

TARIMDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

ve BİTKİSEL ÜRETİMDE
GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Editör

AHMET TURHAN



BİDGE Yayınları

Tarımda Sürdürülebilirlik ve Bitkisel Üretimde Güncel Yaklaşımlar

Editör: AHMET TURHAN

ISBN: 978-625-8673-07-4

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

5403 SAYILI TOPRAK KORUMA VE ARAZİ KULLANIMI KANUNU'NA, 6537 SAYILI KANUN İLE YAPILAN DEĞİŞİKLİKLERİN GETİRDİĞİ KAZANIMLAR VE EN GÜNCEL GELİŞMELER	1
---	---

MELTEM AYAZ

MEYVE MUHAFAZASINDA UÇUCU YAĞLARIN KULLANIM POTANSİYELİ	18
--	----

SAADET KOÇ GÜLER

SU STRESİNDE HİDROJEL KULLANIMI	38
---------------------------------------	----

SELMA KIPÇAK BİTİK

CEVİZ (JUGLANS REGIA L.) BİTKİSİNDE TUZLULUĞA KARŞI DİRENÇ MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ	52
--	----

MESUT ADA, SALİH KAFKAS

BÖLÜM 1

5403 SAYILI TOPRAK KORUMA VE ARAZİ KULLANIMI KANUNU'NA, 6537 SAYILI KANUN İLE YAPILAN DEĞİŞİKLİKLERİN GETİRDİĞİ KAZANIMLAR VE EN GÜNCEL GELİŞMELER

MELTEM AYAZ¹

Giriş

Bir ülkenin kendi kendine yeten bir ülke olabilmesi kendi tarımıyla kendi gıdasını üretmesine bağlıdır. Tarımda dışa bağımlı olmamak ve tarımı sanayii yatırımlarıyla da desteklemek yoluyla ekonomik refaha ulaşmak mümkündür. Bir ülkenin varoluşunda toprak bu nedenle en önemli unsurdur.

Toprak kaybı sadece toprak ve su erozyonlarıyla ortaya çıkmaz. Tarım arazilerinin korunumunda, toprakların doğal yapısından ileri gelen sorunlar (taşlılık, tuzluluk, eğimlilik, toprak derinliği v.b) bir tehdit oluşturmakta iken, asıl sorun ne yazık ki dış faktörlerden kaynaklanan ve çözümü basit faktörlerden oluşmaktadır. Öyle ki; yanlış tarımsal uygulamalar, plansız şehirleşmeler, köyden kente göçler sonucunda atıl kalan tarımsal araziler, nüfusta olan artışla beraber inşaat sahasına dönen araziler

¹ Dr, T.C Tarım ve Orman Bakanlığı, Zeytincilik Araştırma Enstitüsü
Müdürlüğü-İZMİR, Orcid: 0000-0001-6447-2149

nedeniyle kaybedilen topraklarımız hızla artmaktadır (Yüzal , 2019; Çelen, 2021).

Türkiye, gelişmekte olan, nüfusu hızla artan bir ülkedir. Türkiye’de tarım dışı sektörlerin (inşaat, endüstri, sanayii gibi) daha hızlı bir ivmeyle gelişmesi tarım arazilerinin üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Öyle ki 1990 yılında 0,76 ha olan kişi başına toplam tarım alanı miktarı, 2022’de 0,28 ha alana düşmüştür (Anonim, 2024-b). Bu nedenlerle topraklarımızı korumaya daha çok özen gösterilmesi ve kanunlarda yapılacak düzenlemelerle daha ciddi yaptırımların hayata geçirilmesinin hızlanması gereklidir.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de Tarım Arazilerinin Korunması ve Kullanımına Yönelik Politikalara ilişkin yasalar çıkarılmıştır (Ekici ve Sayılı, 2010; Özçelik, 2015; Yavuz ve Topuz, 2015; Kartal, 2019; Anonim, 2024-a). Bu makalemizde Türkiye’de “Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu” nun geçirdiği aşamalara bakma ve en güncel değişiklikleri irdeleme imkanına sahip olacağız.

MATERYAL VE METOT

Araştırmamız sosyal bilimler alanında sıklıkla kullanılan ikincil verilerin değerlendirilmesi yöntemiyle hazırlanmıştır. Kiecolt ve Nathan (1985) ikincil verileri; daha önceden hazırlanmış arşiv bilgilerinden ya da anket sonuçlarından elde edilmiş veriler olarak tanımlamakta, veri bankalarının tamamından ya da bir kısmından farklı kombinasyonlarda bir araya getirilmiş bilgileri bu kapsam havuzuna dahil etmektedirler. Creswell (2003) ise; bir amaca yönelik derlenip toplanmış elde mevcut olan her türlü bilgi, veri ve dökümanları, başka bir amaç için kullanılabilecek ikincil veriler olarak tanımlamaktadır.

Çalışmamızda, “**Toprak Koruma Ve Arazi Kullanımı Kanunu**” ana çatısı altında yer alan Tarım Sektörü Uygulamaları

ve güncel durum hakkında ikincil veriler (strateji planları, kanunlar, çalışma raporları, raporlar ve makaleler vb) incelenmiş ve analiz edilmiştir.

TÜRKİYE’DE “TOPRAK KORUMA VE ARAZİ KULLANIMI KANUNU” NUN GEÇİRDİĞİ AŞAMALAR:

Ülkemizdeki toprakla ilgili ilk kanun, 1973 yılında “**1757 Sayılı Toprak ve Tarım Reformu Kanunu**” ismiyle yürürlüğe giren kanundur.

- **1757 Sayılı Toprak ve Tarım Reformu Kanunu:** 17 Temmuz 1973'te yürürlüğe giren bu kanunun temel amacı; tarım arazilerinin en uygun biçimde işletilmesi ve tarımsal üretimin ulusal kalkınmaya göre geliştirilmesinin sağlanmasıdır. Aynı zamanda topraksız ailelerin toprak sahibi yapılması, Tarım Reformu Kooperatiflerinin kurularak arazi reformlarının amaçlarının uygulanması için kiracılık ve ortakçılık ilişkilerinin düzenlenmesi hedeflenmiştir. Arazi parçalanmalarının önlenmesi, arazi toplulaştırma çalışmalarının gerçekleştirilmesi ve örnek köylerin oluşturulması hedeflenmiştir. Ayrıca tarımsal faaliyette kullanılan toprak ve su kaynaklarının iyileştirilmesi ve geliştirilmesi ile ilgili imkanların sağlanması, programlamaların yapılması hedeflenmiştir.
- **3083 Sayılı Tarım Reformu Kanunu:** Sulama alanlarında arazi düzenlemesine ilişkin 1 Aralık 1984'te yürürlüğe giren kanunla mevcut toprak kanununda bir takım iyileştirmeler yapılmıştır. Yapılan düzenlemelere göre, dağıtımı yapılan topraklar bölünemez ve haczedilemez veya kiraya verilemez. Eğer çiftçilik yapmaktan vazgeçilecek olunursa, toprak uygulayıcı kuruluşa rayiç bedeli karşılığında iade edilebilir. Bu değişiklik tarım arazisinin aile işgücünü değerlendirmek için yeterli olmayacak derecede ufak

parçalara parçalanmasının ailenin geçimini zora koyacak kadar küçültülmesinin önünü kapatmak için yapılmıştır. Bunun yanı sıra; mirasın açılışından itibaren 6 ay içinde mirasçıların kendi aralarında aile ortaklığı şeklinde işletmedikleri veya rızaylarıyla kendi aralarında devir ve temlik işlemlerini yapmadıkları durumlarda, toprağın ve eğer varsa işletmeyle ilişkili tüm gayrimenkullerin bedeli uygulayıcı kuruluş tarafından geri alınmaktadır. Ödeme, kanun hükümlerine göre yapılır. Böyle bir durumda, uygulayıcı kuruluşa, geri alınan işletmeyi, öncelik mirasçılarda olmak üzere ya da topraksız olan veya az toprağı olan çiftçilerden birine tahsis etme yetkisi tanımlanmıştır. Kısaca özetlersek; yapılan değişikliklerle, arazi toplulaştırma çalışmalarının hız kazanması ve arazi parçalanmalarının önlenmesi, tarım arazilerinin amaç dışı kullanım durumunun iyileştirilmesi amaçlanmıştır (Anonim, 1984; Ekinci ve Sayılı, 2010).

- **5403 Sayılı Toprak Koruma Ve Arazi Kullanımı Kanununa Bir Bakış:** 19 Temmuz 2005 tarihinde, tarım arazilerinin amaç dışı ve yanlış kullanımlarının önlenmesi ve arazi korumayı sağlayacak yöntemlerin oluşturulmasına yönelik ihtiyaçların ortaya çıkması üzerine; sorumluluk ve görev tanımlarının netleştirilmesini sağlayan, sürdürülebilir arazi yönetimi anlayışının benimsendiği 5403 sayılı yasa çıkarılmıştır. Sürdürülebilir arazi yönetimi anlayışının temel olarak benimsendiği 5403 sayılı bu yasanın amaç ve kapsamıyla ilgili en önemli maddeleri şunlardır:

Madde 1’de bu kanunun çıkış amacının, topraklarımızın doğal veya yapay yollarla olabilecek kaybını önlemek ve niteliğini yitirmesini engelleyerek korunmasını, geliştirilmesini sağlamak olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda bu kanunun çevreyi önceliğe alarak sürdürülebilir

kalkınma ilkesiyle, plânlı arazi kullanımını sağlama konusunda usûl ve esasları belirleyen bir kanun olduğu vurgulanmıştır.

Madde 2’de bu kanunun aşağıda sayılan konularla ilişkili çözüm sunulmasıyla ilgili, görev, sorumluluk ve yetkilerin tanımlamalarının yapılmasıyla ilgili esasları ve usûlleri kapsadığı belirtilmiştir. Bu hususlar; arazilerin sınıflandırılması ve toprak kaynaklarının bilimsel esaslara dayanarak belirlenmesi, ve arazi kullanım plânlarının hazırlanması, koruma ve geliştirme süreci boyunca toplumsal, ekonomik arazi yönetimi kavramı geliştirilmesi ve Türkiye gereksinimi gözetilerek çevresel boyutlarının katılımcı yöntemlerle değerlendirilmesi, tarım arazilerinin amaç dışı ve yanlış kullanımların önlenmesi ve arazilerin korunumunu sağlayacak yöntemlerin oluşturulması olarak sıralanmıştır.

Madde 10’da 2 temel konu üzerinde açıklamalar yapılmıştır; arazi kullanım planlarının oluşturulması ve arazilerin usulüne uygun kullanımı. Hazırlanan arazi kullanım planlarında; ülkesel, bölgesel ve yerel ölçekte tarım arazileri, mera arazileri, orman arazileri, yerleşim alanları, özel kanunlara göre belirlenmiş bazı alanlar, toplum hedefli altyapı tesisleri ve diğer arazi kullanım şekillerine yer verildiği belirtilmektedir. Arazi kullanım şekillerinin belirlenmesi hususunda ise; toprak haritaları ve toprak veri tabanı, su potansiyeli esas alınarak toprağın niteliği, arazinin özellikleri gözetilerek uygun arazi kullanım şekillerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmada çevresel sürdürülebilirlik ilkesinin yanı sıra ülkesel ve bölgesel planlamalara temel oluşturan ve diğer fizikî planlamaların da gözetilerek uygun arazi kullanım şekillerinin belirleneceği bildirilmektedir.

Madde 11’de arazi sahiplerinin ve araziyi kullananların hazırlanan plân ve projelere uymakla yükümlü olduğu bildirilmiştir.

Kanunun 20. ve 21. maddelerinde ise tarım ve tarım dışı arazi kullanımının ilgili koruma projelerine uygun olmaması durumunda izinsiz yapılan her türlü yapının yıkılması hükme bağlanmıştır.

Kısaca özetlersek; yapılan değişikliklerle, arazi parçalanmalarının önlenmesi, tarım arazilerinin amaç dışı kullanım durumunun iyileştirilmesi ve arazi toplulaştırma çalışmalarının hız kazanması amaçlanmıştır. Ancak, yürürlüğe konulan Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanununda sürdürülebilir arazi yönetimi temel alınıp bir hayli benimsenmiş olsa da güçlü bir denetim mekanizması getirilememiştir bu da ileride yeni bir revizyon ihtiyacı getirecektir (Anonim, 2005; Yüzal, 2019 ; Erkan ve ark, 2011).

EN GÜNCEL KANUNUMUZ OLAN 5403 SAYILI TOPRAK KORUMA VE ARAZİ KULLANIMI KANUNUNA BİR BAKIŞ:

Gelişen ve değişen toplumsal şartlar nedeniyle bir önceki bazı hususlarda revizyona ihtiyaç duyulması, ayrıca ülkemizdeki mevcut işletmelerin küçük, dağınık yapıda ve parçalı oluşlarının tarım yapılmasını zorlaştırması ve mevcut tarım arazilerinin miras yoluyla daha da küçük parçalara bölünmeye maruz kalması üzerine, kanunda değişikliğe gidilmesi ihtiyacı oluşmuştur. 30 Nisan 2014 tarihinde; “5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı” Kanunu içerisindeki 8. maddede bir takım değişiklikler yapılarak tarım arazilerinin bölünmesini engellemeyi amaçlayan “6537 Sayılı Kanun” oluşturulmuştur.

- **5403 Sayılı Kanunun 6537 Sayılı Kanun İle Değişik Hükümleri:** 6537 sayılı kanunla yapılan değişikliklerin temel amacı aşağıda sayılan 3 madde etrafında özetlenebilir:

1. Toprağın korunması, geliştirilmesi, tarım arazilerinin kullanım amacına uygun sınıflandırılması,
2. Asgari tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazi büyüklüklerinin net sınırlarla belirlenmesi ve bölünmelerinin önlenmesi,
3. Tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazilerin çevreye öncelik veren, sürdürülebilir kalkınma ilkesine uygun olarak planlı kullanımını sağlayacak usul ve esasları belirlemek “ tir.

Kısaca özetlersek; en güncel kanunumuza göre, Tarım ve Orman Bakanlığı'nca belirtilen minimum büyüklüğe sahip tarımsal araziler, artık bölünemez bir eşya niteliğini kazanmıştır. 6537 Sayılı kanunun en büyük kazanımı sadece bu değildir, bunun yanı sıra arazi miras hukukuyla, tarım arazilerinin sahipliğinin miras olarak belirlenmiş ise mutlaka devir mecburiyetinin getirilmesi, eğer sınırları aynı ise tarım arazilerine önalım hakkı tanınması, kazanımları korunmaktadır. Ayrıca paylı sahipliği olan tarım arazilerinde payın aktarımı ve rehinini yasaklayan karar da mevcuttur (Anonim, 2014).

EN GÜNCEL KANUNUMUZDA 6537 SAYILI KANUNLA YAPILAN DEĞİŞİKLİKLERİN GETİRDİĞİ KAZANIMLAR

Bu kanunla getirilen başlıca düzenlemeler şu şekilde özetlenebilir:

1. Tarım arazilerine net bir büyüklük sınırlaması getirilmiş ve tarım arazilerine bölünemez eşya niteliği kazandırılmıştır.
2. Tarım Bakanlığınca; mutlak, marjinal ve özel ürün arazilerinde bölünebilecek en alt parsel 2 ha, dikili araziler için 0,5 ha, tarım yapılan örtü altı yetiştiricilik arazilerinde 0,3 ha bölünebilecek en alt parsel sınırı olarak tanımlanmıştır.
3. Tarım Bakanlığınca büyüklükleri belirlenen ve yasayla resmileştirilen tarım arazilerinin parçalanması, küçültülmesi ve pay olarak ayrılması yasaktır. Eğer bir arazinin mülkiyeti devlete aitse bu arazilerin satış prosedürleri haricinde pay ve paydaş adedi yükseltilemez ve Tarım Bakanlığınca aralarında ekonomik ilişki olduğu tespit edilen ve aynı şahsa ait olan tarımsal alanlar beraber ilişkilendirilir.
4. Kuru tarım yapılan arazilerde 10 da, sulu tarım yapılan arazilerde 5 da, dikili tarım arazilerinde 3 da, örtü altı tarımı olan arazilerde 1 da ve üzerindeki (hisseli veya müstakil) tüm araziler eğer aynı köy ya da mahalle sınırları içinde yer alıyorsa ekonomik bir bütünlük teşkil ederler.
5. Farklı sınırlar içinde konumlanan (köy ve mahalle anlamında) ve en uzak parselle olan uzaklığı 5 km'den daha az olan kuru tarım yapılan arazilerde 10 da, sulu tarım yapılan arazilerde 5 da, dikili tarım arazilerinde 3 da, örtü altı tarımı yapılan arazilerde 1 da ve daha yukarısındaki büyüklükteki hisseli veya müstakil oluşuna bakılmaksızın tüm araziler ekonomik bir bütünlük teşkil ederler.

6. Tarımsal üretimin yapıldığı parselle uzaklığı 5 km üzerinden daha fazla olan, köy ve mahalle açısından farklı sınırlar içinde konumlanan araziler kanuna göre ekonomik bütünlük teşkil etmez.

Kısaca özetlersek; en güncel 6537 sayılı toprak kanunumuzun çıkışındaki temel amaç tarım arazilerinde miras, devir vb nedenlerle olan parçalanmaların ve küçülmelerin engellenmesidir. Bu kanunda;

1. Tarımsal arazi büyüklüklerini ifade ederken; yeter geliri ve asgarî büyükte ifadelerine yer verilmesi,
2. Medeni hukuk kapsamında bu değişikliklerin en önemli olanı; tarım arazisi miras olarak belirlenmişse sahipliğinin devri mecburiyetinin getirilmesi hususuna yer verilmesi,
3. Aynı sınırlarda yer alan tarım arazi yurtluklarına önalım hakkı tanınması,
4. Tarım arazileri paylı sahiplikteyse bunlarda payın aktarımını ve rehinini yasaklayan kararın çıkarılması ile ilgili konularda köklü değişiklikler yapılmıştır.

Burada üzerinde durulması gereken en önemli konu, toprak kaynaklarımıza sahip çıkılmasıyla ilgili alınan bu önlemlerin işlevsel olabilmesi için toplumun bu konu hakkındaki bilgisinin ve koruma bilincinin okul sıralarından başlayarak arttırılması gerekliliğidir. Bu sağlanamadığı takdirde, alınan önlemler tek başına yeterli fayda sağlayamayacaktır (Anonim, 2014 ve Özçelik, 2015).

7442 SAYILI TARIM VE ORMAN KANUNU VE BAZI KANUNLARDA YAPILAN DEĞİŞİKLİKLERİN GETİRDİĞİ EN GÜNCEL KAZANIMLAR:

5 Nisan 2023 tarihine gelindiğinde, Anayasa Mahkemesinin kararıyla **7442 sayılı Tarım ve Orman Kanunu** ve bazı kanunlarda değişiklik yapılmıştır. Bu kapsamda, üst üste iki yıl süreyle işlenmeyen, atıl kalan tarım arazilerinin üretime kazandırılması amacıyla arazi sahiplerinin arazilerini tarımsal ekim için kiraya verebilmelerinin önü açılmıştır (Anonim, 2023-a).

Kamuoyunda daha çok orman kanunu diye bilinen bu son değişiklikle edinilen diğer kazanımlardan bahsedecek olursak;

1. Planlı Üretime Geçilecek: Hasat döneminde hiçbir çiftçimizin pazarlama sorunu yaşamaması için alınan tedbirlerin başında, tarım havzası modeline göre üretim yapılması gelmektedir. Arz ve talep miktarı dikkate alınarak belirlenen ürünlerin üretimi teşvik edilecektir.
2. Suya Göre Tarım Yapılacak: İklim değişikliğini dikkate alarak doğal kaynaklarımızın korunması hedeflenecektir. Suyu merkezine alan bir anlayışla bitkisel ve hayvansal üretim planlanacaktır.
3. Üretim Kaynakları En İyi Şekilde Kullanılarak Tarımsal Hasıla Arttırılacaktır: Arz ve talep dikkate alınarak üretilecek ürün en uygun yerde, ihtiyaç duyulduğu miktar kadar üretilecektir.
4. Boş Arazi Kalmayacak: Üst üste iki yıl süreyle işlenmeyen, atıl kalan tarım arazilerinin üretime kazandırılması amacıyla arazi sahiplerinin arazilerini tarımsal ekim için kiraya verebilmelerinin önü açılacaktır. Bahsi geçen kiralama işlemi, arazinin vasfının değiştirilmemesi şartıyla ve rayiç bedelden daha aşağı olmaması şartıyla yapılabilecektir. Kiralamada, sivil toplum kuruluşlarına ve meslek odalarına ve arazinin bulunduğu yerleşim merkezinde ikamet edenlere öncelik hakkı tanınacaktır.

5. Üretim Yapılan Tüm Alanlar Kayıt Altına Alınacaktır: Bitkisel üretimle ilgili destekleme ödemeleri yapılırken ÇKS (Çiftçi Kayıt Sistemi) ile birlikte Tarım Bakanlığınca belirlenen kayıt sistemleri dikkate alınacaktır. Ayrıca, tapu veya mülkiyete dayanan kayıt yerine üretimin yapıldığı bütün alanlar kayıt altına alınarak bu alanların ürün desteklemelerinden yararlandırılmasına olanak sağlanacaktır.
6. Sözleşmeli Üretim Yaygınlaştırılacaktır: Yapılacak sözleşmede, tarafların hak ve sorumlulukları ile tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini de koruyacak şekilde sözleşmeye ilişkin genel şartlar Tarım ve Orman Bakanlığınca belirlenecektir. Sözleşmeli üretimde ortaya çıkabilecek uyuşmazlıklar, kanun değişikliği ile getirilen uzman ara bulucu ve basit yargılama usulü yoluyla kısa sürede çözüme kavuşturacaktır. Çiftçi ile alıcı arasındaki güç dengesizlikleri giderilecektir. Küçük üreticilerimizi korumak için tüm yargılama ve icra takip giderlerinden üreticilerimiz geçici olarak muaf tutulacak, bu giderler avans olarak ödenecektir.
7. İlaç Etkin Maddesi Amaçlı Kenevir Yetiştiriciliği Yapılabilecek: Hali hazırda ülkemizde lif ve tohum üretimi amacıyla izne tabii olarak üretilen kenevir, ilaç etken maddesi olarak da izne tabii bir biçimde TMO (Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü) kontrolünde üretilenilecektir. Kenevir üretiminin tüm aşamaları etkin bir şekilde kontrol edilecek ve izlenecektir. Benzer bir şekilde; ülkemizde uzun yıllardır üretimi yasak olan haşhaş bitkisi de TMO tarafından uluslararası anlaşmalara uygun olarak başarılı bir şekilde üretilmeye devam edilmektedir.
8. Orman Köylüsü Güçlendirilecek: Orman köylüleri, yakacak odununu ve ev yaparken kullanacakları keresteyi yüzde 70 indirimli alabilecekler. Orman köylülerinin ormanla ilgili

mülkiyet sorunları çözüme kavuşturulacak ve gelir düzeylerini arttıracak tedbirler alınacak. Orman köylülerinin sigorta yaptırımları teşvik edilecek, ormancılıkta dijitalleşmede önemli yenilikler getirilecektir. Ormanlarımızın yangın dahil daha etkin korunması sağlanacak, ormanlık alanlardaki yanan alanların rehabilitasyon işlemleri daha hızlı yürütülecektir. Orman yangınlarında hayatını kaybeden orman personeli ile diğer kamu görevlileri ve gönüllüler şehit statüsüne alınacaklardır (Anonim, 2023-b).

9. Planlı Üretime Geçilecek: Hasat döneminde hiçbir çiftçimizin pazarlama sorunu yaşamaması için alınan tedbirlerin başında, tarım havzası modeline göre üretim yapılması gelmektedir. Arz ve talep miktarı dikkate alınarak belirlenen ürünlerin üretimi teşvik edilecektir.
10. Suya Göre Tarım Yapılacak: İklim değişikliğini dikkate alarak doğal kaynaklarımızın korunması hedeflenecektir. Suyu merkezine alan bir anlayışla bitkisel ve hayvansal üretim planlanacaktır.
11. Üretim Kaynakları En İyi Şekilde Kullanılarak Tarımsal Hasıla Arttırılacaktır: Arz ve talep dikkate alınarak üretilecek ürün en uygun yerde, ihtiyaç duyulduğu miktar kadar üretilecektir.
12. Boş Arazi Kalmayacak: Üst üste iki yıl süreyle işlenmeyen, atıl kalan tarım arazilerinin üretime kazandırılması amacıyla arazi sahiplerinin arazilerini tarımsal ekim için kiraya verebilmelerinin önü açılacaktır. Bahsi geçen kiralama işlemi, arazinin vasfının değiştirilmemesi şartıyla ve rayiç bedelden daha aşağı olmaması şartıyla yapılabilecektir. Kiralamada, sivil toplum kuruluşlarına ve meslek odalarına ve arazinin bulunduğu yerleşim merkezinde ikamet edenlere öncelik hakkı tanınacaktır.

13. Üretim Yapılan Tüm Alanlar Kayıt Altına Alınacaktır: Bitkisel üretimle ilgili destekleme ödemeleri yapılırken ÇKS (Çiftçi Kayıt Sistemi) ile birlikte Tarım Bakanlığınca belirlenen kayıt sistemleri dikkate alınacaktır. Ayrıca, tapu veya mülkiyete dayanan kayıt yerine üretimin yapıldığı bütün alanlar kayıt altına alınarak bu alanların ürün desteklemelerinden yararlandırılmasına olanak sağlanacaktır.
14. Sözleşmeli Üretim Yaygınlaştırılacaktır: Yapılacak sözleşmede, tarafların hak ve sorumlulukları ile tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini de koruyacak şekilde sözleşmeye ilişkin genel şartlar Tarım ve Orman Bakanlığınca belirlenecektir. Sözleşmeli üretimde ortaya çıkabilecek uyuşmazlıklar, kanun değişikliği ile getirilen uzman ara bulucu ve basit yargılama usulü yoluyla kısa sürede çözüme kavuşturacaktır. Çiftçi ile alıcı arasındaki güç dengesizlikleri giderilecektir. Küçük üreticilerimizi korumak için tüm yargılama ve icra takip giderlerinden üreticilerimiz geçici olarak muaf tutulacak, bu giderler avans olarak ödenecektir.
15. İlaç Etkin Maddesi Amaçlı Kenevir Yetiştiriciliği Yapılabilecek: Hali hazırda ülkemizde lif ve tohum üretimi amacıyla izne tabii olarak üretilen kenevir, ilaç etken maddesi olarak da izne tabii bir biçimde TMO (Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü) kontrolünde üretilenilecektir. Kenevir üretiminin tüm aşamaları etkin bir şekilde kontrol edilecek ve izlenecektir. Benzer bir şekilde; ülkemizde uzun yıllardır üretimi yasak olan haşhaş bitkisi de TMO tarafından uluslararası anlaşmalara uygun olarak başarılı bir şekilde üretilmeye devam edilmektedir.
16. Orman Köylüsü Güçlendirilecek: Orman köylüleri, yakacak odununu ve ev yaparken kullanacakları keresteyi yüzde 70 indirimli alabilecekler. Orman köylülerinin ormanla ilgili

mülkiyet sorunları çözüme kavuşturulacak ve gelir düzeylerini arttıracak tedbirler alınacak. Orman köylülerinin sigorta yaptırmaları teşvik edilecek, ormancılıkta dijitalleşmede önemli yenilikler getirilecektir. Ormanlarımızın yangın dahil daha etkin korunması sağlanacak, ormanlık alanlardaki yanan alanların rehabilitasyon işlemleri daha hızlı yürütülecektir. Orman yangınlarında hayatını kaybeden orman personeli ile diğer kamu görevlileri ve gönüllüler şehit statüsüne alınacaklardır (Anonim, 2023-b).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de arazilerin yanlış ve amaç kullanımı tarımsal üretimi ve ona bağlantılı olarak gıda üretimini tehdit eden en önemli sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye nüfusu hızla artan gelişmekte olan bir ülke olması nedeniyle, Türkiye’de tarım dışı sektörlerin (inşaat, sanayii, madencilik, endüstri v.b) daha hızlı gelişmesi tarım arazileri üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Bir de son yıllarda çıkarılan Büyükşehir Yasası ile de çok sayıda ilde köylerin tüzel kişiliklerinin ortadan kaldırılarak buraların büyükşehir sınırlarına dahil edilmesi gelecekte tarım toprakları üzerindeki baskıyı daha da artıracaktır. Bu nedenle bu konu ilk olarak ele alınması gereken öncelikli bir konudur. Ayrıca bu konunun tarım lehine çevrilmesi için yapılması gereken yeni yasal revizyonlara ihtiyaç vardır.

Bir diğer mevzu ise arazi kullanım planlarında daha keskin sınırlar çizilmeli, cezai yaptırımlar getirilmeli ve verimli tarım arazilerinin olduğu yerlere konut yapım izni verilmemesinin şartları daha keskin sınırlarla çizilmelidir. Günümüzde Türkiye’nin çok farklı yörelerindeki verimli ovalar üzerine gitgide artan bir ivmeyle konutlar yapılmakta bu durum hem deprem riskini tetiklemekte hem de arazilerin parçalanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle şehirlerin yerleşim sahaları belirlenirken özellikle verimsiz yerler

seçilmeli ve yeni konut yapacak firmalara bu arazilerden yer tahsis edilmelidir.

Tarım arazilerinin parçalanmasını engellemek için resmi kurumlar arasında Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü ve Tapu Kadastro Müdürlükleri ortak bir iletişim ağında karşılıklı görüş alışverişlerini yapabilecekleri bir koordinasyon oluşturulmalıdır. Oluşturulacak bu kurul ya yeni bir üst kurul olmalı ya da her ilimizde halihazırda bulunan Toprak Koruma Kurullarının yeniden revize edilerek bu kurula bağlı ve daha aktif hale getirilmesi sağlanmalıdır.

En son olarak miras kanununun gereği olarak tarımsal işletmenin sadece bir kişiye özgülendiği hallerde, söz konusu arazinin özgülendiği mirasçı kişiye diğer mirasçılara olan borcunu daha rahat ödeyebilmesi ve tarımsal üretime devam edebilmesini sağlamak için uzun vadeli ve düşük faizli tarımsal krediler sağlanmalıdır.

Kaynakça

Anonim, (1984). 01.12.1984 tarihli Resmi Gazete. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Sayı: 18592, Ankara.

Anonim, (2005). 19.07.2005 tarihli Resmi Gazete. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Sayı: 25880, Ankara.

Anonim, (2014). 30.04.2014 tarihli Resmi Gazete. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Ankara.
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5403.pdf> Erişim tarihi: 5.7.2025.

Anonim, (2023-a). 05.04.2023 tarihli Resmi Gazete. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü,
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7442&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> Erişim tarihi: 5.7.2025.

Anonim, (2023-b). Tarım Ve Orman Kanunu İle Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair 7442 Sayılı Kanun'un Getirdiği Yenilikler Broşürü, 20 sayfa. Tarım ve Orman Bakanlığı, Eğitim Yayın Dairesi Başkanlığı. Web adresi:

https://www.tarimorman.gov.tr/EYDB/Belgeler/QrCodes/7442_SA_YILI_KANUN.pdf Erişim tarihi: 5.7.2025.

Anonim, (2024 a). T.C. Resmi Gazete, 30. 04. 2014 tarihli ve 6537 sayılı. 5403 Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu. Web available: <https://www.lexpera.com.tr/resmi-gazete/metin/7442-orman-kanunu-ve-bazi-kanunlarda-degisiklik-yapilmasina-dair-kanun-32154-7442> Erişim tarihi: 5.7.2025.

Anonim, (2024 b) Kişi başına düşen tarım alanları göstergeleri
https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kisi-basina-tarim-alani-i-85832#_edn1 Erişim tarihi: 06.7.2025.

Creswell, J. W. (2003). *Research Design: Qualitative and Mixed Methods Approaches*. 2 Ed. Sage publications, Inc.

Ekici, K & Sayılı, M. (2010). Tarım Arazilerinin Parçalanmasını Önlemeye Yönelik Mevzuat Üzerine Bir İnceleme. GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi, 2010, 27(2), 121-129.

Erkan, H., Seylam, G & Yaşayan, A. (2011). Arazi Yönetimi Kavramı ve Türkiye Gereksinimi .TMMOB Harita ve Kadastro Müh Odası. 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. Ankara. 18-22 Nisan 2011. <https://www.hkmo.org.tr>

Kartal, B. (2019). 6537 Sayılı Kanun ile 5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'na Getirilen Değişikliklerin Medenî Usûl Hukuku Bakımından İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, C.27, S.3, s: 845-884.

Kiecolt K. J & Nathan , L. E. (1985). *Secondary Analysis of Survey Data. Series: Quantitative Applications in Social Sciences*, SAGE Publication.

Özçelik, Ş. B. (2015). 5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu'nda 6537 Sayılı Kanun'la yapılan değişiklikler ve değerlendirilmesi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakltesi Dergisi*, 19 (1), 87-110.

Yavuz, C & Topuz, M. (2015). Toprak Koruma Ve Arazi Kullanımı Kanununda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun'un Türk Medeni Kanunu'nun Miras Hukukuna İlişkin Hükümlerinde Yaptığı Değişiklikler. *Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi*, 21(2), 663-700.

Yüzal, B. (2019). Türkiye'de Tarım Arazilerinin Korunması Ve Kullanımına İlişkin Sorunlar Ve Politikalar. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü. 118 sayfa.

BÖLÜM 2

Meyve Muhafazasında Uçucu Yağların Kullanım Potansiyeli

Saadet KOÇ GÜLER¹

Giriş

Hasat sonrası kayıplar, taze meyve ve sebzelerde kalite düşüşü ve miktar kaybı açısından tarımsal üretimin en kritik aşamalarından birini oluşturmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre, dünya genelinde üretilen meyve ve sebzelerin yaklaşık %30–45'i hasat sonrası süreçte çeşitli nedenlerle kayba uğramaktadır. Bu kayıpların önemli bir bölümü, hasat sonrası dönemde gelişen fungal ve bakteriyel patojenlerden kaynaklanmaktadır. Özellikle *Botrytis cinerea*, *Penicillium* spp., *Alternaria* spp. ve *Fusarium* spp. gibi etmenler; meyvelerde çürüme, yumuşama, renk değişimi ve tat–aroma bozulmalarına yol açarak pazarlanabilirliği ciddi biçimde sınırlandırmaktadır.

Geleneksel olarak bu sorunların kontrolünde sentetik fungisitler ve kimyasal koruyucular yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak bu maddelerin kalıntı problemleri, patojenlerde direnç gelişimi, çevresel kirlilik ve insan sağlığı

¹ Doç. Dr., Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 0000-0001-5015-7610

üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri, alternatif ve sürdürülebilir muhafaza yöntemlerinin araştırılmasını zorunlu kılmıştır. Son yıllarda tüketici eğilimlerinin doğal, katkısız ve çevre dostu ürünlere yönelmesi, bitkisel kökenli doğal bileşiklerin önemini daha da artırmıştır.

Bu bağlamda uçucu yağlar, sahip oldukları antimikrobiyal ve antioksidan özellikler nedeniyle hasat sonrası meyve muhafazasında sentetik kimyasallara alternatif olarak değerlendirilen en önemli doğal bileşik gruplarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Uçucu Yağların Tanımı ve Genel Olarak Meyve Muhafazasında Kullanımı

Uçucu yağlar, aromatik bitkilerin çiçek, yaprak, meyve, tohum, kabuk ve kök gibi farklı organlarından genellikle su buharı distilasyonu, hidrodistilasyon veya soğuk presleme yöntemleriyle elde edilen; oda sıcaklığında uçucu özellik gösteren kompleks bileşik karışımlarıdır. Kimyasal olarak başlıca monoterpenler, seskiterpenler ve bunların oksijenli türevlerinden oluşmaktadır.

Uçucu yağlar (örneğin lavanta, kekik uçucu yağı), sabit yağlardan (ceviz yağı, ayçiçek yağı gibi) belirgin şekilde farklıdır. Keskin ve karakteristik bir kokuya sahip olan uçucu yağlar, canlılar için enerji kaynağı değildir; buna karşın antimikrobiyal ve antioksidan özellik gösterirler. Sabit yağlar ise genellikle bitkilerin tohum ve meyvelerinden elde edilen, uçucu olmayan ve besin değeri yüksek yağlardır. Antimikrobiyal etkileri sınırlı olup uçucu yağlar gibi güçlü aromatik özellik göstermezler.

Uçucu yağların meyve muhafazasında kullanımının, gıdaların korunmasında baharatların geleneksel kullanımına dayandığı söylenebilir. Tarihsel olarak, meyvelerin kurutulmadan önce aromatik bitkilerle hazırlanmış çözeltilere daldırılarak işlendiği bilinmektedir. Bu uygulamalarda aromatik bitkilerin antimikrobiyal özelliklerinden yararlanılarak daha güvenli bir muhafaza süreci

sağlanmıştır. Uçucu yağların antimikrobiyal etkilerine ilişkin bilimsel raporlar 19. yüzyıldan itibaren literatürde yer almaktadır (Zaika, 1998).

Uçucu yağların meyve muhafazasında kullanımına yönelik çalışmalar, ağırlıklı olarak üzüksü meyveler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu grubu sert çekirdekli, yumuşak çekirdekli ve sert kabuklu meyveler izlemektedir (Tablo 1, 2, 3, 4).

*Tablo 1. Uçucu yağların üzümsü meyvelerin muhafazasında
kullanıldığı bazı çalışmalar*

Uygulanan Uçucu Yağlar/Etken maddeler	Meyve	Araştırmacı(lar)
Okaliptüs, kekik ve kayısı çekirdeği (Hasattan önce, bitkiye uygulama)	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> cv. Rubygem)	(Şener & ark., 2022)
Kekik, kimyon, nane, tarçın ve çörekotu (Hasattan sonra, pulverize)	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.)	(Kasım & ark., 2019)
Yenilebilir film+Citral, eugenol	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.)	(Guerreiro & ark., 2015)
Timol, mentol, eugenol (gaz)	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.)	(Wang & ark., 2007)
Yenilebilir film+timol Yenilebilir film+CaCl ₂	Çilek (<i>Fragaria x ananassa</i> cv. Festival)	(Amal & ark., 2010)
Çay ağacı (Hint defnesi) (gaz)	Çilek (<i>Fragaria ananassa</i> Duch. cv. Hongyan)	(Xingfeng & ark., 2013)
Ozon gazı Kimyon uçucu yağı (çözelti hazırlanıp püskürtülerek)	Kivi (<i>Actinidia deliciosa</i> L.)	(Yaşar, 2018)
MAP+Kekik (Filtre kağıtlara emdirilip poşete koyma)	Avakado (Fuerte ve Hass)	(Sellamuthu & ark., 2013a)
Kekik, nane, limon otu (Kağıt disklerle emdirilmiş uçucu yağlar)	Avakado (Fuerte ve Hass)	(Sellamuthu & ark., 2013b)
MAP+Eugenol, mentol, timol (Gazlı bezlere emdirilmiş uçucu yağ)	Sofralık üzüm (cv. Crimson Seedless)	(Valverde & ark., 2005)
Melekotu (Yenilebilir film)	Sofralık üzüm (<i>Vitis vinifera</i> L.)	(Das & ark., 2023)
Mentol ve timol (Gazlı bezlere emdirilmiş uçucu yağ)	Üzüm (Kozak siyahı)	(Çelik & ark., 2011)
Eugenol ve timol (Gazlı bezlere emdirilmiş uçucu yağ)	Sofralık üzüm (<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Autumn Royal)	(Valero & ark., 2006)
MAP+ eugenol, timol ve karvakrol (Gazlı bezlere emdirilmiş uçucu yağ)	Sofralık üzüm (<i>Vitis vinifera</i> L. cv. Aledo)	(Guillen & ark., 2007)
Yenilebilir film+nane	Sofralık üzüm (<i>Vitis labrusca</i> cv. Isabella)	(Guerra & ark., 2016)
Kekik, rezene, sater (Sprey)	Sofralık üzüm (<i>Vitis vinifera</i> (L.) cv. Tabarzeh)	(Ali A. A., 2010)
Limon otu, Malaban otu (<i>Cymbopogon flexuosus</i>), fesleğen (Sprey)	Embul muzı (<i>Musa acuminata</i>)	(Anthony & ark., 2003)
Metil jasmonat, alil izosiyanat, çay ağacı, etil alkol (Uçucu yağ bir kaba konularak gaz hale geçmesi sağlanmış)	Ahududu (<i>Rubus idaeus</i> L.)	(Wang., 2003)
Kekik, tarçın, malaban otu (Antimikrobiyal paketleme sistemi)	Papaya (<i>Carica papaya</i> L.)	(Espitia & ark., 2012)

Tablo 2. Uçucu yağların sert çekirdekli meyvelerin muhafazasında kullanıldığı bazı çalışmalar

Uygulanan Uçucu Yağlar/Etken maddeler	Meyve	Araştırmacı(lar)
Kekik, acı badem (MAP poşetlere emdirilmiş)	Şeftali (<i>Prunus persica</i> cv. ANET 55)	(Alkin & ark., 2022)
MAP+Eugenol, timol, mentol, ökaliptöl (Gazlı beze emdirilmiş)	Kiraz (<i>Prunus avium</i> L. cv. StarKing)	(Serrano & ark., 2005)
MAP+karvakrol, thujon (Gazlı beze emdirilmiş)	Kiraz (<i>Prunus avium</i> L. cv. 0900 ziraat, Regina, sweatheart)	(Göksel & Aksoy, 2017)
AVG+timol (Daldırma)	Kiraz (<i>P.×gondouinii</i> Rehd.) (Majari)	(ValizadehKaji & Fakhri, 2023)
Metil jasmonat, sitokinin ve lavanta yağı	Kayısı (<i>Prunus armeniaca</i> L. cv. Bebeko)	(Çavuşoğlu & ark., 2020)
MAP+ mentol, timol (Gazlı beze emdirilmiş)	Kayısı (<i>Prunus armeniaca</i> L. cv. Gheisi)	(Mirdeghan & ark., 2023)

Tablo 3. Uçucu yağların yumuşak çekirdekli meyvelerin muhafazasında kullanıldığı bazı çalışmalar

Uygulanan Uçucu Yağlar/Etken maddeler	Meyve	Araştırmacı(lar)
Kekik, fesleğen, biberiye (sprey)	Armut (<i>Pyrus communis</i> L. cv. Sardrood)	(Marandi & ark., 2011)
Sitron, hexanal, 2-(E)-hexenal, sitral ve karvakrol	Elma (<i>Malus communis</i> var. Golden delicious)	(Siroli & ark., 2014)
Kekik ve lavanta (daldırma)	Elma (<i>Malus domestica</i> Borkh. cv. Jonagold)	(Sharafi & ark., 2011)
Yenilebilir film+kekik	Elma (<i>Malus domestica</i> Borkh cv. Golden Delicious) ve Trabzon hurması (<i>Diospyros kaki</i> Thunb. cv. Rojo Brillante)	(Sapper & ark., 2019)
Okaliptus ve biberiye	Elma (Granny Smith Verona Delizia Verde) ve armut (cv. d' Anjou)	(Xylia & ark., 2021)
Timol, öjenol, 1,8-sineol	Elma (<i>Malus communis</i> var. Golden delicious)	(Karakuş, 2023)

Tablo 4. Uçucu yağların yumuşak çekirdekli meyvelerin muhafazasında kullanıldığı bazı çalışmalar

Uygulanan Uçucu Yağlar/Etken maddeler	Meyve	Araştırmacı(lar)
Aktif paket+Tarçın	Antep fıstığı (<i>Pistacia vera</i> L. cv. Akbari)	(Esfahani & ark., 2020)
Yenilebilir kaplama+Şirazi kekiği	Antep fıstığı (<i>Pistacia vera</i> cv. 'Ahmad-Aghaei')	(Hashemi & ark., 2021)
Sivri kekik, tıbbi nane, Anadolu adaçayı	Fındık (<i>Corylus avellana</i> L.)	(Kurnaz, 2024)

Meyvelerde Mikrobiyal Bozulmalara Karşı Uçucu Yağların Kullanılması

Hasat sonrası dönemde meyveler; mekanik zedelenmeler, yüksek nem, uygun sıcaklık koşulları ve fizyolojik stresler nedeniyle mikroorganizmalara karşı oldukça hassas hale gelmektedir. Özellikle fungal patojenler, depolama ve taşıma sürecinde hızla gelişerek önemli kalite kayıplarına yol açmaktadır. Bu patojenlerin neden olduğu bozulmalar yalnızca ürün miktarını azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda mikotoksin oluşumu gibi gıda güvenliği açısından ciddi riskler de oluşturmaktadır.

Tarım ürünlerinin hasadından sonra yaygın olarak kullanılan sentetik kimyasallar (örneğin metil bromür, fosfin), fumigasyon yoluyla etkin koruma sağlamaktadır. Bununla birlikte bu maddelerin çevresel etkileri ile uygulayıcı ve tüketici sağlığı açısından oluşturdıkları potansiyel riskler, sürdürülebilirlik açısından ciddi sınırlılıklar doğurmaktadır. Bu nedenle son yıllarda, bitkisel kaynaklı doğal bileşiklerin (uçucu yağlar ve bunların etken maddeleri) meyve muhafazasında kullanımına yönelik araştırmalar artış göstermiştir.

Uçucu yağlar, hasat sonrası dönemde sorun oluşturan pek çok mikrobiyal etmene karşı önemli düzeyde etki göstermektedir.

Örneğin kekik (*Thymus capitatus*) uçucu yağının 250 ppm konsantrasyonda *Botrytis cinerea*, *Alternaria citri*, *Penicillium italicum* ve *Penicillium digitatum* türlerinin gelişimini engelleyebilmektedir (Arras & Usai, 2001). Benzer şekilde kimyon (*Cuminum cyminum* L.), ardıç (*Juniperus communis* L.), nane (*Mentha piperita* L.), okaliptüs (*Eucalyptus* spp.), çörtük (*Echinophora tenuifolia* L.) ve yavşan (*Artemisia* spp.) uçucu yağlarının; *Alternaria mali*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* ve *Colletotrichum circinans* gibi etmenlerin misel gelişimini baskıladığı bilinmektedir (Koçak & Boyraz, 2006).

Uçucu yağların meyve muhafazasında kullanımının araştırıldığı çalışmalarda daha çok kekik, lavanta, adaçayı, tarçın, limonotu, defne, fesleğen uçucu yağlarının kullanıldığı görülmektedir. Kekik uçucu yağında baskın olarak bulunan karvakrol ve timol, bakteri hücre zarını tahrip ederek hücre içeriğinin dış ortama sızmasına neden olması ve lipofilik özellikleri sayesinde hücre duvarını aşarak hücre içi yapılara ulaşabilmektedir (Helander & ark., 1998). Bu bileşiklerin fungal hücre zarının bütünlüğünü bozması, enzim sistemlerini inhibe etmesi ve hücre metabolizmayı sekteye uğratması, uçucu yağları sentetik kimyasallara güçlü bir alternatif haline getirmektedir. Aşağıda bazı uçucu yağların antimikrobiyal etki mekanizmaları verilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Antifungal Etki Gösteren Bazı Uçucu Yağlar, Etken Bileşenleri ve Etki Mekanizmaları

Uçucu Yağ (UY)	Bitki kaynağı	Ana bileşen	Etki mekanizması	Kaynak
Kekik UY	Kekik (<i>Origanum spp.</i>)	Karvakrol, timol	Hücre zarı tahribatı	(Burt, 2004)
Karanfil UY	Karanfil (<i>S. aromaticum</i>)	Öjenol	Enzim inhibisyonu	(Pinto & ark., 2009)
Tarçın UY	Tarçın (<i>Cinnamomum spp.</i>)	Sinnavaldehit	Hücre duvarı bozulması	(Wang & ark., 2018)
Nane UY	Nane (<i>Mentha spp.</i>)	Mentol	Membran geçirgenliği	(Bayaz, 2014)
Adaçayı UY	Adaçayı (<i>Salvia spp.</i>)	Tujon	Spor çimlenmesinin baskılanması	(Bozin & ark., 2007)

Uçucu yağların antimikrobiyal etkileri elde edildikleri bitkinin türüne ve yetiştirme koşullarına, kompozisyonuna, hedef mikroorganizmanın türüne ve yüküne, gıdanın kompozisyonuna, işleme ve depolama koşullarına göre değişkenlik gösterebilir. Ayrıca uçucu yağların uygulanma şekilleri de etkinliklerini değiştirebilmektedir. Sofralık üzüm depolamasında Melek otu (*Angelica archangelica*) uçucu yağının kitosan ile entegre kaplama olarak kullanılması *Botrytis cinerea* gelişimini 30 günlük depolamada önemli oranda (%85) baskılamıştır (Das & ark., 2023). Uçucu yağların salınımı kontrol eden ajanlarla kullanılması etkinliklerinin artırılması noktasında önem taşımaktadır. Ambalajlara emdirilen uçucu yağların, meyvelerin muhafazasında oldukça etkili sonuçlar ortaya çıkardığı görülmüştür. (Espitia & ark., 2012)'nin yapmış oldukları çalışmada kekik, tarçın ve limon otu uçucu yağlarının emdirildiği ambalajlarda muhafaza edilen papaya meyvelerinde mezofilik aerobik bakteriler, maya ve küflerin gelişiminin anlamlı düzeyde azalmış ve meyve kalite kriterleri uçucu yağ uygulamalarından etkilenmemiştir. Çilek meyvelerine pülverize

olarak uygulan kekik (*Thymus vulgaris*), kimyon (*Cuminum cyminum*), nane (*Mentha spicata*), tarçın (*Cinnamomum zeylanicum*) ve çörekotu (*Nigella sativa*) doğal bitkisel uçucu yağları farklı etkiler göstermiştir. Çörekotu ve nane uçucu yağları başta olmak üzere tüm uçucu yağları enfeksiyon gelişimini baskılamıştır. Ancak nane uçucu yağı dışındaki yağlar meyve kalitesini koruması açısından uygun bulunmamıştır (Kasım & ark., 2019).

Aşağıda bazı farklı uçucu yağların ve uygulama şekillerinin antifungal etkileri verilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. Meyve Türlerine Göre Uçucu Yağ Uygulamaları ve Antifungal Etkileri

Uçucu yağ	Uygulanan Meyve	Uygulama	Sonuç	Kaynak
Kekik	Elma	Buhar	<i>P. expansum</i> baskılanması	(Yılmaz, 2012)
Karanfil	Üzüm	Aktif ambalaj	Raf ömrü artışı	(Luesuwan ark., 2021)
Kekik + rezene	Turunçgil	Daldırma	Küf gelişimi azalışı	(Arras & Usai, 2001)

Uçucu Yağların Meyve Kalitesi Üzerine Etkisi

Uçucu yağ uygulamalarının değerlendirilmesinde yalnızca patojen baskılanması değil, aynı zamanda meyve kalite parametrelerinin korunması da dikkate alınmalıdır. Uçucu yağların etkisi çoğunlukla baskın etken bileşen üzerinden açıklanmakla birlikte, doğal uçucu yağ karışımlarında diğer bileşenlerin de sinerjistik etkiler gösterdiği bilinmektedir.

Meyve kalitesinin korunmasına yönelik uçucu yağ uygulamaları üç temel mekanizma üzerinden etki göstermektedir: (i) antimikrobiyal etki ile patojen gelişiminin engellenmesi, (ii) antioksidan etki ile oksidatif stresin ve lipid peroksidasyonunun azaltılması ve (iii) bitkinin savunma mekanizmalarının desteklenmesi yoluyla antioksidan enzim aktivitelerinin artırılması. Ayrıca uçucu yağlar solunumu baskılayarak hücresel yıkımı

yavaşlatarak fizyolojik yaşlanmanın geciktirilmesine katkı sağlamaktadır (Alkın & ark., 2022).

Sofralık üzümde hasat sonrası önemli kayıplara yol açan *Botrytis cinerea* ile mücadelede uçucu yağlar etkili bulunmuştur. (Marandi & ark., 2011), tatlı fesleğen, rezene, yaz çakşırı ve kekik uçucu yağlarının *B. cinerea*'nın misel büyümesini güçlü bir şekilde engellediğini rapor etmiştir. Özellikle kekik ve yaz çakşırı yağları, 60 günlük depolama süresinin sonunda çürümeyi azaltmış, kütle kaybı, tane büzülmesi ve kahverengileşme gibi kalite düşüşlerini önlemiştir (Ali & ark., 2010).

Kozak Siyahı üzüm çeşidinde ise mentol ve timolün gazlı beze emdirilerek modifiye atmosferde (MAP) kullanımı incelenmiştir. Çelik vd. (2011), mentol ve timol uygulamalarının, 90 günlük soğuk depolama (0-1°C) süresince kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar verdiğini ve toplam fenolik bileşik, tanen ve antosiyanin miktarlarını koruduğunu bildirmiştir.

Alkın & ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, 'Anet 55' şeftali çeşidinde uçucu yağ emdirilmiş MAP torbalarının, meyvelerin 0-1°C'de 60 gün depolanmasında kalite özelliklerinin korunmasına olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

Kayısıda (*Prunus armeniaca* L.) yapılan bir diğer araştırmada, lavanta uçucu yağı uygulamasının, metil jasmonate (MeJa) ve sitokinin gibi bitki büyüme düzenleyicileri ile kombinasyon halinde kullanılması denenmiştir. Uygulamaların kontrol grubuna göre daha iyi sonuç verdiği ve MeJA (0.2 mM) + lavanta uçucu yağı (1000 ppm) uygulamasının ürün kalitesini 35 gün boyunca koruduğu tespit edilmiştir (Çavuşoğlu & ark., 2020).

Tropikal meyvelerden Embul muzı çeşidinde (*Musa sapientum*), *Cymbopogon nardus* (Seylan limonu), *Cymbopogon flexuosus* (Hint limonu) ve *Ocimum basilicum* (Fesleğen) uçucu yağlarının püskürtme şeklinde uygulanması, hasat sonrası

hastalıkların kontrolünde ve depolama ömrünün uzatılmasında etkili bir yöntem olarak belirlenmiştir (Anthony & ark., 2003).

Yenilebilir film ve kaplamalar, meyve ve sebzelerin yüzeyinde oluşturulan ince bir bariyer tabakasıdır. Bu tabaka, ürünleri fiziksel ve kimyasal etkilerden koruyarak su kaybını, solunum hızını ve gaz transferini kontrol etmeye yardımcı olur. Bitkisel kaynaklı materyallerden de üretilen bu kaplamalar, ürün kalitesini koruma, mikrobiyal bozulmayı yavaşlatma ve raf ömrünü uzatma potansiyeline sahip çevre dostu ve ekonomik bir yöntemdir.

Uçucu yağların yenilebilir film kaplamalarla birlikte kullanılması etkinliklerini arttırmaktadır. Örneğin, çilek meyvesinin depolanabilirliğini artırmak amacıyla yapılan bir çalışmada, timol veya kalsiyum klorür gibi bileşikler yenilebilir kaplama ile birlikte kullanılmıştır. Kekik uçucu yağının kaplama materyali ile birlikte kullanımının kontrol grubuna kıyasla çilekte meyve kalite kriterlerinin korunmasında etkili olduğu görülmüştür (Amal & ark., 2010).

Uçucu Yağların Meyve Muhafazasında Kullanımı ile İlgili Mevzuat

Uçucu yağların hasat sonrası meyve muhafazasında kullanımının yaygınlaşmasında yalnızca teknik etkinlik değil, aynı zamanda mevzuata uygunluk ve ticarileşme potansiyeli de belirleyici rol oynamaktadır.

Avrupa Birliği'nde uçucu yağlar; kullanım amacına bağlı olarak “gıda katkı maddesi”, “aroma verici”, “bitki koruma ürünü” veya “biyosidal ürün” kapsamında değerlendirilebilmektedir. Hasat sonrası uygulamalarda uçucu yağların doğrudan fungusit amacıyla kullanımı, Bitki Koruma Ürünleri Tüzüğü (EC No 1107/2009) kapsamında ele alınmaktadır. Bu düzenleme, aktif maddelerin insan sağlığı ve çevre açısından risk değerlendirmesinden geçirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bununla birlikte birçok uçucu yağ bileşeni (örneğin timol, öjenol ve mentol), Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından aroma verici madde olarak genel anlamda güvenli (GRAS benzeri) kabul edilmektedir. Ancak antifungal amaçlı uygulamalarda doz, kalıntı ve **uygulayan kişilerin bu ürünlere maruz kalacakları süre ve doz ile ilgili** kriterler önem kazanmaktadır. Son yıllarda AB’de biyopestisit ve düşük riskli aktif madde tanımı altında uçucu yağların ruhsatlandırılmasına yönelik eğilim artmaktadır.

Türkiye’de özellikle organik tarım ve iyi tarım uygulamaları kapsamında doğal kökenli ürünlere olan ilginin artması, uçucu yağların ticarileşmesi açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Ancak bu sürecin hızlanabilmesi için bilimsel etkinlik çalışmalarının yanı sıra kalıntı, toksisite ve standardizasyon verilerinin mevzuatla uyumlu şekilde sunulması gerekmektedir.

Ticarileşme Potansiyeli

Uçucu yağların ticarileşmesinde karşılaşılan başlıca zorluklar; üretim maliyeti, kimyasal bileşimdeki varyasyonlar ve uygulama teknolojilerinin optimizasyonudur. Buna karşın aktif ambalaj, kontrollü salınım sistemleri ve yenilebilir kaplamalar ile entegrasyon, uçucu yağların sanayi ölçeğinde kullanımını daha uygulanabilir hale getirebilir.

Uçucu yağların hasat sonrası muhafazada kullanımı, çok sayıda avantaj sunmakla birlikte bazı sınırlılık ve riskleri de beraberinde getirmektedir.

Uçucu yağların en önemli avantajı, doğal ve biyolojik olarak parçalanabilir olmalarıdır. Sentetik fungusitlere kıyasla çevresel kalıntı riski düşüktür ve çoklu etki mekanizmaları sayesinde patojenlerde direnç gelişimi olasılığı daha sınırlıdır. Ayrıca bazı uçucu yağlar meyvelerin antioksidan kapasitesini artırarak kaliteyi koruyucu etki de göstermektedir.

Uçucu yağların uygulamasında karşılaşılan temel sınırlar arasında yüksek uçuculuk, ısı ve sıcaklığa duyarlılık ile kimyasal bileşimdeki doğal varyasyonlar yer almaktadır. Aynı bitki türünden elde edilen uçucu yağların dahi coğrafi köken, hasat zamanı ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak farklı bileşimler göstermesi, standart doz belirlenmesini zorlaştırmaktadır.

Yüksek dozlarda uygulanan uçucu yağlar fitotoksik etki gösterebilmekte, meyvelerde aroma ve tat bozulmalarına yol açabilmektedir. Ayrıca tüketici duyuşsal kabulü, özellikle güçlü aromaya sahip yağlarda sınırlayıcı bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle uygulamalarda optimal dozun belirlenmesi ve kontrollü salınım sistemlerinin tercih edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Değerlendirme ve Gelecek Perspektifi

Genel olarak değerlendirildiğinde, uçucu yağların hasat sonrası meyve muhafazasında doğal, çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif sunduğu görülmektedir. Mevzuat uyumu, standardizasyon ve ekonomik fizibiliteye yönelik çalışmaların artmasıyla birlikte, bu bileşiklerin ticari uygulamalarda daha yaygın biçimde kullanılması beklenmektedir.

Gelecekte yapılacak araştırmaların; çok bileşenli uçucu yağ kombinasyonları, kontrollü salınım ve nanoenkapsülasyon teknolojileri ile meyve türüne özgü uygulama protokolleri üzerine yoğunlaşması, uçucu yağların hasat sonrası teknolojilerdeki yerini daha da güçlendirecektir

Kaynakça

- Ali, A., Abbas, H., Youbert, G., Iraj, B., & Mohammad H., M. (2010). Study on the potential use of essential oils for decay control and quality preservation of tabarzeh table grape. *Journal of Plant Protection Research*, 50(1), 45-52.
- Alkın, G., Şeker, M., & Kaynaş, K. (2022). Anet 55 Şeftali Çeşidinin Depolanmasında Uçucu Yağ Emdirilmiş Modifiye Atmosfer Paketlemenin Kalite Özelliklerine Etkileri. *International Journal of Innovative Approaches in Science Research*, 6(2), 79-93.
- Amal, S., El-Moggy, M., Aboul-Anean, H., & Alsanius, B. (2010). Improving Strawberry Fruit Storability by Edible Coating. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2(3), 88-97.
- Anthony, S., Abeywickrama, K., & Wijeratnam, S. (2003). The effect of spraying essential oils of *Cymbopogon nardus*, *Cymbopogon flexuosus* and *Ocimum basilicum* on postharvest diseases and storage life of Embul banana. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(6), 780-785.
- Arras, G., & Usai, M. (2001). Fungitoxic Activity of 12 Essential Oils against Four Postharvest Citrus Pathogens: Chemical Analysis of *Thymus capitatus* Oil and its Effect in Subatmospheric Pressure Conditions. *Journal of food protection*, 64, 1025-1029.
- Bayaz, M. (2014). Esansiyel yağlar: antimikrobiyal, antioksidan ve antimutajenik aktiviteleri. *Akademik Gıda*, 12(3), 45-53.
- Bozin, B., Mimica-DukiWangc, N., Samojilik, I., & Jovin, E. (2007). Antimicrobial and antioxidant properties of rosemary and

- sage (*Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L., Lamiaceae) essential oils. *J Agric Food Chem.*, 55(19), 7879-7885.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods--a review. *Int J Food Microbiol.*, 94(3), 223-253.
- Çavuşoğlu, Ş., İşlek, F., & Yılmaz, N. (2020). Kayısıda (*Prunus armeniaca* L.) Metil Jasmonate, Sitokinin ve Lavanta Yağı Uygulamalarının Hasat Sonrası Fizyolojisi Üzerine Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 30, 136-146.
- Çelik, E., Bal, E., Kök, D., & Çelik, S. (2011). Kozak Siyahı Üzüm Çeşidi Üzerine Hasat Sonrası Bazı Uygulamaların Etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2), 65-76.
- Das, S., Chaudhari, A., Singh, V., Dwivedy, A., & Dubey, N. (2023). *Angelica archangelica* essential oil loaded chitosan nanoemulsion as edible coating for preservation of table grape fruit against *Botrytis cinerea* contamination and storage quality deterioration. *Postharvest Biology and Technology*, 205, 112482.
- Esfahani, A., Ehsani, M., Mizani, M., & Mohammadi Nafchi, A. (2020). Application of bio-nanocomposite films based on nano-TiO₂ and cinnamon essential oil to improve the physiochemical, sensory, and microbial properties of fresh pistachio. *Journal of Nuts*, 11(3), 195-212.
- Espitia, P., Soares, N., Botti, L., Melo, N., & Pereira, O. (2012). Assessment of the efficiency of essential oils in the preservation of postharvest papaya in an antimicrobial packaging system. *Brazilian Journal of Food Technology*, 15(4), 307-316.

- Göksel, Z., & Aksoy, U. (2017). Bazı Kiraz Çeşitlerinde Uygulanan Ön İşlemlerin Depolama Süresince Epikateşin ve Klorojenik Asit Miktarına Etkileri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 207-214.
- Guerra, I., Oliveira, P., Santos, M., & Lucio, A. (2016). The effects of composite coatings containing chitosan and *Mentha piperita* L. or x villosa Huds) essential oil on postharvest mold occurrence and quality of table grape cv. Isabella. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 112-121.
- Guerreiro, A., Gago, C., & Faleiro, M. (2015). The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 51-60.
- Guillen, F., Zapata, P., Martinez-Romero, D., Castillo, S., & Serrano, M. (2007). Improvement of the overall quality of table grapes stored under modified atmosphere packaging in combination with natural antimicrobial compounds. *J Food Sci.*, 72(3), 185-190.
- Hashemi, M., Dastjerdi, A., Shakerardekani, A., & Mirdeghan, A. (2021). Effect of alginate coating enriched with Shirazi thyme essential oil on quality of the fresh pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of food science and technology*, 58(1), 34-43.
- Helander, I., Alakomi, H., & Latva-Kala, K. (1998). Characterization of the Action of Selected Essential Oil Components on Gram-Negative Bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(9), 3590-3595.

- Karakuş, S. (2023). Hasat sonrası uygulanan bazı uçucu yağların elmalarda botrytis cinerea ve meyve besin içeriğine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 10(3), 583-590.
- Kasım, M., Yılmaz, F., Koşumcu, S., & Kasım, R. (2019). Çilekte (*Fragaria x ananassa* Duch.) Hasat Sonrası Enfeksiyon ve Kalite Üzerine Bazı Uçucu Yağların Etkisi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 27-35.
- Koçak, R., & Boyraz, N. (2006). Bazı bitki uçucu yağlarının fungisit ve fungistatik etkileri. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(38), 76-81.
- Kurnaz, G. (2024). *Depolama Öncesi Uygulanan Bazı Uçucu Yağların Natürel İç Fındığın Muhafaza Kalitesi Üzerine Etkileri*. Ordu: Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri ABD.
- Luesuwan, S., Naradisorn, M., Shiekh, K., Rachtanapun, P., & Tongdeesoontorn, W. (2021). Effect of Active Packaging Material Fortified with Clove Essential Oil on Fungal Growth and Post-Harvest Quality Changes in Table Grape during Cold Storage. *Polymers (Basel)*, 13(19), 3445.
- Marandi, R. J. (2011). Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on pear with *Thymus kotschyanus*, *Ocimum basilicum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *J Med Plants Res.*, 5(4), 626-634.
- Marandi, R., Hassani, A., Ghosta, Y., Abdollahi, A., Pirzad, A., & Sefidkon, F. (2011). Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on pear with *Thymus kotschyanus*, *Ocimum basilicum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *J Med Plants Res*, 5(4), 626-634.

- Mirdeghan, S., Pirzad, F., Pireh, S., Hashemi, M., & Valero, D. (2023). Impact of Menthol and Thymol in Combination with Modified Atmosphere Packaging for the Safety and Quality Retention of Apricot Fruits during Cold Storage. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 10(4), 513-522.
- Pinto, E., Vale-Silva, L., Cavaleiro, C., & Salgueiro, L. (2009). Antifungal activity of the clove essential oil from *Syzygium aromaticum* on *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species. *J Med Microbiol.*, 58(11), 1454-1462.
- Sapper, M., Palou, L., Perez-Gago, M., & Chiralt, A. (2019). Antifungal Starch–Gellan Edible Coatings with Thyme Essential Oil for the Postharvest Preservation of Apple and Persimmon. *Coatings*, 9(5), 333.
- Sellamuthu, P., Mafune, M., Sivakumar, D., & Soundy, P. (2013a). Thyme oil vapour and modified atmosphere packaging reduce anthracnose incidence and maintain fruit quality in avocado. *J Sci Food Agric.*, 93(12), 3024-3031.
- Sellamuthu, P., Sivakumar, D., Soundy, P., & Korsten, L. (2013b). Essential oil vapours suppress the development of anthracnose and enhance defence related and antioxidant enzyme activities in avocado fruit,. *Postharvest Biology and Technology*, 81, 66-72.
- Serrano, M. M.-R., Serrano, M., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Guillen, F., & Valero, D. (2005). The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(1), 115-123.
- Sharafi, Y., Rabiei, V., Shirzadeh, E., & Ribbiangourani, H. (2011). Effect of thyme and lavender essential oils on the qualitative

- and quantitative traits and storage life of apple ‘Jonagold’ cultivar. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(23), 5522-5527.
- Siroli, L., Patrignani, F., Serrazanetti, D., Tabanelli, G., Montanari, C., Tappi, S., . . . Lanciotti, R. (2014). Efficacy of natural antimicrobials to prolong the shelf-life of minimally processed apples packaged in modified atmosphere. *Food Control*, 46, 403-411.
- Şener, S., Doğan, A., Duran, C., Kurt, Z., & Erkan, M. (2022). Hasat Öncesi Farklı Uçucu Yağ Uygulamalarının ‘Rubygem’ Çilek Çeşidinin Muhafazası Üzerine Etkileri. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(2), 395-404.
- Valero, D., Valverde, J., Martinez-Romero, D., Guillen, F., Castillo, S., & Serrano, M. (2006). The combination of modified atmosphere packaging with eugenol or thymol to maintain quality, safety and functional properties of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 317-327.
- ValizadehKaji, B., & Fakhri, N. (2023). Postharvest application of Aloe vera gel and thymol enhances shelf-life of duke cherries via altering physiochemical parameters. *Chem. Biol. Technol. Agric.*, 10, 85.
- Valverde, J., Guillen, F., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., & Valero, D. (2005). Improvement of table grapes quality and safety by the combination of modified atmosphere packaging (MAP) and eugenol, menthol, or thymol. *J Agric Food Chem.*, 53(19), 7458-7464.
- Wang, C., Wang, S., Yin, J., & Parry, J. (2007). Enhancing Antioxidant, Antiproliferation, and Free Radical Scavenging Activities in Strawberries with Essential Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(16), 6527-6532.

- Wang, Y., Zang, Y., Shi, Y., Pan, X., Lu, Y., & Cao, P. (2018). Antibacterial effects of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) bark essential oil on *Porphyromonas gingivalis*. *Microb Pathog.*, 116, 26-32.
- Wang., C. (2003). Maintaining postharvest quality of raspberries with natural volatile compounds. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 869-875.
- Xingfeng, S., Wang, H., Xu, F., & Cheng, S. (2013). Effects and possible mechanisms of tea tree oil vapor treatment on the main disease in postharvest strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 94-101.
- Xylia, P., Chrysargyris, A., Ahmed, Z., & Tzortzakis, N. (2021). Application of Rosemary and Eucalyptus Essential Oils and Their Main Component on the Preservation of Apple and Pear Fruits. *Horticulturae*, 7, 479.
- Yaşar, K. (2018). *Hasat sonrası uygulanan ozon gazı ve kimyon (Carum carvi L.) uçucu yağının kivi (Actinidia deliciosa L.) meyve ve muhafaza kalitesi üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Yetiştirme ve Islahı ABD.
- Yılmaz, A. (2012). *Bazı bitki uçucu yağlarının hasat sonrası fungal meyve çürüklüğü etmenlerine karşı in Sellamuvitro ve in vivo etkilerinin araştırılması*. Doktora Tezi, . Konya.: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, .
- Zaika, L. (1998). Spices and Herbs: Their Antimicrobial Activity. *Journal of Food Safety*, 9, 97-118.

BÖLÜM 3

SU STRESİNDE HİDROJEL KULLANIMI

1. SELMAKIPÇAK BİTİK¹

Giriş

Küresel ısınmanın etkileriyle birlikte su, 21. yüzyılın en kritik sorunlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Su stresi, tarımsal üretimde bitki gelişimini, verimi ve kaliteyi olumsuz yönde etkileyerek özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerdeki tarım sistemlerini giderek daha kırılgan hâle getirmektedir (Ingrao & ark., 2023; Elshaikh & Mabrouki, 2024).

Bitkiler, su stresiyle başa çıkmak ve stresin oluşturduğu zararları en aza indirmek amacıyla ozmotik ayarlama, kök sisteminin yeniden yapılandırılması gibi fiziksel özellikler, Absisik asit (ABA), reaktif oksijen türleri (ROS), jasmonik asit (JA) ile süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) gibi hormon ve enzimleri içeren antioksidan savunma sistemleri, biyokimyasal stratejiler ve genlerin gen ifade düzeyinde moleküler mekanizmalar geliştirmiştir. Bu mekanizmalar, bitkilerin biyotik ve abiyotik strese karşı uyum ve direnç süreçlerinde temel rol oynamaktadır (Agbna & Zaidi, 2025).

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Başkale MYO. Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Orcid: 0000-0002-0563-1130

Yapılan araştırmalarla bitkilerin, su kullanım verimliliğini artırmak ve su stresine karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla çeşitli yenilikçi yaklaşımlar geliştirilmiştir (Ali & Hassan, 2020). Bu yaklaşımlardan biri, yüksek su tutma kapasitesine sahip hidrojel kullanımıdır.

Hidrojeller, büyük hacimlerde suyu emebilen ve zamanla kontrollü biçimde serbest bırakabilen yüksek emici polimer yapılarıdır. Üç boyutlu hidrofilik polimer ağlarından oluşan hidrojeller, kendi ağırlıklarının yüzlerce katı suyu absorbe edebilmekte ve suyu depolarken şişerek jel benzeri bir yapı oluşurmaktadır (Patra & Hossain, 2022; Ali & Zaidi, 2024). Bu jel yapı, çevredeki toprak kurudukça suyu yavaşça serbest bırakarak bitkilere sürekli ve dengeli bir su kaynağı sağlar (Abdallah, 2019; Abdelghafar & ark., 2024). Burada verilen referans

Hidrojellerin tarımda kullanımı kapsamlı biçimde araştırılmış olup, çok sayıda çalışma bu materyallerin bitkilerin kuraklığa karşı dayanıklılığını artırmadaki etkinliğini ortaya koymuştur. Yapılan araştırmalar, hidrojel ile zenginleştirilmiş toprakların nemi artırarak sulama sıklığını azaltarak suyun korunmasına katkı sağlamakta ve su stresi koşullarında bitki büyümesi ile verimi artırma potansiyeli sunmaktadır. Hidrojel içerikli topraklarda yetiştirilen bitkilerin; hidrojelsiz topraklarda yetiştirilenlere kıyasla daha iyi büyüme performansı, daha yüksek biyokütle ve artan verim gösterdiği bildirmektedir (Chang & Qiu, 2021; Patra & Hossain, 2022; Ali & Zaidi 2024; Nordin & Bakar, 2024). Özellikle yağışların düzensiz olduğu ve kurak dönemlerin sık görüldüğü bölgelerde, hidrojeller toprak nemini dengeleyerek kuraklığın olumsuz sonuçlarını azaltmaya yardımcı olmakta, toprak gözenekliliğini artırıp, hacim yoğunluğunu azaltarak kök gelişimini ve besin alımını desteklemektedir (Ali & Zaidi, 2024; Manimaran & Aswitha, 2024).

Modern tarımda hidrojellerin rolü yalnızca su tutma ile sınırlı değildir. Son araştırmalar, hidrojellerin gübre, pestisit gibi tarımsal girdiler için bir taşıyıcı sistem olarak işlev görebileceğini ve bu maddelerin toprak nem durumuna bağlı kontrollü salınımını sağlayabileceğini ortaya koymuştur (Han & Xu, 2024; Sarhan & Mohamed, 2024). Bu ikili işlevsellik, su kullanım verimliliğini artırmakla beraber besin maddesi kayıplarını azaltmakta ve çevresel kirliliği en aza indirmektedir (Xing & ark., 2024; Alam & Quazi, 2024). Hidrojellerin; otomatik sulama sistemleri ve hassas tarım teknolojileriyle entegrasyon potansiyeli, su ve besin yönetiminin daha da optimize edilmesini sağlayarak sürdürülebilir ve verimli tarım sistemlerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır (Manimaran & Aswitha, 2024)

Bu çalışma kapsamında, hidrojellerin bitkilerin su stresine karşı dayanıklılığını artırmadaki etkileri ele alınmakta, hidrojellerin özellikleri, tarımda hidrojel uygulamaları ve tarımda hidrojel uygulamalarındaki zorlukları değerlendirilmekte ve alandaki araştırma-geliştirme çalışmalarının gelecekteki yönelimleri belirlenmektedir.

2. Hidrojellerin Özellikleri

Hidrojellerin özellikleri; kimyasal bileşimleri, çapraz bağlanma yoğunlukları, şişme kapasitesi, mekanik dayanım, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve sıcaklık, pH veya iyonik güç gibi çevresel faktörlere duyarlılık gibi çeşitli sınıflara ayrılmaktadır (Saha & ark., 2020).

2.1. Su Etkileşimine Dayalı Sınıflandırması

Hidrojeller, su ile etkileşimleri temel alınarak sınıflandırılmaktadır. Hidrojellerde su, üç farklı formda bulunabilir: serbest su, bağlı su ve ara su. Serbest su, polimer ağında zayıf etkileşimlerle tutulan ve kolayca hareket edebilen suyu; bağlı su, güçlü hidrojen bağları veya iyonik etkileşimlerle polimere tutunan

su; ara su ise hem serbest hem de bağılı suyun özelliklerini kısmen taşıyan, polimer matrisiyle orta düzeyde etkileşim gösteren su formudur (Agbna & Zaidi, 2025).

2.2. Şişme Kapasitesi ve Mekanik Mukavemet

Hidrojeller suya maruz kaldıklarında önemli ölçüde şişme mukavemet özellikleri polimer zincirlerinin hidrofilik özellikleri ile çapraz bağlanma yoğunluğuna bağlıdır. Çapraz bağlanma yoğunluğunun artması, genellikle şişme kapasitesinin azalmasına ancak mekanik dayanımın artmasına yol açar. Buna karşın, düşük çapraz bağlanma yoğunluklarına sahip hidrojeller daha esnek olup daha fazla su absorbe edebilir; ancak aşırı çevresel koşullar altında mekanik bozulmaya daha yatkındırlar (Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2020; Tariq & Ahmed, 2023; Omar & Alsharaeh, 2024). Bu özellik tarımsal uygulamalar açısından kritik öneme sahiptir; çünkü bir hidrojinin ne kadar su depolayabileceği ve daha sonra toprağa iletebileceği bu parametre tarafından belirlenir (Nnadi & Brave, 2011).

2.3. Biyolojik Bozunabilirlik ve Çevresel Duyarlılık

Biyolojik olarak parçalanabilir hidrojeller, çevrede zararlı bir kalıntı bırakmadan zaman içinde doğal olarak ayrışabilen materyallerden oluşur (Chang & Zhang, 2011). Bu özellik, doğal polimer temelli hidrojelleri sürdürülebilir tarım uygulamaları için özellikle cazip kılmaktadır. Ancak, sentetik olarak üretilen ve yaygın olarak kullanılan birçok sentetik hidrojeller biyolojik olarak parçalanamadıklarından, uzun vadeli çevresel kaygılar gündeme gelmektedir (Oladosu & Haliru, 2022).

Hidrojeller; sıcaklık, pH veya iyonik güç gibi belirli çevresel uyaranlara yanıt verecek şekilde tasarlanabilmektedir. Örneğin, sıcaklığa duyarlı hidrojeller belirli bir sıcaklıkta faz geçişi yaşayarak suyu kontrollü biçimde salabilir (Zhang & Wang, 2010). Benzer biçimde pH'ya duyarlı hidrojeller, ortam pH'ına bağlı olarak şişme

veya büzülme davranışı sergiler ve bu özellikleri onları istenilen toprağa göre ayarlamayı uygun kılmaktadır (Tomadoni & ark., 2019; Tariq & Ahmed, 2023).

3. Tarımda Hidrojel Uygulamaları

Hidrojeller, suyu emme, depolama ve kontrollü b yimde serbest bırakma kapasiteleri sayesinde, özellikle su kıtlığının yaygın olduğu bölgelerde önem kazanmaktadır. Hidrojellerin tarımdaki kullanımı yalnızca su tutma ile sınırlı olmayıp; toprak nemini koruma, besin maddesi taşıma, tohum kaplama ve erozyon kontrolü gibi uygulamaları da kapsamaktadır.

3.1. Toprak Neminin Artırılması

Hidrojellerin tarımdaki en yaygın ve temel kullanım alanlarından biri, toprak neminin artırılmasıdır. Kuraklığa eğilimli veya düzensiz yağış alan bölgelerde yeterli toprak neminin korunması bitki büyümesi açısından kritik öneme sahiptir. Hidrojeller, sulama veya yağış sırasında suyu absorbe ederek depolar ve toprak nem kaybettikçe depolamış olduğu suyu kademeli bir şekilde salarak bitki köklerine sürekli ve dengeli bir nem kaynağı sağlar (Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2020). Böylece, hidrojeller sayesinde sulama sıklığı azalmakta, su verimliliği artmakta ve kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri hafifletilerek zor koşullarda dahi daha iyi verim sağlanmaktadır (Nnadi & Brave, 2011). Yer fıstığı ve  eltik üzerine yapılan iki farklı çalışmada hidrojel uygulamasının, kuraklık koşullarında işlenmemiş topraklara kıyasla fıstıkta %30 verim artışı sağladığı, çeltikte ise su stresinin olumsuz etkilerini azaltarak daha yüksek tane verimi sağladığı rapor edilmiştir (Elshahawy, 2020; Patra & Hossain, 2022).

Hidrojellerin toprak nem tutma kapasitesini artırmadaki etkinliği farklı toprak tiplerine göre değişkenlik göstermektedir. Su sızmasının hızlı olduğu ve su tutma kapasitesinin düşük olduğu kumlu topraklarda hidrojeller; suyun daha uzun süre tutulmasını

sağlayarak derin sızma kaynaklı kayıpları önemli ölçüde azaltır (Abdallah, 2019; Patra & Hossain, 2022). Killi topraklarda ise hidrojeller fazla nemi absorbe ederek su birikmesini önler ve ihtiyaç duyulduğunda nemi geri vererek toprak nem dengesinin korunmasına katkıda bulunurlar (Patra & Hossain, 2022). Hidrojellerin bu çok yönlü fonksiyonları, hidrojelleri farklı tarımsal koşullarda toprak yapısını iyileştirmek, ıslah etmek ve işlevselliğini artırmak için etkili bir araç hâline getirmektedir. Hidrojeller, toprak nemini dengede tutarak bitkiler için daha elverişli bir ortam oluşturur; bu durum daha derin kök penetrasyonu ve daha geniş kök sistemlerinin gelişmesini teşvik eder (Patra & Hossain, 2022). Araştırmalar, hidrojel ile zenginleştirilmiş topraklarda yetiştirilen bitkilerin, işlenmemiş topraklara kıyasla daha yüksek kök biyokütlesi ürettiğini göstermektedir.

3.2. Besin Maddesi Taşıma ve Gübre Verimliliği

Hidrojeller, toprakta su tutma kapasitesi dışında, gübre ve besin maddelerinin kontrollü salınımı için taşıyıcı sistemler olarak giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Polimer ağları içerisinde besin maddelerini kapsülleyerek, toprak nem durumuna göre depoladığı besin elementlerini kontrollü şekilde serbest bırakabilmekte ve böylece nem ve besin element salınım mekanizması oluşturmaktadır. Bu yöntem, gübre kullanım verimliliğini artırmakta ve besin element kayıplarını önemli oranda azaltmaktadır (Azeem & Thanh, 2014; Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2021; Ali & Zaidi, 2024; Sarhan & Mohamed, 2024). Ayrıca, hidrojeller besin elementlerini depolayarak bitkinin gelişim evrelerine ve isteğine göre mineral madde salınım hızının ayarlanmasına imkân sağlamakta; böylece bitkilerin ihtiyaç duydukları dönemde doğru miktarda mineral maddeye ulaşmaları sağlanmaktadır (Ribeiro & Ramos, 2024). Çeşitli çalışmalar hidrojellerin azot, fosfor ve potasyum gibi makro besin element maddelerinin bitkiler tarafından kullanılabilirliğini belirgin şekilde

artırdığını, böylece daha iyi büyüme ve daha yüksek verim elde edildiği rapor edilmiştir (Ghobashy & Nady, 2024; Lu & Liu, 2024).

3.3. Erozyon Kontrolü ve Toprak Stabilizasyonu

Hidrojeller, toprak parçacıklarını bir arada tutarak rüzgâr ve su kaynaklı erozyon riskini azaltır (Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2020). Hidrojellerin sahip olduğu bu özellik, gevşek, kumlu topraklar veya dik yamaçlar gibi erozyonun ciddi toprak kaybına ve yapısal bozulmaya yol açabileceği alanlarda kritik öneme sahiptir (Nnadi & Brave, 2011).

Hidrojellerin etkinliği, daha çok malç gibi toprak stabilizatörleriyle birlikte uygulanarak artırılır. Tarımsal alanlarda hidrojel ile işlenmiş topraklar, özellikle yoğun yağış dönemlerinde erozyona karşı daha dirençli hale gelmiştir (Falcão & Barbosa, 2024). Bu özellik, toprak stabilizasyonunun bitki örtüsünün başarılı bir şekilde yerleşmesi için kritik olduğu ağaçlandırma ve arazi ıslah projelerinde büyük avantaj sağlamaktadır (Ali & Zaidi, 2024).

3.4. Tohum Kaplama ve Çimlenmeyi Geliştirme

Hidrojeller, tohumlarda çimlenme oranlarını artırmak ve fide gelişimini desteklemek amacıyla tohum kaplama materyali olarak da kullanılmaktadır. Hidrojeller, topraktan suyu absorbe ederek tohuma yakın bir bölgede tutar ve özellikle suyun olmadığı dönemlerde veya suyun sınırlı olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde tohum çıkışını ve fide gelişimini desteklemektedir. Bu yöntem, özellikle tohumların önceden çimlendirilmeden doğrudan tarlaya ekildiği doğrudan ekim sistemlerinde büyük avantaj sağlar (Pathak & Ambrose, 2020; Saha & ark., 2020; Patra & Hossain, 2022).

Araştırmalar, hidrojellerle kaplanan tohumların tahıllar, baklagiller ve sebzeler gibi farklı bitki türlerinde çimlenme oranlarını artırdığını göstermektedir (Pathak & Ambrose, 2020; Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2021). Hidrojeller tohum veya

fideler için yalnızca nem sağlamakla kalmaz; aynı zamanda mineral maddeler, büyüme uyarıcılar veya koruyucu bileşiklerle içeriği zenginleştirilerek, tohum ve fidelerde canlılık ve hastalıklara karşı dayanımı da artırır (Sousa & Camara, 2022).

4. Tarımda Hidrojel Uygulamalarındaki Zorluklar

Hidrojeller, tarımsal verimliliği artırma potansiyeline sahip olmalarına rağmen, yaygın bir şekilde kullanılmasında bazı zorluklar bulunmaktadır. Bunların başında da maliyet konusu gelmektedir. Özellikle sentetik polimer bazlı yüksek kaliteli hidrojellerin üretimi oldukça maliyetlidir. Bu durum, özellikle hem gelişmekte olan ülkeler hem de küçük ölçekli çiftçiler için oldukça önemli bir konudur (Nnadi & Brave, 2011). Hidrojeller ürün türü, toprak özellikleri ve iklim gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak farklı farklı üretilmektedir; bu durum da beraberinde kullanılan malzemelerin çeşitli ve bazı malzemelerin özel geliştirilmesini gerektirmektedir. İşte bu noktada maliyet konusu devreye girmekte ve hidrojel üretiminin farklı tarım sistemleri arasında genelleştirilmesini zorlaştırmaktadır (Ali & Zaidi, 2024).

Tarımda hidrojinin kârlılığı, sulama ve gübre giderlerindeki azalma ile hidrojel satın alma ve uygulama maliyetlerinin dengelenip dengelenmediğine bağlıdır. Çalışmalar, hidrojellerin su tutma ve besin verimliliğini artırarak ekonomik kazanımlar sağlayabileceğini göstermektedir. Ancak, hidrojel kullanımının net kârlılığını inceleyen kapsamlı ekonomik çalışmalar hâlen sınırlıdır. Biyopolimer sentezindeki ilerlemeler ve tarımsal yan ürünlerin kullanımı, hem ekonomik hem de çevresel açıdan uygun, biyolojik olarak parçalanabilir hidrojellerin üretimini mümkün kılmaktadır (Saha & ark., 2020; Ali & Zaidi, 2024). Böylece hidrojel üretiminde maliyetin düşürülmesiyle dünya genelinde daha geniş çiftçi kitlesi için hidrojeller erişilebilir hâle getirilebilir.

4.1. Çevresel Etki ve Biyobozunurluk

Hidrojel kullanımını sınırlandıran bir diğ er önemli konu ise sentetik hidrojellerin çevresel etkisidir. Sentetik olarak üretilen hidrojeller  oğ unlukla petrokimyasal kaynaklar kullanılarak üretimi yapılı r. Bundan dolayı çevrede kolay parçalanmaz; bu durum, toprak sağlığı ve uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından endişeler doğurur. Zamanla, toprakta parçalanamayan hidrojellerin birikmesi, toprak yapısını ve pH'sını değiştirebilir, mikrobiyal toplulukları etkileyebilir, buna bağlı olarak toprak verimliliği ve sürdürülebilirliği azalabilir (Skrzypczak & Witek-Krowiak, 2020).

5. Sonuç

Hidrojeller, tarımda sürdürülebilir ve verimli üretim uygulamalarını desteklemede önemli bir potansiyel ta ıtmaktadır. Su kıtlığı, toprak bozulması ve iklim değişikliği gibi küresel zorluklar tarımsal üretkenliği tehdit etmeye devam ederken, hidrojeller suyu tutma, besin sağlama ve toprak yapısını iyileştirme kapasiteleriyle bu sorunlara çözüm sunmaktadır. Ancak, yaygın kullanım için, biyobozunur hidrojellerin geliştirilmesi, akıllı ve hassas tarım uygulamaları, maliyet, çevresel etki gibi önemli konular daha detaylı araştırılmalı ve çalışmalar bu yönde olmalıdır. Araştırmacıların maliyet giderini azaltmak için, özellikle doğal ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen uygun maliyetli ve sürdürülebilir hidrojel alternatiflerinin geliştirilmesine odaklanmalıdır. Hidrojellerin tarımdaki ilerlemesi, maliyet etkinliği, çevresel sürdürülebilirlik ve akıllı tarım entegrasyonu ile desteklendiğinde modern tarımda önemli bir   z m olarak yerini g  lendirecektir.

Kaynakça

Abdallah, A. M. (2019) The effect of hydrogel particle size on water retention properties and availability under water stress. *International soil and water conservation research*, 7(3), 275-285.<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.001>

Abdelghafar, R. Abdelfattah, A. & Mostafa, H. (2024) Effect of super absorbent hydrogel on hydro-physical properties of soil under deficit irrigation *Scientific Reports*, 14(1), 7655. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57786-5>

Agbna, G. H. D. & Zaidi, S. J. (2025) Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress—A Review. *Gels*, 11(4), 276.<https://doi.org/10.3390/gels11040276>

Ahmadi, A. Keshavarz, M. & Ejlali, F. (2025) Resilience to climate change in agricultural water-scarce areas: The major obstacles and adaptive strategies. *Water Resources Management*, 39(3), 1195-1214.<https://doi.org/10.1007/s11269-024-04019-z>

Alam, M. W. Junaid, P. M. Gulzar, Y. Abebe, B. Awad, M. & Quazi, S. A. (2024) Advancing agriculture with functional NM:“pathways to sustainable and smart farming technologies”. *Discover Nano*, 19(1), 197.<https://doi.org/10.1186/s11671-024-04144-z>

Ali, A. B. Elshaikh, N. A. Hussien, G. Abdallah, F. E. & Hassan, S. (2020) Biochar addition for enhanced cucumber fruit quality under deficit irrigation. *Bioscience Journal*, 36(6). <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n6a2020-47814>

Ali, K. Asad, Z. Agbna, G. H. Saud, A. Khan, A. & Zaidi, S. J. (2024) Progress and innovations in hydrogels for sustainable agriculture. *Agronomy*, 14(12), 2815. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122815>

Azeem, B. KuShaari, K. Man, Z. B. Basit, A. & Thanh, T. H. (2014) Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal of controlled release*, 181, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>

Chang, C. & Zhang, L. (2011) Cellulose-based hydrogels: Present status and application prospects. *Carbohydrate polymers*, 84(1), 40-53. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.023>

Chang, L. Xu, L. Liu, Y. & Qiu, D. (2021) Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. *Polymer Testing*, 94, 107021. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107021>

Elshahawy, H. A. (2020) Impact of irrigation water regimes and anti-transpirations with hydro-gel on nutritional status of peanut grown in sandy soil. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 47(4), 963-974. <https://doi.org/10.21608/zjar.2020.110324>

Elshaikh, A. & Mabrouki, J. (2024) Impact of agricultural soil degradation on water and food security. In *Artificial Intelligence Systems in Environmental Engineering* (pp. 13-24). CRC Press.

Falcão, J. & Barbosa, F. E. L. (2024) Erosion in soils added with hydrogel. *Mercator (Fortaleza)*, 23, e23027. <https://doi.org/10.4215/rm2024.e23027>

Ghobashy, M. M. Amin, M. A. Mustafa, A. E. El-Diehy, M. A. El-Damhougy, B. K. & Nady, N. (2024) Synthesis and application of a multifunctional poly (vinyl pyrrolidone)-based superabsorbent hydrogel for controlled fertilizer release and enhanced water retention in drought-stressed *Pisum sativum* plants. *Scientific Reports*, 14(1), 27734. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76255-7>

Han, D. Meng, F. Li, J. Liu, H. Cao, J. Song, X. & Xu, W. (2024) Synthesis, properties and application of pesticides encapsulated hydrogels. *European Polymer Journal*, 215, 113196. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2024.113196>

Ingrao, C. Strippoli, R. Lagioia, G. & Huisingh, D. (2023) Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8).

Lu, K. Abouzeid, R. Wu, Q. Chen, Q. & Liu, S. (2024) Hydrogel nanocomposite based slow-release urea fertilizer: formulation, structure, and release behavior. *Giant*, 18, 100270. <https://doi.org/10.1016/j.giant.2024.100270>

Manimaran, V. & Aswitha, K. (2024) Hydrogels in Agriculture: Enhancing crop resilience and efficiency. *Advances in Agricultural Sciences*; Royal Book Publishing: Salem, India, 96-130.

Nnadi, F. & Brave, C. (2011) Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 2(7), 206-211.

Nordin, N. Afifi, W. F. W. Majid, S. R. & Bakar, N. A. (2024) Crop resilience enhancement through chitosan-based hydrogels as a sustainable solution for water-limited environments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282, 137202. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137202> Get rights and content

Oladosu, Y. Rafii, M. Y. Arolu, F. Chukwu, S. C. Salisu, M. A. Fagbohun, I. K. & Haliru, B. S. (2022) Superabsorbent polymer hydrogels for sustainable agriculture: A review. *Horticulturae*, 8(7), 605. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605>

Omar, H. & Alsharaeh, E. (2024) Improving water retention in sandy soils with high-performance superabsorbents hydrogel polymer. *ACS omega*, 9(22), 23531-23541. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00727>

Pathak, V. & Ambrose, R. K. (2020) Starch-based biodegradable hydrogel as seed coating for corn to improve early growth under water shortage. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(14), 48523. <https://doi.org/10.1002/app.48523>

Patra, S. K. Poddar, R. Brestic, M. Acharjee, P. U. Bhattacharya, P. Sengupta, S. & Hossain, A. (2022) Prospects of hydrogels in agriculture for enhancing crop and water productivity under water deficit condition. *International Journal of Polymer Science*, 2022(1), 4914836. <https://doi.org/10.1155/2022/4914836>

Ribeiro, A. B. Moreira, H. Pereira, S. I. Godinho, M. da Silva Sousa, A. S. Castro, P. ... & Ramos, Ó. L. (2024) Bio-based superabsorbent hydrogels for nutrient release. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 112031. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112031>

Saha, A. Sekharan, S. & Manna, U. (2020) Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. *Soil and Tillage Research*, 204, 104736. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>

Sarhan, N. Arafa, E. G. Elgiddawy, N. Elsayed, K. N. & Mohamed, F. (2024) Urea intercalated encapsulated microalgae composite hydrogels for slow-release fertilizers. *Scientific Reports*, 14(1), 15032. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58875-1>

Skrzypczak, D. Mikula, K. Kosińska, N. Widera, B. Warchoń, J. Moustakas, K. ... & Witek-Krowiak, A. (2020) Biodegradable hydrogel materials for water storage in agriculture-review of recent research. *Desalination and Water Treatment*, 194, 324-332. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25436>

Skrzypczak, D. Jarzembowski, Ł. Izydorczyk, G. Mikula, K. Hoppe, V. Mielko, K. A. & Witek-Krowiak, A. (2021) Hydrogel alginate seed coating as an innovative method for delivering

nutrients at the early stages of plant growth. *Polymers*, 13(23), 4233. <https://doi.org/10.3390/polym13234233>

Sousa, N. I. Sousa, A. B. D. Lacerda, C. F. D. Sales, J. R. D. S. Mesquita, R. O. Cavalcante, E. S. ... & Camara, W. A. (2022) Hydrogel as mitigator of salt stress during the establishment of *Tagetes patula* L. seedlings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(11), 807-814. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p807-814>

Tariq, Z. Iqbal, D. N. Rizwan, M. Ahmad, M. Faheem, M. & Ahmed, M. (2023) Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC advances*, 13(35), 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>

Tomadoni, B. Casalengué, C. & Alvarez, V. A. (2019) Biopolymer-based hydrogels for agriculture applications: Swelling behavior and slow release of agrochemicals. In *Polymers for Agri-food applications* (pp. 99-125). Cham: Springer International Publishing.

Xing, Y. Zhang, X. & Wang, X. (2024) Enhancing soil health and crop yields through water-fertilizer coupling technology. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1494819. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1494819>

Zhang, H. F. Zhong, H. Zhang, L. L. Chen, S. B. Zhao, Y. J. Zhu, Y. L. & Wang, J. T. (2010) Modulate the phase transition temperature of hydrogels with both thermosensitivity and biodegradability. *Carbohydrate Polymers*, 79(1), 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.040>

BÖLÜM 4

CEVİZ (*Juglans regia* L.) BİTKİSİNDE TUZLULUĞA KARŞI DİRENÇ MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ

Mesut ADA ¹

Salih KAFKAS ²

Giriş

Küresel iklim değişikliği ve sulama yöntemlerinin neden olduğu toprak tuzluluğu, dünya genelinde tarımsal üretimi giderek artarak tehdit eden bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Tarım alanlarının %20'sinden fazlasının tuzluluktan etkilendiği ve bunun tarımsal verim üzerinde ciddi düşüslere yol açabileceği öngörülmektedir (Faostat, 2017). Özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde su kaynaklarının kontrolsüz kullanımı ve drenaj eksiklikleri, topraklarda aşırı tuz birikimine sebebiyet vermektedir (Munns ve Tester, 2008). Artan toprak tuzluluğu, bitkilerde su ve

¹ Ar. Gör. Dr., Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Orcid: 0000-0003-1495-9311

² Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Orcid: 0000-0002-9037-4764

iyon dengesizlikleri gibi fizyolojik stres faktörleri oluşturarak büyüme ve gelişim süreçlerini olumsuz etkilemektedir (Parida ve Das, 2005).

Bitkiler, tuz stresine adaptif bir dizi mekanizma geliştirmiş olup bu adaptasyonlar osmotik düzenleyici bileşiklerin sentezinden iyon homeostazisine, antioksidan enzim aktivitelerinin artışına ve tuza dayanıklılığı düzenleyen genlerin ekspresyonuna kadar birçok biyokimyasal ve fizyolojik süreci içermektedir (Zhu, 2001). Tuz stresinin etkileri, ekonomik değeri yüksek ve tarımsal üretimde önemli bir yere sahip ceviz yetiştiriciliğinde ciddi sonuçlar doğurabilir. Geniş bir biyolojik adaptasyon kapasitesine sahip olan ceviz bitkisi, yüksek tuzluluk koşullarında verim kayıpları ile karşı karşıya kalabilir (Vahdati ve Lotfi, 2013).

Ceviz, içeriğinde bulunan yağ asitleri, vitaminler, mineraller ve antioksidan bileşikler sayesinde birçok ülkede değerli bir tarımsal ve sağlık kaynağı olarak önem kazanmaktadır (Martínez ve ark., 2010). Ancak tuz stresine duyarlı olan ceviz, stres koşullarında verim kayıpları yaşayabilir. Bu nedenle, cevizde tuz stresine dayanıklılık mekanizmalarının anlaşılması, daha dirençli çeşitlerin geliştirilmesi için gereklidir.

Tuz stresi, bitki hücrelerinde iyon toksisitesi ve su kaybına yol açarak hücresel işlevleri bozmakta; Na^+ ve Cl^- iyonlarının hücrelerde aşırı birikimi ozmotik basınç düşüşüne ve iyon dengesizliklerine neden olarak su alımını sınırlandırmaktadır (Tester ve Davenport, 2003). Bu koşullar, hücre zarlarının geçirgenliğini değiştirerek fotosentez gibi temel biyolojik süreçlerde aksamalara neden olur. Ayrıca, tuz stresinin reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimine yol açarak hücre zarları, proteinler ve DNA üzerinde oksidatif stres kaynaklı hasar oluşturduğu gösterilmiştir (Mittler, 2002). Bu olumsuzluklarla başa çıkmak üzere bitkiler çeşitli koruyucu mekanizmalar geliştirmiştir.

Ceviz, tuz stresine dayanıklılık geliştirme potansiyeline sahip türlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu dayanıklılık, iyon homeostazisinin sağlanması, osmotik düzenleyici bileşiklerin sentezi ve antioksidan savunma sistemlerinin aktivasyonu gibi temel mekanizmalarla sağlanmaktadır (Blumwald, 2000). Bu çalışmada, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı geliştirdiği fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyonları ve bu adaptasyonların altında yatan moleküler mekanizmaları kapsamlı bir şekilde incelenmesi amaçlanmıştır.

TUZ STRESİNİN BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Toprak tuzluluğu, bitki büyüme ve gelişimini kısıtlayan temel abiyotik stres faktörlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Yüksek tuz konsantrasyonları, bitkilerin su alımını engelleyerek önemli fizyolojik dengesizliklere yol açmakta; uzun vadede ise yapısal bozulmalara neden olmaktadır. Tuz stresinin bitkiler üzerindeki etkileri, genellikle fizyolojik ve biyokimyasal olarak iki ana başlıkta değerlendirilebilir.

Fizyolojik Etkiler

Tuz stresi, bitkilerde su alımının azalmasına ve osmotik potansiyelin düşmesine yol açarak hücre içi su dengesini bozar. Tuzlu koşullar altında bitkiler, topraktan su çekmekte zorlanır; bu durum hücrelerde dehidrasyona ve dolayısıyla büyüme hızında düşüşe neden olur (Munns ve Tester, 2008). Su dengesinin bozulması, hücre turgor basıncında azalmaya, hücre genişlemesi ve bölünmesinde sınırlamalara yol açar. Bu fizyolojik değişimler sonucunda bitkilerde yaprak klorozu, büyüme noktalarının küçülmesi ve kök uzunluğunun azalması gibi olumsuz belirtiler ortaya çıkar (Flowers ve Colmer, 2008).

Yüksek Na^+ ve Cl^- iyon birikimi yaprak dokularında klorofil sentezini ve fotosentez süreçlerini olumsuz etkileyerek karbon asimilasyonunun düşmesine neden olur (Tester ve Davenport, 2003).

Yapraklarda Na^+ iyonlarının aşırı birikimi, K^+ iyon taşınımını bozarak hücresel işlevleri sınırlar. Bu iyon dengesizliği klorofil sentezinin bozulmasına ve fotosentetik etkinlikte azalmaya yol açar ve sonuç olarak bitkilerin biyokütle üretimi azalır (Munns, 2002). Fotosentez hızındaki bu azalma, bitki büyüme potansiyelini sınırlayan ana faktörlerden biridir.

Ayrıca tuz stresi, kök yapısında belirgin değişiklikler meydana getirir. Tuzlu ortamda köklerin uzunluğu ve yoğunluğunun azalması, bitkinin su ve mineral alımını kısıtlar (Chaves ve ark., 2009). Bu durum, bitkilerin özellikle yarı kurak veya tuzlu su ile sulanan bölgelerde daha yoğun stres altında kalmasına neden olur. Kök yapısındaki bu bozulmalar, bitkinin yer altı ve yer üstü dengesini olumsuz etkileyerek genel sağlığı ve stres dayanıklılığını zayıflatır.

Biyokimyasal Etkiler

Tuz stresine maruz kalan bitkilerde, yüksek tuz konsantrasyonları hücre içi reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırarak oksidatif strese yol açmakta ve hücre düzeyinde ciddi hasarlara neden olmaktadır (Mittler, 2002). ROS, süperoksit (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikali (OH^-) gibi bileşenleri içerir ve bu türler hücre zarları, proteinler, lipidler ve DNA üzerinde zararlı etkiler yaratarak hücresel yapının bozulmasına yol açmaktadır (Gill ve Tuteja, 2010). Bitkiler, bu oksidatif stresin etkilerini azaltmak amacıyla süperoksit dismutaz, katalaz ve askorbat peroksidaz gibi çeşitli antioksidan enzimleri aktive etmektedir (Blumwald, 2000).

ROS birikimi, hücre zarlarındaki lipid peroksidasyonunu tetikleyerek zar akışkanlığı ve bütünlüğünde bozulmalara yol açar. Bu süreç, zar geçirgenliğini artırarak hücrenin su ve iyon dengesinin kaybına neden olur (Apel ve Hirt, 2004). Aynı zamanda hücre içindeki enzim ve proteinler oksidatif değişikliklere maruz

kalmakta; bu da metabolik yollar ve biyosentetik süreçlerin etkinliğini düşürmektedir (Mittler, 2002). Hücre zarındaki bu tür yapısal bozulmalar, hücrede ozmotik denge ve iyon geçirgenliği üzerinde kontrol kaybına neden olabilir ve sonuçta hücre ölümüne kadar varan sorunlar doğurabilir.

Tuz stresi koşullarında bitkiler, prolin, betain ve bazı şeker alkollerini gibi osmotik düzenleyiciler üretmektedir. Bu osmotik düzenleyiciler, ROS birikimini engellemenin yanı sıra hücre içi su dengesinin korunmasında temel bir rol oynamaktadır (Ashraf ve Foolad, 2007). Prolin gibi bileşikler, hücrelerin koruyucu mekanizmalarını destekleyerek stres koşullarına dayanıklılığı artırır. Bu moleküller, aynı zamanda antioksidan işlev göstererek hücre içi suyun korunmasına yardımcı olmakta ve hücresel yapının bütünlüğünü muhafaza etmektedir (Sairam ve Tyagi, 2004).

Ayrıca, tuz stresinin bitkilerde enerji metabolizması üzerinde de etkileri vardır ve bu durum solunum hızında değişimlere neden olmaktadır. Tuz stresine uyum sürecinde karbonhidratların oksidasyonu artarken, hücresel enerji gereksinimlerinin karşılanabilmesi amacıyla karbon kaynaklarının kullanımında artış gözlenmektedir (Parida ve Das, 2005). Enerji gereksinimindeki bu artış, bitkilerin gelişim süreçleri ve yeni doku oluşumu için gereken enerji kaynaklarının tuz stresine karşı savunma süreçlerinde harcanmasına yol açmakta ve bu durum, bitkilerin genel biyolojik verimliliğinde azalmaya neden olmaktadır.

CEVİZ BİTKİSİNİN TUZ TOLERANSINA KARŞI GELİŞTİRDİĞİ MEKANİZMALAR

Tuz stresi, bitki metabolizması üzerinde olumsuz etkiler oluşturarak biyolojik verimliliğin düşmesine neden olmaktadır. Ancak ceviz, yüksek tuzluluk koşullarında hayatta kalabilmek için bir dizi karmaşık fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyon mekanizması geliştirmiştir. Bu adaptasyonlar, hücresel seviyede su

ve iyon homeostazisini sağlama, oksidatif hasarın etkilerini hafifletme ve hücre zarının yapısal bütünlüğünü koruma gibi kritik savunma stratejilerini içermektedir.

Osmotik Düzenleyicilerin Sentezi ve Rolü

Tuzlu koşullarda bitkiler, su kaybını önlemek ve hücrel osmotik basıncı korumak amacıyla prolin, glisin betain ve çeşitli şeker alkollerini gibi osmotik düzenleyici bileşenleri sentezler. Bu moleküller yalnızca hücre içi su dengesini sağlamakla kalmaz; aynı zamanda hücrelerde biriken reaktif oksijen türlerini (ROS) nötralize ederek antioksidan işlev gösterir (Ashraf ve Foolad, 2007). Tuz stresine maruz kalan ceviz bitkisi, hücre içi su dengesini korumak ve dehidrasyonu önlemek amacıyla prolin ve betain gibi osmotik düzenleyicilerin birikimini artırmaktadır. Bu osmotik bileşikler, hücrelerde osmotik basıncı düzenleyerek bitkinin su kaybını sınırlandırmakta ve tuzlu koşullara adaptasyonunu desteklemektedir (Vahdati ve Lotfi, 2013; Karimi ve ark., 2018). Yapılan araştırmalar, kontrollü tuz stresinin ceviz bitkisinde osmotik düzenleme kapasitesini artırarak dayanıklılığını güçlendirdiğini ortaya koymuştur.

Prolin, bitki hücrelerinde birikerek osmotik denge sağlanmasında kritik rol oynayan bir amino asittir. Tuz stresine maruz kalan cevizde prolin birikiminin, hücre zarlarının korunması ve osmotik dengenin sağlanması açısından önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Araştırmalar, prolinin ceviz bitkisinde sitoprotektif bir işlev üstlenerek hücrel yapıların tuz stresine bağlı hasarlardan korunmasına katkıda bulunduğunu ortaya koymaktadır (Vahdati ve Lotfi, 2013). Özellikle ceviz anaçları ve çeşitleri üzerinde yapılan çalışmalarda, prolin ve diğer osmotik düzenleyicilerin birikiminin bitkinin tuz dayanıklılığını artırdığı ve bu sayede büyüme hızının sürdürülebilirliğini desteklediği rapor edilmiştir (Karimi ve ark., 2018). Bu bulgular, cevizin tuzlu koşullara adaptasyonunu

güçlendirerek verim kayıplarının azalmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir.

İyon Homeostazisi ve İyon Taşınımı

Tuz stresine maruz kalan ceviz, hücre içi Na^+ ve K^+ iyon dengesi sağlanarak iyon homeostazisinin korunması gerekliliği ile karşı karşıyadır. Bu denge, bitkinin temel metabolik süreçlerinin sürdürülebilmesi için kritik bir adaptasyon mekanizmasıdır. Na^+ ve K^+ iyonlarının homeostazisi, NHX (Na^+/H^+ antiporter) ve HKT (yüksek afinite taşıyıcı) gibi proteinlerin işleviyle düzenlenmektedir. NHX antiporterleri, Na^+ iyonlarını sitoplazmadan vakuole taşıyarak Na^+ iyonlarının vakuolde birikmesini ve böylece sitoplazmik toksisitenin önlenmesini sağlar (Apse ve Blumwald, 2007; Tester ve Davenport, 2003).

HKT taşıyıcı proteinleri ise Na^+ iyonlarının köklerde birikimini kısıtlayarak yapraklara taşınmasını azaltmakta ve Na^+ iyonlarının toksik seviyelere ulaşmasını önleyerek yaprak dokularını korumaktadır (Ren ve ark., 2005). Bu iyon taşıyıcıları, ceviz bitkisinin tuzlu toprak koşullarında iyon dengesini koruyarak büyüme ve gelişimini devam ettirebilmesine olanak tanır. K^+ iyonlarının sitoplazmada tutulması ise hücresel enzim aktivitelerini destekleyerek metabolik süreçlerin sürekliliğini sağlamaktadır (Zhu, 2003). Son dönem araştırmaları, cevizde iyon taşıyıcılarının tuz stresine karşı etkinliğini artırmak amacıyla genetik modifikasyon tekniklerinin umut vadeden bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Özellikle BADH gibi stresle ilişkili genlerin *Agrobacterium* aracılığıyla cevizde ekspresyonunun sağlanması, tuz ve kuraklık gibi abiyotik stres koşullarına karşı bitki dayanıklılığını artırmaktadır (Rezaei Qusheh Bolagh ve ark., 2021). Ayrıca, ceviz bitkisine kontrollü tuz stresi uygulanarak dayanıklılığı artırmaya yönelik çalışmalar, genetik müdahale ve osmotik düzenleme stratejilerinin etkinliğini ortaya koymaktadır (Karimi ve ark., 2018). Bu bulgular,

ceviz bitkisinde genetik modifikasyon teknikleri kullanılarak iyon homeostazisi ve su dengesinin korunması yoluyla tuz stresine karşı direncin artırılabilmesine dair önemli kanıtlar sunmaktadır.

Antioksidan Enzim Aktivitesinin Arttırılması

Tuz stresine maruz kalan ceviz bitkisi, hücrelerde biriken reaktif oksijen türlerini (ROS) nötralize etmek amacıyla süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) gibi antioksidan enzimlerin üretimini artırmaktadır. Bu enzimlerin artan aktivitesi, bitkinin oksidatif stresle başa çıkmasına yardımcı olarak hücresel yapıların korunmasına katkıda bulunmaktadır. Ceviz bitkisinde SOD, CAT ve POD aktivitelerindeki artışın, bitkinin tuz stresine karşı dayanıklılığını güçlendirdiği yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Tang ve ark., 2024; Mateş ve ark., 2024; Ji ve ark., 2022). ROS birikimi, hücre zarları, proteinler ve DNA gibi kritik hücresel bileşenlerde hasar oluşturarak hücre ölümüne yol açabilmektedir (Gill ve Tuteja, 2010). SOD enzimi, süperoksit radikallerini daha az zararlı olan hidrojen perokside dönüştürürken, CAT ve POD enzimleri bu hidrojen peroksidi su ve oksijene çevirerek hücresel hasarı en aza indirir (Gill ve Tuteja, 2010).

Yapılan araştırmalar, bu enzimlerin aktivitesindeki artışın ceviz bitkisinin oksidatif strese karşı dayanıklılığını güçlendirdiğini ve böylece tuzlu koşullarda dahi büyüme ve gelişim süreçlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağladığını göstermektedir (Tang ve ark., 2024; Ji ve ark., 2022; Sadat-Hosseini ve Vahdati, 2023). Antioksidan enzim aktivitelerindeki bu artış, ceviz bitkisini tuz stresinin zararlı etkilerine karşı koruyarak uzun vadede sağlıklı gelişimini desteklemektedir.

Hücre Zar Yapısının Korunması ve Yağ Asitleri

Tuz stresine maruz kalan ceviz bitkisinin önemli bir savunma mekanizması, hücre zarlarının yapısal bütünlüğünü koruma yeteneğidir. Hücre zarı, su ve iyon dengesinin devamlılığı için kritik

bir rol üstlenmekte olup, tuz stresine karşı bir koruyucu bariyer işlevi görmektedir. Tuzlu koşullar altında hücre zarlarının geçirgenliğinin artması, iyon akışının kontrolünü zorlaştırmakta ve zarın yapısal bütünlüğünü tehdit etmektedir (Borsani ve ark., 2001). Zar akışkanlığı ve esnekliğindeki bu artış, Na^+ ve Cl^- iyonlarının hücre içine girişini sınırlandırarak bitkinin su dengesini korumasına destek sağlar (Borsani ve ark., 2001).

Ayrıca, hücre zarındaki yağ asidi bileşiminin düzenlenmesi, ceviz bitkisinin ozmotik ve iyonik streslere karşı direncini artırmaktadır. Çeşitli çalışmalar, hücre zarında doymamış yağ asitlerinin oranının artırılmasının, ceviz bitkisinin tuz stresine adaptasyon kapasitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini ortaya koymuştur (Parida ve Das, 2005). Bu mekanizma sayesinde ceviz bitkisi, hücresel yapı ve işlevlerini koruyarak yüksek tuzluluk koşullarında dahi sağlıklı büyüme ve gelişimini sürdürebilmektedir.

GENETİK ADAPTASYONLAR VE GEN İFADESİ DEĞİŞİKLİKLERİ

Ceviz, tuz stresine karşı dayanıklılık geliştirebilmek amacıyla çeşitli genetik adaptasyon mekanizmaları oluşturmuştur. Bu adaptasyonlar, iyon homeostazisi ve osmotik dengenin korunmasını sağlamak üzere belirli genlerin ekspresyonunun düzenlenmesi ile gerçekleşmektedir. Tuz stresine dayanıklılıkta NHX (Na^+/H^+ antiporter) ve HKT (yüksek afinite taşıyıcı) genleri özellikle kritik bir rol üstlenmektedir. Bu genler, bitkinin tuzlu ortam koşullarında iyon birikimini sınırlamasına, su dengesini muhafaza etmesine ve oksidatif hasarı azaltmasına olanak tanıyarak tuz stresine karşı direnç seviyesini artırmaktadır.

NHX Gen Ailesi: Na^+/H^+ Antiporterlerin Rolü

NHX gen ailesi, hücre içi Na^+ ve H^+ iyonlarının taşınımını düzenleyen antiporter proteinleri kodlamaktadır. Bu proteinler, sitoplazmadan Na^+ iyonlarını alarak vakuole taşır ve böylece hücre

içi Na^+ iyon birikimini sınırlar. Bu mekanizma, hücresel iyon homeostazisini koruyarak toksik Na^+ birikiminin önlenmesine katkıda bulunur (Apse ve Blumwald, 2007). Tuz stresine maruz kalan cevizde, NHX genlerinin ekspresyon seviyelerinde belirgin bir artış gözlenmiştir. NHX antiporterlerinin aktive olması, Na^+ iyonlarının vakuolde depolanmasını sağlamakta; bu sayede Na^+ iyonlarının zararlı etkileri en aza indirilerek hücresel fonksiyonların korunmasına destek olmaktadır (Ren ve ark., 2005).

NHX gen ailesi sadece cevizde değil, birçok tuz toleransına sahip bitki türünde benzer işlevler üstlenmektedir. Örneğin, domates (*Solanum lycopersicum*) ve pirinç (*Oryza sativa*) bitkilerinde de NHX genlerinin tuz stresine yanıt olarak up-regülasyon gösterdiği, Na^+ iyonlarını hücre zarından vakuol içerisine taşımada etkin bir rol oynadığı tespit edilmiştir (Zhu, 2003). Bu durum, NHX genlerinin tarımsal biyoteknolojide genetik mühendislik uygulamaları ile bitkilerde tuz dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. NHX antiporterleri, Na^+/H^+ dengesini sağlarken aynı zamanda hücre içi pH dengesinin korunmasına katkıda bulunarak metabolik işlevlerin devamlılığını sağlamaktadır (Yamaguchi ve Blumwald, 2005).

HKT Gen Ailesi: Na^+ Taşınımının Düzenlenmesi

HKT gen ailesi, köklerde Na^+ taşınımını sınırlandıran taşıyıcı proteinleri kodlamaktadır. HKT proteinleri, köklerde Na^+ iyonlarının alımını azaltarak bu iyonların yapraklara taşınmasını engeller. Bu mekanizma, bitkinin köklerde Na^+ birikimini kontrol etmesine olanak tanıırken yapraklardaki Na^+ konsantrasyonunun toksik seviyelere ulaşmasını önler (Ren ve ark., 2005). HKT genleri, Na^+ iyonlarının sitoplazmada düşük seviyelerde tutulmasını sağlayarak iyon homeostazisini desteklemekte; bu özellik ise ceviz gibi uzun ömürlü ve tuz stresine dayanıklılık geliştirmek zorunda olan bitkiler için kritik önem taşımaktadır.

HKT gen ailesinin rolü, ceviz dışında buğday (*Triticum aestivum*) ve pirinç (*Oryza sativa*) gibi diğer tarımsal bitkilerde de kapsamlı bir araştırma alanı olmuştur. Bu bitkilerde HKT genlerinin over-ekspresyonu, köklerden Na⁺ taşınımını sınırlayarak tuz stresine dayanıklılığı artırmakta ve bitkilerin tuzlu koşullarda verimliliklerini korumasında etkili olmaktadır (Horie ve ark., 2009). HKT genlerinin ekspresyonunu düzenleyen transkripsiyon faktörlerinin belirlenmesi, bitki ıslahında kritik bir adım olarak görülmekte olup, bu genler bitkilerin tuzlu toprak koşullarına uyum sağlama kapasitesini geliştirecek şekilde genetik modifikasyon yoluyla optimize edilebilir.

Transkripsiyon Faktörleri ve Tuz Stresine Genetik Yanıt

NHX ve HKT genlerinin ekspresyonu, çeşitli transkripsiyon faktörleri tarafından düzenlenmektedir. Örneğin, DREB (Dehydration Responsive Element Binding) ve NAC (NAM, ATAF, ve CUC) transkripsiyon faktörleri, bitkilerin tuz stresine yanıtlarını modüle eden genetik düzenleyiciler olarak işlev görmektedir (Fujita ve ark., 2006). Ceviz bitkisi tuz stresine maruz kaldığında, bu transkripsiyon faktörlerinin ekspresyon seviyelerinde artış gözlenmekte ve bunun sonucunda NHX ve HKT genleri daha yüksek aktivite göstermektedir. Bu durum, ceviz bitkisinin genetik yapısının tuz stresine adaptasyon sağlamak üzere yeniden yapılandığını ve dayanıklılığının arttığını göstermektedir.

DREB ve NAC transkripsiyon faktörleri, ceviz bitkisi dışında soya fasulyesi (*Glycine max*) ve arpa (*Hordeum vulgare*) gibi diğer tarımsal bitkilerde de tuz stresine karşı savunma mekanizmalarını desteklemektedir. Bu transkripsiyon faktörleri, NHX ve HKT gibi iyon taşıyıcı genlerin yanı sıra antioksidan enzimleri kodlayan genlerin ekspresyonunu artırarak bitkilerin stres koşullarında hayatta kalmasına katkıda bulunmaktadır (Datta, 2013). Ayrıca, bu faktörler bitkilerin osmotik dengesini düzenleyen

genlerin ekspresyonunu artırarak hücrel yapıların korunmasını sağlamaktadır.

Genom Düzenlemeleri ve Genetik Mühendislik Yöntemleri

Son yıllarda genetik mühendislik ve genom düzenleme teknikleri, ekonomik değeri yüksek türlerden biri olan cevizde tuz stresine karşı dayanıklılığı artırma potansiyeli sunmaktadır. CRISPR/Cas9 gibi gen düzenleme teknolojileri, NHX ve HKT gibi tuz stresine duyarlı genlerin ekspresyonunu düzenleyerek bitkinin tuzlu koşullara adaptasyonunu kolaylaştırabilir (Bortesi ve Fischer, 2015). Bu genetik müdahaleler, ceviz bitkisinde daha yüksek Na⁺ toleransı ve iyon homeostazisi sağlayarak bitkinin büyüme performansını desteklemektedir.

NHX ve HKT genlerinin gen düzenleme teknolojileri kullanılarak optimize edilmesi, ceviz bitkisinin tuzlu koşullarda daha iyi bir performans göstermesini mümkün kılabilir. Tarımsal üretim için geliştirilen tuza dayanıklı ceviz çeşitlerinin elde edilmesi, bu genlerin kontrollü ekspresyonu ile sağlanabilir. CRISPR/Cas9 teknolojisi aracılığıyla NHX ve HKT genlerinin ekspresyon seviyelerinde hassas düzenlemeler yapılarak bitkilerin su dengesini koruması, Na⁺ birikiminin sınırlandırılması ve iyon homeostazisinin sağlanması hedeflenmektedir (Yamaguchi ve Blumwald, 2005).

TARIMSAL UYGULAMALAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı geliştirdiği biyokimyasal, fizyolojik ve genetik savunma mekanizmalarının anlaşılmasına yönelik kapsamlı bir temel sunmaktadır. Yüksek besin değeri ve ekonomik önemi nedeniyle ceviz, dünya genelinde geniş ölçekte yetiştirilen önemli bir tarımsal ürün olup, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerdeki tuzlu topraklarda yetiştirilmesinde çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Ceviz bitkisinde tuz stresine dayanıklılığın artırılması, tarımsal üretimde sürdürülebilir verimliliğin sağlanması açısından kritik bir hedeftir. Bu bağlamda,

NHX ve HKT gibi tuz toleransını düzenleyen genlerin genetik düzenleme teknikleri ile modifiye edilmesi, ceviz bitkisinin tuzlu toprak koşullarında başarıyla yetiştirilmesini destekleyebilir (Munns ve Tester, 2008).

Genetik Mühendislik ve Tuz Toleransının Artırılması

NHX ve HKT genlerinin genetik mühendislik teknikleriyle modifikasyonu ile cevizin tuz stresine dayanıklılığını artırma potansiyeline sahiptir. NHX gen ailesinin, Na^+ iyonlarını vakuollerde depolayarak sitoplazmada birikimlerini önlemesi, HKT genlerinin ise köklerde Na^+ birikimini sınırlandırarak yaprak dokularına taşınımını engellemesi, bitkide genel iyon homeostazisinin korunmasına olanak tanımaktadır (Yamaguchi ve Blumwald, 2005). Genetik mühendislik teknikleri kullanılarak NHX ve HKT genlerinin ekspresyon seviyelerinde yapılacak düzenlemelerle, ceviz bitkisinin tuzlu koşullarda dayanıklılığının artırılması mümkündür. Bu düzenlemeler, ceviz bitkisinin tarımsal verimliliği yüksek çeşitlerinin geliştirilmesinde temel bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

Gelecekte, CRISPR/Cas9 gibi ileri düzey gen düzenleme teknolojilerinin NHX ve HKT genleri üzerinde yapılacak modifikasyonlarda kullanılması, bu genlerin kontrollü ekspresyonuna olanak sağlayacaktır. Bu teknoloji, genlerin yalnızca belirli stres koşullarında aktif hale gelmesi veya bitkinin tuz stresine maruz kaldığı durumlarda ekspresyon düzeylerinin hassas şekilde ayarlanması gibi gelişmiş genetik düzenlemelerin gerçekleştirilmesini mümkün kılar (Bortesi ve Fischer, 2015). Örneğin, ceviz bitkisinin köklerinde HKT genlerinin yüksek düzeyde ekspresyonunun sağlanması, Na^+ iyonlarının yapraklara taşınmasını sınırlandırarak bitkinin üst kısımlarını toksik iyon birikiminden korur. Bu strateji, özellikle kurak bölgelerde tuzlu

suyla yapılan sulama uygulamalarında ceviz bitkisinin büyüme ve verimliliğinin sürdürülmesi açısından kritik bir yaklaşım olabilir.

Geleneksel ve Modern Islah Yöntemlerinin Birleştirilmesi

Ceviz bitkisinde tuz stresine dayanıklı genotiplerin geliştirilmesinde, geleneksel bitki ıslahı yöntemleri ile modern biyoteknolojik yaklaşımların birleştirilmesi, tarımsal üretimde önemli bir avantaj sunabilir. Geleneksel seleksiyon yöntemleri, doğal olarak tuz stresine dayanıklılık gösteren ceviz çeşitlerinin seçilmesinde etkili bir araç olarak kullanılabilir. Buna ek olarak, genetik mühendislik ve markör destekli seleksiyon (MAS) gibi modern tekniklerin kullanımı, NHX ve HKT gibi tuza dayanıklı genlerin seçilme sürecini hızlandırabilir (Collard ve Mackill, 2008). Geleneksel ve modern yöntemlerin entegrasyonu, daha kısa sürede daha dayanıklı ceviz türlerinin geliştirilmesine imkân tanımaktadır.

Özellikle markör destekli seleksiyon, ceviz gibi uzun ömürlü türlerde tuz stresine dayanıklı bireylerin hızlı bir şekilde tanımlanmasına olanak sağlar. Tuz stresine dayanıklı aday genotiplerin MAS kullanılarak hızlıca tespit edilmesi, yetiştirme sürecini hızlandırarak üretim maliyetlerini düşürebilir ve tuz stresine dayanıklı ceviz çeşitlerinin geliştirilmesini destekleyebilir. Geleneksel seleksiyon ve biyoteknolojik yöntemlerin entegrasyonu, ceviz bitkisinin genetik çeşitliliğini koruyarak tuz toleransını artırmayı hedeflemektedir.

Gelecek Çalışmalar ve Araştırma Alanları

Ceviz bitkisinin tuz stresine dayanıklılığına yönelik gelecekteki çalışmalar, çeşitli araştırma alanlarında daha derinlemesine incelemeler gerektirmektedir. Öncelikle, cevizde tuza duyarlı ve dayanıklı gen bölgelerinin ayrıntılı olarak haritalandırılması, tuz stresine dayanıklılığın genetik temellerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Genomik analizler, özellikle NHX, HKT, DREB ve NAC gibi genlerin düzenleme

mekanizmalarını anlamak için temel bir araştırma alanı sunmakta ve bu genlerin fonksiyonlarının daha iyi çözümlenmesine olanak tanımaktadır (Datta, 2013). Ayrıca, farklı çevresel koşullarda bu genlerin ekspresyon profillerinin detaylandırılması, bitkilerin stres yanıtlarını optimize etme konusunda önemli bilgiler sağlayabilir.

İkinci olarak, ceviz bitkisinin tuz stresine adaptasyonunda epigenetik modifikasyonların rolü daha ayrıntılı olarak araştırılmalıdır. Epigenetik düzenlemeler, belirli genlerin ekspresyon seviyelerini değiştirerek bitkilerin çevresel streslere uyum sağlamasında kritik bir etkiye sahiptir (Chinnusamy et al., 2008). Epigenetik faktörlerin tuz stresine dayanıklılıktaki etkilerinin anlaşılması, ceviz bitkisinde daha dirençli genotiplerin geliştirilmesi için yeni yaklaşımlar sunabilir.

Son olarak, NHX ve HKT gibi anahtar genlerin yanı sıra, bitkilerin iyon homeostazını ve oksidatif stresi yönetmede rol oynayan diğer destekleyici genlerin (örneğin, antioksidan enzimleri kodlayan genlerin) fonksiyonel analizleri gerçekleştirilmelidir. Bu analizler, ceviz gibi önemli tarımsal bitkilerde genetik müdahalelerin en etkili noktalarının belirlenmesi için hayati bilgiler sunacaktır. Gen düzenleme teknolojileri ile yapılacak araştırmalar, gelecekte ceviz bitkisinin yalnızca tuza değil, aynı zamanda kuraklık gibi diğer çevresel stres faktörlerine karşı da daha dayanıklı hale getirilmesi potansiyelini taşımaktadır.

SONUÇ

Cevizin, tuz stresine karşı geliştirdiği adaptasyon mekanizmaları, tuzlu toprak koşullarında büyüme ve tarımsal verimliliğin sürdürülebilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Küresel tarım ekonomisinde yüksek besin değeri ve ekonomik getirisi nedeniyle geniş ölçekte yetiştirilen ceviz bitkisi, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde artan toprak tuzluluğu nedeniyle çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu bağlamda, ceviz bitkisinin

tuz stresine karşı sergilediği fizyolojik, biyokimyasal ve genetik adaptasyonların anlaşılması, daha dayanıklı ve yüksek verimli ceviz çeşitlerinin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmada ele alınan antioksidan savunma mekanizmaları, iyon homeostazisi ve osmotik düzenleyicilerin sentezi gibi adaptif stratejiler, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı hayatta kalmasını destekleyen temel mekanizmalardır. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimiyle oksidatif stres oluşmakta; ROS, hücresel yapılara zarar verebilen güçlü oksidatif bileşikler olarak bitkinin büyüme ve gelişimini olumsuz etkilemektedir. Ceviz bitkisi, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini artırarak oksidatif hasarı sınırlamakta, bu enzimlerin aktivitesindeki artış ROS birikimini nötralize ederek hücre zarı, proteinler ve DNA gibi kritik hücresel bileşenlerin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Bu süreç, ceviz bitkisinin tuzlu ortamlarda dahi sağlıklı büyüme yeteneğini sürdürebilmesi için kritik bir önem taşımaktadır.

Tuz stresine karşı bir diğer adaptasyon mekanizması ise iyon homeostazisinin korunmasıdır. Tuzlu topraklarda bitki kökleri, Na^+ ve Cl^- iyonlarının aşırı alımına maruz kalmakta; bu durum hücre içinde iyon dengesizliği ve iyon toksisitesi sorunlarına yol açmaktadır. NHX ve HKT gibi iyon taşıyıcı genler, bu dengesizliği düzenleyerek ceviz bitkisinin iyon homeostazisini sağlamasına yardımcı olmaktadır. NHX antiporterleri, Na^+ iyonlarını vakuoller içine yönlendirerek sitoplazmada Na^+ birikimini sınırlar ve toksik etkiyi önler. HKT taşıyıcıları ise köklerde Na^+ birikimini kontrol ederek bu iyonların yapraklara taşınmasını sınırlandırır ve bitkinin yukarı bölümlerini toksik iyon birikiminden korur. Bu iyon homeostazisi mekanizması, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı dayanıklılığını artıran temel bir adaptasyon stratejisi olarak öne çıkmaktadır.

Osmotik düzenleyicilerin sentezi ise ceviz bitkisinin tuzlu koşullarda hücrel su dengesini koruma yeteneğine katkıda bulunur. Prolin, betain ve çeşitli şeker alkollerini gibi osmotik düzenleyiciler, hücre içindeki ozmotik basıncı dengeleyerek su kaybını önler. Bu bileşikler, yalnızca hücre içinde su tutulmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda hücrel yapıları koruyarak ROS birikimini nötralize edip oksidatif stresi azaltmaktadır. Ceviz bitkisinde prolin birikiminin tuz stresine yanıt olarak arttığı gözlemlenmiş olup, bu durum bitkinin tuz stresine adaptasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu adaptasyonlar, ceviz bitkisinin tuzlu koşullarda büyümeye devam edebilmesine olanak tanır.

Ceviz bitkisinin tuz stresine dayanıklılık kazanmasında genetik faktörlerin rolü de önemli ölçüde büyüktür. NHX ve HKT gibi iyon taşıyıcı proteinleri kodlayan genlerin yanı sıra, DREB ve NAC gibi transkripsiyon faktörleri de ceviz bitkisinin tuz stresine yanıtında temel bir etkiye sahiptir. Bu transkripsiyon faktörleri, tuz stresine yanıt olarak NHX ve HKT genlerinin ekspresyonunu düzenleyerek bitkide iyon homeostazisi ve osmotik dengeyi sağlar. Bu çalışma, ceviz bitkisinde tuz stresine dayanıklılığı artırmaya yönelik genetik iyileştirme çalışmalarına sağlam bir temel oluşturmaktadır. Genetik mühendislik teknikleri kullanılarak NHX ve HKT genlerinin ekspresyon seviyelerinin optimize edilmesi, ceviz bitkisinin tarımsal üretim potansiyelini sürdürülebilir kılmak adına önemli bir stratejik adım olabilir.

Gelecekteki araştırmalarda, NHX ve HKT gibi iyon taşıyıcıların yanı sıra ceviz bitkisinin tuz stresine karşı direnç göstermesinde rol oynayan diğer genlerin de detaylı olarak incelenmesi önerilmektedir. Genom düzenleme teknolojilerinin bu genlerin kontrollü ekspresyonunu sağlamak amacıyla kullanımı, ceviz bitkisinin sadece tuza değil, aynı zamanda kuraklık gibi diğer çevresel stres faktörlerine karşı da dayanıklılığını artırma potansiyeline sahiptir. CRISPR/Cas9 gibi ileri düzey genetik

araçlarla yapılacak modifikasyonlar, bitkinin çevresel stres faktörlerine adaptasyon kapasitesini güçlendirebilir.

Sonuç olarak, ceviz bitkisinin tuz stresine karşı geliştirdiği adaptasyon mekanizmaları, sağlıklı büyüme ve yüksek verimlilik sürdürülebilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Antioksidan savunma mekanizmalarının aktivasyonu, iyon homeostazisinin sağlanması ve osmotik düzenleyicilerin sentezi gibi süreçler, ceviz bitkisinin tuz stresine adaptasyonunda temel rol oynar. Bu çalışma, tarımsal üretimde tuza dayanıklı ceviz çeşitlerinin geliştirilmesine katkı sağlayarak özellikle tuzlu toprakların yoğun olduğu bölgelerde ekonomik değerin artırılmasını hedeflemektedir. Ceviz bitkisinin tuz stresine karşı dayanıklılığını artırmaya yönelik ileri araştırmalar, tarımsal sürdürülebilirliği güçlendirecek ve tuzlu toprakların tarıma kazandırılması için yeni stratejiler sunacaktır.

Kaynakça

- Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373-399. doi:10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701
- Apse, M. P., & Blumwald, E. (2007). Na⁺ transport in plants. *FEBS Letters*, 581(12), 2247-2254. doi:10.1016/j.febslet.2007.03.038
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216. doi:10.1016/j.envexpbot.2005.12.006
- Blumwald, E. (2000). Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current Opinion in Cell Biology*, 12(4), 431-434. doi:10.1016/S0955-0674(00)00112-5
- Borsani, O., Valpuesta, V., & Botella, M. A. (2001). Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Physiology*, 126(3), 1024-1030. doi:10.1104/pp.126.3.1024
- Bortesi, L., & Fischer, R. (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology Advances*, 33(1), 41-52. doi:10.1016/j.biotechadv.2014.12.006
- Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551-560. doi:10.1093/aob/mcn125
- Chinnusamy, V., Gong, Z., & Zhu, J. K. (2008). Absciscic acid-mediated epigenetic processes in plant development and stress responses. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1187-1195. doi:10.1111/j.1744-7909.2008.00731.x
- Collard, B. C. Y., & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 557-572. doi:10.1098/rstb.2007.2170
- Datta, A. (2013). Genetic engineering for improving quality and productivity of crops. *Agriculture & Food Security*, 2, 1-3.

- FAO (2017). Global assessment of salt-affected soils. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Erişim adresi: <http://www.fao.org>
- Flowers, T. J., & Colmer, T. D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*, 179(4), 945-963. doi:10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x
- Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2006). Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the point of convergence in the stress signaling networks. *Current Opinion in Plant Biology*, 9(4), 436-442. doi:10.1016/j.pbi.2006.05.014
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930. doi:10.1016/j.plaphy.2010.08.016
- Horie, T., Hauser, F., & Schroeder, J. I. (2009). HKT transporter-mediated salinity resistance mechanisms in Arabidopsis and monocot crop plants. *Trends in Plant Science*, 14(12), 660-668. doi:10.1016/j.tplants.2009.08.009
- Karimi, S., Karami, H., Mokhtassi-Bidgoli, A., Tavallali, V., & Vahdati, K. (2018). Inducing drought tolerance in greenhouse grown *Juglans regia* by imposing controlled salt stress: The role of osmotic adjustment. *Scientia horticulturae*, 239, 181-192.
- Kishor, P. B., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, S. R., ... & Sreenivasulu, N. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*, 88(3), 424-438.
- Martínez, M. L., Labuckas, D. O., Lamarque, A. L., & Maestri, D. M. (2010). Walnut (*Juglans regia* L.): Genetic resources, chemistry, by-products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(12), 1959-1967. doi:10.1002/jsfa.4059
- Mateş, L., Banc, R., Zaharie, F. A., Rusu, M. E., Popa, D. S. (2024). Mechanistic Insights into the Biological Effects and Antioxidant Activity of Walnut (*Juglans regia* L.) Ellagitannins: A Systematic Review. *Antioxidants*.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410. doi:10.1016/S1360-1385(02)02312-9

- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239-250. doi:10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681. doi:10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- Ji, X., Tang, J., & Zhang, J. (2022). Effects of Salt Stress on the Morphology, Growth and Physiological Parameters of *Juglans microcarpa* L. Seedlings. *Plants*.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349. doi:10.1016/j.ecoenv.2004.06.010
- Ren, Z. H., Gao, J. P., Li, L. G., Cai, X. L., Huang, W., Chao, D. Y., ... & Wu, P. (2005). A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter. *Nature Genetics*, 37(10), 1141-1146. doi:10.1038/ng1643
- Rezaei Qusheh Bolagh, F., Solouki, A., Tohidfar, M., Zare Mehrjerdi, M., Izadi-Darbandi, A., & Vahdati, K. (2021). Agrobacterium-mediated transformation of Persian walnut using BADH gene for salt and drought tolerance. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(2), 162-171.
- Sadat-Hosseini, M., & Vahdati, K. (2023). Mitigation of the Adverse Effects of Salinity Stress on Walnut (*Juglans regia* L.) by Ascorbic Acid under In Vitro Conditions. *Russian Journal of Plant Physiology*.
- Sairam, R. K., & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, 86(3), 407-421.
- Tang, J., Ji, X., Li, A., Zheng, X., Zhang, Y., & Zhang, J. (2024). Effect of Persistent Salt Stress on the Physiology and Anatomy of Hybrid Walnut (*Juglans major* × *Juglans regia*) Seedlings. *Plants*.
- Tester, M., & Davenport, R. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91(5), 503-527. doi:10.1093/aob/mcg058
- Vahdati, K., & Lotfi, N. (2013). Abiotic stress tolerance in plants with emphasizing on drought and salinity stresses in walnut. *Abiotic stress-Plant responses and applications in agriculture*, 10, 307-365.

- Yamaguchi, T., & Blumwald, E. (2005). Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in Plant Science*, 10(12), 615-620. doi:10.1016/j.tplants.2005.10.002
- Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 6(2), 66-71. doi:10.1016/S1360-1385(00)01838-0
- Zhu, J. K. (2003). Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(5), 441-445. doi:10.1016/S1369-5266(03)00085-2

