

Kapalı Bitkisel Üretim Sistemleri

Şafak KARADAĞ¹, Mehmet Ufuk KASIM^{2*}, Rezzan KASIM²

¹Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Yetiştirme ve Islahı Anabilim Dalı,
Kocaeli, Türkiye

[ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1944-2063> (Ş. KARADAĞ)]

²Kocaeli Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Kocaeli, Türkiye
[ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2976-7320> (M.U. KASIM), [0000-0002-2279-4767](https://orcid.org/0000-0002-2279-4767) (R. KASIM)]

*Sorumlu yazar: mukasim@kocaeli.edu.tr

Özet

İnsanlar binlerce yıldan beri, farklı tarım teknikleri kullanarak besin ihtiyaçlarını karşılamışlardır. Ancak insan nüfusunun artmasına paralel olarak besin ihtiyacında da sürekli bir artış meydana gelmiştir. Bu artışı karşılamak amacı ile yoğun tarımsal üretime rağmen, gelecekte gıda temininde sorunlar yaşanabileceği düşünülmektedir. - Tarımsal üretimdeki artışa paralel olarak, mevcut kaynakların son limitlerine kadar kullanılması, iklim değişikliği, mevcut toprak ve su kaynaklarının azalması ve tarım ilacı kullanımının artması tarımsal üretimi tehdit etmektedir. Bu tehditleri azaltmak amacıyla sürdürülebilir tarım teknikleri kullanılmakta, fakat doğa ve çevre koşullarına bağımlılık tamamen ortadan kaldırılamamaktadır. Bu nedenle tam kontrollü bir üretim yapma arayışları sonucunda “kapalı bitkisel üretim sistemi” ortaya çıkmıştır. Bu sistemde üretim, tamamen izolasyonlu, doğal ışığın olmadığı yapılar içerisinde, tüm iklim elemanlarının hassas bir şekilde kontrol edildiği, çok katlı topraksız tarım tekniği ile yapılmaktadır. Bitki besin maddeleri ve suda, kapalı bir sirkülasyon sistemi ile bitki köklerine verilmekte, su ve gübre kullanımında da %90’a yakın tasarruf sağlanmaktadır. Böylece tamamen steril bir ortam sağlandığından tarım ilacı ve bitki büyüme düzenleyici kullanımına gereksinim de kalmamaktadır. Kapalı bitkisel üretim birçok avantajına rağmen bugüne kadar gelişmemesinin en önemli nedenlerinden biri aydınlatma maliyetinin yüksek olmasıdır. Ancak günümüzde LED teknolojisinin gelişimiyle beraber, daha düşük maliyetli bir aydınlatma yapılabilen ve hatta farklı dalga boylarında ışıklar kullanılarak, bitkinin daha yüksek fotosentez yapması ve hızlı büyümesi de sağlanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kapalı tarım, Dikey tarım, İklimlendirme, Sulama-beslenme, Yapay aydınlatma

Closed Plant Production System

Abstract

People have met their nutritional needs using different agricultural techniques for thousands of years. However, there has been a continuous increase in the need for food in parallel with the increase in the human population. In order to meet this increase, it is thought that there may be problems in food supply in the future, despite intensive agricultural production. Parallel to the increase in agricultural production, the use of existing resources to the limit, climate change, decrease in existing soil and water resources and increase in the use of pesticides threaten agricultural production. Sustainable agriculture techniques are used to reduce these threats, but dependence on nature and environmental conditions cannot be completely eliminated. Therefore, as a result of the search for a fully controlled production, a “closed plant production system” has emerged. In this system, production is carried out with multi-storey soilless farming technique in which all climate elements are precisely controlled in fully insulated structures without natural light. Plant nutrients and water are also given to plant roots through a closed circulation system. Thus, savings of nearly 90% are achieved in the use of water and fertilizers. Thus, as a completely sterile environment is provided, there is no need for pesticides and plant growth regulators. One of the most important reasons why closed plant production has not developed until today despite its many advantages is the high cost of lighting. However, today, with the development of LED technology, a lower cost illumination can be made and even higher photosynthesis and rapid growth of the plant can be achieved by using lights of different wavelengths.

Keywords: Closed agriculture, Vertical farm, Climatization, Irrigation-nutrition, Artificial light

1.Giriş

Tarımsal üretim yüzyıllardır çiftçiler tarafından geleneksel yöntemlerle yapılmaktadır. Fakat son yıllarda artan nüfus, kentleşme, azalan tarım arazileri, kullanılabilir su kaynaklarında azalma, elverişsiz hava koşulları, artan lojistik maliyetler, şehir merkezlerine yakın olan arazilerin maliyetlerinin yüksek olması, besin güvenliği, gıda erişebilirliği, aracılık ve depolama maliyetleri gibi küresel zorluklar nedeniyle geleneksel tarıma alternatif olarak akıllı tarım, yani tamamen kapalı mekanlarda topraksız tarım sistemleri gündeme gelmiştir (Cho, 2011; Laouchez, 2016; Al-Kodmany, 2018). Şimdiye kadar toprakta yetişmesine alıştığımız bitkileri, sürdürülebilir tarım teknikleriyle yüksek verimli üretebilmek için her bitki için uygun şartların sağlanması gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle; ısıtma, soğutma, hava nemi, aydınlanma şiddeti ve süresi, havalandırma, O₂ ve CO₂ kontrolü, sulama süresi ve miktarı, pH ve EC, gübre türü ve miktarı gibi bilgilerin belirlenmesi gerekmektedir (Nicole, 2017).

Günümüz teknolojisi sayesinde bu verilere göre geliştirilen yazılım sistemleriyle bitkileri kontrollü şartlarda, kapalı alanlarda yetiştirilmek mümkündür. Tam kontrol ile hem dışsal koşulların verim ve üretim üzerindeki sınırlandırıcı etkileri minimize edilmekte, hem de toprağa bağımlılık ortadan kaldırılmaktadır. Bu sayede insan beslenmesi için yeterli ve kaliteli üretim yapmakta mümkün olmaktadır.

Günümüzde dünya nüfusu 7,3 milyar iken, yapılan araştırmalar 2050 yılında bu rakamın 9,1 milyar olacağını göstermektedir. Dünya nüfusunun %49'u kentsel alanlarda yaşarken, 2050 yılında bu oranın %70'ten fazla olması beklenmektedir (Bingöl, 2015). Dünya'da son 40 yıl boyunca ekilebilir tarım arazilerinin üçte birini değişik nedenlerle kaybedilmiştir (Dockrill, 2015). Türkiye'nin ise 2080 yılında, bugün üretebildiği tarımsal ürünün %15 daha azını üretebileceği tahmin edilmektedir (Birişik, 2019). Artan nüfus, gıda talebinin de artmasına neden olmakta, bu durum da doğal kaynakların daha yoğun kullanılması üzerinde baskı yapmaktadır. Yani her geçen gün kitlesel nüfusu beslemek amacıyla gerekli gıda üretimi için daha büyük çaba harcanması gerekmektedir (Anonim, 2020a). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün verilerine göre 2016 yılında dünyada kişi başına düşen ekilebilir tarım alanı 0,210 hektar iken (Anonim 2020b), 2050 yılında bu rakamın 0,181 hektara düşeceği tahmin edilmektedir

(Alexandratos ve Bruinsma, 2012). Bu nedenle insanoğlu, artan gıda ihtiyacını karşılamaya yönelik yeni arayışlara girmek zorundadır. Bunlardan birisi de kapalı bitkisel üretim sistemidir.

Kapalı bitkisel üretim sistemi, çevresi ile etkileşimi bulunmayan, doğal ışığı olmayan, tamamen yapay yöntemlerle kontrol edilen bir bitkisel üretim sistemidir. Kentler genişledikçe tarımsal üretimi geliştirmek isteyen araştırmacılar, üretimi artırmak ve geliştirmek amacıyla, yeni dikey çiftlikler oluşturmak ve ihtiyaç duyulan taze ürünleri yetiştirmek için, konteynirlarda, boş binalarda ve değerlendirilebilecek boş alanların kullanılabilirliğini araştırmışlardır.

Kapalı bitkisel üretim sistemi şehirlerde gıda üretimi için tasarlanmış bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır (Laouchez, 2016). Bu sistemde tarım, topraksız olarak ve daha fazla ürün elde etmek için çok katlı dikey yöntemlerle yapılmaktadır. Küresel zorluklar karşısında dikey tarım ile etkili alan kullanımı, etkili çiftçilik ve yüksek verim, %90 oranında su tasarrufu, yerel büyüme ve tarım ilaçlarının kullanılmaması gibi olağanüsü avantajlar getirilmiştir (Nicole, 2017; Al-Kodmany, 2018).

Kapalı bitkisel üretim sistemlerinin çok fazla avantajının olmasına rağmen, tüm bitkilerde kullanımı mümkün değildir. Özellikle boyutlarının büyüklüğünden dolayı meyve ağaçlarında ve kullanılan topraksız tarım tekniğine uygun olmaması nedeni ile patates ve havuç gibi toprak altı organları tüketilen bitkilerde şimdilik kullanılamamaktadır. Günümüzde marul, roka, maydanoz, ıspanak gibi yeşil sebze türleri yetiştirilmesinde bu sistemler yaygın olarak tercih edilmektedir.

Çilek gibi küçük bitki yapısına sahip meyvelerde bu sistem kullanılabilir görünse de kapalı ortamda ve farklı renkteki ışıkta, en önemli tozlayıcı olan arıların tepkisi günümüzde halen araştırılmaktadır. Böceklerle alternatif olarak bilim insanları, mini tozlaşma dronları geliştirmek için çalışmalarını halen sürdürmektedirler (Van Der Schaft, 2018; Potts ve ark., 2018; Ohi ve ark., 2018).

Kıt ve verimsiz toprakların yerine kullanılması amacıyla, Amerika, Çin ve Japonya gibi ülkeler uzayda topraksız tarım denemelerine başlamıştır. Uzayda düşük kütle çekimi, farklı toprak yapısı, yapay ışıklandırma ve kısıtlı alanlarda bitki yetiştiriciliği yapılmıştır. NASA'nın uzayda bitki yetiştirmek amacıyla öncülük ettiği çalışmalar sonucu ortaya çıkan hidroponik üretim tekniğinde, dünyada geniş bir kullanım alanına ulaşılmıştır.

Ayrıca insanların uzayda veya başka bir gezegende (öncelikle ay ve Mars) uzun süre kalmasını sağlamak için yürütülen döngüsel bitki üretiminin amaçlandığı 'Mars Lunar Greenhouse' isimli projede, kapalı bir tüp içerisinde hem besin hem oksijen üretilirken, hem de karbondioksitin bertaraf edilmesi de mümkün olmaktadır. Ayrıca bu sistem su ve atık geri dönüşümü sağlamak üzere tasarlanmıştır (Granath, 2017). Bu gibi çalışmalardan esinlenilerek; Amerika, Hollanda, Japonya, Singapur, İngiltere ve İsviçre gibi ülkelerde kurulan kapalı bitkisel üretim çiftliklerinde amaç; çevreye duyarlı dost tesislerin kurulması ve işletilmesi, bölgesel tüketici taleplerine cevap verecek üretim yapılması, üretim miktarının artırılması ile toplumun kontrollü, güvenli, besleyici ve lezzetli yiyeceklerle beslenmesidir (Al-Kodmany, 2018).

Bu çalışmada sürdürülebilir gıda üretimine katkıda bulunmak için geliştirilen kapalı ve dikey tarım sisteminin çalışma prensibi anlatılarak, kapalı sistemde bitki üretim yöntemleri ve yetiştiricilikte kullanılan iklimlendirme, sulama ve beslenme gibi uygulamalar araştırılmış olup, uygulanan farklı LED aydınlatmalar ile ışık kalitesinin bitki üzerindeki verim ve kaliteye etkilerine değinilecektir.

2. Üretim Tekniği

Kapalı bitkisel üretim sisteminde üretim topraksız tarım tekniği ile çok katlı dikey çiftliklerde yapılmaktadır. Topraksız tarımda, bitkiler hidroponik (su-çözelti) ve katı ortam (agregat-substrat) kültüründe yetiştirilmektedir. Her iki kültürde de temel olarak yetiştirme ortamında toprağın olmaması ve suyun çok az miktarda kullanılması prensibine dayanmaktadır. Hidroponik kültürde bitkiler ihtiyaç duydukları besinleri içinde minerallerin olduğu besin çözeltisinden alırlar. Bu üretim tekniğinde, filtreden geçirilen besin çözeltisi, kılcal borular yardımıyla bitkinin açıkta bulunan köklerine alttan uygulanmakta veya püskürtme yoluyla doğrudan verilmektedir. Kullanılan bitki besleme tekniği sayesinde herhangi bir atık çözeltisi oluşmamaktadır. Katı ortam kültürünün çalışma prensibinde ise; bitkiler besin eriyikleriyle zenginleştirilmiş organik (torf, kokopit, saman, mantar kompostu gibi) ve inorganik (kayayünü, strafor, kum, çakıl, perlit gibi) ortamlarda yetiştirilmekte, kökler bu ortamlarda gelişmektedir. Suya karıştırılmış besin eriyiği damlama sulama ile bitkiye verilmektedir (Sevgican, 1999b; Kasım ve Kasım 2004).

Hidroponik kültürün bir diğer yetiştiricilik türü olan akuaponik sistemin çalışma prensibinde; bitkilerin üretimi, balık yetiştirilen havuzlardaki su ve içinde erimiş halde bulunan besin maddeleri ile birlikte yapılmaktadır (Demir ve Çakırer, 2014). Balık ile bitkilerin beslenme ve açığa çıkardığı atıklar ters fonksiyonludur. Yani balıkların atıkları içinde bulunan azotlu bileşikler bitkiler için gübre olurken, balıklar için toksik olan bu bileşiklerde bitkiler tarafından sudan uzaklaştırılarak suyun temizlenmesi, balıklar için temiz bir ortam oluşturmasını sağlamaktadır. Böylelikle aynı yerde iki farklı canlı türünün kısmen ortak yaşayabildikleri bir ortam oluşturmaları sözkonusudur (Kargın ve Bilgüven, 2018). Akuaponik sistem için, aquakültür ile hidroponik kültürün birlikte yürütüldüğü sistemler topluluğu denebilir.

3. Kapalı Bitkisel Üretim Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

3.1. Avantajları:

Kapalı sistem yetiştiriciliğin avantajları aşağıda sıralanmıştır:

a) Kapalı bitkisel üretim sistemlerinin en büyük avantajı, atık çözelti oluşturmadığı için su ve gübre tasarrufu sağlaması ve çevreyi kirletmemesidir (Meriç ve Öztekin, 2008). Bu bağlamda çevre dostu bir tarımdır. Biyo-çeşitlilik ve çevre üzerinde bilinen olumsuz etkisinin olmaması çevre dostu kavramının kanıtı niteliğindedir.

b) Yüksek verimli LED aydınlatma teknolojisinin kullanılması, maksimum büyüme için minimum güç kullanımı sağlamaktadır. Fotosentetik dalga boylarının bilgisayar kontrollü yönetimlerle büyüme dönemine uygun olarak ayarlanması sayesinde, optimize edilmiş üretim ve enerji kullanımında da maksimum tasarruf sağlanmaktadır (Al-Kodmany, 2018).

c) Kentlerde kullanılmayan bina, depo gibi alanların gıda üretim merkezlerine dönüştürülmesi ile uzun mesafe taşımacılığı ortadan kaldırılmaktadır.

ç) Toprağa bağlı olunmadığı için her yerde tarımsal üretim olanağı sağlamaktadır.

d) Kontrol edilebilir iklim nedeniyle erkencilik sağlanmaktadır. Bu sayede çiçeklenme kontrol edilmekte ve ekim nöbetine gerek kalmamaktadır.

e) Besin maddelerinin dozları ayarlanarak bitkilerin vegetatif veya generatif devrede tutulmaları sağlanmaktadır. Bu sayede her mevsim üretim yapmaya olanak sağlamaktadır.

f) Toprakta görülen tuzluluk ve yorgunluk problemi görülmemektedir. Hastalık, zararlı ve yabancı ot kontrolü uygulanan hijyenik önlemler ile sağlanmakta ve bu sayede pestisit kullanımı azalmakta, fumigant kullanımına gerek kalmamaktadır. Ayrıca yabancı ot oluşmamaktadır.

g) Enerji ve iş gücünün azaltılması ile temiz ürün eldesine olanak sağlamaktadır.

h) Tesisin ilk kurulumundaki bilgisayar işletim sistemi, sulama sistemi gibi başlangıç masraflarının pahalı olması dezavantaj gibi görünmekte; fakat fazla ürün üretilmesinin getirdiği kazançla bu durum avantaja dönüşmektedir.

3.2. Dezavantajları:

Kapalı bitkisel üretim sistemlerinin dezavantajları aşağıda sıralanmıştır:

a) Bu sistemlerin en önemli dezavantajı, tesiste kullanılan yapay aydınlatma maliyetinin yüksek olmasıdır.

b) Bilgisayar işletim sistemiyle kontrol edilen tesiste kalifiye elemanların bulunmaması sorun oluşturmaktadır.

c) Temiz çalışma gerektiren bu sistemde gerekli özenin gösterilmemesi halinde ortaya çıkabilecek kök hastalıkları besin çözeltisi ile hızla diğer bitkilere yayılabilmektedir (Sevgican, 1999b; Kasım ve Kasım 2004).

4. Kapalı Bitkisel Üretim Sistemlerinde Kullanılan Uygulamalar

Çeşitli yazılım firmalarının akıllı teknoloji sistemleri ile kapalı alanlar kontrol edilebilir, ölçülebilir ve raporlanabilir hale getirilmektedirler. Bu otomasyon sistemleri ile iklimlendirme ve sulama-beslenme işlemleri bir bilgisayar ünitesi ve üzerinde yüklü bir yazılım aracılığıyla istenilen yerden internete bağlanarak kontrol edilebilmektedir. Bu sistem sayesinde aşağıda açıklanan ve bitkinin ihtiyacı olan tüm istekleri mükemmel yakın düzeyde sağlanabilmektedir.

4.1. İklimlendirme

İklimlendirme ile kapalı alanın ısıtma, soğutma, nem, aydınlatma-karartma, O₂ ve CO₂ kontrolü yapılmaktadır.

Ortamdaki bu iklimsel parametrelerdeki değişimler, birbirlerini etkileyebilirler. Örneğin ortam nemi ve sıcaklık çift taraflı etkiye sahiptir.

Çünkü ısıtma ile sıcaklığın her birim artışında, ortamdaki nem oransal olarak azalmaktadır. Nem azalmasını teşvik eden havalandırmanın artışı aynı şekilde ısıtma havalandırma rekabetini ortaya çıkararak ortamın soğumasına neden olmaktadır (Kürklü ve Çağlayan, 2005).

Bitkilerin terleme yapmak için kullandıkları stomalar ortamın bağıl nem seviyesi ile ilişkilidir. Nem kontrol sistemleri ile bitkilerin stoma hareketleri izlenmekte ve bitkinin ideal şeker üretimi ve gelişimi için gerekli nem-sıcaklık seviyeleri tespit edilmektedir. Soğutma ve nem için nemlendirme pedi, pedlerin karşısına da hava hareketi sağlayan fanlar kullanılmaktadır. İdeal nem seviyesine ulaşmış olan ortamda bu sayede fotosentez hızı artmakta, bakteri-fungus gibi hastalıklar önlenmekte ve optimum enerji verimliliği sağlanmaktadır (Kürklü ve Çağlayan, 2005).

Fotosentez hareketinin başlaması için ortamda bulunan CO₂ miktarı bitkiler için önem arz etmektedir. Seralarda karbondioksit düzeyi, optimal bir fotosentez için 1200 ppm olmalıdır. Ancak CO₂ miktarı 1200 ppm'den yukarı çıktıkça bitkiler için tekrar öldürücü olmaya başlar. 10000 ppm dolaylarında ise bitkiler fotosentez yapamayacak duruma gelirler ve ölürlür. Bu nedenle yeterli miktarlarda CO₂ bitkilere verilmelidir. Bitki yetiştirilen ortamdaki CO₂ miktarının artırılması, bitkinin yapraklarında depolanan fazla suyu ve enerjiyi kullanmasını sağlamakta ve bu büyümenin artmasına neden olmaktadır. Bu durum bitkilerde gübre etkisi yaratmaktadır (Tezcan ve ark., 2011).

Kapalı bitkisel üretim sistemlerinde, üretim alanı ile dış ortam arasında oldukça kalın (seralara göre) ve izolasyonlu bir duvar bulunması sayesinde ekstrem iklim değişiklikleri meydana gelmez. Bu durumda iklimlendirme masrafları seralara nazaran çok düşüktür. Böylece sıcaklık-nem, hava hareketi-nem, nem-hastalık ilişkileri daha sınırlı ve kontrol edilebilir seviyede olacaktır.

4.2. Aydınlatma-Karartma

Enerji, bitki üretiminde en büyük sınırlayıcı faktördür. Bütün canlılar gibi bitkilerin de yaşamlarını normal sürdürebilmeleri için enerjiye ihtiyaçları vardır. Bu enerjiyi bitkiler doğal olarak güneşten sağlarlar (Sevgican, 1999a). Fakat kapalı alanlarda bitki yetiştirmek için güneş ışığının yerini tutan ve verimli ışıklar olan LED ışıklar yani yapay aydınlatmalar kullanılmaktadır. LED lambalar ısınmadığı için, bitkilerin yakınına yerleştirilebilmekte ve böylece sık yerleştirilen

bitki katmanları oluşturulabilmektedir (Laouchez, 2016).

Işık bitki büyümesini ve gelişimini etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Bu nedenle, kapalı bitkisel üretim sistemlerinde en uygun ışık kaynağının seçilmesi gerekmektedir. Işık yoğunluğunun yanı sıra, bitkilerin büyüme ve gelişmesi için ışık kalitesi veya ışık spektrumu da önemlidir. Güneş ışığı ve geleneksel aydınlatmalarda bitkiler kırmızı, mavi ışık dalga boylarını soğururken, mor, yeşil ve sarı ışığın bir kısmını kullanmayıp yansıtmaktadırlar; fakat LED aydınlatmalarda bitkilerin fotosentez için ihtiyaç duydukları mavi, kırmızı ve uzun dalga kırmızı (far-red) ışık doğrudan verilmektedir.

Bitki aydınlatması için kullanılmak üzere LED modüller seçilirken ve aydınlatma tasarlanırken; kullanılan ışığın dalga boyu, günlük aydınlanma süresi, ışık şiddeti, LED modüllerin konumu ve miktarı dikkate alınmalıdır (Anonim, 2019). Bitkinin türünün yeşil yapraklı veya çiçekli olması kullanılacak LED modüllerin seçimini etkilemektedir. Bu nedenle her bitki türüne uygun seçimlerin yapılması gerekmektedir. Doğru aydınlatma projesi ve LED modül seçimiyle etkin ve verimli sonuca ulaşılabilmektedir.

Bitkiler, ultraviyole-B, ultraviyole-A, mavi, kırmızı ve uzak kırmızı ışığı algılayan farklı fotoreseptörlere sahiptir (Ouzounis ve ark., 2015). Bu ışıkların bitkilerde farklı etkileri bulunmaktadır. Mavi ışığın, klorofil oluşumu, stoma açılması, fototropizm ve aynı zamanda fotomorfojeniz için önemli olduğu bilinmektedir. (de Carbonnel ve ark., 2010; Usami ve ark., 2004). Kırmızı ışık bitki gelişiminde tek başına yeterli değildir. Optimum gelişme, fotosentez ve biyokütle üretimi için mavi ve uzak kırmızıya da ihtiyaç duyarlar (Ouzounis ve ark., 2015). Stoma faaliyeti hem kırmızı hem de mavi ışık tarafından tetiklenir ve bu işlevin Fotosentetik Foton Akısı Yoğunluğu (PPFD) ile doğrudan ilişkilidir. Düşük PPFD'de ($15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ civarı), mavi ışık stomaların açılmasına neden olurken kırmızı ışık etkisizdir. Daha yüksek PPFD'de, kırmızı ışıkta etkilidir. Ancak mavi ışık kırmızı ışığa göre tutarlıdır (Briggs ve Huala, 1999).

Kapalı bitkisel üretim sisteminde bitki için gereken farklı dalga boylarının tek tek kullanımı fiyolojik bazı sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle kırmızı, mavi, beyaz ve uzak kırmızı kombinasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kim ve You (2013) kapalı bitkisel üretim sisteminde yetiştirilen japon turplarında (*Wasabia japonica*), kırmızı-mavi LED kombinasyonunun kullanılması gerektiğini ve bu kombinasyonda

kırmızı ışık oranının maviye göre oldukça yüksek seviyelerde olması gerektiğini belirlemişlerdir.

Yine kırmızı ve yeşil yapraklı marulda (*Lactuca sativa* L.) farklı RGB (kırmızı-yeşil-mavi) kombinasyonları (RGB oranları; 1:4:5, 5:0:5, 5:2:3, 7:0:3, 7:1:2) karşılaştırılmıştır. Deneme sonucunda, kapalı bitkisel üretim sisteminde marul yetiştirmek için RGB oranının 5-7:0-2:1-3 olduğu belirlenmiştir (Cha ve ark., 2013).

Farklı renklerin etkisinin yanı sıra kullanılabilir ışık yoğunluğunun ve fotoperiyodizitenin de önemi vardır. Işık yoğunluğunu ifade etmede yaygın olarak kullanılan lux ve kandela, bitki gelişimi üzerine doğrudan etki etmemektedir. Bunun yerine fotosentez üzerine etkili olan ışık birimleri olan PAR (Photosynthetically Active Radiation: Fotosentetik Aktif Radyasyon) ya da PPF (Photosynthetic Photon Flux Density: Fotosentetik Foton Akısı Yoğunluğu) birimlerinin kullanılması daha doğrudur. Bunlar içinde en yaygın kullanılan PPF, belirli bir yüzeye saniyede düşen fotosentetik aktif foton sayısını ifade eder ve birimi $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 'dir (Anonim, 2020c).

Yine kapalı bitkisel üretim sisteminde marul yetiştiriciliğinde dört farklı ışık yoğunluğu (200, 230, 260 ve 290 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF) ve üç farklı fotoperiyodun [18/6 (1 döngü) 9/3 (2 döngü) veya 6/2 (3 döngü)] kombinasyonu incelenmiştir. Deneme sonucunda, yüksek ışık yoğunluklarında (290 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF) daha kısa bir fotoperiyot ile (6/2'lik), düşük ışık yoğunluklarında (230 veya 260 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ PPF) ise daha uzun bir fotoperiyot (18/6 ve 9/3) ile daha iyi büyüme ve daha yüksek fotosentetik kapasite elde edilmiştir (Kang ve ark., 2013).

4.3.Sulama-Beslenme

Kapalı bitkisel üretim sistemlerinde sulama ve bitki besleme, topraksız tarım tekniklerinden biri olan hidroponik kültürde kullanılan yöntemlerin aynısıdır. Bu teknikte bitkiler, besin ilave edilmiş suda büyütülmektedir (Al-Kodmany 2018). Hidroponik sistemde, geleneksel tarıma göre yüzde 70 daha az su kullanırken (Cho, 2011), kapalı bitkisel üretim sisteminde bu oran çok daha düşüktür (geleneksel tarımda kullanılan suyun yaklaşık 1 / 10'u). Bu denli düşük olmasının en büyük nedeni, hem suyun doğrudan buharlaşması, hem de bitkide meydana gelen terlemenin çok daha düşük olmasıdır (Al-Kodmany 2018). Bu

sistemde, bitkiler tarafından alınmayan tüm su ve besin maddeleri geri kazanılır (Cho, 2011).

Kapalı bitkisel üretim sisteminde daha çok derin akış su kültürü kullanılmaktadır (Heo ve ark., 2013; Kang ve ark., 2013). Sistem içerisinde sulu besin çözeltisinin eksilmesi durumunda takviye edilmekte ve besin içeriği elektriksel iletkenlik (EC) ölçümü ile kontrol edilmektedir. Genellikle EC seviyesinin $2,0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 'in altında olması istenir (Sevgican, 1999b). Burada önemli olan, yetiştirilen bitkinin fizyolojik aşaması (vejetatif ya da generatif gibi) ve pH istekleridir. Kang ve ark. (2013), marul yetiştiriciliğinde, derin akış sisteminde $6.0 \pm 0.5 \text{ pH}$ ve $1,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ EC seviyesini su+besin çözeltisi kullanmışlardır.

5.Kapalı Bitkisel Üretim Sisteminin Bazı Özellikleri

5.1.Bitki - Işık Etkileşimi

Bitkiler hayatta kalmak için ışığa gereksinim duyan canlılardır. Bitki büyümesini ve gelişimini ışıklı periyotta ve ışık kalitesine göre ayarlamaktadır. Işığın etkilediği, bitkinin şeklini meydana getiren olayların tümü 'fotomorfogenez' olarak adlandırılır. Fotomorfogenez ışığın etkin olduğu durumdaki bir gelişim ifadesidir. Işıklı ortamda fidelerde klorofil oluşur, gövde uzaması baskı altında tutulur, gövde genişlemesi sağlanır, yan köklerin gelişimi hızlanır, yaprak büyümesi teşvik edilir (Padem ve Özdamar, 2016).

Kırmızı mavi ışığın dalga boyları fotosentetik biyosentez ve fotomorfojeniz üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Çünkü yaprak hücrelerindeki klorofil a ve b, fotosentez için hem kırmızı hem de mavi ışığı etkili bir şekilde absorbe etmektedir. Kırmızı ve mavi ışıkların bitki büyümesi üzerinde farklı etkileri vardır.

Kapalı bitkisel üretim sisteminde yetiştirilen *Ipomoea aquatica* Forsk (Su Ispanağı) bitkisinde ışık kalitesinin büyüme ve ikincil metabolit içeriği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buna göre; kırmızı ışığın bitki biyokütlesini arttırmada etkili olduğu, mavi ışığın ise klorofil biyosentezi ve stoma açıklığında önemli olduğu tespit edilmiştir (Kitayama ve ark., 2019).

Yine kapalı bitkisel üretim sistemlerinde yetiştirilen domates bitkilerinde, küçük siğil benzeri tümör oluşumu görülebilmektedir. Bu oluşumlar esas olarak yaprak yüzeyinde, bazen yaprak saplarında ve gövdelerde gelişebilmektedir. Işık kalitesi bu fizyolojik bozukluk üzerinde önemli rol oynamaktadır. Ultraviyole (UV) radyasyonunun, özellikle UV-

B'nin (280-320 nm), tümör benzeri gelişimleri engellediği bilinmektedir. UV-B'ye ek olarak uzak-kırmızı, mavi ve yeşil ışığın da şişmeye karşı önleyici etkisi vardır (Eguchi ve ark., 2016).

5.2.Bitkilerde Renklenme

Bitkilerde renklenme, birçok pigmentin klorofilin parçalanmasıyla baskın hale gelmesi ile oluşmaktadır.

Bu pigmentlerden en önemlisi antosiyanin olup, ışık ve sıcaklık etkileşimiyle ortaya çıkmaktadır. Antosiyaninler meyve, sebze, çiçek, kök ve diğer bitki depolama organlarında bulunan, bitkilere pembeden mora kadar değişen renkler veren, suda çözünebilir doğal pigmentlerdir. Hücre sitoplazmasında glikozit formda bulunmakta olup bazı şekerler ve şeker olmayan (aglikon) maddelerden meydana gelmiştir (Koca ve ark., 2006).

Her bitki hücresi özelleşmiş yapılara gereksinim duymadan antosiyanin üretme yeteneğine sahiptir. Hücre içerisinde antosiyaninler vakuolde depolanır. Bazı türlerde antosiyaninler oldukça yüksek seviyelerde birikebilir. Antosiyaninler asidik koşullarda 520 nm civarındaki görünür ışığı soğururlar (Keleş, 2015). Antosiyanin oluşumunda gece-gündüz sıcaklık farkından doğan sıcaklık stresi ve mavi - UV ışığa karşı olan ışık stresi en büyük etkendir. Nitekim, "lollo rosso", "red salanova" ve "red oak" marul çeşitlerinde maviye yakın UV ışığa maruz bırakılma sonucunda, antosiyanin sentezi teşvik edilmiş ve bitkiler kırmızı-bordo renk alırken, diğer dalga boyları bitkilerin yeşil kalmasına neden olmuştur (Nicole, 2017).

Bitkilerde tüm pigmentlerin oluşmasında ışık, sıcaklık ve diğer ekolojik faktörlerin etkisi önemlidir. Kapalı bitkisel üretim sistemlerinin tüm ekolojik koşulları optimum seviyede kontrol etmesi, pigment sentezini de kontrol etmekte, dolayısıyla en ideal renklenme sağlanabilmektedir. Shoji ve ark. (2010), kırmızı yapraklı kıvırcıkta mavi ışığın antosiyanin sentezini arttırmada etkili olduğunu, ancak tek başına kullanıldığında bu etkisinin geçici olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada en etkili büyüme, gelişme ve antosiyanin sentezinin %80 mavi, %20 kırmızı ya da %50 mavi, %50 kırmızı kombinasyonu ile elde edilmiştir.

Yine marulda yapılan başka bir çalışmada, kırmızı/mavi ışık karışımının (%57 kırmızı: %43 mavi) toplam antosiyanin içeriği, kırmızı LED ve floresan ışığa kıyasla sırasıyla 4,1 kat ve 6,9 kat artmıştır. Ancak mavi ışık oranının sürekli yüksek

tutulmasının büyümeyi önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Bu nedenle araştırmacılar, büyüme gelişme döneminde kırmızı ışığın yoğunluğunun yüksek tutulması, renklenme döneminde ise mavi ışığın artırılması gerektiğini tespit etmişlerdir (Lee ve ark., 2010)

Sebzeler hasat öncesi veya sonrasında kontrollü şartlar altında stres koşulları oluşturarak antosiyanin miktarının artırılması sağlanabilmektedir (Kasım ve Kasım 2017).

5.3.Sağlık

Koyu yeşil yapraklı sebzelerin (roka, maydanoz, ıspanak) nitrat içeriğinin köklü, soğanlı, yumru sebzelerden daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bitkinin çeşitli kısımlarında nitrat miktarı farklılık göstermektedir. Yaprak sapı ve gövdede nitrat miktarı yüksek düzeyde, yaprak ve kökte orta düzeyde, meyve ve çiçeklerde ise çok düşük düzeylerde bulunmaktadır. Bitkide nitratin bulunduğu iki yer vardır. Bunlar; sitoplazmada yer alan metabolik kısım ve vakuolde yer alan depo kısmıdır. Vakuollerde nitrat akümüasyonu artan ışık yoğunluğuna bağlı olarak düşmektedir. Filizlerde nitrat kullanımı için güneş ışığı gerekli olduğundan, öğleden sonra nitrat konsantrasyonu sabaha oranla daha düşük bulunmuştur (Blom-Zandstra, 1989).

Sebzelerin nitrat ve nitrit içeriklerine etki eden faktörler üzerine yapılan çalışmalarda, kısa büyüme periyodundaki sebzelerde, kışın üretilen sebzelerin yaz aylarından daha fazla nitrat biriktirdiği tespit edilmiştir (Santamaria ve ark 1999). Nitrat birikimindeki bu farklılığın sıcaklık, ışık ve gün uzunluğundaki azalmadan kaynaklandığı bilinmektedir. Işık yoğunluğunun azalması ve azotlu gübre kullanımındaki artış ile sebzelerde nitrat birikimi arasında direkt bir ilişki olduğu saptanmıştır. Kapalı bitkisel üretim sistemlerinde güneş ışığı yerine kullanılan yapay aydınlatmaların ışık yoğunluğunun ayarlanmasıyla nitrat miktarı ayarlanabilmektedir. Yapılan araştırmalara dayanarak marul, ıspanak ve roka gibi yapraklı sebzelere yüksek ışık yoğunluklarının uygulanmasıyla nitrat içeriğinin az miktarlarda olduğu, ışık seviyesinin nitrat birikimiyle zıt ilişkili hareket ettiği söylenebilir (Cantliffe, 1972). Sağlık açısından düşük dozlarda bünyeye alınan nitratin insan bünyesi üzerinde olumsuz etkileri olmadığı; fakat çeşitli yollarla fazla miktarlarda vücuda alındığında insan sağlığı için zararlı olabileceği tespit edilmiştir (Ayaz ve Yurttagül, 2006).

5.4.Tat

Basit şekerler, asitler ve uçucu bileşiklerin oluşumunu artırmak veya azaltmak ışığın dalga boylarını değiştirerek mümkün olmaktadır. Işık, ikincil metabolitlerin/uçucu maddelerin üretimini etkilemektedir. UV-B dalga boyundaki ışık, uçucu biyosentezini hızlandırmaktadır. Hollanda'nın Philips şirketi, farklı ışık şartları altında yetiştirilen roka bitkisinin tat algı farkları üzerine yaptığı aydınlatma araştırmasında sarı ışığın tatlılığı, mavi ve kırmızı ışığın lezzeti, yeşil ışığın acılığı artırdığı tespit edilmiştir (Nicole, 2017). Ayrıca UV-B ışığının depolama sırasında domateste glikoz, fruktoz ve suda çözünebilir kuru madde miktarını artırmıştır (Kasım ve Kasım 2015).

5.5. Raf Ömrü

Günümüzde tüketicilerde artan bilinçle birlikte, mikrobiyolojik açıdan güvenilir gıdaları tercih etmeleri, güvenli gıda kavramının önemini daha da arttırmıştır (Koca ve ark., 2018). Gıdaların taşınması, depolanması ve satışa sunulması aşamasında kullanılan ışık kaynağı ve ışık şiddeti önemlidir. Özellikle depolarda gereğinden fazla aydınlatmadan kaçınılmalıdır. Çünkü ışık oksidasyon reaksiyonları için gerekli olan enerjiyi sağlamaktadır. Işık altında saklanan gıdalarda tadın bozulması hızlanmaktadır. Raf ömrü testlerinde bitkinin, hasat öncesi ve hasattaki ışık durumu ile hasat sonrası ışık kullanımına bağlı olarak bazı farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum raf ömrü ve genel görsel kalite için çok önemlidir (Gökmen ve Öztan, 1995).

6.Sonuç

Kapalı bitkisel üretim sistem dikey bitki üretimi, dünya ülkelerinde hızla gelişim göstermekle beraber ülkemizde de azda olsa örnekleri görülmeye başlamıştır. Bu sistemlerde kontrollü üretim yapılabildiği için verim ve kalitesi yüksek ürünler elde edilmektedir. Dünyamızdaki olumsuz koşullar göz önüne alındığında "Tarım"da ve "Gıda"da sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi, güvenli gıda üretimi için kapalı bitkisel üretim sistem bir alternatif olabilir. Dolayısıyla bu alandaki çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- Al-Kodmany, K., 2018. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings*, 8(2):24. DOI: 10.3390/buildings8020024.
- Alexandratos, N., Bruinsma, J., 2012. World agriculture towards 2030/2050, The 2012 Revision. ESA Working Paper No. 12-03. <http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf>.
- Anonim, 2019. Yapay bitki aydınlatması. <http://www.forfarming.co/yapay-bitki-aydinlatmasi/> (Erişim tarihi: 18.05.2019).
- Anonim, 2020a. Dikey çiftçilik hakkında dikkat edilecek hususlar 2020. <https://tr.routestofinance.com/what-you-should-know-about-vertical-farming> (Erişim tarihi: 20.06.2020)
- Anonim, 2020b. Land use in agriculture by the numbers. <http://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219> (Erişim tarihi: 21/08/2020).
- Anonim, 2020c. Horticulture lighting metrics light measuring, spectral photometry. <https://gossen-photo.de/en/horticulture-lighting-metrics/> (Erişim tarihi: 23.08.2020).
- Ayaz, A., Yurttagül, M., 2006. Sebzelelerin nitrat ve nitrit içeriklerine etki eden faktörler. *Beslenme ve Diyet Dergisi / J Nutr and Diet* 34(2):51-64.
- Birişik, N., 2019. Küresel ve Ulusal Ölçekte Tarım ve Gıda Politikaları “Gerçekler, Sorunlar ve Çözüm Önerileri” Memur-Sen Konfederasyonu Toç Bir-Sen Tarım-Orman Çalışanları Birliği Sendikası Yayınları, ISBN 978-605-85250-2-3. 303 s.
- Bingöl, B., 2015. Dikey Tarım. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi* 11(2): 92-99.
- Blom-Zandstra, M., 1989. Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Annals of Applied Biology*, 115(3), 553-561.
- Briggs, W. R., Huala, E., 1999. Blue-light photoreceptors in higher plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 15(1): 33-62.
- Cha, M.K., Cho, J.H., Cho, Y.Y., 2013. Growth of leaf lettuce as affected by light quality of LED in closed-type plant factory system. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 22(4):291-297.
- Cho, R., 2011. Vertical Farms: From Vision to Reality. *State of the Planet, Blogs from the Earth Institute*, <http://blogs.ei.columbia.edu/2011/10/13/vertical-farms-from-vision-to-reality/comment-page-1/> (Erişim Tarihi 23/08/2020).
- Demir, K., Çakırer, G., 2014. Akuaponik Kültür. *Tarım Gündem Dergisi*, 23: 32-34.
- de Carbonnel, M., Davis, P., Roelfsema, M.R.G., Inoue, S.I., Schepens, I., Lariguet, P., Fankhauser, C., 2010. The Arabidopsis phytochrome kinase substrate2 protein is a phototropin signaling element that regulates leaf flattening and leaf positioning. *Plant Physiology*, 152(3): 1391-1405.
- Dockrill, P., 2015. The world has lost a third of its farmable land in the last 40 years. <https://www.sciencealert.com/the-world-has-lost-a-third-of-its-farmable-land-in-the-last-40-years>. (Erişim tarihi: 11.08.2020).
- Eguchi, T., Hernandez, R., Kubota, C., 2016. Far-red and blue light synergistically mitigate intumescence injury of tomato plants grown under ultraviolet-deficit light environment. *HortScience*, 51: 712-719.
- Gökmen, V., Öztan, A., 1995. Gıdaların Raf Ömrünün Etkileyen Faktörler ve Raf Ömrünün Belirlenmesi. *Gıda* 20(5):265-271.
- Granath, B., 2017. Lunar, Martian Greenhouses Designed to Mimic Those on Earth. NASA's Kennedy Space Center, Florida. <https://www.nasa.gov/feature/lunar-martian-greenhouses-designed-to-mimic-those-on-earth> (Erişim tarihi: 20.05.2019).
- Heo, J.W., Kim, D.E., Han, K.S., Kim, S.J., 2013. Effect of light-quality control on growth of *Ledebouriella seseloides* grown in plant factory of an artificial light type. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(3):193-200.
- Kang, J.H., KrishnaKumar, S., Atulba, S.L.S., Jeong, B.R., Hwang, S.J., 2013. Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(6); 501-509.
- Kargin, H., Bilgüven, M., 2018. Akuakültürde Akuaponik Sistemler ve Önemi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2):159-173.
- Kasım, R., Kasım, M.U., 2004. Topraksız Yetiştiricilik. *Kocaeli Üniversitesi Yayınları*.
- Kasım, M.U., Kasım, R., 2015. Postharvest UV-B treatments increased fructose content of tomato (*Solanum lycopersicon* L. cv. Tayfun F1) harvested at different ripening stages. *Food Science and Technology (Campinas)*, 35(4):742-749.
- Kasım, R., Kasım M.U., 2017. Işık Yayan Diyot (LED) Teknolojisinin Meyve ve Sebzelelerin Hasat Sonrası Dönemindeki Uygulamaları. *Meyve Bilimi*, Cilt 1 (Özel) s:86-93.
- Keleş, Y., 2015. Antosiyenin Pigmentlerin Biyokimyası ve Analizi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 8 (1): 19-25.
- Kim, H., You, Y., 2013. Effects of red, blue, white, and far-red LED source on growth responses of *Wasabia japonica* seedlings in plant factory. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 31(4):415-422.
- Kitayama, M., Nguyen, D. T. P., Takagaki, M., 2019. Effect of Light Quality on Physiological

- Disorder, Growth, and Secondary Metabolite Content of Water Spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk) Cultivated in a Closed-type Plant Production System. 37(2):207-212.
- Koca, İ., Karadeniz, B., Tural, S., 2006. Antosiyaninlerin antioksidan aktivitesi. Türkiye 9. Gıda Kongresi, Bolu, 24-26 Mayıs, 133.
- Koca, N., Saatli, T.E., Urgan, M., 2018. Gıda Sanayisinde Ultraviyole Işığın Yüzey Uygulamaları. Akademik Gıda 16(1):88-100.
- Kürklü, A., Çağlayan, N., 2005. Sera Otomasyon Sistemlerinin Geliştirilmesine Yönelik Bir Çalışma. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(1), 25-34.
- Laouchez, M., 2016. As arable land disappears, here come the vertical farmers. <https://phys.org/news/2016-10-arable-vertical-farmers.html> (Erişim tarihi: 20.05.2019).
- Lee, J.G., Oh, S.S., Cha, S.H., Jang, Y.A., Kim, S.Y., Um, Y.C., Cheong, S.R., 2010. Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. Protected Horticulture and Plant Factory, 19(4): 351-359.
- Meriç, M.K., Öztekin, G.B., 2008. Topraksız Tarımda Kapilar Sistemler. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 45(2):145-152.
- Nicole, C., 2017. Vertical farming: a revolution in food production enabled by LED lighting. Philips Lighting Research Vertical Farming Conference, Venlo, Hollanda, 28 June.
- Ohi, N., Lassak, K., Watson, R., Strader, J., Du, Y., Yang, C., Kilic, C. 2018. Design of an autonomous precision pollination robot. In 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) pp. 7711-7718.
- Ouzounis, T., Rosenqvist, E., Ottosen, C.O., 2015. Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: a review. HortScience, 50(8):1128-1135.
- Padem, H., Özdamar, H., 2016. Sebze büyüme ve gelişiminde fotoreseptörler. Derim, 19(2):2-8.
- Potts, S.G., Neumann, P., Vaissière, B., Vereecken, N.J., 2018. Robotic bees for crop pollination: Why drones cannot replace biodiversity. Science of the total environment, 642: 665-667.
- Santamaria, P., Elia, A., Serio, F., Todaro, E., 1999. A survey of nitrate and oxalate content in fresh vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79(13):1882-1888.
- Sevgican, A., 1999a. Örtüaltı Sebzeçiliği Cilt I (Topraklı Tarım). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 528, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Sevgican, A., 1999b. Örtüaltı Sebzeçiliği Cilt II (Topraksız Tarım). Ege Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları No: 526, Bornova, İzmir.
- Shoji, K., Goto, E., Hashida, S.N., Goto, F., Yoshihara, T., 2010. Effect of red light and blue light on the anthocyanin accumulation and expression of anthocyanin biosynthesis genes in red-leaf lettuce. Journal of Science and High Technology in Agriculture, 22(2):107-113.
- Tezcan, A., Atılgan, A., Öz, H., 2011. Seralarda Karbondioksit Düzeyi, Karbondioksit Gübrelemesi ve Olası Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 6(1):44-51.
- Usami, T., Mochizuki, N., Kondo, M., Nishimura, M., Nagatani, A., 2004. Cryptochromes and phytochromes synergistically regulate Arabidopsis root greening under blue light. Plant and Cell Physiology, 45(12):1798-1808.
- Van Der Schaft, P., 2018. Pollination drones deen as assistants for ailing bees. <https://www.roboticsbusinessreview.com/agriculture/pollination-drones-assist-ailing-bees/> (Erişim tarihi: 18.05.2020).