

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

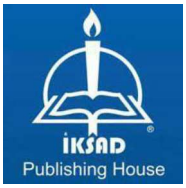
EDİTÖRLER
Öğr. Gör. Dr. Veysel AYDIN
Doç. Dr. Adem YILMAZ

İKSAD
Publishing House

ZİRAAT, ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

EDİTÖRLER
Öğr. Gör. Dr. Veysel AYDIN
Doç. Dr. Adem YILMAZ

YAZARLAR
Prof. Dr. Adem ÖZARSLANDAN
Prof. Dr. Halil DEMİR
Prof. Dr. İbrahim TAPKI
Prof. Dr. Mehmet ÖTEN
Prof. Dr. Zeki MUT
Doç. Dr. Faika YARALI KARAKAN
Doç. Dr. Mehmet Necat İZGİ
Doç. Dr. Nuran TAPKI
Doç. Dr. Özge Doğanay ERBAŞ KÖSE
Doç. Dr. Yusuf ÇELİK
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİRKA
Arş. Gör. Berna ERGUN ÇETİN
Arş. Gör. Ömer ÖNEL
Ahmet BAŞAR
Fatih ŞU
İsmail SAKA
Ömer Sami SARI



Copyright © 2025 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-393-8
Cover Design: İbrahim KAYA
November / 2025
Ankara / Türkiye
Size: 16x24cm

BÖLÜM 6

SERADA SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMIN ÖNEMİ VE UYGULAMALARI

Prof. Dr. Halil DEMİR[1]

Arş. Gör. Ömer ÖNEL[2]

DOI: https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.17681119

[1] Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Antalya, Türkiye. hdemir@akdeniz.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2237-5439

[2] Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Antalya, Türkiye. omeronel@akdeniz edu.tr, ORCID: 0000-0002-1333-8751

GİRİŞ

Tarımsal üretim sürecine tarihi bir pencereden bakıldığında, en büyük değişimlerin 20. Yüzyılın son yarısında olduğunu görürüz. Dünya nüfusu 1950 yılından 2011 yılına kadar 2.5 milyardan 7 milyara ulaşmış, büyüme çağı denilebilecek bu dönemde dünya ekonomisi 7 kat büyümüştür. Tarımsal üretimi artırmada uygulanan politikalar; topraklar, sular, ormanlar, köylü nüfusu, okyanuslar, denizler ve hayvanlar gibi pek çok alanda ekolojik yıkım ortaya çıkarmıştır (Yılmaz, 2015).

Dünya nüfusundaki hızlı artış, beslenme sorununu beraberinde getirmekte ve soruna sürdürülebilir bir çözüm bulma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Birleşmiş Milletler raporuna göre 2024 yılı dünya nüfusu yaklaşık 8.2 milyara ulaşmıştır. Nüfusun 2080 yılında 10.3 milyara ulaşması beklenmektedir. Artan nüfusun beslenebilmesi için gıda üretiminin de arttırılması gerekmekte, 2050 yılına gelindiğinde %50-60 daha fazla gıda elde edilmesi gerektiği ön görülmektedir (UNDESA, 2024). Değişen iklim koşullarını da dikkate alarak üretim artışına çözümler bulunması beslenme sorununu azaltabilecektir. Ancak geleneksel tarım yöntemleri günümüzde tam olarak yeterli olamamaktadır **(**Kirmikil & Ertaş, 2020).

Dünyada tarımsal üretimin büyük bir kısmı yoğun şekilde kullanılan girdilerle sürdürülmekte, yoğun girdilerin olumsuz etkileri her geçen gün artmakta ve acil önlemlerin alınmasını gerekli kılmaktadır. Özellikle artan tüketim ve serbest piyasa koşulları daha fazla verim elde etmeyi zorlamaktadır. Böylece üreticiler çevreye zarar veren çok fazla uygulamayı hayata geçirmektedir (TEMA Vakfı, 2004). Bu da sürdürülebilirlik tartışmalarını doğurmaktadır.

Sürdürülebilirlik, anlaşılması nispeten kolay olsa da uygulamada tanımlanması zor bir kavramdır (Vanclay & Lawrence, 1994, 1995). Sürdürülebilirlik başlangıçta çevre (Pezikoğlu, 2012) ve arazi sorunları açısından düşünülürken, zaman içinde enerji kullanımı, gübreler, tarımsal kimyasallar, yapay girdiler, sürdürülebilir tarım ve şimdi de iklim değişikliğinin dahil olduğu bir dizi başka sorunları ele almak zorunda kalmıştır (Fleming & Vanclay, 2010). Bu temel konuların tam ortasında tarım yer almaktadır.

Sürdürülebilir tarım; uzun yıllar boyunca çevreye zarar vermeden, doğal kaynakları koruyarak, tarıma entegre olmuş teknolojilerin kullanıldığı,

insanların gıda ihtiyacını karşılayabilen çevreye duyarlı tarımsal faaliyetlerin yürütülmesini sağlayan bir üretim modelidir. Bu model ile hem birim alandan daha fazla ürün elde edilebilir, hem de kırsal kesimden kentlere göçlerin önüne geçilebilir (Balcı Akova & Tapan, 2022). Kısaca, sürdürülebilir tarıma yönelik politikaların doğru şekilde geliştirilmesi ve uygulanması, yeterli miktarda sağlıklı besinleri tüketmemize, kendine yetebilen hale gelmemize, sektörler arasında bir denge oluşmasına neden olabilecektir (Gençler, 2009).

Tarımsal üretimin devamlılığı açısından seracılık faaliyetleri başlı başına sürdürülebilir tarımın esas ayaklarından birisini oluşturmaktadır. Sera tarımı, gıda üretimini yoğunlaştırmada etkinliğini kanıtlamış bir tarımsal yönetim sistemidir. Bu sistemler, 21. yüzyılda insanlığın karşılaştığı en büyük zorluklardan biri olan gıda arzını sağlamak için uygulanabilir bir alternatif oluşturmaktadır (Aznar-Sánchez ve ark., 2020). Sera endüstrisi, sınırlı üretim koşullarını aşmak, seracılığın çevresel etkilerini azaltmak ve yeni pazar gereksinimlerine uyum sağlamak için sürekli yeni stratejiler ve teknolojiler geliştirmektedir (Fernández ve ark., 2018).

Sıcak ve ılıman iklime sahip bölgelerde, yaz aylarının başında seracılık faaliyetleri sona yaklaşırken, rakımı yüksek yerlerde serada sebze yetiştiriciliğinin hazırlıkları başlamaktadır. Akdeniz sahil kesiminde üretim sonlandırıldığında yayla bölgeleri denilen rakımı yüksek bölgelerde üretime devam edilmektedir. Bu durum da serada sebze yetiştiriciliğinin sürdürülmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Örneğin TÜİK'in 2021 yılı verilerine göre yaklaşık 1100 metre ve üzeri rakıma sahip Antalya'nın Elmalı ilçesinde yaklaşık 13 bin dekar sera varlığı bulunmaktadır. Türkiye'nin birçok farklı bölgesinde benzeri üretim faaliyetleri hızlanmıştır.

Bu bölümün temel amacı, artan nüfus ve sınırlı doğal kaynaklar bağlamında özellikle serada sürdürülebilir tarım yaklaşımlarını değerlendirmek, üretim sistemleri içindeki yerini, potansiyel katkılarını ve çevresel etkilerini irdelemektir.

1. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Seracılık faaliyetleri dünya genelinde yaygın olmakla birlikte, ılıman iklim kuşağındaki ülkeler, özellikle kış aylarında yüksek sıcaklıklar sayesinde düşük ısıtma maliyetleriyle kârlı seracılık yapabilmektedir. Akdeniz

kıyısındaki İspanya, Türkiye, İtalya ve Yunanistan bu alanda öne çıkarken, Türkiye seracılık için büyük bir potansiyele sahiptir. Serin iklim kuşağındaki Avrupa ülkeleri (Hollanda, İngiltere, Danimarka, Almanya, Romanya, Bulgaristan, Rusya) seracılıkta önemli rol oynamaktadır. Özellikle Hollanda, cam sera alanı ve üretim teknikleri açısından öne çıkmaktadır. İki iklimin etkili olduğu ülkelerde cam ve plastik seralar birlikte kullanılırken, Akdeniz ülkelerinde de bu yapı görülmektedir. ABD ve Japonya ise plastik seralarda yüksek teknoloji uygulamalarıyla dikkat çekmektedir (Şimsek & Dağdelen, 2020).

Seracılık sektöründeki gelişmeler sera varlıklarının artmasıyla birlikte hız kazanmıştır. Bunların yanında örtü malzemeleriyle ilgili gelişmelerde oldukça hızlı ve etkilidir. Özellikle Polietilen örtülü (PE) örtü malzemelerindeki uzun süre dayanıklılık, farklı katkı maddeleri gibi gelişmeler önemli ivme kazandırmıştır.

Türkiye'de denizden yüksekliği 1700 metre civarında olan Van ili ve çevresinde serada sebze üretimi yapılabilmektedir. Bu bölgede açık alanda sebze üretimi yapılmasına rağmen, vejetasyonunun kısa olmasından dolayı üreticiler daha az kazanmaktadır. Özellikle iklim koşullarının sert olduğu dönemlerde zarar etmektedirler. Polietilen örtülü seraların yaygınlaşmasıyla çiftçiler, ilkbahar ve sonbaharın soğuk dönemlerinde sera içi sıcaklığını gece 2-5 $^{\circ}$C ve gündüz ise 10-12 $^{\circ}$C arttırabilmekte ve gece oluşan don tehlikesinin önüne geçmektedir. Gündüz ise sıcaklıklar güneşin etkisiyle dış koşullardan 12 $^{\circ}$C daha yüksek olduğundan, eylül ve ekim aylarında domateslerde olgunlaşma süreci devam edebilmektedir (Kabay, 2019).

Serada yapılan yetiştiricilik, açık alan yetiştiriciliğine göre daha fazla enerji, su, gübre ve zirai mücadele ilaçlarına gereksinim göstermenin yanında çok miktarda atık ve karbon emisyonu da ortaya çıkarmaktadır (Baytorun & Gügercin, 2015).

Bitkisel üretimde çevre kontrollü sistemlerin en yaygın ve etkili biçimi olan seracılık sektöründeki yenilikler, sürdürülebilirliği sağlama çabalarıyla birlikte gelişmektedir. Örneğin, seralarda kaliteli ve yüksek verim elde edebilmek için ısıtma şarttır. Isıtma maliyetleri toplam üretim giderlerinin %20-60'ını oluşturabilir. Bu nedenle seralarda sürdürülebilirlik, enerji verimliliğinin artırılmasıyla mümkündür (Baytorun ve ark., 2016). Modern seracılıkta, üretim sürecinde istenilen koşulların sağlanabilmesi için yüksek enerji maliyetlerine

katlanılmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları seracılıkta önemli bir rol oynamaktadır. Bazı araştırıcılara göre, fosil yakıtların kullanıldığı ısıtmada toplam seracılık giderlerinin %60-70'ini oluşturmaktadır (Heidari & Omid, 2011; Shen ve ark., 2018; Tataraki ve ark., 2020). Bu nedenle seracılıkta yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması neticesinde maliyetler azaltılmakta, ürün kalitesi arttırılmakta ve fosil yakıta dayalı çevresel maliyetler de giderilmiş olmaktadır (Karaca, 2013).

Seracılık da dahil olmak üzere tarımda yaygın olarak kömür, petrol, doğal gaz ve odun gibi fosil yakıtlar kullanılmakta; ancak bu enerji kaynakları çevre üzerinde önemli olumsuz etkilere sahiptir. Artan enerji tüketimi, tarım sektöründe sürdürülebilir enerji politikalarını zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise çevreye zarar vermeden çözüm sunmaktadır. Sera gazlarının başlıca kaynağı olan CO_2 salınımı, fosil yakıtların yanmasıyla oluşmaktadır (Karaca, 2013; Öztürk ve ark., 2010). Türkiye'de biyokütle genellikle doğrudan yakılarak verimsiz biçimde değerlendirilmektedir (Topal & Arslan, 2008).

Türkiye'den bir örnek vermek gerekirse, Van ve çevresinde seracılık faaliyetlerinde kömür, odun ve petrol ürünlerinin aşırı pahalı olması nedeniyle ısıtmalı üretim yapılamamaktadır. Fakat son yıllarda doğal enerji kaynakları ile seralar ısıtılmaya başlanmıştır (Kabay, 2019). Van'da bir araştırma serasının doğal gaz sistemi ile ısıtılması buna önemli bir örnektir. Bu sayede 12 ay boyunca bilimsel araştırmalar ve projeler rahatlıkla yürütülmektedir (Kabay, 2019).

Enerji ihtiyacının biyokütle gibi yenilenebilir kaynaklardan karşılanması, kırsal alanlardaki bitkisel ve hayvansal atıkların değerlendirilmesini sağlamaktadır. Günümüzde birçok ülke, bu atıklardan yararlanarak biyogaz ve organik gübreler elde etmektedi. Amerika'da hayvan çiftliklerinde kurulan 186 orta ölçekli biyogaz tesisi, Çin ve Hindistan'da kurulan küçük ölçekli biyogaz tesisleri buna örneklerdir. Bu tesisler hem yakıt ihtiyacını karşılamakta hem de elde edilen yan ürünler tarımsal üretimde gübre olarak değerlendirilmektedir (Food and Agriculture Organization [FAO], 2011; United Nations Development Programme [UNDP], 2011).

İklimsel nedenlerle tarımsal üretimin sınırlandığı, seracılık faaliyetlerinin yapılamadığı bölgelerde rüzgâr, güneş, biyokütle ve jeotermal enerji kaynakları ile hem o yörelerde yaşayanların refah düzeyi gelişebilir, hem

de tarımsal üretim artışı sağlanabilir (Güney Ege Kalkınma Ajansı [GEKA], 2012). Jeotermal, güneş, rüzgâr ve biyokütle enerjileri seracılık faaliyetlerinde yenilenebilir alternatif enerji kaynakları olup, maliyet ve etkinlik açısından en uygun olanı jeotermal enerjidir. Türkiye'deki jeotermal kaynakların %95'i ısıtmaya uygundur. 172 jeotermal kaynak 30 ºC'den fazla sıcaklığa sahiptir (Kendirli & Çakmak, 2009). Buna karşın ülkemizde seraların sadece %0.47'si jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır (GEKA, 2012).

Birçok tarımsal faaliyette jeotermal enerjiden faydalanılabilir. Üretim ve ürün işleme endüstrisi doğrudan kullanılabilecek başlıca alanlardır. Dünya'da tarımsal faaliyetlerde jeotermal enerjinin en fazla (%14) kullanıldığı alan seraların ısıtılmasıdır (Karaca, 2013).

Jeotermal enerji kullanımıyla ilgili bazı zorluklar da vardır. Jeotermal kaynağın yerinde kullanılabilir olması ve en fazla 100 m gibi uzun mesafelere naklinin zor olması (Özyurt & Dönmez, 2005), Türkiye'de bu enerjinin kullanımını sınırlandırmaktadır. Fakat gerekli altyapının oluşturulması halinde jeotermal kaynağa yakın tüm alanları ısıtmak ve elektrik ihtiyacını karşılamak mümkündür. Bazı belediyeler hem verimlilik hem de kırsal istihdam amacıyla kendi bölgelerindeki jeotermal kaynakları seracılık faaliyetlerine tahsis etmektedir (Karaca, 2013).

Türkiye, jeotermal enerji kaynakları bakımından dünyanın yedinci, Avrupa'nın ise birincisi konumundadır. Jeotermal kaynaklar; elektrik üretimi, termal turizm, konut ısıtması, seracılık, meyve-sebze kurutma ve balıkçılık gibi çok farklı alanlarda kullanılabilmektedir. Dolayısıyla jeotermal kaynakların verimli kullanılması büyük önem taşımaktadır (Çoban, 2020). Jeotermal enerjiden yararlanılan seraların Ege, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerine yaygın olduğu görülmektedir. Bu bölgelerdeki illerde ısıtmada kullanılarak topraksız tarım koşullarında üretim yapılmaktadır. Topraksız koşullarda en fazla domates üretilmektedir. Ortalama sera büyüklüğü ise yaklaşık 21 dekar civarında olup seralar PE ile örtülüdür (Çoban, 2020).

Jeotermal kaynakların kullanımının rekabet edebilirliği incelenmiş, jeotermal kaynaklar ile Aydın'da yapılacak seracılık büyük avantaja sahipbulunmuştur. Fakat aynı şekilde Kütahya'da yapılan jeotermal ısıtmalı domates üretimi Antalya ile başabaş rekabet edebilmektedir. Kütahya'da seranın yan duvarları çift kat ısı perdeli PE plastik olması ve ithal kömürün kullanılması halinde ortaya çıkan CO_2 emisyonu 199.4 kg/m^2 iken, Aydın'da

aynı koşullarda ithal kömür kullanıldığında CO_2 emisyonu 74.4 kg/m^2, Antalya'da 55.5 kg/m^2'dır. Yani sera ısıtmasında jeotermal kaynakların kullanılması, Akdeniz Bölgesi'ndeki seracılığa nazaran büyük avantajlar sağlamaktadır (Baytorun ve ark., 2016).

Serada sürdürülebilir üretim için gelişen teknolojinin sunduğu yeniliklerden de faydalanmak gerekir. Güneş enerjisiyle çalışan su pompaları, elektrik üretimi, seralar, güneş kurutucuları ve sıcak su ısıtıcıları gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımı teşvik edilmelidir. Bu teknolojiler, özellikle uzak tarım alanlarında ve soğuk iklimlerde ekonomik ve çevre dostu çözümler sunabilir (Chel & Kaushik, 2011).

2. SU YÖNETİMİ VE SU TASARRUFUNDA YENİ STRATEJİLER

Seralar, tarla koşullarına göre önemli miktarda su tasarrufu sağlamasına rağmen su verimliliğinin yetersiz olduğunu göstermektedir (Chen ve ark., 2022). Serada yapılan üretimler, geleneksel tarım yöntemleriyle kıyaslandığında, daha az su tüketimiyle sürdürülebilir gıda üretimini mümkün kılmaktadır (Badji ve ark., 2022); Czyzyk ve ark., 2014). Özellikle sera ortamında gerçekleştirilen üretim süreçleri, tarımsal su kullanımında %50-90 arasında tasarruf sağlayabilir. Modern sera yetiştiriciliğinde, sulama suyunun önemli bir kısmı derin toprak sızıntısı ve toprak buharlaşması yoluyla kaybedilmektedir (Chen ve ark., 2022). Bunun temelinde, seralarda uygulanan hava nemlendirme teknikleri yer almaktadır. Uzun dalga radyasyon soğutması sayesinde ortam nemi artırılmakta, bu da evapotranspirasyon (buharlaşma ve bitki terlemesi yoluyla su kaybı) oranını %60-85 düzeyinde azaltmaktadır (Badji ve ark., 2022; Czyzyk ve ark., 2014; Li ve ark., 2024; Mpusia, 2006).

Başka bir açıdan bakıldığında da örneğin, gölgeleme ağları veya yalnızca fotosentetik olarak aktif radyasyona (PAR) izin veren seçici gölgeleme gibi gölgeleme mekanizmaları, bitki su gereksinimlerini etkili bir şekilde azaltır (Abdel-Ghany ve ark., 2012). Bu nedenle, sürdürülebilir seracılığın ilerlemesi için, terleme kaynaklı kayıpları ele alırken sulama verimliliğini artırmaya yönelik yenilikçi stratejiler geliştirmek kritik öneme sahiptir (Zou ve ark., 2025).

Yeni bir yaklaşım olarak atmosferik su hasadı ve deniz suyu arıtımı gibi ek su kaynakları, sera tarımının su ihtiyacını karşılamak için önemlidir (Ma ve

ark., 2019). Seralarda geleneksel havalandırma ve nem alma yöntemi, su buharını dışarı atmayı içerir ve bu da önemli miktarda seranın su buharı israfına neden olur. Bazı araştırmalarda havalandırma yerine nem kontrolü için seralarda nemi yüzeyinde tutan malzemeler kullanılmıştır (Yang ve ark., 2020). Yani seralarda etkili ve sürdürülebilir su hasadı için, merkezi buhar arıtımına ek olarak, seranın çeşitli bölümlerine pasif atmosferik su hasatı sistemleri kurulabilir.

Seralarda yeraltı damla sulama sistemleri, yüzey damla sulamaya (SDI) göre su verimliliğini belirgin şekilde artırmaktadır. Araştırma sonuçları, toprak altı damla sulama uygulamasının domates bitkilerinin boyunu önemli ölçüde artırdığını, gömülü boruların toprak altı damla sulamada kök/sürgün oranını, yüzey damla sulama yöntemlerine göre %8-18 oranında yükselttiğini göstermektedir. Toprak altı damla sulama yöntemleri kullanılarak elde edilen verimler, yüzey damla sulama yöntemleri kullanılarak elde edilenlere göre biraz daha düşük olmasına rağmen, domates kalitesi ve su verimliliği önemli ölçüde iyileşmektedir. Toprak altı damla sulama yöntemleri, farklı toprak nem seviyelerinde su verimliliğini %8.5-21.8 oranında artırmakta ve klorofil içeriğini %9.1-17.3 oranlarında yükseltmektedir (Wan ve ark., 2024). Bu artışın temel nedeni yeraltı damla sulamanın suyu doğrudan kök bölgesine ileterek yüzey buharlaşmasını ve drenaj kayıplarını azaltmasıdır. Ayrıca toprak yüzeyi kuru kaldığı için yabancı ot gelişimi ve tuz birikimi azalır (Camp, 1998; UGA Extension, 2022). Sera koşullarında yeraltı damla sulamanın özellikle sıcak ve nemli ortamlarda su kaybını azaltmada etkili olduğu, domates, biber ve marul gibi sebzelerde 8–15 cm derinlikte uygulandığında en iyi sonuçları verdiği bildirilmiştir (Li ve ark., 2016; UGA Extension, 2022). Ancak sistemin tıkanma riski, kurulum maliyeti ve bakım gereksinimi yüzey sistemlerine göre daha yüksektir (Camp, 1998). Buna rağmen sensör destekli otomasyon ve iyi filtrasyonla yönetildiğinde sürdürülebilir sera tarımında hem su tasarrufu hem de verim artışı sağlayan etkili bir sulama yöntemidir (Li ve ark., 2016; Wan ve ark., 2024).

Birçok sera sulama sistemi hâlâ manuel olarak çalışmakta ve bu durum su israfı ve verimsizliğe yol açmaktadır. Gerçek zamanlı izleme ve otomasyon eksikliği önemli bir kısıtlamadır. Bunların sağlanmasıyla hassas sulama ve su tasarrufu sağlama açısından büyük potansiyel taşır (El-Sheshny ve ark., 2025).

Suyun sürdürülebilirliği yalnızca tüketimi azaltmakla değil, su kalitesinin korunmasıyla da ilgilidir. Yüksek tuzluluk veya düşük kaliteli su, ürün verimini düşürür ve toprağı bozabilir. Bu nedenle sürdürülebilir bahçecilik sistemleri, alternatif ve düşük tuzlulukta su kaynaklarının kullanımını entegre etmelidir (Ferreira ve ark., 2024).

Doğa temelli çözümler (malçlama, organik katkı maddeleri, hidrojeller vb.) sulama ihtiyaçlarını hafifletmektedir. Yeni ve geri dönüştürülmüş su kaynakları (örneğin arıtılmış atık su, tuzdan arındırma), doğal su kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak için umut verici yollar gibi görünse de bu kaynaklar iyi yönetilmezse çevre ve insan sağlığı açısından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Kısmi kök bölgesi kurutma ve kontrollü açık sulama gibi sulama uygulamaları, su kullanım verimliliğinde kayda değer iyileştirmeler sağlar, ancak verimli uygulama için önemli deneyim gerektirmektedir (Ferreira ve ark., 2024).

Yağmur suyu hasadının da serada sürdürülebilir yetiştiricilik açısından değerlendirilmesi önemlidir. Yapılan araştırmalar bu konunun önemini ortaya koymaktadır.

Tarımda yağmur suyu hasadı, son yıllarda farklı disiplinler tarafından araştırılan umut verici bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu alanda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak henüz yeterli düzeyde değildir. Yağmur suyu hasadı sistemlerinin farklı tarımsal üretimlerde sulama ihtiyaçlarını karşılama kapasitesi, çiftçilerin bu sistemleri benimsemesi, ekonomik ve finansal fizibilite ve küresel iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına katkıları üzerine araştırmaların artırılması gerekmektedir (Velasco-Muñoz ve ark., 2019).

Bu konuda yürütülen bazı araştırmalarda mevcuttur. Örneğin, Akdeniz ikliminin hâkim olduğu Antalya ve Adana illerinde seralarda ortalama birim alan başına tüketilen su miktarı sırasıyla 1173.52 ve 1109.2 L m^{-2} $yıl^{-1}$ olarak bildirilmektedir. Karasal iklimin hâkim olduğu Afyonkarahisar ve Kırşehir illerinde ise bu değerler sırasıyla 1479.11 ve 1370.77 L m^{-2} $yıl^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Depolama hacimleri Antalya, Adana, Afyonkarahisar ve Kırşehir illeri için sırasıyla 438.39 L m^{-2}, 122.71 L m^{-2}, 42.12 L m^{-2} ve 43.65 L m^{-2} olarak bulunmuştur. Bitkilerin su tüketiminin yağmur suyu hasadı ile karşılanma oranı ise Antalya'da %80.79, Adana'da %54.27, Afyonkarahisar'da %27.47 ve Kırşehir'de %25.16 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerde sulama suyu ihtiyacı fazla olsa da yağmur suyu hasadı ile bitkilerin ihtiyacının karşılanma oranı daha yüksek olacaktır. Bu

durum, sera işletmelerine su tasarrufu sağlama ve sulama maliyetlerini azaltma açısından katkı sağlayacaktır (Boyacı ve ark., 2024).

Serada yapılan üretimlerde su tasarrufu sağlayan bazı uygulamalar, su yönetimi açısından dikkat çekicidir. Bunlar arasında geleneksel kısıntılı sulama ve yarı ıslatmalı sulama uygulamaları yer almaktadır. Yapılan araştırmalarda %25-50 oranlarında su tasarrufu sağlanabileceği ortaya konulmuştur (Demir ve ark., 2024).

3. YETİŞTİRİCİLİK TEKNİKLERİ

Yeterli miktarda ve kalitede sürdürülebilir üretim, etkili kaynak kullanımını, çevre duyarlılığını ve kirlilik kaynaklarını en aza indirmeyi hedeflemektedir. Modern tarım teknolojileri bakımından dikkate alınması gereken sürdürülebilir tarım, geleneksel metotların neden olduğu maliyet ve çıktıkları dikkate alarak yapısal dönüşümü ifade etmektedir (Karaca, 2013). Akdeniz Havzası'nda kuraklık ve aşırı sıcak günlerin artması beklenmektedir. Bu durum, ekosistemlerin sürdürülebilir yönetimi ve seraları da kapsayan tarım topraklarının korunması için acil önlemler gerektirmektedir (Ayaşlıgil & Çelik, 2022). Bu önlemler içerisinde yetiştiricilik teknikleri önemlidir.

Bütün dünyada genel olarak sentetik girdiler, olumsuz sonuçları düşünülmeden kullanılmaya devam etmektedir (Turhan, 2005). Türkiye'de olduğu gibi bazı seracılık ülkelerinde de durum böyledir. Bu durumda serada yetiştiriciliğin terbiye edilmesi gerektiğini, iyi tarım uygulamaları gibi kimyasal tüketimi azaltan uygulamaları ön plana çıkarmaktadır. Entegre mücadele (IPM) yöntemleri de bunlardan birisidir. Entegre mücadele ile seralarda pestisit kullanımında %30–50 azalma olduğu belirtilmektedir (Lenteren & Nicot, 2020).

Seralarda sürdürülebilirlik açısından gölgeleme ve havalandırma teknikleri, sıcaklık kontrol yöntemleri son derece önemlidir. Hastalık ve zararlı çıkışının kontrolünde aktif öneme sahiptir. Ayrıca bitki büyüme-gelişmesi ve dolayısıyla verim ve kalite açısından ışıklandırma da ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda bu konudaki gelişmeleri mutlaka dikkate almak gerekir (Dayıoğlu & Silsileli, 2012; Yu ve ark., 2021).

Ayaşlıgil & Çelik (2022)'in yaptığı incelemelere göre, İspanya'nın Almeria bölgesindeki üretim sistemi sürdürülebilir değildir. Farklı bir bakış açısıyla İspanya'nın, su ihtiyacı yüksek domates ve hıyar gibi sebzeleri üreterek

ihraç ettiği, aslında suni olarak oluşturulan düşük bir fiyata sanal (var olmayan) su ihraç edildiği belirtilmektedir. Aynı kaynakta yağışların azaldığı, su kaynaklarının azalmasıyla yapılan üretim sisteminin sürdürülebilir olmadığı vurgulanmıştır.

Seracılığın sürdürülebilirliği bakımından topraksız tarım yöntemleri kullanılabilmektedir. Günümüzde çevreye duyarlı sürdürülebilir tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle toprak kullanılmaması nedeniyle dezenfeksiyon ortadan kalktığından önemli bir alternatif haline gelmiştir. Topraksız tarım dünyanın pek çok ülkesinde çiftçiler tarafından da benimsenmiştir. Topraksız tarım, su kültürü (hydroponic) ve ortam kültürü (substrat) olmak üzere iki şekilde sürdürülmektedir (Engindeniz, 2002).

Yapılan değerlendirmelerde hidroponik seracılık teknolojisinin rahatlıkla kullanılabileceği, yetiştirilen ürünlerin verim ve kalitesini yıl boyunca önemli ölçüde artırma potansiyeline sahip olduğu ve birçok faydası olduğu sonucuna varılmıştır (Khan ve ark., 2018). Husarova (2016), İspanya'daki tüm sebze seralarının yaklaşık %8'inde hidroponik yöntem kullanıldığını, tüm hidroponik endüstrisinin yaklaşık %54'ünün ise Almeria'da bulunduğunu bildirmiştir. Modern hidroponik sistemlerde suyun geri dönüşümü olduğu, küçük bitkilerin geri dönüştürülmüş suyu kullanamadıkları, en az iki hidroponik seranın kullanılması gerektiği, bir serada küçük bitkilerin, diğer serada büyük bitkilerin bulunması gerektiği vurgulanmıştır.

Modern topraksız seralarında ısıtma, ışıklandırma, havalandırma ve karbondioksit ihtiyaçlarının optimum olarak sağlanması yıl boyu üretimi mümkün kılmaktadır. Teknolojinin kullanılması kontrollü yetiştiriciliği sağladığından hastalık ve zararlılarla karşılaşma oranı çok düşüktür (Çoban, 2020). Hidroponik sera yetiştiriciliğinin en büyük avantajı, doğal ışığın verimli kullanılmasıdır. Meyvenin gelişmesinde ışık önemli bir rol oynar. Hidroponik serada, bitkinin hem üst hem de alt kısmına ışık düşer. Işığın eşit dağılımı nedeniyle hem üst hem de alt meyve aynı anda gelişir (Despommier, 2009).

4. TOPRAK YÖNETİMİ, ORGANİK İYİLEŞTİRİCİLER VE GÜBRELEME ETKİNLİĞİ

Bitkisel üretimde aşırı miktarda pestisit ve kimyevi gübre kullanımı toprak, su ve hava kirliliğine neden olmaktadır (Parlakay ve ark., 2015). Ortaya çıkan bu sorunlar, tarımda üretimde sürdürülebilirliği sınırlandırmaktadır

Dolayısıyla hem üretimde kullanılan kimyasalların hem de hayvansal kökenli gübre ve atıkların iyi yönetilmesi gerekmektedir (Bellitürk, 2016). Tarımsal üretimin önemli girdilerinden gübreler, yeteri kadar kullanılmadığında verim ve kalitede kayıpları oluşurken, aşırı miktarda uygulandığında ise azot ve fosforlu gübrelerin yıkanması ile yerüstü ve yeraltı su kaynakları kirlenmektedir (Güler, 2004).

Örneğin, Antalya'da seralarda aşırı gübre kullanımına dayalı sorunlar fazla gündeme gelmese de önceki araştırmalar gereğinden fazla gübre kullanımını işaret etmektedir (Anaç & Eryüce 2003; Atılgan ve ark., 2007). Antalya'da gübre kullanım ortalaması, Türkiye ortalamasından daha yüksektir. Türkiye ortalaması 11.35 kg/da iken, Antalya'nın ortalaması 13.75 kg/da olarak belirlenmiştir (Atılgan ve ark., 2007). Ayrıca, Antalya'da seralarda yoğun şekilde üretim yapılan yörelerde, kuyu sularında yüksek nitrat içeriği tespit edilmiştir (Sönmez ve ark., 2008). Toprak kirliliğini önlemek ve üretimde sürdürülebilirliği sağlamak için en iyi tedbirlerden birisi gübrelemenin toprak ve bitki analizlerine göre yapılmasıdır (Guo ve ark., 2006).

Tarımda sürdürülebilirlik ve yüksek verimlilik için toprağın muhafazası en önemli faktörlerdendir. Yıllardır süregelen bilinçsiz yetiştiricilik teknikleri, toprakların organik madde içeriğinin tüketilmesine sebep olmuştur. Entansif tarımın yapıldığı yerlerde, toprak verimliliği için mutlaka yeterli organik madde ilavesi yapılmalıdır. Ülkemizde, toprakların büyük bir kısmında organik madde oldukça düşüktür ve zamanla daha da azalması ile toprağın tekstür, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin olumsuz etkileneceği tahmin edilmektedir (Demirtaş, 2004). Toprak canlılığının korunmasında organik madde içeriği önemli bir etkendir (Önal ve ark., 2003). Organik materyallerin kullanılması toprağın fiziksel yapısını iyileştirmede ve atıkların yok edilmesinde çevre dostu bir yöntemdir (Nazli ve ark., 2016).

Çiftlik gübresi hem açık alan hem de örtü altı koşulları için en ideal organik maddelerden birisidir. Ancak çiftlik gübresinin yüksek maliyetli olması, bazı hastalık ve zararlıları barındırması, temin etmede yaşanan güçlükler kullanımını giderek azaltmaktadır. Çiftlik gübresi için bazı alternatifler üzerinde çalışılmakta, bunun için hasat atıklarının girdi olarak değerlendirilmesi yaygınlaşmaktadır. Bitkisel atıkların veya tarıma dayalı endüstriyel atıkların başarılı bir şekilde üretimde değerlendirilebileceği yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir (Benito, 2006; Özenç, 2004).

Biyogaz üretimiyle elde edilen ve daha sağlıklı olan fermente gübre bir başka alternatif olup, tarımsal uygulamalarda kullanılması verimi yaklaşık %25 oranında artırmaktadır. Ayrıca biyogaz üretiminde hayvan gübrelerinin kokusu kaybolmakta, insan sağlığını tehdit eden birçok etmen yok edilmektedir (Kumbur ve ark., 2005).

Vermikompost solucanlar tarafından üretilen, toprak düzenleyicisi ve gübre olarak kullanımı giderek yaygınlaşan organik materyallerden birisidir (Kıran, 2019). Vermikompostun elde edilmesinde toprak solucanlarından faydalanılmaktadur (Dominguez, 2004). Solucan gübresi olarak da isimlendirilen bu materyaller solucanların sindirim sisteminden geçirilmesiyle elde edilir (Ceritoğlu ve ark., 2019). Yapılan araştırmalar, her geçen gün artan organik atıkların geri dönüştürülmesi ve gübre kullanımının azaltması için uygulanabiliecek bir metot olarak karşımıza çıkmaktadır (Blouin ve ark., 2019). Vermikompostun içerdiği faydalı mikroorganizmalar, rizosfere yerleşerek çeşitli antibiyotik, enzim (üreaz, fosfataz, β-glikosidaz vb.) ve bitki gelişim düzenleyicileri (oksin, sitokinin, giberellik asit vb.) salgılamaktadır (Maltaş ve ark., 2017). Dolaysıyla vermikompostlar; yüksek gözenekli, su tutma kapasitesi iyi, mikrobiyal aktiviteye sahip, ince, parçalanmış torf benzeri bir toprak düzenleyicisidir (Atiyeh ve ark., 2001).

Sera atıklarının zararsız şekilde uzaklaştırılması üreticiler için ciddi bir problemdir. Atıkları yakarak yok etmek çevreye zararlıdır ve bu şekilde potansiyel faydalarından yararlanılamamaktadır. Kompostlama alternatif bir bertaraf etme yöntemidir ve son yıllarda önem kazanarak birçok bilimsel araştırmaya konu olmaktadır (Çerçioğlu, 2018). Sönmez ve ark. (2002) Antalya'nın Kumluca ilçesinde, domates seralarından yaklaşık 57 500 ton/yıl, Antalya genelinde ise 330 625 ton/yıl bitki atığının seralardan uzaklaştırılarak çevreye gelişigüzel atıldığını veya yakılarak yok edildiğini rapor etmiştir.

Başka bir kayanağın belirtiğine göre Türkiye'de üretim sonrasında yaklaşık 12.8 milyon ton/yıl organik atık ortaya çıkmaktadır (Başçetinçelik ve ark., 2006). Özellikle seracılık faaliyetleirnin yoğunlaştığı Antalya'da, cam ve plastik sera alanlarından yıllık yaklaşık 1 182 bin ton yaş, 176 bin ton kuru bitkisel atık elde edilmektedir. Bu rakamlar ülkemiz genelinden seralardan ortaya çıkan atıkların yaklaşık %70'ine denk gelmektedir (Bilgin, 2013).

Sera atıklarından elde edilen kompostların yüksek besin içeriklerine sahip olmalarının yanında fiziksel özelliklerinin de çok iyi olduğu bildirilmiştir.

Domates gibi zengin içeriğe sahip sebze atıklarından elde edilen kompostlar, çayır ve çim bitkilerinden elde edilen kompostlara nazaran daha pratik ve ekonomiktir (Roe & Cornforth, 2000). Bununla ilgili yapılan bir araştırmada, talaş yerine sera atıklarına dayalı kompost yetiştirme ortamı olarak kullanıldığında %10 verim artışı elde edildiği bildirilmektedir (Cheuk, 2003; Karaca, 2017).

Çerçioğlu ve ark. (2017), Kütahya-Simav yöresinden elde edilen topraksız tarım atıklarını yığın tipi kompostlama metodu ile kompost haline getirmiş, biber verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre 40 ton ha^{-1} ve 80 ton ha^{-1} kompost oranlarının toprağın organik maddesi, makro element içeriği ve bitkisel verimi arttırdığını belirlemişlerdir.

Son yıllarda bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin kullanımı da yaygınlaşmıştır. Toprak tuzluluğu, kuraklık, kimyasal gübre tasarrufu, kimyasal gübrelerden etkin şekilde yararlanma, hastalık ve zararlılara karşı önlem amacıyla çok çeşitli kullanım alanları mevcuttur.

Sürdürülebilir gıda üretiminde biofertilizer olarak adlandırılan mikrobiyal aşılayıcıların (Alori ve ark., 2017) kullanımı, bitkilerin azot ve fosfor gibi mineral elementleri etkin bir şekilde kullanmasını sağlar. Fosfor, bitkilerin ihtiyaç duyduğu önemli bir mineraldir ve eksikliği bitki gelişimini azaltabilir. Arbusküler mikorizal (AM) birliktelikleri, birkaç bitkinin rizosferik topraklardan yeterli miktarda fosfor elde ettiği araçlardır. AM simbiyotik ilişkisi, bitkilerde bitki büyümesini ve fosfor seviyesini arttırdığı için özellikle fosfordan yoksun ortamlarda büyüyen bitkiler için önemlidir. Jel elektroforezi ve ultrasitokimya yoluyla alkalin fosfataz (ALP), AM için fonksiyonel ve faydalı bir enzim olarak kabul edilmiştir. ALP, son derece gelişmiş arbusküllerin vakuollerindeki varlığı ultrasitokimyasal çalışmalarla ortaya konduğundan, bitkiler tarafından fosfor alımından sorumludur (Abdel-Fattah ve ark., 2014).

Dünya'da 950 milyon hektardan fazla alanda toprak tuzluluğu sorunu vardır ve hızla artmaktadır (Arora ve ark., 2017). Toprak tuzluluğu sera alanlarında da büyük sorun oluşturmaktadır. Bitkilerde abiyotik stres faktörü olarak ortaya çıkan bu tuzluluğun azaltılmasında, bazı biyo organik iyileştiricilerden yararlanılmaktadır. Mısır'da, sera koşullarında mısır yetiştiriciliğinde bira atığı buğday danelerinin ve *Azospirillum brasilense*

bakterisi kullanımının abiyotik stresi hafiflettiği, mısır bitkisinin gelişimini ve verimini artırdığını, topraktaki Na+ içeriğini azalttığı rapor edilmiştir (Hafez ve ark., 2022).

Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), N-fiksasyonu yoluyla bitki büyümesini olumlu yönde etkiler ve fosfor mevcudiyetini arttırır. PGPR, mineral gübreleri ikamesi etmek için çeşitli yollar sunar, böylece çevre kirliliğini azaltır ve gıda güvenliğini arttırır. Bu nedenle, PGPR, sürdürülebilir tarım ve gelecekteki tarımsal gelişmeler için potansiyel bir araç olarak değerlendirilmektedir. Rizosfer bakterilerinin yaklaşık %2 ila %5'i PGPR özelliğine sahiptir (Güneş ve ark., 2014; Negm & Abu-hashim, 2019).

Hastalıklara karşı bitkileri dirençli hale getirerek topraktaki eksik durumda bulunan besin maddelerinin emilimini sağlayan, dolayısıyla bitkilerin farklı abiyotik stres faktörlerini tolere etmesine yardımcı olan mikroorganizmaların aktivitelerini sağlamak gıda üretimi için önemlidir. Rizosferdeki mikrobiyal çeşitlilik ve etkileriyle ilgili yeni bilgilere ihtiyaç vardır. Biyogübreler; düşük maliyetli olmaları, toksik etki yaratmamaları, yeraltı sularını kirletmemeleri ve toprak asitliğini artırmamaları gibi avantajlarının yanı sıra, bitki gelişimini destekleyen hormonlar üreterek büyümeyi teşvik eder (Hubbel & Kidder, 1998).

Sürdürülebilir tarımın gelişmesinde, biyolojik azot fiksasyonu (BNF) alternatif bir gübre kaynağı olarak dikkate değerdir. Böylece insan ihtiyaçlarının karşılanması, çevreye olumlu etkilerinin artırılması, doğal kaynakların korunması ve erozyonun azaltılması sağlanabilir. Bitki gelişimini teşvik ederek artıran *Rhizobium, Azotobacter, Bacillus, Azospirillum Pseudomonas, Enterobacter, Klebsiella* ve *Staphylococcus* gibi bakterilerin, bazı *Aspergillus* ve *Penicillium* funguslarının biyo gübre olarak kullanımı üzerine çok fazla araştırma yapılmakta ve faydalı çıktılar elde edilmektedir (Çakmakçı, 2002; Sudhakar ve ark., 2000).

Yapılan araştırmalarda biogübre olarak kullanılması halinde marulda ve brokolide %25'den fazla NPK gübre kullanımını azalttığı bildirilmiştir (Demir ve ark., 2023; Demir ve ark., 2024).

Sürdürülebilir tarımsal üretim için başka bir yenilikçi yaklaşımda biostimulantların uygulanmasıdır. Suyun az olduğu koşullarda, doğal kaynakların tükenmesi ya da azalması halinde, çevresel stres faktörleri ve iklim değişikliği gibi çeşitli sınırlamalarla karşı karşıya kalındığında kullanılabilecek

çevre dostu bir yaklaşımdır (Rouphael ve ark., 2018; Van Osten ve ark., 2017; Craigie, 2011; Tejada ve ark., 2011). Son yıllarda biostimulant olarak birçok ürün üzerinde araştırmalar yoğunlaşmış durumdadır. Bunlardan birisinde; Rouphael ve ark. (2018) örtüaltı koşullarında ıspanak bitkisine yapraktan baklagillerden elde edilen hydrolysate proteinini, deniz yosunu ekstraktını, bitkisel yağlar ile *Ascophyllum nodosum* ekstraktını uygulamışlar, kullanılan tüm ürünlerin daha yüksek klorofil içeriği, daha geniş yaprak oluşumu ve daha yüksek taze verim üzerine etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu gelişmeler hormon aktivitesinin etkisiyle kök geliminin iyileştirilmesiyle ilişkilendirilmiştir.

Yapraklı sebzelerde *Ascophyllum nodosum* kullanımının, marul bitkilerinde potasyum eksikliğinin olumsuzluklarını azalttığı, biyostimülanların ve biyogübrelerin uygulanması ile su stresi altında yetiştirilen ıspanak bitkilerinin kimyasal bileşimini ve biyoaktif özellikleri üzerinde olumlu etkiler yaptığı bildirilmiştir (Pereira ve ark., 2019). Başka bir kaynakta, sürdürülebilir sebze üretimi için protein hidrolizatları ve kahverengi makro alglerin (*Ascophyllum nodosum* ve *Ecklonia maxima*) yenilikçi ve uygun maliyetli yaklaşımlar olduğu değerlendirilmiştir. Amino asitler ve peptitler içeren bitki hidrolizatları stres koşulları altında yetiştirilen bitkiler üzerinde etkili biyostimülanlar olarak kabul edilmiştir (Petropoulos, 2020).

5. HASTALIK VE ZARARLI YÖNETİMİ

Kimyasal pestisit kullanımı eskiye nazaran azalmış olsa da hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların neden olduğu problemlerle mücadele etmek oldukça zordur ve insan güvenliği için büyük kaygılara neden olmaktadır. Dolayısıyla doğayla uyumlu sağlıklı tarımsal mücadelenin geliştirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Bu nedenle kimyasal olmayan alternatifler üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Serada sürdürülebilirlik açısından kimyasal pestisitlere alternatiflerden en önemlisi biyolojik mücadeledir. Organik tarımda da uygulanan bu yöntem, biyolojik mücadeleye uygun diğer mücadele metotları ile birlikte çok daha etkili olmaktadır (Azizoğlu ve ark., 2012). Biyolojik mücadelede üç temel yaklaşım vardır (Agrios, 2005; Uneke, 2007).

- **Klasik biyolojik mücadele:** Biyolojik mücadele ajanlarının orijinal yelerinden getirilip üretim bölgesine yerleştirilmesidir.

• **Koruyucu biyolojik mücadele:** Bulunduğu yerde mevcut olan yararlı türlerin korunmasını içermektedir.

• **Kitlesel biyolojik mücadele:** Faydalı türün üretiminin yapılarak mücadele yapılacak bölgeye bırakılmasıdır.

Biyolojik mücadelede kullanılan alternatiflerden birisi entomopatojen biyoinsektisitlerdir. Yetiştirilen bitkilerdeki zararlıları kontrol etmek için entomopatojen biyoinsektisitler dikkate alınarak uygun bir yetiştiricilik ve rotasyon planlanmalıdır. Zararlılarla mücadelede bakteri, virüs, fungus, protozoa ve nematodlar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Entomopatojen biyoinsektisitler türlere özel etki gösterdiğinden diğer doğal düşmanlara göre daha avantajlıdır. Bu da onları diğer biyolojik ve mineral kaynaklı pestisitlerden ayıran bir özelliktir (Azizoğlu ve ark., 2012; Zehnder, 2007).

Sera ürünlerindeki kırmızı örümcekler avcı akarlar ile başarılı bir şekilde kontrol edilirken (Conte ve ark., 2000), sera beyaz sineğine karşı parazitoid arılar kullanılmaktadır (Siongers & Coosemans, 2003). Yetiştiricilik yapılan alanlarda parazitoidlerin bırakılması lepidopter zararlılarının kontrolünde de etkili olmaktadır (Lorenz ve ark., 2003).

Bitki Gelişimini teşvik eden rhizobakteriler (PGPR) bitkilerin gelişimini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. PGPR uygulamalarıyla çimlenme, kök ve gövde gelişimi, büyüme özellikleri, susuzluğa tolerans artarken, yaprakların yaşlanması gecikmekte, bu gelişmelerle birlikte bazı hastalıklara dayanıklılık sağlanmaktadır. Bunların yanında toprağın pH değişimleri, yüksek sıcaklık, nem ve besin noksanlığı gibi koşullar mikroorganizma kolonizasyonunu azaltmaktadır (Şahin ve ark., 2004; Dobbelaere ve ark., 2001).

Bazı besin elementlerinin bitkiler tarafından alımını teşvik eden PGPR, fitopatojenik organizmaları dolaylı olarak engellemektedir. Mikroorgaizmalar antibiyosis, rekabet, parazitizm, detoksifikasyon ve inhibisyon vb. etkileriyle bitki gelişimini etkilemektedir (Van Loon ve ark., 1998).

PGPR'ler siderofor üretemini arttırarak patojenlerin çoğalmasını sınırlandırmaktadır. Toprak patojenlerinin kontrolünde *Mycorrhyzae, Streptomycetes, Enerobacter, Verticillium, Pseudomonas, Agrobacterium, Bacillus, Aspergillus* ve *Trichoderma* cinslerine ait farklı türlerden etkili

şekilde yararlanılabilmektedir. Yaygınlığı en fazla olan biyoinsektisit, *B. thuringiensis* veya böcekleri zehirleyen *Bt* proteini üreten bakterilerdir. *B. thuringiensis*'in sebzelerde kullanımı, kimyasal ilaçlamalar kadar etkindir (Saber, 2001). Başka bir araştırmaya göre *A. niger* ve *Fusarium*'un neden olduğu kök çürüklüğü hastalığı *B. subtilus* ile önlenebilmektedir (Podile & Prakash, 1996). Yine *P. putida* ile domateste *Fusarium* hastalığının kontrol ettiği kaydedilmiştir (Glick, 1995). PGPR üzerine yapılan araştırmalardan elde edilen olumlu sonuçların da etkisiyle, kimyevi gübre ve pestisit kullanımının azaltılması amacıyla PGPR'lerin biyo gübre olarak kullanımı artmaktadır (Burdman ve ark., 2000).

6. SONUÇ

Günümüzde serada tarımsal üretimde sürdürülebilirlik tercih değil, zorunluluk haline gelmiştir. İklim değişikliğinin getirdiği olumsuzluklar, buna bağlı olarak su kaynaklarının azalması, enerji maliyetlerinin artışı gibi faktörler seralarda üretim tekniklerinin yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda ele alındığında; su yönetiminde damlama sulama, yağmur suyu hasadı, atmosferik su hasadı ve hidroponik sistemlerin kullanımı temel bileşenlerden birisini oluşturmaktadır. Enerji verimliliği açısından yenilenebilir enerji kaynakları, ısı geri kazanım sistemleri ve LED aydınlatma teknolojileri bir diğer bileşendir. Yetiştirilen bitkileri koruma stratejilerinde entegre zararlı yönetimi ve biyolojik mücadele uygulamaları önemli bir başka bileşeni oluşturur. Atık yönetimi, organik materyal ve organik gübreleme uygulamaları çevreye duyarlı üretime katkı sunan bir başka unsurdur. Serada sürdürülebilirliğin ekonomik çıktısı bakımından ticari boyutuna katkı sağlayan sertifikalandırma ise önemli etkenlerden bir başkasıdır. Ayrıca, sensör tabanlı otomasyon sistemleri ve yapay zekâ destekli iklim kontrolü gibi dijital teknolojilerin entegrasyonu, kaynak kullanımını optimize ederek hem üretim verimliliğini hem de çevresel performansı artırabilir.

Sonuç olarak, sürdürülebilir sera tarımı, yalnızca mevcut üretim süreçlerinin iyileştirilmesini değil, aynı zamanda uzun vadede çevreyle uyumlu hale getirilmesini, gelecekte artan gıda talebini karşılayabilmek için seralarda sürdürülebilir üretim modellerinin yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Abdel-Fattah, G., Asrar, A, Al-Amri, S., Abdel-Salam, E. (2014) Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization on the gas exchange, growth and phosphatase activity of soybean (*Glycine max* L.) plants. *Photosynthetica,* 52:581–588

Abdel-Ghany, A. M., Al-Helal, I. M., Shady, M. R., & Abdel-Razik, E. M. (2012). Covering materials incorporating radiation-preventing techniques to meet greenhouse cooling challenges in arid regions: A review. *The Scientific World Journal, 2012*, 906360. https://doi.org/10.1100/2012/906360

Agrios, G.N. (2005). Plant Pathology, pp.922, (5th ed.) Elsevier Academic Pres, London.

Alori, E.T., Dare, M.O., Babalola, O.O. (2017) Microbial inoculants for soil quality and plant health. Sustainable Agriculture Reviews, 281–307.

Anaç D., Eryüce N. (2003). Nutrient management in protected cropping in Turkey. The International Fertilizer Society, Proceedings, 522, 19-34.

Antón, M. A., Muñoz, P., Castells, F., Montero, J. I., & Soliva, M. (2005). Improving waste management in protected horticulture. *Agronomy for Sustainable Development, 25*(4), 447–453. https://doi.org/10.1051/agro:2005045

Arora, S., Singh, A. K., & Singh, Y. P. (2017). *Bioremediation of salt affected soils: An Indian perspective*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48257-6

Atılgan, A., Çoşkan, A., Saltuk, B., & Erkan, M. (2007). Antalya yöresindeki seralarda kimyasal ve organik gübre kullanım düzeyleri ve olası çevre etkileri. *Ekoloji Dergisi, 21*(82), 1–8.

Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S., & Metzger, J. D. (2001). Pig manure as a component of a horticultural bedding plant medium: Effect on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology, 78*(1), 11–20. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00172-3

Ayaşlıgil, T. E., & Çelik, Y. E. (2022). *Avrupa'nın arka bahçesi: Almeria örneğinde sürdürülebilir tarım ve sera alanları*. In Akdeniz 7th International Applied Sciences Congress (ss. 110–125). ISBN 978-625-7341-94-3

Azizoğlu U., Bulut, S., Yılmaz, S. (2012). Organik tarımda biyolojik mücadele; entomopatojen biyoinsektisitler. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5):375-381

Aznar-Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., López-Felices, B., Román-Sánchez, I. M. (2020). An Analysis of Global Research Trends on Greenhouse Technology: Towards a Sustainable Agriculture. *International Journal of Environmental Researvh and Public Health*, 17, 664; https://doi.org/10.3390/ijerph17020664

Badji, A., Diarra, A., Ba, A., Sow, A., & Ndiaye, M. (2022). Design, technology, and management of greenhouse: A review. *Journal of Cleaner Production, 373*, 133753. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133753

Balcı Akova, S., & Tapan, İ. (2022). Sürdürülebilir tarım kapsamında iyi tarım uygulamalarının değerlendirilmesi: Malatya ili örneği. *Coğrafya Dergisi, 44*, 151–167. https://doi.org/10.26650/JGEOG2022-987872

Başçetinçelik, A., Öztürk, H. H., Kaya, D., Kaçira, K., Ekinci, K., & Karaca, C. (2006). Türkiye'de biyokütle enerjisi kullanımını geliştirme olanakları. *VI. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 25–26 Mayıs, Isparta.

Baytorun, A. N. Gügercin, Ö. (2015). Seralarda Enerji Verimliliğinin Artırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 30(2): 125-135.

Baytorun, A. N., Önder, D., & Gügercin, Ö. (2016). Seraların ısıtılmasında kullanılan fosil ve jeotermal enerji kaynaklarının karşılaştırılması. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4*(10), 832–839. https://doi.org/10.24925/turjaf.v4i10.832-839.863

Bellitürk, K. (2016). Sürdürülebilir tarımsal üretimde katı atık yönetimi için vermikompost teknolojisi. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi, 31*(3), 1–5.

Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., & De Antonio, R. (2006). Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresource Technology, 97*(16), 2071–2076. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.011

Bilgin, S., Ertekin, C., & Kürklü, A. (2013). Alternatif yakıt olarak sera bitki atığı briketlerinin yakılması ve baca gazı emisyon değerlerinin

belirlenmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 26*(1), 11–17.

Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development, 39*(4), 34. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x

Boyacı, S., Atılgan, A., Kocięcka, J., Liberacki, D., & Rolbiecki, R. (2024). Use of rainwater harvesting from roofs for irrigation purposes in hydroponic greenhouse enterprises. *Atmosphere, 15*, 884. https://doi.org/10.3390/atmos15080884

Burdman, S., Jurkevitch, E., Okon, Y. (2000). Recent advances the use of plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in agriculture. In Microbiol Interactions in Agriculture and Forestry. Subba, R.N., Dommergues, Y.R.(eds). Vol II Chp. 10, 29-250. Pub. Inc. UK.

Camp, C. R. (1998). Subsurface drip irrigation: A review. *Transactions of the ASAE, 41*(5), 1353–1367. https://doi.org/10.13031/2013.17309

Ceritoğlu, M., Şahin, S., & Erman, M. (2019). Vermikompost üretim tekniği ve üretimde kullanılan materyaller. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 6*(2), 230–236. https://doi.org/10.19159/tutad.440783

Chel, A., & Kaushik, G. (2011). Renewable energy for sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development, 31*, 91–118. https://doi.org/10.1051/agro/2010029

Chen, B., Li, X., Wang, J., Zhang, H., & Liu, Y. (2022). The climate cost of saving water by different plastic mulching patterns. *Journal of Cleaner Production, 359*, 132011. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132011

Cheuk, W., Lo, K. V., Branion, R. M. R., & Fraser, B. (2003). Benefits of sustainable waste management in the vegetable greenhouse industry. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, 38*(6), 855–863. https://doi.org/10.1081/PFC-120025565

Conte, L., Chiarini, F., Dalla, M.L. (2000). Comparison between Two Methods for Biological Control of Aphis gossypii Glover (Rhynchota, Aphididae) in Organic Greenhouse Melons, 13th, Basel, pp. 126, Proc. IFOAM Sci. Conf., Frick, Swtitz, vdf., Hochschulverlag.

Craigie, J. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology, 23*, 371–393. https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4

Czyzyk, K. A., Patel, V., & Smith, J. (2014). Quantifying water savings with greenhouse farming. In *Proceedings of the IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* (pp. 325–332). IEEE. https://doi.org/10.1109/GHTC.2014.6970300

Çakmakçı, R. (2002). Azot fiksasyonu ve fosfat çözücü bakteri aşılamalarının şeker pancarı verim ve kalitesine etkisi. II. Şeker Pancarı Üret. Semp., Verim, Kalit. Yük., 257-270.

Çerçioğlu, M. (2018). Sürdürülebilir atık yönetiminde sera atıklarının kompost olarak değerlendirilmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 33*(1), 167–177.

Çerçioğlu, M., Yağmur, B., Kara, R. S., & Okur, B. (2017). Agro-endüstriyel kompost ve ahır gübresinin biber (*Capsicum annuum* L.) yetiştiriciliğinde toprağın bazı kimyasal özellikleri ile verim üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 54*(1), 71–77. https://doi.org/10.20289/zfdergi.297969

Çevre ve Orman Bakanlığı. (2004). *Türkiye çevre atlası*. Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Planlama Genel Müdürlüğü, Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı.

Çoban, E. (2020). *Jeotermal seracılık fizibilite raporu ve yatırımcı rehberi*. Tarım ve Orman Bakanlığı, Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü. Ankara.

Dayıoğlu, M. A., & Silsileli, H. (2012). Seralar için yapay aydınlatma sistemi tasarımı: Günlük ışık integrali yöntemi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(2), 233–240.

Demir, H., Saka, A. K., Uçan, U., Akgün, İ. H., & Yılmaz, A. (2024). Impact of effective micro-organisms (EM) on the yield, growth and biochemical properties of lettuce when applied to soil and leaves. *BMC Plant Biology, 24*, 1189. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05980-y

Demir, H., Kaman, H., Sönmez, İ., Uçan, U., & Akgün, İ. H. (2024). Yield and yield parameters response of cabbage to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agronomy, 14*, 2721. https://doi.org/10.3390/agronomy14112721

Demir, H., Sönmez, İ., Uçan, U., & Akgün, İ. H. (2023). Biofertilizers improve the plant growth, yield, and mineral concentration of lettuce and broccoli. *Agronomy, 13*, 2031. https://doi.org/10.3390/agronomy13082031

Demirtaş, İ. E. (2004). Kentsel katı atık kompostunun tarımda kullanımı. *Derim, 21*(2), 27–34.

Despommier, D. (2009). The rise of vertical farms. *Scientific American, 301*(5), 80–87. https://doi.org/10.1038/scientificamerican1109-80

Dominguez, J. (2004). State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. In C. A. Edwards (Ed.), *Earthworm ecology* (pp. 401–424). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420039719.ch20

Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Vanderleyden, J., Dutto, P., Labandera-Gonzalez, C., Caballero Mellado, J., Aguirre, J.F., Kapulnik, Y., Brener, S., Burdman, S., Kadouri, D., Sarig, S., Okon, Y. (2001). Responses of agronomically important crops to inoculation with Azospirillum. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28, 871-879.

El-Sheshny, A. A., Abdel-Hameed, A. M., Al-Rajhi, M. A., & Al-Harbi, M. (2025). Optimizing water management in greenhouse farming through an IoT-enabled monitoring system. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 24*, 33. https://doi.org/10.1007/s44447-025-00039-2

Engindeniz, S. (2002). Serada topraksız kültürle sebze yetiştirmenin ekonomik yönden değerlendirilmesi. *Türkiye V. Tarım Ekonomisi Kongresi* (ss. 163–169), 18–20 Eylül, Erzurum.

Environmental Protection Agency (EPA). (2012). *AgSTAR anaerobic digester database*. https://www.epa.gov/agstar/projects/index.html

Fernández, J.A., Orsini, F., Baeza, E., Oztekin, G.B., Muñoz, P., Contreras, J., Montero, J.I. (2018). Current trends in protected cultivation in Mediterranean climates. *European Journal of Horticultural Science*, 83, 294–305.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2011). *Energy-smart food for people and climate*. Rome. https://www.fao.org/3/i2454e/i2454e00.pdf

Ferreira, C. S. S., Soares, P. R., Guilherme, R., Vitali, G., Boulet, A., Harrison, M. T., Malamiri, H., Duarte, A. C., Kalantari, Z., & Ferreira, A. J. D. (2024). Sustainable water management in horticulture: Problems,

premises, and promises. *Horticulturae, 10*, 951. https://doi.org/10.3390/horticulturae10090951

Fleming, A., & Vanclay, F. (2010). Farmer responses to climate change and sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development, 30*(1), 11–19. https://doi.org/10.1051/agro/2009028

Güney Ege Kalkınma Ajansı. (2012). *Jeotermal enerjinin seracılıkta kullanımının önündeki engellerin tespiti projesi araştırma raporu*. GEKA.

Gençler, F. F. (2009). *AB ve Türkiye'de sürdürülebilir tarım uygulamalarının incelenmesi ve Türkiye'de sürdürülebilir tarıma yönelik politikaların geliştirilmesi üzerine bir araştırma: Zeytin örneği* (Yüksek lisans tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Glick, B.R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Canadian Journal of Microbiology, 41, 109-117.

Guo, H., Li, G., Zhang, D., Zhang, X., & Lu, C. (2006). Effects of water table and fertilization management on nitrogen loading to groundwater. *Agricultural Water Management, 82*, 86–98. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.033

Güler, S. (2004). Dünya'da ve Türkiye'de gübre tüketiminde yaşanan gelişmeler. In M. R. Karaman & A. R. Brohi (Eds.), *Türkiye 3. Ulusal Gübre Kongresi: Tarım–Sanayi–Çevre* (pp. 47–54). Tokat.

Güneş, A., Turan, M., Güllüce, M., & Şahin, F. (2014). Nutritional content analysis of plant growth-promoting rhizobacteria species. *European Journal of Soil Biology, 60*, 88–97. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.10.010

Hafez, M., Abdullah, A. M., Mohamed, A. E., & Rashad, M. (2022). Influence of environmental-friendly bio-organic ameliorants on abiotic stress to sustainable agriculture in arid regions: A long term greenhouse study in northwestern Egypt. *Journal of King Saud University – Science, 34*, 102212. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102212

Heidari, M. D., & Omid, M. (2011). Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. *Energy, 36*, 220–225. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.10.048

Hubbel, D.H., Kidder, G. (1998). Biological Nitrogen Fixation. Soil and Water Sci. Dep., Florida Coop. Ext. Serv., University of Florida.

Husarova, K. (2016, January 11). *The plastic sea in Almeria*. https://environmentfmv.wordpress.com/2016/01/11/the-plastic-sea-in-Almeria/

Kabay, T. (2019). Yenilenebilir enerji kaynaklarının Van ve çevresindeki seraların ısıtılmasında kullanımı. *3rd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management* (pp. 134–139). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van. https://doi.org/10.33793/acperpro.02.02.18

Karaca, C. (2013). Türkiye'de sürdürülebilir tarım politikaları: Tarım sektöründe atıl ve yenilenebilir enerji kaynakların değerlendirilmesi. *Tarım Ekonomisi Dergisi, 19*(1), 1–11.

Karaca, C. (2017). Antalya'da seracılık biyokütle artıklarının potansiyelinin haritalanması ve enerji üretim amacıyla değerlendirilmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences, 30*(1), 21–25.

Kendirli, B., & Çakmak, B. (2009). Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 2*(1), 95–103. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000029

Khan, F. A., Kurklu, A., Ghafoor, A., Ali, Q., Umair, M., & Shahzaib. (2018). A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences, 2*(2), 59–66. https://doi.org/10.31015/jaefs.18010

Kıran, S. (2019). Vermikompost uygulamalarının kuraklık stresi altındaki kıvırcık salatanın (*Lactuca sativa* var. *crispa*) mineral içerikleri üzerine etkisi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 22*(Ek Sayı 1), 133–140. https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.569012

Kirmikil, M., & Ertaş, B. (2020). Tarım 4.0 ile sürdürülebilir bir gelecek. *ICONTECH International Journal of Surveys, Engineering and Technology, 4*(1), 1–12. https://doi.org/10.46291/ICONTECHvol4iss1pp1-12

Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D., & Avcı, E. D. (2005). Türkiye'de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi (YEKSEM 2005)*, 19–21 Ekim, Mersin, 32–38.

Li, J., Zhang, Z., Wang, X., Chen, Y., Liu, H., & Zhao, Q. (2024). A photosynthetically active radiative cooling film. *Nature Sustainability*.

Advance online publication. https://doi.org/10.1038/s41893-024-01350-6

Li, J., Zhang, J., Li, Y., & Li, P. (2016). Effect of aerated subsurface drip irrigation on tomato yield and fruit quality under greenhouse conditions. *Agricultural Water Management, 163*, 158–165.

Lorenz, N., Zimmermann, O., Hassan, S.A. (2003). Use of Trichogramma Parasitoids Against The Leek Moth (Acrolepiopsis assectella, Lep., Plutellidae) for The Solution of Plant Protection Problems in Organic Farming, DGAAE Nachr., 17-19.

Ma, D., Wang, S., Wang, X., Li, J., Lu, H., & Gao, Q. (2019). Greenhouse environment modeling and simulation for microclimate control. *Computers and Electronics in Agriculture, 162*, 134–142. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.013

Maltaş, A. Ş., Tavalı, İ. E., Uz, İ., & Kaplan, M. (2017). Kırmızı baş lahana (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) yetiştiriciliğinde vermikompost uygulaması. *Mediterranean Agricultural Sciences, 30*(2), 155–161.

Mpusia, P. T. O. (2006). *Comparison of water consumption between greenhouse and outdoor cultivation* (Master's thesis). ITC.

Nazli, R. I., Inal, I., Kusvuran, A., Demirbas, A., & Tansi, V. (2016). Effects of different organic materials on forage yield and nutrient uptake of silage maize (Zea mays L.). *Journal of Plant Nutrition, 39*(7), 912–921. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1109103

Negm, A. M., & Abu-hashim, M. (2019). *Sustainability of agricultural environment in Egypt: Part II*. In *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95357-1

Önal, M. K., Topcuoğlu, B., & Arı, N. (2003). Toprağa uygulanan kentsel arıtma çamurunun domates bitkisine etkisi: II. Gelişme ve meyve özellikleri ile meyvede mineral içerikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16*(1), 97–106.*

Özenç, N. (2004). *Fındık zurufu ve diğer organik materyallerin fındık tarımı yapılan toprakların özellikleri ve ürün kalitesi üzerine etkileri* (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Öztürk, H. H., Yaşar, B., & Eren, Ö. (2010). Tarımda enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynakları. In *Türkiye Ziraat Mühendisliği VII.*

Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı (ss. 909–932). TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ankara.

Özyurt, M., & Dönmez, G. (2005). Alternatif enerji kaynaklarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. In *YEKSEM 2005: III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu* (19–21 Ekim). Mersin.

Parlakay, O., Çelik, A. D., & Kızıltuğ, T. (2015). Hatay ilinde tarımsal üretimden kaynaklanan çevre sorunları ve çözüm önerileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20*(2), 17–26.

Pereira, C., Dias, M.I., Petropoulos, S.A., Plexida, S., Chrysargyris, A., Tzortzakis, N., Calhelha, R.C., Ivanov, M., Stojkovic, D., Sokovic, M., Borros, L., Ferreira I. C. F. R. (2019). The Effects of Biostimulants, Biofertilizers andWater-Stress on Nutritional Value and Chemical Composition of Two Spinach Genotypes (*Spinacia oleracea* L.). *Molecules*, 24, 4494.

Petropoulos, S. A. (2020). Practical applications of plant biostimulants in greenhouse vegetable crop production. *Agronomy, 10*, 1569. https://doi.org/10.3390/agronomy10101569

Pezikoğlu, F. (2012). Sürdürülebilir tarım ve kırsal kalkınma kavramı içinde tarım-turizm-kırsal alan ilişkisi ve sonuçları. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 14*(22), 83–92.

Podile, A.R., Praash, A.P., 1996. Lysis and biological cotrol of *Aspergillus niger* by *Bacillus subtilis* AF 1. *Canadian Journal of Microbiology*, 42, 533-538.

Roe, N. E., & Cornforth, G. C. (2000). Effects of dairy lot scrapings and composted dairy manure on growth, yield, and profit potential of double cropped vegetables. *Compost Science and Utilization, 8*(4), 320–327. https://doi.org/10.1080/1065657X.2000.10702005

Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., De Pascale, S., & Colla, G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae, 234*, 275–289. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033

Saber, M.S.M. (2001). Clean Biotechnology for sustainable farming. *Engineering in Life Sciences*, 1, 217-223.

Shen, Y., Wei, R., & Xu, L. (2018). Energy consumption prediction of a greenhouse and optimization of daily average temperature. *Energies, 11*, 65. https://doi.org/10.3390/en11010065

Siongers, C., & Coosemans, J. (2003). Biological control of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) with fungal insecticides. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 68*(4 Pt A), 239–247. PMID: 15149114

Sönmez, İ., Kaplan, M., & Sönmez, S. (2008a). Kimyasal gübrelerin çevre kirliliği üzerine etkileri ve çözüm önerileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25*(2), 24–34.

Sönmez, S., Kaplan, M., Orman, Ş., & Sönmez, İ. (2002). Antalya-Kumluca yöresi domates seralarında hasat sonrası bitkisel atıklarla kaldırılan besin maddeleri miktarları ve bu atıkların değerlendirilmesi ile ilgili öneriler. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 15*(1), 19–25.

Sudhakar, P., Chattopadhyay, G.N., Gangwar, S.K., Ghosh, J.K. (2000). Effect of foliar application of Azotobacter, Azospirillum and Beijerinckia on leaf yield and quality of mulberry (Morus alba). *The Journal of Agricultural Science,* 134, 227-234.

Şahin, F., Çakmakçı, R., Kantar, F. (2004). Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N2-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant and Soil, 265, 123-129.

Şimşek, G., & Dağdelen, N. (2020). Aydın yöresindeki örtüaltı işletmelerinin üretim sistemleri açısından irdelenmesi. *ADÜ Ziraat Dergisi, 17*(1), 61–69. https://doi.org/10.25308/aduziraat.687213

Tataraki, K., Giannini, E., Kavvadias, K., & Maroulis, Z. (2020). Cogeneration economics for greenhouses in Europe. *Energies, 13*, 3373. https://doi.org/10.3390/en13133373

Tejada, M., Benítez, C., Gómez, I., & Parrado, J. (2011). Use of biostimulants on soil restoration: Effects on soil biochemical properties and microbial community. *Applied Soil Ecology, 49*, 11–17. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.07.009

TEMA Vakfı. (2004). *Dünyanın durumu 2004: Sürdürülebilir toplum için Worldwatch Enstitüsü raporu* (Yayın No. 44). Safa Matbaacılık.

Topal, M., & Arslan, E. I. (2008). Biyokütle enerjisi ve Türkiye. In *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES 2008, 17–19 Aralık, İstanbul*.

Turhan, Ş. (2005). Tarımda sürdürülebilirlik ve organik tarım. *Tarım Ekonomisi Dergisi, 4*(11), 13–24.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2022). *Bitkisel üretim istatistikleri*. Erişim adresi: https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1

UGA Extension. (2022). *Using shallow subsurface drip irrigation in vegetable production* (University of Georgia Cooperative Extension Bulletin).

Uneke, C.J. (2007). Integrated Pest Management for Developing Countries, pp. 203, A Systemic Overview, Nova Publishers.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2024). *World population prospects 2024.* https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2024_Summary-of-Results.pdf

United Nations Development Programme. (2011). *Small-scale bioenergy initiatives: Lessons learned from Asia, Latin America and Africa*. UNDP. https://www.undp.org/publications/small-scale-bioenergy-initiativesvan

Van Loon, L.C., Bakker, P.A.H.M., Pieterse, C.M.J. (1998). Systemic resistance induced by Rhizosphere bacteria. *Annual Review Phytopathology*, 36, 453-483.

van Lenteren, J. C., & Nicot, P. C. (2020). Integrated pest management methods and considerations concerning implementation in greenhouses. In M. L. Gullino, R. Albajes, & P. C. Nicot (Eds.), *Integrated pest and disease management in greenhouse crops* (Plant Pathology in the 21st Century, Vol. 9, pp. 177–193). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5_6

van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 4*, 1–12. https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5

Vanclay, F., & Lawrence, G. (1994). Farmer rationality and the adoption of environmentally sound practices: A critique of the assumptions of traditional agricultural extension. *European Journal of Agricultural Education and Extension, 1*(2), 59–90. https://doi.org/10.1080/13892249485300061

Vanclay, F., & Lawrence, G. (1995). *The environmental imperative: Ecosocial concerns for Australian agriculture.* Central Queensland University Press.

Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Batlles-delaFuente, A., & Fidelibus, M. D. (2019). Rainwater harvesting for agricultural irrigation: An analysis of global research. *Water, 11*, 1320. https://doi.org/10.3390/w11071320

Wan, L., Jian, Y., Zhang, M., Tong, J., Rebi, A., & Zhou, J. (2024). Improving water productivity using subsurface drip irrigation in the Southwest Monsoon area in Yunnan Province of China. *Agronomy, 14*, 679. https://doi.org/10.3390/agronomy14040679

Yang, J., Fan, X., He, F., Zhang, Z., Zhang, L., & Wang, R. (2020). A moisture-hungry copper complex harvesting air moisture for potable water and autonomous urban agriculture. *Advanced Materials, 32*, e2002936. https://doi.org/10.1002/adma.202002936

Yılmaz, S. (2015). *Sürdürülebilir tarım mümkün mü?* Yeşil Politika Kitaplığı. ISBN: 978-605-5895-327.

Yu, L. M., Gao, W. L., Shamshiri, R. R., Tao, S., Ren, Y. Z., Zhang, Y. J., & Su, G. L. (2021). Review of research progress on soil moisture sensor technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 14*(4), 32–42. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211404.6404

Zehnder, G., Gurr, G. M., Kühne, S., Wade, M. R., Wratten, S. D., Wyss, E. (2007). Arthropod Pest Management in Organic Crops, *Annual Review of Entomology*, 52, 57–80.

Zou, H., Wang, F., Zeng, Z., Zhu, J., Zha, L., Huang, D., Li, J., & Wang, R. (2025). Next-generation water-saving strategies for greenhouses using a nexus approach with modern technologies. *Nature Communications, 16*(1), 2091. https://doi.org/10.1038/s41467-025-57388-3