013). Amino acids in the rhizosphere: from plants to microbes. *American Journal of Botany*, 100(9), 1692–1705. <https://doi.org/10.3732/ajb.1300033>
- Niemeyer, H. M. (2009). Hydroxamic acids derived from 2–hydroxy–2 H–1, 4–benzoxazin–3 (4 H)–one: key defense chemicals of cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1677–1696. <https://doi.org/10.1021/jf8034034>
- Palmieri, D., Vitale, S., Lima, G., Di Pietro, A., & Turrà, D. (2020). A bacterial endophyte exploits chemotropism of a fungal pathogen for plant colonization. *Nature Communications*, 11(1), 5264. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18994-5>
- Patel, R., Asthana, S., & Sood, N. (2025). Rhizosphere dynamics: the microbial influence on root architecture. In M. Saraf, D. Goswami, & D. K. Maheshwari (Eds.), *Climate Change and Soil Microorganisms for Environmental Sustainability* (pp. 239–263). Springer Singapore.
- Peters, N. K., Frost, J. W., & Long, S. R. (1986). A plant flavone, luteolin, induces expression of *Rhizobium meliloti* nodulation genes. *Science*, 233(4767), 977–980. <https://doi.org/10.1126/science.3738520>
- Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2014). Rhizosphere: its structure, bacterial diversity and significance. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13(1), 63–77. <https://doi.org/10.1007/s11157-013-9317-z>
- Ren, L., Huo, H., Zhang, F., Hao, W., Xiao, L., Dong, C., & Xu, G. (2016). The components of rice and watermelon root exudates and their effects on pathogenic fungus and watermelon defense. *Plant Signaling & Behavior*, 11(6), e1187357. <https://doi.org/10.1080/15592324.2016.1187357>
- Rice, C.P., Otte, B.A., Kramer, M., Schomberg, H.H., Mirsky, S.B., & Tully, K.L. (2022). Benzoxazinoids in roots and shoots of cereal rye (*Secale cereale*) and their fates in soil after cover crop termination. *Chemoecology*, 32, 117–128. <https://doi.org/10.1007/s00049-022-00371-x>

- Rohrbacher, F., & St-Arnaud, M. (2016). Root exudation: the ecological driver of hydrocarbon rhizoremediation. *Agronomy*, 6(1), 19. <https://doi.org/10.3390/agronomy6010019>
- Sánchez-Moreiras, A. M., de la Peña, T. C., & Reigosa, M. J. (2008). The natural compound benzoxazolin-2 (3H)-one selectively retards cell cycle in lettuce root meristems. *Phytochemistry*, 69(11), 2172–2179. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.05.014>
- Sasse, J., Martinoia, E., & Northen, T. (2018). Feed your friends: do plant exudates shape the root microbiome?. *Trends in Plant Science*, 23(1), 25-41. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.09.003>
- Schlaman, H. R., Phillips, D. A., & Kondorosi, E. (1998). Genetic organization and transcriptional regulation of rhizobial nodulation genes. In H. P. Spaink, A. Kondorosi & P. J. J. Hooykaas (Eds.), *The rhizobiaceae: Molecular Biology of Model Plant-Associated Bacteria* (pp. 361–386). Dordrecht, Netherlands: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5060-6_9
- Sharma, M., Saleh, D., Charron, J. B., & Jabaji, S. (2020). A crosstalk between Brachypodium root exudates, organic acids, and *Bacillus velezensis* B26, a growth promoting bacterium. *Frontiers in Microbiology*, 11, 575578. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.575578>
- Smith, D. L., Gravel, V., & Yergeau, E. (2017). Signaling in the phytomicrobiome. *Frontiers in Plant Science*, 8, 611. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00611>
- Smith, D. L., Praslickova, D., & Ilangumaran, G. (2015). Inter-organismal signaling and management of the phytomicrobiome. *Frontiers in Plant Science*, 6, 722. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00722>
- Song, C., Jin, K., & Raaijmakers, J. M. (2021). Designing a home for beneficial plant microbiomes. *Current Opinion in Plant Biology*, 62, 102025. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2021.102025>
- Stahl, E. (2022). New insights into the transcriptional regulation of benzoxazinoid biosynthesis in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 73(16), 5358–5360. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac244>
- Sun, J., Miller, J. B., Granqvist, E., Wiley-Kalil, A., Gobbato, E., Maillet, F., Cottaz, S., Samain, E., Venkateshwaran, M., Fort, S., Morris, R.J., Ane, J.M., Denarie, J., & Oldroyd, G. E. (2015). Activation of symbiosis signaling by arbuscular mycorrhizal fungi in legumes and rice. *The Plant Cell*, 27(3), 823–838. <https://doi.org/10.1105/tpc.114.131326>
- Sun, L., Ataka, M., Han, M., Han, Y., Gan, D., Xu, T., Guo, Y., & Zhu, B. (2021). Root exudation as a major competitive fine-root functional trait of 18 coexisting species in a subtropical forest. *New Phytologist*, 229, 259–271. <https://doi.org/10.1111/nph.16865>

- Tomkins, M., Hughes, A., & Morris, R. J. (2021). An update on passive transport in and out of plant cells. *Plant Physiology*, 187(4), 1973–1984. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab406>
- Upadhyay, S.K., Srivastava, A.K., Rajput, V.D., Chauhan, P.K., Bhojiya, A.A., Jain, D., Chaubey, G., Dwivedi, P., Sharma, B., & Minkina, T. (2022). Root exudates: mechanistic insight of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable crop production. *Frontiers in Microbiology*, 13, 916488. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.916488>
- Uroz, S., Courty, P. E., & Oger, P. (2019). Plant symbionts are engineers of the plant–associated microbiome. *Trends in Plant Science*, 24(10), 905–916. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.06.008>
- Vannier, N., Agler, M., & Hacquard, S. (2019). Microbiota-mediated disease resistance in plants. *PLoS Pathogens*, 15(6), e1007740. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007740>
- Von Rad, U., Hüttel, R., Lottspeich, F., Gierl, A., & Frey, M. (2001). Two glucosyltransferases are involved in detoxification of benzoxazinoids in maize. *The Plant Journal*, 28, 633–642. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2001.01161.x>
- Weir, T. L., Park, S. W., & Vivanco, J. M. (2004). Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current Opinion in Plant Biology*, 7(4), 472–479. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.05.007>
- Weston, L. A., Ryan, P. R., & Watt, M. (2012). Mechanisms for cellular transport and release of allelochemicals from plant roots into the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3445–3454. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers054>
- Yang, M., Zhang, Y. U., Qi, L., Mei, X., Liao, J., Ding, X., Deng, W., Fan, L., He, X., Vivanco, J.M., Li, C., Zhu, Y., & Zhu, S. (2014). Plant–plant–microbe mechanisms involved in soil–borne disease suppression on a maize and pepper intercropping system. *PLoS One*, 9(12), e115052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115052>
- Yang, S., Zheng, Y., Cen, Z., Guo, Y., Yang, Z., & Dong, Y. (2024). Wheat root exudates suppress faba bean Fusarium wilt disease. *Food and Energy Security*, 13(3), e550. <https://doi.org/10.1002/fes3.550>
- Yang, Y., Li, Y., Mei, X., Yang, M., Huang, H., Du, F., Wu, J., He, Y., Sun, J., Wang, H., He, X., Zhu, S., Li, Y., & Liu, Y. (2022). Antimicrobial terpenes suppressed the infection process of *Phytophthora* in fennel–pepper intercropping system. *Frontiers in Plant Science*, 13, 890534. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.890534>
- Yang, Y., Yang, Z., Yu, S., & Chen, H. (2019). Organic acids exuded from roots increase the available potassium content in the rhizosphere soil: A rhizobag

- experiment in *Nicotiana tabacum*. *HortScience*, 54, 23–27. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13569-18>
- Yang, Y., Zhang, H., Fang, Y., Li, Y., Mei, X., Huang, H., Du, F., Zhu, S., Yang, M., & Liu, Y. (2021). Interference by non–host plant roots and root exudates in the infection processes of *Phytophthora nicotianae*. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 8(3), 447–459. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021399>
- Zambelli, A., Nocito, F.F., & Araniti, F. (2025). Unveiling the multifaceted roles of root exudates: chemical interactions, allelopathy, and agricultural applications. *Agronomy*, 15, 845. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040845>
- Zhang, H., Mallik, A., & Zeng, R. S. (2013). Control of Panama disease of banana by rotating and intercropping with Chinese chive (*Allium tuberosum* Rottler): role of plant volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 39(2), 243–252. <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0243-x>
- Zhao, M., Zhao, J., Yuan, J., Hale, L., Wen, T., Huang, Q., Vivanco, J.M., Zhou, J., Kowalchuk, G.A., & Shen, Q. (2021). Root exudates drive soil-microbe-nutrient feedbacks in response to plant growth. *Plant, Cell & Environment*, 44(2), 613–628. <https://doi.org/10.1111/pce.13928>



BÖLÜM 6

Hünnapta (*Ziziphus jujuba* Mill.) Fungal ve Oomycete Hastalık Etmenleri: Etmen Çeşitliliği, Tanılama ve Epidemiyolojik Özellikler

Nuray Özer¹ & Ömer Ümit Okçu²

GİRİŞ

Hünnap (*Ziziphus jujuba* Mill.), Rhamnaceae familyasında yer alan ve meyve üretimi bakımından *Ziziphus* cinsinin en önemli türlerinden biri kabul edilen çok yıllık bir meyve türüdür. Cins içinde tıbbi öneme sahip başlıca türler *Z. jujuba*, *Z. glaberata*, *Z. mauritiana* ve *Z. rugosa* olarak bildirilmekte; bunlar arasında *Z. jujuba* hızlı gelişimi, geniş adaptasyon yeteneği, besinsel değeri ve farklı kullanım alanları nedeniyle öne çıkmaktadır (Ahmad vd., 2011). Yaklaşık 4000 yılı aşkın kültür geçmişine sahip olan hünnapın kökeninin Çin olduğu, günümüzde ise Avrupa, Güney ve Doğu Asya ile Avustralya başta olmak üzere farklı bölgelerde yetiştirildiği bildirilmektedir (Outlaw vd., 2002; Huang vd., 2008).

Hünnap meyvesi taze veya kurutulmuş olarak tüketilebildiği gibi sirke, şarap, meyve suyu, macun, püre, şurup ve şekerleme gibi farklı ürünlere de işlenebilmektedir. Geleneksel kullanımında özellikle sindirimi destekleyici ve genel sağlığı koruyucu özellikleri öne çıkmaktadır (Outlaw vd., 2002; Jiang vd., 2007; Huang vd., 2008; Choi vd., 2011). Ayrıca geleneksel Çin tıbbında iştahsızlık, yorgunluk, dalak yetmezliği sendromuna bağlı ishal ve bazı sinirsel rahatsızlıkların tedavisinde kullanıldığı belirtilmektedir (Guo vd., 2010b). Bitkinin farklı kısımlarının diyabet, cilt enfeksiyonları, karaciğer hastalıkları, idrar yolu rahatsızlıkları, obezite, ateş, solunum yolu problemleri, anemi ve uykusuzluk gibi çeşitli durumlarda; ayrıca kan temizleyici ve gastrointestinal sistemi güçlendirici amaçlarla değerlendirildiği de bildirilmektedir (Li vd.,

¹ Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Tekirdağ, Türkiye. ORCID: 0000-0001-6876-7580

² Araş. Gör., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Tekirdağ, Türkiye. ORCID: 0000-0002-4809-4398

2007a; Ghaly vd., 2008; Pawlowska vd., 2009). Modern farmakolojik çalışmalar da *Z. jujuba*'nın yatıştırıcı, hepatoprotektif, immünolojik, antioksidan ve antiinflamatuvar etkilere sahip olabileceğini ortaya koymuştur (Lam vd., 2016a, b; Wojdyło vd., 2016). Bu çok yönlü kullanımda C vitamini, polisakkaritler, fenolik asitler, flavonoidler, triterpenik asitler, nükleositler, saponinler, alkaloidler, organik asitler, amino asitler ve mineral maddeler gibi biyoaktif bileşenlerin rol oynadığı bildirilmektedir (Li vd., 2007b; Huang vd., 2008; Zhao vd., 2008; Guo vd., 2009; Pawlowska vd., 2009; Guo vd., 2010a; Choi vd., 2011; Sun vd., 2011; Gao vd., 2011; Lu vd., 2012; Singh vd., 2012; Gao vd., 2013; Yue vd., 2014; Elaloui vd., 2015; Al-Saeedi vd., 2016; Bai vd., 2016; Elaloui vd., 2016; Fu vd., 2016; Wojdyło vd., 2016; Xie vd., 2016). Özellikle kalsiyum, potasyum, fosfor ve demir gibi mineral elementler bakımından da değerli bir meyve olduğu belirtilmektedir (Singh vd., 2012; Al-Saeedi vd., 2016).

Türkiye'de hünnap yetiştiriciliği son yıllarda alternatif meyvecilik faaliyetleri arasında daha fazla dikkat çekmeye başlamıştır. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2025 yılında hünnapta meyve veren yaşıta ağaç sayısı 118.652, meyve vermeyen yaşıta ağaç sayısı ise 54.109 olarak kaydedilmiştir. Aynı yıl toplu meyvelik alanı 3.396 dekar, ortalama verim 20 kg/ağaç ve toplam üretim miktarı 2.334 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2025). Bu veriler, meyve vermeyen yaşıta ağaç sayısının hâlen yüksek düzeyde olması nedeniyle önümüzdeki yıllarda üretim kapasitesinin artabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte 2024 yılı ile karşılaştırıldığında, ağaç sayısı ve toplu meyvelik alanında artış görülmesine karşın, birim ağaç başına verim ve toplam üretim miktarında düşüş meydana gelmiştir. Bu durum; iklim koşulları, kuraklık stresi, bakım uygulamalarındaki farklılıklar, genç bahçelerin henüz tam verim çağına ulaşmamış olması ve dönemsel verim dalgalanmaları gibi faktörlerle ilişkili olabilir.

Hünnap üretiminde verim ve kaliteyi sınırlayan faktörlerden biri de fungal hastalıklardır. Meyve çürüklükleri, yaprak lekeleri, dal kurumaları ve kök çürüklükleri gibi hastalıklar bitki gelişimini, meyve kalitesini ve pazarlanabilir ürün miktarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Üretim alanlarının genişlemesi ve yeni bahçelerin kurulması, uygun çevre koşullarında patojen yoğunluğunun artmasına ve hastalıkların daha belirgin bir sorun hâline gelmesine yol açabilir. Bu nedenle hünnapta fungal hastalık etmenlerinin doğru tanılanması, yayılışlarının ve epidemiyolojik özelliklerinin belirlenmesi, ayrıca kültürel önlemler, sağlıklı fidan kullanımı, uygun budama, sulama-besleme yönetimi ve biyolojik mücadele gibi yaklaşımların entegre şekilde değerlendirilmesi sürdürülebilir üretim açısından önem taşımaktadır.

Türkiye’de hünnap yetiştiriciliğine yönelik ilginin artması, bu türde görülen hastalıkların doğru tanınmasını ve sürdürülebilir hastalık yönetimine temel oluşturacak bilgilerin derlenmesini gerekli kılmıştır. Bu derlemenin amacı, *Ziziphus jujuba*’da bildirilen başlıca hastalıkları, etmen çeşitliliğini, tanılama yaklaşımlarını ve epidemiyolojik özellikleri değerlendirmektir. Temel olarak fungal hastalık etmenleri ele alınmış; oomycete ve algal etmenlere ait sınırlı kayıtlar da kapsam bütünlüğü açısından değerlendirilmiştir. Derlemede, ayrıntılı bilgi içeren çalışmalar tablolarda özetlenmiş, sınırlı bilgiye ulaşılabilen bazı kayıtlar ise yalnızca metin içinde verilmiştir.

1. YAPRAKLARDA GÖRÜLEN HASTALIKLAR

Yaprak hastalıkları, *Ziziphus jujuba*’da bildirilen önemli hastalık grupları arasında yer almaktadır. Farklı coğrafi bölgelerde yürütülen çalışmalar, hünnap yapraklarında çok sayıda fungal etmenin hastalık oluşturabildiğini göstermiştir (Tablo 1). Özellikle *Alternaria alternata*, *Cladosporium zizyphi*, *Cercospora ziziphicola* ve *Pseudocercospora jujubae* gibi türlerin yaprak lekesi hastalıklarıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Srivastava vd., 1995; Zhang vd., 2000; Athipunyakom vd., 2010; Bai vd., 2015b). Bunun yanında *Phakospora zizyphi-vulgaris* ve *Uredo zizyphi* pas hastalığı etmenleri olarak öne çıkarken, *Oidium erysiphoides*, *Oidium zizyphi* ve *Erysiphe quercicola* türlerinin hünnapta külleme hastalığına neden olduğu rapor edilmiştir (Su vd., 2001; Athipunyakom vd., 2010; Misra vd., 2012; Meeboon ve Takamatsu, 2020). Ayrıca *Colletotrichum gloeosporioides* ve *Colletotrichum siamense* gibi türlerin neden olduğu antraknoz hastalıklarının yapraklarda nekrotik lezyonlar ve erken yaprak dökümü oluşturduğu belirtilmiştir (Athipunyakom vd., 2010; Han vd., 2023). Bunun yanı sıra *Botrytis cinerea*’nın yaprak yanıklığı oluşturduğu, *Cephaleuros* spp. ile ilişkili alg yaprak lekelerinin görüldüğü ve bazı çalışmalarda *Guignardia*, *Pestalotiopsis*, *Phyllosticta* ve *Mycosphaerella* cinslerinin de yaprak hastalıkları kompleksinde yer aldığı bildirilmiştir (Hsieh ve Tsai, 1978; Athipunyakom vd., 2010; Misra vd., 2013).

Tablo 1. Hünnap yapraklarında bildirilen fungal hastalık etmenleri, coğrafi dağılımları ve tanılama/patojenisite bilgileri

Hastalık	Etmen	Ülke	Tanılama/patojenisite	Bulunma oranı (%) / hastalık indeksi	Kaynakça
Yaprak Yanıklığı/Meyve Çürümesi	<i>Botrytis cinerea</i>	Tayvan	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Hsieh ve Tsai (1978)
Yaprak Lekesi	<i>Cercospora ziziphicola</i>	Hindistan	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Srivastava vd. (1995)
Yaprak Lekesi	<i>Cladosporium zizyphi</i>	Çin	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Zhang vd. (2000)
Pas	<i>Phakospora zizyphi-vulgaris</i>	Çin	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Su vd. (2001)
Kara Leke	<i>Isariopsis indica pv. zizyphi</i>	Hindistan	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Misra vd. (2012)
Pas	<i>Phakopsora zizyphi-vulgaris</i>		Morf./B.V.	B.V./B.V.	
Antraknoz	<i>Gloeosporium</i> sp.		Morf./B.V.	B.V./B.V.	
Külleme	<i>Oidium erysiphoides</i>		Morf./B.V.	B.V./B.V.	
Külleme	<i>Oidium erysiphoides</i> f. sp. <i>zizyphi</i>	Hindistan	Morf./B.V.	%35 Mart ayı/B.V.	Misra vd. (2013)
Siyah Yaprak Lekesi	<i>Isariopsis indica</i> var. <i>zizyphi</i>		Morf./B.V.	%47 (Mart ayı)/B.V.	
Antraknoz	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>		Morf./B.V.	%17 (Mayıs ayı)/B.V.	
Pas	<i>Uredo zizyphi</i>		Morf./B.V.	%32.5 (Mart ayı)/B.V.	
Yaprak Lekesi	<i>Cladosporium zizyphi</i>		Morf./B.V.	%31.8 Eylül ayı/B.V.	
Kırmızı Pas	<i>Cephaleuros</i> spp.		Morf./B.V.	13.4 Nisan ayı/B.V.	
Yaprak Lekesi	<i>Alternaria alternata</i>	Çin	Morf.+EF-1 α /P.D.	B.V./B.V.	Bai vd. (2015b)
Külleme	<i>Erysiphe quercicola</i>	Tayland	Morf.+ITS+28S rRNA/B.V.	B.V./B.V.	Meeboon ve Takamatsu (2020)
Antraknoz	<i>Colletotrichum siamense</i>	Çin	Çok lokuslu/P.D.	B.V./B.V.	Han vd. (2023)
Antraknoz	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Etiyopya	Morf./B.V.	1.6/2.0* 0.0-0/0	Nigussie vd. 2020

Yaprak Lekesi	<i>Alternaria alternata</i>		Morf./B.V.	1.5/1.6 2.6/3.2	
Pas Hastalığı	<i>Phakospora zizyphi-vulgaris</i>		Morf./B.V.	2.7/4.2 3.5/3.7	

Morf.: Morfolojik; B.V.: Bilgi verilmemiş; P.D.: Patogenisite doğrulanmış. “Tanılama / patogenisite” sütununda ilk ifade tanılama yöntemini, ikinci ifade ise patogenisite testine ilişkin bilgiyi göstermektedir. *Çalışmadaki ortalama değerler dikkate alınmıştır, ilk satır 2018 yılına, ikinci satır 2019 yılına ait verileri ifade etmektedir.

Yaprak hastalıklarının oluşumu ve yaygınlığı üzerinde çevresel koşulların belirleyici olduğu bildirilmektedir. Özellikle sıcaklık, bağıl nem, yağış rejimi ve uzun süreli yaprak ıslaklığı gibi faktörlerin hastalık gelişimini önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir (Misra vd., 2013). Hindistan’da yapılan çalışmalarda külleme hastalığının daha çok Ekim–Nisan, pas hastalığının ise Şubat–Mayıs döneminde yoğunlaştığı (Misra vd., 2013) yaprak lekeli hastalıklarının ise orta sıcaklık ve yüksek nem koşullarında şiddetlenebildiği bildirilmiştir (Bai vd., 2015b). Çin’de yürütülen çalışmalarda *Alternaria alternata* kaynaklı yaprak lekeli enfeksiyonlarının yapraklarda 1–5 mm çapında nekrotik lezyonlar oluşturduğu ve enfeksiyon şiddetine bağlı olarak yaprak dökümünün 2–3 hafta erken gerçekleşebildiği bildirilmiştir (Bai vd., 2015b). Benzer şekilde *Colletotrichum siamense* kaynaklı antraknoz benzeri yaprak lekelerinde lezyonların birleşerek yaprak delinmesine neden olduğu belirtilmiştir (Han vd., 2023).

Hünnapta yaprak hastalıkları, yaprak dokusuyla sınırlı kalmayıp bitki gelişimi ve meyve kalitesi üzerinde dolaylı etkiler oluşturabilmektedir. *Colletotrichum gloeosporioides* gibi bazı etmenler hem yaprak hem de meyve dokularında enfeksiyon meydana getirebilirken, pas ve külleme etmenleri fotosentetik alanı azaltarak gelişme geriliği, deformasyon ve erken yaprak dökümüne yol açabilmektedir (Athipunya vd., 2010; Misra vd., 2013). Survey çalışmaları, aynı dokuda birden fazla fungal etmenin birlikte bulunabildiğini ve yaprak hastalıklarının bazı durumlarda hastalık kompleksi şeklinde gelişebildiğini göstermektedir (Athipunya vd., 2010). Etiyopya’da yürütülen bir çalışmada da antraknoz, pas ve leke hastalıklarının hem düşük hem orta rakımlı alanlarda görüldüğü; bu hastalıkların yaprak ve meyvelerde farklı düzeylerde enfeksiyon oluşturduğu rapor edilmiştir (Nigussie vd., 2020).

Son yıllarda moleküler teşhis yöntemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, daha önce yalnızca morfolojik özelliklere göre tanımlanan birçok fungal etmenin tür düzeyinde doğrulanabildiği görülmektedir. ITS, EF-1 α , ACT, TUB2, CAL ve GAPDH gibi gen bölgelerine dayalı moleküler analizler sayesinde *Alternaria alternata*, *Colletotrichum siamense* ve *Erysiphe quercicola* gibi türlerin kesin tanımları yapılmış ve bazı etmenlerin hünnap için yeni konukçu kayıtları olduğu ortaya konmuştur (Bai vd., 2015a, b; Meeboon ve Takamatsu, 2020; Han vd., 2023). Bu durum, *Z. jujuba*’da yaprak hastalıklarına neden olan fungal çeşitliliğin

oldukça geniş olduğunu ve hastalık etmenlerinin farklı ekolojik koşullarda değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, yaprak hastalıklarının doğru teşhisi, patojen çeşitliliğinin belirlenmesi ve epidemiyolojik özelliklerinin ortaya konulması, sürdürülebilir hastalık yönetimi stratejileri açısından büyük önem taşımaktadır.

2. TARLADA VE HASAT SONRASI MEYVELERDE GÖRÜLEN HASTALIKLAR

Ziziphus jujuba'da meyve hastalıkları; antraknoz, kara leke, yumuşak çürüklük, kahverengi leke ve hasat sonrası depo çürüklükleri şeklinde oldukça geniş bir hastalık spektrumuna sahiptir (Tablo 2). Erken dönem çalışmalarda özellikle antraknoz ve meyve çürüklüğü etmenleri ön plana çıkarken, ilerleyen yıllarda moleküler tanılama yöntemlerinin yaygınlaşmasıyla *Alternaria*, *Fusarium*, *Botryosphaeria*, *Phytophthora* ve diğer fırsatçı etmenlerin hastalık kompleksindeki rolleri daha ayrıntılı olarak ortaya konmuştur (Taubenhaus ve Ezeiel, 1931; Rao, 1964; Yu vd., 2010; Kim vd., 2016). Özellikle meyve yüzeyinde oluşan nekrotik lezyonlar, çökük kahverengi lekeler, yumuşak çürüklükler ve mumyalaşma belirtileri; hem tarlada hem de depolama sürecinde önemli kalite ve verim kayıplarına neden olmaktadır.

Hünnapta bildirilen en eski meyve hastalıklarından biri antraknoz olup, ilk çalışmalar *Glomerella cingulata* ve buna bağlı *Gloeosporium* benzeri etmenler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu hastalıkların genellikle koyu renkli, hafif çökük nekrotik lezyonlar oluşturduğu bildirilmiştir (Taubenhaus ve Ezeiel, 1931; Srivastava, 1968). Daha sonraki çalışmalarda antraknoz hastalığının yalnızca klasik *Colletotrichum*–*Glomerella* kompleksiyle sınırlı olmadığı, *Physalospora piricola* gibi farklı etmenlerin de özellikle meyve olgunlaşma döneminde ciddi kayıplara neden olabildiği ortaya konmuştur (Chang, 2004). Bu çalışmalar, antraknoz hastalıklarının yüksek nem ve uygun sıcaklık koşullarında hızla yayıldığını, enfekte dallar ve bitki artıklarının inokulum kaynağı olarak önemli rol oynadığını göstermiştir.

Tablo 2. Hünnap meyvelerinde bildirilen fungal hastalık etmenleri, coğrafi dağılımları ve tanılama/patojenisite bilgileri

Hastalık	Etmen	��lke	Tanılama/patojenisite	Bulunma oran (%) / hastalık indeksi	Kaynakça
Antraknoz	<i>Gloeosporium</i> spp./ <i>Glomerella cingulata</i>	ABD	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Taubenhaus ve Ezeiel (1931)
B.V.	<i>Fusarium oxysporum</i>	Hindistan	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Rao (1964)
Depo ��r��kl��ğ��	<i>Epicoccum nigrum</i>	Hindistan	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Chandra ve Tandon (1965)
Kahverengi ��r��kl��k	<i>Glomerella cingulata</i>	Hindistan	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Srivastava (1968)
Meyve ��r��kl��ğ��	<i>Pestalotia versicolor</i>	Hindistan	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Vyas ve Panwar (1974)
Depo ve pazar ��r��nlerde Yeni Konuk��u	<i>Aspergillus aculeatus</i>	Hindistan	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Mandal ve Dasgupta (1983)
Meyve ��r��kl��ğ��	<i>Phytophthora nicotianae</i> /P. <i>palmivora</i>	Kore	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Lim vd. (2002)
Koyu Sıvı Hastalığı	<i>Macrophomina phaseolina</i>	��in	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Xu vd. (2007)
Meyve K����lme Hastalığı	<i>Alternaria alternata</i> / <i>Penicillium expansum</i> / <i>Cladosporium tenuissimum</i>	��in	Morf.+ITS rDNA P.D.	B.V./B.V.	Xu vd. (2009)
Yumuşak ��r��kl��k	<i>Botryosphaeria dothidea</i>	��in	Morf.+ITS rDNA/B.V.	B.V./B.V.	Niu vd. (2010)
Depo ��r��kl��ğ��	<i>Alternaria</i> spp., <i>Phomopsis</i> spp., <i>Phoma</i> spp., <i>Exserohilum rostratum</i> , <i>Stemphylium</i> spp.	��in	Morf.+ITS- rDNA/B.V.	B.V./B.V.	Tian vd. (2010)

Tablo 2. (Devamı)

Kahverengi Leke	<i>Alternaria alternata</i>	Çin	Morf.+ITS rDNA/B.V.	B.V./B.V.	Yu vd. (2010)
Meyve Küçülme	<i>A. alternata</i> , <i>Phoma destructiva</i> , <i>Fusicoccum</i> sp.	Çin	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Zhang vd. (2011)
Depo Çürüklüğü	<i>Fusarium proliferatum</i>	Çin	Morf.+ITS rDNA+EF-1 α /P.D.	B.V./B.V.	Zhang vd. (2012)
Yumuşak Çürüklük	<i>Fusarium oxysporum</i>	Çin	Morf.+EF-1 α /P.D..	B.V./B.V.	Zhang vd. (2013)
Kahverengi Leke	<i>Alternaria alternata</i>	Çin	Morf.+ITS/P.D.	%73/B.V.	Bai vd. (2015a)
Siyah Çürüklük	<i>Alternaria tenuissima</i>	Çin	Morf.+rDNA/P.D.	B.V./B.V.	Gao vd. (2015)
Kara Leke	<i>Alternaria alternata</i>	Çin	Morf.+ITS rDNA+ β -tubulin/P.D.	B.V./B.V.	Dong vd. (2016)
Kara Leke	<i>Fusarium incarnatum</i>	Çin	Morf.+ITS+ β -tubulin/P.D.	B.V./B.V.	Guo vd. (2016)
B.V.	<i>Alternaria</i> spp., <i>Rhizopus</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Monilinia</i> spp.	Romanya	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Ştefania vd. (2016)
Kırmızı Çürüklük	<i>Botryosphaeria dothidea</i>	Çin	Morf.+ITS+EF-1 α /P.D.	B.V./B.V.	Ran vd. (2018)
Depo Çürüklüğü (Pembe Küf)	<i>Trichothecium roseum</i>	Çin	Morf.+ITS/P.D.	B.V./B.V.	Yin vd. (2018)
Antraknoz	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Etiyopya	Morf./B.V.	1.7–1.8/2.4–2.7* 1.3–1.7 / 1.6–1.9	Nigussie vd. 2020
Meyve Lekesi	<i>Alternaria alternata</i>		Morf./B.V.	3.1–3.7 / 2.8–3.2* 2.2–2.3 / 2.2–2.3	
Fusarium Solgunluğu	<i>Fusarium oxysporum</i>		Morf./B.V.	3.1–1.1/5.1–1.7* 3.4–1.2/5.1–2.3	
Pas Hastalığı	<i>Phakospora zizyphi-vulgaris</i>		Morf./B.V.	1.6–1.8 / 2.1–2.2* 0 / 0	

Morf.: Morfolojik; B.V.: Bilgi verilmemiş; P.D.: Patojenisite doğrulanmış. “Tanılama / patojenisite” sütununda ilk ifade tanılama yöntemini, ikinci ifade ise patojenisite testine ilişkin bilgiyi göstermektedir. *Değerler, olgun ve olgunlaşmamış meyveler için bildirilen bulunma oranı (%) ve hastalık indeksi değerlerinin ortalamasını göstermektedir. İlk satır 2018 yılına, ikinci satır 2019 yılına ait verileri ifade etmektedir.

Meyve çürüklükleri içerisinde *Fusarium* türleri önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle *Fusarium oxysporum*, *F. proliferatum*, *F. incarnatum* ve *F. equiseti*'nin hem tarla koşullarında hem de depolama sürecinde hünnap meyvelerinde çürüklük oluşturduğu bildirilmiştir (Rao, 1964; Zhang vd., 2012; Zhang vd., 2013; Guo vd., 2016; Yao vd., 2022). *Fusarium* kaynaklı hastalıkların çoğunda belirtiler başlangıçta küçük, suyla ıslanmış kahverengi lekeler şeklinde ortaya çıkmakta; ilerleyen aşamalarda ise yumuşak çürüklük, doku çökmesi ve kötü koku oluşumu gözlenmektedir. Bazı çalışmalarda *Fusarium* enfeksiyonlarının böcek zararları veya mekanik yaralanmalarla ilişkili olduğu, yaralanmış meyvelerde enfeksiyon gelişiminin daha hızlı gerçekleştiği belirtilmiştir (Rao, 1964; Ran vd., 2018). Ayrıca *Fusarium* türlerinin morfolojik tanımlamasında makrokonidi, mikrokonidi ve fialid yapılarının kullanıldığı; son yıllarda ise ITS ve EF-1 α gen bölgelerine dayalı moleküler analizlerle tür teşhislerinin desteklendiği görülmektedir (Zhang vd., 2012; Zhang vd., 2013).

Alternaria türleri, hünnapta özellikle kara leke, kahverengi leke ve meyve küçülme hastalıklarıyla ilişkilendirilen en yaygın fungal etmenler arasında yer almaktadır. *A. alternata* ve *A. tenuissima*'nın neden olduğu enfeksiyonlarda meyve yüzeyinde koyu kahverengi-siyah, hafif çökük ve çoğu zaman konsantrik halkalar içeren nekrotik lezyonların geliştiği bildirilmiştir (Xu vd., 2009; Yu vd., 2010; Bai vd., 2015a; Gao vd., 2015; Dong vd., 2016). Bazı çalışmalarda bu hastalıkların yaprak, çiçek ve sürgünlerde de görülebildiği, dolayısıyla etmenlerin sistemik veya çoklu organ enfeksiyonu oluşturabildiği ifade edilmiştir (Zhang vd., 2011; Dong vd., 2016). *Alternaria* türlerinin tanımlanmasında konidilerin obklat, obpiriform, gagalı ve çok septalı yapıları önemli morfolojik kriterler olarak değerlendirilmiş; ITS ve β -tubulin gibi gen bölgelerine dayalı moleküler analizlerle teşhis doğrulanmıştır (Yu vd., 2010; Bai vd., 2015a, b; Gao vd., 2015; Dong vd., 2016). Özellikle Çin'de yürütülen çalışmalar, *Alternaria* kaynaklı hastalıkların hünnap üretim alanlarında giderek yaygınlaştığını ve ciddi ekonomik kayıplara neden olabileceğini ortaya koymaktadır.

Hünnap meyvelerinde farklı fungal cinslere ait çok sayıda fırsatçı veya sekonder patojenler de rapor edilmiştir. *Epicoccum nigrum*, *Pestalotia versicolor*, *Aspergillus aculeatus*, *Phoma* spp., *Phomopsis* spp., *Exserohilum rostratum*, *Stemphylium* spp., *Rhizopus* spp. ve *Monilinia* spp. gibi fungusların özellikle hasat sonrası dönemde veya depolama koşullarında meyve çürüklükleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Chandra ve Tandon, 1965; Vyas ve Panwar, 1974; Mandal ve Dasgupta, 1983; Tian vd., 2010; Ştefania vd., 2016). Bu etmenlerin çoğu yaralanmış, çatlamış veya fizyolojik olarak zayıflamış meyvelerde daha yoğun gelişim göstermekte ve depolama sürecinde kalite kayıplarını hızlandırmaktadır.

Hasat sonrası dönemde öne çıkan önemli etmenlerden biri de *Botryosphaeria dothidea* olmuştur. Bu patojenin neden olduğu yumuşak çürüklük ve kırmızı çürüklük hastalıklarında başlangıçta küçük nekrotik lekeler oluşmakta, daha

sonra tüm meyveyi kapsayan hızlı bir çürüme gelişmektedir (Niu vd., 2010; Ran vd., 2018). Benzer şekilde, *Trichothecium roseum*'un neden olduğu pembe küf çürüklüğü hastalığında da depolama sırasında beyaz miselial gelişim ile başlayan enfeksiyonların kısa sürede pembe spor kitlelerine dönüştüğü bildirilmiştir (Yin vd., 2018). Ayrıca *Phytophthora nicotianae* ve *P. palmivora* gibi oomycete etmenlerinin meyve çürüklüğü ve mumyalaşmaya neden olduğu; özellikle yüksek nem koşullarında agresif enfeksiyonlar oluşturduğu belirtilmiştir (Lim vd., 2002). *Macrophomina phaseolina*'nın neden olduğu koyu sıvı hastalığı da Çin'de önemli kalite kayıplarına neden olan hastalıklar arasında değerlendirilmiştir (Xu vd., 2007).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, hünnap meyvelerindeki hastalıkların yalnızca tek bir patojenden kaynaklanmadığını, aksine kompleks bir fungal mikrobiyota ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle ITS tabanlı yüksek verimli dizileme çalışmaları; *Alternaria*, *Cryptococcus*, *Sporobolomyces*, *Pseudozyma* ve *Bulleromyces* gibi fungus cinslerinin depolama sürecindeki mikrobiyal değişimlerde önemli rol oynadığını ortaya koymuştur (Zhao vd., 2024). Ayrıca modern çalışmalarda klasik morfolojik tanımlamanın yanında ITS, EF-1 α , β -tubulin ve diğer çoklu gen bölgelerine dayalı moleküler analizlerin yaygın olarak kullanıldığı; Koch postulatlarının doğrulanmasıyla birlikte patojen tanılarının daha güvenilir hale geldiği görülmektedir. Bu durum, hünnapta görülen meyve hastalıklarının epidemiyolojisinin anlaşılması ve etkili hastalık yönetim stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli bir ilerleme sağlamıştır.

3. DAL, GÖVDE VE ÇİÇEKLERDE GÖRÜLEN HASTALIKLAR

Hünnapta dal ve gövde hastalıkları çoğunlukla kanser oluşumu, sürgün kuruması ve iletim dokularında nekroz ile karakterize edilmektedir. Özellikle odunsu dokularda gelişen bu hastalıkların çoğunun Botryosphaerales takımına ait patojenlerle ilişkili olduğu görülmektedir (Tablo 3). İran'da gerçekleştirilen çalışmalarda dal kuruması belirtileri gösteren ağaçlarda; dallarda solma, odun dokusunda siyahımsı renk değişimi ve erken yaprak dökümü gözlenmiş, etmenin *Fusarium solani* olduğu belirlenmiştir (Mirzaee vd., 2011). Benzer şekilde Çin'de yapılan çalışmalarda, gövde ve sürgünlerde çökük nekrotik kanserler oluşturan etmenlerin *Diaporthe eres* ve *Diplodia mutila* olduğu ortaya konmuştur. Bu hastalıklarda lezyonların zamanla sürgünü tamamen çevreleyerek dal ölümüne neden olduğu bildirilmiştir (Zhang vd., 2018; Feng vd., 2019). Çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, hünnapta dal kanseri ve kurumalarının çoğunlukla nekrotrofik karakterli fungal patojenlerle ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3. Hünnap dal, gövde ve çiçeklerinde bildirilen fungal hastalık etmenleri, coğrafi dağılımları ve tanılama/patojenisite bilgileri

Hastalık	Etmen	Ülke	Tanılama/patojenisite	Bulunma oranı (%) / hastalık indeksi	Kaynakça
Geriye doğru ölüm	<i>Fusarium solani</i>	İran	Morf./P.D	B.V./P.D..	Mirzaee vd. (2011)
Antraknoz	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Güney Kore	Morf./B.V.	B.V./B.V.	Kim vd. (2016)
Dal Kanseri	<i>Botryosphaeria dothidea</i>	Çin	Morf.+ISSR-PCR /B.V.	B.V./B.V.	Feng vd. (2017)
Dal Kanseri	<i>Diaporthe eres</i>	Çin	Morf./+ITS+TUB+TEF1 α +CAL/P.D	B.V./B.V.	Zhang vd. (2018)
Kanser ve geriye doğru ölüm	<i>Aplosporella javeedii</i>	Çin	Morf./+ITS+LSU+TEF-1 α /B.V.	B.V./B.V.	Zhu vd. (2018)
Dal Kanseri	<i>Diplodia mutila</i>	Çin	Morf./+ITS rDNA+EF1 α + β -tubulin/P.D	B.V./B.V.	Feng vd. (2019)

Morf.: Morfolojik; B.V.: Bilgi verilmemiş; P.D.: Patojenisite doğrulanmış. “Tanılama / patojenisite” sütununda ilk ifade tanılama yöntemini, ikinci ifade ise patojenisite testine ilişkin bilgiyi göstermektedir.

Dal ve gövde enfeksiyonlarında özellikle Botryosphaeriales üyelerinin dikkat çekici düzeyde çeşitlilik gösterdiği bildirilmektedir. Çin’de yürütülen filogenetik çalışmalarda özellikle *Aplosporella javeedii*’nin hünnap için yeni konukçu kaydı olduğu belirtilmiştir (Zhu vd., 2018). Bunun yanında *Botryosphaeria dothidea* izolatları üzerinde gerçekleştirilen popülasyon genetiği çalışmalarında, Kuzey Çin popülasyonları arasında yüksek genetik çeşitlilik bulunduğu ve popülasyon içi varyasyonun oldukça fazla olduğu ortaya konmuştur (Feng vd., 2017). Bu durum, hünnapta görülen dal kanseri hastalıklarının epidemiyolojisinin karmaşık olduğunu ve aynı bölgede genetik olarak farklı patojen popülasyonlarının bulunabileceğini göstermektedir.

Çiçek hastalıkları açısından değerlendirildiğinde ise antraknoz etmenlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Güney Kore’de yapılan çalışmalarda, çiçeklerde kahverengileşme ve meyve oluşmadan önce dökülme ile karakterize hastalığın büyük oranda *Colletotrichum gloeosporioides* ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Kim vd., 2016). Aynı çalışmada patojenin özellikle bir önceki yıl meyve veren dallardan yoğun olarak izole edilmesi, enfeksiyon kaynağının yaşlı meyve dalları olabileceğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, budama ve enfekteli dalların uzaklaştırılması gibi kültürel önlemlerin hastalık yönetiminde önemli olabileceğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, hünnapta görülen dal, gövde ve çiçek hastalıklarının çoğunun odunsu dokular üzerinde gelişen ve latent enfeksiyon oluşturabilen fungal patojenlerden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Özellikle *Fusarium*, *Botryosphaeria*, *Diaporthe*, *Diplodia* ve *Colletotrichum* türlerinin farklı organlarda benzer nekrotik belirtiler oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca son yıllarda moleküler tanımlama yöntemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, daha önce rapor edilmeyen türlerin ve yeni konukçu ilişkilerinin ortaya çıkarılması, hünnapta fungal hastalık çeşitliliğinin düşünüldüğünden daha geniş olduğunu göstermektedir.

4. KÖK ÇÜRÜKLÜĞÜ VE SOLGUNLUKLA İLİŞKİLİ HASTALIKLAR

Du vd. (2013) hünnapta Çin'in Kashi ve Akzo bölgelerindeki genç ağaçlarda solgunluk, kloroz, bodurluk ve köklerde siyah, çökük nekrotik lezyonlarla karakterize kök çürüklüğü hastalığı tanımlanmıştır. Hastalıklı dokulardan izole edilen patojenin morfolojik özellikleri ve ITS ile β -tubulin gen analizleri sonucunda *Valsa ceratosperma* (anamorf: *C. sacculus*) olduğu belirlenmiştir. Patojenite testlerinde, inokule edilen fidelerde aynı belirtiler oluşmuş ve etmen yeniden izole edilerek Koch postulatları doğrulanmıştır. Bu çalışma, *C. sacculus*'un Çin'de *Z. jujuba*'da kök çürüklüğüne neden olduğunu bildiren ilk rapordur.

5. EPİDEMİYOLOJİ, ETMEN ÇEŞİTLİLİĞİ VE HASTALIK KOMPLEKSLERİ

Hünnap meyvelerinde görülen hastalıklar yalnızca klasik çürüklük etmenleriyle sınırlı kalmamakta; farklı belirti tipleri, çevresel faktörler, endofitik fungal topluluklar ve epidemiyolojik özellikler de hastalık gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Özellikle Çin'de yürütülen çalışmalar, aynı meyvede farklı belirti tiplerinin farklı fungal etmenlerle ilişkili olabileceğini ve bazı hastalıkların kompleks bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Çin'de Jinsixiaozao hünnap çeşidinde bildirilen ve literatürde “thick rotten disease” olarak adlandırılan meyve çürüklüğü, Hebei'deki üretim alanları ile Shandong ve Tianjin'de yaygın olarak saptanmış; en şiddetli enfeksiyonların Botou'da görüldüğü bildirilmiştir. Belirtilerin meyve kızarma döneminde disk şeklinde çürük lekeler halinde başladığı ve etmenin *Physalospora obtusa* [= *Botryosphaeria obtusa*] ile bunun anamorf formu olan *Fusicoccum* sp. olduğu belirlenmiştir (Liu vd., 2004). Benzer şekilde başka bir araştırmada aynı çeşitte görülen meyve hastalıklarının disk şeklinde çürüklük (“thick rotten disease”), koyu renkli kabarcık/nekrotik lezyon (“dark furuncle”) ve kahverengi kabuk hastalığı (“brown rind disease”) olmak üzere üç temel belirti/hastalık tipine ayrıldığı bildirilmiştir. Söz konusu çalışmada, disk şeklinde çürüklük belirtili meyvelerden en yüksek oranda *Physalospora obtusa* (%94.6), koyu renkli lezyon belirtili meyvelerden *Alternaria alternata* (%75.7), kahverengi kabuk belirtili

meyvelerden ise *Phoma destructiva* (%33.2) ve *A. alternata* (%25.5) izole edilmiştir. Ayrıca kahverengi kabuk belirtili meyvelerde %19.1 oranında karışık izolasyon saptanmış, bu durum söz konusu belirti tipinin çok etmenli bir yapıya sahip olabileceğini göstermiştir. (Lizhen vd., 2004).

Kara leke hastalığı üzerine yürütülen çalışmalar ise hastalığın epidemiyolojisi ve mekansal dağılımı hakkında önemli bilgiler sunmuştur. Çin'in Hebei, Shandong ve Tianjin bölgelerinde *Z. jujuba* 'Dongzao' çeşidinde görülen kara leke hastalığının oldukça yaygın olduğu ve bazı alanlarda hastalık oranının %45–48'e kadar ulaştığı bildirilmiştir. Hastalığın özellikle yağışlı dönemlerde şiddetlendiği ve Temmuz sonu–Ağustos başında maksimum seviyeye ulaştığı belirtilmiştir (Zhen vd., 2009). Daha sonraki çalışmalarda, Güney Sincan'daki bahçelerde kara leke hastalığının kümelenmiş dağılım gösterdiği ve epideminin oluşumunda hem patojen davranışının hem de çevresel faktörlerin etkili olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, örnekleme ve hastalık takibine yönelik epidemiyolojik modeller geliştirilmiştir (Chen vd., 2013). Bunun yanında, Sincan bölgesinde yaprak ve meyvelerde kahverengi leke şeklinde ortaya çıkan yeni bir hastalığın etmeni olarak *Nothophoma quercina* belirlenmiş; morfolojik ve çoklu lokus filogenetik analizlerle doğrulanan bu etmenin hünnapta ilk kez rapor edildiği bildirilmiştir (Jianyu vd., 2016).

Bazı çalışmalarda ise meyve hastalıklarının yalnızca patojen kaynaklı olmayabileceği ortaya konmuştur. Özellikle kara uç (black tip) hastalığı üzerine yapılan araştırmalarda, hastalıklı meyvelerden izole edilen fungusların tek başına tipik belirtileri oluşturamadığı; buna karşın hidrojen florür uygulamalarının sağlıklı meyvelerde aynı belirtileri meydana getirdiği belirlenmiştir. Atmosferik florür düzeyi ile hastalık şiddeti arasında pozitif ilişki bulunması, kara uç hastalığının temelinde çevresel florür kirliliğinin yer aldığını göstermiştir (Liu vd., 2011). Bu durum, hünnap hastalıklarının değerlendirilmesinde abiyotik stres faktörlerinin de dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Hünnap meyvelerindeki fungal çeşitlilik yalnızca patojen türlerle sınırlı olmayıp, endofitik fungus topluluklarını da kapsamaktadır. Sağlıklı *Z. jujuba* 'Huizao' meyvelerinde yürütülen çalışmalarda toplam 72 endofitik fungal izolat elde edilmiş ve bunların 7 cinse ait 12 türü temsil ettiği belirlenmiştir. Ayrıca *Diaporthe infecunda* Çin için yeni kayıt olarak bildirilirken, *Bipolaris* ve *Pseudocercospora* cinslerinin hünnap meyvelerinde ilk kez tespit edildiği ifade edilmiştir (Yang vd., 2015). Bu bulgular, hünnap meyvelerinin yalnızca hastalık etmenleri açısından değil, aynı zamanda karmaşık bir fungal mikrobiyota bakımından da zengin olduğunu göstermektedir.

SONUÇ

Bu derlemede değerlendirilen çalışmalar, hünnapta fungal ve oomycete hastalık etmenlerinin geniş bir çeşitlilik gösterdiğini ve yaprak, meyve, dal, gövde, çiçek ve kök gibi farklı bitki organlarında belirtilere neden olduğunu

göstermektedir. Literatürde özellikle yaprak lekeleri, pas, külleme, antraknoz, meyve çürüklükleri, dal kurumaları ve kök çürüklükleriyle ilişkili çok sayıda fungal etmen bildirilmiştir. Bununla birlikte mevcut kayıtların önemli bir kısmı yalnızca hastalık belirtisi, etmen adı ve coğrafi dağılım bilgisiyle sınırlı olup, bazı çalışmalarda patojenisite testi, hastalık şiddeti değerlendirmesi veya moleküler doğrulama bilgilerinin eksik olduğu görülmektedir. Bu durum, hünnap fungal hastalıklarına ilişkin literatürde tanılama güvenilirliği ve epidemiyolojik değerlendirme açısından önemli boşluklar bulunduğunu göstermektedir.

Derleme kapsamındaki çalışmalar, bazı hastalıkların ilk kayıt niteliğinde bildirildiğini ve özellikle Çin, Hindistan, Tayland, Kore ve Etiyopya gibi ülkelerde farklı fungal etmenlerin hünnapla ilişkili olarak rapor edildiğini ortaya koymaktadır. Aynı fungal türün farklı bitki organlarında veya farklı belirtilerinde bulunabilmesi, bazı hastalıkların tek bir etmenle sınırlı olmayabileceğini ve hastalık kompleksleri şeklinde gelişebileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmalarda yalnızca etmen izolasyonu değil; morfolojik tanılama, çok lokuslu moleküler doğrulama, patojenisite testleri ve mümkün olduğunda hastalık bulunma oranı ile hastalık şiddeti gibi epidemiyolojik parametrelerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hünnapta fungal hastalıkların yönetimine ilişkin bilgiler oldukça sınırlıdır. Türkiye’de Bitki Koruma Ürünleri Veri Tabanı üzerinden yapılan taramada, hünnapta fungal hastalıklara karşı ruhsatlı bir fungusit önerisine ulaşılamamıştır. Ayrıca ülkemizde hünnap fungal hastalıklarının tespiti, epidemiyolojisi, kimyasal, biyolojik veya entegre mücadelesini doğrudan değerlendiren çalışmalarla karşılaşılma-mış olması, bu konuda önemli bir araştırma boşluğu bulunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, hünnap yetiştiriciliğinde fungal hastalıkların sürdürülebilir şekilde yönetilebilmesi için güvenilir tanılama verilerine, bölgesel epidemiyolojik çalışmalara ve ruhsatlandırma süreçlerine temel oluşturabilecek mücadele araştırmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, B., Khan, I., Bashir, S., Azam, S., & Hussain, F. (2011). Screening of *Zizyphus jujuba* for antibacterial, phytotoxic and haemagglutination activities. *African Journal of Biotechnology*, 10, 2514–2519. <https://doi.org/10.5897/AJB10.768>
- Al-Saedi, A. H., Al-Ghafri, M. T. H., & Hossain, M. A. (2016). Comparative evaluation of total phenols, flavonoids content and antioxidant potential of leaf and fruit extracts of Omani *Zizyphus jujuba* L. *Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering*, 18, 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.psr.2016.09.001>
- Athipunyakom, P., Likhitekaraj, S., & Trakunsukharat, P. (2010). Study on jujube diseases for imported plants. In *Proceedings of the 48th Kasetsart University Annual Conference* (3–5 March 2010), Kasetsart, Thailand.
- Bai, J. Y., Guo, Q. Y., Song, F. J., Liu, Z. X., Liu, Y., & Lei, C. J. (2015a). First report of *Alternaria alternata* causing brown spot of *Zizyphus jujuba* in China. *Journal of Plant Pathology*, 97(2), 391. <https://doi.org/10.4454/JPP.V97I2.035>
- Bai, J. Y., Guo, Q. Y., Wang, X. M., & Duan, C. X. (2015b). First report of jujube leaf spot caused by *Alternaria alternata* in China. *Plant Disease*, 99(11), 1643. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-14-1265-PDN>
- Bai, L., Zhang, H., Liu, Q., Zhao, Y., Cui, X., & Guo, S. (2016). Chemical characterization of the main bioactive constituents from fruits of *Zizyphus jujuba*. *Food & Function*, 7, 2870–2877. <https://doi.org/10.1039/C6FO00613B>
- Chandra, S., & Tandon, R. N. (1965). *Epicoccum nigrum* Link on stored fruits of *Zizyphus jujuba* Lamk. *Current Science*, 34(1), 25.
- Chang, J. P. (2004). Study on the regulation of the occurrence of jujube anthracnose and its control. *China Fruits*, 4, 29–30.
- Chen, X. F., Chen, H. B., Liu, H. M., & Fan, Y. G. (2013). Studies on spatial distribution and sampling technique of Jun-jujube black spot disease in southern Xinjiang. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 42(12), 86–89.
- Choi, S. H., Ahn, J. B., Kozukue, N., Levin, C. E., & Friedman, M. (2011). Distribution of free amino acids, flavonoids, total phenolics, and antioxidative activities of jujube (*Zizyphus jujuba*) fruits and seeds harvested from plants grown in Korea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(12), 6594–6604. <https://doi.org/10.1021/jf200371r>
- Dong, N., Feng, H. Z., Wang, L., Ji, X. H., & Yu, S. S. (2016). The disease symptom and the pathogen identification of jujube black spot in southern Xinjiang. *Acta Phytophylacica Sinica*, 43(6), 922–927.

- Du, Q., Zhao, S. F., Wu, C. L., Kong, L., & Zhang, P. (2013). Root rot of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba*) caused by *Cytospora sacculus* in China. *Plant Disease*, 97(12), 1661-1661. [https://doi.org/ 10.1094/PDIS-11-12-1040-PDN](https://doi.org/10.1094/PDIS-11-12-1040-PDN)
- Elaloui, M., Ghazghazi, H., Ennajah, A., Manaa, S., Guezmir, W., Karray, N., & Laamouri, A. (2016). Phenolic profile and antioxidant capacity of five *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd provenances and their allelopathic effects on *Trigonella foenum-graecum* L. and *Lens culinaris* L. seeds. *Natural Product Research*, 31, 1209–1213. <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1226830>
- Elaloui, M., Laamouri, A., Fabre, J.-C., Mathieu, C., Vilarem, G., & Hasnaoui, B. (2015). Distribution of free amino acids, polyphenols and sugars of *Ziziphus jujuba* pulps harvested from plants grown in Tunisia. *Natural Product Research*, 29, 94–97. <https://doi.org/10.1080/14786419.2014.959011>
- Feng, H. J., Wen, C. Y., Yin, X. M., Hong, K. Q., & Zang, R. (2017). Population genetic diversity analysis of Chinese jujube branch canker pathogens (*Botryosphaeria dothidea*) in China using ISSR markers. *Journal of Fruit Science*, 34(8), 977–987. <https://doi.org/10.13925/j.cnki.gsx.20170071>
- Feng, H., Hong, K., Xi, H., Song, L., Wen, C., & Zang, R. (2019). First report of branch canker on Chinese date caused by *Diplodia mutila* in China. *Journal of Plant Pathology*, 101(4), 1251. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00313-7>
- Fu, Q., Yuan, H. M., Chen, J., & Shi, J. Y. (2016). Dammarane-type saponins from *Ziziphus jujuba* and their inhibitory effects against TNF- α release in LPS-induced RAW 264.7 macrophages. *Phytochemistry Letters*, 16, 169–173. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2016.04.010>
- Gao, F., Chu, J. M., Li, J. H., & Wang, M. L. (2015). Isolation, identification and biological characteristics of the pathogen causing black rot disease in 'Zanhuangdazao' jujube of Shanxi Province. *Journal of Fruit Science*, 32(2), 274–280.
- Gao, Q. H., Wu, C. S., & Wang, M. (2013). The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit: a review of current knowledge of fruit composition and health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(14), 3351-3363. <https://doi.org/10.1021/jf4007032>
- Gao, Q. H., Wu, P. T., Liu, J. R., Wu, C. S., Parry, J. W., & Wang, M. (2011). Physico-chemical properties and antioxidant capacity of different jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cultivars grown in loess plateau of China. *Scientia Horticulturae*, 130, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.005>
- Ghaly, I. S., Said, A., & Abdel-Wahhab, M. A. (2008). *Zizyphus jujuba* and *Origanum majorana* extracts protect against hydroquinone-induced clastogenicity.

- Guo, K. F., Sun, J., Zhao, S. F., & He, L. (2016). Black spot disease of Chinese Jujube (*Ziziphus jujuba*) caused by *Fusarium incarnatum* in China. *Plant Disease*, 100(2), 529–529. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-15-0694-PDN>
- Guo, S., Duan, J. A., Tang, Y. P., Yang, N. Y., Qian, D. W., Su, S. L., & Shang, E. X. (2010a). Characterization of triterpenic acids in fruits of *Ziziphus* species by HPLC-ELSD-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 6285–6289. <https://doi.org/10.1021/jf101022p>
- Guo, S., Duan, J. A., Tang, Y. P., Zhu, Z. H., Qian, Y. F., Yang, N. Y., Shang, E. X., & Qian, D. W. (2010b). Characterization of nucleosides and nucleobases in fruits of *Ziziphus jujuba* by UPLC-DAD-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 10774–10780. <https://doi.org/10.1021/jf102648q>
- Guo, S., Duan, J. A., Tang, Y., Su, S., Shang, E., Ni, S., & Qian, D. (2009). High-performance liquid chromatography--two wavelength detection of triterpenoid acids from the fruits of *Ziziphus jujuba*. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 49, 1296–1302. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2009.03.006>
- Han, F. Y., Qi, Y. K., Zhang, Y. T., Qi, J. H., Wang, J. W., Liu, W. Z., Ji, Y. P., & Wang, Q. H. (2023). First report of jujube anthracnose caused by *Colletotrichum siamense* in China. *Plant Disease*, 107(8), 2538. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-22-2273-PDN>
- Hsieh, H. J., & Tsai, Y. P. (1978). Gray mold diseases on two fruit trees new for Taiwan. *Plant Protection Bulletin*, 20(2), 177–179.
- Huang, Y. L., Yen, G. C., Sheu, F., & Chau, C. F. (2008). Effects of water-soluble carbohydrate concentrate from Chinese jujube on different intestinal and fecal indices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 1734–1739. <https://doi.org/10.1021/jf072664z>
- Jiang, J. G., Huang, X. J., Chen, J., & Lin, Q. S. (2007). Comparison of the sedative and hypnotic effects of flavonoids, saponins, and polysaccharides extracted from Semen *Ziziphus jujuba*. *Natural Product Research*, 21(4), 310–320. <https://doi.org/10.1080/14786410701192827>
- Jianyu, B., Xiaoming, W., Yanjiang, S., & Canxing, D. (2016). Occurrence and identification of *Nothophoma quercina* causing brown spot of jujube in China. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 38(4), 527–532. <https://doi.org/10.1080/07060661.2016.1266389>
- Kim, S. H., Park, S. H., Kim, M. K., & Lee, S. H. (2016). Flower browning as infection source with anthracnose on jujube. *Fruit Growing Research*, 32, 59–62.

- Lam, C. T. W., Chan, P. H., Lee, P. S. C., Lau, K. M., Kong, A. Y. Y., Gong, A. G. W., Xu, M. L., Lam, K. Y. C., Dong, T. T. X., Lin, H., & Tisim, W. K. (2016a). Chemical and biological assessment of jujube-containing herbal decoctions: Induction of erythropoietin expression in cultures. *Journal of Chromatography B*, 1026, 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2015.09.021>
- Lam, C. T. W., Gong, A. G. W., Lam, K. Y. C., Zhang, L. M., Chen, J. P., Dong, T. T., Lin, H. Q., & Tisim, W. K. (2016b). Jujube-containing herbal decoctions induce neuronal differentiation and the expression of anti-oxidant enzymes in cultured PC12 cells. *Journal of Ethnopharmacology*, 188, 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.05.015>
- Li, J., Ding, S., & Ding, X. (2007a). Optimization of the ultrasonically assisted extraction of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* cv. Jinsixiaozao. *Journal of Food Engineering*, 80, 176–183. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.006>
- Li, J., Fan, L., Ding, S., & Ding, X. (2007b). Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube. *Food Chemistry*, 103, 454–460. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.016>
- Lim, Y.S., Chung, K.C., Kim, S.H., & Yoon, J.T. (2002). Occurrence of jujube (*Zizyphus jujuba*) fruit rot caused by *Phytophthora nicotianae* and *P. palmivora*. *Research in Plant Disease*, 8(1), 41–44. <https://doi.org/10.5423/RPD.2002.8.1.041>
- Liu, C. Q., Wang, Q. L., Zhang, L. Z., Kang, S. L., Sun, Y. Y., Yang, L. H., & Zhang, P. (2004). Study on the symptom, harm and pathogen identification of thick rotten disease of *Zizyphus jujuba* Mill. cv. Jinsixiaozao. *Journal of China Agricultural University*, 9(2), 31–35.
- Liu, X. Q., Deng, C. P., Zhang, Z. W., Ji, W. R., & Liu, J. (2011). Study on the pathology of jujube black tip disease and its sustainable control. In *II International Jujube Symposium* (pp. 155–162) ISHS Acta Horticulturæ 993. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.993.23>
- Lizhen, Z., Shaolan, K., Chunqin, L., Yuying, S., Sufang, H., & Huizhen, L. (2004). Study on the fruits disease fungus of *Zizyphus jujuba* cv. Jinsixiaozao. *Scientia Silvae Sinicae*, 40(6), 190–193.
- Lu, H., Lou, H., Zheng, H., Hu, Y., & Li, Y. (2012). Nondestructive evaluation of quality changes and the optimum time for harvesting during jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Changhong) fruits development. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2586–2595. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0640-5>
- Mandal, N. C., & Dasgupta, M. K. (1983). Postharvest diseases of perishables in West Bengal I: new host records and a new fungus from India. *Indian Journal of Mycology and Plant Pathology*, 13(1), 73–77.

- Meeboon, J., & Takamatsu, S. (2020). Hosts of asexual morph of *Erysiphe quercicola* from Thailand. *Tropical Plant Pathology*, 45(2), 122–135. <https://doi.org/10.1007/s40858-019-00326-8>
- Mirzaee, M. R., Jahani, M., Mahmoudi, H., & Ghos, K. (2011). First report of jujube dieback caused by *Fusarium solani*. *Journal of Plant Pathology*, 93, (4), 75. <https://doi.org/10.4454/JPP.V93I4.2384>
- Misra, D. K., Rabidas, P. V., Bauri, F. K., Sural, B., & Saha, J. (2012). Diseases of minor fruits prevalent under Gangetic West Bengal, India. *Proceedings of the International Symposium on Minor Fruits and Medicinal Plants for Health and Ecological Security (ISMF & MP)*, (pp. 242–246). West Bengal, India
- Misra, D. K., Saha, J., Devidas, P. V., & Bauri, F. K. (2013). Diseases of ber (*Zizyphus jujuba*) in Eastern India. *The Journal of Plant Protection Sciences*, 5(1), 65–69.
- Nigusie, G., Nigusie, Z., & Eshetie, M. (2020). Assessment of diseases and insect pests on *Ziziphus* species fruit in Wag-himra Administrative Zone, Amhara National Regional State, Ethiopia. In *Proceedings of the 10th and 11th Annual Regional Conference on Completed Activities of Forestry (ARARI)*.
- Niu, X. K., Cui, J. Z., Hou, X. J., Chen, M. L., & Ran, L. X. (2010). Identification of the pathogen causing fruit soft rot in *Ziziphus jujuba* Mill. *Acta Phytopathologica Sinica*, 40(2), 217–221.
- Outlaw, W. H., Zhang, S. Q., Riddle, K. A., Womble, A. K., Anderson, L. C., Outlaw, W. M., Outlaw, N. D., Outlaw, E. C., & Thistle A. B. (2002). The jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.), a multipurpose plant. *Economic Botany*, 56, 198–200. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2002\)056\[0198:TJZJMA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2002)056[0198:TJZJMA]2.0.CO;2)
- Pawlowska, A. M., Camangi, F., Bader, A., & Braca, A. (2009). Flavonoids of *Zizyphus jujuba* L. and *Zizyphus spina-christi* (L.) Willd (Rhamnaceae) fruits. *Food Chemistry*, 112, 858–862. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.053>
- Ran, L. X., Zhang, M., & Shen, H. M. (2018). First report of red rot of jujube fruit caused by *Botryosphaeria dothidea* in China. *Plant Disease*, 102(7), 1458. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-17-1062-PDN>
- Rao, V. G. (1964). Some new market and storage diseases of fruits and vegetables in Bombay-Maharashtra. *Mycopathologia et Mycologia Applicata*, 23(4), 297–310. <https://doi.org/10.1007/BF02049000>
- Singh, V., Guizani, N., Essa, M. M., Rahman, M. S., & Subash, S. (2012). *In vitro* antioxidant activities of *Ziziphus spina-christi* fruits (red date) grown in Oman. *Biotechnology*, 11, 209–216. <https://doi.org/10.3923/biotech.2012.209.216>

- Srivastava, M. P. (1968). A new fruit rot of *Zizyphus jujuba* Lamb. *Indian Phytopathology*, 20(4), 389–390.
- Srivastava, R. K., Narayan, S., & Srivastava, A. K. (1995). *Cercospora* species causing leaf spots in crops and horticultural plants of North-eastern Uttar Pradesh. *Indian Phytopathology*, 48(1), 106–107.
- Su, M. S., Ye, Z. W., Wu, Y. L., Lian, X. X., & Xu, R. H. (2001). The main jujube diseases and pests in Shanghai area and their control. *South China Fruits*, 30(2), 33–34.
- Sun, Y. F., Liang, Z. S., Shan, C. J., Viernstein, H., & Unger, F. (2011). Comprehensive evaluation of natural antioxidants and antioxidant potentials in *Zizyphus jujuba* Mill. var. *spinosa* (Bunge) Hu ex HF Chou fruits based on geographical origin by TOPSIS method. *Food Chemistry*, 124(4), 1612–1619. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.026>
- Ştefania, M. E., Roxana, C., Jerca, I. O., & Stănică, F. (2016). First results on phytosanitary status of Chinese jujube in Romania. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 20(4), 1–4.
- Taubenhaus, J. J., & Ezeiel, W. N. (1931). An anthracnose of the jujube. *Phytopathology*, 21(12), 1185–1189.
- Tian, Y. H., Xue, M. L., Zhao, G. Z., Zhang, L. Z., & Wang, C. S. (2010). Morphological and molecular identification of pathogenic fungal strains on postharvest Dongzao jujube fruit during cold storage. *Journal of Fruit Science*, 27(3), 422–426.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2025). *Bitkisel üretim istatistikleri*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/>
- Vyas, N. L., & Panwar, K. S. (1974). A new fruit rot of *Zizyphus jujuba* Lamk. *Current Science*, 43(19), 630.
- Wojdyło, A., Carbonell-Barrachina, Á. A., Legua, P., & Hernández, F. (2016). Phenolic composition, ascorbic acid content, and antioxidant capacity of Spanish jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruits. *Food Chemistry*, 201, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.090>
- Xie, J. H., Tang, W., Jin, M. L., Li, J. E., & Xie, M. Y. (2016). Recent advances in bioactive polysaccharides from *Lycium barbarum*, *Zizyphus jujuba*, *Plantago* spp., and *Morus* spp. *Food Hydrocolloids*, 60, 148–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.030>
- Xu, X., Lai, T., Jing, Y., Xu, Y., & Tian, S. (2009). Isolation and identification of the pathogens of jujube (*Zizyphus jujuba* cv. Huping) fruit shrink disease in Shanxi. *Acta Phytopathologica Sinica*, 39(3), 225–230.

- Xu, Z., Li, C., Li, L., Li, F., & Qi, J. (2007). Etiology of thick liquid disease fruit of *Ziziphus jujuba* Mill. ‘Zanhua Dongzao’ and its control. *Acta Horticulturae Sinica*, 34(6), 1379–1386.
- Yang, Y., Wu, H. Y., Li, P. H., Zang, R., Geng, Y. H., & Zhang, M. (2015). Endophytic fungi associated with fruits of *Ziziphus jujuba* ‘Huizao’ in Xinzheng, Henan Province. *Mycosystema*, 34(1), 164–168.
- Yao, T., Ding, F. L., Wang, K., Ma, G. W., Chen, Y. J., Zhang, Y., He, X. M. & Wang, Y. S. (2022). Morphological characterization and rDNA ITS sequence analysis of five pathogenic fungi isolated from infected jujube fruit. *Journal of Food Science and Technology (Beijing)*, 40(5), 62–70.
- Yin, H., Zhou, J. B., Chang, F. J., Lü, H., Zhang, Z. B., Guo, W., Qin, N., & Zhao, X. J. (2018). Identification of the pathogen causing pink mold rot in stored jujube fruit and effects of environmental factors on conidial germination. *Acta Phytopathologica Sinica*, 48(1), 16–24.
- Yu, Z., Hou, X., Cui, J., Ran, L., & Lv, X. (2010). Identification of the pathogen causing brown spot of *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Hupingzao. *Acta Phytopathologica Sinica*, 40(1), 7–13.
- Yue, Y., Wu, S. C., Zhang, H. F., Zhang, X. Y., Niu, Y. H., & Cao, X. Q. (2014). Characterization and hepatoprotective effect of polysaccharides from *Ziziphus jujuba*. *Food and Chemical Toxicology*, 74, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.09.006>
- Zhang, C., Liu, Y., Liu, M., & Kong, D. (2011). Occurrence and pathogens of fruit shrink disease in *Ziziphus jujuba* Mill. *Frontiers of Agriculture in China*, 5(3), 351–355. <https://doi.org/10.1007/s11703-011-1100-8>
- Zhang, M., Wang, Y., Wen, C. Y., & Wu, H. Y. (2012). First report of *Fusarium proliferatum* causing fruit rot of winter jujube (*Zizyphus jujuba*) in storage in China. *Plant Disease*, 96(6), 913–913. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-11-1035-PDN>
- Zhang, M., Zu, Y. Q., Yang, Y., Wang, Y., Li, D. X., & Lu, S. H. (2013). First report of *Fusarium oxysporum* causing soft fruit rot disease of gray jujube (*Zizyphus jujuba*) in China. *Plant Disease*, 97(11), 1509. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-13-0379-PDN>
- Zhang, Q. M., Yu, C. L., Li, G. F., & Wang, C. X. (2018). First report of *Diaporthe eres* causing twig canker on *Zizyphus jujuba* (jujube) in China. *Plant Disease*, 102(7), 1458. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-17-1910-PDN>
- Zhang, Z. Y., Zhang, H., & Li, T. F. (2000). Taxonomy of the genus *Cladosporium* in China XXII. *C. platycodonis* sp. nov. and two new records. *Mycosystema*, 19(3), 308–311

- Zhao, L., Li, H., Liu, Z., Hu, L., Xu, D., Zhu, X., & Mo, H. (2024). Quality changes and fungal microbiota dynamics in stored jujube fruits: Insights from high-throughput sequencing for food preservation. *Foods*, 13(10), 1473. <https://doi.org/10.3390/foods13101473>
- Zhao, Z. H., Liu, M. J., & Tu, P. F. (2008). Characterization of water soluble polysaccharides from Chinese jujube. *European Food Research and Technology*, 226, 985–989. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0620-1>
- Zhen, W. C., Wang, S. T., Jin, Z. J., Cao, K. Q., & Liu, C. Q. (2009). Study on the symptom, harmfulness, and the key factor for epidemic of black-spot disease in *Ziziphus jujuba* 'Dongzao'. *Acta Horticulturae*, 840, 419-424. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.840.59>
- Zhu, H. Y., Tian, C. M., & Fan, X. L. (2018). Studies of botryosphaeriallean fungi associated with canker and dieback of tree hosts in Dongling Mountain of China. *Phytotaxa*, 348(2), 63-76. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.348.2.1>

44(2), 613–628. <https://doi.org/10.1111/pce.13928>

A decorative rectangular frame with a white background. The frame is bordered by a thin line that transitions from yellow to red. Four small white circles are placed at the corners of the frame. Surrounding the frame are stylized, colorful leaves in shades of red, orange, and blue.

BÖLÜM 7

***Hedera helix* L. (Duvar Sarmaşığı): İstilacı Dinamikleri, Fitokimyasal Potansiyeli ve Entegre Yabancı Ot Yönetimi**

Alper Sezgin¹ & Ayşe Yazlık²

1. GİRİŞ

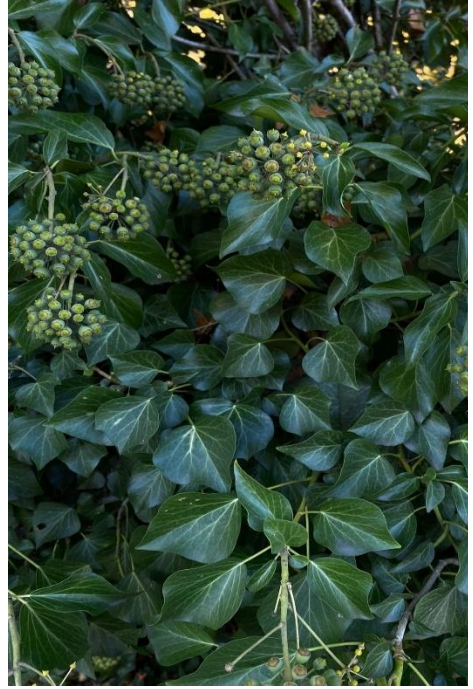
Küresel biyoçeşitlilik kaybını tetikleyen temel itici güçler arasında yer alan; iklim değişikliği, çevresel kirlilik, organizmaların aşırı kullanımı ve istilacı yabancı türler ile birlikte alan kaybı, ekosistemlerin yapısal bütünlüğünü ve işleyişini en radikal şekilde etkileyen unsurlardır (IPBES, 2019). Antropojenik faaliyetler sonucu parçalanmış ve daralan bu habitatlarda (ör., tarım, orman, dağ, su, yapay habitatlar), türlerin varlıklarını sürdürebilme kapasitesi büyük ölçüde sergiledikleri yüksek gelişimsel esnekliğe (fenotipik plastisite) ve çevresel stresler karşısında verdikleri morfolojik yanıtlara dayanmaktadır. Ayrıca, farklı gelişim stratejilerine (örneğin; heteroblastik gelişim / gelişimsel form farklılaşması) sahip ve habitat nişlerini değiştirerek (dikey ve yatay büyüme gibi) bulundukları ortamsal kaynakları en iyi şekilde değerlendirebilen bitkiler benzersiz bir biyolojik esneklik de sergilemektedir. Bu bağlamda çevresel değişkenlere karşı morfolojik ve fizyolojik yanıtlar geliştirebilen fenotipik plastisite yapısına ve hem tırmanıcı hem de dik formlarda gelişim stratejisiyle yüksek habitat kullanımı çeşitliliğine sahip *Hedera helix* L. (duvar sarmaşığı) en somut örneklerden biridir (Metcalf, 2005). Birçok ülke için istilacı (yerel aralığında ise genişleyen) bir bitki olan *Hedera helix*; Araliaceae familyasında, çok yıllık, odunsu, her dem yeşil ve tırmanıcı bir bitkidir (Metcalf, 2005; Yazlık ve Ambarlı, 2022). *Hedera helix*, heteroblastik gelişim sürecinde; tırmanıcı ve loblu yapraklı gençlik (juvenil) evresinden, boğum arası mesafelerin kısaldığı, dikey gövde yapısının oluştuğu ve yaprakların tam kenarlı oval bir forma dönüştüğü çiçeklenen olgun (adult) evreye geçerek belirgin bir morfolojik değişim sergilemektedir (Metcalf, 2005). Bu morfolojik dönüşüm, türün ekolojik esnekliğini artıran ve farklı çevresel nişleri optimize etmesini sağlayan temel bir mekanizmadır (Zotz, Cueni, ve Korner, 2011).

¹ Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, 81620 Düzce-Türkiye, ORCID: 0009-0000-4280-2616

² Doç. Dr., Düzce Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 81620 Düzce-Türkiye, ORCID: 0000-0001-7059-0761



(A)



(B)

Şekil 1. *Hedera helix*'te heteroblastik gelişim (juvenil ve erişkin faz farkı). (A) Dikey yüzeylere tırmanan, 3-5 loblu yapraklara sahip genç / juvenil (*yalnızca yaprak ve gövde geliştiren evre - vejetatif*) form. (B) Işığa ulaşmış dikey tırmanışını tamamlamış, tam kenarlı oval yapraklar ve çiçek kurulları (*umbel*) veren erişkin form (*çiçeklenme ve üreme evresi - reproduktif*) (©Alper Sezgin, Düzce, 2025).

Hedera helix L. gibi çok yıllık, odunsu ve tırmanıcı formdaki bitkiler, mücadele süreçlerindeki dirençleri nedeniyle "çevresel yabancı otlar" kategorisinde kritik bir önem kazanmıştır (Metcalf, 2005; Strelau, Clements, Benner ve Prasad, 2018). Hem dikey hem de yatay düzlemde agresif büyüme yeteneğine sahip olan *H. helix*, orman tabanında oluşturduğu yoğun ve sürekli gölge yapan vejetatif örtü ile yerli bitki tohumlarının çimlenmesini fiziksel (gölgeleme, baskı) ve kimyasal (allelopatik) yollarla engelleyebilir. Bu durum, orman gençleşmesini (rejenerasyon) durdurarak literatürde 'sarmaşık çölleri' (*ivy deserts*) olarak adlandırılan ve biyolojik çeşitliliğin minimum seviyeye indiği monokültür alanların oluşmasına neden olur (Biggerstaff ve Beck, 2007; Okerman, 2000). "Sarmaşık çölleri" terimi, literatürde ilk kez Okerman (2000) tarafından, Kuzey Amerika'nın Pasifik Kuzeybatısındaki orman tabanlarının *H. helix* tarafından tamamen kaplanan ve diğer tüm bitki yaşamının yok edildiği alanları tanımlamak için kullanılmıştır. Bu terim, bir orman tabanının yeşil görünmesine rağmen biyolojik çeşitlilik açısından bir "çöl" kadar cansız hale gelmesini ifade eder.

Hedera helix'in biyolojik istila yeteneği, sahip olduğu farmakolojik değer ve sunduğu kentsel ekosistem hizmetleri ile birleşerek türün doğasında paradoks bir yapı oluşmasına neden olmaktadır (Yazlık ve Ambarlı, 2022). Örneğin; Düzce'de meyve fidanlık alanlarında bulunan türün tarımsal üretime etkileri bildirilirken (Yazlık ve ark., 2019), aynı il sınırları içerisinde bitkinin süs bitkisi olarak kullanımına yönelik üretim materyali yetiştirme ve satış faaliyetleri de yürütölmektedir (*yazarların kişisel tespitleri*). Dolayısıyla, bitki yüksek olumlu ve olumsuz yönde çevresel ve sosyoekonomik etkilere sahiptir. Bu etkilerden hareketle yapılan risk analizinde istilacı bitki olarak belirlenmiş, ancak Türkiye için yerli bir bitki olması nedeniyle de "genişleyen bitki" olarak önerilmiştir (Yazlık ve Ambarlı, 2022).

Bu çalışmayla; *H. helix* bitkisinin (i) taksonomik durumu ve yayılış alanları, (ii) üreme biyolojisi, stres fizyolojisi ve fitokimyasal içeriği, (iii) habitat kullanımı ve farklı ekosistemlerdeki etkileri, (iv) ekosistem hizmetleri, (v) Türkiye'deki istila durumuna yönelik bilgiler derlenmiştir. Burada ayrıca, (vi) bitkinin entegre yabancı ot yönetimi (Integrated Weed Management - IWM) prensipleri doğrultusunda yönetimine yönelik "yönetim matrisi" oluşturulmuştur. Çalışma ile Türkiye'de yakın zaman önce Yazlık ve Ambarlı (2022) tarafından genişleyen takson (*yerli taksonların istilacı olma durumu* (Pyšek, Prach ve Šmilauer, 2000): *expansive taxon*) olarak tanımlanan bitki hakkında kapsamlı bilgileri ve yönetiminde kullanılabilecek verileri bir araya getirerek ileri çalışmalara temel bir altlık hazırlamak amaçlanmıştır. Çalışmanın, Türkiye'de çok yönlü habitat kullanımına sahip, çevresel ve sosyoekonomik etkileri yüksek ve risk analizi yapılmış bitkilere yönelik bilgi boşluklarına bir kaynak sağlaması da ayrıca amaçlanmıştır.

2. TAKSONOMİ ve MORFOLOJİ

2.1. Taksonomi, sinonimler ve yöresel isimler

Plantae alemi, Apiales takımı ve Araliaceae (Sarmaşıkgiller) familyası içerisinde yer alan *H. helix* L., Linnaeus tarafından 1753 yılında tanımlanmıştır. Taksonomik açıdan hem bilimsel araştırmalarda hem de yönetim planlamalarında bazı tanısal güçlüklerle sahiptir (Metcalf, 2005; Strelau ve ark., 2018). Ayrıca, tür içerisindeki genetik ve fitokimyasal çeşitlilik nedeniyle zaman zaman oldukça kompleks bir yapı sergiler. Nitekim güncel isimlendirme çalışmaları; *H. helix* tür kompleksinin *H. helix* subsp. *helix*, *H. helix* subsp. *rhizomatifera*, *H. helix* subsp. *poetarum* ve *H. helix* subsp. *canariensis* gibi farklı fenolik asit ve saponin içeriklerine sahip belirgin alt türlere ayrıldığını kesin olarak kanıtlamaktadır (Shawky ve El Sohafy, 2020). Literatürde *Hedera acuta*, *H. arborea* ve *H. baccifera* gibi sinonimlerle de anılan bu tür, küresel peyzaj ve ormancılık literatüründe en yaygın olarak English ivy (İngilizce), Lierre grim pant (Fransızca) ve Gemeiner Efeu (Almanca) isimleriyle anılırken (POWO, 2026); Türkiye florasında yerel olarak "Duvar sarmaşığı", "İngiliz Sarmaşığı" ve "Orman sarmaşığı" gibi isimlerle tanınmaktadır (Menemen, 2012).

2.2. Morfolojik özellikler ve heteroblastik gelişim

Heteroblastik gelişim (dimorfizm / iki biçimlilik: aynı bitkide iki farklı dış görünüş (yaprak ve büyüme şekli) bulunması) özelliği ile ontogenetik süreci (bitkinin tohumdan erginliğe kadar geçen bireysel gelişim ve olgunlaşma aşamaları) boyunca iki ayrı morfolojik faz gösteren *H. helix*, bu yapısal esnekliği sayesinde farklı çevresel koşullara yüksek adaptasyon kabiliyeti göstermektedir. Gölgeye toleranslı olan juvenil (erken/genç: yalnızca yaprak ve gövde geliştiren evre - vejetatif dönem) fazda bitki, yerde sürünerek veya nodlarından çıkan adventif kökler yardımıyla dikey yüzeylere tırmanırken; 3-5 loblu (palmat), belirgin damarlı ve almaşlı dizilişli yapraklar sergilemekte, kış aylarında ise antosiyanin birikimine ilişkili olarak yaprak renginde kırmızılaşma gözlemlenmektedir (Parker, 1962; Metcalfe, 2005). Bitkinin yeterli ışığa erişmesi veya dikey desteğin tepe noktasına ulaşmasıyla geçiş yaptığı erişkin (reproduktif) fazda ise morfoloji tamamen değişerek; lobsuz, oval veya rombik şekilli, spiral dizilişli yapraklar ile çiçek ve meyve veren, adventif kök oluşturmeyen ve tırmanmayı bırakan dik bir yapıya bürünmektedir (Metcalf, 2005). Türün kanopilere ulaşmasını sağlayan asıl tırmanma stratejisi ise tamamen genç (juvenil) evredeki gövdelerde bulunan adventif köklerin fonksiyonuna dayanmaktadır. Juvenil evredeki bu adventif kökler, su ve besin alımından ziyade, salgıladıkları güçlü yapışkan madde ile bitkinin 30 metre yüksekliğe kadar tutunmasını sağlayarak kritik mekanik bir işlev görmektedir (Metcalf, 2005). Dikey büyüme aşamasında bitkinin tırmanmasını sağlayan bu adventif köklerin uçlarındaki kök tüyleri, mikroskobik düzeyde incelendiğinde, yüzeylere kalıcı olarak tutunmayı sağlayan glikoprotein yapısında yapışkan (tutkal benzeri)

biyolojik bir salgı ürettiği gözlenmiştir (Melzer, Seidel, Steinbrecher ve Speck, 2012). Bu mekanizma sayesinde bitki, pürüzlü ağaç kabuklarına veya taş duvarlara fiziksel olarak zarar vererek nüfuz etmeden, ancak son derece güçlü bir şekilde tutunarak büyük kanopilere erişebilmektedir. Yetişkin faza geçişi ise yüksek gibberellin seviyeleriyle desteklenen juvenil dönemini takiben, bitkinin doğrudan güneş ışığı almasıyla tetiklenmektedir (Hackett, Murray ve Woo, 1991; Metcalfe, 2005).

Bitkinin karışık (komplike) yaprak geometrisi üzerine yapılan çalışmalarda ise yaprak uzunluğu ve genişliği gibi parametreler kullanılarak geliştirilen katsayılar sayesinde, bitki fizyolojisi araştırmalarında kolaylık sağlayan tahribatsız ölçüm modelleri önerilmiştir (Rosu ve Sala, 2022). Örneğin, yaprağın maksimum boyu (L) ve eninin (W), *H. helix* türüne özgü hesaplanan sabit bir düzeltme faktörü ($CF = 0.69$) kullanılarak, bitkiden yaprak koparmaya veya cihaza gerek kalmadan toplam yaprak alanı doğrusal bir denklemle hesaplanabilmektedir:

$$\text{Yaprak Alanı} = L \times W \times CF \quad (\text{Formül 1})$$

Bu hesaplama modeli sayesinde saha çalışmalarında, bitkiden yaprak koparmaya veya cihaza gerek kalmadan toplam yaprak alanı yüksek bir doğrulukla hesaplanabilmektedir (Rosu ve Sala, 2022).

2.3. Doğal ve istilacı alanlarda potansiyel yanlış tanımlamalar

Hedera helix'in tanımlanmasında en temel problem, diploid ($2n=48$) yapıdaki *H. helix* ile tetraploid ($2n=96$) yapıdaki *H. hibernica* (İrlanda sarmaşığı) türlerinin yüksek morfolojik benzerlikleri sebebiyle sıkça birbirine karıştırılmasıdır. Özellikle Kuzey Amerika'nın batı kıyılarında ve Avrupa'nın çeşitli bölgelerinde yapılan moleküler analizler, istila edilen alanlarda "İngiliz sarmaşığı" adı altında aslında büyük oranda *H. hibernica*'nın da kayıt altına alındığını kanıtlamaktadır. Ortak bahçe deneylerinde, tetraploid *H. hibernica*'nın diploid *H. helix*'e kıyasla çok daha iri yapılı olduğu, daha agresif büyüdüğü ve daha yüksek oranda üreyen (reproduktif) faza geçtiği saptanmıştır (Green, Ramsey ve Ramsey, 2013). Nitekim güncel literatürde Avrupa veri tabanlarındaki *Hedera* kayıtlarında bu benzerliğe bağlı olarak yüksek oranda hatalı tanımlamaların saptandığı bildirilmiştir (Coca-de-la-Iglesia, Gallego-Narbón, Alonso Hernández ve Valcárcel, 2024). İki tür arasındaki en güvenilir ayırım, yaprak alt yüzeyinde bulunan tüylerin (trikom) mikroskopik seviyede incelenmesiyle mümkün olmaktadır. *H. helix*'te tüyler saplı ve dik açılı ışınal bir form sergilerken, *H. hibernica*'da bu yapıların yere yatık ve yassı olduğu görülmektedir (Metcalfe, 2005; Strelau ve ark., 2018). Bu fizyolojik ve genetik farklılıklar, istilacı popülasyonların saha yönetiminde ve mekanik mücadele planlamalarında hangi türle karşı karşıya kalındığının doğru tespit edilmesini son derece zorunlu kılmaktadır.

3. BİYOLOJİ ve EKOLOJİ

3.1. Üreme biyolojisi ve tohum dağılımı

Hedera helix'in biyolojik başarısının ve istilacı karakterinin temelini oluşturan üreme stratejileri hem vejetatif hem de generatif mekanizmaların aktif kullanımı üzerine kuruludur (Strelau ve ark., 2018). Bitkinin en etkili yayılma ve istila stratejisi olarak öne çıkan vejetatif çoğalma, gövde parçalarının toprak ile temas ettiği her bir nod noktasından köklenecek klonal büyüme meydana getirmesine imkân vermektedir. Bu kabiliyet, özellikle yabancı ot mücadelesi kapsamında uygulanan mekanik yöntemler sırasında toprakta kalan küçük bitki parçalarının bile hızla rejenere olmasına yol açarak mücadelenin başarısını kısıtlayabilmektedir (Strelau ve ark., 2018). Generatif üreme döngüsü ise genellikle sonbahar döneminde gerçekleşen çiçeklenme ile başlamaktadır. Protandrik çiçek yapısı sayesinde 'kendine tozlaşma' engellenerek genetik çeşitlilik korunurken nektar bakımından zengin bu çiçekler Sarmaşık arısı (*Colletes hederæ*) gibi polinatör türler için sezon sonunun önemli bir besin kaynağını oluşturmaktadır (Metcalf, 2005; Lukas, Dötterl, Ayasse ve Burger, 2023). Kış sonu veya ilkbahar başında olgunlaşan mor-siyah renkli üzümse meyveler (Şekil 2), kuşlar (özellikle Karatavuk - *Turdus merula*) aracılığıyla (ornitoşori) geniş alanlara yayılmakta ve bu ekolojik etkileşim, tohumların kuşların sindirim sisteminden geçerek dormansilerinin kırılmasını ve sonuç olarak çimlenme oranlarının artmasını sağlamaktadır (Biggerstaff ve Beck, 2007; Metcalf, 2005).



Şekil 2. *Hedera helix* L. türünün olgunlaşmış, küremsi üzümse (umbel) meyve kurulları (©Alper Sezgin, Düzce, 2025).

Özellikle kış aylarında diğer alternatif besin kaynaklarının tükenmesi, sığırcıklar ve sedir ardıçkuşları gibi meyvecil (frugivor) kuşların bu meyvelere yönelmesine neden olur. Kuşlar, tohumları ebeveyn bitkiden kilometrelerce uzağa taşıyarak (vektörlük yaparak) daha önce hiç istilaya uğramamış el değmemiş doğal ormanlarda yeni popülasyonların oluşmasına ciddi katkı sağlar (Barnea, Harborne ve Pannell, 1993; Kalkhoven ve van Ruremonde, 1991).

3.2. Fizyolojik adaptasyonlar ve çevresel tolerans

Çok yıllık ve her dem yeşil bir fanerofit (*uyku halindeki tomurcuklara sahip*) olan *H. helix*, abiyotik stres faktörlerine karşı sergilediği yüksek fenotipik plastisite sayesinde farklı ekosistemlerde üstünlük kurabilmektedir. Bitkinin gölgeye tolerans stratejisi üzerine yapılan araştırmalar, düşük ışık yoğunluğunda hayatta kalabilmek için gövde gelişimini sınırlandırarak spesifik yaprak alanını (SLA) artıran bir "disproporsiyonel biyokütle yatırımı" gerçekleştirdiğini, ışık yoğunluğu arttıkça ise SLA değerinin azaldığını ortaya koymuştur (Blinkova, Rawlik ve Jagodziński, 2023; Blinkova, Rawlik ve Jagodziński, 2024). Çevresel stres faktörlerine karşı geliştirilen bu adaptif yanıtlar (*stres koşullarında canlılığı sürdürmeye yönelik fizyolojik ve metabolik ayarlamalar*) sadece ışıkla sınırlı kalmamaktadır. Nitekim kuraklık periyotlarında yaprak su içeriği ve stomatal iletkenliğin hassas bir şekilde düzenlenmesiyle, kış aylarında ise süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) gibi antioksidan enzim aktivitelerinin artırılması yoluyla oksidatif strese karşı savunma mekanizmalarının aktive edilmesiyle de desteklenmektedir (Diljkan ve ark., 2022).

Türün biyolojik başarısının bir diğer kritik unsuru ise kışın yaprak döken ormanlarda, konukçu ağaçların yapraklarını dökmesiyle oluşan kanopi boşluklarından faydalanarak fotosentez kapasitesini sürdürmesidir; "fenolojik kaçış" olarak tanımlanan bu strateji, bitkinin rakip türlerin aktif olmadığı dönemlerde karbon kazanımı avantajı elde etmesine olanak tanımaktadır (Oberhuber ve Bauer, 1991). Ayrıca tür, abiyotik tolerans eşikleri açısından da son derece dayanıklıdır. En soğuk ay ortalamasının -1.5°C ile -2°C 'nin altına düştüğü donlu iklimlerde reproduktif büyümesi sınırlandırılrsa da bu sıcaklıkların üzerindeki geniş bir ekolojik aralıkta rahatlıkla yayılabilir (Metcalf, 2005). Bitki; asidik ve bazik (pH 5.2 - 7.8) özellik gösteren çeşitli toprak tiplerinde gelişebilme, uzun süreli kuraklık stresine tolerans gösterebilme ve hatta olası orman yangınlarına karşı dikkate değer bir hayatta kalma yeteneği barındırmaktadır (Waggy, 2010).

3.3. Doğal düşmanlar, zararlılar ve patojenler

Bitkinin Kuzey Amerika veya Avustralya gibi sonradan dahil olduğu bölgelerde kontrolsüzce yayılmasının ve monokültürler oluşturmalarının temel nedenlerinden biri, onu doğal habitatında baskılayacak spesifik otçul (herbivor) böceklerin veya evrimsel olarak onunla birlikte gelişmiş patojenlerin bu yeni ekosistemlerde bulunmamasıdır (Miller, 1998; Waggy, 2010). Ancak, türün

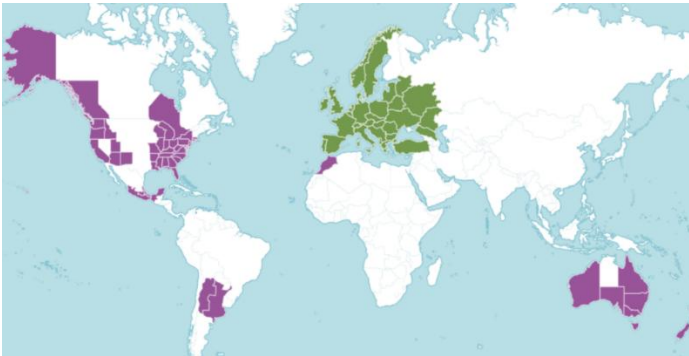
kendi doğal aralığında ve kentsel/tarımsal üretim (fidanlık ve sera) koşullarında maruz kaldığı bazı yıkıcı biyolojik düşmanları mevcuttur (Norman ve Ali, 2018). *Hedera helix* popülasyonlarının sağlığını tehdit eden en yaygın bakteriyel hastalık, yapraklarda sulu, zamanla genişleyen nekrotik siyah lekeler ve nihayetinde şiddetli gövde kanserine yol açan *Xanthomonas hortorum* pv. *hederae* patojenidir (Norman ve Ali, 2018). Özellikle nemli toprak koşullarında ve havalandırmanın yetersiz olduğu fidanlıklarda ise, *Phytophthora palmivora* ve *Colletotrichum* türü fungal patojenler bitkilerde ölümcül kök çürüklüğüne ve antraknoz hastalıklarına sebep olmaktadır (Futch ve Graham, 2015).

Bitki patolojisi çalışmaları, *H. helix*'in dünya çapında asma, zeytin ve badem gibi sayısız tarım ürününün ve orman ağacının toplu ölümünden sorumlu olan yıkıcı *Xylella fastidiosa* bakterisi için ideal bir alternatif konakçı olarak hareket ettiğini kanıtlamıştır (McElrone, Sherald ve Pooler, 1999). Bu kritik bulgu, *H. helix*'in yalnızca fiziksel bir alan işgalcisi olmadığını, aynı zamanda tarımsal olarak yıkıcı patojenlerin ekosistemler arasında taşınmasında ve kışılmasında görev alan son derece tehlikeli, sessiz bir vektör bitki olduğunu doğrulamaktadır.

4. HABİTAT KULLANIMI ve İSTİLACI TÜR DİNAMİKLERİ

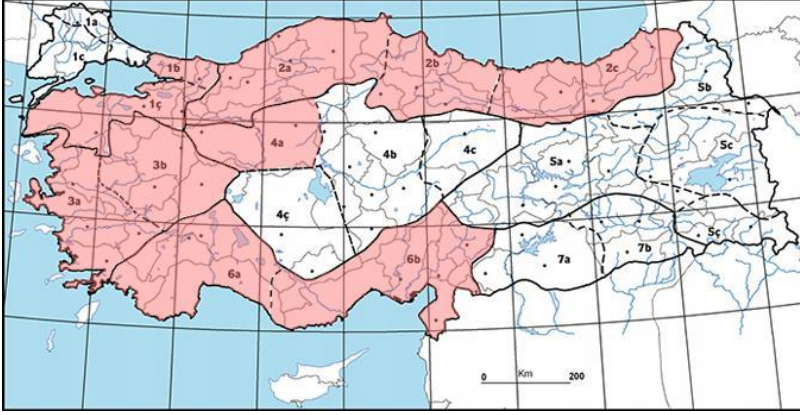
4.1. Doğal ve istilacı yayılış alanları

Doğal yayılış alanı Avrupa, Batı Asya ve Kuzey Afrika'yı kapsayan *H. helix*, bu geniş coğrafyanın ötesinde özellikle Kuzey Amerika'nın Pasifik Kuzeybatısı ile Avustralya, Güney Afrika ve Yeni Zelanda gibi bölgelerde ekosistem dengesini tehdit eden ciddi bir istilacı tür olarak tanımlanmaktadır (Metcalf, 2005; Reichard ve White, 2001; Strelau ve ark., 2018). İlk olarak 1700'lerde Avrupalı göçmenler tarafından süs bitkisi olarak Amerika kıtasına getirilen tür, hızlı büyüme karakteri ve düşük bakım ihtiyacı nedeniyle peyzaj endüstrisi tarafından yayılmıştır (Reichard ve White, 2001; Swearingen ve Diedrich, 2006).



Şekil 3. *Hedera helix* L. küresel yayılış haritası. Yeşil alanlar türün doğal (native) yayılış bölgelerini, mor alanlar ise sonradan giriş yaptığı/tanıtlanmış olan (introduced) bölgeleri göstermektedir (POWO, 2026).

Türkiye florasında; Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerinde geniş bir dağılım sergileyen (Şekil 4 - Menemen, 2012) *H. helix* yerel ölçekteki çok çeşitli habitatlarda görülmektedir. Örneğin; Düzce'de fındık bahçeleri, ve yol kenarları gibi antropojenik alanların yanı sıra orman ve hatta meralarda bulunabilmektedir (Yazlık ve ark., 2019; *yazarların gözlemleri*). Dolayısıyla, *H. helix*, farklı habitat tiplerine yüksek adaptasyon yeteneği göstererek tarımsal üretim alanlarından doğal bitki örtüsüne kadar geniş bir sahada görülebilmektedir.



Şekil 4. *Hedera helix* türünün Türkiye'deki doğal dağılım haritası (Menemen, 2012).

4.2. Biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkileri

Doğal orman ekosistemlerinde ve tarımsal habitatlarda önemli bir tehdit unsuru olarak öne çıkan *H. helix*, ekonomik ve ekolojik boyutta çok yönlü etkilere sebep olmaktadır. İstilacı sarmaşıkların orman kompozisyonunu nasıl değiştirdiği incelendiğinde, etkinin üç ana dikey katmanda (orman tabanı, çalı katmanı ve ağaç kanopisi) gerçekleştiği görülmektedir (Perring ve ark., 2020). Tür, orman ekosistemlerinde "sarmaşık çölleri" (ivy deserts) olarak tanımlanan monokültür yapıları meydana getirerek orman tabanını yoğun bir örtüyle kaplamaktadır. Bu durum; yerli otsu bitkilerin, ağaç fidelerinin ve çalıların çimlenmesini hem fiziksel bir bariyer oluşturarak hem de muhtemel allelopatik etkiler vasıtasıyla baskılayarak orman rejenerasyonunu sekteye uğratmaktadır (Biggerstaff ve Beck, 2007; Okerman, 2000). Ayrıca, zamanla yerli tohum bankasının üzerini aşılmaz bir mat şeklinde örterek, ışık ve nem rekabetini tamamen kendi lehine çevirir ve alt bitki örtüsünün ölümüne neden olur (Dlugosch, 2005). Ayrıca, tırmandığı ağaç gövdelerinde oluşturduğu ek kütle ve "yelken etkisi", özellikle rüzgârlı hava koşullarında ağaçların devrilme tehlikesini artırarak orman sağlığını fiziksel olarak da tehdit etmektedir. Bu aşırı biyokütle yüklenmesi, kış aylarındaki kar fırtınaları ile birleştiğinde, asırlık ağaçların bile kanopilerinin kırılarak yıkılmasına ve orman boşluklarının aniden açılmasına yol açmaktadır (Metro Vancouver ve ISCMV, 2021). Tarımsal üretim alanlarında ise, özellikle

meyve fidanlıkları gibi alanlarda yabancı ot olarak (Yazlık ve ark., 2019) hem doğrudan rekabet etkisine hem de rutin kültürel işlemleri zorlaştırması açısından sosyoekonomik etkiye neden olmaktadır.

4.3. Toprak özelliklerine etkisi ve allelopati

Sarmaşığın ekosistem mühendisliği yeteneği sadece ışığı bloke etmesiyle sınırlı kalmamaktadır. Toprağın fizikokimyasal yapısını kökten değiştirmesini de kapsar. Güncel ekolojik araştırmalar, *H. helix* istilasına uğramış alanlarda toprak kimyasının yerli orman alanlarına kıyasla ciddi sapmalar gösterdiğini ortaya koymuştur. Sarmaşık yapraklarının toprağa dökülüp hızla ayrışması sonucu yüzey toprağındaki Potasyum (K) ve Fosfor (P) oranları yapay olarak yükselirken; ekosistem için kritik önem taşıyan Azot (N) ve Organik Madde (OM) konsantrasyonları ise belirgin şekilde düşmektedir (Jiménez-Hernández ve ark., 2023). Üstelik dökülen bu yapraklardaki fenolik bileşikler ve saponinler (allelopatik kimyasallar), yerli bitki tohumlarının çimlenmesini kimyasal olarak da baskılayarak sarmaşığın rekabetçi üstünlüğünü toprağın altından da garanti altına almaktadır (Carreiro, Fuselier ve Waltman, 2020).

5. ENTEGRE YABANCI OT YÖNETİMİ (IWM)

Zirai mücadelede farklı yönlü mücadele yöntemlerinin tek başına kalıcı bir çözüm sunmaması, yabancı ot kontrolünde çok daha kapsamlı ve ekosistem odaklı bir yaklaşım olan ve önlem alma ile başlayan Entegre Yabancı Ot Yönetimi (Integrated Weed Management - IWM) stratejilerinin benimsenmesini zorunlu kılmaktadır (Storkey, Helps, Hull, Milne ve Metcalfe, 2021; Yazlık ve ark., 2019). Entegre Yabancı Ot Yönetimi, tek bir kontrol mekanizmasına bağımlı kalmak yerine, "birçok küçük çekiç" (*many little hammers*) felsefesiyle hareket ederek kültürel, fiziksel, mekanik, biyolojik ve kimyasal araçların ekolojik ile ekonomik riskleri en aza indirecek şekilde sistematik olarak birleştirilmesini öngörür (Storkey ve ark., 2021). Bu yaklaşımın temel amacı, yabancı otların tarımsal habitatlara yerleşmesini engelleyerek kültür bitkileriyle su, ışık, yer, besin elementi rekabetini kırmak ve uzun vadede üremelerini durdurarak toprak tohum bankasını azaltmaktır (Kaur, Schwartz-Lazaro, Werle ve Cordeau, 2023). Özellikle, *H. helix* ve aynı istilacı karaktere sahip akraba türü *H. hibernica* gibi biyokütlesi muazzam seviyelere ulaşabilen hem tohumla hem de vejetatif yollarla çoğalarak sarmaşık formu ile de hızla yayılabilen bitkilerde, alana özgü yönetim stratejileri geliştirmek şarttır (Eppinga ve ark., 2021; Metro Vancouver, 2021). Bu tür baskın karakterli bitkilerin rastgele ve plansız sökümle yerine, alandan izole olmuş küçük popülasyonların (yamaların) tespit edilip öncelikli olarak bu oluşumların yok edilmesi, 10 yıllık bir mücadele planının etkinliğini radikal bir biçimde (%30 ile %90 oranında) artırdığı bildirilmektedir (Eppinga ve ark., 2021). Bu bağlamda, tohum ve kök parçalarının taşınmasını önlemek adına; ekipmanların temizliği gibi önlemleri de kapsayan temel IWM stratejileri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: *Hedera helix* ve *H. hibernica* için ideal IWM strateji matrisi.

IWM temel stratejisi	Önerilen müdahale yöntemi	Akademik bulgular ve ekolojik gerekçeler	Kaynak
Önleme ve erken teşhis	Alana özgü uzaklaştırma	Rastgele söküm yapmak yerine, uzamsal olarak izole olmuş küçük (uydu) yamaların öncelikli olarak hedeflenmesi, uzun vadeli bir kontrol stratejisinin verimliliğini %30-90 oranında artırır.	(Eppinga ve ark., 2021)
Kültürel kontrol ve restorasyon	Tohum ilavesi	Manuel sökümün hemen ardından açılan toprağa yerli orman bitkisi tohumlarının ekilmesi, sekonder istilaların (diğer yabancı otların) engellenmesi için kritik bir IWM adımdır.	(Biggerstaff ve Beck, 2007)
Fiziksel / mekanik kontrol	Manuel (elle) söküm	Yabancı otu elimine etmede ve yerli fide çıkış yoğunluğu ile biyoçeşitliliği artırmada en etkili yöntemdir. İlk haftalardaki toprak tahribatına rağmen yerli bitki örtüsü hızla toparlanır.	(Biggerstaff ve Beck, 2007; Pearson ve Taylor, 2015)
Biyolojik mücadele	Keçi otlatması	Kısa süreli ve yüksek yoğunluklu keçi otlatması, biyokütleyi anlamlı ölçüde azaltır. Uygulamanın ikinci yıl tekrar edilmesi, sarmaşık örtüsünde ciddi bir çöküş sağlar.	(Ingham ve Borman, 2010)
Kimyasal kontrol (sentetik)	Metsulfuron-methyl (yapraktan uygulama)	Mekanik sökümün imkânsız olduğu geniş monokültürlerde, 0.168 kg ai ha ⁻¹ dozunda uygulanan Metsulfuron-methyl, $\geq$ %97 oranında en yüksek kontrolü sağlamış ve bitkinin yeniden büyümesini başarılı bir şekilde engellemiştir.	(Yang, Wehtje, Gilliam ve McElroy, 2013)
Kimyasal kontrol (organik alternatif)	Pelargonik asit / tarçın-karanfil yağı	Sentetik herbisit risklerine karşı organik herbisitler başarılı bir alternatiftir. Toprak mikrobiyolojisine ve hedef dışı yerli flora olara olan negatif etkileri, sentetik herbisitlere kıyasla çok daha düşüktür; ancak kalıcı ölüm için 3 ardışık uygulama gerektirirler.	(Carreiro ve ark., 2020)

Entegre Mücadele prensipleri, herbisitlerin uygulanmasını tamamen reddetmez; ancak bu bileşiklerin yalnızca kültürel, fiziksel, mekanik ve biyolojik mücadele yöntemlerinin yetersiz kaldığı yoğun istila alanlarında, ekosisteme en az zarar verecek şekilde ve doğru iklimsel zamanlamayla kullanılmasını şart koşar (Storkey ve ark., 2021). Bazı durumlarda ise kimyasal mücadele bitkilerin belli özellikleri nedeniyle oldukça sınırlıdır ki bu durumda da yine IWM esas gereği tüm savaşım yöntemlerinin bir arada değerlendirilmesi önemlidir. Örneğin; *H. helix*'in her dem yeşil yapraklarının üzerinde yer alan ve su kaybını önleyen son derece kalın, mumsu kütikula tabakası, su bazlı (hidrofilik) herbisitlerin hücresel dokulara nüfuz etmesini sınırlandırarak kimyasal mücadelenin önünde ciddi bir bariyer oluşturur (Derr, 1993). Ancak, bu bariyer herbisit grubuna ve uygulama dönemine göre de değişebilir. Örneğin; *H. helix*'e karşı farklı aktif maddelerin etkinliğini test eden kontrollü denemeler,

Metsulfuron-methyl aktif maddesinin, 0.168 kg ai ha⁻¹ gibi düşük dozlarda dahi %97'nin üzerinde etkinlik gösterdiği ve bitkinin vejetatif olarak yeniden büyümesini başarılı bir şekilde durdurduğu bildirilmiştir (Yang ve ark., 2013). Buna karşın, dünya çapında en sık başvurulmuş geniş spektrumlu herbisitlerden olan Glifosat ve 2,4-D amin uygulamaları, çok daha yüksek dozlarda (örneğin 8.51 kg ae ha⁻¹ Glifosat) kullanılmalarına rağmen tutarsız ve değişken sonuçlara (%28 - %98 kontrol altına alma) ulaşıldığı bildirilmiştir (Biggerstaff ve Beck, 2007; Yang ve ark., 2013). *Hedera helix*'e karşı herbisit uygulamaların kısıtlayan bir diğer önemli faktör ise orman veya park habitatlarının su kaynaklarına ve dere yataklarına sahip olmasıdır. Bu tür iç su habitatlarına yakın bölgelerde herbisit kullanımı amfibik yaşama ciddi zararlar verebileceğinden, bu alanlarda yalnızca sucül ekosistemler için onaylanmış formülasyonlar veya ekotoksikolojik riski sifıra yakın olan organik biyo-herbisit alternatifleri (pelargonik asit, karanfil yağı) kullanılabilmektedir (Carreiro ve ark., 2020). *Hedera helix*'in kimyasal mücadelede başarı oranları ve yerli flora etkilere Tablo 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 2: Herbisit etkinlik ve ekolojik etki karşılaştırması.

Aktif madde / herbisit	Uygulama dozu	<i>Hedera</i> üzerindeki etkinliği	Yerli flora ve toprak üzerindeki etkisi	Kaynak
Metsulfuron-methyl	0.168 kg ai ha ⁻¹	≥ %97 başarı oranı. Yeniden büyümeyi tamamen durduran en başarılı kimyasaldır.	Sarmaşığı kesin olarak yok eder ve vejetatif canlanmayı durdurur.	(Yang ve ark., 2013)
Glifosat	8.51 kg ae ha ⁻¹	%69 - %98 başarı oranı. Yüksek dozlarla rağmen etkinliği istikrarsızdır.	Yerli fide çimlenmesini, yoğunluğunu ve çeşitliliğini ciddi şekilde düşürerek restorasyonu yavaşlatır.	(Biggerstaff ve Beck, 2007; Yang ve ark., 2013)
2,4-D Amine	5.60 kg ae ha ⁻¹	%28 - %98 başarı oranı. İstikrarsız sonuçlar vermiştir.	Hedef dışı geniş yapraklı türlere zarar verme riski son derece yüksektir.	(Yang ve ark., 2013)
Organik herbisitler	Üretici standartları	Yüksek başarı oranı. Ancak kalıcı etki için 3 yıl tekrarlı uygulama gerektirir.	Toprak nematodlarına ve yerli eğrelti/yosun florasına negatif etki göstermez.	(Carreiro ve ark., 2020)

Entegre Yabancı Ot Yönetim programının nihai amaçlarından biri de bozulan ekosistem dinamiklerini onararak yerli bitki örtüsünün yeniden hakimiyet kurmasını sağlamaktır (Storkey ve ark., 2021). Ekolojik araştırmalar, *H. helix* istilasına uğramış ve uzun süre sarmaşık örtüsü altında kalmış orman topraklarının kimyasal profilinde ciddi sapmalar olduğunu ortaya koymaktadır (Jiménez-Hernández ve ark., 2023). Sarmaşık yapraklarının toprağa dökülüp hızla ayrışması sonucu yüzey toprağındaki Potasyum (K) ve Fosfor (P) oranları

yapay olarak tavan yaparken, kritik önem taşıyan Azot (N) ve Organik Madde (OM) konsantrasyonları sağlıklı, istila edilmemiş orman referans alanlarına kıyasla belirgin şekilde düşmektedir (Jiménez-Hernández ve ark., 2023).

Manuel (el ile) söküm yöntemi, biyokütleyi alandan uzaklaştırırken kısa vadede toprak yüzeyinde mekanik bir tahribat yaratır. Bu fiziksel bozulma nedeniyle ilk 4 haftalık süreçte temizlenen alandaki yerli bitki çeşitliliği ve tohum çimlenme bolluğu, hiç müdahale edilmemiş alanların bile gerisine düşebilir (Pearson ve Taylor, 2015). Ancak, bu geçici stresin ardından olağanüstü bir toparlanma sürecinin başladığı; 10. haftadan itibaren yerli bitki çeşitliliği kontrol alanlarıyla eşitlendiği ve tek bir büyüme sezonunun (yaklaşık 26 hafta) sonunda yerli bitkilerin istila öncesi seviyeleri büyük bir farkla geçerek orman tabanını hızla kapladığı bildirilmiştir (Pearson ve Taylor, 2015). Bu güçlü ekolojik rejenerasyonun zaman çizelgesi ve aşamaları Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3: Fiziksel mücadele uygulaması sonrası ekolojik rejenerasyon çizelgesi.

Müdahale sonrası geçen süre	Ekolojik tepki, toprak dinamikleri ve gözlemler	Kaynak
0 - 4. hafta	Söküm işleminin yarattığı fiziksel toprak tahribatı nedeniyle yerli bitki çeşitliliği ve bolluğu, kontrol (hiç müdahale edilmemiş) alanlarının gerisine düşer. Toprak erozyona açıktır.	(Pearson ve Taylor, 2015)
10. hafta	Yerli bitki çeşitliliği toparlanarak kontrol alanlarıyla eşitlenir. Yerli bitki örtüsü bolluğu artış eğilimine girer.	
26. hafta (1. büyüme sezonu)	Manuel sökümün kısa vadeli negatif mekanik etkileri tamamen silinir. Yerli bitkiler istila öncesinden çok daha başarılı bir büyüme sergiler.	
1. yılın sonu	Alandaki tür kompozisyonu, sağlıklı ve istilaya uğramamış orman referans alanlarıyla benzerlik göstermeye başlar.	(Jiménez-Hernández ve ark., 2023)

Sarmaşık gibi agresif bir yer örtücünün devasa biyokütlesinin alandan kaldırılmasıyla açığa çıkan boş, çıplak ve mineralce zengin toprak, rüzgâr veya kuşlarla taşınan ikincil (sekonder) yabancı ot türlerinin yerleşmesi için oldukça cazip bir fırsat penceresi sunar (Biggerstaff ve Beck, 2007). Ekosistemin geri kazanımını güvence altına almanın ve bu boşluğu istilacılar yerine yerli florayla doldurmanın en kalıcı yolu, sökümünden hemen sonra alana uygun tohum ve fidan takviyesi yapmaktır (Biggerstaff ve Beck, 2007). Son dönem fonksiyonel bitki ekolojisi çalışmaları, *H. helix* yapraklarının Spesifik Yaprak Alanı (SLA) ve Yaprak Su İçeriği (LWC) gibi morfolojik özelliklerinin, bitkinin toprak nemıyla kurduğu güçlü adaptif ilişkiyi kanıtlamaktadır (Blinkova ve ark., 2024). Bu bağlamda restorasyon stratejisi, müdahale edilen arazinin toprak nemliliği (su

kenarı, kuru yamaç veya nemli orman tabanı olması) temel alınarak inşa edilmelidir. Doğru yerli çalı ve ağaçların seçilip dikilmesi, büyüdüklerinde orman tabanında gölge oluşturarak uykuda kalmış olabilecek sarmaşık tohumlarının çimlenmesini bloke eden "biyolojik bir bariyer" (kanopi) görevi görecektir (Metro Vancouver ve ISCMV, 2021). Ekolojik restorasyon çalışmalarında kullanılacak bitkiler seçilirken; su kenarlarında ve sulak alanlarda söküm sonrası yumuşayan toprağın erozyonla dereye akmasını engelleyecek, suyu seven yayılıcı köklü türler tercih edilmelidir. Buna karşın, toprak kaymasına son derece müsait olan dik ve kuru yamaçlarda ise susuzluğa yüksek direnç gösteren ve toprağı derinlemesine kavrayan kazık köklü yerli türler kullanılarak alan hızla stabilize edilmelidir (Metro Vancouver ve ISCMV, 2021).

6. *Hedera helix*'in KULLANIM ALANLARI ve "SARMAŞIK PARADOKSU"

6.1. Kentsel ekosistem hizmetleri

Hedera helix'in hem ekosistemler hem de insan yapımı çevre üzerindeki etkileri, literatürde "sarmaşık paradoksu" (ivy paradox) olarak kavramsallaştırılan son derece kompleks ve çift yönlü bir nitelik göstermektedir. Bitkinin olumsuz etkileri bağlamında değerlendirilen biyodeteriorasyon süreci, özellikle tarihi yapılarda ve harçlı duvar yüzeylerinde adventif köklerin mevcut çatlaklara nüfuz etmesiyle fiziksel tahribatın hızlanmasına sebep olabilmektedir (Elinç, Korkut ve Kaya, 2013). Ancak bu yapısal risklerin aksine tür, kentsel alanlarda sunduğu biyoproteksiyon ve fitoremediasyon hizmetleriyle ekolojik bir değer kazanmaktadır. Duvar yüzeylerinde bir "termal kalkan" vazifesi görerek mevsimsel sıcaklık dalgalanmalarını dengeleyen bitkinin, yazın serinletici kışın ise ısıtıcı etkisiyle binalarda önemli bir enerji tasarrufu sağladığı saptanmıştır (Jenkins ve Baxter, 2026; Sternberg, Viles ve Cathersides, 2011). Hava kalitesinin iyileştirilmesinde yüksek partikül madde (PM) tutma kapasitesiyle kritik bir rol oynayan *H. helix*, aynı zamanda çevresel kirliliğin takibi için de kullanışlı bir model oluşturmaktadır (Sternberg, Viles, Cathersides ve Edwards, 2010). Nitekim Rize'deki taş ocakları çevresinde yürütülen güncel bir çalışmada, *H. helix* yapraklarının dokularında yüksek konsantrasyonlarda Fe, Cu, Zn, Cd ve Mn biriktirme yeteneği göstererek ağır metal kirliliğinin saptanmasında potansiyel bir "biyomonitör" olarak kullanılabileceği bildirilmiştir (İzmirli, 2025).

6.2. Farmakolojik ve endüstriyel potansiyel

H. helix, herbolojik perspektiften yönetilmesi gereken bir yabancı ot olarak nitelendirilse de bünyesinde barındırdığı kompleks fitokimyasal profil türün fitoterapötik değerini oldukça yükseltmektedir. Bitki; başta Hederacoside C ve α -hederin (alfa-hederin) gibi triterpen saponinler olmak üzere, rutin ve kaempferol gibi flavonoidler, klorojenik asit gibi fenolik asitler ve falcarinol gibi poliasetilenler bakımından zengin bir kompozisyona sahiptir (Shokry, El-Shiekh,

Kamel, Bakr ve Ramadan, 2022; Tatia ve ark., 2022). Bu biyoaktif bileşenler, özellikle EA 575 gibi standartlaştırılmış yaprak ekstraktlarının akut üst solunum yolu enfeksiyonlarında balgam söktürücü ve bronş genişletici özelliklerini desteklemekte ve bu etkinliğin klinik başarısı çeşitli meta-analizlerle ortaya koyulmaktadır (Holzinger ve Chenot, 2011; Lang, Röttger-Lüer ve Staiger, 2015; Sierocinski, Holzinger ve Chenot, 2021). Farmakolojik değeri sadece solunum sistemiyle sınırlı kalmayan türün ayrıca anti-inflamatuvar, anti-artritik ve geniş spektrumlu antimikrobiyal aktiviteleri de literatürde yaygın şekilde rapor edilmektedir (Pop ve ark., 2017; Qabaha ve ark., 2024; Shokry ve ark., 2022). Üstelik son dönem araştırmalar, mekanik sökümler sonucunda elde edilen devasa *Hedera* biyokütlesinin, kentsel biyo-rafineri konsepti altında değerlendirilerek endüstriyel ekstraksiyon süreçlerine (örneğin kozmetik ve ilaç sanayisine) geri kazandırılabilirliğini öne sürmekte ve bu "sarmaşık paradoksunu" ekonomik bir avantaja dönüştürmeyi önermektedir (Vercruysse, Noppen, Jozefczak ve Vandamme, 2023). Ancak bu geniş tıbbi potansiyelin yanında, yapraklarındaki falcarinol bileşiğinin duyarlı bireylerde temas dermatitine yol açabileceği gerçeği, bitkiyle fiziksel temas ve endüstriyel kullanım süreçlerinde dikkate alınması gereken önemli bir biyolojik güvenlik parametresidir (Hausen ve ark., 1987).

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Güncel literatür verileri, *Hedera helix*'in sadece statik bir tırmanıcı bitki değil, çevresel stres faktörlerine karşı dinamik ve yüksek adaptasyon kapasitesine sahip bir biyolojik model olduğunu doğrulamaktadır. Nitekim kentsel ormanlarda kuraklık ve ışık kısıtı gibi abiyotik streslere karşı geliştirilen ontogenetik mekanizmalar ile "disproporsiyonel biyokütle yatırımı" gibi stratejiler, türün değişen iklim koşullarında neden bu denli başarılı bir yayılım sergilediğini açıklamaktadır (Blinkova ve ark., 2025). Ancak bitkinin sergilediği bu yüksek fenotipik plastisite, özellikle Türkiye gibi geçiş iklimlerinin hakim olduğu coğrafyalarda, türün "genişleyen/yayılan yerli" statüsünü pekiştirerek tarımsal ve doğal ekosistemler üzerinde ciddi bir herbolojik baskı oluşturmaktadır (Yazlık ve Ambarlı, 2022). 28 puanlık yüksek risk skoruyla "agresif istilacı" olarak değerlendirilebilen bu türün, fındık bahçeleri ve meyve fidanlıklarındaki popülasyon dinamiklerinin titizlikle izlenmesi, yerel biyoçeşitlilik ve tarımsal verimlilik açısından bir zorunluluktur. Öte yandan, bitkinin hava kalitesini iyileştirme, termal yalıtım sağlama ve ağır metal kirliliğinde biyomonitör olarak kullanılabilme gibi ekosistem hizmetleri, sahip olduğu zengin triterpen saponin ve flavonoid içeriğinden kaynaklanan fitoterapötik değeriyle birleştğinde ortaya kompleks bir "sarmaşık paradoksu" çıkarmaktadır. Tarımsal sahalar açısından ise, sarmaşığın özellikle *Xylella fastidiosa* gibi yıkıcı patojenler için bir alternatif konakçı (rezervuar) görevi görmesi, risk boyutunu orman ekolojisinin ötesine, gıda güvenliği seviyesine taşımaktadır (McElrone ve ark., 1999). Türkiye gibi zeytin, bağ ve meyve fidanı üretiminin milli ekonomide kritik bir yer tuttuğu ülkeler için bu durum çok ciddi riskleri beraberinde getirir. Bu potansiyel tehdit göz önüne alındığında; *H. helix*'in Türkiye florasında yerli bir takson olduğu gerçeği dikkate alınarak, fidanlık üretim materyalleri vasıtasıyla temiz tarım sahalarına ve kentsel ormanlara taşınmasını engellemek amacıyla Tarım ve Orman Bakanlığı düzeyinde yurt içi karantina protokolleri ile 'temiz/ari fidanlık' sertifikasyon sistemleri geliştirilmesi; türün süs bitkisi olarak kullanımı ve ticari peyzaj sirkülasyonunun özel bir çerçevede ele alınması ve bu konuda gerekli olabilecek denetlemelerin yapılması önerilir. Ayrıca, Erken uyarı ve hızlı müdahale sistemleriyle desteklenen, habitat özelliklerini dikkate alan Entegre Yabancı Ot Yönetimi (IWM) matrislerinin kullanımı, ilgili türün yönetimine değerli katkılar sağlayabilir. Sonuç olarak, *H. helix*'in yönetim stratejisi bitkiyi sadece yok edilmesi gereken bir hedef olarak görmekten ziyade, istilacı karakterini baskılayan, ancak sunduğu ekolojik ve endüstriyel kazanımları optimize eden entegre ve sürdürülebilir modeller üzerine inşa edilmelidir.

KAYNAKLAR

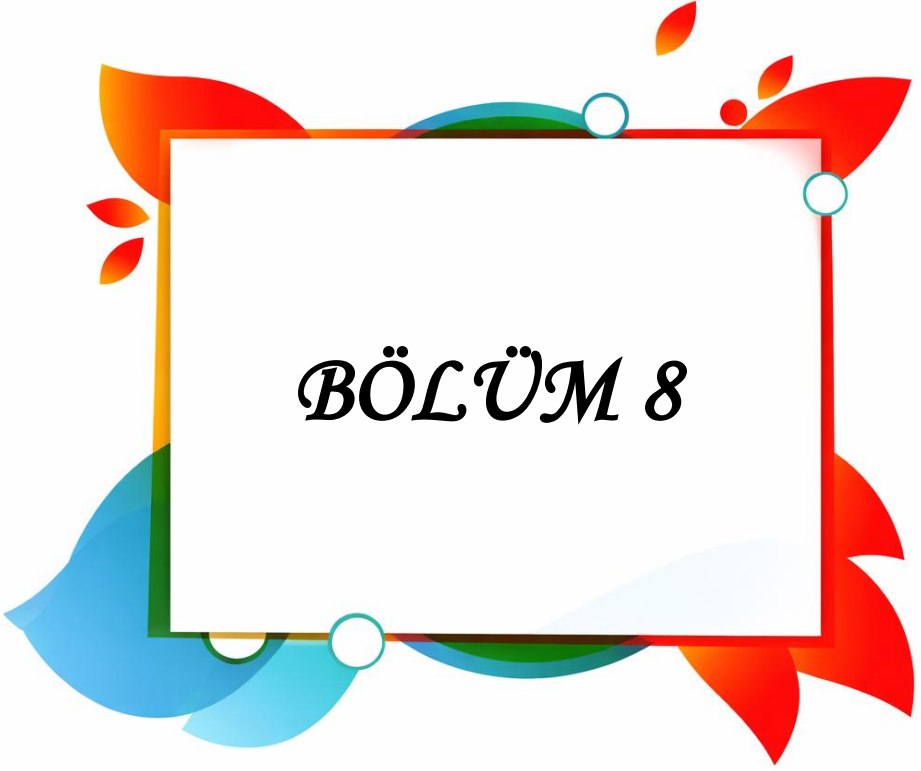
- Barnea, A., Harborne, J. B., & Pannell, C. (1993). What part of fleshy fruits contain secondary components toxic to birds and why? *Biochemical Systematics and Ecology*, 21(4), 421-429.
- Biggerstaff, M. S., & Beck, C. W. (2007). Effects of English ivy (*Hedera helix*) on seed bank formation and germination. *The American Midland Naturalist*, 157(2), 250-257.
- Blinkova, O., Rawlik, K., & Jagodziński, A. M. (2023). The impact of environmental factors on traits of *Hedera helix* L. vegetative shoots. *Plant Ecology*, 224, 973-986.
- Blinkova, O., Rawlik, K., & Jagodziński, A. M. (2024). Effects of limiting environmental conditions on functional traits of *Hedera helix* L. vegetative shoots. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1464006.
- Blinkova, O., Rawlik, K., Żytowski, R., Wiland-Szymańska, J., Sowelo, M., Jaźwa, M., ... Jagodziński, A. M. (2025). Multilevel trait responses of liana *Hedera helix* L. to environmental gradients in urban forest ecosystems. *Scientific Reports*, 15, 40155.
- Carreiro, M. M., Fuselier, L. C., & Waltman, M. (2020). Efficacy and nontarget effects of glyphosate and two organic herbicides for invasive woody vine control. *Natural Areas Journal*, 40(2), 129.
- Coca-de-la-Iglesia, M., Gallego-Narbón, A., Alonso Hernández, A., & Valcárcel, V. (2024). High rate of species misidentification reduces the taxonomic certainty of European biodiversity databases of ivies (*Hedera* L.). *Scientific Reports*, 14, 4876.
- Derr, J. F. (1993). English ivy (*Hedera helix*) response to postemergence herbicides. *Journal of Environmental Horticulture*, 11(2), 45-48.
- Diljkan, M., Škondrić, S., Hasanagić, D., Žabić, M., Topalić-Trivunović, L., Jiménez-Gallardo, C. R., & Kukavica, B. (2022). The antioxidant response of *Hedera helix* leaves to seasonal temperature variations. *Botanica Serbica*, 46(2), 295-309.
- Dlugosch, K. M. (2005). Understory community changes associated with English ivy invasions in Seattle's urban parks. *Northwest Science*, 79(1), 53-60.
- Elinç, Z. K., Korkut, T., & Kaya, L. G. (2013). *Hedera helix* L. and damages in Tlos Ancient City. *International Journal of Development and Sustainability*, 2(1), 333-346.
- Eppinga, M. B., Baudena, M., Haber, E. A., Rietkerk, M., Wassen, M. J., & Santos, M. J. (2021). Spatially explicit removal strategies increase the efficiency of invasive plant species control. *Ecological Applications*, 31.

- Futch, S. H., & Graham, J. H. (2015). *Field diagnosis and management of phytophthora diseases*. University of Florida IFAS Extension.
- Green, A. F., Ramsey, T. S., & Ramsey, J. (2013). Polyploidy and invasion of English ivy (*Hedera spp.*, Araliaceae) in North American forests. *Biological Invasions*, 15(10), 2219-2241.
- Hackett, W. P., Murray, J., & Woo, H. (1991). Cellular, biochemical and molecular analysis of maturation related characteristics in *Hedera helix*. In M. R. Ahuja (Ed.), *Woody Plant Biotechnology* (pp. 77-81). Plenum Press.
- Hausen, B. M., Bröhas, J., König, W. A., Faasch, H., Hahn, H., & Bruhn, G. (1987). Allergic and irritant contact dermatitis from falcarinol and diidehsydrfalcarinol in common ivy (*Hedera helix* L.). *Contact Dermatitis*, 17, 1-9.
- Holzinger, F., & Chenot, J. F. (2011). Systematic review of clinical trials assessing the effectiveness of ivy leaf (*Hedera helix*) for acute upper respiratory tract infections. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011, 382789.
- Ingham, C. S., & Borman, M. M. (2010). English ivy (*Hedera spp.*, Araliaceae) response to goat browsing. *Invasive Plant Science and Management*, 3(2), 178-181.
- IPBES (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio, E. S. vd. (Eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- İzmirli, Ş. G. (2025). Rize'deki taş ocağı çevresinde yetişen *Hedera helix* L.'de ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 26(2), 569-579.
- Jenkins, G., & Baxter, T. (2026). Assessing the thermal dampening and blanketing effects of ivy (*Hedera helix*) on stone-built coastal heritage assets under summer conditions. *Journal of Cultural Heritage*, 77, 197-206.
- Jiménez-Hernández, H. A., Bonilla-Valencia, L., Martínez-Orea, Y., Zamora-Almazan, M. J., Espinosa-García, F. J., & Castillo-Argüero, S. (2023). Effects of *Hedera helix* L. removal on the understory early regeneration in an oak temperate forest in Mexico City. *Ecological Processes*, 12(1), 31.
- Kalkhoven, J. T. R., & van Ruremonde, R. H. A. C. (1991). Effects of woodlot isolation on the dispersion of plants with fleshy fruits. *Journal of Vegetation Science*, 2, 377-384.
- Kaur, S., Schwartz-Lazaro, L. M., Werle, R., & Cordeau, S. (2023). Editorial: Integrated weed management for reduced weed infestations in sustainable cropping systems. *Frontiers in Agronomy*.

- Lang, C., Röttger-Lüer, P., & Staiger, C. (2015). A valuable option for the treatment of respiratory diseases: Review on the clinical evidence of the ivy leaves dry extract EA 575®. *Planta Medica*, 81, 968-974.
- Lukas, K., Dötterl, S., Ayasse, M., & Burger, H. (2023). *Colletes hederæ* bees are equally attracted by visual and olfactory cues of inconspicuous *Hedera helix* flowers. *Chemoecology*, 33, 135-143.
- McElrone, A. J., Sherald, J. L., & Pooler, M. R. (1999). Identification of alternative hosts of *Xylella fastidiosa* in the Washington, D.C., area using nested polymerase chain reaction (PCR). *Journal of Arboriculture*, 25(5), 258-263.
- Melzer, B., Seidel, R., Steinbrecher, T., & Speck, T. (2012). Structure, attachment properties, and ecological importance of the attachment system of English ivy (*Hedera helix*). *Journal of Experimental Botany*, 191–201.
- Menemen, Y. (2012). Hedera. *Bizimbitkiler: Türkiye Bitkileri Veri Servisi*. Erişim Tarihi: 03 Mayıs 2026, <http://www.bizimbitkiler.org.tr>
- Metcalf, D. J. (2005). Biological flora of the british isles: *Hedera helix* L. *Journal of Ecology*, 93(3), 632–648.
- Metro Vancouver & ISCMV. (2021). *best management practices for English and Irish ivies in the Metro Vancouver Region*. Diamond Head Consulting.
- Miller, J. (1998). Exotic invasive plants in southeastern forests. *Exotic Pests of Eastern Forests*. Erişim Tarihi: 12 Mayıs 2026 Erişim adresi: <https://www.usda.gov/>
- Norman, D. J., & Ali, G. S. (2018). English ivy (*Hedera helix*): Identification and control of diseases in commercial greenhouse production and in landscapes. UF/IFAS Extension, PP339.
- Oberhuber, W., & Bauer, H. (1991). Photoinhibition of photosynthesis under natural conditions in ivy (*Hedera helix* L.) growing in an understory of deciduous trees. *Planta*, 185, 545–553.
- Okerman, A. (2000). Combating the “Ivy desert”: The invasion of *Hedera helix* (English ivy) in the Pacific Northwest United States. *Restoration and Reclamation Review*, 6(4).
- Parker, J. (1962). Relationships among cold hardiness, water-soluble protein, anthocyanins, and free sugars in *Hedera helix* L. *Plant Physiology*, 37, 809–813.
- Pearson, K. D., & Taylor, D. W. (2015). Effect of manual ivy removal on seedling recruitment in Forest Park, Portland, OR. *American Journal of Undergraduate Research*, 12(4), 31-41.
- Perring, M. P., De Frenne, P., Hertzog, L. R., Blondeel, H., Depauw, L., Maes, S. L., & Verheyen, K. (2020). Increasing liana frequency in temperate European

- forest understories is driven by ivy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(10), 550-557.
- Pop, C., Pârvu, M., Arsene, A., Pârvu, A. E., Vodnar, D., Tarcea, M., ... Vlase, L. (2017). Investigation of antioxidant and antimicrobial potential of some extracts from *Hedera helix* L. *Farmacia*, 65, 624–629.
- POWO (2026). *Hedera helix* L. Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Erişim Tarihi: 05 Mayıs 2026, <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:90723-1>
- Pyšek, P., Prach, K., & Šmilauer, P. (2000). Relating invasion success to plant traits: An analysis of the Czech alien flora. *Plant Ecology*, 150(1-2), 29-42.
- Qabaha, K., Abbadi, J., Yaghmour, R., Hijawi, T., Naser, S. A., & Al-Rimawi, F. (2024). Unveiling the antibacterial and antioxidant potential of *Hedera helix* leaf extracts: Recent findings. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 102(1), 26-32.
- Reichard, S., & White, P. (2001). Horticulture as a pathway of invasive plant introduction in the United States. *BioScience*, 51(2), 103-113.
- Rosu, S., & Sala, F. (2022). Characterization of the *Hedera helix* L. leaves geometry based on some dimensional parameters and calculated ratios. *Life Science and Sustainable Development*, 3(2), 7–16.
- Shawky, E., & El Sohafy, S. M. (2020). Untargeted and targeted chemical profiling for efficacy-directed discrimination of *Hedera helix* L. subspecies using HPTLC-image analysis and HPTLC/MS. *Industrial Crops and Products*.
- Shokry, A. A., El-Shiekh, R. A., Kamel, G., Bakr, A. F., & Ramadan, A. (2022). Bioactive phenolics fraction of *Hedera helix* L. (Common ivy leaf) standardized extract ameliorates LPS-induced acute lung injury in the mouse model through the inhibition of proinflammatory cytokines and oxidative stress. *Heliyon*, 8(5), e09477.
- Sierocinski, E., Holzinger, F., & Chenot, J. F. (2021). Ivy leaf (*Hedera helix*) for acute upper respiratory tract infections: an updated systematic review. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 77, 1113–1122.
- Soll, J. (2005). *Controlling English ivy (Hedera helix) in the Pacific Northwest*. The Nature Conservancy.
- Sternberg, T., Viles, H., Cathersides, A., & Edwards, M. (2010). Dust particulate absorption by ivy (*Hedera helix* L) on historic walls in urban environments. *Science of The Total Environment*, 409(1), 162-168.
- Sternberg, T., Viles, H., & Cathersides, A. (2011). Evaluating the role of ivy (*Hedera Helix*) in moderating wall surface microclimates and contributing to the bioprotection of historic buildings. *Building and Environment*, 46(2), 293-297.

- Storkey, J., Helps, J., Hull, R., Milne, A. E., & Metcalfe, H. (2021). Defining Integrated Weed Management: A novel conceptual framework for models. *Agronomy*, 11(4), 747.
- Strelau, M., Clements, D. R., Benner, J., & Prasad, R. (2018). The biology of Canadian weeds: 157. *Hedera helix* L. and *Hedera hibernica* (G. Kirchn.) Bean. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(5), 1005–1022.
- Swearingen, J. M., & Diedrich, S. (2006). Fact Sheet: English ivy. *Plant Conservation Alliance*.
- Tatia, R., Moldovan, L., Tarcomnicu, I., Raiciu, A. D., Gavrilă, A., Calinescu, I., & Zalaru, C. (2022). Methods of obtaining extracts from *Hedera helix* L. leaves and evaluation of the total saponins content. *Chemistry Proceedings*, 7, 56.
- Vercruysse, W., Noppen, B., Jozefczak, M., & Vandamme, D. (2023). Common ivy (*Hedera Helix* L.) as a novel green resource in an urban biorefinery concept. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 11(39), 14267-14275.
- Waggy, M. A. (2010). *Hedera helix*. In: Fire Effects Information System, U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Yang, Q., Wehtje, G., Gilliam, C. H., & McElroy, J. S. (2013). English ivy (*Hedera helix*) control with postemergence-applied herbicides. *Invasive Plant Science and Management*, 6(3), 411-415.
- Yazlık, A., & Ambarlı, D. (2022). Do non-native and dominant native species carry a similar risk of invasiveness? A case study for plants in Turkey. *NeoBiota*, 76, 53–72.
- Yazlık, A., Çöpoğlu, E., Özçelik, A., Tembelo, B., Yiğit, M., Albayrak, B., ... Aydın, V. (2019). Yabancı ot türleri ve etkileri: Düzce’de meyve fidanlık alanı örneği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(3), 389-401.
- Zotz, G., Cueni, N., & Korner, C. (2011). In situ growth stimulation of a temperate zone liana (*Hedera helix*) in elevated CO₂. *Functional Ecology*, 20(5), 763-769.



BÖLÜM 8

Dağlık Alanlarda Turizm Uygunluk ve Rota Optimizasyonu İçin Karar Destek Modeli

Volkan Deneri¹ & Şehriban Şahan²²

1. Giriş

Turizm planlaması; doğal kaynakların korunması, ziyaretçi taleplerinin karşılanması ve ekonomik kalkınmanın desteklenmesi arasında denge kurulmasını gerektiren çok disiplinli bir karar verme sürecidir. Özellikle dağlık alanlarda eğim, yükselti, arazi örtüsü, su kaynakları, ulaşım ağı ve koruma statüleri gibi çok sayıda fiziksel ve çevresel değişkenin birlikte değerlendirilmesi zorunludur. Bu nedenle turizm planlamasında mekânsal verilerin sistematik olarak analiz edilmesine olanak sağlayan karar destek yaklaşımları son yıllarda giderek daha fazla önem kazanmıştır.

Mekânsal karar verme, farklı ölçütlerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren planlama problemlerinde alternatiflerin karşılaştırılması ve en uygun çözümün belirlenmesi süreci olarak tanımlanmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), farklı kaynaklardan elde edilen mekânsal verilerin depolanması, yönetilmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesini sağlayarak bu sürecin temel araçlarından biri hâline gelmiştir. Özellikle arazi uygunluk analizleri, doğal kaynak yönetimi, korunan alan planlaması ve turizm gelişim stratejilerinde CBS tabanlı analizler yaygın olarak kullanılmaktadır (Malczewski, 1999; Malczewski, 2006).

Turizm planlamasında uygun alanların belirlenmesi yalnızca doğal çekiciliklerin değerlendirilmesine dayanmamaktadır. Erişilebilirlik, topoğrafik koşullar, çevresel hassasiyet, altyapı olanakları ve sürdürülebilir kullanım ilkeleri de karar sürecine dâhil edilmelidir. Bu nedenle çok kriterli mekânsal karar verme yöntemleri, farklı kriterlerin birlikte değerlendirilmesini mümkün kılarak planlama sürecinin daha nesnel ve şeffaf yürütülmesine katkı sağlamaktadır (Malczewski, 2006).

Turizm uygunluk analizlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri Çok Kriterli Karar Verme (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) yaklaşımıdır. Bu yaklaşım içerisinde özellikle Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), karar kriterlerinin önem derecelerinin uzman görüşlerine dayalı olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHS, karmaşık karar

¹ Uşak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Uşak, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5514-9011

²² Doç. Dr., Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Isparta, Türkiye, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8973-1480>

problemlerini hiyerarşik bir yapıya dönüştürmekte ve ikili karşılaştırmalar yardımıyla kriter ağırlıklarını hesaplamaktadır. Yöntemin en önemli avantajlarından biri, karar vericilerin değerlendirmelerinin tutarlılığını ölçebilmesidir (Saaty, 1980; Saaty, 1994).

AHS'nin CBS ile birlikte kullanılması, mekânsal uygunluk analizlerinde en yaygın uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. Bu yaklaşımda öncelikle kriter ağırlıkları AHS ile belirlenmekte, daha sonra raster tabanlı katmanlar standartlaştırılarak ağırlıklı çakıştırma (Weighted Overlay) yöntemiyle uygunluk haritaları oluşturulmaktadır. Son yirmi yılda gerçekleştirilen çok sayıda çalışma, CBS-AHS entegrasyonunun arazi kullanım planlaması, doğal kaynak yönetimi, yer seçimi ve ekoturizm planlamasında başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir (Malczewski, 2006; Feizizadeh & Blaschke, 2014).

Ekoturizm planlamasında da CBS tabanlı çok kriterli karar verme yaklaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Zabihi ve arkadaşları (2020), Fuzzy-AHS ile CBS'yi bütünleştirerek ekoturizm uygunluk analizinde fiziksel, çevresel ve sosyoekonomik faktörleri birlikte değerlendirmiş ve yöntemin karar verme sürecindeki belirsizlikleri azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Bunun yanında ulaşım ve rota planlamasında ağ analizleri, Dijkstra ve A* algoritmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle A* algoritması, maliyet fonksiyonu ile sezgisel (heuristic) arama yöntemini birlikte kullanarak en düşük maliyetli rotaların kısa sürede belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle navigasyon sistemleri, robotik uygulamalar ve coğrafi ağ analizlerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Literatür incelendiğinde turizm planlamasına yönelik çalışmaların büyük bölümünün uygun alanların belirlenmesine odaklandığı görülmektedir. Bu çalışmalarda genellikle CBS ile AHS veya bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri birlikte kullanılarak uygunluk haritaları üretilmektedir. Buna karşılık rota optimizasyonu üzerine yapılan araştırmalar ise çoğunlukla ulaşım ağlarının analizine veya turistik güzergâhların belirlenmesine odaklanmaktadır.

Dolayısıyla mevcut literatürde uygunluk analizi ile rota optimizasyonunu aynı karar destek modeli içerisinde bütünleştiren çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle AHS ile belirlenen kriter ağırlıklarının CBS ortamında uygunluk analizine dönüştürülmesi ve elde edilen uygunluk yüzeyinin A* algoritması ile rota optimizasyonunda birlikte kullanıldığı bütünleşik metodolojik yaklaşımlar henüz yeterince geliştirilmemiştir. Bu durum, turizm planlamasında yalnızca "en uygun alanın neresi olduğu" sorusunun değil, aynı zamanda "bu alana en uygun şekilde nasıl ulaşılacağı" sorusunun da birlikte ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Analitik Hiyerarşi Süreci(AHS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve A* algoritmasını bütünleştiren kavramsal bir karar destek modeli önermektir. Model kapsamında öncelikle turizm planlamasında etkili olan kriterlerin ağırlıkları AHS yöntemi ile belirlenmekte, ardından CBS ortamında mekânsal uygunluk analizi gerçekleştirilmekte ve son aşamada oluşturulan

maliyet yüzeyi üzerinde A* algoritması kullanılarak optimum ulaşım rotalarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma herhangi bir uygulama alanına ait analiz sonuçları sunmamakta; bunun yerine farklı dağlık alanlarda uygulanabilecek, yeniden üretilebilir ve geliştirilebilir bütünselik bir metodolojik çerçeve ortaya koymaktadır. Önerilen modelin ekoturizm planlaması, doğa temelli rekreasyon alanlarının planlanması, trekking rotalarının belirlenmesi ve sürdürülebilir turizm yönetimine yönelik karar destek süreçlerinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

2. Kuramsal Altyapı

2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci(AHS)

Analitik Hiyerarşi Süreci(Analytic Hierarchy Process-AHS), çok kriterli karar verme (Multi-Criteria Decision Making-MCDM) problemlerinin çözümünde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntem, 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş olup, karmaşık karar problemlerinin sistematik ve hiyerarşik bir yapı içerisinde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Saaty, 1980). AHS'nin temel amacı, karar problemini oluşturan amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkileri hiyerarşik olarak düzenlemek ve karar vericilerin yargılarını sayısal değerlere dönüştürerek en uygun alternatifi belirlemektir.

Gerçek yaşamda karşılaşılan planlama problemleri genellikle ekonomik, çevresel, sosyal ve teknik boyutları aynı anda içermektedir. Bu nedenle karar verme süreci çoğu zaman birbirleriyle çelişebilen çok sayıda kriterin birlikte değerlendirilmesini gerektirir. AHS, nicel verilerin yanı sıra uzman görüşleri gibi nitel değerlendirmelerin de analiz sürecine dahil edilmesine olanak sağlaması nedeniyle özellikle çevre yönetimi, arazi kullanım planlaması, doğal kaynak yönetimi, enerji planlaması, ulaşım, sağlık ve turizm planlaması gibi birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır (Saaty, 1990; Vaidya & Kumar, 2006).

AHS yönteminin temelini ikili karşılaştırmalar oluşturmaktadır. Karar verici, her bir kriteri diğer kriterlerle ikili olarak karşılaştırmakta ve göreceli önem düzeylerini belirlemektedir. Bu değerlendirmelerde Saaty tarafından geliştirilen 1–9 önem ölçeği kullanılmaktadır. Ölçekte 1 değeri iki kriterin eşit derecede önemli olduğunu, 3 değeri bir kriterin diğerine göre orta düzeyde daha önemli olduğunu, 5 değeri güçlü önem düzeyini, 7 değeri çok güçlü önemi ve 9 değeri ise mutlak üstünlüğü ifade etmektedir. Ara değerler (2, 4, 6 ve 8) ise karar vericinin iki temel önem düzeyi arasında tercih yapmasına olanak sağlamaktadır (Saaty, 1980).

İkili karşılaştırmalar sonucunda oluşturulan kare matrislerden özvektör (eigenvector) yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmaktadır. Elde edilen ağırlıklar, karar problemindeki her kriterin göreceli önemini göstermekte ve toplamları 1'e eşit olacak şekilde normalize edilmektedir. Böylece farklı ölçü birimlerine sahip kriterlerin ortak bir değerlendirme sistemi içerisinde analiz edilmesi mümkün olmaktadır (Saaty, 1990).

AHS yönteminin en önemli özelliklerinden biri, karar vericilerin değerlendirmelerindeki tutarlılığı ölçebilmesidir. İnsan yargılarının tamamen tutarlı olması çoğu zaman mümkün olmadığından, yöntemde Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-CI) ve Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio-CR) hesaplanmaktadır. Tutarlılık oranı aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmektedir.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Burada CI, tutarlılık indeksini; RI ise matris büyüklüğüne bağlı olarak belirlenen rassallık indeksini ifade etmektedir. Saaty (1980), CR değerinin 0,10'dan küçük olması durumunda ikili karşılaştırmaların kabul edilebilir düzeyde tutarlı olduğunu belirtmektedir. Bu özellik, AHS'yi diğer birçok çok kriterli karar verme yönteminden ayıran önemli avantajlardan biridir.

AHS'nin en güçlü yönlerinden biri, hem nicel hem de nitel kriterleri aynı karar modeli içerisinde değerlendirebilmesidir. Özellikle çevresel planlama çalışmalarında eğim, yükselti, arazi kullanımı ve yol uzaklığı gibi sayısal veriler ile uzman görüşüne dayalı çevresel hassasiyet veya görsel kalite gibi nitel kriterler birlikte analiz edilebilmektedir. Bu durum, yöntemin mekânsal planlama çalışmalarında yaygın olarak tercih edilmesini sağlamıştır (Vaidya & Kumar, 2006).

Turizm planlamasında AHS'nin kullanım alanı oldukça geniştir. Turizm alanlarının uygunluk analizleri, ekoturizm potansiyelinin belirlenmesi, rekreasyon alanlarının değerlendirilmesi, otel yer seçimi, sürdürülebilir turizm planlaması ve destinasyon yönetimi gibi birçok konuda AHS tabanlı karar destek modelleri geliştirilmiştir. Özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri ile birlikte kullanıldığında, kriter ağırlıklarının mekânsal analizlere aktarılması mümkün olmakta ve karar verme sürecinin daha nesnel biçimde yürütülmesi sağlanmaktadır (Malczewski, 2006).

Bununla birlikte AHS'nin bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Yöntem büyük ölçüde uzman değerlendirmelerine dayandığından elde edilen ağırlıklar uzmanların bilgi ve deneyimlerinden etkilenebilmektedir. Ayrıca kriter sayısının artması durumunda yapılması gereken ikili karşılaştırma sayısı önemli ölçüde yükselmekte ve karar verme süreci zaman alıcı hâle gelebilmektedir. Bununla birlikte tutarlılık analizinin yapılabilmesi ve yöntemin matematiksel olarak güçlü bir temele dayanması nedeniyle AHS, günümüzde en güvenilir çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Saaty, 1990; Vaidya & Kumar, 2006).

Bu çalışmada AHS, dağlık alanlarda turizm planlamasını etkileyen kriterlerin görece önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Uzman görüşleri doğrultusunda oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi yardımıyla kriter ağırlıkları hesaplanacak ve elde edilen değerler Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında gerçekleştirilecek mekânsal uygunluk analizine aktarılacaktır. Böylece farklı fiziksel ve çevresel kriterlerin karar verme sürecine katkısı nesnel bir biçimde değerlendirilebilecektir.

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), konuma bağlı verilerin toplanması, depolanması, yönetilmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesini sağlayan bilgisayar tabanlı bilgi sistemleri olarak tanımlanmaktadır (Burrough & McDonnell, 1998; Longley et al., 2015). CBS'nin temel amacı, mekânsal veriler ile bu verilere ait öznitelik bilgilerini birlikte değerlendirerek karar verme süreçlerine bilimsel destek sağlamaktır. Günümüzde çevre yönetimi, şehir ve bölge planlama, ormancılık, tarım, afet yönetimi, ulaşım ve turizm planlaması gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

CBS'nin temel bileşenleri donanım, yazılım, veri, yöntem ve kullanıcıdan oluşmaktadır. Bu bileşenlerin birlikte çalışması sayesinde farklı kaynaklardan elde edilen coğrafi veriler ortak bir veri tabanı içerisinde yönetilebilmekte ve karmaşık mekânsal analizler gerçekleştirilebilmektedir (Longley et al., 2015). Özellikle son yıllarda uzaktan algılama teknolojileri, küresel konumlama sistemleri (GPS) ve insansız hava araçlarından elde edilen yüksek çözünürlüklü verilerin yaygınlaşmasıyla CBS'nin uygulama alanları önemli ölçüde genişlemiştir.

CBS ortamında veriler genel olarak raster ve vektör olmak üzere iki temel veri modeli ile temsil edilmektedir. Raster veri modeli, çalışma alanını eşit büyüklükte hücrelere ayırarak her hücreye belirli bir değer atanması esasına dayanmaktadır. Sürekli değişkenlerin analizinde kullanılan bu model; yükselti, eğim, bakı, sıcaklık ve yağış gibi çevresel değişkenlerin değerlendirilmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Vektör veri modeli ise nokta, çizgi ve poligon geometrileri kullanılarak ayrık mekânsal nesnelerin temsil edilmesine olanak tanımaktadır. Yol ağları, akarsu sistemleri, yerleşim alanları ve korunan alan sınırları gibi konumsal veriler çoğunlukla vektör formatında depolanmaktadır (Burrough & McDonnell, 1998).

CBS'nin en önemli avantajlarından biri, farklı kaynaklardan elde edilen mekânsal verilerin ortak bir koordinat sisteminde bütünleştirilmesine olanak sağlamasıdır. Böylece topoğrafya, jeoloji, hidroloji, arazi kullanımı, bitki örtüsü ve ulaşım altyapısı gibi farklı veri katmanları aynı analiz ortamında birlikte değerlendirilebilmektedir. Bu özellik, özellikle çok kriterli karar verme problemlerinde CBS'yi vazgeçilmez bir araç hâline getirmiştir (Malczewski, 1999).

Mekânsal analizler CBS'nin en güçlü yönlerinden birini oluşturmaktadır. Tampon (buffer) analizleri, bindirme (overlay) işlemleri, ağ (network) analizleri, görüşnurlük (viewshed) analizleri, eğim ve bakı analizleri ile maliyet yüzeyi analizleri planlama çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu analizler sayesinde doğal ve yapay çevreye ilişkin çok sayıda değişken aynı karar verme sürecinde değerlendirilebilmektedir (Longley et al., 2015).

Çok kriterli karar verme çalışmalarında CBS, farklı ölçü birimlerine sahip verilerin ortak bir değerlendirme sistemine dönüştürülmesini mümkün kılmaktadır. Özellikle raster tabanlı uygunluk analizlerinde farklı kriter

katmanları standartlaştırılarak ortak bir uygunluk ölçeğine dönüştürülmekte ve daha sonra kriter ağırlıkları kullanılarak mekânsal uygunluk haritaları oluşturulmaktadır. Bu yaklaşım, arazi uygunluk analizleri ve yer seçimi çalışmalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır (Malczewski, 2006).

Turizm planlamasında CBS'nin kullanım alanları son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Doğal ve kültürel turizm kaynaklarının envanterinin oluşturulması, turizm potansiyelinin belirlenmesi, rekreasyon alanlarının planlanması, trekking ve bisiklet rotalarının tasarlanması, korunan alan yönetimi ve ziyaretçi yönetimi gibi birçok konuda CBS tabanlı analizlerden yararlanılmaktadır. Özellikle ekoturizm planlamasında çevresel hassasiyetlerin dikkate alınması ve koruma-kullanma dengesinin sağlanabilmesi açısından mekânsal analizler önemli avantajlar sunmaktadır (Malczewski, 2004).

Son yıllarda CBS'nin çok kriterli karar verme yöntemleriyle birlikte kullanılması karar destek sistemlerinin gelişmesine önemli katkılar sağlamıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci(AHS), Bulanık Mantık (Fuzzy Logic), TOPSIS ve PROMETHEE gibi yöntemlerden elde edilen kriter ağırlıkları CBS ortamında mekânsal analizlere aktarılabilmekte ve böylece yalnızca konumsal ilişkiler değil, karar vericilerin öncelikleri de analiz sürecine dahil edilebilmektedir (Malczewski, 2006). Bu entegrasyon, özellikle doğal kaynak yönetimi ve sürdürülebilir turizm planlamasında daha güvenilir ve objektif kararların alınmasına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada CBS, AHS yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıklarının mekânsal analizlere aktarılmasını sağlayan temel platform olarak kullanılmaktadır. Farklı çevresel kriterlere ait raster katmanları ortak bir koordinat sisteminde değerlendirilerek uygunluk analizleri gerçekleştirilecek, daha sonra oluşturulan maliyet yüzeyi A* algoritmasının girdi verisini oluşturacaktır. Böylece CBS, önerilen karar destek modelinde hem mekânsal veri yönetimini hem de analiz sürecinin bütünlük biçimde yürütülmesini sağlayan temel bileşen görevini üstlenmektedir.

2.3. A* Algoritması

A* (A-star) algoritması, en kısa veya en düşük maliyetli yolun belirlenmesi amacıyla geliştirilen sezgisel (heuristic) bir arama algoritmasıdır. Hart, Nilsson ve Raphael (1968) tarafından önerilen algoritma, grafik teorisi temelli en başarılı yol bulma yöntemlerinden biri olarak kabul edilmekte ve günümüzde coğrafi bilgi sistemleri, robotik, navigasyon sistemleri, oyun geliştirme, otonom araçlar ve lojistik planlama gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Hart et al., 1968).

A* algoritması, başlangıç düğümü ile hedef düğüm arasında en düşük maliyetli rotayı belirlemek amacıyla gerçek maliyet ile tahmini maliyeti birlikte değerlendirmektedir. Algoritmanın temel çalışma prensibi aşağıdaki değerlendirme fonksiyonuna dayanmaktadır.

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

Burada;

- $g(n)$, başlangıç noktasından mevcut düğüme kadar oluşan gerçek maliyeti,
- $h(n)$, mevcut düğümden hedef düğüme ulaşmak için hesaplanan tahmini maliyeti (heuristic),
- $f(n)$ ise toplam tahmini maliyeti ifade etmektedir.

Algoritma her adımda $f(n)$ değeri en düşük olan düğümü seçerek arama işlemini sürdürmektedir. Böylece yalnızca mevcut maliyet değil, hedefe olan tahmini uzaklık da dikkate alındığından gereksiz düğümlerin incelenmesi büyük ölçüde azaltılmaktadır (Russell & Norvig, 2021).

A* algoritmasının başarısı büyük ölçüde kullanılan sezgisel fonksiyona bağlıdır. Sezgisel fonksiyon, hedefe olan yaklaşık maliyeti tahmin etmekte ve arama sürecini yönlendirmektedir. Düzlemsel problemlerde en yaygın kullanılan sezgisel fonksiyonlar Manhattan uzaklığı, Öklid uzaklığı ve diyagonal uzaklık hesaplamalarıdır. Sezgisel fonksiyonun gerçek maliyeti aşmaması (admissible heuristic) durumunda A* algoritması en uygun çözümü garanti etmektedir (Hart et al., 1968).

Dijkstra algoritması ile karşılaştırıldığında A* algoritmasının en önemli avantajı, arama işlemini hedef odaklı yürütmesidir. Dijkstra algoritması başlangıç noktasından itibaren tüm olası düğümleri sistematik olarak incelemekte iken, A* algoritması sezgisel fonksiyon yardımıyla hedefe yönelerek daha az sayıda düğüm üzerinde işlem gerçekleştirmektedir. Bu nedenle özellikle büyük veri kümelerinde ve geniş mekânsal ağlarda daha yüksek hesaplama performansı sağlayabilmektedir (Russell & Norvig, 2021).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde A* algoritması yalnızca yol ağları üzerinde değil, raster tabanlı maliyet yüzeyleri üzerinde de uygulanabilmektedir. Bu yaklaşımda çalışma alanındaki her hücre belirli bir geçiş maliyetini temsil etmekte ve algoritma başlangıç ile hedef noktaları arasında toplam maliyeti en düşük olan güzergâhı belirlemektedir. Hücre maliyetleri oluşturulurken eğim, arazi örtüsü, yükseklik, su yüzeyleri, korunan alanlar veya ulaşım altyapısı gibi birçok çevresel değişken birlikte değerlendirilebilmektedir. Böylece algoritma yalnızca en kısa mesafeyi değil, aynı zamanda en düşük toplam geçiş maliyetine sahip rotayı belirlemektedir.

Turizm planlamasında rota optimizasyonu yalnızca mesafenin minimize edilmesi anlamına gelmemektedir. Özellikle dağlık alanlarda yürüyüş rotalarının belirlenmesinde eğim, arazi yapısı, bitki örtüsü, su kaynakları, manzara noktaları ve koruma statüsü gibi birçok çevresel faktör ziyaretçi deneyimini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle maliyet yüzeylerinin oluşturulmasında yalnızca fiziksel uzaklık değil, çevresel uygunluk kriterlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. CBS ortamında oluşturulan maliyet rasterlerinin A* algoritması ile birlikte kullanılması, sürdürülebilir turizm planlaması açısından daha gerçekçi rota alternatiflerinin oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Son yıllarda CBS tabanlı karar destek sistemlerinde A* algoritmasının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle afet yönetimi, acil durum planlaması, lojistik optimizasyonu, insansız hava aracı rotalarının belirlenmesi ve rekreasyon alanlarının planlanması gibi çalışmalarda algoritmanın başarılı sonuçlar verdiği bildirilmektedir. Bunun temel nedeni, algoritmanın hem yüksek hesaplama performansına sahip olması hem de farklı maliyet kriterlerini aynı analiz süreci içerisinde değerlendirebilmesidir.

Bu çalışmada A* algoritması, AHS yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları ve CBS ortamında oluşturulan maliyet yüzeyi kullanılarak optimum turizm rotalarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Öncelikle çevresel kriterlerden oluşturulan uygunluk haritası maliyet yüzeyine dönüştürülecek, daha sonra başlangıç ve hedef noktaları arasında toplam geçiş maliyeti en düşük olan rota A* algoritması yardımıyla belirlenecektir. Böylece önerilen karar destek modeli yalnızca turizm açısından en uygun alanları belirlemekle kalmayacak, aynı zamanda bu alanlara en uygun ulaşım güzergâhlarının planlanmasına da olanak sağlayacaktır.

2.4. Turizm Planlamasında Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları

Turizm planlaması; doğal kaynakların korunması, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik kalkınma ve ziyaretçi memnuniyeti gibi birbiriyle ilişkili çok sayıda kriterin birlikte değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir karar verme sürecidir. Özellikle dağlık alanlarda gerçekleştirilen turizm planlamalarında topoğrafik yapı, arazi kullanımı, biyolojik çeşitlilik, ulaşım olanakları, iklim özellikleri ve koruma statüleri gibi birçok fiziksel ve çevresel değişken aynı anda dikkate alınmalıdır. Bu nedenle geleneksel tek ölçütlü değerlendirme yöntemleri, turizm planlama problemlerinin çözümünde çoğu zaman yetersiz kalmaktadır (Malczewski, 1999).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, farklı ölçü birimlerine sahip kriterlerin aynı karar modeli içerisinde değerlendirilmesine olanak sağlayan sistematik yaklaşımlardır. Bu yöntemler sayesinde karar vericilerin öncelikleri ile mekânsal veriler birlikte analiz edilerek daha objektif ve şeffaf planlama süreçleri oluşturulabilmektedir. Son yıllarda özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri ile bütünleşik kullanılan ÇKKV yöntemleri, arazi uygunluk analizleri ve turizm planlamasında yaygın biçimde uygulanmaktadır (Malczewski, 2006).

Literatürde turizm planlamasında kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri arasında Analitik Hiyerarşi Süreci(AHS), Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (Fuzzy AHS), Analitik Ağ Süreci (ANP), TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE ve VIKOR gibi yöntemler öne çıkmaktadır. Bu yöntemlerin ortak amacı, farklı kriterlerin göreceli önemlerini belirleyerek alternatiflerin karşılaştırılmasını sağlamaktır. Bununla birlikte yöntemler; kriter ağırlıklarının belirlenmesi, belirsizliklerin değerlendirilmesi ve alternatiflerin sıralanması bakımından birbirlerinden farklılık göstermektedir (Vaidya & Kumar, 2006).

Turizm uygunluk analizlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri AHS'dir. Bunun temel nedeni, yöntemin uygulanmasının kolay olması, uzman

görüşlerini doğrudan değerlendirme sürecine dahil edebilmesi ve karar vericilerin tutarlılık düzeyini ölçebilmesidir. AHS'nin CBS ile birlikte kullanılması sonucunda elde edilen mekânsal uygunluk haritaları; ekoturizm alanlarının belirlenmesi, rekreasyon alanlarının planlanması, kamp alanı seçimi ve doğa turizmi potansiyelinin değerlendirilmesi gibi birçok çalışmada başarılı sonuçlar vermiştir (Saaty, 1980; Malczewski, 2006).

Belirsizliklerin yüksek olduğu planlama problemlerinde ise Bulanık Mantık temelli yöntemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle Fuzzy AHS yaklaşımı, uzman değerlendirmelerindeki belirsizlikleri ve sözel ifadeleri matematiksel modele aktarabilmesi nedeniyle ekoturizm uygunluk analizlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Zabihi ve arkadaşları (2020), CBS ile Fuzzy AHS yöntemini bütünleştirerek ekoturizm uygunluk analizinde çevresel, fiziksel ve sosyoekonomik kriterleri birlikte değerlendirmiş ve yöntemin karar verme sürecindeki belirsizlikleri azaltmada etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Bununla birlikte mevcut çalışmaların önemli bir bölümü, turizm açısından uygun alanların belirlenmesi üzerine odaklanmaktadır. Bu çalışmalarda analiz süreci çoğunlukla uygunluk haritasının üretilmesi ile sona ermektedir. Ancak planlama açısından yalnızca uygun alanların belirlenmesi yeterli değildir. Belirlenen alanlara erişimin nasıl sağlanacağı, ziyaretçilerin hangi güzergâhları kullanacağı ve bu güzergâhların çevresel etkilerinin nasıl yönetileceği de planlama sürecinin önemli bileşenleri arasında yer almaktadır.

Son yıllarda ağ analizleri ve rota optimizasyonu üzerine gerçekleştirilen çalışmalar bu eksikliğin giderilmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle Dijkstra ve A* algoritmaları; en kısa, en hızlı veya en düşük maliyetli güzergâhların belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmaların büyük çoğunluğu ulaşım ağları üzerinde yoğunlaşmakta, turizm uygunluk analizleri ile rota optimizasyonunu aynı karar destek sistemi içerisinde bütünleştirmemektedir.

Turizm planlamasında mekânsal uygunluk analizi ile rota optimizasyonunun birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir planlama anlayışı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Uygunluk haritalarından elde edilen bilgiler maliyet yüzeylerinin oluşturulmasında kullanılabilir; oluşturulan maliyet yüzeyleri ise rota optimizasyon algoritmalarına doğrudan girdi sağlayabilir. Böylece yalnızca en kısa güzergâhlar değil, aynı zamanda çevresel etkileri en düşük, güvenliği yüksek ve ziyaretçi deneyimini artıran alternatif rotalar belirlenebilir.

Bu çalışma, mevcut literatürde yaygın olarak kullanılan AHS tabanlı kriter ağırlıklandırmasını, CBS tabanlı mekânsal uygunluk analizini ve A* algoritması ile gerçekleştirilen rota optimizasyonunu tek bir karar destek modeli içerisinde bütünleştirmeyi önermektedir. Böylece önerilen model, turizm planlamasında yalnızca uygun alanların belirlenmesini değil, aynı zamanda bu alanlara erişimin de çevresel ve mekânsal kriterler dikkate alınarak planlanmasını hedeflemektedir. Bu yönüyle çalışma, çok kriterli karar verme yaklaşımlarının turizm planlamasındaki kullanımına bütünleşik bir bakış açısı sunmaktadır.

3. Önerilen Karar Destek Modeli

3.1. Modelin Genel Yapısı

Bu çalışmada önerilen karar destek modeli, dağlık alanlarda turizm uygunluk analizi ile rota optimizasyonunu bütünleşik bir yaklaşımla ele almak üzere tasarlanmıştır. Modelin temel amacı, yalnızca turizm açısından uygun alanların belirlenmesi değil, aynı zamanda bu alanlara ulaşımı sağlayacak optimum güzergâhların da mekânsal ve çevresel kriterler dikkate alınarak oluşturulmasıdır. Bu nedenle model, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve A* algoritmasının ardışık ve birbirini besleyen bir iş akışı içerisinde kullanılmasına dayanmaktadır.

Model üç temel bileşenden oluşmaktadır. Birinci bileşen, turizm planlamasında etkili olan kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin göreceli önem derecelerinin AHS yöntemi ile hesaplanmasıdır. Bu aşamada uzman görüşleri kullanılarak kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmakta ve her kriter için ağırlık değeri elde edilmektedir. Böylece karar verme sürecinde hangi çevresel ve mekânsal kriterlerin daha belirleyici olduğu sayısal olarak ortaya konulmaktadır.

İkinci bileşen, CBS tabanlı uygunluk analizidir. Bu aşamada eğim, yükselti, bakı, arazi kullanımı, yol yakınlığı, su kaynaklarına yakınlık, korunan alanlar ve mevcut turizm odakları gibi mekânsal veriler CBS ortamında işlenmektedir. Farklı ölçü birimlerine sahip kriterler standart bir uygunluk ölçeğine dönüştürülmekte ve AHS sonucunda elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak ağırlıklı çakıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sonucunda çalışma alanına ait turizm uygunluk haritası oluşturulmaktadır.

Üçüncü bileşen ise rota optimizasyonudur. CBS ortamında oluşturulan uygunluk haritası ve ilgili maliyet katmanları kullanılarak bir maliyet yüzeyi üretilmektedir. Bu maliyet yüzeyi, A* algoritmasının temel girdisini oluşturmaktadır. A* algoritması, belirlenen başlangıç ve hedef noktaları arasında toplam geçiş maliyeti en düşük olan rotayı hesaplamaktadır. Böylece model, yalnızca en kısa mesafeyi değil, çevresel uygunluk, topoğrafik koşullar ve erişilebilirlik gibi unsurları dikkate alan optimum rotaları üretmektedir. Önerilen modelin genel iş akışı Şekil.1 de özetlenmiştir.

Şekil.1 Öneri Model İş Akışı



Bu yapı sayesinde turizm planlamasında iki temel soru aynı karar destek süreci içerisinde ele alınmaktadır: “Turizm açısından en uygun alanlar nerelerdir?” ve “Bu alanlara ulaşmak için en uygun rotalar hangileridir?” Böylece model, klasik uygunluk analizlerinden farklı olarak mekânsal uygunluk ile erişilebilirliği aynı analitik çerçevede bütünleştirmektedir.

Önerilen karar destek modeli, belirli bir dağlık alana özgü olmaktan ziyade farklı coğrafi alanlara uyarlanabilecek esnek bir metodolojik çerçeve niteliğindedir. Kullanılacak kriterler, veri setleri ve ağırlık değerleri çalışma alanının fiziksel, ekolojik ve turistik özelliklerine göre değiştirilebilir. Bu nedenle model; ekoturizm planlaması, trekking rotalarının belirlenmesi, kamp alanı seçimi, doğa temelli rekreasyon alanlarının planlanması ve koruma-kullanma dengesi gözetilen turizm stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılabilecek genel bir karar destek yaklaşımı sunmaktadır.

3.2. Girdi Verilerinin Hazırlanması

Önerilen karar destek modelinin ilk aşamasını analizlerde kullanılacak mekânsal verilerin temin edilmesi ve analiz için uygun formata dönüştürülmesi oluşturmaktadır. Modelin başarısı büyük ölçüde kullanılan verilerin doğruluğuna, güncelliğine ve mekânsal çözünürlüğüne bağlıdır. Bu nedenle farklı kurumlardan elde edilen verilerin ortak bir koordinat sisteminde hazırlanması ve analiz öncesinde kalite kontrollerinin yapılması gerekmektedir (Longley et al., 2015).

Dağlık alanlarda gerçekleştirilecek turizm uygunluk analizlerinde kullanılacak veriler genel olarak topoğrafik, çevresel ve altyapıya ilişkin veriler olmak üzere üç grupta değerlendirilebilir. Topoğrafik veriler çalışma alanının fiziksel özelliklerini tanımlarken, çevresel veriler doğal kaynakların korunmasına ilişkin bilgileri, altyapı verileri ise erişilebilirlik ve ulaşım olanaklarını ortaya koymaktadır. Model kapsamında kullanılacak temel veri katmanları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Önerilen karar destek modelinde kullanılacak temel girdi verileri

Veri Katmanı	Veri Formatı	Olası Veri Kaynağı	CBS İşlemi	Modelde Kullanım Amacı
Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)	Raster	Copernicus DEM, SRTM, ASTER GDEM	Slope, Aspect, Elevation üretimi	Topografik analizler ve maliyet yüzeyinin oluşturulması
Yükselti	Raster	DEM'den türetilir	Reclassify	Turizm uygunluk analizi
Eğim	Raster	DEM'den türetilir	Reclassify	Turizm uygunluk analizi ve maliyet hesaplaması
Bakı	Raster	DEM'den türetilir	Reclassify	Mikroklimatik uygunluk değerlendirmesi
Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü	Raster	CORINE Land Cover, ESA WorldCover	Reclassify	Turizm uygunluk analizi ve maliyet yüzeyi
Yol Ağı	Vektör	OpenStreetMap, Ulusal CBS Verileri	Euclidean Distance	Erişilebilirlik analizi ve rota optimizasyonu
Mevcut Yürüyüş Parkurları	Vektör	Yerel yönetimler, OpenStreetMap	Network hazırlığı	Rota optimizasyonu
Akarsular ve Göller	Vektör	OpenStreetMap, Ulusal Hidrografi Verileri	Euclidean Distance	Su kaynaklarına yakınlık analizi
Korunan Alanlar	Vektör	WDPA, Tarım ve Orman Bakanlığı	Rasterize, Buffer	Koruma-kullanma dengesi ve kısıt alanlarının belirlenmesi
Yerleşim Alanları	Vektör	Ulusal CBS Verileri	Distance Analysis	Hizmetlere erişilebilirlik
Turizm Çekim Noktaları	Nokta	Kültür ve Turizm Bakanlığı, Yerel Envanterler	Nokta katmanı oluşturma	Başlangıç ve hedef noktalarının belirlenmesi
Kamp Alanları / Rekreasyon Alanları	Nokta / Poligon	Yerel Yönetimler, OpenStreetMap	Nokta veya Poligon Analizi	Turizm odaklarının belirlenmesi

Kullanılacak veri katmanları çalışma alanının özelliklerine göre artırılabilir veya azaltılabilir. Tüm mekânsal veriler analiz öncesinde ortak koordinat sistemine dönüştürülmeli, çalışma alanı sınırlarına göre kesilmeli ve ortak hücre boyutuna sahip raster veri yapısına uygun hale getirilmelidir. Modelde kullanılan veri katmanları yalnızca uygunluk analizine değil, aynı zamanda kriter ağırlıklandırma, maliyet yüzeyi oluşturma ve rota optimizasyonu aşamalarına da girdi sağlamaktadır. Bu nedenle her bir veri katmanının modelin hangi aşamasında kullanıldığının açık biçimde ortaya konulması önemlidir. Veri katmanlarının AHS, CBS, maliyet yüzeyi ve A* algoritması aşamalarındaki kullanım durumu Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Veri katmanlarının önerilen karar destek modelindeki kullanım alanları

Veri Katmanı	AHS (Kriter Ağırlıklandırma)	CBS (Uygunluk Analizi)	Maliyet Yüzeyi	A* (Rota Optimizasyonu)
Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)	✓	✓	✓	✓
Yükselti	✓	✓	✓	✓
Eğim	✓	✓	✓	✓
Bakı	✓	✓		
Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü	✓	✓	✓	✓
Yol Ağı	✓	✓	✓	✓
Mevcut Yürüyüş Parkurları		✓	✓	✓
Akarsular ve Göller	✓	✓	✓	
Korunan Alanlar	✓	✓	✓	✓
Yerleşim Alanları	✓	✓		
Turizm Çekim Noktaları		✓		✓
Kamp / Rekreasyon Alanları		✓		✓
✓ işareti ilgili veri katmanının modelin ilgili aşamasında doğrudan kullanıldığını göstermektedir.				

Tablo 2’de görüldüğü üzere bazı veri katmanları modelin yalnızca belirli aşamalarında kullanılırken, DEM, yükselti, eğim, arazi kullanımı, yol ağı ve korunan alanlar gibi temel katmanlar birden fazla aşamada işlev görmektedir. Bu durum, önerilen modelin yalnızca uygunluk analizi üretmeye değil, aynı zamanda

bu uygunluk bilgisini maliyet yüzeyi ve rota optimizasyonu süreçlerine aktarmaya yönelik bütünselik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Topografik analizlerin temelini Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model-DEM) oluşturmaktadır. DEM verileri kullanılarak yükselti, eğim ve bakı katmanları üretilebilmektedir. Özellikle dağlık alanlarda eğim ve yükselti, hem ziyaretçi güvenliği hem de ulaşılabilirlik açısından en önemli belirleyiciler arasında yer almaktadır. Bakı ise güneşlenme süresi, kar tutma durumu, bitki örtüsü ve mikroiklim koşullarını etkileyerek rekreasyonel uygunluk üzerinde dolaylı bir rol oynamaktadır (Burrough & McDonnell, 1998).

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü verileri, turizm faaliyetlerinin gerçekleştirilebileceği alanların belirlenmesinde önemli bir veri kaynağıdır. Ormanlar, çayırar, kayalık alanlar, tarım alanları ve yerleşim bölgeleri farklı rekreasyon potansiyellerine sahip olduğundan bu katman uygunluk analizinin temel bileşenlerinden biridir. Benzer şekilde korunan alan sınırları da sürdürülebilir turizm planlamasında dikkate alınması gereken önemli kısıtlayıcı unsurlar arasında yer almaktadır.

Turizm planlamasında erişilebilirlik önemli değerlendirme ölçütlerinden biridir. Bu nedenle yol ağı, mevcut yürüyüş yolları ve ulaşım altyapısına ilişkin veriler analiz sürecine dahil edilmektedir. Yol ağı verileri hem uygunluk analizinde yol yakınlığı kriterinin oluşturulmasında hem de daha sonraki aşamada gerçekleştirilecek rota optimizasyonunda kullanılmaktadır.

Su kaynakları, kamp alanları, seyir noktaları, yaylalar ve mevcut turizm odakları gibi doğal ve kültürel çekicilik unsurları da turizm planlamasında önemli veri katmanları arasında yer almaktadır. Bu veriler hem uygunluk analizinde değerlendirme kriteri olarak kullanılabilen hem de A* algoritmasının başlangıç veya hedef noktalarının belirlenmesinde referans oluşturabilmektedir.

Farklı kurumlardan elde edilen mekânsal veriler çoğu zaman farklı koordinat sistemleri, veri modelleri ve mekânsal çözünürlüklere sahip olmaktadır. Bu nedenle analizlere başlamadan önce tüm veri katmanlarının ortak koordinat sistemine dönüştürülmesi, çalışma alanı sınırlarına göre kesilmesi, gerekli durumlarda raster formata çevrilmesi ve ortak hücre boyutuna sahip olacak şekilde yeniden örneklenmesi gerekmektedir. Bu işlemler, analiz sonuçlarının doğruluğunu ve katmanlar arasındaki mekânsal uyumu artırmaktadır (Longley et al., 2015).

Hazırlanan veri katmanları, modelin sonraki aşamalarında AHS yöntemiyle hesaplanan kriter ağırlıkları ile birlikte değerlendirilecek ve CBS tabanlı mekânsal uygunluk analizinin temel girdilerini oluşturacaktır. Böylece farklı veri kaynaklarından elde edilen bilgiler ortak bir analiz altyapısında birleştirilerek karar destek modelinin ilk aşaması tamamlanmış olacaktır.

3.3. AHS ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Önerilen karar destek modelinde, turizm uygunluk analizinde kullanılacak kriterlerin göreceli önem derecelerinin belirlenmesi amacıyla Analitik Hiyerarşi

Süreci(AHS) yöntemi kullanılmaktadır. AHS, çok kriterli karar verme problemlerinde karar vericilerin uzmanlık ve deneyimlerini sistematik bir yapıya dönüştürerek kriter ağırlıklarının belirlenmesine olanak sağlayan güvenilir yöntemlerden biridir (Saaty, 1980).

Modelin ilk aşamasında çalışma alanının özellikleri dikkate alınarak turizm planlamasını etkileyen kriterler belirlenmektedir. Kullanılacak kriterler çalışma alanının özelliklerine bağlı olarak değişebilmekle birlikte, dağlık alanlara yönelik turizm planlamasında yükselti, eğim, bakı, arazi kullanımı, yol ağına yakınlık, su kaynaklarına yakınlık ve korunan alanlar temel değerlendirme kriterleri arasında yer almaktadır.

Belirlenen kriterler hiyerarşik yapı içerisinde organize edilmektedir. AHS hiyerarşisi genel olarak üç seviyeden oluşmaktadır. İlk seviyede karar problemi (turizm uygunluğunun belirlenmesi), ikinci seviyede değerlendirme kriterleri, üçüncü seviyede ise analiz edilecek mekânsal alternatifler yer almaktadır. Bu yapı, karmaşık karar problemlerinin daha sistematik biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır (Saaty, 1990).

Hiyerarşik yapının oluşturulmasının ardından kriterler ikili karşılaştırma yöntemi ile değerlendirilmektedir. Bu aşamada her kriter diğer tüm kriterlerle Saaty'nin 1–9 önem ölçeği kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Böylece karar vericilerin göreceli önem değerlendirmeleri kare biçimindeki ikili karşılaştırma matrisine aktarılmaktadır.

İkili karşılaştırma matrisi aşağıdaki genel formda ifade edilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Burada a_{ij} , i kriterinin j kriterine göre göreceli önemini ifade etmektedir. Matris karşılıklı (reciprocal) özellik göstermekte olup, köşegen elemanları her zaman 1 değerine eşittir (Saaty, 1980).

İkili karşılaştırmalar tamamlandıktan sonra kriter ağırlıkları özvektör yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Elde edilen ağırlıklar normalize edilerek her kriter için göreceli önem değeri belirlenmektedir. Hesaplanan ağırlıkların toplamı 1'e eşit olmaktadır. Bu ağırlıklar daha sonraki aşamada CBS ortamında gerçekleştirilecek ağırlıklı uygunluk analizinin temel girdisini oluşturmaktadır.

AHS yönteminin önemli avantajlarından biri uzman değerlendirmelerinin tutarlılığının ölçülebilmesidir. Bu amaçla öncelikle Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-CI), ardından Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio-CR) hesaplanmaktadır.

Tutarlılık indeksi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Burada;

- $\lambda_{\max}$: maksimum özdeğeri,
- n : kriter sayısını ifade etmektedir.

Daha sonra Tutarlılık Oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

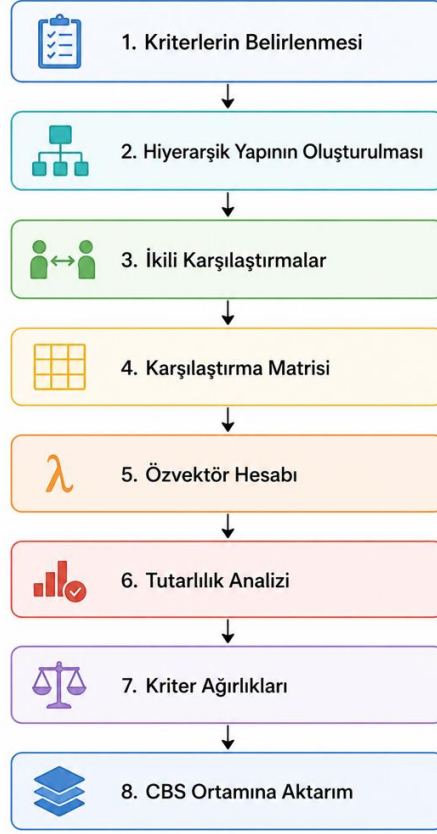
$CR < 0.10$ ise tutarlılık kabul edilir.

Burada RI, Saaty tarafından geliştirilen rassallık indeksini göstermektedir. CR değerinin 0,10'dan küçük olması, uzman değerlendirmelerinin kabul edilebilir düzeyde tutarlı olduğunu göstermektedir (Saaty, 1980).

Bu çalışmada önerilen model, bir veya birden fazla uzmanın değerlendirmelerini destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Birden fazla uzman görüşünün kullanılması durumunda ikili karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalama yöntemi ile birleştirilmesi önerilmektedir. Böylece farklı uzman görüşleri tek bir grup karar matrisinde bir araya getirilebilmektedir (Saaty, 2008).

AHS analizinin çıktısı, turizm planlamasında kullanılacak kriterlerin normalize edilmiş ağırlık değerleridir. Bu ağırlıklar doğrudan CBS tabanlı uygunluk analizine aktarılmakta ve her kriter katmanının karar verme sürecine katkısını belirlemektedir. Böylece uzman görüşleri ile mekânsal analizler bütünleştirilerek karar destek modelinin ikinci aşamasına geçilmektedir. Önerilen AHS iş akışı Şekil 1'de özetlenmiştir.

Şekil.2. AHS iş akışı



3.4. CBS Tabanlı Uygunluk Analizi

Önerilen karar destek modelinin ikinci aşamasını Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı mekânsal uygunluk analizi oluşturmaktadır. Bu aşamada amaç, AHS yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıklarını mekânsal veri katmanlarına aktararak turizm açısından uygun alanların belirlenmesidir. CBS ortamında gerçekleştirilen analizler sayesinde farklı veri katmanları ortak bir değerlendirme sistemi içerisinde bütünleştirilmekte ve çalışma alanının turizm potansiyelini gösteren uygunluk haritası elde edilmektedir (Malczewski, 1999).

Mekânsal uygunluk analizine başlanmadan önce tüm veri katmanlarının analiz için ortak bir veri yapısına dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda farklı kaynaklardan elde edilen raster ve vektör veriler ortak koordinat sistemine dönüştürülmekte, çalışma alanı sınırlarına göre kesilmekte ve aynı hücre boyutuna sahip raster veri yapısına getirilmektedir. Böylece analiz sürecinde katmanlar arasında mekânsal uyumsuzlukların oluşması önlenmektedir (Longley et al., 2015).

Analizde kullanılacak kriter katmanları farklı ölçü birimlerine sahip olduğundan doğrudan birlikte değerlendirilmeleri mümkün değildir. Örneğin

eğim derece (%), yükselti metre (m), yol yakınlığı metre (m) ve arazi kullanımı ise kategorik veri yapısına sahiptir. Bu nedenle tüm kriterlerin ortak bir değerlendirme ölçeğine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem yeniden sınıflandırma (Reclassify) yöntemi ile gerçekleştirilmektedir.

Yeniden sınıflandırma işlemi sırasında her kriter katmanını belirlenen eşik değerlere göre uygunluk sınıflarına ayrılmaktadır. Çalışmada önerilen modelde tüm kriterler 1–5 arasında değişen ortak bir uygunluk ölçeğine dönüştürülmektedir. Bu ölçekte 1 değeri turizm açısından en düşük uygunluğu, 5 değeri ise en yüksek uygunluğu temsil etmektedir. Böylece farklı ölçü birimlerine sahip tüm veri katmanları ortak bir değerlendirme sistemine aktarılmaktadır.

Yeniden sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra AHS yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları raster katmanlarına uygulanmaktadır. Bu amaçla CBS ortamında Ağırlıklı Çakıştırma (Weighted Overlay) yöntemi kullanılmaktadır. Weighted Overlay analizi, her kriter katmanını kendi ağırlık katsayısı ile çarparak tüm katmanları tek bir uygunluk rasteri içerisinde birleştirmektedir (Malczewski, 2006).

Önerilen modelde ağırlıklı uygunluk değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$S = \sum_{i=1}^m w_i \cdot x_i$$

Burada;

- S: toplam uygunluk değeri,
- w_i : AHS yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlığı,
- x_i : yeniden sınıflandırılmış kriter değeri,
- m: kriter sayısını ifade etmektedir.

Bu işlem sonucunda çalışma alanındaki her raster hücresi için tek bir uygunluk değeri hesaplanmaktadır. Böylece tüm kriterlerin birlikte değerlendirildiği sürekli bir turizm uygunluk yüzeyi elde edilmektedir.

Analiz sonunda oluşan uygunluk rasteri yorumlamayı kolaylaştırmak amacıyla belirli uygunluk sınıflarına ayrılmaktadır. Önerilen modelde uygunluk değerleri beş sınıfta değerlendirilmektedir:

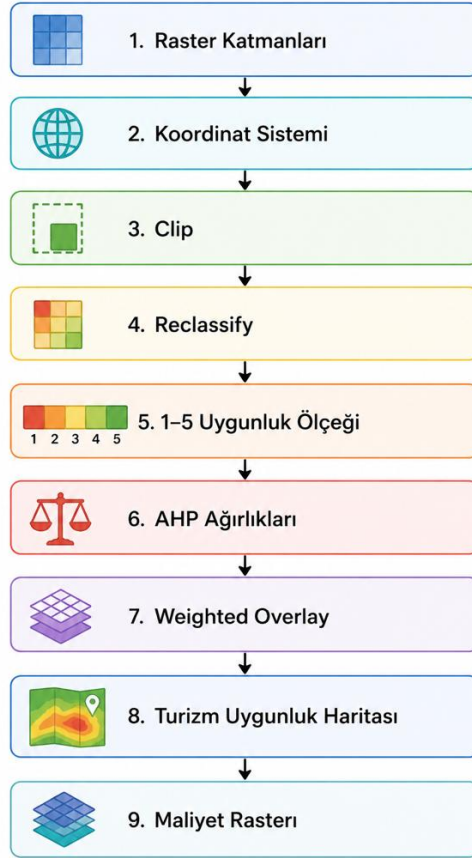
- Çok düşük uygunluk
- Düşük uygunluk
- Orta uygunluk
- Yüksek uygunluk
- Çok yüksek uygunluk

Bu sınıflandırma sayesinde turizm faaliyetleri açısından öncelikli alanlar mekânsal olarak belirlenebilmekte ve planlama kararları daha kolay yorumlanabilmektedir.

CBS tabanlı uygunluk analizinin temel çıktısı turizm uygunluk haritasıdır. Ancak önerilen modelde bu harita nihai ürün olarak değerlendirilmemektedir. Klasik uygunluk analizlerinden farklı olarak elde edilen uygunluk rasteri, sonraki aşamada oluşturulacak maliyet yüzeyinin temel girdisini oluşturmaktadır. Böylece uygunluk analizinden elde edilen bilgiler doğrudan rota optimizasyon sürecine aktarılmaktadır.

Önerilen CBS tabanlı uygunluk analizi iş akışı Şekil 2'de özetlenmiştir.

Şekil.3. CBS tabanlı uygunluk analizi iş akışı



3.5. Maliyet Yüzeyinin Oluşturulması

CBS tabanlı uygunluk analizinin tamamlanmasının ardından elde edilen uygunluk haritası, rota optimizasyonunda kullanılabilecek bir maliyet yüzeyine dönüştürülmektedir. Maliyet yüzeyi (Cost Surface), çalışma alanındaki her raster hücreğine geçiş güçlüğü veya geçiş maliyetini temsil eden bir değer atanması esasına dayanmaktadır. Böylece çalışma alanı yalnızca turizm açısından

uygunluk düzeyine göre değil, aynı zamanda hareket edilebilirlik bakımından da değerlendirilmektedir (Eastman, 2012).

Turizm uygunluk haritası ile maliyet yüzeyi farklı amaçlara hizmet etmektedir. Uygunluk haritası, belirli bir alanın turizm faaliyetleri açısından ne derece uygun olduğunu gösterirken, maliyet yüzeyi bu alanlardan geçmenin ne kadar kolay veya zor olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle uygunluk değerlerinin doğrudan rota optimizasyonunda kullanılması yerine, uygunluk bilgilerinin geçiş maliyetlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm, önerilen karar destek modelinin temel aşamalarından birini oluşturmaktadır.

Maliyet yüzeyinin oluşturulmasında yalnızca uygunluk haritası değil, geçişi doğrudan etkileyen çevresel ve fiziksel kriterler de dikkate alınmaktadır. Özellikle eğim, arazi kullanımı, yol ağı, korunan alanlar ve doğal engeller, hareket maliyetini belirleyen temel değişkenler arasında yer almaktadır. Buna göre düşük eğimli alanlar, mevcut yollar ve açık alanlar daha düşük maliyet değerleri alırken; dik yamaçlar, yoğun bitki örtüsü, su yüzeyleri veya koruma statüsüne sahip alanlar daha yüksek maliyet değerleri ile temsil edilmektedir.

Her kriter katmanı önceden yeniden sınıflandırılmış raster değerleri kullanılarak ortak bir maliyet ölçeğine dönüştürülmektedir. Ardından AHS yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları dikkate alınarak her hücre için toplam geçiş maliyeti hesaplanmaktadır. Böylece çalışma alanındaki her raster hücresi, geçiş kolaylığını temsil eden tek bir maliyet değeri ile ifade edilmektedir.

$$C = \sum_{i=1}^n w_i \cdot c_i$$

Burada;

- C: toplam geçiş maliyetini,
- w_i : AHS yöntemi ile belirlenen kriter ağırlığını,
- c_i : ilgili kriterin yeniden sınıflandırılmış maliyet değerini,
- n: kriter sayısını göstermektedir.

Bu yaklaşım sayesinde yalnızca en kısa mesafeler değil, çevresel koşullar bakımından en uygun geçiş güzergâhları da dikkate alınmaktadır. Örneğin iki nokta arasındaki en kısa mesafe dik eğimli veya koruma altındaki bir alandan geçiyorsa, bu alanlara yüksek maliyet atanması nedeniyle algoritma daha uzun ancak toplam maliyeti daha düşük alternatif güzergâhları tercih edebilmektedir.

Maliyet yüzeyi oluşturulurken çalışma alanının özelliklerine göre mutlak engel (barrier) niteliği taşıyan bölgeler de tanımlanabilmektedir. Göller, sarp kayalıklar, askeri bölgeler veya geçişe kapalı korunan alanlar gibi alanlar çok yüksek maliyet değerleri atanarak veya analiz dışında bırakılarak rota optimizasyonunun bu bölgelerden geçmesi engellenebilmektedir. Bu yaklaşım, özellikle doğa koruma ilkeleri ve ziyaretçi güvenliği açısından önem taşımaktadır.

Oluşturulan maliyet rasteri, önerilen karar destek modelinde A* algoritmasının temel girdisini oluşturmaktadır. A* algoritması her raster hücresinin maliyet değerini dikkate alarak başlangıç ve hedef noktaları arasında toplam maliyeti en düşük olan güzergâhı hesaplamaktadır. Böylece rota optimizasyonu yalnızca geometrik uzaklığa değil, çalışma alanının topoğrafik, çevresel ve altyapısal özelliklerine de dayandırılmaktadır. Önerilen maliyet yüzeyi oluşturma süreci Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Önerilen maliyet yüzeyi oluşturma süreci

Kriter	Çok Düşük Maliyet	Düşük Maliyet	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Eğim	0–5°	5–15°	15–25°	25–35°	>35°
Arazi Kullanımı	Yol	Çayır	Seyrek Orman	Yoğun Orman	Yerleşim / Kaya
Yol Yakınlığı	0–100 m	100–300 m	300–600 m	600–1000 m	>1000 m
Korunan Alan	Yok				Tam Koruma
Su Yüzeyi	Geçilebilir				Geçilemez

3.6. A* Algoritması ile Rota Optimizasyonu

Önerilen karar destek modelinin son analiz aşamasını A* algoritması ile gerçekleştirilen rota optimizasyonu oluşturmaktadır. Bu aşamada amaç, CBS ortamında oluşturulan maliyet yüzeyini kullanarak belirlenen başlangıç ve hedef noktaları arasında toplam geçiş maliyeti en düşük olan güzergâhın belirlenmesidir. Böylece rota seçimi yalnızca geometrik uzaklığa göre değil, çalışma alanının topoğrafik, çevresel ve altyapısal özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir.

Rota optimizasyonunun temel girdilerini maliyet rasteri ile başlangıç ve hedef noktaları oluşturmaktadır. Başlangıç noktası; otopark, ziyaretçi merkezi, kamp alanı veya mevcut ulaşım ağı üzerinde belirlenen bir erişim noktası olabilir. Hedef noktası ise zirve, seyir terası, göl, şelale, kamp alanı veya diğer turizm çekim merkezlerinden biri olarak tanımlanabilir. Model, farklı başlangıç ve hedef noktaları için tekrar çalıştırılabilecek esnek bir yapıya sahiptir. Rota optimizasyonu sürecinde kullanılan temel değişkenler ve bu değişkenlerin model içerisindeki işlevleri Tablo 4'te özetlenmiştir. Maliyet rasteri, başlangıç ve hedef noktaları ile sezgisel arama fonksiyonu, A* algoritmasının temel girdilerini oluşturmaktadır. Bu değişkenlerin birlikte değerlendirilmesi sayesinde algoritma, çalışma alanı içerisinde toplam geçiş maliyeti en düşük olan güzergâhı belirleyebilmektedir.

Tablo.4. Rota optimizasyonu sürecinde kullanılan temel değişkenler ve bu değişkenlerin model içerisindeki işlevi

Değişken	Açıklama	Veri Kaynağı
Başlangıç Noktası	Ziyaretçinin hareket ettiği nokta	Nokta katmanı
Hedef Noktası	Turizm çekim merkezi	Nokta katmanı
Maliyet Rasterı	Toplam geçiş maliyeti	3.5 aşaması
Heuristic	Öklid uzaklığı	CBS
Komşuluk Yapısı	8 yönlü hareket	Raster

Rota optimizasyonu sürecinde kullanılan temel değişkenler ve bu değişkenlerin model içerisindeki işlevleri Tablo 5'te özetlenmiştir. Maliyet rasterı, başlangıç ve hedef noktaları ile sezgisel arama fonksiyonu, A* algoritmasının temel girdilerini oluşturmaktadır. Bu değişkenlerin birlikte değerlendirilmesi sayesinde algoritma, çalışma alanı içerisinde toplam geçiş maliyeti en düşük olan güzergâhı belirleyebilmektedir.

A* algoritması çalışma alanını raster hücrelerinden oluşan bir ağ (grid) yapısı olarak değerlendirmektedir. Her raster hücresi bir düğüm (node), komşu hücreler ise düğümler arasındaki bağlantılar olarak kabul edilmektedir. Algoritma, maliyet yüzeyinde yer alan hücre maliyetlerini dikkate alarak başlangıç noktasından hedef noktaya ulaşmaya kadar en uygun güzergâhı aramaktadır.

Arama sürecinde her hücre için toplam değerlendirme fonksiyonu hesaplanmaktadır.

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

Burada;

- $g(n)$: başlangıç noktasından mevcut hücreye kadar oluşan birikimli geçiş maliyetini,
- $h(n)$: mevcut hücreden hedef noktaya olan tahmini maliyeti (heuristic),
- $f(n)$: toplam tahmini maliyeti ifade etmektedir (Hart et al., 1968).

Algoritma her adımda $f(n)$ değeri en düşük olan hücreyi seçerek arama işlemini sürdürmektedir. Böylece yalnızca en kısa yol değil, maliyet yüzeyinde tanımlanan çevresel ve topoğrafik koşulları da dikkate alan optimum güzergâh belirlenmektedir. Bu yaklaşım, özellikle dağlık alanlarda yalnızca mesafenin esas alındığı klasik ağ analizlerine göre daha gerçekçi sonuçlar üretmektedir.

Önerilen modelde maliyet yüzeyinin oluşturulmasında kullanılan kriterler rota optimizasyonunu doğrudan etkilemektedir. Düşük eğimli alanlar, mevcut yollar ve uygun arazi kullanım sınıfları düşük geçiş maliyetine sahip olduğundan algoritma bu bölgeleri tercih etme eğilimindedir. Buna karşılık dik yamaçlar, yoğun bitki örtüsü, su yüzeyleri veya koruma statüsüne sahip alanlar yüksek maliyet değerleri taşıdığından algoritma mümkün olduğunca bu alanlardan

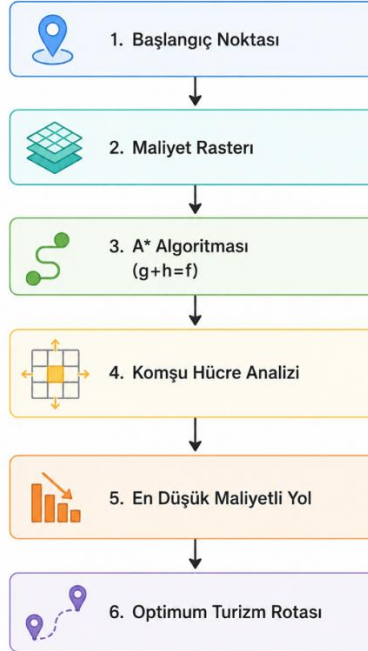
kaçınmaktadır. Böylece rota seçimi yalnızca teknik açıdan değil, çevresel sürdürülebilirlik açısından da desteklenmektedir.

A* algoritmasının uygulanması sonucunda başlangıç ve hedef noktaları arasında optimum rota elde edilmektedir. Bunun yanında rota boyunca oluşan toplam maliyet, toplam mesafe ve izlenen güzergâh bilgileri de karar vericilere sunulabilmektedir. Bu bilgiler farklı turizm alternatiflerinin karşılaştırılmasına ve ziyaretçi yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Önerilen model, tek bir rota üretmekle sınırlı değildir. Başlangıç ve hedef noktalarının değiştirilmesi veya maliyet yüzeyinin farklı planlama senaryolarına göre yeniden oluşturulması durumunda alternatif güzergâhlar da kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Böylece farklı kullanım senaryolarının karşılaştırılması ve en uygun planlama kararlarının verilmesi mümkün olmaktadır.

Bu yaklaşımın en önemli avantajlarından biri, uygunluk analizi ile rota optimizasyonunu aynı karar destek sistemi içerisinde birleştirmesidir. Klasik CBS tabanlı uygunluk analizlerinde sonuç genellikle uygunluk haritası ile sınırlı kalırken, önerilen modelde uygunluk haritası maliyet yüzeyine dönüştürülmekte ve A* algoritması kullanılarak uygulanabilir rota önerilerine dönüştürülmektedir. Böylece karar vericilere yalnızca "neresi uygundur?" sorusunun değil, aynı zamanda "en uygun alana nasıl ulaşılmalıdır?" sorusunun da yanıtı sunulmaktadır. Önerilen rota optimizasyon süreci Şekil 3'te gösterilmiştir.

Şekil.3. Rota Optimizasyon Süreci



3.7. Bütünleşik Karar Destek Modeli

Bu çalışmada önerilen karar destek modeli, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve A* algoritmasını tek bir metodolojik çerçevede bütünleştirerek dağlık alanlarda turizm planlamasına yönelik karar verme sürecini desteklemeyi amaçlamaktadır. Model, yalnızca turizm açısından uygun alanların belirlenmesini değil, aynı zamanda bu alanlara çevresel, topoğrafik ve erişilebilirlik kriterleri dikkate alınarak optimum güzergâhların oluşturulmasını da hedeflemektedir.

Önerilen model, birbirini takip eden altı temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada çalışma alanına ilişkin mekânsal veriler temin edilmekte ve analiz için uygun veri yapısına dönüştürülmektedir. İkinci aşamada uzman görüşleri doğrultusunda AHS yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmaktadır. Üçüncü aşamada tüm kriter katmanları CBS ortamında yeniden sınıflandırılarak ortak bir uygunluk ölçeğine dönüştürülmekte ve ağırlıklı çakıştırma analizi ile turizm uygunluk haritası oluşturulmaktadır. Dördüncü aşamada uygunluk haritası ve diğer çevresel kriterler kullanılarak maliyet yüzeyi oluşturulmaktadır. Beşinci aşamada ise A* algoritması yardımıyla başlangıç ve hedef noktaları arasında toplam geçiş maliyeti en düşük olan rota belirlenmektedir. Son aşamada elde edilen tüm çıktılar birlikte değerlendirilerek karar vericilere mekânsal planlama açısından bütünleşik bir karar destek sistemi sunulmaktadır.

Önerilen modelin genel iş akışı Şekil 4'te gösterilmektedir. Modelde veri akışı doğrusal bir yapı izlemekle birlikte, her aşamanın çıktısı bir sonraki aşamanın girdisini oluşturmaktadır. Böylece karar verme süreci birbirinden bağımsız analizler yerine bütünleşik bir mekânsal analiz zinciri şeklinde yürütülmektedir.

Sekil.4 . AHS, CBS ve A algoritmasının bütünleştirilmesine dayalı önerilen karar destek modelinin genel iş akışı.



Şekil 4 incelendiğinde, modelde her analiz aşamasının bir sonraki aşamanın girdisini oluşturduğu görülmektedir. Girdi verilerinin hazırlanmasıyla başlayan süreç, AHS ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve CBS tabanlı uygunluk analizinin gerçekleştirilmesiyle devam etmektedir. Elde edilen uygunluk haritası maliyet yüzeyinin oluşturulmasında kullanılmakta, oluşturulan maliyet yüzeyi ise A algoritmasının temel girdisini oluşturmaktadır. Böylece turizm açısından uygun alanların belirlenmesi ile bu alanlara erişimi sağlayacak optimum rotaların oluşturulması tek bir analitik iş akışı içerisinde gerçekleştirilmektedir.

Modelin temel işleyişi aşağıdaki kavramsal eşitlik ile özetlenebilir.

Veriler → AHS → CBS → Cost Surface → A* → Karar Destek Sistemi

Bu yaklaşımda AHS yöntemi karar vericilerin uzmanlık bilgilerini modele aktarmakta, CBS mekânsal analiz altyapısını oluşturmakta, maliyet yüzeyi çevresel ve fiziksel koşulları geçiş maliyetlerine dönüştürmekte, A* algoritması ise bu maliyet bilgilerini kullanarak optimum güzergâhı belirlemektedir. Böylece

farklı disiplinlere ait yöntemler tek bir analiz süreci içerisinde bütünleştirilmektedir.

Önerilen modelin en önemli yeniliği, turizm uygunluk analizini rota optimizasyonu ile doğrudan ilişkilendirmesidir. Literatürdeki birçok çalışmada uygunluk analizleri uygunluk haritasının oluşturulması ile sonlanırken, bu modelde uygunluk haritası rota optimizasyonunun temel girdilerinden biri olarak kullanılmaktadır. Böylece yalnızca "hangi alanlar uygundur?" sorusuna değil, aynı zamanda "uygun alanlara hangi güzergâh izlenerek ulaşılmalıdır?" sorusuna da yanıt verilmektedir.

Model aynı zamanda farklı planlama senaryolarının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Kriter ağırlıklarının değiştirilmesi, yeni veri katmanlarının eklenmesi veya maliyet yüzeyinin farklı planlama hedeflerine göre yeniden oluşturulması durumunda alternatif uygunluk haritaları ve alternatif rota senaryoları üretilebilmektedir. Bu özellik, önerilen yöntemin yalnızca belirli bir çalışma alanına özgü olmadığını, farklı coğrafi bölgelerde ve farklı turizm planlama problemlerinde de uygulanabilecek esnek bir karar destek modeli sunduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak önerilen bütünselik karar destek modeli; uzman bilgisi, mekânsal analiz ve rota optimizasyonunu aynı sistem içerisinde bir araya getirerek dağlık alanlarda sürdürülebilir turizm planlamasına yönelik karar verme süreçlerini destekleyen bütüncül bir metodolojik yaklaşım sunmaktadır.

4. Modelin Değerlendirilmesi

4.1. Modelin Güçlü Yönleri

Önerilen karar destek modelinin en önemli güçlü yönü, farklı disiplinlere ait yöntemleri tek bir karar verme süreci içerisinde bütünleştirmesidir. Model, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve A* algoritmasını birbirini tamamlayan bileşenler olarak kullanarak yalnızca turizm açısından uygun alanların belirlenmesini değil, aynı zamanda bu alanlara ulaşımı sağlayacak optimum rotaların da oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.

Modelin ikinci önemli avantajı, uzman görüşleri ile mekânsal analizlerin birlikte değerlendirilebilmesidir. AHS yöntemi sayesinde karar vericilerin deneyimleri sayısal ağırlıklara dönüştürülmekte, bu ağırlıklar CBS ortamındaki mekânsal analizlere doğrudan aktarılmaktadır. Böylece yalnızca mekânsal veriler değil, uzman bilgi birikimi de karar verme sürecine sistematik olarak dahil edilmektedir.

Önerilen modelin bir diğer güçlü yönü, farklı veri kaynaklarını aynı analiz ortamında değerlendirebilmesidir. Sayısal yükseklik modeli, arazi kullanımı, yol ağı, hidrolojik veriler, korunan alanlar ve turizm çekim noktaları gibi farklı veri katmanları ortak bir koordinat sisteminde analiz edilerek bütünselik bir mekânsal değerlendirme gerçekleştirilmektedir. Bu durum, modelin farklı çalışma alanlarına kolaylıkla uyarlanabilmesini sağlamaktadır.

Model ayrıca senaryo analizlerine uygun esnek bir yapıya sahiptir. Kriter ağırlıklarının değiştirilmesi, yeni veri katmanlarının eklenmesi veya maliyet yüzeyinin farklı planlama hedeflerine göre yeniden oluşturulması durumunda alternatif uygunluk haritaları ve rota seçenekleri üretilebilmektedir. Bu özellik, karar vericilere farklı planlama senaryolarını karşılaştırma olanağı sunmaktadır.

Bunun yanında model, klasik uygunluk analizlerinden farklı olarak mekânsal uygunluk ile erişilebilirliği aynı analiz zinciri içerisinde değerlendirmektedir. Böylece yalnızca "uygun alan" değil, "uygulanabilir alan" kavramı da dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle dağlık alanlarda gerçekleştirilecek doğa temelli turizm planlamaları açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

4.2. Modelin Sınırlılıkları

Önerilen karar destek modeli birçok avantaj sunmasına rağmen bazı sınırlılıklara da sahiptir. Bunların başında AHS yönteminin uzman değerlendirmelerine dayanması gelmektedir. Kriter ağırlıkları, uzmanların bilgi ve deneyimlerinden etkilenebileceği için farklı uzman grupları farklı ağırlık değerleri üretebilir. Bu durum karar verme sürecinde belirli ölçüde öznel değerlendirmelerin bulunmasına neden olmaktadır.

Modelin başarısı büyük ölçüde kullanılan mekânsal verilerin doğruluğuna ve güncelliğine bağlıdır. Düşük çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri, güncel olmayan arazi kullanım verileri veya eksik yol ağı bilgileri analiz sonuçlarını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle modelin uygulanacağı alanlarda güvenilir ve güncel veri kullanılması büyük önem taşımaktadır.

A* algoritması oluşturulan maliyet yüzeyine bağımlı olarak çalışmaktadır. Maliyet rasterinin oluşturulmasında kullanılan kriterler veya maliyet değerleri gerçeği yeterince temsil etmediğinde, hesaplanan optimum rotalar da gerçek arazi koşullarını tam olarak yansıtmayabilir. Bu nedenle maliyet yüzeyinin oluşturulması sürecinde kullanılacak sınıflandırma ölçütlerinin dikkatle belirlenmesi gerekmektedir.

Model, raster tabanlı analiz yaklaşımını esas aldığından seçilen hücre boyutu sonuçlar üzerinde etkili olabilmektedir. Çok büyük hücre boyutları ayrıntı kaybına neden olurken, çok küçük hücre boyutları ise analiz süresini ve hesaplama maliyetini artırabilmektedir. Bu nedenle çalışma alanının büyüklüğü ve analiz amacı dikkate alınarak uygun mekânsal çözünürlüğün belirlenmesi gerekmektedir.

Bunun yanında önerilen model statik mekânsal veriler üzerinden çalışmaktadır. Mevsimsel değişimler, günlük hava koşulları, ziyaretçi yoğunluğu veya geçici ulaşım kısıtları gibi dinamik değişkenler mevcut model kapsamında değerlendirilmemektedir. Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalarda bu değişkenlerin modele entegre edilmesi karar destek sisteminin doğruluğunu artıracaktır.

5. Tartışma

Turizm planlamasında kullanılan karar destek yaklaşımları, teknolojik gelişmeler ve mekânsal veri kaynaklarının artmasına bağlı olarak önemli ölçüde gelişmiştir. Özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı mekânsal analizler ile çok kriterli karar verme yöntemlerinin birlikte kullanılması, turizm açısından uygun alanların belirlenmesinde daha bilimsel ve sistematik değerlendirmelerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte mevcut yaklaşımlar incelendiğinde, yöntemlerin çoğunlukla uygunluk analizi veya rota optimizasyonu üzerine yoğunlaştığı, bu iki sürecin aynı karar destek modeli içerisinde birlikte ele alınmasının ise sınırlı olduğu görülmektedir.

Literatürde yaygın olarak kullanılan karar destek yaklaşımları ile bu çalışmada önerilen modelin temel özellikleri Tablo 5'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 5. Turizm planlamasında kullanılan karar destek yaklaşımlarının karşılaştırılması

Özellik	Klasik CBS Tabanlı Uygunluk Analizi	CBS + AHS Yaklaşımı	CBS + Ağ Analizi (Network Analysis)	Önerilen AHS-CBS-A* Karar Destek Modeli
Çok kriterli değerlendirme	△	✓	△	✓
Uzman görüşlerinin kullanılması	×	✓	×	✓
Kriter ağırlıklandırması	×	✓	×	✓
Mekânsal uygunluk analizi	✓	✓	△	✓
Raster tabanlı analiz	✓	✓	△	✓
Maliyet yüzeyinin oluşturulması	△	△	✓	✓
En uygun rota analizi	×	×	✓	✓
A* algoritmasının kullanılması	×	×	×	✓
Uygunluk ve rota optimizasyonunun entegrasyonu	×	×	△	✓
Sürdürülebilir turizm planlamasına destek	△	✓	△	✓
Alternatif senaryo üretimi	△	✓	△	✓

Açıklama: ✓ = Doğrudan desteklenmektedir, △ = Sınırlı düzeyde veya dolaylı olarak desteklenmektedir, × = Desteklenmemektedir.

Tablo 5 incelendiğinde, klasik CBS tabanlı uygunluk analizlerinin temel olarak turizm açısından uygun alanların belirlenmesine odaklandığı görülmektedir. Bu yaklaşımda mekânsal analizler güçlü olmakla birlikte, kriterlerin görelî önemlerinin sistematik olarak belirlenmesi ve rota planlamasına yönelik analizler sınırlı düzeyde gerçekleştirilmektedir.

CBS ile Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yönteminin birlikte kullanıldığı yaklaşımlar ise uzman görüşlerinin karar sürecine dahil edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede farklı kriterlerin görelî önemleri belirlenebilmekte ve uygunluk analizleri daha nesnel bir yapıya kavuşmaktadır. Bununla birlikte bu yaklaşımlar çoğunlukla uygunluk haritasının oluşturulması ile sonlanmakta, elde edilen sonuçlar rota planlama sürecine aktarılmamaktadır.

Ağ analizi (Network Analysis) temelli yaklaşımlar ise ulaşım ve erişilebilirlik problemlerinin çözümünde etkili araçlar sunmaktadır. Ancak bu yöntemlerde rota seçimleri çoğunlukla mevcut yol ağına dayalı olarak gerçekleştirildiğinden, çevresel uygunluk kriterlerinin ve uzman değerlendirmelerinin karar sürecine entegrasyonu sınırlı kalmaktadır. Özellikle dağlık alanlarda yol ağı dışında kalan doğal alanlarda gerçekleştirilecek rota planlamalarında bu durum önemli bir kısıt oluşturmaktadır.

Bu çalışmada önerilen karar destek modeli, mevcut yaklaşımların güçlü yönlerini tek bir metodolojik çerçevede bir araya getirmektedir. Modelde uzman görüşleri AHS yöntemi ile sayısallaştırılmakta, kriter ağırlıkları CBS tabanlı uygunluk analizine aktarılmakta, elde edilen uygunluk haritası maliyet yüzeyine dönüştürülmekte ve son aşamada A* algoritması kullanılarak optimum rota belirlenmektedir. Böylece uygunluk analizi ile rota optimizasyonu birbirinden bağımsız süreçler olmaktan çıkarılarak bütünleşik bir karar destek sistemi oluşturulmaktadır.

Önerilen modelin önemli avantajlarından biri de farklı planlama senaryolarına kolaylıkla uyarlanabilmesidir. Kriter ağırlıkları, maliyet değerleri veya veri katmanlarında yapılacak değişikliklerle farklı turizm planlama senaryoları oluşturulabilmekte ve bu senaryoların mekânsal sonuçları karşılaştırılabilmektedir. Bu durum, modelin yalnızca akademik araştırmalarda değil, aynı zamanda uygulamaya yönelik planlama çalışmalarında da kullanılabilecek esnek bir karar destek aracı olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak önerilen model, çok kriterli karar verme, mekânsal uygunluk analizi ve rota optimizasyonunu aynı analiz zinciri içerisinde bütünleştirerek turizm planlamasına yeni bir metodolojik yaklaşım sunmaktadır. Bu bütünleşik yapı sayesinde karar vericiler yalnızca turizm açısından en uygun alanları değil, aynı zamanda bu alanlara çevresel ve topoğrafik koşullar dikkate alınarak nasıl ulaşılacağına da değerlendirebilmektedir.

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, dağlık alanlarda turizm planlamasına yönelik olarak Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve A* algoritmasını bütünleştiren kavramsal bir karar destek modeli önerilmiştir. Model, uzman

görüşleri ile belirlenen kriter ağırlıklarını mekânsal uygunluk analizine aktarmakta, elde edilen uygunluk haritasını maliyet yüzeyine dönüştürmekte ve son aşamada A* algoritmasını kullanarak optimum turizm rotalarının belirlenmesini sağlamaktadır. Böylece turizm planlamasında uygunluk analizi ile rota optimizasyonu aynı metodolojik çerçeve içerisinde ele alınmaktadır.

Önerilen model, çok kriterli karar verme yaklaşımı ile mekânsal analiz tekniklerini bütünleştirerek turizm planlamasında karşılaşılan karmaşık karar problemlerine sistematik bir çözüm sunmaktadır. AHS yöntemi sayesinde uzman görüşleri karar verme sürecine dahil edilirken, CBS mekânsal analiz altyapısını oluşturmakta, A* algoritması ise elde edilen maliyet yüzeyini kullanarak çevresel ve topoğrafik koşulları dikkate alan optimum güzergâhları belirlemektedir. Bu yapı, yalnızca uygun alanların belirlenmesini değil, aynı zamanda bu alanlara erişimin de planlanmasını mümkün kılmaktadır.

Önerilen karar destek modelinin en önemli katkısı, literatürde çoğunlukla birbirinden bağımsız olarak ele alınan uygunluk analizi ve rota optimizasyonu süreçlerini tek bir karar destek sistemi içerisinde bütünleştirmesidir. Böylece turizm planlamasında yalnızca "neresi uygundur?" sorusuna değil, "uygun alanlara nasıl ulaşılmalıdır?" sorusuna da yanıt verebilen bütüncül bir yaklaşım ortaya konulmuştur.

Modelin modüler yapısı, farklı çalışma alanlarına ve farklı turizm türlerine kolaylıkla uyarlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Kullanılacak kriterlerin, veri katmanlarının ve kriter ağırlıklarının çalışma alanının özelliklerine göre değiştirilebilmesi, modelin ekoturizm, doğa turizmi, trekking, kampçılık ve rekreasyon planlaması gibi birçok farklı uygulama alanında kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Aynı zamanda korunan alan yönetimi, ziyaretçi yönlendirme sistemleri ve sürdürülebilir turizm stratejilerinin geliştirilmesinde de karar vericilere önemli katkılar sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte önerilen model kavramsal bir metodolojik çerçeve niteliğindedir. Modelin farklı coğrafi bölgelerde uygulanması, farklı veri kaynakları ile test edilmesi ve arazi gözlemleriyle doğrulanması gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalar açısından önem taşımaktadır. Ayrıca maliyet yüzeyinin oluşturulmasında dinamik çevresel değişkenlerin, mevsimsel koşulların, meteorolojik verilerin ve ziyaretçi yoğunluğunun modele dahil edilmesi, rota optimizasyonunun gerçek arazi koşullarını daha iyi yansıtmasına katkı sağlayacaktır.

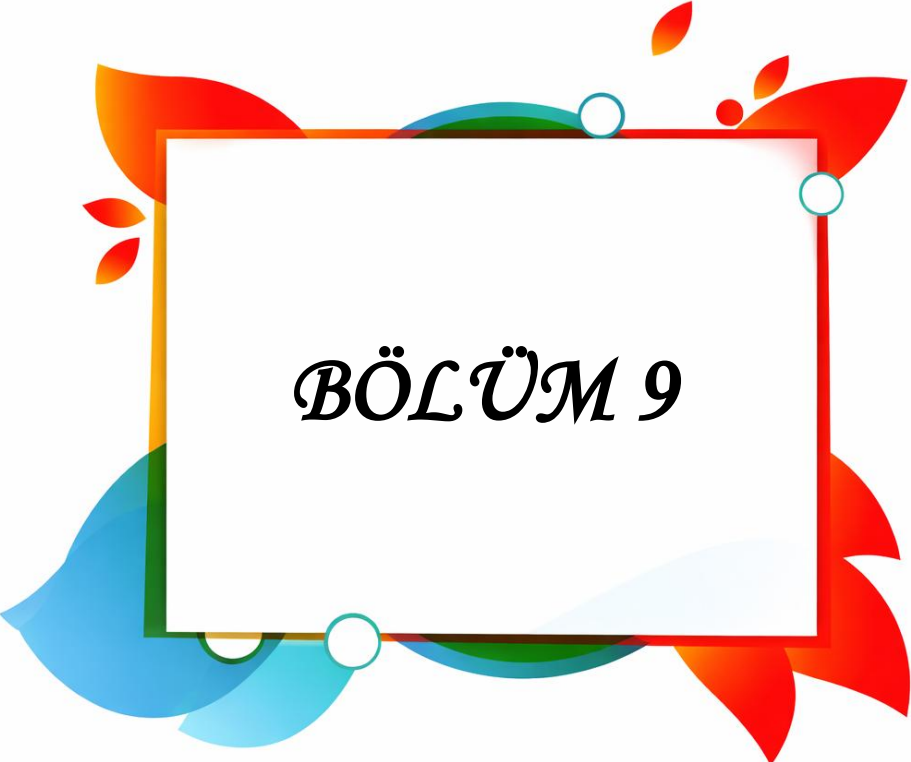
Gelecekte yapılacak çalışmalarda önerilen modelin farklı çok kriterli karar verme yöntemleri (Bulanık AHS, ANP, TOPSIS ve VIKOR) ile karşılaştırılması, farklı rota optimizasyon algoritmaları (Dijkstra, Genetik Algoritma ve Ant Colony Optimization) kullanılarak performans analizlerinin gerçekleştirilmesi ve gerçek zamanlı coğrafi verilerle desteklenmesi önerilmektedir. Ayrıca uzaktan algılama verileri, yapay zekâ tabanlı sınıflandırma yöntemleri ve gerçek zamanlı konum verilerinin modele entegre edilmesiyle karar destek sisteminin daha dinamik ve kullanıcı odaklı bir yapıya kavuşturulması mümkün olacaktır.

Sonuç olarak bu çalışmada önerilen bütünleşik karar destek modeli, uzman bilgisi, mekânsal analiz ve rota optimizasyonunu tek bir metodolojik ereve de bir araya getirerek dağlık alanlarda sürdürülebilir turizm planlamasına yönelik geliştirilebilir ve uygulanabilir bir yaklaşım sunmaktadır. Modelin farklı coğrafi koşullarda uygulanması ve geliştirilmesi, gelecekte turizm planlaması ve mekânsal karar destek sistemleri alanındaki çalışmalara katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.
- Douglas, D. H. (1994). Least-cost path in GIS using an accumulated cost surface and slope lines. *Cartographica*, 31(3), 37–51.
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva manual*. Clark Labs, Clark University.
- Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2014). GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: Comparing three methods for the Urmia Lake Basin, Iran. *Natural Hazards*, 74(2), 1003–1028. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1222-9>
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 100–107.
- Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(3), 251–273. <https://doi.org/10.1080/02693799508902036>
- LaValle, S. M. (2006). *Planning algorithms*. Cambridge University Press.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems*(4th ed.). Wiley.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002>
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6), 19–43. <https://doi.org/10.1287/inte.24.6.19>
- Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>
- Zabihi, H., Alizadeh, M., Wolf, I. D., Karami, M., Kakeh, J., Ahmad, A., Salmanmahiny, A., & Mirchooli, F. (2020). GIS-based fuzzy-analytic

hierarchy process (F-AHP) for ecotourism suitability decision making in an environmentally sensitive area: A case study of Babol, Iran. *Tourism Management Perspectives*, 36, 100726. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100726>



BÖLÜM 9

Amarant (*Amaranthus spp.*)’ın Mikroçoğaltımı

Mustafa Doğan¹ & Sevil Sağlam Yılmaz²

GİRİŞ

Amarant (*Amaranthus spp.*) cinsi 87 türden oluşmaktadır. Bunların 14’ü Avustralya’da, 17’si Avrupa’da ve 56’sı Amerika’da yayılış göstermektedir (Jacobsen ve ark., 2000). Tarihsel olarak Orta ve Güney Amerika kökenli eski bir kültür bitkisi olup günümüzde Afrika ve Güneydoğu Asya’da daha çok sebze olarak tüketilirken, Amerika ve bazı Avrupa ülkelerinde tohum üretimi amacıyla yetiştirilmektedir (National Research Council, 1984; Rastogi ve Shukla, 2013; Achigan-Dako ve ark., 2014).

Amarant, yüksek besin değeri ile öne çıkan önemli bir gıda kaynağıdır. Tohumları %13-21 protein, %5-11 yağ ve %48-69 karbonhidrat içermektedir (Berghofer ve Schoenlechner, 2002). Protein kalitesi yüksek olup özellikle lizin ve triptofan açısından zengin olması, bu bitkiyi buğday ve mısır gibi diğer tahıllardan ayırmaktadır (Alvarez-Jubete ve ark., 2010; Becker ve ark., 1981). Ayrıca diyet lifi, vitaminler (C, E, riboflavin), mineraller (demir, kalsiyum, magnezyum, potasyum) ve biyolojik aktif bileşikler açısından zengin olması sayesinde fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmektedir (Priya ve ark., 2007; Arendt ve Zannini, 2013). Amaranat yağları, büyük oranda doymamış yağ asitlerinden oluşmakta olup içerdiği skualen bileşiği ile antioksidan aktivite göstermekte ve kolesterol düzeylerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır (Becker, 1994; Bruni ve ark., 2001). Gluten içermemesi ise özellikle çölyak hastaları için alternatif bir besin kaynağı olmasını sağlamaktadır (Alvarez-Jubete ve ark., 2010). Amaranatın bazı tahıllarla karşılaştırmalı kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir (Cai ve ark., 2004; Arendt ve Zannini, 2013).

¹ Dr. Öğr., Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Biyoteknoloji A.B.D., Kırşehir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6626-3298

² Prof. Dr. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Biyoteknoloji A.B.D., Kırşehir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1302-9147

Tablo 1. Amarantın bazı tahıllarla karşılaştırmalı kimyasal bileşimi (% kuru ağırlık).

Bileşen	Amarant	Buğday	Mısır	Çeltik
Karbonhidrat	59.2	66.9	67.7	75.4
Ham Protein	16.6	14.0	10.3	8.5
Yağ	7.5	2.1	4.5	2.1
Ham Lif	4.1	2.6	2.3	0.9
Kül	3.3	1.9	1.4	1.4
Nem	9.6	12.5	13.8	11.7

(Cai ve ark., 2004; Arendt ve Zannini, 2013).

Artan dünya nüfusu, iklim değişikliği ve tarımsal üretimdeki sınırlamalar, alternatif ve dayanıklı bitki türlerine olan ihtiyacı artırmıştır (Rastogi ve Shukla, 2013). Amarantın düşük verimli topraklara uyum sağlama yeteneği ve abiyotik stres koşullarına karşı dayanıklılığı, bu bitkiyi sürdürülebilir tarım sistemleri için değerli bir seçenek hâline getirmektedir (Maughan ve ark., 2011; Rastogi ve Shukla, 2013). Dünya genelinde başta Hindistan, Çin, ABD ve Rusya olmak üzere dünyanın farklı bölgelerinde ticari olarak yetiştirilen amarantın Türkiye’deki üretimi sınırlı düzeydedir; ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, bitkinin ülkemiz koşullarına da uyum sağlayabildiğini göstermektedir (Rastogi ve Shukla, 2013; National Research Council, 1984; Kauffman ve Weber, 1990; Ergün ve ark., 2014; Anonim 2023)

Amarant bitkisine ait bitki ve tohum materyalleri, Rodale Araştırma Merkezi (Pennsylvania, ABD), ABD Tarım Bakanlığı (USDA) Bitki Tanıtım İstasyonu, Hindistan Ulusal Botanik Araştırma Enstitüsü (NBRI), Dünya Sebze Merkezi (WVC) ve Illinois Üniversitesi koleksiyonlarında bulunmakta olup bu materyallerin büyük bir kısmı *A. cruentus*, *A. hypochondriacus*, *A. caudatus*, *A. tricolor* ve *A. dubius* türlerine aittir (Brenner ve ark., 2000; Mathews, 2001; Trucco ve Tranel, 2011). Dünya genelinde en az 60 kurumun amarant genetik materyalini muhafaza ettiği bilinmektedir (Brenner ve ark., 2000). Ülkemiz florasında ise yaklaşık 14-15 amarant türü ile bir alt tür ve bazı melez taksonları bulunmaktadır (Güner, 2012). Türkiye’de yayılış gösteren başlıca türler *A. albus*, *A. blitoides*, *A. blitum*, *A. caudatus*, *A. cruentus*, *A. deflexus*, *A. graecizans*, *A. hybridus*, *A. palmeri*, *A. retroflexus*, *A. spinosus*, *A. tricolor* ve *A. viridis*’tir. *A. graecizans subsp. silvestris* alt türü; *A. adulterinus* ve *A. galii* ise melez taksonlar olarak bilinmektedir.

Taksonomisi ve Kullanım Alanları

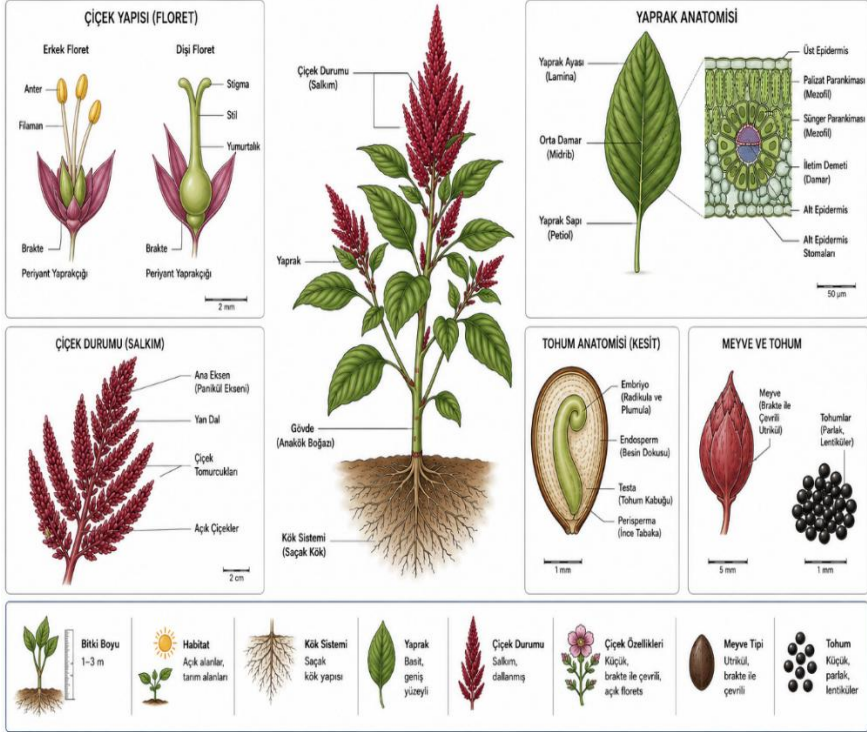
Amarant cinsi, *Amaranthaceae* familyası içerisinde yer almakta olup türleri arasında ayırt edici özelliklerin az olması, teşhis edici yapıların küçük ve zor görülmesi, geniş coğrafi yayılışı ve çok sayıda hibrit form içermesi nedeniyle taksonomik olarak tanımlanması zor bir cinstir (Costea ve DeMason, 2001). Çoğu tür diploiddir ve $2n=32$ kromozom sayısına sahiptir; bazı durumlarda 34 kromozom sayısı da bildirilmiştir (Sauer, 1984). Türler kullanım amaçlarına göre genel olarak; sebze amarantları, tahıl amarantları ve yabani amarantlar olmak üzere üç grupta toplanmaktadır (Grubben ve Denton, 2004; Das, 2012). Tahıl amarantları (*A. hypochondriacus*, *A. cruentus*, *A. caudatus*) tohum üretimi amacıyla yetiştirilirken, sebze amarantları (*A. tricolor*, *A. blitum*, *A. viridis*) yaprak üretimi için değerlendirilmektedir. Ayrıca bazı türler, özellikle *A. tricolor* ve *A. albus*, süs bitkisi olarak öne çıkmaktadır. Yabani türler (*A. spinosus*, *A. viridis*, *A. retroflexus*, *A. graecizans*, *A. dubius*, *A. hybridus*) genetik çeşitlilik açısından önem taşımakla birlikte genellikle yabancı ot olarak bilinmektedir (Weber, 1987; Williams ve Brenner, 1995; Rastogi ve Shukla, 2013). Amarantın gıda sektöründe çok yönlü kullanım potansiyeline sahip olduğu bildirilmektedir. Tohumlarının un formunda, patlatılmış tane olarak ve çeşitli gıda ürünlerinde değerlendirilebildiği rapor edilmiştir. Bu özellikleri nedeniyle amarant bitkisi, kinoa (*Chenopodium quinoa*), karabuğday (*Fagopyrum esculentum*) ve chia (*Salvia hispanica*) gibi diğer alternatif besin kaynakları arasında yer almaktadır (Caselato-Sousa ve Amaya-Farfán, 2012).

Morfolojisi

Amarant türleri genellikle tek yıllık otsu bitkiler olup morfolojik açıdan geniş bir varyasyon göstermektedir. Bitkiler çoğunlukla dik gelişen ve dallanan gövdelere sahip olup yaklaşık 0.5-3.5 m arasında boylanabilmektedir. Yaprak morfolojisi oldukça çeşitlilik gösterip alternat dizilişli, oval, eliptik veya mızraksı formlarda olup antosiyanin pigmentasyonuna bağlı olarak yeşilden kırmızı ve mora kadar değişen belirgin farklı renk varyasyonları görülmektedir (Williams ve Brenner, 1995). Çiçekler küçük yapılı olup yeşilimsi, kırmızımsı veya mor tonlarda, yoğun salkım veya başak tipi infloresensler oluşturmaktadır. Tohumlar ise küçük, yuvarlak, parlak yüzeyli ve lens şeklinde olup beyaz, altın sarısı, kahverengi, pembe veya siyah gibi farklı renklerde bulunabilmektedir. Tohum çapı yaklaşık 0.9-1.7 mm arasında değişirken, 1000 dane ağırlığı 0.6-1.0 g aralığındadır (Kigel, 1994; Williams ve Brenner, 1995; Costea

ve DeMason, 2001). Amarant bitkisine ait çiçek, yaprak, tohum ve tüm bitkiye ait görüntü Şekil 1.'de verilmiştir.

Şekil 1. Amarantın morfolojisi.



(Kigel, 1994; Williams ve Brenner, 1995; Costea ve DeMason, 2001'den uyarlanmıştır).

Ekolojik İstekleri ve Yetiştiriciliği

Amarant genellikle tohumla çoğaltılmakta olup küçük ve hassas tohum yapısı uygun ekim ve çimlenme koşullarını zorunlu kılmaktadır. Çimlenme sürecinde tohumların düşük sıcaklıkta (2-5°C) belirli bir süre (bir ay gibi) tutulmasının ardından 20-30°C sıcaklık önerilmekte ve bu koşullarda çimlenme yaklaşık iki hafta içerisinde gerçekleşmektedir. Düşük toprak sıcaklıkları ve yetersiz nem koşulları çimlenmeyi geciktirebilmekte veya düzensiz çıkışlara neden olabilmekte; ayrıca yüzlek ekimlerde tohum-toprak temasının yetersiz olması tarla çıkışını olumsuz etkileyerek bitki gelişiminde heterojenliğe yol açabilmektedir.

Ekolojik açıdan amarant türleri C4 fotosentez mekanizmasına sahip olup yüksek sıcaklık, kuraklık ve diğer abiyotik stres koşullarına karşı yüksek tolerans göstermektedir (Sage ve Zhu, 2011; Rastogi ve Shukla, 2013). Güçlü ve hızlı gelişen kök sistemi sayesinde yaklaşık 10 hafta içinde 2.4 m derinliğe ve 1.8 m yatay yayılıma ulaşabilmektedir (Kigel, 1994). Bu özellikleri, bitkinin farklı ekolojik koşullara adaptasyonunu kolaylaştırmaktadır. Ayrıca gövde gelişimi ve

dallanma düzeyi genotiplere bağılı olarak değişmekte olup ıslah çalışmalarında daha kısa boylu ve az dallanan tipler tercih edilmektedir (Kaufman, 1990). Morfolojik çeşitlilik ile birlikte yüksek stres toleransı ve güçlü adaptasyon yeteneği amarantı alternatif bir ürün haline getirmektedir.

Amarant tohumları, bölgesel koşullara bağılı olarak genellikle Nisan-Mayıs aylarında ekilmekte ve ekolojik faktörlere bağılı olarak 90-120 gün içerisinde yaşam döngüsünü tamamlamaktadır. Fotoperiyoda duyarlılığı nedeniyle 12 saatten kısa gün koşullarında generatif gelişimini hızlandırmakta ve yaklaşık üç ay içerisinde çiçeklenme evresine ulaşabilmektedir (Flores ve ark., 1982; Brenner ve Widrechner, 1998). Verimi 50-300 kg da⁻¹ arasında değişmektedir (Williams ve Brenner, 1995; Kaul ve ark., 1996). Avrupa’da yapılan çalışmalarda verimin 200-380 kg da⁻¹ arasında değiştiği rapor edilmiştir (Jamriska, 1990; Kaul ve ark., 1996). Ülkemizde ise Çukurova koşullarında amarantta tane verimi kuru koşullarda 130-193 kg da⁻¹, sulu koşullarda 220-229 kg da⁻¹ arasında değiştiği; biyomas veriminin ise kuru koşullarda 714 kg da⁻¹, sulu koşullarda 1020 kg da⁻¹ düzeyine ulaştığı bildirilmiştir (Selçuk, 2014).

Amarant, erken gelişim döneminde yavaş büyümesi nedeniyle yabancı ot rekabetine duyarlıdır (Rastogi ve Shukla, 2013). Kuraklık, sıcaklık ve tuzluluk streslerine dayanıklı olmakla birlikte, özellikle çiçeklenme ve tane bağlama dönemlerinde verim düşüşleri görülebilmektedir (Sage ve Zhu, 2011). Mekanik hasada uygun çeşitler sınırlı olsa da biçerdöver ile hasat yapılabilir (Weber, 1987). Ancak homojen olmayan olgunlaşma nedeniyle hasat zamanlaması kritiktir. Yetiştiricilikte uygun toprak sıcaklığı (15-20°C), iyi tohum yatağı, yeterli nem ve yabancı ot kontrolü ile doğru hasat uygulamaları verim ve kaliteyi artırmaktadır (Rastogi ve Shukla, 2013).

AMARANT (*Amaranthus spp.*)’İN MİKROÇOĞALTIMI

Bitki doku kültürünün temelleri Gottlieb Haberlandt (1902) tarafından ortaya konmuş ve bitki hücrelerinin uygun koşullarda tüm bir bitkiyi oluşturabilme yeteneği “totipotensi” kavramı ile açıklanmıştır. Bu teorik yaklaşım, Philip R. White (1932) ve Georges Morel (1960) tarafından yapılan çalışmalarla pratikte uygulanmış ve mikroçoğaltım tekniklerinin gelişimine temel oluşturmuştur (George ve ark., 2008).

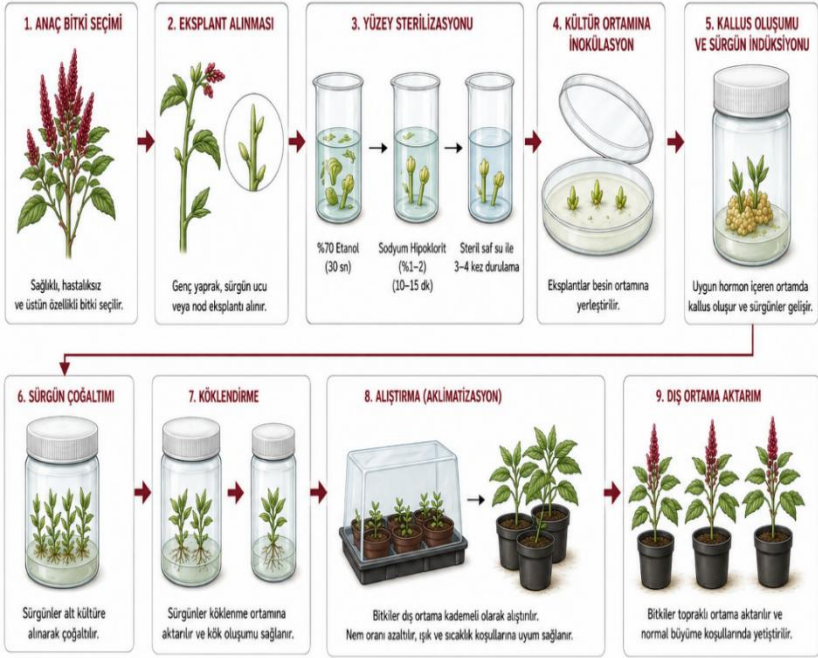
Mikroçoğaltım, bitki hücre, doku veya organlarının steril ve kontrollü koşullarda yapay besin ortamlarında kültüre alınarak kısa sürede çok sayıda bitki elde edilmesini sağlayan bir doku kültürü yöntemidir (Bhojwani ve Razdan, 1996; George ve ark., 2008).

Bu temel gelişmelerin ardından, birçok bitki türünde olduğu gibi amarant türlerinde de doku kültürü çalışmaları 1970’li yıllardan itibaren başlamıştır. Bu çalışmalarda uygun sterilizasyon yöntemleri, eksplant seçimi, besin ortamı

bileşimi ve bitki büyüme düzenleyicilerinin kallus oluşumu ile sürgün ve kök gelişimi üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır (Tablo 2).

Mikroçoğaltım süreci; temelde hazırlık, kültür başlangıcı, sürgün çoğaltımı, köklendirme ve aklimatizasyon aşamalarından oluşmaktadır. Amaranat bitkisinin mikroçoğaltım aşamaları Şekil.2’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir (Bhojwani ve Razdan, 1996; George ve ark., 2008).

Şekil. 2 Amaranatın mikroçoğaltım aşamaları.



(Bhojwani ve Razdan, 1996; George ve ark., 2008’den uyarlanmıştır).

Tablo 2. Amaranat türlerinde *in vitro* mikroçoğaltım çalışmaları.

Tür	*BBD	Eksplant Tipi	Ülke	Kaynak
<i>A. viridis</i>	Oksin (belirtilme miş)	Kök	Pakistan	Zain-ul-Abedin ve ark., 1976
	BA, NAA	Boğum	Pakistan	Jan ve ark., 2020
	2,4-D, NAA, BAP, Zeatin	Genç yapraklar	ABD	Flores ve ark., 1982
<i>A. hypochondriacus</i>	2,4-D, Dicamba, Hindistan cevizi suyu	Olgun embriyo	Meksika	Jofre-Garfias ve ark., 1997
	2,4-D	Hipokotil	Meksika	Cabrera-Ponce ve ark., 1999
	NAA	Sürgün ucu	ABD	Tisserat ve Galletta, 1982
	2,4-D, Kinetin	Yaprak, gövde	İtalya	Bennici ve ark., 1992
	2,4-D, NAA, BAP, Zeatin	Genç yapraklar	ABD	Flores ve ark., 1982
<i>A. cruentus</i>	TDZ, BAP, Zeatin, NAA	Epikotil	Slovenya	Gajdošová ve ark., 2013

	2,4-D, NAA, BAP, Zeatin	Genç yapraklar	ABD	Flores ve ark., 1982
<i>A. tricolor</i>	2,4-D, NAA + BA	Hipokotil, yaprak	Hindistan	Biswas ve ark., 2013
	BAP, 2,4-D, NAA	Yaprak, boğum	Filipinler	Comia-Yebron ve ark., 2017
	NAA, BAP, GA ₃	Yaprak	Nijerya	Tahir ve Mathew, 2021
<i>A. spinosus</i>	BAP, 2,4-D, NAA	Yaprak, boğum	Filipinler	Comia-Yebron ve ark., 2017
<i>A. dubius</i>	BAP, IAA	Boğum	G. Afrika	Shaik ve ark., 2019
<i>Amaranthus spp.</i>	BAP, NAA	Yaprak, boğum	İtalya	Bennici ve Schifflı, 1997
(tür belirtilmemiş)	NAA, BA, 2,4-D + Kinetin	Yaprak, gövde	İtalya	Bennici ve ark., 1997
	2,4-D	Hipokotil	Hindistan	Singh ve ark., 2009
	BAP, Kinetin	Boğum	Hindistan	Shukla ve ark., 2010
	BAP	Boğum	Hindistan	Elangomathavan ve ark., 2018
	Zeatin, IAA	Sürgün ucu, yaprak	Pakistan	Ahmad ve ark., 2023

*BBD = Bitki Büyüme Düzenleyicisi

Hazırlık Aşaması

Mikroçoğaltımın başarısı büyük ölçüde uygun eksplant seçimi ve eksplantın fizyolojik durumuna bağlıdır. Genç, aktif büyüyen, hastaliksız ve genetik olarak stabil dokular yüksek rejenerasyon kapasitesi ve düşük kontaminasyon riski göstermektedir (Pierik, 1997; George ve ark., 2008). Amarant türlerinde *in vitro* kültür çalışmaları tohumların aseptik kültür koşullarında sterilizasyonundan sonra *in vitro* çimlendirilmiş steril bitkilerden veya doğrudan eksplantlardan başlamaktadır (Biswas ve ark., 2013; Tahir ve Mathew, 2021).

Olgun zigotik embriyolar yüksek totipotensi nedeniyle somatik embriyogenez çalışmalarında tercih edilirken (Jofre-Garfias ve ark., 1997), hipokotil ve epikotil eksplantları yüksek morfogenez yanıtları nedeniyle özellikle organogenez ve kallus indüksiyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Cabrera-Ponce ve ark., 1999; Singh ve ark., 2009; Gajdošová ve ark., 2013). Yaprak eksplantları hem kallus oluşmaksızın direkt hem de kallus oluşumundan sonra indirekt organogenezde etkili olurken (Flores ve ark., 1982; Bennici ve ark., 1992; Xuan ve ark., 2023), Boğum eksplantları, doğrudan aksiller sürgün gelişimi sağlayabilmeleri nedeniyle mikroçoğaltımda en etkili eksplant gruplarından biri olarak öne çıkmaktadır (Elangomathavan ve ark., 2018; Shaik ve ark., 2019; Jan ve ark., 2020). Kök eksplantları ise daha sınırlı çalışmalarda kullanılmış olup genellikle kallus indüksiyonu amacıyla değerlendirilmiştir (Zain-ul-Abedin ve ark., 1976). Sürgün ucu eksplantları ise yüksek totipotent özellikleri sayesinde hem steril kültür başlangıcında hem de doğrudan sürgün rejenerasyonunda önemli bir materyal olarak kullanılmaktadır (Tisserat ve Galletta, 1982; Ahmad ve ark., 2023).

Eksplantın alındığı donör bitkinin yaşı ve fizyolojik durumu, rejenerasyon kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Genç ve aktif meristematik dokular (tepe tomurcuğu, koltukaltı tomurcuğu ve kök ucu meristemleri) yüksek çoğalma ve organogenez kapasitesi gösterirken, yaşlı ve olgun dokular daha sınırlı rejenerasyon yanıtı vermektedir (Lindsay ve Vasil, 1989; Reed, 2008) (Tablo 2.).

Flores ve ark. (1982) çalışmalarında tohumlar, ABD, Pennsylvania'daki Organik Bahçecilik ve Tarım Araştırma Merkezi gen havuzu koleksiyonundan temin edilmiştir. *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* ve *A. tricolor* tohumlarını kontrollü koşullarda vermikülit ortamında, 24°C'de, 16 saat fotoperiyot ve 21.500 lux ışık altında günde iki kez 1.2 g L⁻¹ Hyponex ile sulanarak yetiştirilmiştir. Tohumların uzun süreli depolamada %85 canlılık gösterdiği ve

bu koşullarda normal ieklenip tohum oluşturduğu bildirilmiştir. *İn vitro* alışmalar için 2-3 haftalık fidelerden eksplant elde edilmiştir.

Shaik ve ark. (2019) ise Güney Afrika'nın Durban kentindeki Randles Fidanlığı (29°49'G, 30°58'D) populasyonundan rastgele topladıkları *A. dubius* tohumlarını imlendirilip sera koşullarında saksılarda toprak ortamında 60 gün süreyle düzenli sulama ile yetiştirmiştir (25/18°C gündüz/gece, %84-94 bağıl nem). Ayrıca periyodik fungusit uygulamaları ile (yapraktan 2 g L⁻¹ Dithane ve 1 mL L⁻¹ Supremo, kökten ise mL L⁻¹ Chronos ve 1.25 mL L⁻¹ Orius) ve gübreleme (yapraktan 1 mL L⁻¹ Trelmix, kökten ise 2.5 g L⁻¹ Multifeed®) işlemi yapılmıştır. *İn vitro* kültür çalışmaları için eksplantlar 2 aylık bitkilerden alınmıştır.

Biswas ve ark. (2013) alışmalarında ise *A. tricolor* tohumlarını ticari kaynaklardan temin edip tohumları %5 Teepol zeltisi ile yüzey sterilizasyonuna tabi tutmuşlardır. *İn vitro* koşullarda elde edilen steril fidelerden bir ay sonra kök, gövde ve yaprak eksplantları izole edilerek bu eksplantlardan kallus rejenerasyonu sağlanmıştır.

Kültür Başlangıç Aşaması

Başarılı bir *in vitro* kültür için etkili yüzey sterilizasyonu kritik öneme sahiptir. Sterilizasyon sırasında en sık karşılaşılan sorunlar kontaminasyon ve doku hasarı olup bu sorunların giderilmesinde uygun protokollerin belirlenmesi ve aseptik çalışma koşullarının sağlanması önem taşımaktadır (George ve ark., 2008). Amarantın yüzey sterilizasyonunda kullanılan en yaygın protokol, eksplantların %70 etanol ile kısa süreli ön işleme tabi tutulmasını takiben sodyum hipoklorit (NaOCl) zeltisinin, çoğunlukla Tween-20 gibi yüzey aktif maddeler eşliğinde belirli srelerde uygulanmasıdır. Amarant türlerinde *in vitro* kültür tekniklerinin temelini oluşturan çalışmalardan biri olarak kabul edilen Zain-ul-Abedin ve ark. (1976)'nın yapmış oldukları çalışmada, *A. viridis*'in gövde ve kök eksplantları kullanılmış, eksplantlar %70 etanolde 30-60 saniye bekletilmiş ve ardından %1-2 NaOCl ile 10-15 dakika sterilize edilmiştir. Cabrera-Ponce ve ark. (1999), *A. hypochondriacus* amarant türüne ait hipokotil eksplantlarını; Bennici ve ark. (1992, 1997) ile Singh ve ark. (2009), hem hipokotil hem gövde eksplantlarını; Shaik ve ark. (2019) *A. dubius*'un boğum eksplantlarını; Comia-Yebron ve ark. (2017) ise *A. tricolor* ve *A. spinosus türlerinin* yaprak ve boğum eksplantlarını NaOCl bazlı protokollerle sterilize etmiş ve bu yöntemlerin etkinliğini doğrulamışlardır. Bununla birlikte, kontaminasyonun yüksek olduğu durumlarda bazı çalışmalarda daha güçlü sterilizasyon ajanlarının kullanıldığı da görülmektedir. Jan ve ark. (2020), *A. viridis* türünde eksplantlara %0.07 HgCl₂ (9-10 dk) ve %9 NaOCl (14-15 dk) uygulayarak kontaminasyonu önemli ölçüde azalttıklarını bildirmişlerdir.

Amarantın doku kültürü çalışmalarında başlangıç ortamı olarak genellikle MS (Murashige ve Skoog, 1962) besiyeri kullanılmakta, ayrıca B5 ortamından da

(Gamborg ve ark., 1968) yararlanılmaktadır (Flores ve ark., 1982; Bennici ve ark., 1997). Karbon kaynağı olarak sakkaroz, katılaştırıcı olarak ise çoğunlukla agar tercih edilmektedir. Agar kaynaklı bazı fizyolojik bozukluklar; kloroz, nekroz ve camlaşma şeklinde ortaya çıkabilmekte, bu sorunlar agar tipi ve miktarının optimize edilmesiyle giderilebilmektedir (George ve ark., 2008; Pierik, 1999). Ortamın pH değeri, mineral dengesi ve vitamin içeriği hücre gelişimini doğrudan etkilerken; sıcaklık (genellikle 24-26°C), fotoperiyot (16 saat aydınlık/8 saat karanlık) ve ışık yoğunluğu gibi çevresel faktörler de rejenerasyon başarısında belirleyici rol oynamaktadır. Uygun olmayan ışık ve sıcaklık koşulları hücre büyümesini ve rejenerasyonu olumsuz etkileyebilmektedir.

Amarant türlerinde özellikle 2,4-D (2,4-diklorofenoksiasetik asit)'nin kallus oluşumunda kritik rol oynadığı birçok çalışmada görülmektedir. Flores ve ark. (1982), 2,4-D konsantrasyonunun kallus oluşumu üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymuş; düşük konsantrasyonlarda hızlı kallus oluşumu ve kök gelişimi, yüksek konsantrasyonlarda ise somatik embriyogenez benzeri yapıların oluştuğunu bildirmişlerdir. Bu durum, oksin konsantrasyonunun sadece kallus oluşumunu değil, aynı zamanda gelişim yolunu da yönlendirdiğini göstermektedir. Bennici ve ark. (1992, 1997), 2,4-D + kinetin ve NAA + BA kombinasyonlarının farklı amarant genotiplerinde kallus oluşumunu desteklediğini bildirmişlerdir. Jofre-Garfias ve ark. (1997), *A. hypochondriacus*'un olgun embriyolarından embriyogenik kallus elde ettikleri çalışmalarında 2,4-D ve dikamba kullanımının kallus oluşumunda etkili olduğunu ve hindistan cevizi suyunun kallus oluşumunu desteklediğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Cabrera-Ponce ve ark. (1999) ile Singh ve ark. (2009) da çalışmalarında 2,4-D içeren ortamlarda kallus indüksiyonu sağlamışlardır. Biswas ve ark. (2013) ise *A. tricolor*'da 0.5-1.0 mg L⁻¹ 2,4-D konsantrasyonlarında başarılı kallus indüksiyonu sağlamışlar ve kallus stabilitesinin alt kültürlerle sürdürülebileceğini göstermişlerdir. Comia-Yebon ve ark. (2017), *A. tricolor* ve *A. spinosus* türlerinde BAP + 2,4-D ve BAP + NAA kombinasyonlarının kallus oluşumunu hızlandırdığını rapor etmişlerdir. Xuan ve ark. (2023), en yüksek kallus oluşumunun 3.0 mg L⁻¹ BAP ve 0.5 mg L⁻¹ 2,4-D kombinasyonunda elde edildiğini bildirmiştir. Ahmad ve ark. (2023) ise bazı amarant genotiplerinde zeatin ve IAA kombinasyonunun %100 kallus oluşumu sağladığını ortaya koymuşlardır.

Bu bulgulardan amarant türlerinde kallus indüksiyonunun kullanılan oksin türü ve konsantrasyonuna bağlı olduğu, ancak sitokininlerin varlığının bu süreci önemli ölçüde modüle ettiği anlaşılmaktadır. En yaygın kullanılan oksin türevinin 2,4-D olduğu ancak NAA, IAA ve dicamba gibi alternatif oksin türevlerinin de kullanılmış olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, kallus oluşumunun yalnızca hormon kombinasyonlarına bağlı olmadığı; aynı zamanda kullanılan genotip ve eksplant tipine göre de önemli ölçüde değişiklik gösterdiği anlaşılmaktadır.

Sürgün Çoğaltım Aşaması

Sürgün çoğaltım aşamasında özellikle BAP (6-benzilaminopurin) ve kinetin gibi sitokininler sürgün oluşumunu teşvik ederken, oksin/sitokinin oranı rejenerasyon başarısını doğrudan etkilemektedir. Ancak yüksek sitokinin konsantrasyonları vitrifiye (camlaşma/hiperhidrisite) gibi fizyolojik bozukluklara yol açabilmektedir (Jan ve ark., 2020). Vitrifikasyon; hormon dengesizliklerinin yanı sıra mineral madde, şeker ve agar konsantrasyonlarının uygun olmamasından da kaynaklanabilmektedir ve genellikle zayıf sürgün gelişimi, düşük sürgün sayısı ve anormal morfoloji ile karakterize edilmektedir.

Bu sorunun giderilmesinde hormon konsantrasyonlarının optimize edilmesi, uygun eksplant seçimi ve kültür koşullarının iyileştirilmesi önem taşımaktadır (George ve ark., 2008). Agar tipi ve konsantrasyonunun (%0.6-0.7 olmalı) yanında ortam pH'sının 5.8-6.0 aralığında tutulması ve NH_4NO_3 düzeyinin optimize edilmesi sorunun giderilmesinde oldukça önemlidir. Düşük agar konsantrasyonu kültür ortamında su ve nem miktarını artırarak hücrelerin aşırı su alımına neden olmakta ve hiperhidrisiteyi teşvik etmektedir. Besin ortamında amonyum nitrat (NH_4NO_3)'in azaltılması veya çıkarılması da hiperhidrisiteyi düşürmektedir (Casanova ve ark., 2008). Düşük pH seviyelerinde hiperhidrisitenin daha şiddetli olduğu bildirilmiştir (Liu ve ark., 2017). Kinetin kullanılan ortamlarda hiperhidrisite daha düşük (%14-49) görülmüş olmasına rağmen sürgün çoğalma kapasitesinin de bununla birlikte azaldığı bildirilmiştir (Bennici ve ark., 1992).

Tisserat ve Galletta (1982), 0.1 mg L⁻¹ NAA uygulamasının çiçek oluşumunu hızlandırabildiğini; Bennici ve ark. (1997), yüksek sitokinin/oksin oranlarının sürgün oluşumunu artırdığını ve BAP'nin etkili bir sitokinin olduğunu rapor etmişlerdir. Cabrera-Ponce ve ark. (1999), kallus indüksiyonunu takiben eksplantların sitokinin içeren ortamlara aktarılmasının sürgün rejenerasyonu için gerekli olduğunu; Shukla ve ark. (2010) ise sitokinin artışının sürgün oluşumunu artırdığını belirtmişlerdir. Gajdošová ve ark. (2013), TDZ (thidiazuron)'nin epikotil eksplantlarında güçlü bir sürgün indükleyici olduğunu; Shaik ve ark. (2019) ise 2 mg L⁻¹ BAP ve 0.5 mg L⁻¹ IAA kombinasyonunda yüksek sürgün çoğaltımı sağladıklarını bildirmişlerdir. Jan ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada sürgün çoğaltımını teşvik etmesi amacıyla BA ve NAA içeren besin ortamları kullanmışlardır. BA konsantrasyonunun artmasıyla sürgün sayısının arttığı belirlenmiştir. 1.0 mg L⁻¹ BA'da eksplant başına 5.6 adet, 1.5 mg L⁻¹ BA'da ise 7.7 adet sürgün elde edilmiştir. Ancak bu artışa paralel olarak yaprak kıvrılması, dar yaprak laminası ve soluk yeşil renk gibi hiperhidrisite belirtileri gözlenmiştir. NAA'nın tek başına kullanıldığı ortamlarda sürgün sayısı daha düşük (3.5 adet) olmasına rağmen morfolojik olarak daha normal sürgünler elde edilmiştir. BA/NAA kombinasyonları hem sürgün çoğalması hem de morfoloji açısından en uygun ortamı oluşturmuştur. Özellikle BA/NAA (1.5/0.1 mg L⁻¹)

kombinasyonunda eksplant başına 17.6 adet sürgün elde edilmiştir. Bununla birlikte bazı kombinasyonlarda %6'ya kadar hiperhidrisite görülmüştür. Ardışık altkültürler sırasında sürgün çoğalması artarken hiperhidrisite oranı da yükselmiş; BA içeren ortamlarda %27-85, BA/NAA kombinasyonlarında ise %15-68 arasında değişmiştir. Tahir ve Mathew (2021), düşük BAP konsantrasyonlarının sürgün gelişimini desteklediğini, GA₃ (gibberellik asit) uygulamalarının ise sürgün uzamasını teşvik ettiğini ortaya koymuşlardır.

Köklendirme Aşaması

Mikroçoğaltım protokolünün son rejenerasyon basamağı olup sürgünlerin kök oluşturmaları bu aşamada sağlanmaktadır. Genellikle oksin grubu bitki büyüme düzenleyicileri IAA, IBA ve NAA kök oluşumunu teşvik etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu süreçte hormon konsantrasyonunun düşük tutulması, güçlü ve sağlıklı kök gelişimi açısından önem taşırken; aşırı oksin uygulamaları kök deformasyonuna ve kallus oluşumuna neden olabilmektedir. Ayrıca ışık yoğunluğu, besin ortamının tuzluluk seviyesi ve karbon kaynağı gibi faktörler de köklenme başarısını etkileyen önemli unsurlar arasında yer almaktadır (Bhojwani ve Razdan, 1996; George ve ark., 2008).

Amarant türlerinde ise özellikle NAA (0.5-1.5 mg L⁻¹), IAA (0.1-1 mg L⁻¹) ve 2,4-D (3-10 mg L⁻¹) kök oluşumunu teşvik eden temel oksinler olarak öne çıkmaktadır. Bennici ve ark. (1997), NAA ve 2,4-D'nin kök oluşumundaki temel düzenleyici rolünü ortaya koymuştur. Shaik ve ark. (2019), sürgünlerin köklendirme ortamına (0.5 mg L⁻¹ IAA) aktarılmasıyla başarılı kök oluşumu sağlamış ve doğrudan *in vitro* kök gelişiminin mümkün olduğunu göstermiştir. Jan ve ark. (2020), en başarılı köklenmeyi 1.5 mg L⁻¹ NAA içeren ortamda elde etmişlerdir. Tahir ve Mathew (2021), düşük konsantrasyonlarda NAA uygulamasının yanı sıra GA₃ (0.1-0.2 mg L⁻¹), kombinasyonunun kök gelişimini desteklediğini bildirmişlerdir.

Aklimatizasyon (İklimlendirme/Dış Koşullara Alıştırma) Aşaması

Mikroçoğaltım sürecinin en kritik basamaklarından biri olup *in vitro* koşullarda yetiştirilen bitkilerin dış ortama uyum sağlamasıdır. Bu süreçte bitkiler, yüksek nem, düşük ışık ve steril ortam koşullarından çıkarılarak sera veya doğal çevre koşullarına kademeli olarak adapte edilmektedir. Doğrudan dış ortama aktarım, yüksek kayıp oranlarına neden olabildiğinden; nemin aşamalı olarak azaltılması, ışık yoğunluğunun artırılması ve kontrollü çevre koşullarının sağlanması büyük önem taşımaktadır. Aklimatizasyon sürecinde karşılaşılan başlıca sorunlar su kaybı, stomatal kontrol eksikliği ve adaptasyon stresidir. Bu sorunların azaltılması amacıyla yüksek nem kontrolü, gölgeleme uygulamaları ve uygun sulama sistemleri kullanılmaktadır (Bhojwani ve Razdan, 1996). Ayrıca uygun substrat seçimi (torf-perlit karışımları) ile birlikte sıcaklık ve ışık koşullarının optimize edilmesi, bitkilerin dış ortama adaptasyonunu kolaylaştırmaktadır.

Amarant türlerinde yapılan çalışmalar, köklendirme sonrası bitkilerin *in vivo* koşullara yüksek oranda (%65-90) uyum sağlayabildiğini göstermektedir. Bennici ve ark. (1997), köklendirilmiş bitkilerin toprak ortamına başarıyla aktarılabilirdiğini ve genetik bütünlüklerini koruduklarını göstermiştir. Shaik ve ark. (2019), bitkilerin sera koşullarında 90 gün boyunca gelişimini sürdürdüklerini bildirmişlerdir. Ayrıca aklimatizasyon sürecinde bitkilerin genetik stabilitesinin korunduğu da rapor edilmiştir. Jan ve ark. (2020), *A. viridis* türünde köklü bitkilerin aklimatizasyonunun 5 hafta sürdüğünü, plastik kapların kademeli olarak açılmasıyla aklimatizasyonun sağlandığını bildirmişlerdir. Araştırmada bitkiler steril toprak ve kum karışımına (2:1) aktarılmıştır. 45 gün sonra bitkiler arazi koşullarına şaşırtılmıştır. Morfolojik olarak aklimatize bitkiler ile doğal bitkiler arasında belirgin bir farklılık gözlenmediği rapor edilmiştir. Bu bulgular, mikroçoğaltım yoluyla elde edilen bitkilerin yalnızca morfolojik olarak değil, genetik açıdan da stabil şekilde *in vivo* koşullara uyum sağlayabildiğini ortaya koymaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Amarant türleri, yüksek besin değeri, stres toleransı ve sekonder metabolit potansiyellerinden dolayı mikroçoğaltım çalışmalarında kullanılan önemli bitkiler arasında yer almaktadır. Rejenerasyon başarısı tür, genotip, eksplant tipi ve kültür koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Tahıl amarantları sebze amarantlarına göre daha düşük rejenerasyon kapasitesine sahiptir. *A. hypochondriacus*, *A. cruentus*, *A. tricolor* ve *A. viridis* amarant türlerinde başarılı rejenerasyon sistemleri geliştirilmiştir. Embriyonik kökenli eksplantlar (zigotik embriyo, hipokotil, epikotil) yüksek kallus ve somatik embriyogenez kapasitesine sahipken, boğum ve sürgün ucu gibi meristematik dokular doğrudan sürgün rejenerasyonu açısından daha yüksek performans göstermektedir. Yaprak eksplantları ise hem kallus oluşumu hem de dolaylı organogenez çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Amarant bitkisinin mikroçoğaltım çalışmalarında çoğunlukla 2-4 haftalık *in vitro* genç fidelerden alınan eksplantlar veya aktif vejetatif dönemdeki sağlıklı donör bitkilerden alınan eksplantlar kullanılmaktadır. Donör bitkilerin genç, hızlı büyüyen, hastaliksız ve fizyolojik olarak aktif olması kültür başarısını doğrudan etkilemektedir. Yaşlı dokular ise daha düşük organogenez ve kallus oluşturma kapasitesi göstermektedir. Amarant türlerinin doku kültürü çalışmalarında %70 etanol ve %1-2 NaOCl temelli sterilizasyon yöntemleri yaygın ve etkin olarak kullanılmaktadır. Ayrıca %0.05-0.1 HgCl₂ gibi sterilantlar da yüzey sterilizasyonu amacıyla tercih edilmektedir. Kallus oluşumunda en yaygın kullanılan oksin 2,4-D ve NAA'dır. BAP kinetin ve zeatin gibi sitokinlerin oksinlerle birlikte kullanımı kallus kalitesi ve embriyogenik kapasiteyi artırmaktadır. Özellikle BAP içeren ortamlar yüksek sürgün çoğaltımı sağlamaktadır. Bununla birlikte düşük düzey oksin ilavesi sürgün oluşumunu desteklerken, en başarılı sonuçlar genellikle BAP + NAA kombinasyonlarında elde edilmiştir. Yüksek sitokin konsantrasyonları ise

hiperhidrisiteye neden olarak rejenerasyon kalitesini önemli ölçüde düşürmektedir. Köklendirme aşamasında en yaygın kullanılan oksin NAA'dır. Düşük NAA konsantrasyonlarının sağlıklı ve fonksiyonel kök sistemleri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Amarant bitkisinde GA₃ özellikle çimlenme ve sürgün uzamasını teşvik etmek amacıyla kullanılmaktadır. Amarant bitkisi aklimatizasyon sürecinde yüksek yaşama oranı göstermektedir (%65-90). Ayrıca betalain pigmentleri nedeniyle sekonder metabolit üretimi açısından önemli bir potansiyele sahiptir ve doğal renk maddesi üretiminde alternatif bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Bitki hücre kültürleri aracılığıyla sekonder metabolit üretimi ilaç, gıda ve kozmetik endüstrilerinde giderek önem kazanmakta olup bu nedenle mikroçoğaltım protokollerinin geliştirilmesi sekonder metabolitlerin üretimine de dolaylı olarak katkı sağlayacaktır. Amarantın mikroçoğaltım tekniklerinin geliştirilmesi hastalıksız bitkilerin üretimine, genetik kaynakların korunmasına da katkı sağlayabilecektir. Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmaların genotip-spesifik rejenerasyon protokollerinin geliştirilmesine odaklanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, mikroçoğaltım sürecinde karşılaşılan hiperhidrisite probleminin azaltılabilmesi için fizyolojik ve biyokimyasal temellere dayalı yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Sevil SAĞLAM YILMAZ'a ve desteklerini her zaman hissettiğim eşim Hekime TAYSI DOĞAN'a teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Ahmad, S., Malik, M. A., and Raza, M. A. (2023). Optimization of callus induction and in vitro regeneration in *Amaranthus* spp. *Plant Biotechnology Reports*, 17, 45–58.
- Achigan-Dako, E. G., Sogbohossou, O. E. D., and Maundu, P. (2014). Current knowledge on *Amaranthus* spp.: Research avenues for improved nutritional value and yield in leafy amaranths in sub-Saharan Africa. *Euphytica*, 197(3), 303–317.
- Anonim. 2023. <https://www.yenisafak.com/foto-galeri/hayat/olumsuzluk-bitkisi-olarak-biliniyor-turkiyede-tek-bir-yerde-yetisiyor-4538909/2>
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., and Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science and Technology*, 21(2), 106–113.
- Arendt, E. K., and Zannini, E. (2013). *Cereal grains for the food and beverage industries*. Woodhead Publishing.
- Becker, R. (1994). Amaranth oil: composition, processing and nutritional qualities. In O. Paredes-Lopez (Ed.), *Amaranth – Biology, Chemistry and Technology* (pp. 133–142). CRC Press.
- Becker, R., Wheeler, E. L., Lorenz, K., Stafford, A. E., Grosjean, O. K., Betschart, A. A., and Saunders, R. M. (1981). A compositional study of amaranth grain. *Journal of Food Science*, 46(4), 1175–1180.
- Bennici, A., Schiff, S., and Bovelli, R. (1992). In vitro culture of species and varieties of four *Amaranthus* L. species. *Euphytica*, 62, 181–186.
- Bennici, A., Schiff, S., and Bennici, M. (1997). In vitro culture of *Amaranthus* species. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 49, 73–77.
- Berghofer, E., and Schoenlechner, R. (2002). Grain amaranth. In *Pseudocereals*. Springer.
- Biswas, M., Das, S.S., Dey, S. (2013). Establishment of a stable *Amaranthus tricolor* callus line for production of food colorant. *Food Sci. Biotechnol.*, 22, 22-30.
- Brenner, D. M., Baltensperger, D. D., Kulakow, P. A., Lehmann, J. W., Myers, R. L., Slabbert, M. M., and Sleugh, B. B. (2000). Genetic resources and breeding of *Amaranthus*. *Plant Breeding Reviews*, 19, 227–285.
- Brenner, D. M., and Widrlechner, M. P. (1998). *Amaranthus* germination and seed biology. *Seed Science Research*, 8, 123–132.
- Bruni, R., Medici, A., Guerrini, A., Scalia, S., Poli, F., Muzzoli, M., and Sacchetti, G. (2001). Wild *Amaranthus* species: Nutritional quality and antioxidant properties. *Food Chemistry*, 73, 25–31.

- Bhojwani, S. S., and Razdan, M. K. (1996). *Plant tissue culture: Theory and practice*. Elsevier.
- Cai, Y., Corke, H., and Wu, H. (2004). Amaranth. In C. W. Wrigley, H. Corke, and C. E. Walker (Eds.), *Encyclopedia of Grain Science* (pp. 1–9). Elsevier Academic Press.
- Caselato-Sousa, V. M., and Amaya-Farfán, J. (2012). State of knowledge on amaranth grain. *Food Science and Technology*, 32(4), 621–631.
- Comia-Yebbron, R., Aspúria, E. T., and Bernardo, E. L. (2017). Callus induction in *Amaranthus tricolor* and *Amaranthus spinosus*. *Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*, 23(1), 12–23.
- Costea, M., and DeMason, D. A. (2001). Stem morphology and anatomy in *Amaranthus*. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 128, 254–281.
- Cabrera-Ponce, J. L., Vegas-García, A., and Herrera-Estrella, L. (1999). Regeneration and transformation studies in *Amaranthus hypochondriacus*. *Plant Cell Reports*, 18(12), 1000–1006.
- Casanova, E., Moysset, L., Trillas, M.I. (2008). Effect of agar concentration and vessel closure on the organogenesis and hyperhydricity of adventitious carnation shoots. *Biol. Plant.*, 52, 1–8. DOI: 10.1007/s10535-008-0001-z
- Das, S. (2012). Systematics and taxonomy of *Amaranthus*. *Botanical Review*, 78, 1–25.
- Elangomathavan, S., Kumar, R., and Sharma, P. (2018). Micropropagation of cereal amaranths via nodal explants. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 21(6), 421–429.
- Ergün, N., Çölkesen, M., and Yılmaz, A. (2014). Türkiye koşullarında bazı amarant (*Amaranthus* spp.) genotiplerinin verim ve agronomik özelliklerinin belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 23(2), 45–52.
- Flores, H. E., Thier, A., and Galston, A. W. (1982). In vitro culture of grain and vegetable amaranths (*Amaranthus* spp.). *American Journal of Botany*, 69(7), 1049–1054.
- Gajdošová, A., Libiaková, G., Fehér, A., and Mihálik, D. (2013). In vitro regeneration and micropropagation of *Amaranthus* spp. using nodal explants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 112, 321–329.
- George, E. F., Hall, M. A., and De Klerk, G. J. (2008). *Plant propagation by tissue culture* (3rd ed.). Springer.
- Güner, A. (Ed.). (2012). *Türkiye bitkileri listesi (Damarlı bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları.

- Grubben, G. J. H., and Denton, O. A. (2004). Plant resources of tropical Africa 2: Vegetables. PROTA Foundation.
- Jamriska, P. (1990). The effect of stand organization on the yield of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*). *Rostlinna Vyroba*, 36(8), 889–896.
- Jacobsen, S. E., A. Mujica and L. Guarino. 2000. The genetic resources of the Andean grain crop amaranth (*Amaranthus caudatus* L., *A. cruentus* L. and *A. hypochondriacus* L.). Proceedings of International Conference on Science and Technology for Managing Plant Genetic Diversity in the twenty-first Century, Kuala Lumpur, Malaysia, 12–16 June
- Jan, T., Ullah, I., Muhammad, B., Tariq, __, Mansoor, A., Zaheer Ullah, and Nawaz, M. A. (2020). Efficient in vitro propagation of *Amaranthus viridis* L. using node explants. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 19(4), 41–51.
- Jofre-Garfías, A. E., Villegas-Sepúlveda, Cabrera-Ponce, J. L., Adam e-Alvarez, R. M., Herrera-Estrella, L., Simpson, J. (1997). Agrobacterium-mediated transformation of *Amaranthus hypochondriacus*: light- and tissue-specific expression of a pea chlorophyll a/b-binding protein promoter. *Plant Cell Reports*, 16, 847–852. <https://doi.org/10.1007/s002990050332>
- Kaul, H.-P., Aufhammer, W., Laible, B., Nalborczyk, E., Pirog, S., and Wasiak, K. (1996). The suitability of amaranth genotypes for grain and fodder use in Central Europe. *Die Bodenkultur*, 47(3), 173–181.
- Kauffman, C. S., and Weber, L. E. (1990). Grain amaranth. In J. Janick and J. E. Simon (Eds.), *Advances in new crops* Timber Press. 127–139.
- Kigel, J. (1994). Development and ecophysiology of amaranth. *Horticultural Reviews*, 16, 335–371.
- Liu, M., Fangling, J., Xiangyu, K., Jie, T., Zexiu, W., Zhen, W. (2017). Effects of multiple factors on hyperhydricity of *Allium sativum* L. *Sci. Hortic.*, 217, 285–296. DOI: 10.1016/j.scienta.2017.02.010
- Mathews, S. (2001). *Amaranthus* genetic resources in India. In Report on plant genetic resources. National Botanical Research Institute (NBRI), Lucknow, India.
- Maughan, P. J., Smith, S., Fairbanks, D., and Jellen, E. (2011). Development, characterization, and linkage mapping of SNPs in grain amaranths. *Plant Genome*, 4(1), 92–101.
- Murashige, T., and Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays. *Physiologia Plantarum*, 15, 473–497.
- National Research Council. (1984). *Amaranth: Modern prospects for an ancient crop*. National Academy Press. Washington, DC.

- Olaf L. Gamborg, Richard A. Miller, and Kyoichi Ojima (1968). *Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells*. Experimental Cell Research, 50(1), 151–158. [https://doi.org/10.1016/0014-4827\(68\)90403-5](https://doi.org/10.1016/0014-4827(68)90403-5)
- Pierik, R. L. M. (1997). In vitro culture of higher plants (3rd ed.). Springer.
- Priya, C., Celine, V. A., Gokulapalan, C., and Rajamony, L. (2007). Nutritional and antinutritional composition of leafy vegetables of *Amaranthus* spp. Indian Journal of Agricultural Research, 41(3), 174–178
- Rastogi, A., and Shukla, S. (2013). Amaranth: A new millennium crop of nutraceutical values. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 53(2), 109–125.
- Reed, B. M. (2008). Plant tissue culture: Essential methods. Wiley-Blackwell.
- Trucco, F., and Tranel, P. J. (2011). *Amaranthus*. In C. Kole (Ed.), Wild crop relatives: Genomic and breeding resources (pp. 1–10). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14387-8_1
- Sage, R. F., and Zhu, X. G. (2011). Exploiting the engine of C4 photosynthesis. Journal of Experimental Botany, 62, 2989–3000.
- Sauer, J. D. (1984). *Morphology, taxonomy, and distribution of the genus Amaranthus (Amaranthaceae)*. University of California Press.
- Selçuk, H. (2014). *Çukurova koşullarında dane amarantın (Amaranthus spp.) kuraklığa dayanma yönünden incelenmesi*. Yüksek lisans tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Shukla, A., Patel, V., and Kumar, P. (2010). Morphogenesis in cereal amaranths under in vitro conditions. Plant Cell Reports, 29(7), 763–772.
- Shaik, S., Dladla, P. N., and Watt, M. P. (2019). Effects of genotype and physiological age on Ca and Fe content in *Amaranthus dubius*.
- Singh, R., Shekhawat, N. S., Kumar, S., and Teotia, P. (2009). Callus induction in *Amaranthus* spp. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 97, 1-7.
- Tisserat, B., and Galletta, G. J. (1982). In vitro flowering of *Amaranthus* species. Plant Physiology, 69(6), 1300–1303.
- Xuan Y, Liu S, Xie L and Pan J, 2023. Establishment of *Amaranthus* spp. calluses and cell suspension culture, and the effect of plant growth regulators on total flavonoid content. *Tropical Plants* 2(1): 15-23.
- Weber, E. (1987). Amaranth grain production guide. Rodale Press.
- Williams, J. T., and Brenner, D. (1995). Grain amaranth (*Amaranthus* spp.). In Underutilized Crops. Chapman and Hall.
- Zain-ul-Abedin, M., Khan, S., and Ahmad, I. (1976). Tissue culture studies in *Amaranthus viridis*. Pakistan Journal of Botany, 8(2), 45–52.

