
ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ DEĞERLENDİRMELERİ

Editör: Doç.Dr. Bekir ATAR

yaz
yayınları

Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Değerlendirmeleri

Editör

Doç.Dr. Bekir ATAR

yaz
yayınları

2025

**Ziraat, Orman ve Su Ürünleri
Değerlendirmeleri**

Editör: Doç.Dr. Bekir ATAR

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayımlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8508-56-7

Ekim 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Domates Bitkisinde Rhizoctonia Solani ve Alternatif Kontrol Yöntemleri.....	1
<i>Hande Nur SÜRÜCÜ, Çiğdem YAMANER</i>	
Artan Kuraklık Koşullarında Sulama ve Yönetimi.....	21
<i>Caner YERLİ</i>	
Kapalı Drenaj Sistemleriyle Sürdürülebilir Topraksız Tarım: Türkiye'nin Su Yönetimi ve Tarımsal Geleceği	39
<i>Eser ÇELİKTOPUZ, Mustapha Yakubu DAUDA</i>	
From Waste to Resource: Lignin's Role in the Circular Bioeconomy in Forest Products Industry.....	60
<i>Merve CAMBAZOĞLU, A. Berkay ŞAHİN</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

DOMATES BİTKİSİNDE *Rhizoctonia solani* ve ALTERNATİF KONTROL YÖNTEMLERİ

Hande Nur SÜRÜCÜ¹

Çiğdem YAMANER²

1. GİRİŞ

Domates (*Solanum lycopersicum* L.), dünyada ve ülkemizde, üretimi ve tüketimi en çok yapılan bitkiler arasında yer almaktadır (Belgüzar vd., 2016). *Solanaceae* familyasına ait olan domates, sıcak iklim bitkisidir. İşlenmiş ve taze bir şekilde tüketimi yapılabilir. İçerdiği vitaminler ve mineraller açısından hastalıklara karşı koruyucu ve oldukça besleyicidir (Nasir vd., 2015). Ayrıca domates meyvesinde A, B1, B6, C vitaminlerine ek olarak yüksek oranda likopen bulunmaktadır. Likopenin farklı kanser türlerini önlediği, bağışıklığı güçlendirdiği ve beyin hücrelerini yaşlanmaya karşı koruduğu belirtilmiştir (Anonim, 2011). Domates bu faydalı özellikleri bakımından en çok tüketilen sebzedir. En çok tüketilen sebze olduğu için de çiftçilerimizin en önemli gelir kaynaklarından birisidir. Ancak pek çok bitkide olduğu gibi domates bitkisini de etkileyen oldukça önemli bakteriyel, fungal ve viral hastalıklar vardır. Bu hastalık etmenleri domates bitkilerine bulaştığında oldukça fazla verim kayıplarına neden olabilirler.

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Aydın, TÜRKİYE, handesurucu90@gmail.com, ORCID: 0009-0006-2338-2373.

² Doç. Dr., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Aydın/TÜRKİYE, cigdem.yamaner@adu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5140-2059.

Domates, ülkemizde ve dünyada hem tüketim hem de ihracat yönünden önemini koruyan bir bitki olmasına rağmen üretimini sınırlandıran birçok fungal etmenin neden olduğu hastalıklar mevcuttur. Bu fungal hastalıklardan birkaç tanesine kısaca örnek verecek olursak; *Fusarium oxysporum* dünya genelinde hem serada hem de tarlada domatesler için en önemli tehditlerden biridir ve %10-80 arasında verim kaybına yol açmaktadır (Bawa, 2016 ve Singh, Singh, & Kumar, 2017). Bir başka patojen fungus ise *Pseudopyrenochaeta lycopersici*, soğuk iklimlerde (Kuzey Avrupa gibi) kök çürümmesine neden olabilmektedir ve domateslerde %75'e kadar verim kaybına yol açabilmektedir (Giotis vd., 2009). *Alternaria* türleri de domates bitkisinde patojen bir fungus olup, bitkinin yaprak, gövde, çiçek ve meyvelerini etkilemektedir. Ayrıca *Alternaria* domates yetiştiriciliğinde %80'e varan ürün kayıplarına yol açabilmektedir (Nowicki vd., 2012). Domates bitkisinde bir diğer patojen fungus ise *Rhizoctonia solani*'dir (*R. solani*).

Bu derlemede *R. solani*'nin biyolojik ve taksonomik özellikleri, epidemiyolojisi ve hastalığın coğrafi yayılımı, domates bitkisinde yol açtığı hastalıklar ve tarımsal açıdan önemi, ayrıca oluşturduğu hastalıklara karşı mücadele yöntemleri ve güncel çalışmalar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

2. *Rhizoctonia solani*'nin BİYOLOJİSİ VE TAKSONOMİSİ

R. solani taksonomisi şu şekildedir:

Domain (Üst Âlem): *Eukarya*

Regnum (Âlem): *Fungi*

Phylum (Şube): *Basidiomycota*

Classis (Sınıf): *Agaricomycetes*

Ordo (Takım): *Cantharellales*

Familia (Familya): *Ceratobasidiaceae*

Genus (Cins): *Rhizoctonia* (Ajayi ve Oyetunde, 2018).

R. solani hem kültüre alınmış hem de alınmamış topraklarda yaşayıp gelişebilen toprak kökenli patojen fungus türüdür (Coa vd., 2004). Konidi oluşturmayan, miselyal bir yapı olarak tanımlanmıştır ve mikroskop görüntüsünde hif dallanmaları 90° açı ile gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Aydın, 2022). Toprakta zorlu iklim koşullarına dayanıklı sklerotium formunda bulunur (Huang vd., 2011). *R. solani*, sıcak ve nemli ortam koşullarında yayılabilir ve birçok ekonomik değeri olan bitkileri (sera, tarla, süs bitkileri) enfekte edebilir (Healthy Hydroponics, 2022). *R. solani* 14 farklı anastomoz grubundan (AG) oluşur. Her AG, belirli bitki türlerinde virülans düzeyleri farklılık gösterdiğinden oldukça geniş konukçu aralığına sahiptir (Ajayi ve Oyetunde, 2018; Healthy Hydroponics, 2022).

3. *Rhizoctonia solani*'nin DOMATESTE NEDEN OLDUĞU HASTALIKLAR VE BELİRTİLERİ

R. solani domates bitkisinde kök ve kök boğazı çürüklüğü ile çökerten hastalıklarına neden olabilmektedir (Moussa, 2002; Abdelrhim vd., 2023). *R. solani*'nin 14 farklı anastomoz grubundan biri olan AG-3 grubu seralarda yüksek sıcaklık ve nem koşullarında domateste en yaygın patojen grup olarak bildirilmiştir (Ogoshi, 1987; Anderson, 1982). Bazı araştırmalarda ise AG-4 grubunun da domates köklerinde hastalık etmeni (kök çürüklüğü) olarak bulunabileceği belirtilmiştir (Zarandi, 2021). Van Gölü havzasında yetiştirilen Alsancak ve Toprak çeşidi domates bitkilerinden izole edilen tüm *Rhizoctonia solani* Kühn izolatlarının anastomosis gruplarının AG-4 olduğu

saptanmıştır. Patojenite testinde izolatların domates bitkilerinde farklı derecelerde hastalık oluşturdıkları belirlenmiştir (Demirer Durak ve Ok, 2019). Bu hastalık belirtileri arasında fide kökünün veya kök boğazının kahverengiye dönmesi, gövdenin renginin değişmesi, bitkinin solması ve ani ölümü yer alır (Akantarım, 2025). Ayrıca domateste çökerten hastalığına neden olan diğer etmenler ise *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp. ve *Pythium* spp.'dir (Walker, 1952; Karahan, 1965; Stephens vd., 1982).

4. *Rhizoctonia solani*'nin EPİDEMİYOLOJİSİ VE COĞRAFİ HASTALIK YAYILIMI

R. solani toprak kökenli patojen bir fungustur ve hastalığın yayılması için çevresel ve kültürel şartlar çok kritik bir rol oynamaktadır. Çevresel olarak hem sıcaklığın 12-32°C'de olması, hem de ortam neminin yüksek olması hastalığın gelişmesini ve yayılımını arttırmaktadır (Healthy Hydroponics, 2022). Kültürel olarak ise ekim şekli (sık ekim), yüksek toprak nemi ve uygun olmayan sulama şekli hastalık yayılımını arttırmaktadır (Sturrock, 2015; Muriungi vd., 2014). Dünya genelinde *R. solani*'nin neden olduğu hastalıklar özellikle tropikal, subtropikal ve ılıman iklimlerde yaygın olup, bu bağlamda çoğunlukla hastalığın gözlemlendiği ülkeler arasında Çin, Meksika, ABD, Brezilya, Endonezya, Pakistan ve Hindistan yer almaktadır (Akber vd., 2023). Türkiye'de ise Ege, Akdeniz ve Marmara bölgelerinde seracılık faaliyetlerinin yoğun olduğu illerde (Antalya, İzmir, Aydın ve Manisa) *R. solani*'nin neden olduğu çökerten hastalığı görülmektedir (Aşkın vd., 2010). Aşkın ve Tosun (2008) yapmış oldukları bir çalışmada, Antalya ilinde yetiştirilen domates fidelerinde *R. solani* ve *Pythium deliense* izolatlarının yüksek patojenite potansiyeli gösterdiği ve bu oranın %100'e kadar çıkabildiğini rapor etmişlerdir. Elazığ ilinde özellikle domates yetiştirilen alanlarda *Rhizoctonia solani*'nin

yaygın olduğu ve şiddeti oranı %43.30 olduğu tespit edilmiştir (Mutlu vd., 2015).

5. *Rhizoctonia solani*'NİN DOMATESTE OLUŞTURDUĞU HASTALIKLARLA MÜCADELE YÖNTEMLERİ

5.1. Mekanik Mücadele

R. solani ile mücadele geniş bir konukçu çevresine sahip olmasından dolayı oldukça zordur. *R. solani*'nin domateste neden olduğu hastalıkların mücadelesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Örneğin, drenaj sistemini iyileştirmek, ekim nöbeti uygulamak, toprak pH dengesini ayarlamak, sanitasyon işlemi, toprak solarizasyonu, sertifikalı ve sağlıklı fide kullanılması mekanik mücadele olarak kullanılmaktadır (Akantarım, 2025; Baysal vd., 2012).

5.2. Kimyasal Mücadele

Bitki mikrobiyal hastalıkları ile mücadelede kimyasal kullanımı oldukça yaygındır. Çok farklı ticari kombinasyon bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda $2 \times 10^{-3} \text{M}$ yüksek doz seviyesinde Fluazifop-p-butyl aktif maddeli herbisit *Rhizoctonia solani* koloni gelişimini %100 oranı ile en yüksek seviyede etkilediği ayrıca aynı dozda uygulanan Tepraloxym aktif maddeli herbisit *Rhizoctonia solani* koloni gelişimini %88.93 oranı ile etkilediği rapor edilmiştir (Mutlu vd., 2015). Harikrishnan vd., (2001)'de yaptıkları çalışmada, Glyphosate ve Imazethapyr gibi etken maddeli herbisitlerin *Rhizoctonia solani* izolatlarının misel büyümesine etkileyecek ölçüde bir etkisinin olmadığını fakat Pendimethalin uygulamasının *Rhizoctonia solani*'nin AG-1, AG-2-2 ve AG-4 izolatlarında misel gelişimine etki ederek gelişimini önemli ölçüde yavaşlattığı tespit edilmiştir.

Fungusit uygulamaları yaprakтан spreу şeklinde uygulanabilir veya tohum kaplama yöntemi olarak kimyasal mücadelede kullanılmaktadır (Omar vd., 2006). Ancak kimyasal mücadelenin (fungusit) yoğun olarak kullanılması hem patojenin fungusit direnci kazanmasına hem de suyu, toprağı ve atmosferi kirletmektedir. Hayvanlarda, bitkilerde, meyve ve sebzelerde kalıntı oluşturarak besin zinciri yoluyla insan vücuduna girebilir; böylece insan sağlığını tehlikeye atabilir (Guo vd., 2011; Ahmed vd., 2019). Bu dezavantajlardan dolayı bilim insanları insan ve çevre dostu olarak alternatif yöntemlere başvurmuşlardır. Bunlar; biyolojik mücadele, nanoteknoloji ve yenilikçi yaklaşımlardır.

5.3. Biyolojik Mücadele

Bitki Büyümesini Teşvik Eden Bakteriler (PGPR) (Altunlu, 2020; Zarandi, 2021), Endofitik Mikroorganizmalar (Goudjal vd., 2013), *Trichoderma* spp. (Yiğit ve Dikilitaş, 2007), Arbüsküler Mikorizal Funguslar (AMF) (Muriungi vd., 2022) ve bunların kombine uygulamaları biyolojik mücadele olarak kullanılmaktadır.

Zarandi (2021), *Streptomyces globisporous* F8 ve *Streptomyces praecox* R7 suşlarının domateste *R. solani* AG-4 fungusuna karşı biyokontrol potansiyelini ve siderofor üretim yeteneğini incelemiştir. İn vitro koşullarda agar disk yöntemi sonucuna göre her iki suş (F8 ve R7) güçlü antifungal aktivite gösterdiği belirtilmiştir. Chrome azurol S (CAS) agar testi ise F8 ve R7'nin siderofor ürettiği bildirilmiştir. İn vivo denemelerde ise F8 ve R7 suşlarının hastalık şiddetini önemli ölçüde azalttığını, fidelerde kök ve sürgün gelişimlerini arttırdığı rapor edilmiştir. Sonuç olarak *Streptomyces globisporous* F8 ve *Streptomyces praecox* R7 suşları, *R. solani*' ye karşı etkili biyokontrol ajanı ve bitki büyümesini destekleyici (PGPR) olduğu belirlenmiştir.

Arasu ve Al-Dhabi (2023), endofit fungus olan *Paecilomyces formosus* ED' nin (*P. formosus* ED) patojen fungus

R. solani üzerindeki antifungal aktivitesi araştırılmıştır. İn vitro testlerde $67,4 \pm 2,2$ oranında inhibisyon değeri bulunmuştur. Hidrolitik biyosentez işleminde ise *P. formosus* ED' nin yüksek proteaz ürettiği belirtilmiştir. Ayrıca fungusun siderofor ve IAA üretimi ile fosfat ve çinko çözündürme yeteneği belirlenmiştir. Sera ve tarla denemelerinde, *P. formosus* ED hastalık şiddetini azaltmış, bitki savunma enzim aktivitelerini artırmış ve kök dokularında koruyucu etki sağlamıştır. Sonuçta, bu suşun etkili bir biyokontrol ve bitki büyüme destekçisi olduğu vurgulanmıştır.

Rhouma vd., 2024 yılında yapmış oldukları çalışmada *R. solani* izolatlarının (Rs26, Rs94, Rs13, Rs57 ve Rs123) patojenitesi test edilmiş olup, biyokontrol ajanlarının (*Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *Metarhizium* sp., *Gliocladium* sp.) in vivo ve in vitro koşullarındaki antifungal etkisi araştırılmıştır. Domateste en yüksek patojenitenin Rs26 izolatı gösterdiğini belirtmişlerdir. İn vitro test sonuçlarına göre *R. solani* (Rs26) patojenine karşı *Trichoderma harzianum* %94,67, *Metarhizium* sp. %65,57, *Gliocladium* sp. %66,75, *T. viride* ise tutarlı bir inhibisyon oranı gösterdiği belirtilmiştir. İn vivo test sonuçlarına göre en yüksek hastalık şiddeti (%100) pozitif kontrolde, en düşük oran (%10,26) *Trichoderma harzianum* (T3) grubunda saptandığı bildirilmiştir. Ayrıca T3 grubunda en yüksek peroksidaz ve katalaz aktiviteleri ölçülmüştür. Sonuçlar, *T. harzianum*'un bitki savunmasını güçlendiren en etkili biyokontrol ajanı olduğunu ve kimyasal fungusitlere sürdürülebilir bir alternatif sunduğunu göstermektedir.

Shalaby (2022), domateste kök hastalığına neden olan *R. solani* patojenine karşı *Trichoderma harzianum* (*T. harzianum*) ve Paclobutrazol (PBZ) ayrı ayrı ve kombinasyonlar şeklinde uygulamalarla mücadele etme yöntemini denemiştir. İn vitro testlerde *T. harzianum* %50–60, PBZ %70–78 miselyum inhibisyonu gösterdiği belirtilmiştir. İn vivo kombinasyon uygulaması (*T. harzianum* + 100 mg L⁻¹ PBZ) hastalık baskısını

%90–100 oranında azalttığı ve fide büyümesini, klorofil ile antioksidan savunmayı artırdığı bildirilmiştir. Çalışma, bu kombinasyonun etkili bir biyolojik kontrol ve fide destek yöntemi olduğunu ortaya koymuştur.

Belirli nanopartiküller ve bitki esansiyel yağlarının kullanılması yenilikçi ve nanoteknolojik mücadele yöntemleridir (Akdeniz, 2021; Al-Surhanee vd., 2021).

5.4. Nanoteknolojik Mücadele

Al-Surhanee ve ark., (2021) hem in vitro hem de sera koşullarında gümüş nanopartiküller (Ag NP), kitosan nanopartiküller (CHI NP) ve Ag/CHI NP kompozitlerinin, domates bitkisinde patojen olan *R. solani* fungusuna karşı antifungal aktivitelerini, total klorofil ve antosiyanin, total fenolik içerik (TPC), total flavonoid içerik (TFC) ve malondialdehit (MDA) seviyelerini, bitkilerin savunma mekanizmaları olan katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD) ve askorbat peroksidaz (APX) aktivitelerini ayrıca savunma ile ilişkili genler olan kitinaz, bitki glutatyon S-transferaz (GST), fenilalanin amonyak liase (PAL1), PR12 ve PR1 genlerindeki değişiklikleri test etmişlerdir. Test edilen sonuçlara göre in vitroda hem Ag, hem CHI hem de Ag/CHI nanokompoziti, *R. solani* miselyum gelişimini güçlü biçimde engellediği belirtilmiştir. Sera denemelerinde, Ag/CHI uygulanan gruplarda hastalık görülmediği veya belirgin şekilde azaldığı, bitki gelişimi ve yaprak özelliklerinin korunduğu bildirilmiştir. Biyokimyasal analizler, patojen enfeksiyonunun klorofil ve antosiyanin miktarını azalttığını, buna karşılık fenolik, flavonoid, MDA düzeylerini ve antioksidan enzim aktivitelerini (SOD, CAT, APX) artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca PR3, PR12, GST ve PAL1 gibi savunma genlerinin ekspresyonu önemli oranda yükseldiği rapor edilmiştir.

Sonuç olarak, *R. solani* domateste özellikle sürgün gelişimini baskılarken, Ag/CHI nanokompoziti antifungal etki gösterdiği bildirilmiş, bitki savunma sistemini ve gen ekspresyonlarını güçlendirdiği belirtilmiştir. Bu bulgular, sürdürülebilir bitki koruma stratejileri için önemli bir temel oluşturmaktadır.

5.5. Bitki Esansiyel Yağlar ile Mücadele

Bitki hastalıkları, tarımsal üretimde verim ve kalite kayıplarına yol açan en önemli sorunlardan biridir. Bu hastalıkların kontrolünde uzun yıllar boyunca kimyasal mücadele yöntemleri yaygın olarak kullanılmış olsa da, bu yöntemlerin çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiler alternatif yaklaşımlara olan ilgiyi artırmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, uçucu yağların bitki patojenlerine karşı biyolojik etkinlik gösterdiğini ve çevre dostu bir mücadele yöntemi olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur. Uçucu yağların kimyasal bileşimi ve oranlarının; bitkinin türü, kullanılan bitki kısmı, üretim tekniği, iklim koşulları ve yetiştirildiği bölgenin ekolojik özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği bildirilmektedir. Bu nedenlerle, uçucu yağların bitki hastalıklarıyla mücadelede kullanım potansiyelinin araştırılması, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır.

Özmen (2022), yapmış olduğu tez çalışmasında 2020 Temmuz–Eylül aylarında Bingöl, Diyarbakır, Muş ve Van illerinden toplanan bazı alkaloitler içeren şeytan elması (*Datura stramonium* L.) adı verilen bitkiden elde edilen özütün, domateste kök çürüklüğü etmeni *R. solani* AG-4 üzerindeki etkisini araştırmıştır. İn vivo çalışmalarda domates tohum ve fidelerine bitkisel özütler %0, %5, %10, %20 ve %40 oranlarında üç farklı şekilde uygulanmıştır: tohum kaplama, daldırma ve içirme. Sonuçlara göre *R. solani* enfeksiyonu altında yüksek dozlarda

içirme (%20–40), düşük dozlarda daldırma (%5–10) ve tüm dozlarda tohum kaplama bitki büyümesini artırdığı bildirilmiştir. En düşük hastalık şiddeti (%10) tohum kaplama yönteminde elde edildiği belirtilmiştir. Bu yöntemin patojenle erken teması önleyerek en etkili kontrolü sağladığı rapor edilmiştir. Çalışmada bitkisel özütlerin kimyasal pestisitlere alternatif oluşturabilecek biyolojik kontrol ajanı ve tarımda sürdürülebilir olarak umut verici etmen olacağı sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, EEP' lerin *R. solani*' ye karşı güçlü antifungal etki gösterdiği ve kimyasal fungusitlere çevre dostu bir alternatif olabileceği belirlenmiştir.

Gül (2019), Ordu, Ardahan, Muğla, Hatay ve Edirne'den elde edilen propolis ekstraktlarının (EEP) kimyasal bileşenlerini ve domateste hastalığa neden olan *R. solani* üzerindeki antifungal etkilerini incelemiştir. GC-MS analizine göre ekstraktlarda en baskın bileşen cinnamic acid türevleri (%11.3–88.3) olduğu belirtilmiştir. EEP' nin in vitro antifungal test deneyleri için %20 lik stok solüsyondan hazırlanan farklı konsantrasyonları (0, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000, 11000, 12000, 13000 ve 14000 ppm) kullanılmıştır. Sonuçlara göre misel gelişimini tamamen engelleyen minimum konsantrasyonlar (MIC) Ordu, Edirne ve Muğla için 8000 ppm, Ardahan için 10000 ppm, Hatay için ise 12000 ppm olarak bulunmuştur. EC50 değerleri ise sırasıyla Ordu'da 1864.1 ppm, Edirne'de 2137.1 ppm, Muğla'da 3251.7 ppm, Ardahan'da 2369.8 ppm ve Hatay'da 4303.4 ppm olarak bulunduğu bildirilmiştir.

Yanar vd., (2016), Türkiye'nin 3 farklı bölgesinden (Tokat, Sivas ve Çorum) elde edilmiş propolis' in ethanol ekstraktının (EEP) %3'lük konsantrasyonlarının *R. solani* üzerinde %100 inhibisyona neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Sezgin (2019) biberiye uçucu yağının *R. solani* fungusunun miselyum gelişiminin engelleme oranının %31

bulurken, Arıcı vd., (2024) biberiye yağının konsantrasyonlarını artırarak %100 inhibisyon oranına ulaşmıştır. Yılar vd., (2016), yapmış olduğu bir çalışmada *Vitex* uçucu yağının *R. solani* fungusu üzerindeki antifungal aktivitesin %65,35 olduğunu rapor etmiştir. Jemai vd., (2025)'nin yapmış olduğu bir çalışmada *Lavandula dentata* L. bitkisinin uçucu yağının farklı konsantrasyonlarda (2000 ppm, 3000 ppm, 4000 ppm) *R. solani* fungusu üzerindeki antifungal etkisini in vitroda %100 olduğunu belirlemiştir. Yabani hardal ve ayçiçeğinin %5 ve %10 dozlarındaki etil alkol özütlerinin de *R. solani*'nin miselyal gelişimi tamamen inhibe ettiği rapor edilmiştir (Yavuz, 2010). Çakır (1992) ise en etkili bitki türünün kekik olduğunu vurgulamıştır. Türkkan vd., (2019) ise *Laurus nobilis* (defne) uçucu yağının *Rhizoctonia solani* AG-4 üzerinde antifungal aktivitesinin %100 olduğunu rapor etmişlerdir.

6. SONUÇ

Domates bitkisi dünyada ve ülkemizde hem besin değeri hem de ihracat değeri açısından son derece önemli olduğu için üzerinde en fazla araştırma yapılan bitkilerden bir tanesidir. Bu araştırmalar domates bitkisindeki verimi arttırma ve domateste görülen çeşitli mikrobiyal (bakteri, virüs, fungal) hastalıkların mücadelesi için yapılan çalışmalardır. *R. solani* domateste kök çürüklüğü, çökerten gibi hastalıklara neden olup ciddi derecede verim kaybına yol açabilen patojen fungustur. Bu patojenin mücadelesi için kültürel ve kimyasal yöntemlere başvurulmaktadır. Ancak patojenin bu yöntemlere karşı direnç oluşturmaları ve kimyasal mücadelenin çevre ve insan sağlığına olan zararları düşünülerek bu yöntemlere ek olarak alternatif çalışmalar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar derlemede de bahsedildiği gibi biyolojik (PGPR, Endofitik Mikroorganizmalar, *Trichoderma* spp., Arbusküler Mikorizal Funguslar) ve

nanoteknoloji-yenilikçi yöntemler (belirli nanopartiküller ve bitki uçucu yağları)'dir.

Bahsettiğimiz bu çalışmaların insan ve çevre sağlığına olan zararsız etkileri, ekonomik olarak avantajlı olması ve tarımsal açıdan sürdürülebilirliği olduğu için değer görmesi gereken önemli çalışmalar olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdelrhim, A. S., Abdellatif, Y. M., Hossain, M. A., Alamri, S., Pessarakli, M., Lessy, A. M., & Dawood, M. F. (2023). Comparative study of three biological control agents and two conventional fungicides against coriander damping-off and root rot caused by *Rhizoctonia solani*. *Plants*, 12(8), 1694.
- Ajayi-Oyetunde, O. O. (2018). *Rhizoctonia solani*: Taksonomi, popülasyon biyolojisi ve yönetimi. *Plant Pathology*, 67(1), 4–14. <https://doi.org/10.1111/ppa.12733>
- Akantarım. (2025, Mayıs 23). *Domateste kök çürüklüğü hastalığı: Nedenleri, belirtileri ve etkili mücadele yöntemleri*. <https://www.akantarim.com/blog/icerik/domateste-kok-curuklugu-hastaligi-nedenleri-belirtileri-ve-etkili-mucadele-yontemleri>
- Akber, MA, Mubeen, M., Sohail, MA, Khan, SW, Solanki, MK, Khalid, R., Abbas, A., Divvela, PK ve Zhou, L. (2023). *Rhizocton'un küresel dağılımı, geleneksel ve modern tespiti, teşhisi ve yönetim yaklaşımları* ŞekÖn, 1091288.hhttps://doi.o
- Akdeniz, Y. (2021). *Bazı toprak kaynaklı patojenlere karşı bitki uçucu yağlarının antifungal etkilerinin in vitro koşullarda belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Iğdır Üniversitesi, Iğdır Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Al-Surhanee, A. A., Afzal, M., Bouqellah, N. A., Ouf, S. A., Muhammad, S., Jan, M., Kaleem, S., Hashem, M., Alamri, S., Abdel Latef, A. A. H., Ali, O. M., & Soliman, M. H. (2021). Ag/CHI NP'lerinin *Rhizoctonia solani*'ye karşı antifungal aktivitesinin domates bitkisi sağlığı ile

- bağlantısı. *Plants*, 10(11), 2283.
<https://doi.org/10.3390/plants10112283>
- Altunlu, H. (2020). Tuz stresi altındaki biberde (*Capsicum annuum* L.) mikoriza ve rizobakteri uygulamasının bitki gelişimi ve bazı fizyolojik parametreler üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57(4), 501–510.
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.655491>
- Anderson, N. A. (1982). The genetics and pathology of *Rhizoctonia solani*. *Annual Review of Phytopathology*, 20, 329–347.
- Arasu, M. V., & Al-Dhabi, N. A. (2023). Biological control of root rot disease-causing *Rhizoctonia solani* in tomato plant by an endophytic fungus and analysis of growth promoting activities in greenhouse and field. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 127, 102080.
- Arıcı, Ş. E., Şanlı, A., & Çapa, R. D. (2024). Patates Patojenleri *Fusarium sambucinum* ve *Rhizoctonia solani*'ye Karşı Bazı Uçucu Yağların Kullanım Olanaklarının Araştırılması. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), 60-74.
<https://doi.org/10.54975/sduzfd.1565440>
- Aşkın, A. ve Tosun, N. (2008). Ankara ili Ayaş, Beypazarı ve Nallıhan ilçelerinde domates fidelerinde *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp. ve *Pythium* spp. izolatlarının patojenite seviyelerinin belirlenmesi. *CAB Uluslararası Dijital Kütüphane*.
- Aşkın, A., Tosun, N. ve Aşçıoğlu, O. (2010). Örtüaltı koşullarında domates fide kökü ve kök boğazı çürüklüğü (*Rhizoctonia solani* Kühn, *Fusarium* spp., *Pythium* spp.) hastalık kontrolü entegre olası yönetime uygun ilaçlama programlarının faaliyetlerinin yürütülmektedir. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 47 (3), 231–240.

- Aydın, M. H. (2022). *Rhizoctonia solani and its biological control* [Makale kabul tarihi: 31.01.2022]. Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection.
- Bawa, I. (2016). *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Sacc.) tarafından tetiklenen domatesteki *Fusarium solgunluk* hastalığının yönetim stratejileri: Bir inceleme. *International Journal of Advanced Academic Research*, 2(1), 32–42.
- Baysal-Gurel, F., McSpadden Gardener, B., & Miller, S. A. (2012, Ağustos 1). *Soilborne disease management in organic vegetable production*. eOrganic. <https://eorganic.org/node/7581>
- Coa, L., Qiu, Z., You, J., Tan, H., & Zhou, S. (2004). Isolation and characterization of endophytic *Streptomyces* from surface-sterilized tomato (*Lycopersicon esculentum*) roots. *Lett Appl Microbiol*, 39, 425-430.
- Çakır, C., (1992). *Antalya ve Çevresindeki Bazı Bitkilerin Uçucu Yağlarının Fungitoksik Potansiyellerinin Araştırılması*. A.Ü.,Fen Bilimleri Enstitüsü,Antalya
- Demirer, D. E., Ok, F., 2019. Van Gölü havzasında domateslerden (*Solanum lycopersicum*) izole edilen *Rhizoctonia solani* Kühn' nin anastomosis grupları ve patojenitelerinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (4): 1908-1915.
- Ebrahimi-Zarandi, M., Bonjar, G. H. S., Riseh, R. S., El-Shetehy, M., Saadoun, I., & Barka, E. A. (2021). Domateste *Rhizoctonia solani*'yi kontrol etmek için iki *Streptomyces* türünün araştırılması. *Agronomy*, 11(7), 1384. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071384>
- Giotis, C., Markelou, E., Theodoropoulou, A., Toufexi, E., Hodson, R., Shotton, P., & Leifert, C. (2009). Organik sera

domates üretim sistemlerinde *Pyrenochaeta lycopersici* ve *Verticillium albo-atrum*'un neden olduğu toprak kaynaklı kök hastalıkları üzerinde toprak düzenleyicilerin ve biyolojik kontrol ajanlarının (BCA'lar) etkisi. *European Journal of Plant Pathology*, 123(4), 387–400.

- Goudjal, Y., Toumatia, O., Sabaou, N., Barakate, M., Mathieu, F., & Zitouni, A. (2013). Endophytic actinomycetes from spontaneous plants of Algerian Sahara: Indole-3-acetic acid production and tomato plants growth promoting activity. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-013-1344-y>
- Guo, Z., Hua, R. and Bai, Y., 2011. Screening and evaluation of antiphytopathogenic activity of endophytic fungi from live foliages of Ginkgo biloba L. *African Journal of Microbiology Research*, 5(13):1686-1690.
- Gül, Y. (2019). Farklı bölgelerden elde edilen propolis ekstraktlarının kimyasal bileşenlerinin ve domates bitkisinde sorun olan toprak kökenli bazı fungal hastalık etmenleri üzerine antifungal özelliklerinin belirlenmesi. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hage-Ahmed, K., Rosner, K., & Steinkellner, S. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi and their response to pesticides. *Pest management science*, 75(3), 583-590.
- Harikrishnan, R., and Yang, X.B., 2001. Influence of Herbicides on Growth and Sclerotia Production in *Rhizoctonia Solani*. *Weed Science*, 49: 241-247.
- Healthy Hydroponics. (2022, November 24). *Pathogen profile: Rhizoctonia solani*.

<https://www.healthyhydroponics.ca/2022/11/24/pathogen-profile-rhizoctonia-solani/>

- Huang X, Zhang N, Yong X, Yang X, Shen Q. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off disease in cucumber with *Bacillus pumilus* SQR-N43. *Microbiol Res* 2011;167:135–43.
- Jemai, N., Ben Mahmoud, K., Jedidi, E., Gargouri, S., Hachana, A., Jemmali, A., & Boulila, A. (2025). Chemical composition and antifungal activity of essential oils from *Lavandula dentata* L., *Cymbopogon citratus* DC. Stapf., and *Salvia officinalis* L. against *Rhizoctonia solani* in potato tubers. *Potato Research*, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11540-025-09588-y> (not available DOI, example).
- Karahan, O., 1965. Muhtelif sebzelerde zararlı hastalık amilleri ve mücadelesi. T.B.A.Z.M.E. Müdürlüğü, 42.
- Moussa, T. A. A. (2002). Studies on biological control of sugar beet pathogen *Rhizoctonia solani* Kühn. *Online Journal of Biological Sciences*, 2, 800–804.
- Muriungi, S., Mutitu, E., & Muthomi, J. W. (2014). Efficacy of cultural methods in the control of *Rhizoctonia solani* strains causing tomato damping off in Kenya. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 14(2), 8776–8790. <https://doi.org/10.18697/ajfand.62.12935>
- Muriungi, S., Mutitu, E., & Muthomi, J. W. (2022). Efficacy of cultural methods in the control of *Rhizoctonia solani* strains causing tomato damping off in Kenya. *Frontiers in Plant Science*, 13, 931729. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.931729>

- Mutlu, G. ve Üstüner, T. (2017). Elazığ İli Domates Üretim Alanlarında Fungal Hastalıkların Yaygınlığı ve Şiddetinin Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(4), 416-425.
- Nasir, M. U., Hussain, S., & Jabbar, S. (2015). Tomato processing, lycopene and health benefits: A review. *Science Letters*, 3(1), 1.
- Nowicki, M., Nowakowska, M., Niezgoda, A., & Kozik, E. U. (2012). Alternaria black spot of crucifers: Symptoms, importance of disease, and perspectives of resistance breeding. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 76(1), 5–19. <https://doi.org/10.2478/v10032-012-0001-6>
- Ogoshi, A. (1987). Ecological and pathogenic groups of *Rhizoctonia solani* Kühn. *Annual Review of Phytopathology*, 25, 125–143.
- Omar, I., O'Neill, T. M., & Rossall, S. (2006). Biological control of Fusarium crown and root rot of tomato with antagonistic bacteria and integrated control when combined with the fungicide Carbendazim. *Plant Pathology*, 55, 92–99.
- Özmen, Y., Tepe, I., & Demirer Durak, E. (2022). Effect of jimsonweed (*Datura stramonium* L.) extracts on root rot disease (*Rhizoctonia solani* AG-4) in tomato. In *IV-International Conference of Food, Agriculture, and Veterinary Sciences* (pp. 118–119). Van, Turkey.
- Rhouma, A., Hajji-Hedfi, L., Khaire, P. B., & Matrood, A. A. (2024). Evaluation of pathogenic variation among *Rhizoctonia solani* isolates infecting different crops and potential biocontrol agents. *Plant Protection Bulletin*, 64(4), 29–40.

- Sezgin, H. (2019). *Ticari bazı bitkisel yağların bitki patojeni fungusların kontrolünde kullanım olanaklarının araştırılması* (Yüksek lisans tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı).
- Shalaby, T. A., Taha, N., El-Beltagi, H. S., & El-Ramady, H. (2022). Domates fidelerinde *Rhizoctonia solani*'nin neden olduğu kök çürüklüğü hastalığını kontrol etmek için *Trichoderma harzianum* ve paclobutrazol'ün kombine uygulanması. *Agronomy*, 12(12), 3186. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123186>
- Singh, V. K., Singh, A. K., & Kumar, A. (2017). PGPB ile domates hastalıklarının yönetimi: Güncel eğilimler ve gelecek perspektifi. *3 Biotech*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0896-1>
- Stephens, C. T., Powell, C. C., 1982. Pythium species causing damping-off of seedling bedding plants in Ohio greenhouses. *Plant Disease*, 66: 731-733.
- Sturrock, C. J. (2015). Effects of damping-off caused by *Rhizoctonia solani* anastomosis group 2-1 on roots of wheat and oil seed rape quantified using X-ray computed tomography and real-time PCR. *Frontiers in Plant Science*, 6, 461. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00461>
- Türkkan, M., Çalışkan, Ö., Erper, İ., Kara, Ş. M., & Açıkgöz, M. A. (2019). Bazı toprak kökenli funguslara karşı defne esansiyel yağı ve hidrosölünün antifungal etkilerinin belirlenmesi. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8(2), 217-226. doi: 10.29278/azd.476209
- Walker, J. C., 1952. Diseases of vegetable crops. McGraw-Hill Book Company. Inc. New York, 529.

- Yanar, Y., Belgüzar, S., & Aysan, Y. A. (2016). Tokat İlinde Domates Bakteriyel Solgunluk Hastalığının Yaygınlığı ve Etmenin (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) Tanılanması. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 33(2), 34-40. <https://doi.org/10.13002/jafag973>.
- Yanar, Y., Belgüzar, S., and Yanar, D. 2016. Evaluation of anti-fungal effects of propolis extracts. VII International Scientific Agriculture Symposium, "Agrosym 2016", 6-9 October 2016, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. *Proceedings 2016* pp.1739-1744.
- Yavuz, B., 2010. *Bazı Bitki Ekstraktlarının Fitopatojen Funguslara Karşı Antifungal Etkisi*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). UÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Yiğit, F., & Dikilitaş, M. (2007). Control of Fusarium wilt of tomato by combination of fluorescent *Pseudomonas*, non pathogen *Fusarium* and *Trichoderma harzianum* T-22 in greenhouse conditions.
- Yılar, M., Bayan, Y., & Onaran, A. (2016). Chemical Composition and Antifungal Effects of *Vitex agnus-castus* L. and *Myrtus communis* L. *Plants. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(2), 466-471. <https://doi.org/10.15835/nbha44210399>.

ARTAN KURAKLIK KOŞULLARINDA SULAMA VE YÖNETİMİ

Caner YERLİ¹

1. GİRİŞ

Su kendini yenileyebilir bir kaynak olarak değerlendirilse de aslında sınırlı mevcudiyete sahip kıt bir kaynaktır. Ayrıca bu kaynağın sınırlı ve kıt hali gün geçtikçe çeşitli çevresel ve antropojenik etkilerden dolayı sürekli azalmakta ve kirlenmektedir. Bu durum suyun tüketim indeksini ve kullanım imkanını azaltmakta ve yıllara bağlı olarak suyun miktar ve mevcudiyetini sürekli sınırlamaktadır (Burak ve Margat, 2016; Mancosu vd., 2015; Boretti and Rosa, 2019; Meza vd., 2020). Su kaynaklarının azalması ve kirlenmesine çevresel etkilerin başında kuraklığa sebep olan küresel ısınma neden olurken, antropojenik etkilerin başında artan nüfusa bağlı olarak kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının sürekli azalması sebep olmaktadır (Alvim vd., 2022; Şahin, 2024; Yerli, 2024). Sanayi devriminden 21. Yüzyılın ilk çeyreğine kadar neredeyse 1°C'lik sıcaklık artışları kuraklığa önemli seviyede neden olmakta ancak son zamanlarda daha fazla sıcaklık artışlarının kuraklığın şiddetini ivmelendirmesi durumu da ön görülen tahminler arasında yer almaktadır (Andrady vd., 2015). 1970 yılında dünyada kişi başına düşen su miktarı 11 320 m³/yıl seviyelerindeyken, 2020 yılında 5 476 m³/yıl seviyelerine kadar gerilemiş (WBG, 2025), ayrıca suyun dünya yüzeyinde adil bir dağılım göstermemesinden dolayı Afrika kıtası gibi bazı kritik bölgelerde kişi başına düşen su

¹ Doç. Dr. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye, caneryerli@yyu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8601-8791.

miktarı daha düşük seviyelerde olup su kıtlığı daha büyük boyutlarda etkisini göstermeye devam etmiştir.

Canlılığın temel yapı taşı oluşturulan ve yaşamın vazgeçilmez bir kaynağı olan su, tüm sektörler için mutlak gerekli ve elzem bir kaynak olmasına karşın tarım sektöründe suyun önemi daha büyüktür. Çünkü tarımda kullanılan su doğrudan canlı beslenmesi ve gıda talebiyle ilişkilidir. Bu nedendendir ki diğer sektörlerle nazaran suyun tarım sektöründe kullanımı toplam su hacminin yaklaşık %70-80'ini oluşturmaktadır (Navarro-Hellín vd., 2015). Bu büyük su hacminin tarımsal sulamada kullanımı, canlılığın gıda ihtiyacını karşılamaya yönelik olduğundan dolayı tarımda su mevcudiyetindeki azalma, doğrudan gıda üretiminin karşılanamamasına ve beslenme üzerindeki azalışlara ve dengesizliklere neden olan sonuçları doğurmaktadır (Dinar vd., 2019). Böylece sulamanın ve kuraklığın tüm yönleriyle net bir şekilde anlaşılması ve artan kuraklık koşullarında sulama yönetiminin mutlak koşullar altında sağlanması ve kuraklığa karşı sulama yönetim stratejilerinin kesinlikle geliştirilmesi gerekmektedir.

2. KURAKLIK

Basit anlamda suyun yeterli seviyenin altında olması olarak tanımlanabilen kuraklık, yaşamın tüm evresini olumsuz etkileyen ancak tarımsal üretim üzerinde daha büyük bir etkiyle verimlilik ve üretkenliği azaltan ve böylece gıda talebinin beklenen seviyede karşılanmasını engelleyen doğal bir felaket olarak kabul görmektedir. Bu doğal felaket birçok ulusal/uluslararası kurum/kuruluşlar tarafından yaşamı etkileyen en önemli risk faktörleri arasında konumlanmaktadır (Meza vd., 2020). Kuraklığın etkileri tek yönlü değil çok yönlü olmakla beraber nüfus, hayvancılık, bitkiler ve su stresi gibi maruziyeti ve

sosyal, ekonomik ve altyapısal göstergelere dayalı yönler gibi toplumsal kırılganlığı da etkilemektedir (UNDRR, 2019).

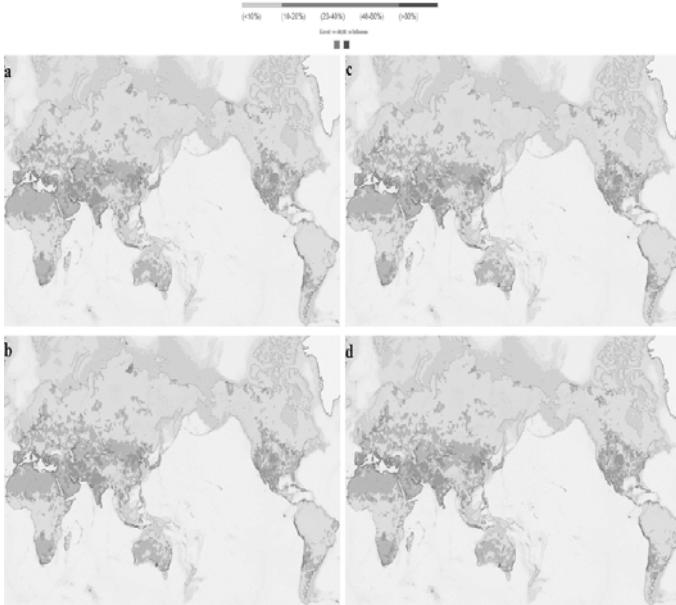
Birçok ülke ve bölgenin kuraklıkla mücadele ettiği gerçeği bilinse de somut veriler ile ele alınacak olursa, 2018 yılında 800 milyon insanın kuraklığa maruz kaldığı ancak bu sayının 3,5 kattan daha fazla artarak 2025 yılı sonunda 3 milyara ulaşacağı ön görülmektedir (Oteng-Pepurah vd., 2018). 2050 yılı için ön görülen senaryoya göre de neredeyse yeryüzündeki her iki insandan birinin kuraklık stresine maruz kalacağı beklenmektedir (McIlwaine ve Redwood, 2010). Böylece yaşamsal ve tarımsal faaliyetlerin devam ettirilebilmesi için 2010 yılı ile kıyaslandığında 2050 yılı için su ihtiyacının % 42 seviyesine kadar artırılması gerektiği ifade edilmektedir (Burak ve Margat, 2016). Farklı bir çalışmada da aynı yıl için artan nüfus ve kuraklığa karşı gıda ihtiyacının karşılanabilmesi için mevcut su hacminin % 50 kadar artırılması gerektiği belirtilmiştir (Mancosu vd., 2015). Ancak su hidrolojik döngü içerisinde bir akış eğilimi gösterse de bu döngü içerisinde suyun hacmini artırabilme özelliği söz konusu değildir.

Su Risk Atlası'nın 2030 ve 2050 yılları için iyimser ve kötümser senaryoları dikkate alındığında, iyimser bir senaryo altında dahi kuraklığın etkisinin önemli bir şekilde artacağı Şekil 1'de açıkça görülmektedir (AQUEDUCT, 2025). Benzer bir yaklaşımla gerçekleştirilen farklı bir modelleme çalışması da, kuraklık riskinin, tehlike ile maruziyetin ve hassasiyetin kuru ve sulu tarım alanlarında önemli bir seviyede artacağı yönünde aynı fikri beyan etmişlerdir (Şekil 2) (Meza vd., 2020).

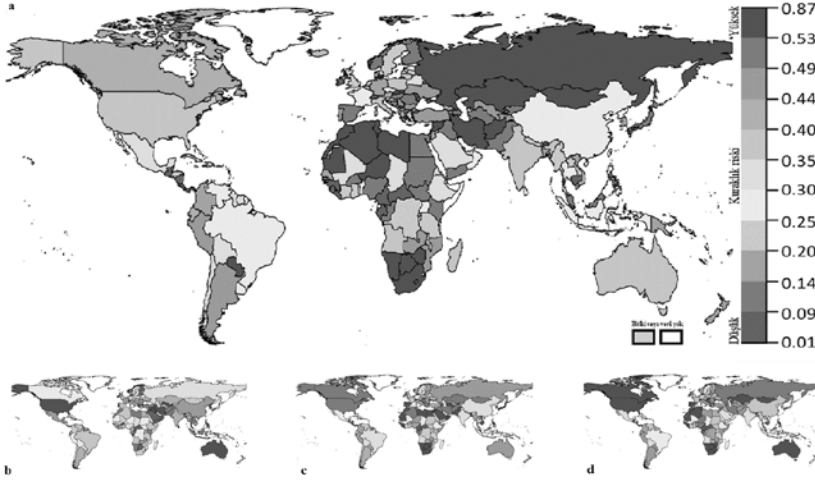
3. SULAMA

Bitki büyüme ve gelişimi için doğal yağışlarla karşılanamayan suyun bitki kök bölgesine sağlanmasına sulama denilmektedir. Sulama sadece bitkinin su ihtiyacının

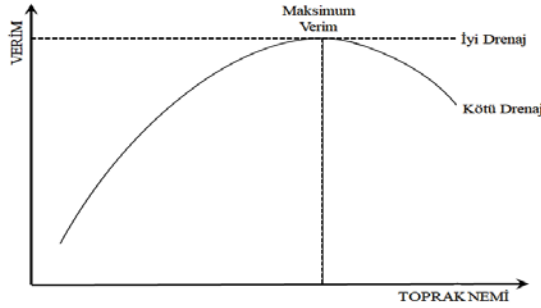
karşılanmasına yönelik değil ayrıca suyun iyi bir çözücü ve taşıyıcı olmasına bağlı olarak topraktan çeşitli besin elementlerinin alınması ve bitki büyüme ile gelişim faaliyetlerinde kullanılması yönünden önemlidir. Ayrıca su canlı bir sistem olan toprak ve toprak biyolojisi için de mutlak gerekli bir kaynak olup mikrobiyal topluluk ve besin elementlerinin yayarıışlılığı ile döngüsü için önemlilik arz etmektedir. Yeterli seviyede su alamayan bitki kuraklık stresine maruz kalmakta, verim ve kalite faktörleri azalış göstermektedir (Özer vd., 1997; Çırak ve Esendal, 2006). Aksi yönde aşırı sulama da bitki ve toprak için bazı olumsuz faktörlerin ortaya çıkmasını tetiklemektedir. Sanıldığıının aksine toprak nem seviyesi ile verim arasında sürekli doğrusal bir ilişki söz konusu değildir. Belli bir toprak nemi seviyesinden sonra verim artışı durağanlaşmakta hatta iyi bir drenajın sağlamadığı koşulda aşırı sulama bitki için verim azalışına neden olmaktadır (Şekil 3).



Şekil 1. Su Risk Atlası'nın 2030 (a ve b) ve 2050 yılları (c ve d) için iyimser (a ve c) ve kötümser (b ve d) kuraklık senaryoları (AQUEDUCT, 2025).



Şekil 2. Toplam kuraklık riski (a), sulu (b) ve kuru (c) tarımda tehlike ile maruziyet ve hassasiyet (d) (Şekil 2) (Meza vd., 2020).



Şekil 3. Verim ile toprak nemi arasındaki ilişki eğrisi

4. SULAMA YÖNETİMİ

Sulamada yönetimin sağlanması hususunda ilk geçerli yaklaşım su verimliliğini artırma yönündedir (Pereira vd., 2002). Su verimliliği temel anlamda birim suya karşın daha fazla ürün alınması olarak açıklanabilir. Bunun da sağlanabilmesi amacıyla öncelikli olarak su dağıtım, iletim, depolama vs. organlarında kayıpların önlenmesi ve su kaynağından bitki kök bölgesine en

düşük kayıpla suyun sağlanması yönünde eylemlere ihtiyaç vardır. Benzer şekilde, en düşük kayıpla suyun sağlanması yönünde suyun taşınmasında ilkel açık sistemler yerine kapalı boru sistemlerinin kullanılması da önemli bir husustur (Salabgir ve Budak, 2020). Çünkü kapalı sistemlerde buharlaşma ve sızma ile su kayıpları sifıra yakın oranda çok daha minimal seviyelerde gerçekleşmektedir.

Sulamada etkili bir yönetim ve yüksek bir su randımanı için mutlak gerekli yaklaşımlardan biri de sulama yöntemi ve yöntemin oluşturulmasına eşlik eden sulama sistemidir. Yöntem suyun bitki kök bölgesine uygulanma şekli, sistem ise herhangi bir su kaynağından alınan suyun toprağa ulaştırılana kadarki süreçte kapsadığı tüm dağıtım ve işletim şebekeleri olarak tanımlanmaktadır. Etkin sulama yönetim modelleri arasında modern bir sulama yöntemi olarak tanımlanan damla sulamadan sıkça bahsedilmektedir (Van der Kooji vd., 2013). Çünkü damla sulama, geleneksel sulama metotlarına göre daha az suya karşın daha fazla verim artışı destekleyen bir yaklaşımdır (Kuper vd., 2017). Düşük su randımanına sahip olan geleneksel sulamaya göre damla sulamada aynı su miktarıyla iki kat hatta bazı durumlarda daha fazla alan sulanabilmektedir (Kanber vd., 2005). Ayrıca geleneksel sulama yöntemlerine göre damla sulamanın toprak, bitki ve çevre için sürdürülebilirliği de daha fazla olmanın yanı sıra işçilik ve kültürel masrafları da daha düşüktür.

Sulamada etkin bir yönetim koşullarının başında bilinçli sulama gelmektedir. Bu nedenle sulamada yönetimin sağlanması hususunda geçerli kavramlardan ilki üreticileri bu konuda bilgilendirmekten geçmektedir (Yüzbaşıoğlu vd., 2022). Bilinçli sulama teknik ve yaklaşımlarının kullanılması neticesinde verimlilik iki kata yakın arttırılabilmektedir (Evans ve Sadler, 2008). Ayrıca ilkel yöntemlerin yerine yapay zeka destekli, bitki ve toprak takipli ve tahminleme yöntemleriyle bitki su tüketiminin belirlenmesine dayalı modern uygulamalara da

sulamada yer verilmesi hem sulama yönetiminin sağlanması hem de verimliliğin artırılması için randımanı iyileştiren stratejilerdendir. Sulama suyu miktarının ve zamanının uzaktan algılanması, mobil ve bilgisayar kontrollü sistemlerin geliştirilmesi, bitkinin strese girmesini engelleyici uygulamaların ortaya konulması, otomatik algılama logaritmaları, akıllı vana ve sulama teknolojileri ve kendi kendine karar veren IoT sistemlerle insan müdahalesi olmadan sulamanın gerçekleştirilmesi gibi güncel ve yenilikçi uygulamalara yer verilmesiyle ve bu sistemlerin entegrasyonu ile sulama yönetiminin tam anlamıyla ve konforlu bir şekilde yönetimine imkan sağlanabilir (Talaviya, 2020; Alvim vd., 2022; Çakmakçı ve Çakmakçı, 2023; Sahin, 2024; Şahin, 2024; Wei vd., 2024).

Başta kurak ve yarı kurak alanlar için faydalı olan ve önemli seviyede su tasarrufu sağlayan kısıntılı sulama, atlamalı sulama ve kısmi kök kuruluğu sulama pratikleri de sulama yönetimine katkı sağlayan uygulamalar arasında sıralanmaktadır. Bu uygulamaların temel amacı ve sulama yönetimine katkı sağlayan yönü buradan sınırlandırılan su miktarının farklı alanların sulanmasında kullanılması ve bu sayede birim alandan verim ve ekonomik kazancın artırılması şeklindedir (Bekele ve Tilahun, 2007). Böylece kısıntılı sulama, atlamalı sulama ve kısmi kök kuruluğu sulama pratikleri sayesinde ayrıca birim alanda daha fazla üretim ve kazanç, su tasarrufunda ve sulama suyu randımanında artış, drenaj sorun ve masraflarında azalış ve yağışlardan daha fazla yararlanma gibi verimliliği arttırıcı eylemlere önemli katkılar sunulabilir (Biber ve Kara, 2005; Bayramoğlu vd., 2013; Patel ve Rajput; 2013).

Sulamada, sistemler oluşturulduğunda bitki ve toprak verimliliğinin sürekliliği ve toprakta uygun bir su ile hava dengesi için mutlak süreklilikle drenaja önem verilmelidir (Kanber vd., 2005). Ancak uygun ve yeterli bir drenajın sağlanması koşuluyla sulamanın yönetiminin sürekliliği ve başarılı olması sağlanabilir

(Uygan vd., 2006). Ayrıca drenaj sistemleri vasıtasıyla drenaj sularının sulamada tekrar değerlendirilmesi sayesinde hem sulama suyu kaynakları üzerindeki baskının azaltılmasıyla sulama yönetimi sağlanabilir hem de su kirliliğinin artması ve su tablasının yükselmesinin önüne de geçilebilir (Fayrap, 2010). Ancak yüksek tuz içeriği ve düşük su kalitesine sahip olan alternatif bir sulama suyu kaynağı drenaj sularının sulamada kullanımında dikkat edilmesi gereken başta toprak tuzluluğu gibi faktörler de mutlaka değerlendirmeye alınmalıdır. Bir diğer alternatif sulama suyu kaynağı olan arıtılmış atık suyun sulamada kullanılması da sulama suyu kaynaklarının üzerindeki baskıyı azaltma yoluyla su kaynakları ve sulama yönetimini teşvik edici bir yaklaşımdır (Zhang ve Shen, 2019). Bu yaklaşımla arıtılmış atık suyun sulamada değerlendirilmesi, atık suyun doğaya deşarjını azaltma ve böylece çevresel sürdürülebilirliği sağlama yönünde de etkilidir. Ayrıca arıtılmış atık suyun sulamada kullanımı sahip olduğu yüksek besin içeriğiyle bitki ve toprak gelişimini artırırken, gübre ihtiyacını azaltma yoluyla hem daha ekonomik bir tarımsal üretimi hem de sentetik gübre kullanımını azaltma pratiğiyle çevre kirliliğini önleme yönünde oldukça değerlidir (Yerli, 2024). Ancak arıtılmış atık suların sulamada kullanımı durumunda barındırdıkları ağır metal, patojen ve tuz içeriği kesinlikle değerlendirilmeli ve izlenmeli, bunların toksik etkisi, toprak, bitki, canlı ve çevre sağlığı üzerindeki riskleri göz ardı edilmemelidir.

Toprağın derin ve yoğun olarak işlenmesi güneş ışığının toprakla etkileşimini arttırmakta böylece toprak su deposundan buharlaşma ile daha fazla nem kayıplarına neden olmaktadır (Schwartz vd., 2010). Oysa koruyucu toprak işleme pratikleri toprağa daha yüzeysel müdahale ettiğinden dolayı derin ve yoğun toprak işleme faaliyetlerinden olan geleneksel toprak işlemeye göre topraktan nem kayıplarını sınırlandırarak azaltmaktadır (Bekele, 2020). Ayrıca geleneksel toprak işlemede daha yoğun

toprak faaliyetleri toprağın organik madde stoklarının mineralize olmasıyla kaybına neden olurken, koruyucu toprak işleme operasyonları toprak neminin korunmasının yanı sıra toprakta organik madde mineralizasyonunu da azaltmaktadır (Sharma vd., 2016). Bu durum koruyucu toprak işlemede hem nemin korunması hem de organik madde rezervlerinin daha fazla olması neticesinde toprak su deposunda bir iyileşme anlamına gelmektedir. Çünkü organik maddenin mineralizasyonunun azalması farklı bir ifadeyle toprakta daha fazla organik maddenin mevcudiyeti toprak suyunun toprakta daha uzun süre kalmasını ve buharlaşma etkisiyle kaybını sınırlamaktadır. Bu durum organik maddenin kimyasal yapısı ve toprak fiziksel özelliklerini iyileştirici etkileriyle ilişkilidir. Organik madde karboksil, hidroksil ve fenolik grupları barındırması sayesinde su moleküllerinin tutulumunu ve adsorpsiyonunu sağlar (Atanassova ve Doerr, 2011). Organik madde dispers haldeki kolloidal humin madde yapılarının fazla olmasından dolayı suyu adsorbe etme ve kendi ağırlığının 5 katına kadar su tutulumunu artırma özelliğine sahiptir (Yılmaz ve Alagöz, 2008). Organik madde toprağın hacim ağırlığını, agregat yapısını, gözenekliliğini ve infiltrasyonunu iyileştirme, humus ve kil mineralleriyle stabilizasyonu sağlama ve makro gözeneklerin yanı sıra suyun tutulumunu teşvik eden mikro gözeneklerin oluşumunu da teşvik etme yoluyla toprak su deposunun hacimini geliştirmekte ve buharlaşmayı azaltmaktadır (Bronick ve Lal, 2005). Bu nedenle toprak organik maddesi ile toprakta su tutulumu arasında doğrusal bir korelasyon ilişkisi mevcut olup su tutma kapasitesi düşük kumlu bir toprakta % 1’lik organik madde artışının su tutulum kapasitesinde 2 katlık bir iyileşme göstermesi durumu söz konusudur (Hudson vd., 1994).

Toprağın organik maddece zenginleştirilmesi ve organik madde mineralizasyonunun azaltılması su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve sulamada yönetimin sağlanması hususunda

etkili ve pratik bir eylemdir. Ayrıca bu eylem toprak ve bitki verimliliğini de üstlenmektedir. Toprağın organik maddece zenginleştirilmesi bakımından çeşitli organik atıkların tekrar değerlendirilmesi ve geri dönüşümüyle kompost ile çeşitli uygulamaların ele alınması sulama yönetiminin yanı sıra atık yönetimi için de elzem ve değerli yaklaşımlardır (Sharma vd., 2019; Kök, 2021; Suvendran vd., 2024). Özellikle stabilize arıtma çamurlarının topraklarda organik madde katkısı olarak kullanılması çevre üzerindeki kirlilik yüklerinin azaltılması ve çevresel sürdürülebilirliğe eşlik etmesi yönünden olumlu katkıları ortaya çıkarabilecek bir potansiyele sahiptir (Sugurbekova vd., 2023; Blkrishna vd., 2025). Organik madde mineralizasyonlarının azaltılması toprak organik madde stoklarını iyileştirici bir yaklaşım olup ayrıca daha az mineralizasyon neticesinde daha az sera gazına ve dolayısıyla küresel ısınmanın etkisinin önüne geçilmesine yardımcı olmaktadır (Nazir vd., 2024). Bu yaklaşım için aşırı sulamadan ve yoğun toprak işleme, kültürel işlemler ve gübrelemeden kaçınılmalı ve bilinçli modern tarım teknolojilerinin uygulamaya kazandırılması gerekmektedir.

Tarım topraklarında yağışlardan daha etkin yararlanmak sulama suyu miktarını azaltma yoluyla sulama yönetimine eşlik etmektedir. Özellikle kıştan arta kalan yağışların toprakta depolanma potansiyelinin iyileştirilmesi bitkiler için daha az sulama suyu tüketimine neden olmaktadır. Bunun için bitkilerin yağışlardan yararlanabilecek ekim zamanlarına denk getirilmesi ve yağış sularının çeşitli rezervuarlarda depolanarak yağmur hasatı teknolojisinin geliştirilmesine imkan sağlanmalıdır. Kuraklığın artan etkisine yönelik kuraklığa dayanımı daha yüksek bitki çeşitlerine yer verilmesi, gerekli biyoteknolojik çalışmalara alt yapılar sağlanması ve bu çalışmalar ile bitkilerin kuraklık toleranslarının iyileştirilmesi de sulama suyunda tüketilen miktarı azaltma yoluyla sulama yönetimini sağlama da olumlu bir

yansıdır. Ayrıca kuraklığın etkilerinin azaltılması ve kuraklığa karşı sulama yönetim stratejilerinin geliştirilmesine yönelik fiziksel koşulların iyileştirilmesine ek olarak çeşitli biyolojik ajanların ve kimyasal destekleyici unsurların da kullanılması değerlendirilmeli ve bu yönde çalışmalara olanak sağlanmalıdır (Şahin, 2024).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel ısınma neticesinde artan kuraklık ve kuraklığa bağlı azalan ve kirlenen su kaynaklarına ilaveten popülasyonun büyümesiyle kişi başına düşen su miktarının azalması, su tüketimini önemli seviyede sınırlamakta ancak bu durum gıda üretimine hitap eden tarım sektörünü tüm sektörlerden daha fazla etkilemektedir. Böylece kuraklık kavramının özellikle tarımda çok iyi anlaşılması, kuraklık altında sulama yönetiminin kesin koşullar altında benimsenmesi ve kuraklığa karşı sulama yönetiminin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma; sulama yönetiminin sağlanmasına yönelik yaklaşımları değerlendirmiş ve sonuçta sulama yönetiminin etkin bir şekilde sağlanabilmesi için kapalı boru sistemlerinin kullanılmasını, yüksek randımanlı sulama yöntemlerinin uygulanmasını, su dağıtım, iletim, depolama vs. organlarında kayıp ve kaçak oranlarının azaltılmasını, yapay zeka destekli mobil ve bilgisayar kontrollü kendi kendine karar veren IoT sistemlerle sulamaların gerçekleştirilmesini, kısıntılı sulama, atlamalı sulama ve kısmi kök kuruluğu sulama pratiklerinin yaygınlaştırılmasını, drenaj sistemlerinin sağlanması ve drenaj suları ile arıtılmış atık suların sulamada tekrar değerlendirilmesini, koruyucu toprak işleme operasyonlarının tercih edilmesini, toprak organik madde mineralizasyonun azaltılmasını ve organik maddece toprakların zenginleştirilmesini, yağışlardan daha fazla yararlanacak şekilde ekim düzen ve tarihlerinin iyileştirilmesini, yağmur hasatı

teknolojilerini, kuraklığa dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesini ve kuraklığa karşı biyolojik ve kimyasal uygulamaların arttırılmasını önerilebilir olarak bulmuş, ayrıca sonuçlar neticesinde tüm bu konudaki çalışmaların arttırılması da tavsiye edilebilir olarak belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Alvim, S. J., Guimarães, C. M., Sousa, E. F. D., Garcia, R. F., & Marciano, C. R. (2022). Application of artificial intelligence for irrigation management: a systematic review. *Engenharia Agrícola*, 42(spe), e20210159.
- Andrady, A. L., Torikai, A., Redhwi, H. H., Pandey, K. K., & Gies, P. (2015). Consequences of stratospheric ozone depletion and climate change on the use of materials. *Photochemical & Photobiological Sci.*, 14(1), 170-184.
- Atanassova, I., & Doerr, S. H. (2011). Changes in soil organic compound composition associated with heat-induced increases in soil water repellency. *European Journal of Soil Science*, 62(4), 516-532.
- Balkrishna, A., Kaushik, P., Singh, S., Agrahari, P., Kumar, B., Kumar, P., & Arya, V. P. (2025). Potential use of sewage sludge as fertilizer in organic farming. *Cleaner Waste Systems*, 100245.
- Bayramoğlu, E., Ertek, A., & Demirel, Ö. (2013). Su tasarrufu amacıyla peyzaj mimarlığı uygulamalarında kısıntılı sulama yaklaşımı. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 3(7), 45-53.
- Bekele, D. (2020). The effect of tillage on soil moisture conservation: a review. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 6(10), 30-41.
- Bekele, S., & Tilahun, K. (2007). Regulated deficit irrigation scheduling of onion in a semiarid region of Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 89(1-2), 148-152.
- Biber, Ç., & Kara, T. (2006). Mısır bitkisinin bitki su tüketimi ve kısıtlı sulama uygulamaları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(1), 140-146.

- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1), 15.
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- Burak, S., & Margat, J. (2016). Water management in the Mediterranean region: concepts and policies. *Water Resources Management*, 30, 5779-5797.
- Çakmakçı, M. F., & Çakmakçı, R. (2023). Uzaktan algılama, yapay zekâ ve geleceğin akıllı tarım teknolojisi trendleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (52), 234-246.
- Çırak, C., & Esendal, E. (2006). Soyada kuraklık stresi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 231-237.
- Dinar, A., Tieu, A., & Huynh, H. (2019). Water scarcity impacts on global food production. *Global Food Security*, 23, 212-226.
- Evans, R. G., & Sadler, E. J. (2008). Methods and technologies to improve efficiency of water use. *Water Resources Research*, 44, W00E04.
- Fayrap, A. (2010). Erzincan Ovasında drenaj sularının sulamada kullanılabilirliği. *KSÜ Doğa Bilimleri Derg.*, 13(2), 8-16.
- Hudson, B. D. (1994). Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(2), 189-194.
- Kanber, R., Çullu, M. A., Kendirli, B., Antepli, S., & Yılmaz, N. (2005). Sulama, drenaj ve tuzluluk. *Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi*.
- Kök, F. (2021). Organik atıkların yönetimi, geri dönüşümü ve uygulamaları. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(2), 99-108.

- Kuper, M., Philippei J. P., & Zwarteveen, M. (2017). Intrduction: Pandaor Hydra? The untold stories of drip irrigation. Philippei J. P., Kuper, M., & Zwarteveen, M. (Eds.). Drip irrigation for agriculture: Untold stories of efficiency, innovation and development. Taylor & Francis. 1-16.
- Mancosu, N., Snyder, R. L., Kyriakakis, G., & Spano, D. (2015). Water scarcity and future challenges for food production. *Water*, 7(3), 975-992.
- McIlwaine, S., & Redwood, M. (2010). The use of greywater for irrigation of home gardens in the Middle East: Technical, social and policy issues. *Waterlines*, 90-107.
- Meza, I., Siebert, S., Döll, P., Kusche, J., Herbert, C., Eyshi Rezaei, E., Nouri, H., Gerdener, H., Popat, E., Frischen, J., Naumann, G., Vogy, J. V., Walz, Y., Sebesvari, Z., & Hagenlocher, M. (2020). Global-scale drought risk assessment for agricultural systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(2), 695-712.
- Navarro-Hellín, H., Torres-Sánchez, R., Soto-Valles, F., Albaladejo-Pérez, C., López-Riquelme, J. A., & Domingo-Miguel, R. (2015). A wireless sensors architecture for efficient irrigation water management. *Agricultural Water Management*, 151, 64-74.
- Nazir, M. J., Li, G., Nazir, M. M., Zulfiqar, F., Siddique, K. H., Iqbal, B., & Du, D. (2024). Harnessing soil carbon sequestration to address climate change challenges in agriculture. *Soil and Tillage Research*, 237, 105959.
- Oteng-Pepurah, M., Acheampong, M. A., & DeVries, N. K. (2018). Greywater characteristics, treatment systems, reuse strategies and user perception—a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(8), 255.

- Özer, H., Karadoğan, T., & Oral, E. (1997). Bitkilerde su stresi ve dayanıklılık mekanizması. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 28(3), 488-495.
- Patel, N., & Rajput, T. B. S. (2013). Effect of deficit irrigation on crop growth, yield and quality of onion in subsurface drip irrigation. International Journal of plant production, 7(3), 417-436.
- Pereira, L. S., Oweis, T., & Zairi, A. (2002). Irrigation management under water scarcity. Agricultural Water Management, 57(3), 175-206.
- Sahin, U. (2024). Improper water use and biodiversity loss. In M.E. Aydin, K. Sahin, S. Ercisli (Eds.), Biodiversity Agriculture and Food. Turkish Academy of Sciences, TUBA.
- Salabgir, S., & Budak, D. B. (2020). Aşağı Seyhan ovasında açık ve kapalı sulama sistemlerinin üreticiler tarafından değerlendirilmesi. Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 37(2), 104-111.
- Schwartz, R. C., Baumhardt, R. L., & Evett, S. R. (2010). Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. Soil and Tillage Research, 110(2), 221-229.
- Sharma, B., Vaish, B., Monika, Singh, U. K., Singh, P., & Singh, R. P. (2019). Recycling of organic wastes in agriculture: an environmental perspective. International journal of environmental research, 13, 409-429.
- Sharma, P., Abrol, V., Sharma, K. R., Sharma, N., Phogat, V. K., & Vikas, V. (2016). Impact of conservation tillage on soil organic carbon and physical properties—a review. International Journal of Bio-resource and Stress Management, 7(1), 151-161.

- Sugurbekova, G., Nagyzbekkyzy, E., Sarsenova, A., Danlybayeva, G., Anuarbekova, S., Kudaibergenova, R., Frochot, C., Acherar, S., Zhatkanbayev, Y., & Moldagulova, N. (2023). Sewage sludge management and application in the form of sustainable fertilizer. *Sustainability*, 15(7), 6112.
- Suvendran, S., Johnson, D., Acevedo, M., Smithers, B., & Xu, P. (2024). Effect of Irrigation Water Quality and Soil Compost Treatment on Salinity Management to Improve Soil Health and Plant Yield. *Water*, 16(10), 1391.
- Şahin, H. (2024). Tarımsal akıllı sulama sistemlerinde yapay zekâ, derin öğrenme ve nesnelerin interneti uygulamaları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 20(1), 41-60.
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial intelligence in agriculture*, 4, 58-73.
- UNDRR, (2019). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland. <https://gar.unisdr.org>, last access: 7 June 20125.
- Uygan, D., Hakgören, F., & Büyüktaş, D. (2006). Eskişehir sulama şebekesinde drenaj sularının kirlenme durumu ve sulamada kullanma olanaklarının belirlenmesi. *Akdeniz University J. of the Faculty of Agriculture*, 19(1), 47-58.
- Van der Kooij, S., Zwarteveen, M., Boesveld, H., & Kuper, M. (2013). The efficiency of drip irrigation unpacked. *Agricultural Water Management*, 123, 103-110.
- WBG, (2025). World Bank Group. Renewable internal freshwater resources per capita. <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC>

- Wei, H., Xu, W., Kang, B., Eisner, R., Muleke, A., Rodriguez, D., deVoil, P., Sadras, V., Monjardion, M., & Harrison, M. T. (2024). Irrigation with artificial intelligence: problems, premises, promises. *Human-Centric Intelligent Systems*, 4(2), 187-205.
- Yerli, C. (2024). Determination of the effects of irrigation with recycled wastewater and biochar treatments on crop and soil properties in maize cultivation. *Journal of Water and Climate Change*, 15(8), 3792-3814.
- Yılmaz, E., & Alagöz, Z. (2008). Organik madde toprak suyu ilişkisi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 1(2), 15-21.
- Yüzbaşıoğlu, R. (2022). Üreticilerin sulama bilinç düzeyi ve bilinç düzeyini etki eden faktörler: tokat ili merkez ilçe örneği. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(11), 2276-2282.
- Zhang, Y., & Shen, Y. (2019). Wastewater irrigation: past, present, and future. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(3), e1234.

KAPALI DRENAJ SİSTEMLERİYLE SÜRDÜRÜLEBİLİR TOPRAKSIZ TARIM: TÜRKİYE’NİN SU YÖNETİMİ VE TARIMSAL GELECEĞİ

Eser ÇELİKTOPUZ¹

Mustapha Yakubu DAUDA²

1. TÜRKİYE’DE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ BASKILAR

1.1. Küresel Çerçeve

Küresel iklim değişikliği, 21. yüzyılın en önemli çevresel sorunlarından biri olarak tanımlanmakta ve özellikle tarım sektörü üzerinde büyük baskılar oluşturmaktadır (IPCC, 2021). Artan atmosferik sera gazı konsantrasyonları, ortalama sıcaklıkların yükselmesine, yağış rejimlerinin bozulmasına ve aşırı iklim olaylarının (kuraklık, sel, sıcak hava dalgaları) sıklığında artışa yol açmaktadır. FAO (2020) raporuna göre, tarımsal üretim suya bağımlılığı nedeniyle iklim değişikliğine karşı en kırılgan sektörlerden biridir.

1.2. Türkiye’nin İklimsel Kırılganlığı

Türkiye, coğrafi olarak Akdeniz İklim Kuşağı’nda bulunmakta ve bu bölge, küresel iklim değişikliğine karşı en hassas alanlardan biri olarak tanımlanmaktadır (Çeliktöpus,

¹ Doçent Doktor, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana 01330, Türkiye. eceliktöpus@cu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5355-1717.

² Yüksek Lisans Öğrencisi, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana 01330, Türkiye, mustaphaydauda@gmail.com. ORCID: 0009-0006-9619-9094.

2024a). IPCC'nin AR6 raporunda (2021), Akdeniz Havzası'nın gelecekte yağış azalması ve kuraklık riskinin artışı açısından "hotspot" bölge olarak işaret edildiği belirtilmiştir. Türkiye'de ortalama sıcaklıklar 1970'lerden itibaren belirgin bir şekilde artış göstermektedir. Türk Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre, son 50 yılda yıllık ortalama sıcaklık yaklaşık 1,5 °C yükselmiştir. Bu artış, tarımsal üretimde sulama ihtiyacının artması, bitki gelişim dönemlerinin kısalması ve verim düşüşleri gibi riskleri beraberinde getirmektedir (Çeliktöpus, 2024b).

1.3. Su Kaynaklarının Durumu

Türkiye'de kullanılabilir yıllık tatlı su miktarı yaklaşık 112 milyar m³ olup, kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1300–1500 m³/yıl civarındadır (DSİ, 2022). Bu değer, Türkiye'yi "su stresi yaşayan ülkeler" kategorisine sokmaktadır. Harmancıoğlu ve Altınbilek (2020) projeksiyonlarına göre, mevcut eğilimler devam ederse 2030 yılına kadar kişi başına su miktarı 1000 m³ seviyesinin altına düşecek ve Türkiye "su fakiri" ülkeler arasına girecektir. Su kaynakları dağılımı da ülke genelinde eşit değildir. Karadeniz Bölgesi yıllık 2300 mm'ye ulaşan yağışlarla nispeten su zengini iken, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ciddi kuraklık baskısı altındadır (Oztürk ve ark., 2015). Bu durum, tarımsal üretimde bölgesel dengesizlikler yaratmakta, özellikle Güneydoğu Anadolu'da sulama ihtiyacını artırmaktadır.

1.4. İklim Senaryoları ve Türkiye Projeksiyonları

Çeliktöpus (2024a) "Türkiye'nin İklim Değişikliği Koşullarında Yağış ve Büyüme Sezonu Eğilimleri" başlıklı çalışması, iklim projeksiyonlarının özellikle yaz yağışlarında belirgin azalma öngördüğünü rapor etmiştir. Çalışmada, 2040–2059 döneminde SSP3-7.0 senaryosu altında:

- Türkiye'nin batısında yağışlarda %15–20 azalma,
- İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'da yaz kuraklıklarının şiddetlenmesi,
- Büyüme sezonlarının daha sıcak ve kısa olması öngörülmektedir.

Çeliktöpus (2024b) tarafından yapılan diğler bir çalışma ise, sıcaklık artışının 2–4 °C arasında olacağını ve bu durumun sulama suyu ihtiyacını %30–40 artıracağını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Bozkurt ve Sen (2013) tarafından yapılan bölgesel iklim modellemeleri de, Türkiye'de özellikle yaz yağışlarının azalacağını, su kaynakları üzerindeki baskının artacağını doğrulamaktadır.

1.5. Tarımsal Üretim Üzerindeki Etkiler

Türkiye'de tarım sektörü, su kaynaklarının en büyük kullanıcısıdır. Toplam su tüketiminin yaklaşık %72'si sulamaya gitmektedir (DSİ, 2022). İklim değişikliğine bağılı olarak artan sıcaklıklar ve azalan yağışlar:

- Sulama ihtiyacını artırmakta,
- Verim kayıplarına yol açmakta,
- Ürün deseninde değişiklikleri zorunlu kılmaktadır.

Örneğın, Güneydoğu Anadolu'da pamuk ve mısır gibi su tüketimi yüksek ürünlerin sürdürülebilirliği risk altındadır. Akdeniz Bölgesi'nde sebze üretiminde sulama ihtiyacı %20–30 oranında artarken, İç Anadolu'da buğday ve arpa gibi tahılların veriminde düşüşler beklenmektedir. Ayrıca, yeraltı sularının aşırı kullanımı da ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Konya Kapalı Havzası'nda aşırı yeraltı suyu çekimi nedeniyle obrukların oluşması, su kaynaklarının tükenme riskini gözler önüne sermektedir (Demir, 2022).

1.6. Politika Ve Su Yönetimi Tartışmaları

Türkiye’de iklim değişikliği ve su yönetimi konularında çeşitli strateji belgeleri hazırlanmıştır. Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı (2011–2023) ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü stratejileri, suyun verimli kullanımını teşvik etmektedir. Ancak, uygulamada açık sistem sulama yöntemlerinin hâlen yaygın olması, suyun %50’ye varan oranlarda kaybına neden olmaktadır. Bu bağlamda, kapalı sulama sistemlerine geçiş, tarımda suyun yeniden kullanımı ve topraksız kültür uygulamalarının yaygınlaştırılması Türkiye’nin iklim değişikliğine uyum sürecinde kritik araçlar olarak öne çıkmaktadır (Gul ve ark., 2007; Savvas ve ark., 2023).

2. TOPRAKSIZ TARIMIN TÜRKİYE’DEKİ YÜKSELİŞİ

2.1. Tarihsel Gelişim ve Genel Eğilimler

Türkiye’de örtüaltı tarımı ilk kez 1940’lı yıllarda Antalya’da başlamış, 1980’lerden sonra hızla artarak ülke tarımında önemli bir yer edinmiştir (Tüzel ve ark., 2005). Günümüzde toplam sera alanı 800.000 dekara yaklaşmıştır ve bunun yaklaşık %90’ı Akdeniz ve Ege bölgelerinde yoğunlaşmaktadır (Saltuk ve Artun, 2018).

Topraksız tarım, Türkiye’de özellikle 1990’lı yıllardan sonra üniversiteler, araştırma enstitüleri ve özel sektör işbirliği ile gelişmeye başlamıştır. İlk uygulamalar Antalya ve İzmir’de domates üretimiyle yapılmış, daha sonra biber, salatalık, çilek ve son dönemde yaban mersini (blueberry) gibi yüksek katma değerli ürünlerde yaygınlaşmıştır (Çeliktopuz, 2024c). Bugün Türkiye’de topraksız tarım yapılan alanın 20.000 dekarı geçtiği tahmin edilmektedir. Bu alanlar özellikle perlit, kaya yünü ve

cocopeat substratları kullanılarak kurulmuş seralarda yoğunlaşmaktadır (Savvas ve ark., 2023).

2.2. Topraksız Tarım Sistemlerinin Avantajları

Topraksız tarım sistemleri, Türkiye’de giderek artan şekilde tercih edilmesinin birçok nedeni vardır:

Su Kullanım Etkinliği: Geleneksel topraklı tarıma göre %30–50 daha az su kullanılmaktadır (Putra ve Yuliando, 2015).

Besin Yönetimi: Bitkilere ihtiyaç duydukları besin elementleri tam kontrolle verilmektedir.

Hastalık ve Tuzluluk Yönetimi: Özellikle Akdeniz bölgesindeki ağır ve tuzlu topraklarda üretim avantajı sağlamaktadır.

Yüksek Verim ve Kalite: Domates, biber gibi ürünlerde %20–30 daha yüksek verim rapor edilmiştir (Gul ve ark., 2007).

İhracat Potansiyeli: Avrupa pazarına uygun kalitede, kalıntısız ve izlenebilir üretim imkânı sunmaktadır (Balliu ve ark., 2021).

Bu nedenlerle, topraksız tarım sistemleri yalnızca teknik bir tercih değil, aynı zamanda sürdürülebilir tarım ve ihracat stratejisi açısından da büyük önem taşımaktadır.

2.3. Açık ve Kapalı Sistemler: Türkiye’deki Mevcut Durum

Türkiye’de topraksız tarımda hâlen açık sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Açık sistemlerde kullanılan besin çözeltisinin %20–30’u drenajla kaybedilmekte, hem ekonomik kayıplar hem de çevresel kirlilik riskleri ortaya çıkmaktadır (Akat Saraçoğlu, 2023). Kapalı sistemler ise besin çözeltisinin toplanıp tekrar kullanılmasını sağlamaktadır. Antalya koşullarında yapılan çalışmalarda kapalı sistemlerin:

Su tüketimini %40, Gübre tüketimini %30, Çevresel azot kirliliğini önemli ölçüde azalttığı gösterilmiştir (Gul ve ark.,

2007; Savvas ve ark., 2023). Çeliktöpus (2024c) topraksız költürde yaban mersini yetiştiriciliğinde fertigasyon yönetimi üzerine yaptığı çalışmada, kapalı sistemlerin yalnızca su ve besin etkinliğı değıl, aynı zamanda ürün kalitesi ve pazar değeriinde de artış sağladığını belirtmiştir.

2.4. Bölgesel Eğilimler

Antalya ve Mersin: Türkiye'nin topraksız tarımın en yoğun olduğı bölgeler. Özellikle domates, biber ve çilek üretimi yoğun.

İzmir ve Manisa: Çiçekçilik ve süs bitkilerinde substrat költürü yaygın.

Karadeniz: Yeni yeni denemeler, özellikle fındık ve kivi dışında alternatif ürün arayışları.

İç Anadolu (Konya, Kayseri): Yeraltı suyu sıkıntısı nedeniyle topraksız tarıma olan ilgi artıyor.

2.5. Adana Karataş Organize Sera Bölgesi

Türkiye'de son yılların en dikkat çekici gelişmelerinden biri, Adana'nın Karataş ilçesinde kurulacak olan 3000 dönümlük Organize Sera Bölgesi'dir. Bu proje, Türkiye'nin en büyük organize sera kompleksi olma özelliğini taşımaktadır. Karataş bölgesi, hafif bünyeli, tuzluluk ve drenaj problemleri olan topraklara sahiptir (Kaman ve ark., 2011). Bu nedenle bölgede yapılacak seracılığın büyük oranda topraksız tarım sistemlerine dayalı olması gerekmektedir.

Karataş OSB'nin stratejik önemi:

Su kıtlığına uyum: Kapalı sistemlerle su tasarrufu sağlanabilecek.

İhracat odaklı üretim: Avrupa pazarına yönelik kalıntısız sebze-meyve üretimi.

İstihdam katkısı: Bölge halkı için yeni iş imkânları.

İnovasyon merkezi: Modern seracılıkta Ar-Ge ve teknoloji kullanımının yaygınlaştırılması.

Bu yönüyle Karataş, Türkiye’de topraksız tarımın simge bölgelerinden biri olmaya adaydır.

2.6. Türkiye’nin Stratejik Vizyonu

Türkiye’nin topraksız tarımda geleceğe yönelik vizyonu üç ana eksenle özetlenebilir:

2.6.1. Su ve Gübre Verimliliği

Kapalı sistemlerin yaygınlaştırılması.

2.6.2. Yüksek Katma Değerli Ürünler

Yaban mersini, çilek, tıbbi aromatik bitkiler gibi ürünlerde topraksız üretim.

2.6.3. Politika ve Destek Mekanizmaları

Devlet teşvikleri, AB standartlarına uyum ve eğitim programları.

Literatür bu vizyonun yalnızca teknik değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından da kritik olduğunu göstermektedir (Savvas ve ark., 2023; Balliu ve ark., 2021).

3. KAPALI DRENAJ SİSTEMLERİ: SU GERİ KULLANIMININ ANAHTARI

3.1. Açık ve Kapalı Sistemlerin Karşılaştırması

Topraksız tarımda kullanılan besin çözeltilerinin yönetimi, üretimin sürdürülebilirliği açısından kritik bir faktördür. Açık sistemlerde, verilen besin çözeltisinin önemli bir kısmı drenajla kaybolur ve tekrar kullanılmaz. Bu durum hem su

ve gübre israfına hem de çevresel kirliliğe yol açar. Örneğin, Antalya’da yapılan çalışmalarda domates üretiminde açık sistemlerde kullanılan gübrenin %25–30’unun drenajla kaybolduğu rapor edilmiştir (Gul ve ark., 2007). Kapalı sistemlerde ise drenaj suyu toplanır, arıtılır ve tekrar bitkilere verilir. Bu yaklaşım, su ve besin maddelerinin döngüsellliğini sağlayarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik yaratır (Savvas ve ark., 2023). Hollanda’da yürütülen sıfır drenaj politikaları, kapalı sistemlerin bu ülkede standart haline gelmesine yol açmıştır (Van Os, 1999).

3.2. Kapalı Sistemlerde Su ve Gübre Kullanım Etkinliği

Kapalı sistemlerde su geri kullanımı sayesinde:

- %30–50 su tasarrufu sağlanabilir (Putra ve Yuliando, 2015).
- %20–40 gübre tasarrufu mümkündür (Mielcarek ve ark., 2024).

Yeraltı ve yüzey sularına nitrat ve fosfor sızıntısı minimize edilir. Türkiye’de yapılan çalışmalarda, kapalı sistemlerde domates ve biber üretiminde hem su hem de besin kullanımında belirgin verimlilik artışları kaydedilmiştir (Gul ve ark., 2007; Akat Saraçoğlu, 2023). Çeliktöpus’ün (2024c) topraksız kültürde yaban mersini yetiştiriciliğinde fertigasyon yönetimi üzerine yaptığı araştırmalar, kapalı sistemlerde su ve besin geri dönüşümünün ürün kalitesini artırdığını, aynı zamanda pH ve EC yönetiminin daha kolay sağlandığını göstermiştir.

3.3. Uluslararası Deneyimler

Hollanda: “Zero discharge” politikası ile tüm seralarda kapalı sistemler uygulanmaktadır (Raviv ve ark., 2019). Drenajın yeniden kullanımı, AB çevre regülasyonlarının bir gerekliliği haline gelmiştir.

İspanya (Almería): Kapalı sistemler tuzluluk ve pestisit kalıntılarının azaltılmasında kullanılmakta, drenaj suları arıtılarak tekrar seralara verilmektedir (Santos ve ark., 2022).

Japonya: NFT ve derin su kültürü sistemlerinde UV ve ozon bazlı dezenfeksiyon rutin hale gelmiştir (Takayama ve ark., 2024). Bu ülkelerde edinilen tecrübeler, Türkiye için önemli yol gösterici niteliktedir.

3.4. Kapalı Sistemlerde Karşılaşılan Riskler

Her ne kadar kapalı sistemler birçok avantaj sunsa da, beraberinde bazı riskleri de barındırmaktadır:

- Tuzluluk ve İyon Birikimi
- Na^+ ve Cl^- iyonlarının birikmesi verim kayıplarına neden olabilir.
- Lim ve ark., (2024), kapalı sistemlerde tuz yönetimi için periyodik drenaj boşaltımının şart olduğunu vurgulamaktadır.

3.4.1. Kök Eksudatları (Ototoksiste)

Bitki köklerinden salınan fenolik bileşikler, kapalı devrede birikerek büyümeyi engelleyebilir (Asaduzzaman ve Asao, 2020). GAC (granüler aktif karbon) ve ozonlama, bu bileşiklerin uzaklaştırılmasında etkilidir (Hosseinzadeh ve ark., 2017).

3.4.2. Mikrobiyal Riskler

Salmonella, Listeria gibi patojenler sistemde dolaşabilir (Takayama ve ark., 2024). Antibiyotik dirençli bakteriler (ARB) ve direnç genleri (ARG) kapalı devrelerde yayılabilir (Lam ve ark., 2020). Bu nedenle çoklu bariyer (UV + ozon + filtrasyon) sistemleri önerilmektedir.

3.4.3. Kalıcı Organik Kirleticiler

Pestisit kalıntıları ve kök kaynaklı organikler, drenaj suyunun güvenle yeniden kullanımını zorlaştırabilir. Biyolojik arıtım (ör. beyaz çürükçül mantarların lakkaz enzimleri) bu kirleticilerin parçalanmasında umut verici bulunmuştur (Dauda ve Erkurt., 2019).

3.5. Arıtım Teknolojileri

Kapalı drenaj sistemlerinde güvenli geri kullanım için farklı arıtım teknolojileri kullanılmaktadır:

UV dezenfeksiyon: Mikroorganizmaları etkili şekilde inaktive eder (Takayama ve ark., 2024).

Ozonlama ve ileri oksidasyon: Organik eksudatların parçalanmasında etkilidir (Hosseinzadeh ve ark., 2017).

Granüler aktif karbon (GAC): Kök eksudatları ve pestisit kalıntılarının giderilmesinde etkilidir (Hosseinzadeh ve ark., 2017).

Membran filtrasyonu: Antibiyotik dirençli bakterilerin tutulmasında etkilidir (Raviv ve ark., 2019).

Biyolojik çözümler: Fungal lakkazlar ile kalıcı kirleticilerin parçalanması umut verici sonuçlar vermektedir.

Türkiye’de, özellikle Antalya ve İzmir’de bazı büyük ölçekli işletmeler bu teknolojileri entegre etmeye başlamış olsa da, küçük üreticiler için maliyet önemli bir engeldir.

3.6. Türkiye İçin Stratejik Önemi

Türkiye’nin su kaynakları üzerindeki baskılar dikkate alındığında, kapalı sistemlerin yaygınlaştırılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Karataş OSB gibi büyük sera projelerinde toprak yapısı nedeniyle topraksız ve kapalı sistemlerin zorunlu hale gelmesi, bu dönüşümün hızlanacağını göstermektedir.

Türkiye'nin öncelikleri şunlar olmalıdır:

- Teknik eğitim ve bilgi transferi (çiftçilerin kapalı sistemleri yönetebilmesi).
- Finansal teşvikler (yatırım maliyetlerinin azaltılması).
- Arıtım teknolojilerinin yaygınlaştırılması (özellikle UV ve ozon sistemleri).

Politika uyumu: AB 2020/741 su yeniden kullanım yönetmeliği ile uyumlu ulusal standartların geliştirilmesi (Truchado ve ark., 2021).

3.7. Gelecek Vizyonu

Akıllı sensörler: İyon-seçici elektrotlar ile besin çözeltisinin anlık izlenmesi (Ahn ve ark., 2021).

Karar destek sistemleri: Optimum gübre ve su yönetimi için yapay zekâ tabanlı yazılımlar.

Çapraz ürün geri dönüşümü: Domates drenajının marul veya süs bitkilerinde kullanılması (Santos ve ark., 2022).

Sıfır atık hedefi: Türkiye'nin de Hollanda'daki gibi "zero discharge" politikası benimsemesi.

4. LİTERATÜRDEKİ TARTIŞMALAR VE TÜRKİYE İÇİN ÖNCELİKLER

4.1. Literatürdeki Temel Eğilimler

Topraksız tarım ve kapalı drenaj sistemleri üzerine yapılan araştırmalar, su ve besin kullanım etkinliği, çevresel sürdürülebilirlik, hastalık yönetimi ve ekonomik uygulanabilirlik ekseninde yoğunlaşmaktadır. Avrupa'da Hollanda, İspanya gibi ülkeler uzun süredir kapalı sistemlerde üretim yaparken, Türkiye'de hâlen açık sistemler baskındır. Ancak iklim değişikliği ve su kıtlığı nedeniyle literatürde kapalı sistemlere

geçişin kaçınılmaz olduğu vurgulanmaktadır (Savvas ve ark., 2023).

4.2. Su ve Gübre Yönetimi Tartışmaları

Türkiye’de yapılan çalışmalar, kapalı sistemlerde %30–40 oranında su ve gübre tasarrufu sağlandığını göstermektedir (Gul ve ark., 2007). Ancak drenaj suyunun tekrar kullanımı tuzluluk birikimi, kök eksudatları ve mikrobiyal bulaşma gibi sorunlar doğurabilmektedir. Bu nedenle literatürde, arıtım teknolojilerinin (UV, ozon, membran filtrasyonu, biyolojik çözümler) entegrasyonu gerektiği tartışılmaktadır (Mielcarek ve ark., 2024).

4.3. Sosyo-Ekonomik ve Politik Boyutlar

Türkiye’de küçük ve orta ölçekli üreticilerin kapalı sistemlere geçişinde yatırım maliyeti en önemli engellerden biridir. Gul ve ark., (2007), küçük üreticilerin basit kapalı sistemler ile eğitilerek bu sürece adapte edilebileceğini savunmuştur. Öte yandan, AB’nin 2020/741 sayılı Su Yeniden Kullanım Yönetmeliği ile uyumlu ulusal standartların geliştirilmesi gerektiği sıkça vurgulanmaktadır (Costa ve ark., 2019).

4.4. Türkiye İçin Öncelikler

Teknoloji Transferi ve Eğitim: Üreticilerin kapalı sistemlerde drenaj yönetimi, EC-pH optimizasyonu ve dezenfeksiyon teknikleri konusunda eğitilmesi.

Arıtım Teknolojilerinin Yaygınlaştırılması: UV ve ozonlama gibi düşük maliyetli çözümlerin, özellikle Antalya ve Adana gibi yoğun seracılık bölgelerinde standart hale getirilmesi.

Bölgesel Pilot Projeler: Karataş OSB gibi mega projelerde kapalı sistemlerin zorunlu hale getirilmesi ve sonuçlarının izlenmesi.

Sürdürülebilir Büyüme Ortamları: Domates atıkları, biyokömür gibi alternatif substratların değerlendirilmesi (Gül, 2009).

İklim Değişikliğine Uyum: Türkiye gibi Akdeniz ve yarı kurak iklimlerde, kapalı veya yarı-kapalı sera sistemleri, iklim değişikliğine uyumda giderek daha fazla stratejik öncelik kazanmaktadır. Bu sistemler, su ve enerji verimliliği, ürün kalitesi ve sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunar.

Kapalı Sistemlerin Temel Avantajları;

Su ve Enerji Verimliliği: Kapalı seralar, suyun %50-80'ini geri kazanabilir ve geleneksel seralara göre enerji tüketimini azaltabilir. Bu, özellikle su kıtlığı ve enerji maliyetlerinin arttığı bölgelerde büyük avantaj sağlar (Rufi-Salís ve ark.,2020; Jemai ve ark., 2022).

İklim Kontrolü ve Ürün Verimi: Sıcaklık, nem, ışık ve CO₂ seviyelerinin hassas kontrolü sayesinde, kapalı seralarda ürün verimi %10-20 oranında artabilir. Ayrıca, hastalık ve zararlı riskleri azalır, pestisit kullanımı minimize edilir (Gruda ve ark., 2019; Jemai ve ark., 2022).

Yenilikçi Teknolojiler: Isı pompası, ısı değiştirici, termal enerji depolama ve model tabanlı kontrol sistemleri gibi teknolojiler, kapalı seraların yıl boyu optimum koşullarda çalışmasını sağlar ve enerji maliyetlerini düşürür (Vadiee ve ark., 2013; Mahmood ve ark., 2021).

Ekonomik ve Sürdürülebilirlik Boyutu

Yatırımın Geri Dönüşü: Kapalı sera sistemlerinde yapılan yatırımlar, enerji ve su tasarrufları sayesinde 5-8 yıl gibi sürelerde geri dönebilir (Vadiee ve ark., 2013).

Sürdürülebilir Üretim: Kapalı sistemler, iklim değişikliğinin getirdiği aşırı sıcaklık, kuraklık ve su stresi gibi

risklere karşı daha dirençli, sürdürülebilir bir üretim modeli sunar (Gruda ve ark., 2019; Jemai ve ark., 2022).

4.5. Literatürle Tartışmalı Noktalar

Su verimliliği konusunda literatürde güçlü bir fikir birliği var, ancak ekonomik uygulanabilirlik hâlen tartışmalı. Kök eksudatlarının toksik etkileri bazı araştırmalarda ciddi problem olarak görülürken (Asaduzzaman ve Asao, 2020), bazı çalışmalarda biyolojik arıtımla yönetilebilir olduğu belirtiliyor (Savvas ve ark., 2023). Politika düzeyinde, Türkiye'nin henüz AB standartlarını tam olarak benimsemediği ve bu nedenle ihracat rekabetinde risk taşıdığına dikkat çekilmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmanın ortaya koyduğu bulgular, Türkiye'de topraksız tarımın, özellikle kapalı drenaj sistemleri ile entegre edildiğinde, iklim değişikliğine uyum ve su kaynaklarının korunması açısından stratejik bir öncelik taşıdığını göstermektedir. İklim projeksiyonları, önümüzdeki on yıllarda Türkiye'de sulama ihtiyacının artacağını, yağış rejimlerinin bozulacağını ve tarımsal üretimin daha kırılgan hale geleceğini ortaya koymaktadır (Çeliktöpus, 2024a; Bozkurt ve Sen, 2013). Bu koşullar altında, kapalı sistemler su ve besin geri dönüşümünü mümkün kılarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik sunmaktadır (Savvas ve ark., 2023; Gül ve ark., 2007).

Bununla birlikte, drenaj suyunun tekrar kullanımında tuzluluk birikimi (Lim ve ark., 2024), kök eksudatlarının ototoksik etkileri (Asaduzzaman ve Asao, 2020) ve mikrobiyal riskler (Takayama ve ark., 2024; Lam ve ark., 2020) literatürde öne çıkan teknik engellerdir. Bu nedenle, UV, ozonlama, membran filtrasyonu ve biyolojik çözümler gibi çoklu arıtım

teknolojilerinin entegrasyonu hayati önem taşımaktadır (Hosseinzadeh ve ark., 2017; Dauda ve Erkurt, 2019).

Türkiye'nin öncelikleri; çiftçilerin teknik bilgi ve yetkinliklerinin artırılması, finansal destek mekanizmalarının geliştirilmesi, bölgesel pilot projelerin hayata geçirilmesi ve AB standartları ile uyumlu ulusal düzenlemelerin oluşturulmasıdır (Truchado ve ark., 2021; Costa ve ark., 2019). Adana Karataş OSB örneği, ülke genelinde topraksız tarımın yaygınlaştırılması için kritik bir laboratuvar işlevi görebilir.

Sonuç olarak, Türkiye'de kapalı drenaj sistemli topraksız tarım, yalnızca mevcut su kıtlığına bir çözüm değil, aynı zamanda tarımsal üretimin geleceği için zorunlu bir dönüşüm alanıdır. Bu dönüşüm, sürdürülebilir üretim, çevresel koruma ve uluslararası rekabet gücü açısından vazgeçilmezdir.

KAYNAKLAR

- Ahn, T. I., Shin, J. H., & Son, J. E. (2021). Theoretical and experimental analyses of nutrient control in electrical conductivity-based nutrient recycling soilless culture system. *Frontiers in Plant Science*, 12, 656403. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.656403>
- Akat Saraçoğlu, Ö. (2023). Use of waste nutrition solution in soilless ornamental kale cultivation under saline conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 25(4), 765–777. Link
- Asaduzzaman, M., & Asao, T. (2020). Autotoxicity in strawberry under recycled hydroponics and its mitigation methods. *The Horticulture Journal*, 89(2), 124-137. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-R009>
- Balliu, A., Zheng, Y., Sallaku, G., Fernández, J. A., & Gruda, N. S. (2021). Environmental and cultivation factors affect the morphology, architecture and performance of root systems in soilless grown plants. *Horticulturae*, 7(8), 243. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080243>
- Bozkurt, D., & Sen, O. L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology*, 480, 149–161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.021>
- Costa, J. M., Berckmoes, E., Beerling, E. A. M., Nicol, S., Jose, J., Garcia, J., & Cáceres, R. (2019). Water use in greenhouse horticulture: efficiency and circularity. EIP-AGRI.
- Çeliktöpez, E. (2024a). A Detailed Examination of Türkiye's Projected Precipitation and Growth Season Trends under Climate Change Condition. *Black Sea Journal of*

- Agriculture, 7(3), 215-223.
<https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1416956>
- Çeliktöpez, E. (2024b). Forecasting some climate parameters of Türkiye using the SSP3-7.0 scenario for the years 2040–2059. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 8(1), 62-71.
<https://doi.org/10.31015/jaefs.2024.1.7>
- Çeliktöpez, Eser. (2024c). Topraksız Kültür Yaban Mersini (Blueberry) Yetiştiriciliğinde Fertigasyon Yönetimi. *Yaz Yayınları*, 1-23.
- Dauda, M. Y., & Erkurt, E. (2019). Investigation of reactive Blue 19 biodegradation and byproducts toxicity assessment using crude laccase extract from *Trametes versicolor*. *Journal of Hazardous Materials* 393 (2020) 121555
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121555>
- Demir, V. (2022). Trend analysis of lakes and sinkholes in the Konya Closed Basin, in Turkey. *Natural Hazards*, 112(3), 2873-2912.
- DSİ (Devlet Su İşleri). (2022). Türkiye'nin Su Potansiyeli ve Kullanımı. Ankara: DSİ Genel Müdürlüğü.
- FAO. (2020). The State of Food and Agriculture 2020: Overcoming water challenges in agriculture. Rome: FAO.
<https://doi.org/10.4060/cb1447en>
- Gruda, N., Bisbis, M., & Tanny, J. (2019). Influence of climate change on protected cultivation: Impacts and sustainable adaptation strategies - A review. *Journal of Cleaner Production*.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.03.210>.
- Gul, A., Engindeniz, S., & Aykut, N. (2007). Can closed substrate culture be an alternative for small-scale farmers?. *Acta Horticulturae*, 747, 83.

- Gül, A. (2009). A survey on the current status of soilless cultivation in Turkey. *Acta Horticulturae*.
- Harmancioglu, N. B., & Altinbilek, D. (Eds.). (2020). Water resources of Turkey. Springer International Publishing.
- Hosseinzadeh, S., Bonarrigo, G., Verheust, Y., Roccaro, P., & Van Hulle, S. (2017). Water reuse in closed hydroponic systems: Comparison of GAC adsorption, ion exchange and ozonation processes to treat recycled nutrient solution. *Aquacultural Engineering*, 78, 190-195.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jemai, N., Soussi, M., & Chaibi, M. (2022). Opportunities for Implementing Closed Greenhouse Systems in Arid Climate Conditions. *Horticulturae*. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121102>.
- Kaman, H., Çetin, M., & Kırdar, C. (2011). Monitoring and assessing of changes in soil and groundwater salinity of Yemisli Irrigation District of Turkey using low quality irrigation water. *Sci. Res. Essays*, 6, 1388-1396.
- Lam, K. L., Kong, W. P., Ling, P. Y., Lau, T. H., Ho, K. H., Lee, F. W. F., & Chan, P. L. (2020). Antibiotic-resistant bacteria in hydroponic lettuce in retail: A comparative survey. *Foods*, 9(9), 1327. <https://doi.org/10.3390/foods9091327>
- Lim, M. Y., Kim, S. H., Roh, M. Y., Choi, G. L., & Kim, D. (2024). Nutrient dynamics and resource-use efficiency in greenhouse strawberries: Effects of control variables in closed-loop hydroponics. *Horticulturae*, 10(8), 851. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080851>

- Mahmood, F., Govindan, R., Bermak, A., Yang, D., Khadra, C., & Al-Ansari, T. (2021). Energy utilization assessment of a semi-closed greenhouse using data-driven model predictive control. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129172>.
- Mielcarek, A., Kłobukowska, K., & Rodziejewicz, J. (2024). Water nutrient management in soilless plant cultivation versus sustainability. *Sustainability*, 16(1), 152. <https://doi.org/10.3390/su16010152>
- Ozturk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. (2015). Projections of climate change in the Mediterranean Basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology*, 35(14).
- Putra, P. A., & Yuliando, H. (2015). Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: A review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054>
- Raviv, M., Lieth, J. H., & Bar-Tal, A. (Eds.). (2019). *Soilless culture: Theory and practice: Theory and practice*. Elsevier.
- Raviv, M., Lieth, J. H., Bar-Tal, A., & Silber, A. (2019). Growing plants in soilless culture: operational conclusions. *Soilless Culture*, 545-571.
- Rufí-Salís, M., Petit-Boix, A., Villalba, G., Sanjuan-Delmás, D., Parada, F., Ercilla-Montserrat, M., Arcas-Pilz, V., Muñoz-Liesa, J., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2020). Recirculating water and nutrients in urban agriculture: An opportunity towards environmental sustainability and water use efficiency?. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121213>.

- Saltuk, B., & Artun, O. (2018). Multi-criteria decision system for greenhouse site selection n Lower Euphrates Basin using geographic nformation systems (GIS). *African Journal of Agricultural Research*, 13(47), 2716-2724.
- Santos, M. G., Moreira, G. S., Pereira, R., & Carvalho, S. M. P. (2022). Assessing the potential use of drainage from open soilless production systems: A case study. *Agricultural Water Management*, 273, 107906. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107906>
- Savvas, D., Giannothanas, E., Ntanasi, T., Karavidas, I., & Ntatsi, G. (2023). State of the art and new technologies to recycle the fertigation effluents in closed soilless cropping systems aiming to maximise water and nutrient use efficiency in greenhouse crops. *Agronomy*, 14(1), 61.
- Takayama, S., Zhang, Q., Zwe, Y. H., Li, D., Sano, D., & Oishi, W. (2024). Quantitative microbial risk assessment of antibiotic-resistant Salmonella enterica contaminating hydroponic leafy vegetables. *Microbial Risk Analysis*, 27, 100330. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2024.100330>
- Truchado, P., Gil, M. I., López, C., Garre, A., López-Aragón, R. F., Böhme, K., & Allende, A. (2021). New standards at European Union level on water reuse for agricultural irrigation. *International Journal of Food Microbiology*, 356, 109352. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109352>
- Tüzel, Y., Gül, A., Daşgan, H. Y., Özgür, M., Özçelik, N., Boyacı, H. F., & Ersoy, A. (2005). Örtüaltı Yetiştiriciliğinde Gelişmeler.
- Vadiee, A., & Martin, V. (2013). Thermal energy storage strategies for effective closed greenhouse design. *Applied*

Energy, 109, 337-343.
<https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2012.12.065>.

Van Os, E. A. (1999). Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. Water Science and Technology, 39(5), 105-112.

FROM WASTE TO RESOURCE: LIGNIN'S ROLE IN THE CIRCULAR BIOECONOMY IN FOREST PRODUCTS INDUSTRY

Merve CAMBAZOĞLU^{1*}

A. Berkay ŞAHİN²

1. INTRODUCTION

The accelerating pace of climate change has placed unprecedented pressure on global energy systems and resource utilization. It has already been well established by a number of researchers that greenhouse gas emissions, largely driven by fossil fuel combustion, have been identified as the dominant cause of global warming (Schwartz, 1993; Hosseini, 2022). It has been reported that the global mean surface temperature is approximately 1.1°C higher than pre-industrial levels (IPCC, 2023). If current emission trends continue, the global temperature increase is projected to exceed 1.5 °C within the next two decades, leading to severe socio-economic and ecological disruptions (Rogelj et al., 2018). In this context, the transition toward renewable carbon sources and the implementation of circular bioeconomy strategies are widely recognized as essential measures for achieving climate neutrality (Philp, 2018; Spani, 2020).

¹ Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Department of Forest Product Engineering, Isparta, Türkiye. mervecambazoglu@isparta.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5456-6454

² Ankara University, Department of Chemical Engineering, Ankara, Türkiye. berkysahin11@gmail.com, ORCID: 0009-0002-6156-2616.

The forest products industry occupies a unique position within this transition. It is a significant consumer of biomass resources, producing a diverse range of products such as lumber, pulp and paper, wood-based panels, and architectural materials (Sahin et al., 2021). On the other hand, it generates large volumes of lignocellulosic residues, including bark, sawdust, black liquor, and other process residues/wastes that remain underutilized in terms of value creation (Ross, 2010; Vishtal & Kraslawski, 2011). In conventional approaches, the majority of these lignocellulosic residues are burned on-site and/or off-site to generate process heat. Although direct burning is a route that recovers some energy, it results in the loss of valuable lignocellulosic sources that could serve as a raw material for higher-value products such as pulp and paper and wood-based panel products (Dessbesell et al., 2020).

From a compositional perspective, wood is a natural composite material composed primarily of cellulose (40–50%), hemicelluloses (20–30%), and lignin (15–30%), along with minor extractives and inorganic components (Young, 2008). However, lignin, the second most abundant natural renewable polymer after cellulose in the plant kingdom, plays a critical role in providing structural integrity in plant cell walls (Young, 2008; Li & Ragauskas, 2012). Despite its abundance and high carbon content, lignin has historically been regarded as a low-value waste of pulping processes, with more than 95% of industrial lignin currently combusted for energy recovery (Gosselink et al., 2011).

The growing urgency to decarbonize industrial value chains has brought renewed attention to lignin as a strategic renewable resource. Its aromatic nature makes it a potential substitute for fossil-derived phenols and aromatics used in resins, polymers, and fuels (Ragauskas et al., 2014). Numerous researchers have studied lignin not only for finding its exact

chemical structure but also for alternative utilization practices in industry. In this case, advances in isolation, fractionation, and catalytic depolymerization technologies have improved lignin's suitability for integration into bio-based material value chains, offering the forest products industry a pathway to both economic diversification and significant reductions in life cycle GHG emissions (Schutyser et al., 2018).

In this study, we have tried to explore the strategic opportunities for lignin within the circular bioeconomy, focusing on its general properties and potential applications, market perspectives, and the technological and policy frameworks that can enable its large-scale deployment. We aim to highlight its potential to become a cornerstone of sustainable material in circular industrial systems.

2. WHAT IS LIGNIN?

Lignin, one of the three major structural polymers in lignocellulosic biomass, is the most common natural polymer after cellulose in the plant kingdom (Young, 2008). During the formation of plant cells, the cell wall initially consists of molecules derived from proteins, carbohydrates, and fats. These are synthesized through photosynthesis, forming cell wall layers (primary and secondary walls) and chemical compounds within the cell wall, such as cellulose and hemicellulose. In the final stage of cell development, lignin is synthesized, and lignification within the cell results in the formation of rigid and durable cells. Cellulose, the primary structural element of the cell, provides strength, while lignin holds the cell wall components (cellulose and hemicellulose) together, giving plants their durability. Embedded within the plant cell wall, it provides mechanical strength, hydrophobicity, and resistance against microbial

degradation (Sahin et al., 2021; Young, 2008). The general plant cell (tree) characteristics are shown in Figure 1.

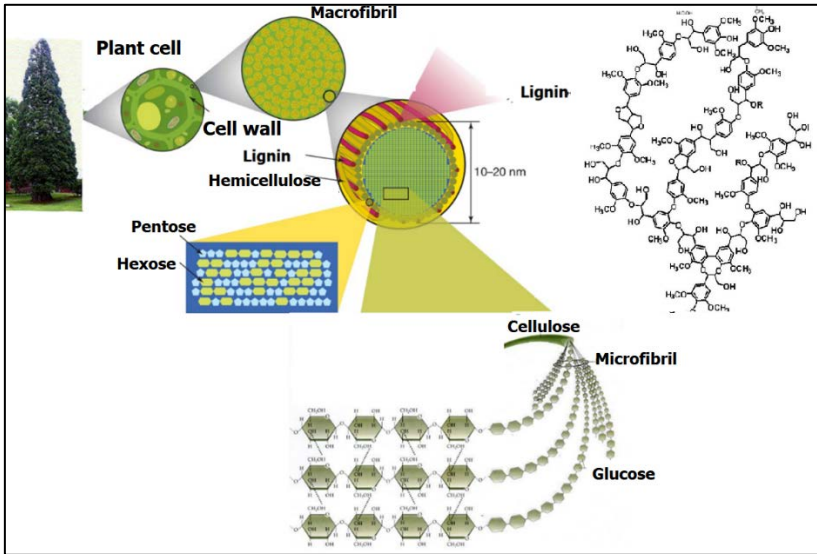


Figure 1. The general characteristics of a plant (Tree) cell.

Research into lignin chemistry has a long history, with significant advancements in characterization dating back to the mid-19'th century. Although biomass (wood) has common characteristics and properties, but in detail they has some chemical, physical and anatomical variations due to growing and atmospheric conditions (Ozkan et al., 2025). This is also a case for lignin. Hence, one of the primary reasons for limited utilization of lignin is its heteropolymer properties, due to the presence of different chemical groups in different plant materials (woody, herbaceous, annual plants, etc.) and even within the same plant (Young, 2008). This leads to the production of lignin with varying polymeric properties from different plants.

Chemically, lignin is composed of three primary phenylpropanoid monomers: guaiacyl (G), syringyl (S), and p-hydroxyphenyl (H) linked by a variety of carbon-carbon (C-C) and ether (C-O-C) bonds (Fengel and Wegener 2011). The

relative abundance of these units varies among biomass types: softwoods are rich in G units, hardwoods contain a balanced G/S composition with minor H content, and herbaceous biomass presents a mixture of G and H units (Young, 2008). Among the linkages, β -O-4 bonds are the most prevalent (up to 50%), followed by 5-5 (3.5–25%), β -5 (4–10%), and α -O-4 (3–5%) (Fengel and Wegener 2011). This structural diversity and bond distribution critically influence lignin's suitability for chemical or biochemical conversion processes. Figure 2 shows the basic chemical characteristics of biomass in terms of lignin chemistry.

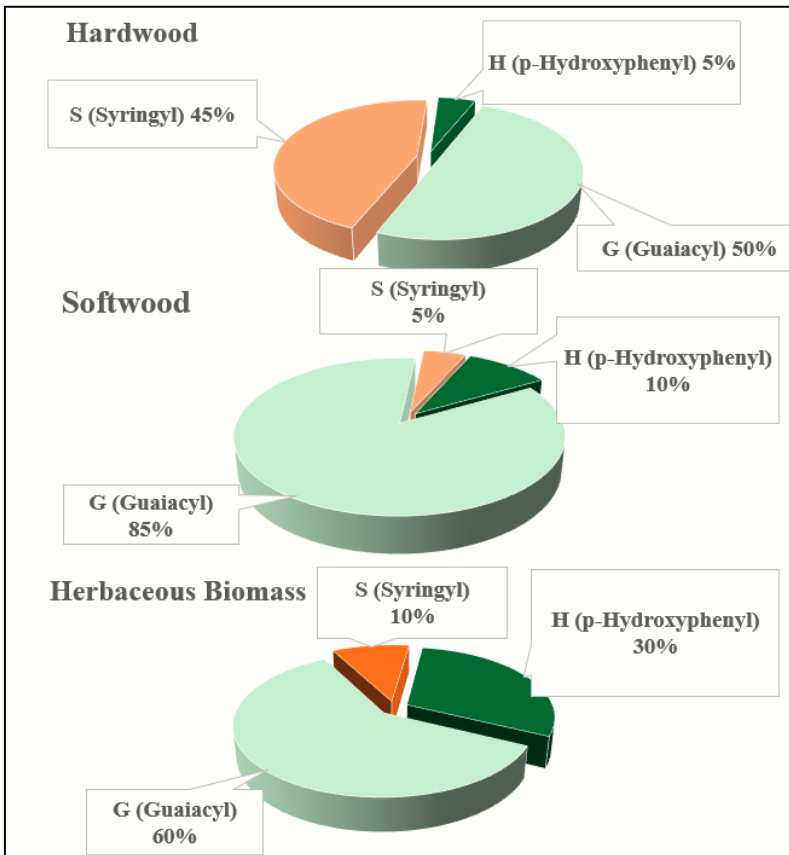


Figure 2. The lignin heterogeneity of lignocellulosics

The early studies laid the groundwork for structural characterization. However, technological progress in lignin chemistry has supported the industrial exploitation of lignin-containing polymers. In recent decades, the emergence of integrated biorefineries has positioned lignin as a versatile source for producing a range of products such as chemicals, fuels, and energy (Schutyser et al., 2018). These developments have focused attention on the transition of lignin from a low-value waste product to a strategic component in the circular bioeconomy.

3. SOURCES AND UTULIZATION OF LIGNIN

One of the cost-effective and common ways for finding lignin is as a by-product generated from chemical pulping (i.e., kraft and sulfite pulping processes). Globally, more than 95% of industrial lignin originates from these technologies, primarily recovered as black liquor, which is traditionally combusted for process energy (Dessbesell et al., 2020). However, this is the least value-added utilization method for lignin.

Organosolv lignin is recognized for its high purity, low sulfur content, and narrow molecular profile, making it promising for specialty material and chemical applications (Stewart, 2008; Mateo et al., 2025). However, non-woody plants, such as wheat straw, corn stover, rice husks, and sugarcane bagasse, typically contain 15–25% lignin and could contribute substantially to the global lignin supply (Trezza et al., 2025). Although geographically dispersed, these sources align with circular bioeconomy principles by offering distributed renewable feedstocks.

From a bioeconomy point of view, a variety of lignin sources enhances supply resilience and enables valorization across both centralized and regional value chains. Centralized

pulp mill-derived lignin supports large-scale, high-volume material and chemical applications, whereas agricultural residues facilitate localized and low-carbon biorefining (Silva et al., 2024).

Because of the abundant phenolic compounds in lignin's chemical structure, it led to ideas about its suitability for producing higher value-added products. As early as the 19th century, studies were conducted on the utilization of waste lignin from sulfite-based papermaking facilities (Pizzi, 2006). Based on its adhesive properties in cell walls, extensive research has been conducted on the use of lignin as an adhesive, yielding valuable results. Significant findings and advances have been made in the use of lignin as an adhesive, alone and/or in combination with other synthetic or natural adhesives, and this has reached industrial levels (Mandlekar et al., 2018; Pizzi, 2006; Pizzi and Salvadó 2007; Pizzi and Mittal 2017). However, lignin utilization in other areas has not reached the desired level. Table 1 summarizes utilization of lignin, excluding adhesive utilizations.

Table 1. Ways to utilize lignin (Stewart, 2008; Young, 2008; Ross, 2010; Fengel and Wegener 2011; Matsushita, 2015).

Use as a Dispersant Lignosulfonates have both hydrophobic and hydrophilic groups within their long carbon chains. This allows them to be surface-active and absorb small particles. Regarding this properties, lignin can be used as solvents and additives in various industries.	• It could be improve working conditions in cement, concrete, and plaster, reduce water/cement ratios, and provide softening/flexibility. • Because lignosulfonate anions react with negatively charged calcium-silica-hydrogen (C-S-H) to form $\text{Ca}(\text{OH})_2$, increasing the molecular weight of the sulfonate group can increase the solubility of cement and plaster particles. • Lignosulfonates can be used as binders in asphalt paving. • It be used as solvent/lubricating mud to dissolve and remove frozen oil layers from the surface.
--	---

Use in carbon fiber production Lignin (C9) is suitable for carbon fiber production due to its dense carbon chains. Softwood kraft lignin has more side chains and cross-linking structures than hardwood lignin, so it can soften more easily under the influence of heat.	• Lignin can be converted into carbon fibers through fusion spinning. • Carbon fibers are more flexible, lighter, and stronger than steel and glass fibers used in similar fields. However, they are expensive to produce. • Carbon fibers have good dimensional strength, thermal properties, and electrical conductivity.
Use in bioactive chemical production Lignin can be used as insecticides and antivirals. The mineral-enriched (calcium) lignosulfanates can be used as additives in animal feed.	• The World Health Organization (WHO) has approved the use of calcium-enriched lignosulfanates as fat-soluble vitamins, carotenoids, and other functional additives in animal feeds at daily doses of up to 2000 mg/kg body weight. • Lignosulfanates have been shown to positively impact embryonic development by affecting cell-to-cell interactions. • Lignosulfanates can be used as toxic insecticides against insects and pests.
Use in direct processing (Lignosulfonate) Due to lignin's thermoplastic properties, it can be directly shaped with heat in the production of various products.	• It can be used in the production of thermoplastic molded products (egg cups, toys, household items, etc.). • It can be used as an additive in plastic materials.

Traditionally, lignin has been obtained as a by-product of the pulp and paper industry, particularly from kraft and sulfite pulping processes. More than 95% of industrial lignin is still burned on-site for process heat (Vishtal & Kraslawski, 2011), with only a small fraction processed into commercial products such as dispersants, binders, and specialty chemicals. However, advances in extraction and fractionation technologies such as organosolv pulping, soda pulping, and emerging biorefinery approaches are enabling the production of lignin with higher purity and more controlled molecular

properties (Schutyser et al., 2018). In addition to compositional differences, lignin sources vary widely in purity, current utilization patterns, and bioeconomy potential. Table 2 summarizes the main industrial lignin sources, their typical characteristics, and their relevance for circular bioeconomy pathways.

As it is well known, lignin sources vary considerably in purity, aromatic composition, and current industrial uses, factors that critically determine their suitability for circular bioeconomy pathways. Recent studies have emphasized that organosolv lignin, due to its high purity and low heterogeneity, is particularly suited for high-value applications such as carbon fibers, bioplastics, and specialty chemicals, where consistent quality is essential (Ali et al., 2024). Kraft lignin, while abundant and relatively pure, often contains sulfur moieties that limit its use in sensitive polymer systems, making purification or chemical modification a prerequisite for many advanced applications (Fengel and Wegener 2011). Lignin from agricultural residues offers substantial potential because of its distributed availability; however, its economic viability depends heavily on reducing logistics, supply chain, and preprocessing costs (Trezza et al., 2025). Sulfite lignin, although characterized by lower purity, benefits from water solubility and is widely used in dispersant and binder applications. These source-specific differences underscore the importance of aligning lignin valorization strategies with feedstock characteristics and target market requirements, ensuring that high-purity lignins feed advanced material and chemical sectors, while more heterogeneous lignins contribute to renewable energy and bulk chemical production in a circular bioeconomy framework (Shorey and Wittmann 2024).

Table 2. Comparison of lignin sources and their bioeconomy potential

Lignin Source	Purity (%)	Aromatic Content	Current Main Use	Bioeconomy Potential	References
Kraft Lignin	85–95	High	limited use in resins	Moderate	Argyropoulos et al. 2023
Sulfite Lignin	60–70	Moderate	Dispersants, binders	Moderate	Guerra et al. 2006; Gonçalves et al. 2021
Organosolv Lignin	90–95	High	High-value materials, specialty chemicals	High	Tofani et al. 2024
Agricultural Residues Lignin	50–70	Moderate	Energy, low-value applications	High (distributed sources)	Cassoni et al. 2022
Enzymatic Hydrolysis Lignin (EHL)	75–90	High	Mostly energy, some biochemicals	High	Menezes 2023
Steam Explosion / Hydrothermal Lignin	65–80	Moderate	Combustion, soil amendments	Emerging potential (biochar, fertilizers)	Scapini et al. 2021
Ionic Liquids / DES	85–95	High	Activated carbon, biochar, carbon fibers	High (distributed, region-specific)	Li et al. 2025

Despite technological developments, large-scale lignin valorization still faces several challenges. These include structural heterogeneity depending on biomass source and isolation method, variability in physicochemical properties, and the lack of standardization in quality specifications for industrial applications (Ralph et al., 2019). Addressing these constraints requires coordinated efforts that integrate chemical engineering, materials science, and policy frameworks, thereby positioning lignin as a high-value feedstock within the circular bioeconomy.

4. BIOECONOMY AND FUTURE PERSPECTIVE OF LIGNIN

It could be reasonable to suggest that lignin is the largest natural source for aromatic polymers, with an estimated annual global production of 50–70 million tons, primarily generated as a waste product of the pulp and paper industry (Dessbesell et al., 2020). For decades, lignin has been recovered mainly in the form of black liquor after chemical-based pulping and subsequently combusted on-site for supplying some parts of the mill's energy. However, the increasing emphasis on the bioeconomy and circular economy strategies has transformed it from a low-value energy source into a promising feedstock for bio-based chemicals and a substitute for petrochemical materials. The global lignin market was valued at 2.17,000,000,000 \$ in 2021 and is projected to reach 2.88,000,000,000 \$ by 2029, corresponding to a 3.6% annual growth rate (Databridge Market Research, 2022). Similarly, Grand View Research (2023) reported a market size of 1.08, 000,000,000 \$ in 2023, with expectations to reach 1.47, 000,000,000 \$ by 2030.

From a regional perspective, Europe accounts for more than 35% of the global market share, driven by the European Union's circular economy policies and biorefinery investments. The Asia-Pacific region has emerged as the fastest-growing market, with a valuation of 275.5000,000 \$ in 2024 projected to reach 369.6000,000 \$ by 2030, corresponding to an annual growth rate close to 5% (Grand View Research, 2024). North America holds roughly 25% of the global market, largely concentrated in energy recovery and concrete additive applications, while Latin America and the Middle East–Africa regions account for 8–10% of the market and show considerable growth potential (Market Growth Reports, 2024). Lignin can be transformed into value-added products through a variety of pathways that differ significantly in terms of economic value and

market scale. Table 3 summarizes the potential market value (€/ton) and estimated annual production volumes (kton/year) of lignin-based applications, illustrating the trade-off between large-scale, low-value uses and niche, high-value markets.

Table 3. Overview of lignin value added pathways (Gosselink, 2011; Kylili et al., 2023).

Product / Application	Potential market value (USD/ton)	Production volume (kton/year)	Notes
Energy	~200-350	>100,000	Lowest value, largest market
Bitumen	~100-500	~10,000-150,000	Binder applications
BTX (Benzene, Toluene, Xylene)	~500-1000	~10,000-100,000	Aromatics for chemicals
Phenol	700-1,000	~10,000-10,000	Chemical intermediates, Adhesives, Fine chemicals
Activated carbon	~1,000-2,500	~1,000-10,000	Adsorbents
Cement additives	~200-500	~1,000-10,000	Construction sector
Lignosulfonates	~200-800	~1,000-10,000	Dispersants, binders
High-grade purified lignin	~500-1,000	~100-1,000	Specialty chemicals
Carbon fibres	>1,000	<100	High-value, low-volume
Vanillin	>5,000	<100	Flavor & fragrance industry

Table 3 represents a fundamental trade-off between market volume and economic value in lignin-based applications. Bulk uses such as energy, bitumen, and fuels dominate in terms of production potential (>100,000 kton/year) but yield low unit values (<1000 €/ton). Conversely, niche applications like vanillin and carbon fibers, although limited in scale (<100 kton/year), reach values above 3,000 €/ton, demonstrating lignin's potential as a feedstock for high-performance chemicals and materials (Dessbesell et al., 2020). However, including lignosulfonates, phenol, and derivatives, could be offer a more balanced pathway by combining moderate market demand with added value (400–5,000 €/ton). These uses are particularly

relevant for replacing fossil-based dispersants, adhesives, and adsorbents (Ragauskas et al., 2014). In a summary, those values indicate that maximizing the benefits of lignin valorization requires an integrated biorefinery approach, where large-scale, low-value outlets are complemented with smaller, high-value markets to enhance both economic and environmental sustainability (Trezza, et al., 2025).

Considering potential applications, the majority of lignin is still used for energy generation, yet lignosulfonates employed as dispersants and concrete additives account for nearly 20% of total revenues (Grand View Research, 2023). In addition, lignin-based biopolymers represent a rapidly expanding segment: in the Asia-Pacific region, their market value was estimated at 406.6000,000 \$ in 2024 and is expected to reach 554.4000.000 \$ by 2030, with a 5.3% annual growth rate (Grand View Research, 2024). These figures clearly demonstrate that lignin is evolving beyond its traditional role as a process fuel toward becoming a versatile raw material for high-value applications, including carbon fibers, bioplastics, vanillin, activated carbon, and energy storage materials.

5. CONCLUSIONS AND RECOMENDATIONS

There have been many ways to utilize lignin, from a fuel material to a strategic, renewable source for chemicals and materials. Over the last decade, advances in lignin chemistry have improved selectivity toward phenolic monomer conversion to tailored oligomers, resulting in high-value applications beyond energy. However, policy and industry should prioritize cascading use, allocating lignin first to the highest feasible value applications and only subsequently to bulk energy recovery. Such cascading aligns with countries's circular economy thinking and resource-efficiency goals, extending material lifetimes and

deferring carbon release. It is notable that implementing cascading in practice requires clear definitions, quality specifications, and incentives that reward value retention across the chain.

It is commonly accepted that lignin-based products have the potential to reduce environmental problems and may provide new alternative ways within low-impact separation, renewable energy inputs, and efficient downstream upgrading. However, appropriate LCA methods could impact results. Therefore, transparent reporting and harmonized assumptions could be important for comparable claims and green-market access. The following issues could be important when lignin utilization or substitution for petrochemical materials is needed.

- Lignin should be classified and graded with clear quality standards so that industries can use it more reliably and confidently.
- Facilities should process biorefinery integration to achieve the highest overall value.
- Lignin should first be directed to high-value applications (i.e., chemicals and materials) and only the remaining fraction should be used for energy recovery.
- Stronger markets are needed for lignin-based products, both for replacements of fossil-derived chemicals and for advanced materials like carbon fibers and resins.
- Beyond large pulp mills, lignin from agricultural and local sources should also be utilized, supporting regional economies and enabling distributed circular bioeconomy models.

REFERENCES

- Ali, S., Rani, A., Dar, M. A., Qaisrani, M. M., Noman, M., Yoganathan, K., & Zhu, D. (2024). Recent advances in characterization and valorization of lignin and its value-added products: challenges and future perspectives. *Biomass*, 4(3), 947-977.
- Argyropoulos, D. D., Crestini, C., Dahlstrand, C., Furusjö, E., Gioia, C., Jedvert, K., ... & Wimby, M. (2023). Kraft lignin: a valuable, sustainable resource, opportunities and challenges. *ChemSusChem*, 16(23), e202300492.
- Cassoni, A. C., Costa, P., Vasconcelos, M. W., & Pintado, M. (2022). Systematic review on lignin valorization in the agro-food system: From sources to applications. *J. Env. Manag.*, 317, 115258.
- Data Bridge Market Research (2022). Global lignin market- Industry trends and forecast to 2029. <https://www.databridgemarketresearch.com>, Reach date: 17.09.2025.
- Dessbesell, L., Paleologou, M., Leitch, M., Pulkki, R., & Xu, C. C. (2020). Global lignin supply overview and economics of biorefinery lignin. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123, 109768. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.10976>
- Grand View Research (2023). Dispersants-lignin market statistics, 2024-2030. <https://www.grandviewresearch.com> › industry-analysis, Reach date: 17.09.2025.
- Grand View Research (2024). Lignin market size, share and growth analysis report, <https://www.grandviewresearch.com> › industry-analysis, Reach date: 17.09.2025.

- Gonçalves, S., Ferra, J., Paiva, N., Martins, J., Carvalho, L. H., & Magalhães, F. D. (2021). Lignosulphonates as an alternative to non-renewable binders in wood-based materials. *Polymers*, 13(23), 4196
- Gosselink, R. J. A. 2011. Lignin as a Renewable Aromatic Resource for the Chemical Industry. *Wageningen University and Research*. ISBN: 978-94-6173-100-5.
- Guerra, A., Filpponen, I., Lucia, L. A., & Argyropoulos, D. S. (2006). Comparative evaluation of three lignin isolation protocols for various wood species. *J. Agr. and Food Chem.*, 54(26), 9696-9705.
- Hosseini, S. E. (2022). Fossil fuel crisis and global warming. In *Fundamentals of low emission flameless combustion and its applications* (pp. 1-11). Academic Press.
- IPCC (2023). AR6 Synthesis Report: *Climate Change 2023*.
- Kylili, A., Koutinas, M., Georgali, P. Z., & Fokaides, P. A. (2023). Lignin valorisation: life cycle assessment (LCA) considerations for enabling circular bioeconomy. *Int. J. Sust. Energy*, 42(1), 1008-1027.
- Li, X., Yang, J., He, W., Zhao, S., Fang, Z., Guo, K., & Li, Y. (2025). A Review: Using Ionic Liquids for Lignin Extraction from Lignocellulose and High-Value Utilization. *Molecules*, 30(12), 2514.
- Mandlekar, N., Cayla, A., Rault, F., Giraud, S., Salaün, F., Malucelli, G., & Guan, J. P. (2018). An overview on the use of lignin and its derivatives in fire retardant polymer systems. In: *Lignin-Trends and Applications*. *IntechOpen*.pp. 207-231.
- Market Growth Reports (2024). Lignin and lignin-based products market size, growth,

<https://www.marketgrowthreports.com>, Reach date:
17.09.2025.

- Mateo, S., Pérez, J., & García, A. (2025). Organosolv lignin: Properties, applications, and perspectives in biorefineries. *Polymers*, 17(7), 952.
<https://doi.org/10.3390/polym17070952>
- Matsushita, Y. (2015). Conversion of technical lignins to functional materials with retained polymeric properties, *J. Wood Sci.* 61:230–250
- Menezes, F. F., Nascimento, V. M., Gomes, G. R., Rocha, G. J., Strauss, M., Junqueira, T. L., & Driemeier, C. (2023). Depolymerization of enzymatic hydrolysis lignin: Review of technologies and opportunities for research. *Fuel*, 342, 127796.
- Özkan, U., Koparan, B., Genç, Ş. K., & Şahin, C. K. (2025). Wood Color Variation in Anatomical Sections of *Cedrus libani* from Two Mediterranean Regions. *BioResources*, 20(3), 7278-7292.
- Pizzi, A. (2006). Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues, *J. Adh. Sci. and Tech.*, 20:8, 829-84.
- Pizzi, A., & Salvadó, J. (2007). Lignin-based wood panel adhesives without formaldehyde *Holz als Roh-und Werkstoff*, 65(1), 65.
- Pizzi, A., & Mittal, K. L. (2017). Handbook of Adhesive Technology. *CRC press*. NY. 644s.
- Ragauskas, A. J., Beckham, G. T., Biddy, M. J., Chandra, R., Chen, F., Davis, M. F., & Wyman, C. E. (2014). Lignin valorization: improving lignin processing in the biorefinery. *Science*, 344(6185), 1246843.

- Ralph, J., Lapierre, C., & Boerjan, W. (2019). Lignin structure and its engineering. *Current opinion in biotechnology*, 56, 240-249.
- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., & Tavoni, M. (2018). Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 C. *Nature climate change*, 8(4), 325-332.
- Ross, R. J. (2010). Wood handbook: wood as an engineering material. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, *General Technical Report FPL-GTR-190*, 509 p.
- Sahin, C., Onay, B., & Mirza, E. (2021). A natural sustainable material for urban design: Wood. Theories, techniques, strategies for spatial planners & designers, *Peter Lang GmbH*, 221-234.
- Schwartz, S. E. (1993). Does fossil fuel combustion lead to global warming?. *Energy*, 18(12), 1229-1248.
- Spani, R. C. (2020). The new circular economy action plan. FEEM policy brief, (09-2020)
- Stewart, D. (2008). Lignin as a base material for materials applications: Chemistry, application and economics. *Industrial crops and products*, 27(2), 202-207.
- Scapini, T., Dos Santos, M. S., Bonatto, C., Wancura, J. H., Mulinari, J., Camargo, A. F., & Treichel, H. (2021). Hydrothermal pretreatment of lignocellulosic biomass for hemicellulose recovery. *Bioresource Technology*, 342, 126033.
- Schutyser, W., Renders, A. T., Van den Bosch, S., Koelewijn, S. F., Beckham, G. T., & Sels, B. F. (2018). Chemicals from lignin: an interplay of lignocellulose fractionation,

- depolymerisation, and upgrading. Chemical society reviews, 47(3), 852-908.
- Silva, T. A. L., Varão, L. H. R., & Pasquini, D. (2024). Lignocellulosic biomass. In Handbook of Biomass (pp. 105-142). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Shorey, R., Salaghi, A., Fatehi, P., & Mekonnen, T. H. (2024). Valorization of lignin for advanced material applications: a review. RSC Sustain 2: 804–831.
- Tofani, G., Jasiukaitytė-Grojdek, E., Grilc, M., & Likozar, B. (2024). Organosolv biorefinery: resource-based process optimisation, pilot technology scale-up and economics. Green Chemistry, 26(1), 186-201.
- Trezza, A., Mahboob, L., Visibelli, A., Geminiani, M., & Santucci, A. (2025). Lignin Waste Valorization in the Bioeconomy Era: Toward Sustainable Innovation and Climate Resilience. Applied Sciences, 15(14), 8038.
- Vishtal, A., Kraslawski, A. (2011). Challenges in industrial applications of technical lignins. BioResources, 6(3).
- Young, R.A. 2008. Historical developments in wood chemistry, SDU Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, 1: 1-15

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ
DEĞERLENDİRMELERİ

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com