

Tarımsal Yapılar ve Sulama ile Biyosistem Mühendisliği Bilimlerinde Uygulamalar ve Yenilikler

Editör
SEDAT KARADAVUT



BIDGE Yayınları

Tarımsal Yapılar ve Sulama ile Biyosistem Mühendisliği
Bilimlerinde Uygulamalar ve Yenilikler

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Sedat KARADAVUT

ISBN: 978-625-6707-95-5

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2023

BIDGE Yayınları

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

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BIDGE Yayınları

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

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

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



ÖNSÖZ

Tarım, insanlığın varoluşundan bu yana yaşamın temelini oluşturmuş ve günümüzde de bu önemini koruyarak modern teknoloji ve bilimin katkılarıyla sürekli gelişim göstermektedir. Bu gelişim; tarımsal yapıların tasarımı, sürdürülebilirliği ve biyolojik sistemlerin mühendislik yaklaşımları gibi konuları da beraberinde getirmiştir. Tarımsal yapılar, tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi ve korunması için kullanılan yapılar ve sistemlerdir. Sulama bilimi ise bitkilerin su ihtiyacını karşılamak için su kaynaklarının yönetimi ve sulama sistemlerinin geliştirilmesi üzerine odaklanır. Biyosistem mühendisliği, biyolojik sistemlerin ve insan yapımı makinelerin etkileşimlerini inceleyen, bu etkileşimlerden yararlanarak çeşitli uygulamalar geliştiren disiplinlerarası bir alandır. Bu alandaki çalışmalar, tarımsal yapılar, sulama sistemleri ve tarım teknolojileriyle entegre olarak verimliliği artırmayı, doğal kaynakları korumayı ve sürdürülebilir bir tarım için yenilikçi çözümler üretmeyi amaçlamaktadır. Tarımsal yapılar, sulama sistemleri ve biyosistem mühendisliği; tarımsal üretimin verimliliğini artırmak, doğal kaynakları korumak ve sürdürülebilir bir gelecek için kritik bir rol oynar. "Tarımsal Yapılar ve Sulama ile Biyosistem Mühendisliği Bilimlerinde Uygulamalar ve Yenilikler" adlı uluslararası niteliğe sahip bu kitap; tarımsal sektördeki yenilikçi yaklaşımları, teknolojik gelişmeleri ve bilimsel uygulamalar ile bu önemli alanlardaki güncel konuları bir araya getiren bir derlemedir.

Kitabımız; her bir bölümün alanında uzman akademisyen ile araştırmacı tarafından kaleme alındığı ve farklı yönleriyle bu disiplinlere ait makalelerin yer aldığı üç bölümden oluşmaktadır. Yazarların bu alandaki deneyimleri, araştırmaları ve perspektifleri, tarımsal yapılar, sulama sistemleri ve biyosistem mühendisliği konularında okuyuculara geniş bir bakış açısı sunmaktadır. Biyolojik sistemlerin mühendislik yaklaşımı bağlamında, bu kitap; tarımsal yapıların, sulama tekniklerinin, akıllı ve hassas tarımı içerisinde barındıran tarım teknolojilerinin; biyosistemlerle olan

etkileşimlerini ve yenilikçi çözümlerini; okuyuculara, uygulayıcılara ve araştırmacılara sunmayı amaçlamaktadır.

Bu eser; ziraat mühendisleri, biyosistem mühendisleri, çevre bilimcileri ve ilgili alanlarda çalışan araştırmacılar ile tarım sektöründe ilerlemek ve bu alandaki yenilikleri takip etmek isteyen herkes için bir kaynak niteliği taşımaktadır. Paydaşlarına; tarımsal yapılar, sulama sistemleri ve biyosistem mühendisliği konularında en güncel gelişmeleri sunarak, tarımsal verimlilik artışı ve doğal kaynakların etkin kullanımı konularında geniş bir bakış açısı sağlamayı hedeflemektedir.

Bu kitabın hazırlanmasına katkı sağlayan tüm yazarlara ve emeği geçen tüm çalışanlara en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Kitap; paydaşlarına tarımsal alanlardaki ilerlemelerin yanı sıra gelecekteki yönelimleri ve değişen dinamikleri anlamalarına yardımcı olacak bir kaynak olarak önemli bir rol üstlenecektir. Eserin; Tarımsal Yapılar ve Sulama ile Biyosistem Mühendisliği alanlarında akademik çalışmalara literatür oluşturmasını, tüm sektördeki ilerlemelere katkıda bulunmasını ve çalışan herkes için değerli bir kaynak oluşturmasını temenni ediyorum.

Saygılarımla...

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Sedat KARADAVUT

BÖLÜM II

Bir İç Mekân Dikey Tarım Sistemi: Yapay Aydınlatmalı Bitki Fabrikası

Ali ÇAYLI¹

Giriş

Dünya nüfusunun hızla büyüdüğü bir dönemde yaşarken, bu artışın getirdiği zorluklar giderek daha belirgin hale gelmektedir. Özellikle 2050 yılına doğru yönelen tahminler, dünya nüfusunun %67'sinin kentlerde yaşayacağını öngörmektedir. Bu nüfus artışı ve büyük şehirlerdeki nüfus yoğunluğu beraberinde gıdaya olan talebi de katlayarak artırmaktadır. Ancak, artan bu talebi karşılamak için kullanabileceğimiz arazi kaynakları giderek daralmakta, tarımsal alanlar küçülmekte ve arazi ile su kaynakları aşırı bir şekilde tükenmektedir. Üstelik, iklim değişikliği nedeniyle artan sıcaklık ve yağış rejimindeki değişiklikler, çevresel koşulları olumsuz etkilemekte ve tarımsal üretim üzerinde ek baskılar yaratmaktadır.

¹Doç. Dr., KSÜ, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü (Orcid: 0000-0001-8332-2264)

Bu durum, artan gıda ihtiyacını karşılamak için sadece geleneksel tarım yöntemlerine değil, aynı zamanda yeni ve yenilikçi üretim sistemlerine de olan gereksinimi daha da güçlendirmektedir (Gheorghe & Păunescu, 2016; Karimi & ark., 2018; Maia & ark., 2018; Wagena & Easton, 2018; Agovino & ark., 2019).

Tarım sektöründe giderek daha fazla dikkat çeken yapay aydınlatmalı bitki fabrikası (YABF), geleneksel tarımın sınırlarını zorlayan ve gelecekteki gıda üretimine yön verebilecek yenilikçi bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu özel üretim tesisleri, bitki yetiştirme konseptini temelden değiştirerek, hidroponik sistemlerin avantajlarından ve ileri teknolojilerin nimetlerinden yararlanmakta, bitki yetiştirme süreçlerini daha verimli, çevre dostu ve özelleştirilebilir hale getirmektedir.

Hidroponik bitki yetiştirme sistemini merkezine alan YABF, bitkilerin topraksız bir ortamda yetiştirildiği ve yalnızca özel besin solüsyonlarıyla beslendiği bir yaklaşım sunmaktadır. Özellikle yapraklı sebzelerin üretiminde sıklıkla kullanılan bu sistemler, bitkilerin köklerine düzenli aralıklarla besin solüsyonu sağlayarak bitki gelişimini teşvik etmektedir. Bunun sonucunda, bitki fabrikalarında geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla daha yüksek verim elde edilebilmektedir. Ayrıca, bitki fabrikalarının yapay aydınlatma sistemleri, bitkilerin ışık ihtiyacını optimize etmelerine olanak tanımaktadır. Bu şekilde, iklim koşullarından bağımsız olarak yıl boyunca sürekli üretim sağlanabilmekte, her mevsimde taze ve yüksek kaliteli ürünlerin temin edilmesini mümkün kılmakta bu da geleneksel tarımın mevsimsel sınırlamaları aşmasını sağlamaktadır.

YABF, aynı zamanda sürdürülebilirlik, verimlilik ve kalite konularında önemli avantajlar sunmaktadır. Bu bağlamda, bu yenilikçi üretim tesislerinin gelecekte gıda üretiminde kritik bir rol oynayabileceği düşünülmektedir (Kozai, 2013b). Tarım sektörü, sürdürülebilirlik kavramının merkezinde yer almaktadır. Sürdürülebilir tarım, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin ihtiyaçlarını da göz önünde bulunduran bir

yaklaşımı ifade etmektedir. Bu yaklaşım, doğal kaynakların verimli ve bilinçli bir şekilde kullanılmasını, çevre dostu tarım uygulamalarını ve gıda üretiminin toplumsal etkilerini içermektedir. Sürdürülebilir tarım, gıda güvencesini sağlamanın yanı sıra biyoçeşitliliği koruma, toprak erozyonunu azaltma, su kaynaklarını koruma ve iklim değişikliği ile mücadele gibi önemli hedefleri de kapsamaktadır (Reganold & ark., 1990; Brodt & ark., 2011; Santiteerakul & ark., 2020; Tahat & ark., 2020).

Öte yandan, bu tür tesisler çevre dostu bir yaklaşım sunmaktadır. Topraksız yetiştirme sayesinde, daha fazla su tasarrufu sağlanabilmekte ve daha az kimyasal kullanımı mümkün olabilmektedir. Bitkilere doğrudan besin sağlandığı için kimyasal kalıntıların ve zararlı ot sorunlarının önüne geçilebilmektedir. Ayrıca, bitki fabrikalarının karbondioksit emisyonları kontrol altında tutulabilmekte ve fosil yakıtlara dayalı enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmaktadır. Bu durum sürdürülebilir ve çevre dostu bir üretim modelinin ortaya konduğunu göstermektedir.

Ancak, bitki fabrikalarının başlangıç maliyetleri ve işletme aşamasında enerji maliyetleri dikkate değer bir şekilde yüksek olabilmektedir. Ayrıca, bitki yetiştirme bilgisi ve işletme yönetimi gibi konular teknik uzmanlık gerektirmektedir. Ancak gelişen teknoloji ve deneyimle birlikte bu maliyetler azaltılabilirse, bitki fabrikalarının gelecekte tarım sektörüne daha fazla yayılma potansiyeli bulunmaktadır (Santiteerakul & ark., 2020; Lu & ark., 2022).

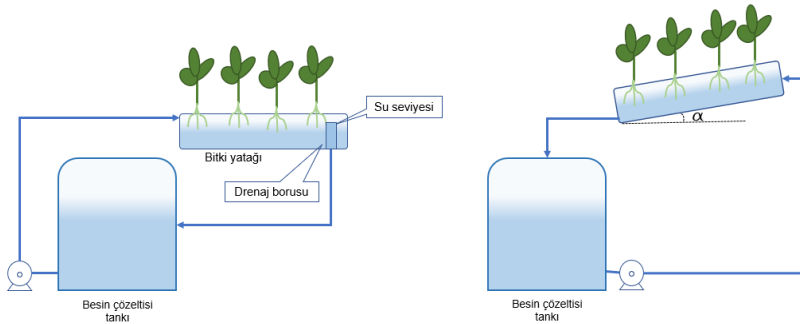
Geleneksel tarım, mevsimlere ve doğal iklim koşullarına bağımlı ve iklim değişiklikleri, ani hava olayları ve mevsimsel faktörler gibi etmenlerden etkilenebilir. Ayrıca, doğal kaynakların sınırlı olduğu bölgelerde sürdürülebilirlik daha da zorlaşabilir. Bu nedenle, sabit ve güvenilir bir gıda arzının sağlanması açısından geleneksel tarım yöntemleri sık sık tehdit altında olabilir. YABF'ler, bu tür zorluklara karşı bir çözüm sunmaktadır.

Bu çalışmada, YABF'lerin tarımsal sürdürülebilirlik açısından önemini ve avantajları incelenmiştir. Ayrıca, bu yenilikçi

tarım modelinin geleneksel tarım ile karşılaştırılması ve gelecekteki potansiyeli üzerine odaklanılmıştır. YABF'lerin, tarım sektörünün sürdürülebilirlik hedeflerine nasıl katkı sağlayabileceğini anlamak, tarımın geleceğini şekillendirmek için kritik bir öneme sahiptir.

Hidroponik Bitki Yetiştirme Sistemleri

YABF'lerde bitki yetiştirme sistemi olarak hidroponik sistemler tercih edilmektedir. Hidroponik sistem veya hidroponik, topraksız olarak sadece suda mineral besin çözeltileri kullanarak bitki yetiştirme yöntemidir. Genel olarak yapraklı sebzelerin yetiştirilmesi için kullanılan ana hidroponik sistemler, derin akış tekniği (DFT) ve besin filmi tekniği (NFT) sistemleridir. DFT sisteminde, kültür yatağındaki su seviyesi ayarlanan değerin altına düştüğünde bitkilere besin solüsyonları verilir ve kültür yatağında %1 eğimle sabit zaman aralıklarında devridaim yapılarak bitkilerin çıplak köklerine verilir. NFT sistemleri ve gel-git sistemine benzer değiştirilmiş DFT sistemleri bitki fabrikalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 1'de, Son & ark. (2016)'dan uyarlanan, DFT ve NFT hidroponik sistem şematik görünümü verilmiştir. Devridaim sistemlerinde bitkiler tarafından emilmeyen besin çözeltileri besin tankına geri döner. Bu nedenle, tanktaki besin çözeltilerinin kaybı ölçülerek bitkiler tarafından su ve besin emilimi kolaylıkla tahmin edilebilir. Ayrıca bitki fabrikalarında besin solüsyonlarını doğrudan bitki köklerine püskürten aeroponik sistemler de kullanılmaktadır (Son & ark., 2016).



Şekil 1. DFT ve NFT (sağda) hidroponik sistem şematik görünümü

Hidroponik bitki yetiştirme sistemi, çevresel etkiyi azaltma ve verimliliği artırma açısından önemli bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntem sayesinde, geleneksel tarım yöntemlerine göre arazi kullanımını %75 ve su kullanımını ise %90 oranında azalmaktadır. Hidroponik sistem, bitkisel besin maddelerinin doğrudan bitki kök bölgesine verildiği bir sistem olması nedeniyle çevreye hiçbir kalıntı bırakmamakta ve ayrıca yabancı ot sorunu olmamakta, bu da tarımsal ilaçların kullanımını azaltmaktadır (Bradley & Marulanda, 2001). Ayrıca, topraksız yetiştirilen bitkilerin verimi ve kalitesi, genellikle geleneksel tarım topraklarında yetiştirilen bitkilerden daha yüksektir. Bu nedenle hidroponik tarım hem çevresel sürdürülebilirlik hem de tarımsal verimlilik açısından önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Pardossi & ark., 2017).

Hidroponik sistemlerde önemli bir konu da bitki beslemedir. Besin çözeltileri 13 temel elementten oluşmaktadır. Her besin bir bitkinin normal büyümesi için uygun bir konsantrasyona ve nispi oranlara sahip olmalıdır ve bunlar bir besin kontrol sisteminin hedef değerleridir. Bununla birlikte, besin çözeltilerindeki iyon konsantrasyonu zamanla değişir ve daha sonra kapalı hidroponik sistemde bir besin dengesizliği meydana gelebilir. Bu nedenle, optimum kontrol elde etmek için tüm besinlerin gerçek zamanlı olarak ölçülmesi gerekir (Tsukagoshi & Shinohara, 2016; Sambo & ark., 2019; Niu & Masabni, 2022). Ancak, böyle bir sistemin hem ekonomik hem de teknik kısıtlamaları vardır. Yüksek hassasiyetli cihaz analizi nispeten pahalıdır ve iyon sensörleri, dayanıklılıkları ve stabiliteyi için halen araştırma aşamasındadır. Bugüne kadar, bireysel besinler için gerçek zamanlı ölçüm sistemlerinin sahaya uygulanması zordur; bunun yerine, toplam iyon konsantrasyonunu kontrol etmek için bir EC ve su seviye sensörü sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla besin çözelti yönetimi için kontrol işleminin sonuçlarını izleyen kapalı sistemler tercih edilmektedir. Buna karşılık, açık döngü kontrol sistemleri, büyük ölçekli sistemlerde bile nispeten basit bir yapıya sahiptir. Ancak geri bildirimden yoksun oldukları için, bu tür sistemler alım

konsantrasyonlarında daha yüksek dalgalanmalar olan bitkiler için uygun olmayabilir (Son & ark., 2016; Kozai & ark., 2019).

Yapay Aydınlatma

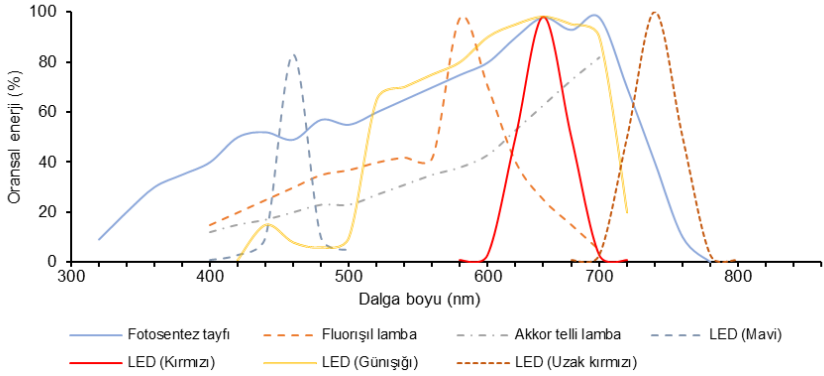
YABF terimi, termal olarak yalıtılmış ve neredeyse hava geçirmez bir depo benzeri yapıya sahip bir fabrika üretim tesisini ifade etmektedir. Bu tesislerde, kontrollü ortamda bitki yetiştirme yöntemlerini kullanılarak, ısı, nem, aydınlatma, hava dolaşımı ve besin maddeleri gibi büyüme koşulları hassas bir şekilde kontrol edilmekte ve sürdürülebilir bir şekilde taze ve yüksek kaliteli üretim yapılabilmektedir. Bu sistemlerde elektrikli lambalarla aydınlatılan ve dikey olarak istiflenen bitki yetiştirme rafları kullanılmaktadır (Kozai, 2013a).

Ayrıca iklimlendirme sistemi, hava dolaşım fanları, karbondioksit ve besin çözeltilerini tedarik eden donanımlar ve tüm bu sistemleri kontrol eden yazılımlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Rafların dikey olarak istiflenmesi alanın daha verimli olarak kullanılmasına imkân vermektedir. Aydınlatma için genellikle floresan lambalar tercih edilmekle birlikte LED sistemleri de artık endüstride ve araştırmacılar arasında büyük ilgi görmektedir. Kompakt boyutları, düşük lamba yüzey sıcaklıkları, yüksek ışık kullanım verimliliği ve geniş ışık spektrumları sayesinde LED'ler son zamanlarda bitki fabrikalarında, bitki büyümesini ve ürün kalitesini iyileştirmek amacıyla giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu yenilikçi aydınlatma sistemi, bitkilerin fotosentez süreçlerini optimize etmek ve ihtiyaç duydukları ışığı sağlamak için özelleştirilebilir spektral kontrole de olanak tanımaktadır. Ayrıca, LED'lerin enerji verimliliği geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla önemli ölçüde yüksektir, böylece enerji maliyetleri azalmaktadır (Lin & ark., 2013; Olle & Viršile, 2013; Hammock, 2018; Metallo & ark., 2018).

Işık, elektromanyetik dalga şeklindeki parçacık (foton veya kuantum) karakterli bir enerji türüdür. Işık, bir kaynaktan yayılan elektromanyetik dalgalar aracılığıyla taşınır, bu dalgalar sabit bir hızda ve sinüzoidal bir hareketle ilerler. Bu hareketin frekansına

oranı dalga boyunu belirler ve ışığın yayılma hızını ifade eder. Genellikle, dalga boyuna göre sınıflandırma yapılır ve insan gözünün algılayabildiği 380 ila 780 nanometre arasındaki bölge görünür ışık olarak adlandırılır (Gabriel & Johnson, 2004). LED ışık kaynakları, ultraviyole (UV) ışıktan kızılötesi (IR) ışığa kadar uzanan geniş bir spektrumda ışık üretebilme yeteneğine sahiptir. Bu özellik, araştırmacılara çeşitli imkanlar sunmaktadır. Son yıllarda, LED tabanlı çalışmalar büyük bir artış göstermiş ve görünür ışık spektrumundan morötesi bölgeye kadar birçok uygulama alanını kapsamaktadır. Bu uygulamalar arasında görünür ve morötesi ışık kullanılarak görüntüleme çalışmalarından bitki büyümesini düzenleyen LED sistemlerine kadar geniş bir yelpaze bulunmaktadır (Jao & Fang, 2003).

Bitkisel üretimde LED tipi aydınlatma araçlarının kullanımı öncesinde çeşitli yapay aydınlatma kaynakları deneme amaçlı kullanılmıştır. Bu kaynaklar arasında yüksek yoğunluklu deşarj lambaları, floresan ışık lambaları ve akkor telli lambaların yanı sıra mavi, kırmızı, gün ışığı spektrumu ve uzak kırmızı LED'ler gibi enerji sağlayan lambalar yer almaktadır. Bitkilerin fotosentez karakteristikleri, yapay aydınlatma kaynaklarının seçiminde önemli bir rehber sağlar. Bu karakteristikleri kullanarak hangi dalga boyu aralığında hangi tür ışık kaynağının kullanılması gerektiği belirlenebilir. Şekil 2'de, fotosentez karakteristik eğrisi ile altı farklı yapay ışık kaynağının eğrileri görülmektedir. Bu eğriler arasında soğuk beyaz floresan ışık lambası ve akkor telli lambanın yanı sıra mavi, kırmızı, gün ışığı spektrumu ve uzak kırmızı LED'lerin eğrileri de bulunmaktadır (McFate, 1989).



Şekil 2. Bitkilerin fotosentez karakteristiği ile bazı yapay ışık kaynaklarının enerji tayfinin karşılaştırılması

Şekil 2'deki eğriler incelendiğinde, mavi, kırmızı ve uzak kırmızı ışık veren LED'lerin fotosentez karakteristiğinin ilgili dalga boylarındaki enerjiyi karşılamak için uygun olduğunu göstermektedir. Gerçekten de klorofil sentezi 445 ve 650 nm dalga boylarında maksimum noktalar göstermekte, 500-575 nm'lik dalga boyu aralığında ise azalarak %20 ve daha altındaki oranlara düşmektedir (McFate, 1989).

Bitki yetiştiriciliği açısından, en önemli dalga boyları kırmızı ve mavi renkteki ışık dalga boylarıdır. Her iki dalga boyu da bitkilerin farklı büyüme aşamalarında ve fotosentez süreçlerinde kritik öneme sahiptir. Kırmızı ışık dalga boyu, bitkilerin fotosentezde kullanılan klorofil pigmentlerini etkiler. Klorofil A ve B gibi pigmentler, kırmızı ışığı özellikle iyi emerler. Ayrıca bitkilerin büyümesini teşvik eder, fotosentezi hızlandırır ve kök gelişimini destekler. Çiçeklenme ve meyve olgunlaşma aşamalarında da kırmızı ışık önemlidir. Mavi ışık, bitkilerin fotosentezdeki diğer önemli pigmentleri etkiler ve özellikle klorofil A'nın aktivitesini artırır. Ayrıca bitkilerin kısa ve kompakt bir büyüme sağlamalarına yardımcı olur. Bu nedenle, fidelerin ve genç bitkilerin büyümesi için önemlidir. Mavi ışık aynı zamanda bitkilerin morfolojik gelişimini kontrol eder, yaprak şekli ve yaprak

büyükliğini etkiler. Ayrıca, gün ışığı spektrumu, bitkilerin tüm büyüme aşamalarında ihtiyaç duydukları farklı dalga boylarını içerir ve yapay aydınlatma sistemlerinde bu spektruma yakın aydınlatma kullanılması genellikle en etkili sonuçları verir. Uzak kırmızı LED'ler ise özellikle bitkilerin çiçeklenme ve meyve verme aşamalarında kullanılır. Uzak kırmızı ışık, bitkilerin bu kritik aşamalarda enerji depolamalarına yardımcı olmaktadır (Kim & You, 2013; Hakim & ark., 2015; Li & ark., 2021; Jin & ark., 2023).

Bitki yetiştiriciliği açısından kırmızı ve mavi ışık, temel dalga boylarıdır ve bitkilerin farklı büyüme aşamalarında ve ihtiyaçlarına göre aydınlatma sistemlerinin tasarımında dikkate alınmalıdır.

Seralara Karşı Üstünlükleri

Açık alanda geleneksel tarım uygulamaları, doğal iklim koşullarına bağlıdır ve bu koşullar her zaman değişiklik gösterebilir. İklim değişiklikleri, ani hava olayları ve mevsimsel faktörler, açık alanda yetiştirilen bitkilerin verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu dalgalanmalar, ürünlerin miktarına ve kalitesine etki eder. Ayrıca, geleneksel tarım, su sıkıntısı gibi doğal kaynakların kısıtlı olduğu bölgelerde daha da zorlaşabilir. Bu nedenle, sabit ve güvenilir bir gıda arzının sağlanması açısından açık alandaki tarımın sürdürülebilirliği sık sık tehdit altında olabilir (Yaslıoğlu & Durmuş, 2017; Çaylı & Akyüz, 2019; Boyacı & ark., 2022).

Sera üretiminde fotosentez için ihtiyaç duyulan ışık enerjisinin kontrol edilmesi zor hatta genellikle mümkün değildir. Güneş ışığı yoğunluğu, günün ilk ve son saatlerinde, geceleri, bulutlu ve yağmurlu günlerde ve kış mevsimi boyunca genellikle çok düşükken, güneşli günlerde öğlen saatlerinde çok fazladır. Güneş ışığının düşük olduğu durumlarda yapay aydınlatma, yoğun olduğu zamanlarda ise gölgeleme yapılması gerekir. Sera içerisinde sıcaklık ve oransal nem güneş ışığının yoğunluğundan önemli ölçüde etkilenir ve bu nedenle çevre koşullarını optimize etmek zordur. Serada sıcaklığı düşürmek için genellikle havalandırma yapılır. Ancak bu durum sera içerisine zararlı böcek ve hastalıkların

girmesine izin verebilir. Aynı zamanda havalandırmanın açık olduğu bir serada bulunan karbondioksit, dışarıdan daha yüksek tutulamaz (Boyacı & ark., 2016; Kozai & Niu, 2016; Akyuz & ark., 2017; Baytorun & ark., 2018; Çaylı & ark., 2018).

Bu iki geleneksel tarım yöntemi, çevresel ve iklimsel faktörlerin kontrol edilmesi konusunda çeşitli kısıtlamalarla karşı karşıyadır. Dolayısıyla, bu kısıtlamalara alternatif olarak, kontrollü ortam yetiştiriciliği gibi yöntemlerin kullanılması, sürdürülebilir gıda üretiminin geleceği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, bitki fabrikaları, bu kısıtlamalara meydan okuyan ve yıl boyunca güvenilir bir gıda arzını mümkün kılan yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bu nedenle, bitki fabrikaları, modern tarımın geleceğinde iklim değışikliği ve gıda güvencesi gibi önemli konuları ele almak için önemli bir role sahip olabilir.

Graamans & ark. (2018), bitki fabrikaları ile seraları karşılaştırdığı çalışmasında, enerji, su, CO₂ ve toprak gibi kaynakların kullanım verimliliğini değerlendirmiş ve ilginç sonuçlara ulaşmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, bitki fabrikaları, bu dört kaynağın tümünü seralara göre daha verimli bir şekilde kullanmaktadır. Özellikle, marul üretimi açısından yapılan değerlendirmelerde, bitki fabrikalarının seralara göre enerji kullanımında %14 ila %251 daha verimli olduğu görülmüştür. Su kullanımı da dikkate alındığında, bitki fabrikalarının su tüketimini %28 ila %95 oranında azaltabileceği tespit edilmiştir. Araştırma ayrıca LED teknolojilerinin önemine vurgu yapmış, ancak bitki fabrikalarının fizibilitesini sağlamak için daha fazla ilerleme gerektiğini belirtmiştir. Bu sonuçlar, bitki fabrikalarının kaynak verimliliği açısından geleceğin tarım modeli olarak potansiyelini ortaya koymaktadır.

Öte yandan, YABF, bitki büyüme ortamının en iyi şekilde kontrol edildiği, ileri üretim tekniklerinin kullanıldığı bir iç mekân hidroponik üretim sistemidir. Bitki fabrikaları dış ortama asgari düzeyde emisyon salan, kapalı bitki üretim sistemlerinin bir türüdür. Doğru bir şekilde tasarlanır ve yönetilirse geleneksel üretim

sistemlerine göre çeşitli potansiyel avantajlara sahip olabilir. Aynı zamanda güneş ışığına veya toprağa ihtiyaç duymadan her yerde kolayca kurulabilme özelliğine sahiptir ve aynı zamanda dış iklim koşullarından bağımsız olarak çalışır, bu nedenle üretim istikrarlıdır. Ayrıca, yıl boyunca üretim yapabilme kapasitesi geleneksel tarıma göre çok daha yüksektir ve bitki büyüme koşullarını hassas bir şekilde kontrol ederek ürün kalitesini optimize edebilir. Bununla birlikte, bitki fabrikalarında yetiştirilen ürünler böcek ilacı içermez ve tüketmeden önce yıkanmalarına gerek yoktur. Ürünlerin daha uzun bir raf ömrü vardır ve genellikle düşük bakteri yüküne sahiptir, bu da daha güvenli bir tüketim sağlar (Huang, 2019; Csambalik & ark., 2023). Ayrıca, kentsel alanlara yakın konumlandırılarak ulaşım için gerekli enerji miktarını azaltabilir ve minimum kirletici madde emisyonu ile kaynak kullanımını verimliliği sağlayarak çevresel etkiyi en aza indirebilir.

YABF, yapraklı yeşillikler, transplantasyon (fide) ile yetiştirilenler ve tıbbi bitkiler için uygundur (Kato & ark., 2010; Yao & ark., 2015; Goto, 2016; Khwankaew & ark., 2017; Park & ark., 2018; Zheng & ark., 2019; Ahmed & ark., 2020; Alromian, 2020). Çünkü alanı maksimum ölçüde kullanabilmek için bu sistemde tipik olarak dikey katmanlar arası mesafe oldukça azdır. Bu sebeple en fazla 30-35 cm ve daha az büyüyen bitkilerin yetiştirilmesi tercih edilmektedir. Aynı zamanda bu sistemde yetiştirilecek bitkiler düşük ışık ve sık dikim koşullarında iyi gelişebilen nitelikte olmalıdır. Esas olarak buğday, pirinç ve patates gibi kalorileri için tüketilen temel tarla bitkileri bu sistem için uygun değildir, çünkü kuru kütle başına ekonomik değerleri genellikle çok daha düşüktür ve yapraklı yeşilliklerden daha uzun bir yetiştirme dönemine ihtiyaç duyarlar.

Bitki fabrikaları geleneksel seraların veya açık alan üretiminin yerine geçmez. Aksine, bitki fabrikalarının hızlı gelişimi yeni pazarlar ve yeni iş fırsatları yaratmıştır (Kozai & Niu, 2016; Kozai & ark., 2019). Yapraklı yeşilliklerin ticari üretimine ek olarak, 15-100 m² zemin alanına sahip küçük bitki fabrikaları, Japonya'da fidanların ticari üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü bu fidanlar, yüksek bir ekim yoğunluğunda kısa sürede

üretilebilmektedir. Aşılı ve aşılınmamış domates fideleri, salatalık, patlıcan, ıspanak ve marulun hidroponik kültür fideleri ve yüksek değerli süs bitkilerinin fideleri küçük bitki fabrikalarında ticari olarak üretilmektedir (Hayashi & ark., 2020; Nunomura & ark., 2020). Mikro bitki fabrikaları veya mini bitki fabrikaları olarak adlandırılan daha küçük sistemlerde vardır. Bunlar açık bahçeleri olmayan kent sakinleri veya restoranlar, kafeler, alışveriş merkezleri, okullar, toplum merkezleri, hastaneler ve ofis binaları gibi mekânlar için tasarlanmıştır. Mini bitki fabrikaları, çoğunlukla eğlence ve hobi amaçlı sistemler için kullanılır (Çaylı & Kaya, 2019).

Bitki Fabrikalarındaki Zorluklar

Sürdürülebilir bir üretim modeli sunan YABF, çeşitli zorluklar ve dezavantajlarla da karşı karşıyadır. Bu zorluklar, bu tür işletmelerin başarılı bir şekilde işletilmesi ve sürdürülmesi açısından önem arz etmektedir. YABF'lerin karşılaştığı bazı temel zorluklar şu şekilde sıralanabilir (Kozai & ark., 2021).

Yüksek Başlangıç Maliyetleri: Bu tür tesislerin inşası, iç ortam üretim birimlerinin kurulumu ve gelişmiş teknoloji kullanımı nedeniyle oldukça maliyetlidir. Bu maliyetler, özellikle küçük işletmeler için finanse edilemez nitelikte olabilmektedir. Yapı maliyetleri neredeyse içerideki üretim birimlerinin maliyetiyle yarışır düzeydedir. İlk yatırım maliyetleri, iyi bir tasarım ve planlama ile bir miktar azaltılabilir. Ayrıca, işletme ve yönetim tecrübesi arttıkça üretim maliyetlerinin her yıl azalması da mümkün olabilmektedir.

Elektrik Enerjisi Giderleri: Elektrik enerjisi, YABF'lerin işletim maliyetlerinin büyük bir bölümünü oluşturur. Aydınlatma, bu maliyetlerin yaklaşık %70-80'ini kapsamaktadır. Bu, yapay aydınlatmanın bitki yetiştirme için vazgeçilmez olduğu bir ortamda enerji verimliliğinin büyük bir önem taşıdığını göstermektedir. Daha verimli aydınlatma sistemleri tasarlayarak aydınlatma maliyetlerini azaltılması yönünde potansiyel bulunmaktadır.

Üretim Maliyetleri: İşletmeler için elektrik enerjisi maliyetinin yanı sıra, işçilik ve diğer malzemeler (tohum, gübre, paketlenme, teslimat vb.) de önemli bir maliyet kalemini oluşturur. Üretim maliyetlerini düşürmeye yönelik stratejiler arasında, dikey katmanların sayısını artırmak, çevresel kontrol stratejilerini optimize etmek, üretim süreçlerini yıl boyunca kesintisiz hale getirmek ve ekim yoğunluğunu artırmak yer alır. Ayrıca, ürün kaybını azaltmak da maliyetleri düşürmeye yardımcı olmaktadır.

Yetiştiricilik Bilgisi ve Bitki Çeşitliliği: Bitki fabrikalarının başarılı bir şekilde işletilmesi, bitki yetiştirme bilgisine ve çeşitli bitki türleri için optimum çevresel kontrol stratejilerine dayanır. Bitki yetiştiriciliği, bitki fabrikalarında özel bir uzmanlık gerektirir ve bu uzmanlık sürekli eğitim ve araştırmayı içermektedir.

Ürün Pazarlaması ve Ürün Çeşitliliği: Bitki fabrikalarında üretilen ürünlerin pazarlaması ve farklı bitki türleri için talep yaratılması oldukça zordur. Ayrıca, yeni bitki türlerini yetiştirmek ve bu türler için Pazar araştırması yapmak da başka bir zorluktur.

YABF'ler, tarımın geleceği için büyük bir potansiyele sahiptir, ancak bu tür zorluklar ve dezavantajlar dikkate alınmalıdır. İyi bir planlama, yönetim ve teknolojik gelişmeler, bu zorlukların üstesinden gelmeye yardımcı olabilir ve YABF'lerin verimliliğini artırabilir (Tian & ark., 2022).

Sonuç

YABF, geleneksel tarım yöntemlerine yenilikçi bir alternatif sunarak geleceğin gıda üretimini şekillendirebilecek önemli bir tarım modeli olarak ön plana çıkmaktadır. Bu tesisler, bitki yetiştirme süreçlerini temelden değiştirerek hidroponik sistemlerin avantajlarından ve ileri teknolojilerin nimetlerinden yararlanmaktadır. Bu sayede, bitki yetiştirme süreçleri daha verimli, çevre dostu ve özelleştirilebilir hale gelmektedir, böylece modern tarımın gereksinimlerine cevap verebilmektedir. YABF'lerin en belirgin avantajlarından biri, bitki yetiştirme süreçlerinin ışık ihtiyacını optimize etmelerine olanak tanıyan yapay aydınlatma

sistemleridir. Bu sayede, mevsimlerden bağımsız olarak yıl boyunca sürekli üretim yapılabilir. Ayrıca, bu tesisler, taze ve yüksek kaliteli ürünlerin her mevsimde temin edilmesini mümkün kılmaktadır, bu da geleneksel tarımın mevsimsel sınırlamalarını aşması anlamına gelmektedir. Ancak, YABF'lerin başlangıç maliyetleri oldukça yüksektir ve işletme aşamasında enerji maliyetleri de dikkate değerdir. Ayrıca, bu tesislerin işletilmesi için bitki yetiştirme bilgisi ve yönetim yetenekleri gerekmektedir, bu da teknik uzmanlık gerektirir. Ancak gelişen teknoloji ve deneyimle birlikte bu maliyetler azaltılabilir. Bu sayede YABF'lerin gelecekte, tarım sektöründe daha geniş bir alana yayılma potansiyeli vardır.

YABF'lerin, açık alandaki geleneksel tarım uygulamaları ile karşılaştırıldığında birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Açık alandaki tarım doğal iklim koşullarına bağımlıdır ve bu koşullar sürekli dalgalanabilir. İklim değişiklikleri, ani hava olayları ve mevsimsel faktörler, açık alandaki ürünlerin miktarını ve kalitesini etkileyebilir. Ayrıca, geleneksel tarım, doğal kaynakların sınırlı olduğu bölgelerde sürdürülebilirliği tehdit etmektedir. YABF'ler, bu zorlukların üstesinden gelmek için bir çözüm sunarak, sabit ve güvenilir bir gıda arzının sağlanmasına katkıda bulunabilecektir. Bu tesislerin başarılı bir şekilde işletilmesi, bir dizi zorlukla karşı karşıya kalmasına rağmen, geleceğin gıda üretimini daha sürdürülebilir, verimli ve güvenilir hale getirebilir. Bu nedenle, bu yenilikçi tarım modeli, tarım sektörünün geleceğinde önemli bir rol oynayabilir.

KAYNAKÇA

Agovino, M., Casaccia, M., Ciommi, M., Ferrara, M. & Marchesano, K. (2019). Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. *Ecological Indicators*, 105(1), 525-543. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.064>

Ahmed, H. A., Yu-Xin, T. & Qi-Chang, Y. (2020). Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. *South African Journal of Botany*, 130, 75-89.

Akyuz, A., Baytorun, A. N., Cayli, A., Ustun, S. & Onder, D. (2017). New Approaches to Required Heat Power for Designing the Greenhouse Heating Systems. *K.S.U. Journal of Natural Sciences*, 20(3), 209-217.

Alromian, F. M. (2020). Effect of type of compost and application rate on growth and quality of lettuce plant. *Journal of plant nutrition*, 43(18), 2797-2809.

Baytorun, A., Akyüz, A., Üstün, S. & Çaylı, A. (2018). Sera Isı Gereksinimi Hesaplama Modelinin "ISIGER-SERA" Çukurova Koşullarında Test Edilmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(5), 699-707. doi: 10.18016/ksudobil.396127

Boyacı, S., Akyüz, A., Baytorun, A. N. & Çaylı, A. (2016). Kırşehir ilinin örtüaltı tarım potansiyelinin belirlenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 142-157.

Boyacı, S., Akyüz, A. & Tanrıverdi, Ç. (2022). Comparison of heat requirements in greenhouses for Kırşehir and Kahramanmaraş provinces. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 5-20.

Bradley, P. & Marulanda, C. (2001). *Simplified Hydroponics to Reduce Global Hunger*.

Brodt, S., Six, J., Feenstra, G., Ingels, C. & Campbell, D. (2011). Sustainable agriculture. *Nat. Educ. Knowl*, 3(1).

Csambalik, L., Divéky-Ertsey, A., Gál, I., Madaras, K., Sipos, L., Székely, G. & Pusztai, P. (2023). Sustainability Perspectives of Organic Farming and Plant Factory Systems—From Divergences towards Synergies. *Horticulturae*, 9(8), 895.

Çaylı, A. & Akyüz, A. (2019). The Experimental Determination of The Impact of Overall Heat Consumption Coefficient and Thermal Screens on Heat Saving in Plastic Greenhouses. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22(2), 270-280.

Çaylı, A., Akyüz, A., Baytorun, A. N., Üstün, S. & Mercanlı, A. S. (2018). The Feasibility of a Cloud-Based Low-Cost Environmental Monitoring System Via Open Source Hardware in Greenhouses. *KSU J. Agric Nat*, 21(3), 323-338. doi: 10.18016/ksudobil.341513

Çaylı, A. & Kaya, E. H. (2019). The Design of a Mini Plant Factory with Artificial Lighting and Application of Environmental Conditions Control System. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(11), 1834-1843.

Gabriel, L. & Johnson, D. M. (2004). Laboratory-scale evaluation of incandescent and compact florescent lamps for poultry house lighting. *Discovery, The Student Journal of Dale Bumpers College of Agricultural, Food and Life Sciences*, 5(1), 16-20.

Gheorghe, B. & Păunescu, D. (2016). *Current Aspects Regarding The Urbanization, Its Influence On Global Warming And Importance Of Green Roofs In Large Urban Areas*. The 40th International Conference on Mechanics of Solids, Acoustics and Vibrations & The 6th International Conference on Advanced Composite Materials Engineering, Brasov, Romania.

Goto, E. (2016). Chapter 15 - Production of Pharmaceuticals in a Specially Designed Plant Factory. In T. Kozai, G. Niu M.

Takagaki (Eds.), *Plant Factory* (pp. 193-200). San Diego: Academic Press.

Graamans, L., Baeza, E., Van Den Dobbelsteen, A., Tsafaras, I. & Stanghellini, C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural systems*, *160*, 31-43.

Hakim, R. M. A., Hendrawan, Y. & Lutfi, M. (2015). Rancang Bangun Plant Factory untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi Hijau (*Brassica Rapa* var. *Parachinensis*) dengan Menggunakan Led (Light Emitting Diode) Merah dan Biru. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, *3*(3), 382-390.

Hammock, H. A. (2018). The impact of blue and red LED lighting on biomass accumulation, flavor volatile production, and nutrient uptake in hydroponically grown Genovese basil.

Hayashi, E., Amagai, Y., Maruo, T. & Kozai, T. (2020). Phenotypic analysis of germination time of individual seeds affected by microenvironment and management factors for cohort research in plant factory. *Agronomy*, *10*(11), 1680.

Huang, L.-C. (2019). Consumer attitude, concerns, and brand acceptance for the vegetables cultivated with sustainable plant factory production systems. *Sustainability*, *11*(18), 4862.

Jao, R.-C. & Fang, W. (2003). An adjustable light source for photo-phyto related research and young plant production. *Applied Engineering in Agriculture*, *19*(5), 601.

Jin, D., Su, X., Li, Y., Shi, M., Yang, B., Wan, W., Wen, X., Yang, S., Ding, X. & Zou, J. (2023). Effect of Red and Blue Light on Cucumber Seedlings Grown in a Plant Factory. *Horticulturae*, *9*(2), 124.

Karimi, V., Karami, E. & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(1), 1-15. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61794-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5)

Kato, K., Yoshida, R., Kikuzaki, A., Hirai, T., Kuroda, H., Hiwasa-Tanase, K., Takane, K., Ezura, H. & Mizoguchi, T. (2010). Molecular breeding of tomato lines for mass production of miraculin in a plant factory. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(17), 9505-9510.

Khwankaew, J., Nguyen, D., Kagawa, N., Takagaki, M., Maharjan, G. & Lu, N. (2017). *Growth and nutrient level of water spinach (Ipomoea aquatica Forssk.) in response to LED light quality in a plant factory*. International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant 1227.

Kim, H. R. & You, Y. H. (2013). Effects of red, blue, white, and far-red LED source on growth responses of *Wasabia japonica* seedlings in plant factory. *Horticultural Science & Technology*, 31(4), 415-422.

Kozai, T. (2013a). Plant factory in Japan-current situation and perspectives. *Chron. Horticul.*, 53(2), 8-11.

Kozai, T. (2013b). Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 89(10), 447-461.

Kozai, T. & Niu, G. (2016). Chapter 1 - Introduction. In T. Kozai, G. Niu M. Takagaki (Eds.), *Plant Factory* (pp. 3-5). San Diego: Academic Press.

Kozai, T., Niu, G. & Masabni, J. G. (2021). Plant factory basics, applications and advances.

Kozai, T., Niu, G. & Takagaki, M. (2019). *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*: Academic press.

Li, Y., Wu, L., Jiang, H., He, R., Song, S., Su, W. & Liu, H. (2021). Supplementary far-red and blue lights influence the biomass

and phytochemical profiles of two lettuce cultivars in plant factory. *Molecules*, 26(23), 7405.

Lin, K.-H., Huang, M.-Y., Huang, W.-D., Hsu, M.-H., Yang, Z.-W. & Yang, C.-M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91.

Lu, N., Kikuchi, M., Keuter, V. & Takagaki, M. (2022). Business model and cost performance of mini-plant factory in downtown *Plant factory basics, applications and advances* (pp. 271-293): Elsevier.

Maia, A. G., Miyamoto, B. C. B. & Garcia, J. R. (2018). Climate Change and Agriculture: Do Environmental Preservation and Ecosystem Services Matter? *Ecological Economics*, 152, 27-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.013>

McFate, K. L. (1989). *Electrical energy in agriculture*: Elsevier Science Publishers.

Metallo, R. M., Kopsell, D. A., Sams, C. E. & Bumgarner, N. R. (2018). Influence of blue/red vs. white LED light treatments on biomass, shoot morphology, and quality parameters of hydroponically grown kale. *Scientia Horticulturae*, 235, 189-197.

Niu, G. & Masabni, J. (2022). Hydroponics (Chapter 9). In T. Kozai, G. Niu J. Masabni (Eds.), *Plant Factory Basics, Applications and Advances* (pp. 153-166). Elsevier: Academic Press.

Nunomura, O., Kozai, T., Shinozaki, K. & Oshio, T. (2020). Seeding, seedling production and transplanting *Plant Factory* (pp. 285-297): Elsevier.

Olle, M. & Viršile, A. (2013). The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and food science*, 22(2), 223-234.

Pardossi, A., Incrocci, L., Salas, M. C. & Gianquinto, G. (2017). Managing Mineral Nutrition in Soilless Culture *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 147-166): Springer.

Park, S. W., Kwack, Y. & Chun, C. (2018). Growth and propagation rate of strawberry transplants produced in a plant factory with artificial lighting as affected by separation time from stock plants. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59, 199-204.

Reganold, J. P., Papendick, R. I. & Parr, J. F. (1990). Sustainable agriculture. *Scientific American*, 262(6), 112-121.

Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F. & Astolfi, S. (2019). Hydroponic solutions for soilless production systems: issues and opportunities in a smart agriculture perspective. *Frontiers in plant science*, 10(923), 1-17. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>

Santiteerakul, S., Sopadang, A., Yaibuathet Tippayawong, K. & Tamvimol, K. (2020). The role of smart technology in sustainable agriculture: A case study of wangree plant factory. *Sustainability*, 12(11), 4640.

Son, J. E., Kim, H. J. & Ahn, T. I. (2016). Chapter 17 - Hydroponic Systems. In T. Kozai, G. Niu M. Takagaki (Eds.), *Plant Factory* (pp. 213-221). San Diego: Academic Press.

Tahat, M., Alananbeh, K., Othman, Y. & Leskovar, D. (2020). Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12(12), 4859.

Tian, Z., Ma, W., Yang, Q. & Duan, F. (2022). Application status and challenges of machine vision in plant factory—A review. *Information Processing in Agriculture*, 9(2), 195-211.

Tsukagoshi, S. & Shinohara, Y. (2016). Nutrition and Nutrient Uptake in Soilless Culture Systems. In T. Kozai, G. Niu M. Takagaki (Eds.), *Plant Factory* (Vol. 1, pp. 165-172). San Diego: Academic Press.

Wagena, M. B. & Easton, Z. M. (2018). Agricultural conservation practices can help mitigate the impact of climate change. *Science of The Total Environment*, 635, 132-143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.110>

Yao, J., Weng, Y., Dickey, A. & Wang, K. Y. (2015). Plants as factories for human pharmaceuticals: applications and challenges. *International journal of molecular sciences*, 16(12), 28549-28565.

Yashođlu, E. & Durmuş, S. (2017). Bursa ilinde yetiştiricilik yapılan seraların yapısal yönden değerlendirilmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 34(Ek Sayı), 164-171.

Zheng, J., Ji, F., He, D. & Niu, G. (2019). Effect of light intensity on rooting and growth of hydroponic strawberry runner plants in a LED plant factory. *Agronomy*, 9(12), 875.

Tarımsal Yapılar ve Sulama ile Biyosistem Mühendisliği Bilimlerinde Uygulamalar ve Yenilikler

Tarım, insanlığın varoluşundan bu yana yaşamın temelini oluşturmuş ve günümüzde de bu önemi koruyarak modern teknoloji ve bilimin katkılarıyla sürekli gelişim göstermektedir. Bu gelişim; tarımsal yapıların tasarımı, sürdürülebilirliği ve biyolojik sistemlerin mühendislik yaklaşımları gibi konuları da beraberinde getirmiştir. Tarımsal yapılar, tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi ve korunması için kullanılan yapılar ve sistemlerdir. Sulama bilimi ise bitkilerin su ihtiyacını karşılamak için su kaynaklarının yönetimi ve sulama sistemlerinin geliştirilmesi üzerine odaklanır. Biyosistem mühendisliği, biyolojik sistemlerin ve insan yapımı makinelerin etkileşimlerini inceleyen, bu etkileşimlerden yararlanarak çeşitli uygulamalar geliştiren disiplinlerarası bir alandır. Bu alandaki çalışmalar, tarımsal yapılar, sulama sistemleri ve tarım teknolojileriyle entegre olarak verimliliği artırmayı, doğal kaynakları korumayı ve sürdürülebilir bir tarım için yenilikçi çözümler üretmeyi amaçlamaktadır. Tarımsal yapılar, sulama sistemleri ve biyosistem mühendisliği; tarımsal üretimin verimliliğini artırmak, doğal kaynakları korumak ve sürdürülebilir bir gelecek için kritik bir rol oynar. "Tarımsal Yapılar ve Sulama ile Biyosistem Mühendisliği Bilimlerinde Uygulamalar ve Yenilikler" adlı uluslararası niteliğe sahip bu kitap; tarımsal sektördeki yenilikçi yaklaşımlar, teknolojik gelişmeleri ve bilimsel uygulamalar ile bu önemli alanlardaki güncel konuları bir araya getiren bir derlemedir. Kitabımız; her bir bölümün alanında uzman akademisyen ile araştırmacı tarafından kaleme alındığı ve farklı yönleriyle bu disiplinlere ait makalelerin yer aldığı üç bölümden oluşmaktadır. Yazılan bu alandaki deneyimleri, araştırmaları ve perspektifleri, tarımsal yapılar, sulama sistemleri ve biyosistem mühendisliği konularında okuyuculara geniş bir bakış açısı sunmaktadır. Biyolojik sistemlerin mühendislik yaklaşımı bağlamında, bu kitap; tarımsal yapıların, sulama tekniklerinin, akıllı ve hassas tarımı içersinde barındıran tarım teknolojilerinin; biyosistemlerle olan etkileşimlerini ve yenilikçi çözümlerini; okuyuculara, uygulayıcılara ve araştırmacılara sunmayı amaçlamaktadır. Bu eser; ziraat mühendisleri, biyosistem mühendisleri, çevre bilimcileri ve ilgili alanlarda çalışan araştırmacılar ile tarım sektöründe ilerlemeye ve bu alandaki yenilikleri takip etmek isteyen herkes için bir kaynak niteliği taşımaktadır. Paydaşların tarımsal yapılar, sulama sistemleri ve biyosistem mühendisliği konularında en güncel gelişmeleri sunarak, tarımsal verimlilik artışı ve doğal kaynakların etkin kullanımı konularında geniş bir bakış açısı sağlamayı hedeflemektedir. Bu kitabın hazırlanmasına katkı sağlayan tüm yazarlara ve emeği geçen tüm çalışanlara en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Kitap; paydaşlarına tarımsal alanlardaki ilerlemelerin yanı sıra gelecekteki yönelimleri ve değişen dinamikleri anlamalarına yardımcı olacak bir kaynak olarak önemli bir rol üstlenecektir. Eserin; Tarımsal Yapılar ve Sulama ile Biyosistem Mühendisliği alanlarında akademik çalışmalara literatür oluşturmasını, tüm sektördeki ilerlemelere katkıda bulunmasını ve çalışan herkes için değerli bir kaynak oluşturmasını temenni ediyorum.

