

Farklı düzeylerdeki ışık şiddetlerinin besleyici film tekniği ile yetiştirilen marul verimine etkisi

Cafer GENÇOĞLAN^{1*}  Serpil GENÇOĞLAN¹ 

Geliş Tarihi: 16.09.2025 / Kabul Tarihi: 26.10.2025

Öz: Bu çalışmanın amacı, farklı düzeylerdeki ışık şiddetlerinin (PPFD, fotosentetik foton akı yoğunluğu) değerlerinin Besin Filmi Tekniği kullanılarak (Nutrient Film Technique, NFT) yetiştirilen 'Maritima' marul çeşidinin baş verimine etkisini belirlemektir. NFT sistemi, aydınlık olmaya atölye ortamında yürütülmüştür. Sistemin sehpa, Ø5*5'lik demir profil kullanılarak yapılmıştır. NFT yetiştirme kanalları olarak 75 mm çapında ve 300 cm uzunluğunda 3 adet PVC boru kullanılmıştır. Sehpa üzerindeki en alt boruya 1. boru, bir ortadakine 2. boru ve en üstündeki ise 3. boru olarak adlandırılmıştır. Her bir boru üzerine çapı 5 cm olan 14 delik 20 cm aralıklarla açılmıştır. Şaşırtma aşamasına gelmiş 42 marul fidesi, bu saksı sepetlere 22.03.2025 tarihinde yerleştirilmiş ve 20.05.2025 tarihinde ise marullar hasat edilmiştir. Otomasyon sistemi, marul beslemesinde tüm kontrol işlemlerini gerçekleştirmiştir. Üçüncü borunun 30 cm yukarısına 300 watt'lık 3 adet beyaz LED yerleştirilmiştir. Birinci, 2. ve 3. borudaki bitki yüzeylerinde ölçülen PPFD değerleri sırasıyla 160, 260 ve 320 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'dir. Deneme konuları 1. boru için FD160, 2. boru için FD260 ve 3. boru için FD320 olarak belirlenmiştir. Birinci, 2. ve 3. konularda yetişen bitkilerin ortalama boyu 21.25 \pm 1.19, 23.88 \pm 1.81 ve 25.75 \pm 2.55, baş ağırlıkları ise sırasıyla 155.41 \pm 66.73, 333.10 \pm 41.69 ve 561.75 \pm 95.84 g olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak aydınlatma randımanı yüksek olan LED'den elde edilen PPFD değerleri 160'dan 320 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'ye kadar arttıkça marulun boyu ve ağırlığı ile baş ve kök ağırlıkları da artmıştır. Bu sonuçlara göre artan ışık şiddeti fotosentezi arttırmakta, fotosentezin artmasıyla marulun verim ve verim unsurları da artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Marul, su kültürü, PAR, NFT, PLC, PPFD

Effect of different light intensities on lettuce yield grown with nutrient film technique

Abstract: The aim of this study was to determine the effects of different light intensities (PPFD, photosynthetic photon flux density) on head yield of the 'Maritima' lettuce variety grown using the Nutrient Film Technique (NFT). The NFT system was implemented in a well-lit workshop environment. The system stand was constructed using a Ø5x5 steel profile. Three PVC pipes, each 75 mm in diameter and 300 cm long, were used as NFT growing channels. The bottom pipe on the stand was designated pipe 1, the middle pipe was designated pipe 2, and the top pipe was designated pipe 3. Fourteen holes, each 5 cm in diameter, were drilled on each pipe, spaced 20 cm apart. Forty-two lettuce seedlings that had reached the transplanting stage were placed in these potted baskets on 22.3.2025, and the lettuces were harvested on 20.4.2025. The automation system performed all control operations during lettuce feeding. 3 white LEDs of 300 watts were placed 30 cm above the third tube. PPFD values measured on plant surfaces in the first, 2nd and 3rd tubes were 160, 260 and 320 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively. The experimental subjects were determined as FD160 for tube 1, FD260 for tube 2 and FD320 for tube 3. The average heights of plants grown in the first, 2nd and 3rd subjects were 21.25 \pm 1.19, 23.88 \pm 1.81 and 25.75 \pm 2.55, and head weights were determined as 155.41 \pm 66.73, 333.10 \pm 41.69 and 561.75 \pm 95.84 g, respectively. As a result, as PPFD values obtained from high-efficiency LEDs increased from 160 to 320 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, lettuce length and weight, as well as head and root weights, also increased. These results indicate that increasing light intensity increases photosynthesis, and with increased photosynthesis, lettuce yield and yield components also increase.

Keywords: Lettuce, hydroponic, PAR, NFT, PLC, PPFD¹

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, Kahramanmaraş/Türkiye

*Sorumlu yazar: gencoglan@ksu.edu.tr

Cite/Atf:

Gençoğlan C, Gençoğlan, S. (2025). Farklı Düzeylerdeki Işık Şiddetlerinin Besleyici Film Tekniği ile Yetiştirilen Marul Verimine Etkisi. *AgriTR Science*, 2025, 7(2): 13-23.

Copyright © 2024 by AgriTR Science.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.



Giriş

Fotosentetik Aktif Radyasyon (PAR), bitkilerin fotosentez için kullandığı 400 ile 700 nanometre (nm) arasındaki görünür ışık spektrumu içinde yer almaktadır (MacCree, 1972). Bu dalga boyu aralığı, bitkilerin ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürdüğü fotosentez sürecinde kritik bir rol oynar. Bu nedenle, ışık kalitesi, yoğunluğu ve fotoperiyodu gibi faktörler, bitki büyümesi, gelişmesi, verimi ve kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Legendre ve Van Iersel, 2021).

Çağdaş tarımda, bitkilerin fotosentez aktivitesini ve verimliliğini arttırmak için doğal güneş ışığına ek olarak genellikle yapay ışık kaynakları kullanılmaktadır (Massa vd., 2008). Floresan, metal halojen ve yüksek basınçlı sodyum buharlı lambaların yaydığı ışığın dalga boyu 350-750 nm arasında değişmektedir. Ancak yukarıda verilen geleneksel ışık kaynakları, enerjiyi verimli kullanma konusunda yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, aydınlatma işlemi sırasında fotosentez ve fotomorfogeneze özgü spektral kalite kontrol edilememektedir. Geleneksel ışık kaynaklarındaki bu tür olumsuzluklar, yapay ışık kaynağı olarak LED'lerin, kontrollü tarımda kullanılmasını hızlandırmıştır (Dutta Gupta ve Agarwal, 2017). Bu yapay ışık kaynakları (ışık yayan diyot, LED), bitki gelişimini ve üretimini iyileştirdiği için ekonomik olarak uygun bir seçenek sunulmaktadır. LED, UV-C'den (250 nm) kızılötesine (1.000 nm) kadar geniş dalga boyu aralığında ışık yayan benzersiz bir yarı iletken diyot türüdür (Bourget, 2008). Ayrıca, LED'ler diğer ışık kaynaklarıyla karşılaştırıldığında ucuz olması, enerji tasarrufu sağlaması, fonksiyonel olması, kırılma olmaması, az miktarda ısı yayması, zararlı olmaması ve dijital kontrol sistemlerine entegre olması gibi bazı avantajlara sahiptir (Olle ve Viršile, 2013). LED'ler, bu üstün özelliklerinden dolayı topraksız tarımda kullanılmaktadır.

Topraksız tarım, toprak kullanılmadan bitkilerin gereksinim duydukları organik ya da inorganik besin maddelerini yetiştirme ortamına verilerek yapılan üretim şeklidir. Topraksız tarımın alt dalı olan hidroponik ise, mühendislik ürünü bir yetiştirme sistemi olarak algılanmaktadır. Bu sistemde bitkiler, topraksız yetiştirme ortamını ve besin çözeltilerini kullanmaktadırlar. Ayrıca bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için gerekli besin çözeltileri en uygun şekilde verilmektedirler (Savvas, 2003). Yapay olmasına rağmen, doğanın aynı yaşam ilkelerini oluşturduğundan dolayı doğal üretim yöntemi olarak kabul edilmektedir (Texier, 2017).

Türkiye'de artan nüfus ve dünyada gelişen hazır yemek sektörü, sebzelere olan ihtiyacı giderek arttırmakta (Gonnella vd., 2002; Sala ve Costa, 2012; Silva vd., 2013) ve büyük bir pazar oluşturmaktadır. Kıvırcık marul (*Lactuca sativa* var. *crispa*), görsel çekiciliği, lezzeti ve yüksek pazarlama değeri nedeniyle dünya genelinde önemli bir yeşil yapraklı sebzedir. Ülkemizde yetiştirilen kıvırcık, göbekli ve aysberk marul üretim miktarı 263.829, 225.542 ve 113.477 ton ve toplamı ise 602.848 tondur (TUİK, 2024).

Topraklı üretim sistemlerinde uygun olmayan drenaj koşulları, düşük randımanlı sulamalar (aşırı su kullanımı), aşırı gübre uygulaması, toprak erozyonu, sel baskınları ve tuz birikimi gibi istenmeyen etmenlerin toprak verimliliğini azaltmaktadır. Bu tür olumsuz koşullar, bitkisel üretimi düşürmektedir. Çiftçiler, geleneksel tarım sistemlerinde verimliliği artırmak için pestisitleri ve diğer tarımsal kimyasalları gereğinden fazla kullanmaktadırlar. Bunun sonucu olarak, toprağın fiziksel-kimyasal özellikleri bozulabilmekte, hastalık-zararlı yayılımı ve genel kanser vakaları artmaktadır (Dar vd., 2013; Wani vd., 2014).

Su kültüründe yetiştirilen marulun verimi, farklı yollarla ifade edilmiştir. Bu nedenle marulun verim sonuçlarını karşılaştırmak zordur. Su kültürü yetiştiriciliğinde 41 kg/m²/yıl marul üretildiğini belirlenmiştir (Barbosa vd., 2015). Besin Film Tekniği (NFT), derin su kültürü (deep water culture, DWC) ve topraklı tarımda yetiştirilen düz yapraklı marulun (*Lactuca sativa* L., var. *Longifolia*) veriminin sırasıyla 1.434, 1.636 ve 1.160 g/bitki olduğu tespit edilmiştir. Okudur (2018), serada durgun (derin) su kültürü (DWC)'nde Hoagland besin çözeltilisini baz alarak bitki besin elementlerinin tamamını bir, iki ve üç defada uygulayarak elde edilen kırmızı kıvırcık marul (*Carmesi*) verimi, sırasıyla 2.4 kgm⁻², 2.8 kgm⁻² ve 2.5 kgm⁻² olarak belirlemiştir. Oymak (2018), NFT sisteminde yetiştirilen marula (*Lactuca Sativa* var. *Crispa*) farklı dozlarda uygulanan mikro elementlerin kuru madde ve toplam klorofil miktarını arttırdığını ve uygulanan dozların baş ağırlığı azalttığını bildirmiştir. Thomas vd. (2021) kokopit tabanlı hidroponik ve NFT yetiştirmek tekniklerini kullanarak marul verimlerini

karşılaştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda NFT sisteminde 260.66 g/bitki ile en yüksek marul verimi elde edilmiştir.

Işık şiddetinin marul verimine etkisi ile ilgili elde edilebilen çalışmalar aşağıda verilmiştir. Zha vd. (2019), marula 12 gün süreyle düşük ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), orta ($200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) ve yüksek ($300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) olmak üzere 3 farklı ışık şiddeti (PPFD) uygulamışlardır. Marul bioması, en fazla yüksek PPFD değerinde artış göstermiştir. Zhou ve Wang (2022) 10, 23 ve 30 °C'lik sıcaklıkların ve 100, 200, 350, 500 ve 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD değerlerinin marul verimine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada en yüksek marul verimi, 23 °C'de yetiştirildiği koşullarda alınmıştır. Diğer yandan en yüksek verimi, 15 °C'lik ortam sıcaklığında PPFD'nin 350 ve 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ konularından; sıcaklığın 23 °C olduğunda ise 350, 500 ve 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ konularından; sıcaklığın 30 °C olduğunda ise 500 ve 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ olduğu konularından elde edilmiştir. Sonuç olarak düşük sıcaklıkta düşük ışık yoğunluğu ve yüksek sıcaklık yüksek ışık yoğunluğu önerilmiştir. Goins vd. (2001), farklı kırmızı 660, 670, 680 ve 690 nm LED ışık dalga boylarının marul büyümesi ve fotosentez üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Sonuçlar, kırmızı LED'in yaydığı ışığın dalga boyu 660 nm'den 690 nm'ye çıktığında biyokütle veriminin arttığını göstermiştir. Fu vd. (2012), 5 farklı ışık şiddetinin (PPFD: 100, 200, 400, 600 ve 800 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) marul verimine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, 100 ve 800 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ uygulamalarında düşük bitki verimi elde edildiğini; 200, 400 ve 600 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ uygulamalarında ise bitki veriminde önemli bir farklılığın olmadığını belirlemişlerdir. Kang vd. (2013), ışık yayan diyotlardan (LED'ler) sağlanan 200, 230, 260 ve 290 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD ile 18/6 (1 döngü), 9/3 (2 döngü) veya 6/2 (3 döngü) (aydınlık/karanlık) olmak üzere üç farklı fotoperiyodun bir kombinasyonunun marul verimine etkisini belirlemek için bir çalışma yürütmüşlerdir. En yüksek bitki boyu (15.35 cm) ve baş ağırlığı (81.91 g), ışık yoğunluğu-fotoperiyodu 290-9/3 olan kombinasyonda belirlenmiştir. Kelly vd. (2020) 120, 150, 180, 144, 270 ve 216 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD değerleri ile 16, 20 ve 24 saatlik aydınlatma sürelerinin kombinasyonları yeşil ve kırmızı marulun verimine etkisini denemişlerdir. DLI'nin artırılması, PPFD ve fotoperiyot kombinasyonundan bağımsız olarak her iki çeşidin de sürgün taze ve kuru kütlelerini, yaprak genişliğini ve sayısını ve klorofil konsantrasyonunu arttırmıştır. Ayrıca, günlük ışık toplamının (DLI) artırılması, kırmızı yapraklı 'Rouxai' çeşidinin kırmızı pigmentasyonunu arttırmıştır. Ayrıca, 15.6 $\text{mol m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ DLI'de, daha düşük bir PPFD ve daha uzun bir fotoperiyot altında yetiştirilen marul, daha yüksek bir PPFD ve daha kısa bir fotoperiyot altında yetiştirilen maruldan daha fazla taze ve kuru kütleyle sahiptir. Ancak 10.4 $\text{mol m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ DLI'de yukarıda verilen sonuç çıkmamıştır. Işık şiddetinin marul verimine etkisi konusunda daha kararlı sonuçlara ulaşmak için daha fazla araştırma yapma ihtiyacı olduğu sonucuna varılmıştır. Yukarıda verilen çalışmalardan ışık dalga boyunun, ışık şiddetinin ve günlük toplam ışığın marul verimine önemli etkisinin olduğu belirlenmiştir. Türkiye'de de bazı temel parametrelerin bitki yetiştiriciliği konusundaki etkileri konusunda bilgi birikimi ve deneyimler kazanmak için yeni çalışmalar yapılmalıdır. Aşağıdaki çalışma bu nedenle yürütülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, farklı düzeylerdeki ışık şiddetlerinin NFT kullanılarak yetiştirilen 'Maritima' marul çeşidinin baş verimine etkisini belirlemektir.

Materyal ve Metot

Deneme yeri ve iklim özellikleri

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü Atölye koşullarında yürütülmüştür.

Çalışma yerinin denizden yüksekliği, 600 m'dir. Araştırmanın yürütüldüğü Kahramanmaraş ili, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Kahramanmaraş ilinde, yükseltinin 1000 metreye kadar olan kesimlerinde Akdeniz iklimi etkilidir. Yükseltisi 1000 metreyi aşan kısımlarında, kışları soğuk ve kar yağışlı, yazları nispeten serin bir Akdeniz dağ ikliminin etkileri hissedilir (Gençoğlan ve Gençoğlan, 2018).

Marulun kültürel istekleri

Çalışmada besin ihtiyacı az, tüketimi fazla ve hidroponik sistemlerde üretimi kolay olan Maritima (*Lactuca sativa* var. *crispa*) marul çeşidi kullanılmıştır. Satın alınan maritima marul tohumları, viyollerde çimlendirilmiş ve kapalı aydınlık bir ortamda (oda koşullarında) 4-5 yapraklı oluncaya kadar burada yetiştirilmiştir. Gelişimini tamamlayan marul fideleri NFT sisteme nakledilmişlerdir. Maritima marul çeşidi, geç sapa kalkan, orta yeşil yapraklı kıvrıkcık tip marul çeşididir. Ilıman sahil bölgelerde sonbahar, kış, ilkbahar ve erken yaz; serin karasal bölgelerde ise sonbahar, ilkbahar ve yaz yetiştiriciliğine uygundur. Olgunluk süresi yetiştirme dönemi ve iklim koşullarına bağlı olarak ortalama; sıcak dönemlerde 45–50, soğuk dönemlerde 65–80 gündür. Baş yapısı homojen, yaprakları kalın, sulu ve gevrek. Bitki yüksek yaprak sayısı ile hacimlidir. Mükemmel baş ve yaprak şekline sahiptir. Yaprak kırılabilirliği düşük, raf ömrü uzun ve albenisi yüksek bir çeşittir. Ortalama baş ağırlığı uygun iklim ve yetiştirme koşullarında 0.850–1.200 gramdır. Marul mildiyösüne, yaprak bitine ve mozaik virüsüne dayanıklıdır. Baş büyümesi için, gece hava sıcaklığı 3–12 °C, gündüz sıcaklığı 17–28 °C olmalıdır. Yüksek su sıcaklıklarında (>26 °C) tadı acılaştırabilir. Bitki düşük besin ihtiyacına sahiptir; bununla birlikte, sudaki yüksek kalsiyum konsantrasyonları, yaz bitkilerinde yaprakta yanık oluşumunu önlemeye yardımcı olur (Aydın, 2018). Marul, hafif asitliliği (pH=6-6.5) tercih eder, ancak pH yaklaşık 7.6'ya kadar iyi performans gösterir (Ware, 1980).

NFT sistemi

NFT sistemi, sehpa ve borulardan oluşan, borular içinden çözelti akan ve bitkilerin borular üzerindeki deliklerde yetiştirildiği dikey bir sistemdir (Şekil 1). NFT sisteminin sehpa, 1 mm'lik saç levha, 5*5 boyutunda bükülerek yapılmıştır. Sehpanın, kısa kenardaki ayaklar arası genişlik ayarlanabilmekte, uzun kenardaki ayaklar arası mesafe ise 180 cm ve yüksekliği ise 150 cm'dir (Şekil 1). NFT yetiştirme kanalları olarak 75 mm çapında (Ø75) ve 280 cm uzunluğunda 3 adet PVC boru kullanılmıştır. Bu NFT sisteminde 3 PVC borudan en altta olan boruya 1. boru, ortadakine 2. boru ve en üsttekine ise 3. boru olarak adlandırılmıştır. Her bir boru üzerine çapı 5 cm olan 14 delik 20 cm aralıklarla açılmıştır. Açılan deliklere, siyah delikli saksı sepet yerleştirilmiştir. Bu üç borunun sonuna birer adet kör tapa eklenmiştir. Bu kör tapaların kenara yakın bir yerinden ½ 'lik delikler açılmıştır. Bu kör tapaları döndürerek boru içindeki su seviyesi delikli sepetlerin içinde yaklaşık 4-5 mm yükselecek şekilde ayarlanmıştır. Borulara besin çözelti girişi-çıkışı akısı, ½" 'lik PPRC borularla sağlanmıştır. İkinci ve üçüncü borunun besin çözeltisi giriş debisi, PPRC borular üzerine yerleştirilen vanalar ile 1.887 L dak⁻¹'ya ayarlanmıştır (Jones, 2005; MEGEP, 2008; Kaiser ve Ernst, 2012). Bu iki borudan çıkan besin çözelti akısı, PPRC boru ile 1. boruya giriş yapılmıştır. Birinci borudan çıkan besin çözeltisi, PPRC boru ile besin çözelti kabına tekrar döndürülmüştür. Dalgıç pompa, NFT sistemine besin çözeltisi pompalamıştır. Pompanın debisi, 7.5 L dak⁻¹, basma yüksekliği 90 cm, gücü 6 watt ve çalışma voltajı 220 VAC'dir. NFT sisteminin tüm elemanları, otomasyon sistemi tarafından kontrol edilmiştir. Bu otomasyon sisteminde kontrolör olarak programlanabilir lojik kontrol (PLC) kullanılmıştır.



Şekil 1. NFT sistemi

Yapay Işıklandırma

Yapay ışıklandırmada 3 adet 300 watt'lık ışık yayan diyot (LED) kullanılmıştır. Bu LED'in çalışma gerilimi 220-240 VAC, ışık rengi 6500K beyaz, ışık akısı 24000 lm, çip türü SMD ve gücü 300 watttır (Şekil 2).



Şekil 2. Suni ışıklandırma projektörleri

Anılan LED'in dalga boyu 400-740 nm arasında değişmektedir (Sebitosi ve Pillay, 2007; Borowski vd., 2015). LED'lerin yaydığı ışık şiddetinin (PPFD) marul verimin etkisine belirlemek için NFT sistemindeki 3. borunun 20 cm üstüne beyaz 3 adet beyaz led projektörler yerleştirilmiştir (Kang vd., 2013). Yapay aydınlatma günlük 11 saat uygulanmıştır (Nicole, vd., 2016). Bu amaçla projektörler sabah saat 7:00'de açılmış ve akşam saat 18:00'da kapatılmıştır.

Bitki besin çözeltilerinin hazırlanması

Marul bitkisinin stok besin çözeltisini hazırlamak için makro ve mikro besin element konsantrasyonları Çizelge 1 (Jones, 2005)'den ve kimyasal gübre formülleri ise Çizelge 2'den alınmıştır.

Çizelge 1. Makro ve mikro besin element konsantrasyonları (Jones, 2005).

Elements	İyon Formu	Konsantrasyon
Makro Besin Elementleri		mg/L, ppm
Nitrogen (N)	NO ₃ , NH ₄	100-200
Phosphorus (P)	HPO ₄ , H ₂ PO ₄	30-15
Potassium (K)	K ⁺	100-200
Calcium (Ca)	Ca ⁺²	200-300
Magnesium (Mg)	Mg ⁺²	30-80
Sulfur (S)	SO ₄ ⁻²	70-150
Mikro Besin elementleri		
Boron (B)	BO ₃ ⁻³	0.03
Copper (Cu)	Cu ⁺²	0.01-0.10
Iron (Fe)	Fe ⁺² , Fe ⁺³	2-12
Manganese (Mn)	Mn ⁺²	0.5-2.0
Molybdenum (Mo)	MoO ₄ ⁻¹	0.05
Zinc (Zn)	Zn ⁺²	0.05-0.50

Besin çözeltisini hazırlamak için Pinto (2022) tarafından geliştirilen, HydroBuddy programı kullanılmıştır. HydroBuddy programına, reçete değerlerinin ortalaması ve Çizelge 2'de verilen kimyasal gübre formülleri anılan programdan seçilmiştir. HydroBuddy programı, girilen reçete ve gübre formüllerine göre 10 litrelik stokA ve stokB için kimyasal gübrenin ağırlıklarını hesaplamıştır (Çizelge 2). Çizelge 2'de, kimyasal gübrelerin adlarının başında verilen A, stokA'yı ve B ise stokB'yi temsil etmektedir. StokA ve stokB gübreleri ayrı ayrı hassas terazide tartılmış ve 10 litrelik bir kaba konulmuş ve daha sonra da su eklenerek 10 litreye tamamlanmıştır. Böylece 10'ar litrelik stokA ve stokB gübresi hazırlanmıştır.

Çizelge 2. Stok çözelti hazırlamada kullanılacak gübrelere, asit ve bazların adları ve kimyasal formülleri ile ağırlıkları

Gübrenin adı	Gübrenin Formülü	Ağırlık (gr)
A-Kalsiyum nitrat	Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	2637.5
A-Potasyum nitrat	KNO ₃	448.66
A-Demir şelatı	Fe(EDTA)	107.7
B-Potasyum fosfat	KH ₂ PO ₄	34678
B-Magnezyum sülfat	MgSO ₄ •7H ₂ O	1115.6
B-Mangan sülfat	MnSO ₄ H ₂ O	7.7
B-Borik asit	H ₃ BO ₃	0.343
B-Bakır sülfat	CuSO ₄ •5H ₂ O	0.432
B-Çinko sülfat	ZnSO ₄ •2H ₂ O	1.66
B-Amonyum molibdat	(NH ₄) ₂ MoO ₄ •	0.204
Asit		
Nitrik Asit (Kezzap)	HNO ₃	
Baz		
Potasyum Hidroksit(Kostik)	KOH	

Besin çözeltisi asit ve baz takibi

Besin çözeltisinin EC ve pH'ı, EC ve pH metre ile sabah saat 9'da ölçülerek günlük, yetiştirme mevsimi boyunca takip edilmiştir. Yetiştirme mevsimi boyunca marulun besin maddelerini kullanma durumuna göre çözeltinin EC'si ve pH'ı sürekli değişmektedir (Domingues vd., 2012). Marulun yetiştirme mevsimi boyunca besin çözeltisinin ideal EC (sıcak iklim koşullarında) değeri 0.8-1.6 mS/cm arasında tutulmaya çalışılmıştır (Junior vd., 2007; Cometti vd., 2013). Besin çözeltisinin EC değeri, eşik değerinin altına (0.8 mS/cm > EC) düştüğünde, eşit miktarda, azar azar stokA ve stokB ekleyerek besin çözeltisi EC değeri eşik değerinin üstüne (0.8 mS/cm < EC) çıkarılmıştır. EC değeri, eşik değerinin (1.6 mS/cm > EC) üstüne çıktığında, eşit miktarda, azar azar su ekleyerek besin çözeltisi EC değeri eşik değerinin altına (1.6 mS/cm < EC) indirilmiştir.

Marul bitkisi besin çözeltisinin optimum pH aralığı 5.5-6.5'dir. Bitkiler bu pH aralığında, sayı olarak en fazla bitki besin elementlerini alırlar (Taiz ve Zeiger, 2002). Besin çözeltisinin pH'ı 6.5'in üstüne çıktığında azar azar nitrik asit (HNO₃) ekleyerek eşik değerinin altına indirilmiştir. Ancak çözeltinin pH'ının 5.5 altına düşmediği gözlenmiştir. pH'ının 5.5 altına düştüğünde ise baz (KOH) eklenecektir.

Sıcaklık ve nem değerleri

Marul bitkisinin büyümesinde ve gelişmesinde önemli çevre parametrelerinden olan sıcaklık ve oransal nem değerleri ölçülmüştür. Ölçümde birer adet sıcaklık ve oransal nem sensörü kullanılmıştır. İkinci boru hizasına yerleştirilen sensörlerden saatlik ölçüm değerleri alınmış ve kaydedilmiştir.

Deneme konuları

Işık kaynağında uzaklaştıkça ters kare kuramına göre ışık şiddeti azalmaktadır (Voudoukis ve Oikonomidis, 2017; Fu vd. 2012). Bu kurama göre 1., 2. ve 3. boruda yetiştirilen marul bitki yüzeylerine düşen PPF azalmaktadır. PPF ölçümünde, kuantum sensörü ve taşınabilir ışık ölçer (ULM-500 WALZ, Germany) kullanılmıştır. Ölçümler 25.03.2025, 24.04.2025 ve 12.05.2025 tarihlerinde 1., 2., ve 3. borularda yetişen marul bitkilerin hemen üstünden alınmıştır. Birinci, 2., ve 3. borularda yetişen marul bitkilerin hemen üst yüzeylerinden ölçülen ortalama PPF değerleri sırasıyla 160, 260 ve 320 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Işık kaynağı sabit olduğu için PPF değeri, yetiştirme mevsimi boyunca değişmemiştir. Çalışmada, bu 3 farklı PPF değerlerine göre deneme konuları 1. boru FD160, 2. boru FD260 ve 3. boru FD320 olarak adlandırılmıştır. Kenar etkisi atıldıktan sonra, deneme konularındaki her bitki bir tekerrür olarak alınmıştır. Deneme, Hanks vd. (1980) tarafından belirtilen esaslara göz

önünde bulundurulmuşdur. Söz konusu sistemin temel özelliği ışık şiddetinin, 1. 2. ve 3. borular boyunca uniform olması ve 3. borudan 1. Boruya doğru gidildikçe ışık şiddetinin azalmasıdır.

Hasat

Şaşırtma aşamasına gelmiş 42 ‘Maritima’ marul fidesi (3-5 yapraklı), borulardaki siyah delikli saksı sepetlere 22.03.2025 yerleştirilmiştir. Her üç boruda da 14 adet marul vardır. Marullar Hoagland çözeltisi ile 59 gün süreyle beslendikten sonra 20.05.2025 tarihinde hasat edilmiştir. Hasat edilen marulların toplam ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır. Tartılın marulların kökleri başından kesilerek ayrılmıştır. Kökünden ayrılan marulların boyları, tezgah üzerine yerleştirilen bir metre aracılığı ile ölçülmüştür. Sonra da marulların kök ve baş ağırlıkları tartılmıştır.

İstatistiksel değerlendirme

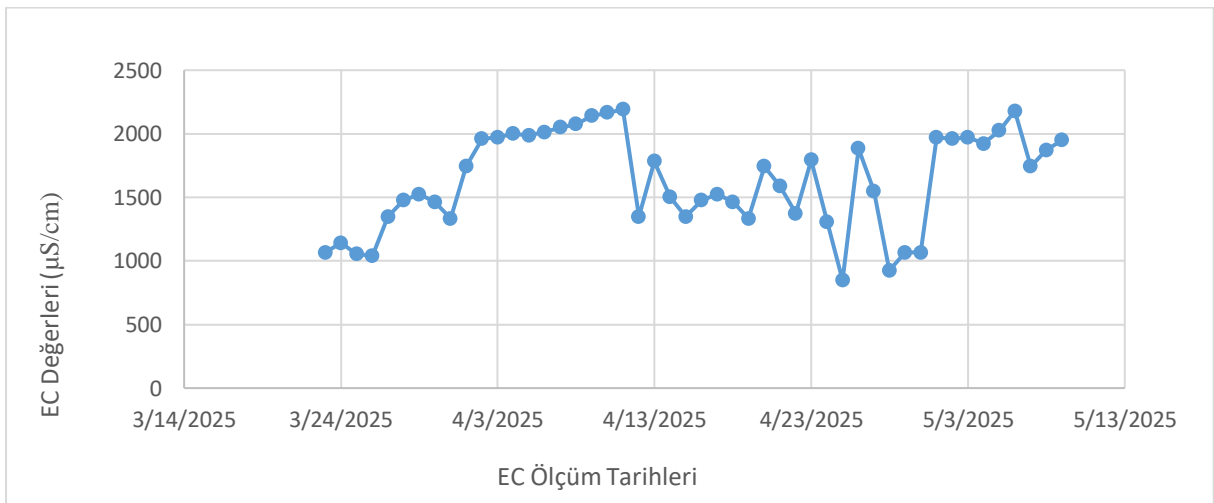
Birinci, 2. ve 3. borularda 14 adet marul bitkisi vardır. Kenar etkisini kaldırmak amacıyla her 3 borunun başından ve sonundan 3 bitki atılmıştır. Verim ve verim unsurları, her bir boruda geri kalan 8 marul bitkisi üzerinden değerlendirilmiştir. Farklı ışık şiddetinin (PPFD), marul verim ve verim unsurlarına olan etkisi Hanks vd. (1980) tarafından önerilen modele göre yapılmıştır. Bu model ANOVA testinde uygulanmıştır. Deneme konularının gruplandırılmasında ise Duncan testi kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Işık şiddetinin bitki boyu, bitki ağırlığı, baş ağırlığı ve kök ağırlığı ile ilgili sonuçlar bu bölümde verilmiştir. Marul bitkisinin beslendiği çözeltilerin EC ve pH ile yetiştirildiği ortamın sıcaklık ve oransal nem değerleri aşağıda verilmiştir.

EC Ölçümleri

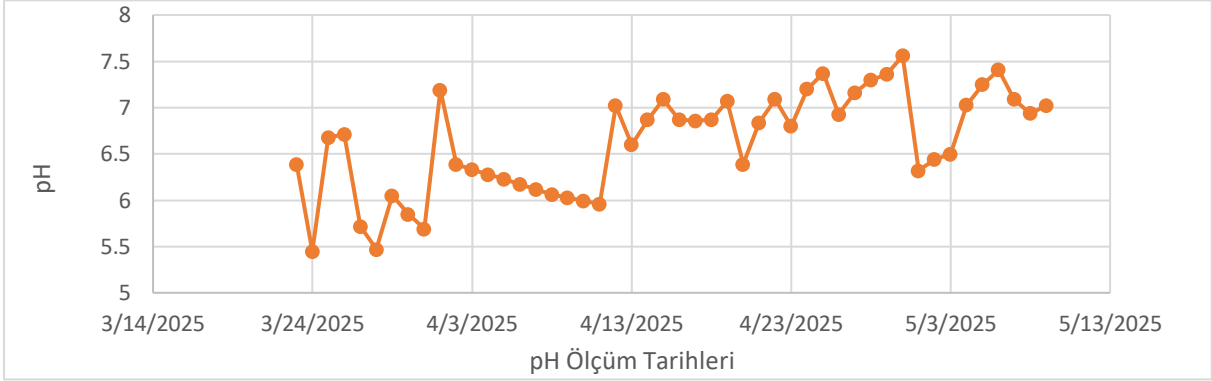
Çalışmada, 22.03.2025 tarihinden 9.05.2025 tarihine kadar ölçülen EC değerleri Şekil 3’te verilmiştir. EC değerleri, marulun yetiştirme sezonu boyunca yaklaşık 1000-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerleri arasında değişmiştir. Ölçülen en düşük, ortalama ve en yüksek EC değerleri sırasıyla 848 1630 ve 2191 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak belirlenmiştir. EC değerleri, Junior vd., (2007) ve Cometti vd., (2013) tarafından önerilen 800-1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ EC değerlerinin bazı zamanlarda üzerine çıkmış ve bazı zamanlarda da altına düşmüştür.



Şekil 3. EC değerlerinin yetiştirme mevsimi içindeki değişimi

pH ölçümleri

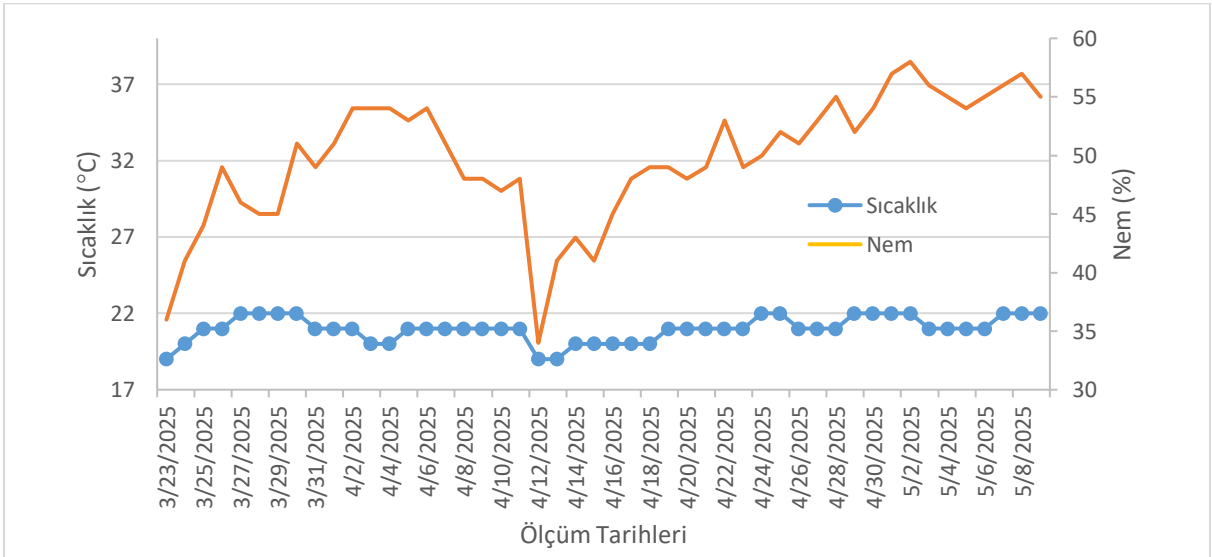
Çalışmada, 22.03.2025 tarihinden 9.05.2025 tarihine kadar ölçülen pH değerleri Şekil 4’de verilmiştir. pH değerleri, marulun yetiştirme sezonu boyunca 5.5-7.5 değerleri arasında değişmiştir. Ölçülen en düşük, ortalama ve en yüksek pH değerleri sırasıyla 6.63, 5.45 ve 7.56 olarak belirlenmiştir. pH değerleri, Taiz ve Zeiger, (2002) tarafından önerilen 5.5-6.5 pH değerlerinin bazı zamanlarda üzerine çıkmış ve bazı zamanlarda da altına düşmüştür.



Şekil 4. pH değerlerinin yetiştirme mevsimi içindeki değişimi

Sıcaklık nem ölçümleri

Çevre etmenlerinden sıcaklık ve nem değerleri bitki gelişimine etkisi yüksek olduğundan ölçülen sıcaklık ve nem değerleri Şekil 5’te verilmiştir. Sıcaklık değerleri 17-22 °C ve nem %35-60 değerleri arasında değişmiştir. Sıcaklık ve oransal nem değerleri Aydın, (2018) tarafından önerilen sınırlar içerisinde yer almaktadır. Sıcaklık ve oransal nem marul bitkisi gelişimi için sınırlayıcı bir etmen değildir.



Şekil 5. Sıcaklık ve nem değerlerinin yetiştirme mevsimi içindeki değişimi

Verim unsurlarının değerlendirilmesi

NFT sisteminde hasat edilen marulun bitki boyu, bitki ağırlığı, baş ağırlığı ve kök ağırlığı Çizelge 3’de verilmiştir. Bu çalışmada, üç farklı ışık şiddetinin (1-FD160=160 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 2- FD260=160 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ve 3- FD320=320 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ‘lik PPF değerlerinin) marul bitkisinin dört temel gelişim parametresi üzerindeki etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İki yönlü ANOVA ve Duncan testi

sonuçları, ışık şiddetinin tüm parametreler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğunu ortaya koymuştur.

İki yönlü ANOVA sonuçları, ışık şiddetinin bitki boyu üzerinde istatistiksel olarak çok anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 3). Duncan testi sonuçlarına göre, tüm boru grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur. PD320 konusundaki marul bitkileri $25.75^a \pm 2.55$ cm ile en yüksek boy değerine ulaşırken, bunu $23.88^b \pm 1.81$ cm ile PD260 konusu ve $21.25^c \pm 1.17$ cm ile PD160 konusu izlemiştir. Bu bulgular, $320 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ 'lik PPFd değerlerinin bitki boyu üzerinde en olumlu etkiye sahip olduğunu, bitkilerin vegetatif gelişimini önemli ölçüde teşvik ettiğini göstermektedir.

Çizelge 3. Marul bitkisinde belirlenen bazı verim parametreleri

Konular ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Bitki Boy (cm)	Bitki Ağırlığı (gr)	Baş Ağırlığı (gr)	Kök Ağırlığı (gr)
1-PD160=160	$21.25^c \pm 1.17$	$177.72^c \pm 74.69$	$155.41^c \pm 66.73$	$22.30^c \pm 4.80$
2-PD260=260	$23.88^b \pm 1.81$	$365.09^b \pm 37.04$	$333.10^b \pm 41.69$	$31.99^b \pm 5.13$
3-PD320=320	$25.75^a \pm 2.55$	$606.75^a \pm 100.13$	$561.75^a \pm 95.84$	$45.00^a \pm 6.00$

PPFD değerlerinin tüm bitki ağırlığı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak çok anlamlı bulunmuştur ($p < 0.001$). Duncan gruplandırması, her üç boru tipi arasında anlamlı farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. PD320 konusunda yetiştirilen marul bitkileri $606.75^a \pm 100.13$ g ile en yüksek bitki ağırlığına sahip olurken; PD260, $365.09^b \pm 37.04$ g ve PD160 $177.72^c \pm 74.69$ g değerleri ile takip etmiştir. PPFd'nin bitki ağırlığı üzerindeki bu belirgin pozitif etkisi, bu sistemin bitki biyokütle birikimini önemli ölçüde artırdığını düşündürmektedir.

Işık şiddetinin marul baş ağırlığına etkisinde istatistiksel olarak çok anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0.001$). Duncan testi sonuçları, tüm gruplar arasında anlamlı farklılık olduğunu göstermiştir. PD320 konusundaki marul baş ağırlığı ($561.75^a \pm 95.84$ g) en yüksek değere ulaşırken, PD260 ($333.10^b \pm 41.69$ g) ve PD160 konularındaki ($155.41^c \pm 66.73$ g) baş ağırlıkları sırasıyla bu değeri izlemişlerdir. Bu bulgular, ışık şiddetinin bitkilerin ekonomik kısmı olan baş ağırlığı üzerinde de en olumlu etkiye sahip olduğunu ve verim potansiyelini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır.

Kök ağırlığı analiz sonuçları, ışık şiddetinin bu parametre üzerinde de istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir ($p < 0.001$). Duncan testi sonuçlarına göre, PD320 konusu, $45.00^a \pm 6.00$ g ile en yüksek kök ağırlığı değerine sahip olurken, bu konuyu PD260 ($31.99^b \pm 5.13$ g) ve PD160 ($22.30^c \pm 4.80$ g) konuları izlemiştir. Bu durum $320 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $260 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ve $160 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'lik ışık şiddetleri kök gelişimine önemli etkisinin olduğunu göstermektedir.

Tüm parametreler dikkate alındığında, PD320 ışık şiddetinin bitki boyu, bitki ağırlığı, baş ağırlığı ve kök ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak en olumlu etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. PD260 orta düzeyde bir performans sergilerken, PD160 tüm parametrelerde en düşük değerlere sahip olmuştur. Zha vd. (2019), marula düşük ($100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), orta ($200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ve yüksek ($300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ışık şiddeti uygulamışlardır. Bunun sonucunda marul biyomasının en fazla artışı, yüksek ışık şiddetinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Benzer sonuçları, Goins vd. (2001), Fu vd. (2012), Kang vd. (2013), Kelly vd. (2020) ve Zhou ve Wang (2022) belirlemişlerdir. LED aydınlatma sistemlerinin aydınlatma randımanları diğer aydınlatma sistemlerine göre yüksektir. Aydınlatma randımanı yüksek olan LED ile daha yüksek PPFd değerleri elde edilmekte ve yüksek PPFd ile daha fazla fotosentez sağlanmaktadır. Tüm bunların sonucunda marul veriminde artış elde edilmektedir.

Sonuç

ANOVA testi, ışık şiddeti konularında ölçülen parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir ($p < 0.05$). Tekrarlar bitki boyu, kök ağırlığı, tüm bitki ağırlığı ve baş ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip değildir ($p > 0.05$). Etkileşim terimi tüm bitki ağırlığı ve baş ağırlığı için istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.05$).

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkıları

Yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulduklarını beyan ederler.

Etik Kurullar

Bu makale insan veya hayvan denekleri içeren herhangi bir çalışma içermediğinden etik onay gerektirmez.

Önceki Sunum

Bu çalışma, 18-22 Eylül 2025 tarihleri arasında düzenlenen 8. Uluslararası Tarım Kongresi'nde özet bildiri olarak sunulmuştur.

Kaynaklar

- Aydın, H. (2018). Akuaponik sistemlerde kıvrıkcık marul (*Lactuca sativa*) yetiştiriciliği. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 76.
- Barbosa, G.L., Almeida Gadelha, F.D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G.M. ve Halden, R.U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12, 6879–6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>.
- Borowski, E., Michalek, S., Rubinowska, K., Hawrylak-Nowak, B. ve Grudzinski, W. (2015). The effects of light quality on photosynthetic parameters and yield of lettuce plants. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 14(5).
- Bourget, C. M. (2008). An introduction to light-emitting diodes. *HortScience*, 43(7), 1944-1946.
- Dar, N.A., Shah, I.A., Bhat, G.A., Makhdoomi, M.A., Iqbal, B., Rafiq, R., Nisar, I., Bhat, A. B., Nabi, S., Masood, A., Shah, S.A., Lone, M.M., Zargar, S.A., Islami, F. ve Boffetta, P. (2013). Socioeconomic status and esophageal squamous cell carcinoma risk in Kashmir, India. *Cancer Sci.* 104:1231–1236. <https://doi.org/10.1111/cas.12210>.
- Dutta Gupta, S. ve Agarwal, A. (2017). Artificial lighting system for plant growth and development: Chronological advancement, working principles, and comparative assessment. In *Light emitting diodes for agriculture: smart lighting* (pp. 1-25). Singapore: Springer Singapore.
- Fu, W., Li, P. ve Wu, Y. (2012). Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 135:45-51.
- Gençoğlan, C. ve Gençoğlan, S. (2018). Comice armut (*Pyrus Communis L.*) çeşidinin bitki su stres indeksi (CWSI)-verim ilişkisinin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 31(3):275-281.
- Gonnella, M., Serio, F., Conversa, G. ve Santamaria, P. (2002). Yield and quality of lettuce grown in floating system using different sowing density and plant spatial arrangements. In *VI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: Product and Process Innovation* 614 (pp. 687-692).
- Goins, G. D., Ruffe, L. M., Cranston, N. A., Yorio, N. C., Wheeler, R. M. ve Sager, J. C. (2001). Salad crop production under different wavelengths of red light-emitting diodes (LEDs) (No. 2001-01-2422). SAE Technical Paper.
- Hanks, R.J., Lisson, D.v., Hurst, R.L. ve Hubbard, K.G. (1980). Statistical Analysis of Results from Irrigation Experiments Using The Line-Source Sprinkler System, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:886-888.
- Kaiser C. ve Ernst M. (2012). Hydroponic lettuce. Univ. Ky. Coll. Agric., Food Environ.. <https://www.uky.edu/ccd/sites/www.uky.edu/ccd/files/hydrolettuce.pdf>.
- Kang, J. H., Krishna Kumar, S., Atulba, S. L. S., Jeong, B. R. ve 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.
- Kelly, N., Choe, D., Meng, Q. ve Runkle, E. S. (2020). Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod. *Scientia Horticulturae*, 272, 109565.

- Legendre, R. ve van Iersel, M.W. (2021). Supplemental Far-Red Light Stimulates Lettuce Growth: Disentangling Morphological and Physiological Effects. *Plants* 10, 166. <https://doi.org/10.3390/plants10010166>.
- McCree, K. J. (1972). Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Meteorol.*, 10: 443-453.
- Nicole, C. C. S., Charalambous, F., Martinakos, S., Van De Voort, S., Li, Z., Verhoog, M. ve Krijn, M. P. C. M. (2016). Lettuce growth and quality optimization in a plant factory. In VIII International Symposium on Light in Horticulture 1134 (pp. 231-238).
- Okudur, E. (2018). Durgun su kültüründe yetiştirilen marulda üç farklı şekilde verilen gübrelemenin verim ve kaliteye etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 394-399.
- Olle, M. ve Viršile, A. (2013). The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and food science*, 22(2):223-234.
- Oymak, E. (2018). Yapraktan uygulanan bazı mikro elementlerin su kültüründe yetiştirilen renkli marullarda yaprak renklenmesi ve verimlilik üzerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, 49.
- Sala, F. C. ve Costa, C. P. (2012). Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, v.30, p.187-194. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>
- Savvas, D. (2003). Hydroponics: a modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. *J. Food Agric. Environ.* 1:80–86.
- Sebitosi, A. B. ve Pillay, P. (2007). New technologies for rural lighting in developing countries: White LEDs. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(3):674-679.
- Silva, E. M., Lima, C. J. G. S., Duarte, S. N., Barbosa, F. S. ve Maschio, R. (2013). Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características da berinjela cultivada em ambiente protegido. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, p.150-158. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000100019>
- Texier W. (2017). *Hydroponics for everybody; All the skills and tools you need to grow food without soil*. New Society Publishers.
- Thomas, T., Biradar, M. S., Chimmad, V. P. ve Janagoudar, B. S. (2021). Growth and physiology of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars under different growing systems. *Plant Physiology Reports*, 26(3):526-534.
- TUİK, (2025). Sebze ürünleri üretim miktarları.
- Voudoukis, N. ve Oikonomidis, S. (2017). Inverse square law for light and radiation: A unifying educational approach. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 2(11):23-27.
- Wani, M.A., Jan, F.A., Khan, N.A., Pandita, K.K., Khurshid, R. ve Khan, S.H., (2014). Cancer trends in Kashmir; Common types, site incidence and demographic profiles: national Cancer Registry 2000-2012. *Indian J. Cancer* 51:133–137. <https://doi.org/10.4103/0019-509X.138188>.
- Zha, L., Liu, W., Zhang, Y., Zhou, C. ve Shao, M. (2019). Morphological and physiological stress responses of lettuce to different intensities of continuous light. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1440.
- Zhou, J., Li, P. ve Wang, J. (2022). Effects of light intensity and temperature on the photosynthesis characteristics and yield of lettuce. *Horticulturae*, 8(2), 178.