

CHLORELLA VULGARIS UYGULAMASININ FARKLI TAHIL TÜRLERİNDE MORFOLOJİK PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİ

Fatma Nur KILIÇ ¹, Somayyeh RAZZAGHI ^{1*}, Tamer DURMAZ ¹

¹Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ziraat Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, 38030 Melikgazi / Kayseri, Türkiye

*** Sorumlu Yazar**

Tel.: -

srazzaghi@erciyes.edu.tr

Yayın Bilgisi:

Geliş Tarihi: 13.07.2025

Kabul Tarihi: 13.08.2025

Anahtar kelimeler: Tahıl, mikroalg, *Chlorella vulgaris*, biyostimülant, buğday

Keywords: Cereal, microalg, *Chlorella vulgaris*, biostimulant, wheat

Özet

Dünya çapında artan gıda talebi nedeniyle, tahıl üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu uygulamalara olan ihtiyaç giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışma, *Chlorella vulgaris* mikroalginin arpa (*Hordeum vulgare*), buğday (*Triticum durum*) ve yulaf (*Avena sativa*) bitkilerinde morfolojik gelişim parametreleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Denemede *C.vulgaris* 1g kg⁻¹ dozunda arpa, buğday ve yulaf bitkisine topraktan uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, *C.vulgaris* uygulaması bütün çeşitlerde bitki boyunu anlamlı düzeyde artırmıştır. Bitki boyu, arpa için %8.69, buğday için %39.25 ve yulaf için %12.42 oranında artmıştır. Benzer şekilde, kök uzunluğu arpa, buğday ve yulaf bitkilerinde sırasıyla %45.5, %23.08 ve %26.52 oranlarında artmıştır. Bitki yaş ağırlığında ise arpa için %25.14, buğday için %37.48 ve yulaf için %47.06 oranlarında artış belirlenmiştir. Uygulama ayrıca bitki kuru ağırlığını da önemli ölçüde artırmış, buğday, arpa ve yulaf bitkilerinde sırasıyla %43.24, %26.74, ve %20.18 oranlarında yükselme sağlamıştır. Kök yaş ağırlığında ise sırasıyla %18.75 (arpa), %19.11 (buğday) ve %25.67 (yulaf) oranlarında artış sağlanmıştır. Kök kuru ağırlığında bu artışlar sırasıyla %20.10 (arpa), %19.66 (buğday) ve %23.05 (yulaf) olarak ölçülmüştür. Sonuç olarak bulgular, *C.vulgaris*'in sürgün ve kök aksamında biyokütle artışı desteklediğini göstermekte, mikroalglerin toprakla doğrudan uygulanmasının bitki gelişimini destekleyebileceğini ve biyogübre olarak uygulanmasının sürdürülebilir tarıma katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

IMPACT OF CHLORELLA VULGARIS APPLICATION ON MORPHOLOGICAL PARAMETERS WITHIN VARIOUS CEREAL SPECIES

Abstract

Due to the increasing global demand for food, the need for sustainable and environmentally friendly practices in cereal production is becoming increasingly important. This study was conducted to evaluate the effects of the microalgae *Chlorella vulgaris* on the morphological development parameters of barley (*Hordeum vulgare*), wheat (*Triticum durum*), and oat (*Avena sativa*) plants. In the experiment, *C.vulgaris* was applied to the soil at a dose of 1 g kg⁻¹ for each plant species. The findings revealed that *C.vulgaris* application significantly increased plant height in all varieties: by 8.69% in barley, 39.25% in wheat, and 12.42% in oats. Similarly, root length increased by 45.5% in barley, 23.08% in wheat, and 26.52% in oats. Fresh plant weight increased by 25.14% in barley, 37.48% in wheat, and 47.06% in oats. The application also significantly enhanced dry plant weight, with increases of 43.24% in wheat, 26.74% in barley, and 20.18% in oats. Root fresh weight increased by 18.75% (barley), 19.11% (wheat), and 25.67% (oats), while root dry weight increased by 20.10%, 19.66%, and 23.05%, respectively. In conclusion, the results indicate that *C.vulgaris* promotes shoot and root biomass accumulation. These findings suggest that direct soil application of microalgae can promote plant development and that their use as a biofertilizer could contribute to sustainable agriculture.

1. Giriş

Küresel çapta temel besin olarak bilinen tahılların, 2050 yılına kadar mevcut nüfusun gıda talebini karşılayabilmesi için üretiminde yaklaşık %85 oranında bir artış sağlanmalıdır (Godfray ve ark., 2010; Wang ve ark., 2018). Tarımsal üretimde toprak kaynaklı sorunlar, iklim değişikliği ve ekilebilir arazilerin miktarında düşüş gibi sorunlardan dolayı bitkisel üretimde problemlerin artacağı düşünülmektedir (Alkharabsheh ve ark., 2021). Türkiye’de 2023’e kıyasla 2024 yılında tahıl üretim miktarı yaklaşık %7.5 oranında azalarak 39 milyon ton olarak belirlenmiş, arpa %12 oranında azalarak 8.1 milyon ton, buğday %5.5 oranında azalarak 20.8 milyon ton ve yulaf %4.9 oranında azalarak 390 bin ton üretilmiştir (TÜİK, 2024). Bu durumun temel nedenlerinden biri, tahılların özellikle buğdayın kuraklık ve tuzluluk gibi abiyotik stres koşullarına sıklıkla maruz kalmasıdır (Razzaghi, 2025). Tahılların kalite ve verimini arttırmak için, toprakta bitkilerin ihtiyaç duyduğu makro ve mikro besin elementlerinin alınabilir ve yeterli düzeyde olması büyük önem taşımaktadır (Zörb ve ark., 2018). Bitkisel üretimde verimliliği arttırmak, sürdürülebilirliği sağlamak için çevre dostu ve sürdürülebilir yöntemlere yönelik araştırmalar artmaktadır. Çevre sürdürülebilirliğinin sağlanmasındaki yöntemler arasında yer alan biyostimulanlar, bitki besin alınabilirliğini, abiyotik stres toleransını ve bitki kalite özelliklerini destekleyen bitkisel ve mikrobiyal temelli kaynaklar olarak bilinmektedir (Du Jardin, 2015). Mikroalgler; prokaryotik (siyanobakteriler) ve ökaryotik (yeşil algler, öjenoidler ve diatomlar) mikroorganizmaları içeren fotosentetik özellikler taşıyan canlı grubudur (Andersen, 2013; Alvarez ve ark., 2021). Mikroalgler, toprak verimliliğini artırma, bitki gelişimini teşvik etme ve pestisit kullanımını ve kimyasal gübreyi azaltma potansiyelleri sayesinde sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Prasanna ve ark., 2014). Toprak besin döngüsünü düzenleyerek besin elementlerinin yarıyışlılığını artırır ve biyoaktif bileşikler üreterek bitki fizyolojisini iyileştirir (Karthikeyan ve ark., 2007; Gheda ve Ahmed, 2015; Razzaghi, 2024). Örneğin; mikroalglerin toprak rizosfer bölgesindeki kök-mikroorganizma ilişkilerini, kök gelişimini desteklediği, ayrıca bazı türlerin fitopatojenlere ve zararlılara karşı biyolojik koruma sağlayabildiği, bu yönüyle de biyopestisit işlevi görebildiği, fotosentetik aktiviteleri yoluyla atmosferik karbondioksiti sabitleyerek karbon yakalama süreçlerine katkı sağladığını (Wang ve ark., 2015), aynı zamanda toprak yapısını iyileştiren ekzopolisakkarit (EPS) bileşiklerini de sentezleyebildiği bilinmektedir (Chamizo ve ark., 2018). Coppens ve ark. (2016) mikroalglerin organik

salınlı gübre (organik asit ve organik karbon kaynağı) olarak kullandıkları çalışmada, mikroalglerin domates bitkisinin gelişimini ve meyve kalitesini arttırdığını rapor etmişlerdir. Faheed ve ark. (2008), marul tohumlarını (*Lactuca sativa* L.) *C.vulgaris*’in farklı dozlarını içeren toprakta 3, 6, 9, 12 ve 15 gün boyunca yetiştirerek gerçekleştirdikleri çalışmada, uygulamaların kontrol grubuna kıyasla çözünür karbonhidrat, çözünür protein ve toplam serbest amino asit içeriklerinin yanı sıra tohum gelişimi, fidelerin taze ve kuru ağırlığı ile pigment içeriğini anlamlı şekilde artırdığını belirtmişlerdir. Aynı doğrultuda Minaoui ve ark. (2024) *C.vulgaris* ilavesinin buğdayda (*Triticum aestivum*) çimlenmesi ve gelişimini inceledikleri çalışmada, farklı mikroalg uygulamalarının (sulu ekstrakt, kültür ortamı filtratı, ham kültür ve sonikasyonlu kültür) farklı konsantrasyonları %0.2, %0.5, %25 ve %50 (h/h), buğday bitkisinde çimlenme ve bitki gelişimi parametrelerinde etkilerini araştırarak, bütün mikroalg uygulamalarının, konsantrasyona bağlı olarak buğday çimlenmesini ve büyümesini anlamlı düzeyde arttırdığını, ham kültür ve %25’lik kültür ortamı filtratının, kontrol grubuna göre etkili olduğu, buğday çimlenme indeksini %16.86, çimlenme oranı katsayısını %7.87, çimlenme enerjisini %20.40, kök uzunluğu (%62.82 ve % 52.84), sürgün uzunluğu (%71.36 ve %59.19) arttırdığını belirlemişlerdir.

Mikroalglerin tarımsal kullanım potansiyelinin araştırılması güncel literatürde giderek artmakla birlikte, tahıl bitkileri arasında özellikle arpa, buğday ve yulafın gelişiminde fizyolojik özellikleri üzerine etkileri hakkında önemli literatür boşlukları bulunmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi, artan küresel gıda talebi tarımsal üretimde sürdürülebilir ve çevre dostu yöntemlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Mikroalglerin biyogübre ve biyostimülant olarak kullanımı dünya genelinde önem kazanırken, Türkiye’nin tahıl ambarı olan İç ve Orta Anadolu bölgelerinde bu konuda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, bu çalışmada arpa (*Hordeum vulgare*), buğday (*Triticum durum*) ve yulaf (*Avena sativa*) bitkilerinde *C.vulgaris* mikroalginin potansiyel kullanımının fizyolojik parametrelerle ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneme materyali ve tasarımı

Denemede kullanılan toprak örneği, Kayseri ili Melikgazi ilçesinde ERUTAM (Erciyes Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi) biriminden (38°42’54’’N 35°32’44’’E) tesadüfi örnekleme yapılarak 0-30 cm toprak derinliğinden alınmıştır. Toprak tekstürü, pH ve EC, kireç ve

organik madde analizleri sırasıyla Bouyoucos (1951), McLean (1982), Nelson ve Sommers, (1996) ve Nelson, (1996) göre yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, toprak tınlı kum tekstür sınıfında, hafif alkali, tuzsuz, kireç düzeyi az ve organik madde düzeyi çok az olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Denemede kullanılan *C.vulgaris* mikroalg çeşidi kuru toz formda Naturiga firmasından temin edilmiştir. Bitki materyali olarak arpa Aslıhan, buğday Kızıltan-91 ve yulaf Kahraman çeşidi kullanılmıştır. Deneme, Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi serasında 60 günlük periyotta, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak

kurulmuştur. Deneme dozları, Dineshkumar ve ark. (2020) çalışmasına dayandırılarak belirlenmiş olup uygulamalar, kontrol (mikroalg ilavesiz) ve mikroalg uygulamalı (1 g kg⁻¹) kuru ağırlık esasına göre hesaplanmış ve saksı toprağına homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Analizi yapılan topraklar 3 kg'lık saksılara ilave edilmiş ardından her bir bitkinin 20 tohum ayrı ayrı saksılara ekilerek çimlenme sonrasında 15 bitkiye seyreltilmiştir. Bitkilere her saksıya aynı miktarda olacak şekilde 200 ml su verilerek günlük sulaması yapılarak, bitkilerin bakım işlemleri düzenli olarak takip edilmiştir.

Tablo 1. Deneme öncesi toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak özelliği	Değer
Tekstür	Tınlı Kum
pH (1:2.5)	7.65
EC (dS m ⁻¹)	0.791
Kireç (CaCO ₃) (%)	4.37
Organik madde (%)	0.98

2.2. Bitki morfolojik özelliklerinin belirlenmesi

Hasat sonrası bitki ölçümlerinin alınması için laboratuvara getirilen örnekler, toz ve toprak partiküllerinin kalmaması için bol saf su ile yıkanmıştır. Hasadı alınan her saksıdan 15 adet bitkinin boy uzunluğu ve kök uzunluğu metre kullanılarak belirlenmiştir. Bitkilerin sürgün ve kökleri ayrı ayrı tartılarak yaş ağırlıkları hassas terazi ile belirlenmiştir. Arpa, buğday ve yulaf örnekleri kese kağıtlarına alınarak etüvde 70°C sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Sabit ağırlığa gelen örnekler etüvden çıkarılarak kuru ağırlıkları hassas terazi ile belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

2.3. İstatistiksel analiz

Verilerin analizinde Tesadüf Parsellerinde Bölünmüş Parseller Deneme Deseni esas alınarak ve analizler JMP Pro 17.0 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Tukey testleriyle grup farklılıkları %5 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir (Snedecor ve Cochran, 1967).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bitki sürgün aksamı üzerine etkileri

3.1.1. Bitki boyu

C.vulgaris uygulaması tüm tahıl türlerinde bitki boyunu önemli ölçüde artırmıştır ($p < 0.05$). Varyans analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Arpa kontrol grubunda en düşük 38.33 cm iken, mikroalg

uygulamalı grupta en yüksek 41.66 cm; buğdayda kontrol grubunda en düşük 43.33 cm, uygulamalı grupta ise en yüksek 60.33 cm; yulafta ise kontrol grubunda en düşük 48.33 cm, uygulamalı grupta en yüksek 54.33 cm olarak bulunmuştur (Şekil 1). Kontrol grubuna göre arpa, buğday ve yulafta bitki boyları sırasıyla %8.69, %39.25 ve %12.42 artmıştır. Bu bulgular, mikroalglerin bitki büyümesini teşvik edici etkilerini değerlendiren önceki çalışmalarla uyum göstermektedir (Renuka ve ark., 2018; Roupheal ve Colla, 2020; Kapoore ve ark., 2021). Özellikle mikroalglerin içerdiği doğal fitohormonlar (sitokininler, gibberellinler, absisik asit, etilen), amino asitler, fonksiyonel grupları sayesinde büyüme ve gelişmeyi düzenleyerek hücre bölünmesi ve uzama, çimlenme teşviği, stres toleransı ve adaptasyonunu artıran antioksidan savunma yollarını aktive eder. Buna ilaveten kök-sürgün etkileşimini dolaylı olarak modüle edebilir ve sekonder metabolit üretimini destekleyebilir (Lu ve Xu, 2015). Bulgularla benzer doğrultuda El-Shazoly ve ark. (2025), buğday bitkisinin normal ve farklı kuraklık düzeyleri altında (tarla kapasitesinin %60'ı ve %80'i) toprağına eklenen *Spirulina platensis* mikroalginin etkilerini incelemiştir. Uygulama yapılmayan koşullarda, kuraklık stresi bitki boyunda azalmaya neden olmuştur. Ancak mikroalg uygulaması yapılan gruplarda, kuraklık stresine rağmen bitki boyunda %33 oranında artış olduğunu belirlemişlerdir. Refaay ve ark. (2021) *C.vulgaris*, *Arthrospira platensis* ve *Tetrademus dimorphus*

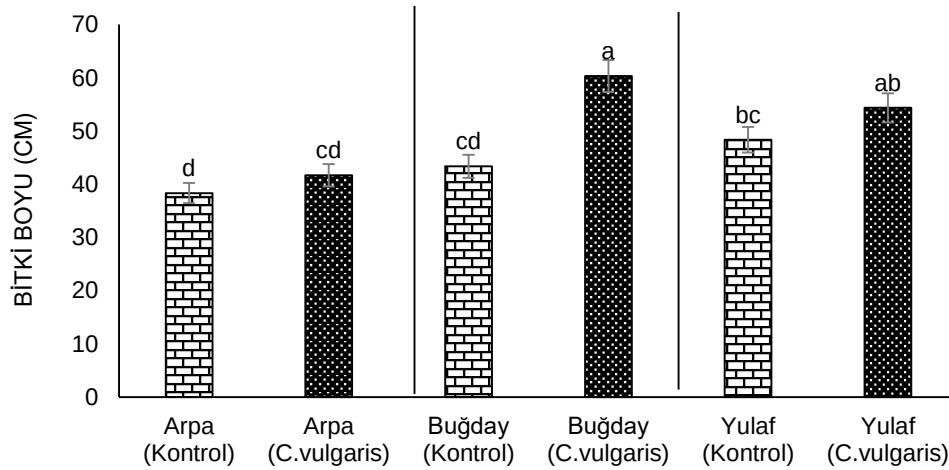
uygulamalarının fasulye büyüme ve verim özellikleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, *C.vulgaris* ve gübre ilaveli uygulamanın kontrol grubuna kıyasla bitki boyunu %26.90 oranında arttırdığını ifade etmişlerdir. Tian ve ark., (2022) biber fideleri üzerine *C.vulgaris* püskürterek bitki gelişimini inceledikleri çalışmada, kontrol grubuna kıyasla

uygulamalı grupta bitki boyunun yaklaşık %33.05 arttığını bildirmişlerdir. Buna ilaveten bulgularla benzer doğrultuda Dineshkumar ve ark. (2020) soğan bitkisinde farklı mikroalg uygulamalarının önemli düzeyde bitki boyunu arttırdığını belirtmişlerdir.

Tablo 2. *C.vulgaris* uygulamasının bazı tahıl türlerinde bitki boyuna ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Tür	2	268.72	42.61*
Tekerrür	2	2.72	0.43
Uygulama	1	346.72	62.41*
Tür*Uygulama	2	78.72	14.17
Hata 1	4	6.30	1.13
Hata 2	6	5.55	
Genel	17		

* $p \leq 0.05$ ve ** $p \leq 0.01$ hata sınırları içerisinde istatistiksel olarak önemlidir, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması; Cv: %16.89



Şekil 1. *C.vulgaris* uygulamasının farklı tahıl türlerinde bitki boyuna etkisi

3.1.2. Bitki yaş ağırlığı

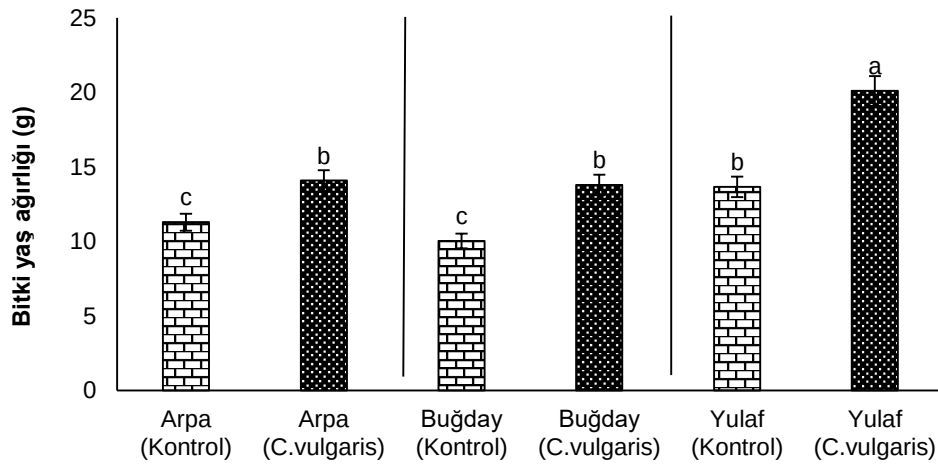
Bulgulara göre bütün tahıl türlerinde *C.vulgaris* uygulaması bitki yaş ağırlığındaki etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Varyans analiz sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Arpa bitkisinde yaş ağırlık kontrol grubunda 11.29 g'dan uygulama grubunda 14.08 g'a; buğdayda 10.03 g'den 13.79 g'a, yulafta ise 13.66 g'den 20.09 g'a artmıştır (Şekil 2). Shariatmadari ve ark. (2015), nane bitkisinde siyanobakteri uygulaması sonrasında kontrol grubuna kıyasla bitki yaş ağırlığını arttırdığını,

benzer olarak Gitau ve ark. (2021) farklı *Chlorella* türünün (MACC-360 ve MACC-38) ve bir *Chlamydomonas reinhardtii* suşunun (cc124) *Medicago truncatula* bitkisinde biyostimulant etkilerini inceledikleri çalışmada, sürgün yaş ağırlığında *Chlorella* MACC-38'in %3, *Chlamydomonas reinhardtii* cc124'nin %15 ve *Chlorella* MACC-360'ın %31 civarında arttırdığını bildirmişlerdir.

Tablo 3. *C.vulgaris* uygulamasının bazı tahıl türlerinde bitki yaş ağırlığına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Tür	2	42.84	40.01*
Tekerrür	2	0.37	0.15
Uygulama	1	84.32	78.74**
Tür*Uygulama	2	5.35	4.99*
Hata 1	4	2.50	7.16*
Hata 2	6	0.34	
Genel	17		

* $p \leq 0.05$ ve ** $p \leq 0.01$ hata sınırları içerisinde istatistiksel olarak önemlidir, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması; Cv: %24.40

**Şekil 2.** *C.vulgaris* uygulamasının farklı tahıl türlerinde bitki yaş ağırlığına etkisi

3.1.3. Bitki kuru ağırlığı

Bulgulara göre *C.vulgaris* uygulaması bitki kuru ağırlığını önemli düzeyde arttırmıştır ($p < 0.01$). Varyans analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. En yüksek bitki kuru ağırlığı mikroalg uygulamalı arpada grubunda 5.27 g, en düşük kontrol buğday grubunda 3.33 g bulunmuştur. Arpa, buğday ve yulafta bitki kuru ağırlığı kontrol grubuna kıyasla %26.74, %43.24 ve %20.18 oranında artmıştır (Tablo 5). Bulgularla uyumlu şekilde Park ve ark. (2022) *C.vulgaris*'in farklı uygulama formlarında yaprak şalgamı (*Brassica napus* var. *Pabularia*) bitkisinin gelişimini inceledikleri çalışmada sürgün

yaş ve kuru ağırlığıyla önemli artışlar meydana getirdiğini bulmuşlardır. La Bella ve ark. (2021) marul (*Lactuca sativa*) bitkisinde *C.vulgaris* mikroalginin yapraktan uygulanmasının sürgün yaş ağırlığını 13.66 g'dan 16.85 g'a, sürgün kuru ağırlığını 0.43 g'dan 0.6 g'a anlamlı seviyede arttırdığını ancak kök uzunluğu ve kök yaş ağırlığında etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Bulgularımızla bu çalışma bulguları arasındaki farklılığın bitki çeşidi ve uygulama şeklinin farklılığından olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4. *C. vulgaris* uygulamasının bazı tahıl türlerinde bitki kuru ağırlığı ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Tür	2	0.84	3.82
Tekerrür	2	0.03	0.17
Uygulama	1	5.83	156.20**
Tür*Uygulama	2	0.12	3.31
Hata 1	4	0.22	5.91*
Hata 2	6	0.03	
Genel	17		

* $p \leq 0.05$ ve ** $p \leq 0.01$ hata sınırları içerisinde istatistiksel olarak önemlidir, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması; Cv: %16.18

Tablo 5. Tür ve uygulamaların bitki kuru ağırlığına ait ortalama değerler

Tür*uygulama	Bitki kuru ağırlık (g)
Arpa (Kontrol)	4.15
Arpa (<i>C. vulgaris</i>)	5.27
Buğday (Kontrol)	3.33
Buğday (<i>C. vulgaris</i>)	4.77
Yulaf (Kontrol)	4.26
Yulaf (<i>C. vulgaris</i>)	5.13
Tür	
Arpa	4.71 a
Buğday	4.05 b
Yulaf	4.69 a
Uygulama	
Kontrol	3.91
<i>C. vulgaris</i>	5.05

Her sütunda, aynı harfe sahip ortalamalar, Tukey'e göre %5 olasılık düzeyinde anlamlı değildir.

3.2. Kök gelişimine etkileri

3.2.1. Kök uzunluğu

Bulgulara göre, *C. vulgaris* uygulaması kök uzunluğunu önemli düzeyde artırmıştır ($p < 0.01$). Varyans analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Kök uzunluğu arpa, buğday ve yulafta uygulama yapılmış gruplarda sırasıyla; en yüksek 21.33 cm, 26.66 cm ve 20.66, en düşük kontrol gruplarında 14.66 cm, 21.66 cm ve 16.33 cm bulunmuştur (Tablo 7). Bulgularda uygulama grubunun etkisinin mikroalgin salgıladığı fitohormonlar kaynaklı olabileceği, böylelikle kök dokusunda artış olduğu bilinmektedir (Vangenechten ve ark., 2025). Bulgularla uyumlu olarak Barone ve ark., (2017) şeker pancarında (*Beta vulgaris* L.) mikroalg (*C. vulgaris* ve *Scenedesmus quadricauda*) ilavelerinin neden olduğu morfolojik ve moleküler tepkileri değerlendirdikleri çalışmada, iki mikroalg uygulamasının da kök gelişimini teşvik ettiğini ve mikroalg uygulamalarının kök uzunluğunda önemli artışa neden olduğunu belirlemişlerdir. Wang ve ark. (2024) *C. vulgaris* ve bakteri uygulamasının buğday (*Triticum aestivum*) gelişimine olan etkisini

inceledikleri çalışmada mikroalg uygulamasının kök uzunluğunu kontrole kıyasla %52.44 oranında arttığını belirlemişlerdir. Aynı doğrultuda Puglisi ve ark. (2022) *C. vulgaris* özütünün iki farklı uygulama yöntemiyle (yaprak spreyi ve kök ıslatma), marulda (*Lactuca sativa*) morfo-biyometrik parametreler ile klorofil, karotenoid ve toplam protein içeriklerini inceledikleri çalışmada, iki farklı mikroalg uygulamasının kontrole kıyasla marulda kök uzunluğunu önemli düzeyde arttırdığını ancak kök ıslatma yönteminin yaprak püskürtme uygulamasına göre daha etkin olduğunu belirlemişlerdir. Buna ilaveten Moon ve ark. (2024) *C. vulgaris* kültürünün biyostimülant olarak arap hardalı (*Arabidopsis thaliana*) bitkisinde büyümesi ve kuraklığa dayanıklılığı üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmada, *Chlorella* hücresiz süpernatantın fidelerde ve olgun *Arabidopsis* bitkilerinde kök ve sürgün gelişimini önemli düzeyde artırdığını ifade etmişlerdir.

Tablo 6. *C.vulgaris* uygulamasının bazı tahıl türlerinde kök uzunluğuna ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Tür	2	119.38	45.24*
Tekerrür	2	0.38	0.14
Uygulama	1	242	41.88*
Tür*Uygulama	2	11.16	1.93
Hata 1	4	2.63	0.45
Hata 2	6	5.77	
Genel	17		

*p≤0.05 ve **p≤0.01 hata sınırları içerisinde istatistiksel olarak önemlidir, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması; Cv: %29.56

Tablo 7. Tür ve uygulamaların kök uzunluğuna ait ortalama değerler

Tür*uygulama	Kök uzunluğu (cm)
Arpa (Kontrol)	14.67
Arpa (<i>C.vulgaris</i>)	21.33
Buğday (Kontrol)	21.67
Buğday (<i>C.vulgaris</i>)	26.67
Yulaf (Kontrol)	10.33
Yulaf (<i>C.vulgaris</i>)	20.67
Tür	
Arpa	18 b
Buğday	24.17 a
Yulaf	15.5 b
Uygulama	
Kontrol	15.55
<i>C.vulgaris</i>	22.89

Her sütunda, aynı harfe sahip ortalamalar, Tukey'e göre %5 olasılık düzeyinde anlamlı değildir.

3.2.2. Kök yaş ağırlığı

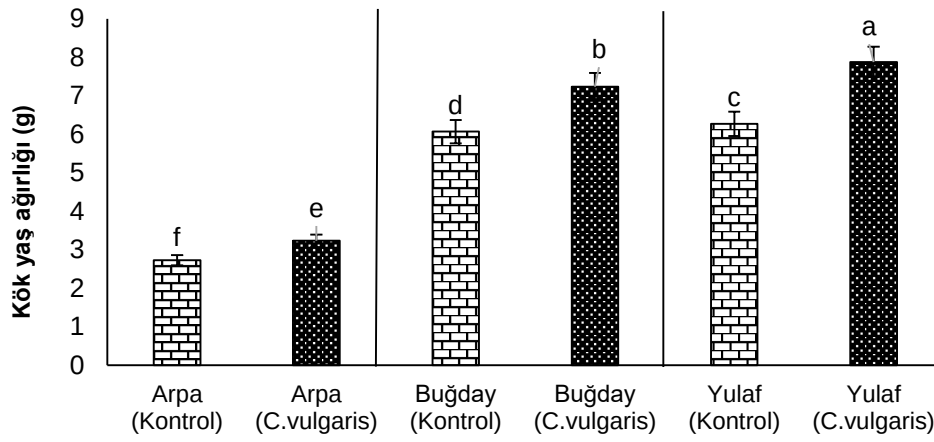
Bulgulara göre tüm tahıl türlerinde *C.vulgaris* uygulaması kök yaş ağırlığını anlamlı düzeyde etkilemiştir (p<0.01). Varyans analiz sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Kök yaş ağırlığı arpa için, en düşük kontrol grubunda 2.72 g, en yüksek mikroalg uygulamalı grupta 3.23 g olarak, buğdayda en düşük kontrol grubunda 6.07 g, en yüksek uygulamalı grupta 7.23 g ve yulafta en düşük kontrol grubunda 6.27 g, en yüksek uygulamalı grupta 7.88 g olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Arpa, buğday ve yulafta kök yaş ağırlığı kontrol grubuna kıyasla %18.75, %19.11 ve %25.67 oranında artmıştır. Elarroussi ve ark. (2016), *Spirulina platensis*'ten elde edilen polisakkarit özütünü, farklı gelişim

evrelerindeki domates (*Solanum lycopersicum*) ve biber (*Capsicum annuum*) bitkilerine yapraktan püskürtme yöntemiyle uygulamışlardır. Mikroalg çözeltilisinin (3 g L⁻¹) uygulanması, kök biyokütlesi üzerinde türlere bağlı olarak farklı düzeylerde artış sağlamıştır. Domates bitkilerinde kontrol grubuna kıyasla %230 gibi oldukça yüksek bir artış gözlenirken, biber bitkilerinde bu artış %67 olarak belirlenmiştir. Ancak bulguların aksine La Bella ve ark. (2021) marul (*Lactuca sativa*) bitkisinde *C.vulgaris* mikroalginin sprey ile uygulanmasının kontrol grubuna kıyasla kök yaş ağırlığındaki farkın önemsiz olduğunu saptamışlardır.

Tablo 8. *C.vulgaris* uygulamasının bazı tahıl türlerinde kök yaş ağırlığına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Tür	2	30.65	112623.40**
Tekerrür	2	0.00024	0.87
Uygulama	1	5.43	57536.53**
Tür*Uygulama	2	0.44	4761.94**
Hata 1	4	0.00027	2.88
Hata 2	6	0.00009	
Genel	17		

* $p \leq 0.05$ ve ** $p \leq 0.01$ hata sınırları içerisinde istatistiksel olarak önemlidir, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması; Cv: %35.85

**Şekil 3.** *C.vulgaris* uygulamasının farklı tahıl türlerinde kök yaş ağırlığına etkisi

3.2.3. Kök kuru ağırlığı

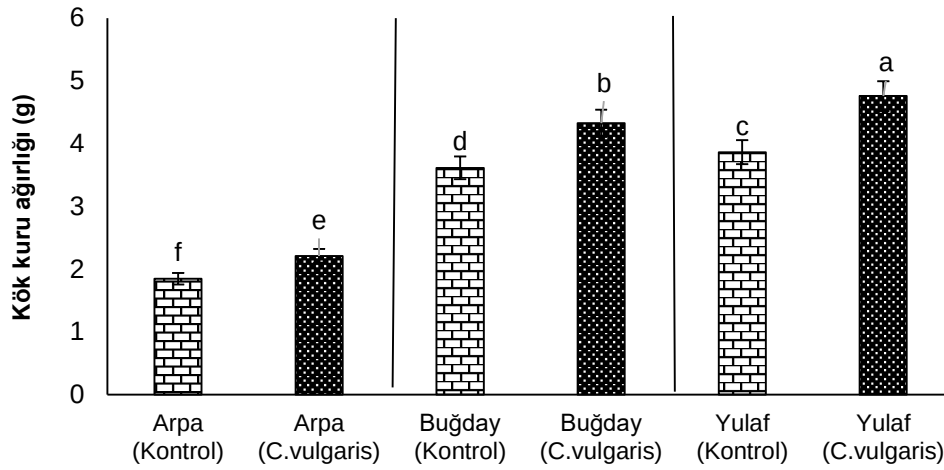
Bulgulara göre bütün tahıl türlerinde *C.vulgaris* uygulaması kök kuru ağırlığını önemli düzeyde arttırmıştır ($p < 0.01$). Varyans analiz sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. Mikroalg uygulaması arpa, buğday ve yulaf bitkisinin kök kuru ağırlığını kontrol grubuna kıyasla %20.10, %19.66 ve %23.05 arttırmıştır (Şekil 4). Mazepa ve ark. (2021) *Desmodemus subspicatus*'un farklı konsantrasyonlarının, yaprak spreylemesi ile domates fidelerine (*Solanum lycopersicum*) uygulamasının, özellikle 0.4 g L⁻¹ dozunda en yüksek olduğunu, genel olarak uygulamaların kontrol grubuna kıyasla kök kuru ve yaş ağırlıklarını arttırdığını saptamışlardır. Sido et al. (2022), buğdayda (*Triticum aestivum*) farklı mikroalg uygulamalarının *C.vulgaris* (S3L) kök kuru ağırlığını kontrol gruba göre %77 oranında

arttırdığını, farklı çeşit mikroalglerin kök ağırlığındaki etkisi topraktaki organik karbon ve besin elementlerinin mobilize etmesiyle açıklamışlardır. Aynı şekilde Ronga ve ark. (2019), mikroalg uygulamasının toprağın mikrobiyal aktivitesini artırarak rizosferde besin elementlerinin çözünürlüğünü yükselttiğini, bunun da kök dokularında karbon ve azot birikimini artırarak kuru madde oluşumuna katkı sağladığını belirtmiştir. Coppens ve ark. (2016), *C.vulgaris*'in domateste (*Solanum lycopersium*) uygulamasının, kontrol gruba göre daha yüksek kök kuru ağırlığına sahip olduğunu bunun nedeninin de mikroalgin kök rizosfer bölgesini iyileştirmesiyle besin alımını teşvik etmesi nedeniyle olabileceğini bildirmişlerdir.

Tablo 9. *C.vulgaris* uygulamasının bazı tahıl türlerinde kök kuru ağırlığına ait varyans analizi

Varyasyon Kaynağı	SD	KO	F
Tür	2	9.11	49707.91**
Tekerrür	2	1.67	0.09
Uygulama	1	1.94	3469.94**
Tür*Uygulama	2	0.10	189.99**
Hata 1	4	0.00018	0.32
Hata 2	6	0.00056	
Genel	17		

* $p \leq 0.05$ ve ** $p \leq 0.01$ hata sınırları içerisinde istatistiksel olarak önemlidir, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması; Cv: %31.89

**Şekil 4.** *C.vulgaris* uygulamasının farklı tahıl türlerinde kök kuru ağırlığına etkisi

4. Sonuç ve Öneriler

Bulgular değerlendirildiğinde, *C.vulgaris* uygulaması kontrol grubuna kıyasla bitki boyu, kök uzunluğu, bitki-kök yaş ve kuru ağırlığı parametrelerinin tümünde artış sağlamıştır. Sonuç olarak, bulgular, *C.vulgaris* mikroalginin biyostimülant olarak kullanım potansiyelini ortaya koymuştur. Mikroalg uygulamalarının bitki gelişimi üzerindeki olumlu etkileri, tarımsal üretimde alternatif uygulamalar arasında kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmanın kısa süreli ve kontrollü ortamda yapılmış olmasından dolayı farklı ortamlarda, toprak tiplerinde, bitki çeşitlerinde, tarla koşullarında ve uzun süreli denenmesi bu konunun daha anlaşılabilir olmasına olanak tanıyacaktır. Ayrıca, uygulama dozlarının ve yöntemlerinin farklı mikroalg türlerinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, gelecekteki çalışmalar ve sürdürülebilir tarım açısından önemli olabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

Alkharabsheh, H. M., Seleiman, M. F., Hewedy, O. A., Battaglia, M. L., Jalal, R. S., Alhammad, B. A., ... & Al-Doss, A. (2021). Field crop responses and management strategies to mitigate soil salinity in modern agriculture: A review. *Agronomy*, 11(11),

2299.

<https://doi.org/10.3390/agronomy11112299>

Alvarez, A. L., Weyers, S. L., Goemann, H. M., Peyton, B. M., & Gardner, R. D. (2021). Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. *Algal Research*, 54, 102200. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102200>

Andersen, R. A. (2013). The microalgal cell. Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology, 1-20. <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch1>

Barone, V., Baglieri, A., Stevanato, P., Broccanello, C., Bertoldo, G., Bertaggia, M., ... & Concheri, G. (2018). Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Applied Phycology*, 30, 1061-1071. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1283-3>

Bouyoucos, G.J. (1951). A Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils 1. *Agronomy Journal*, 43 (9), 434-438. <https://doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x>

Chamizo, S., Mugnai, G., Rossi, F., Certini, G., & De Philippis, R. (2018). Cyanobacteria inoculation

- improves soil stability and fertility on different textured soils: gaining insights for applicability in soil restoration. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 49. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00049>
- Coppens, J., Grunert, O., Van Den Hende, S., Vanhoutte, I., Boon, N., Haesaert, G., & De Gelder, L. (2016). The use of microalgae as a high-value organic slow-release fertilizer results in tomatoes with increased carotenoid and sugar levels. *Journal of applied phycology*, 28, 2367-2377. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0775-2>
- Dineshkumar, R., Subramanian, J., Arumugam, A., Ahamed Rasheeq, A., & Sampathkumar, P. (2020). Exploring the microalgae biofertilizer effect on onion cultivation by field experiment. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 77-87. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0466-8>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Elarroussi, H., Elmerissi, N., Benhima, R., El Kadmiri, I. M., Bendaou, N., Smouni, A., & Wahby, I. (2016). Microalgae polysaccharides a promising plant growth biostimulant. *J. Algal Biomass Utln*, 7(4), 55-63.
- El-Shazoly, R. M., Aloufi, A. S., & Fawzy, M. A. (2025). The potential use of arthrospira (*Spirulina platensis*) as a biostimulant for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) for sustainable agriculture. *Journal of Plant Growth Regulation*, 44(2), 686-703. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11473-x>
- Faheed, F. A., & El-Fattah, Z. A. (2008). Effect of *Chlorella vulgaris* as bio-fertilizer on growth parameters and metabolic aspects of lettuce plant.
- Gheda, S. F., & Ahmed, D. A. (2015). Improved soil characteristics and wheat germination as influenced by inoculation of *Nostoc kihlmani* and *Anabaena cylindrica*. *Rendiconti Lincei*, 26, 121-131. <https://doi.org/10.1007/s12210-014-0351-8>
- Gitau, M. M., Farkas, A., Balla, B., Ördög, V., Futó, Z., & Maróti, G. (2021). Strain-specific biostimulant effects of *Chlorella* and *Chlamydomonas* green microalgae on *Medicago truncatula*. *Plants*, 10(6), 1060. <https://doi.org/10.3390/plants10061060>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 327(5967), 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Kapoor, R. V., Wood, E. E., & Llewellyn, C. A. (2021). Algae biostimulants: A critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. *Biotechnology Advances*, 49, 107754. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107754>
- Karthikeyan, N., Prasanna, R., Nain, L., & Kaushik, B. D. (2007). Evaluating the potential of plant growth promoting cyanobacteria as inoculants for wheat. *European Journal of Soil Biology*, 43(1), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.11.001>
- La Bella, E., Baglieri, A., Rovetto, E. I., Stevanato, P., & Puglisi, I. (2021). Foliar spray application of *Chlorella vulgaris* extract: Effect on the growth of lettuce seedlings. *Agronomy*, 11(2), 308. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020308>
- Lu, Y., & Xu, J. (2015). Phytohormones in microalgae: a new opportunity for microalgal biotechnology?. *Trends in plant science*, 20(5), 1006. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.01.006>
- Mazepa, E., Malburg, B. V., Mógor, G., de Oliveira, A. C., Amatucci, J. O., Corrêa, D. O., ... & Nosedá, M. D. (2021). Plant growth biostimulant activity of the green microalga *Desmodesmus subspicatus*. *Algal Research*, 59, 102434. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102434>
- McLean, E., 1982. Soil pH and Lime Requirement, Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (methodsofsoiln2), 199-224. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c12>
- Minaoui, F., Hakkoum, Z., Chabili, A., Douma, M., Mouhri, K., & Loudiki, M. (2024). Biostimulant effect of green soil microalgae *Chlorella vulgaris* suspensions on germination and growth of wheat (*Triticum aestivum* var. *Achkar*) and soil fertility. *Algal Research*, 82, 103655. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103655>
- Moon, J., Park, Y. J., Choi, Y. B., Truong, T. Q., Huynh, P. K., Kim, Y. B., & Kim, S. M. (2024). Physiological Effects and Mechanisms of *Chlorella vulgaris* as a Biostimulant on the Growth and Drought Tolerance of *Arabidopsis thaliana*. *Plants*, 13(21), 3012. <https://doi.org/10.3390/plants13213012>
- Nelson, D.W., Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of Soil Analysis, Part 3—Chemical Methods, 961-1010. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>
- Nelson, R., (1982), Carbonate and Gypsum, Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (methodsofsoiln2), 181-197. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c11>
- Kacar B., İnal, A., 2008. Bitki Analizleri. Nobel Yayınları, Ankara
- Olsen, L.E., Sommers, S.R. (1982). Phosphorus, methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties, Agronomy Monograph, Second Edition. No.9, 403-430. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c24>

- Park, Y. J., Park, J. E., Truong, T. Q., Koo, S. Y., Choi, J. H., & Kim, S. M. (2022). Effect of *Chlorella vulgaris* on the growth and phytochemical contents of "Red Russian" kale (*Brassica napus* var. *Pabularia*). *Agronomy*, 12(9), 2138. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092138>
- Prasanna, R., Sood, A., Ratha, S. K., & K. Singh, P. (2014). Cyanobacteria as a "green" option for sustainable agriculture. *Cyanobacteria: an economic perspective*, 145-166. <https://doi.org/10.1002/9781118402238.ch9>
- Puglisi, I., La Bella, E., Rovetto, E. I., Stevanato, P., Fascella, G., & Baglieri, A. (2022). Morpho-biometric and biochemical responses in lettuce seedlings treated by different application methods of *Chlorella vulgaris* extract: foliar spray or root drench?. *Journal of Applied Phycology*, 34(2), 889-901. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02671-1>
- Razzaghi, S. (2024). Alg/Yosun gübresi. Editors Çağdaş Akpınar. Academician Publishing House, Ankara, Türkiye, 143-182. <https://doi.org/10.37609/akya.3249>
- Razzaghi, S. (2025). Soil moisture deficit drives assimilate remobilization and grain yield variability in bread wheat genotypes *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 529-538(2), 529-538. <https://doi.org/10.31015/2025.2.26>
- Refaay, D. A., El-Marzoki, E. M., Abdel-Hamid, M. I., & Haroun, S. A. (2021). Effect of foliar application with *Chlorella vulgaris*, *Tetrademus dimorphus*, and *Arthrospira platensis* as biostimulants for common bean. *Journal of Applied Phycology*, 33, 3807-3815. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02584-z>
- Renuka, N., Guldhe, A., Prasanna, R., Singh, P., & Bux, F. (2018). Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges. *Biotechnology advances*, 36(4), 1255-1273. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.04.004>
- Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9(4), 192. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040192>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Shariatmadari, Z., Riahi, H., Abdi, M., Hashtroudi, M. S., & Ghassempour, A. R. (2015). Impact of cyanobacterial extracts on the growth and oil content of the medicinal plant *Mentha piperita* L. *Journal of Applied Phycology*, 27, 2279-2287. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0512-2>
- Sido, M. Y., Tian, Y., Wang, X., & Wang, X. (2022). Application of microalgae *Chlamydomonas applanata* M9V and *Chlorella vulgaris* S3 for wheat growth promotion and as urea alternatives. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1035791. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1035791>
- Snedecor, G. W., and Cochran, W. G. (1967). *Statistical Methods* (6th ed.). Iowa State University.
- Tian, S. L., Khan, A., Zheng, W. N., Song, L., Liu, J. H., Wang, X. Q., & Li, L. (2022). Effects of *Chlorella* extracts on growth of *Capsicum annuum* L. seedlings. *Scientific Reports*, 12(1), 15455. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19846-6>
- TUIK (2024). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-2-Tahmini-2024-53448>. (Erişim tarihi: 05.07.2025).
- Wang, J., Vanga, S. K., Saxena, R., Orsat, V., & Raghavan, V. (2018). Effect of climate change on the yield of cereal crops: A review. *Climate*, 6(2), 41. <https://doi.org/10.3390/cli6020041>
- Wang, R., Peng, B., & Huang, K. (2015). The research progress of CO₂ sequestration by algal bio-fertilizer in China. *Journal of CO₂ Utilization*, 11, 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2015.01.007>
- Wang, S. N., Ge, S. H., Zhuang, L. L., & Zhang, J. (2024). Multiple pathways for the enhancement of wheat growth by *Chlorella vulgaris*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(2), 550-562. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11113-w>
- Zörb, C., Ludewig, U., & Hawkesford, M. J. (2018). Perspective on wheat yield and quality with reduced nitrogen supply. *Trends in plant science*, 23(11), 1029-1037. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.08.012>