



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Microcystis aeruginosa ve Biyokömür Uygulamalarının Buğday Rizosferindeki Bazı Enzimler ve Temel Gelişme Özelliklerine Etkileri

Gökşal SEZEN*, Çiğdem KÜÇÜK, Ramazan AKTAN

Harran University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Şanlıurfa, Türkiye

*Sorumlu yazar e-posta: sezen@harran.edu.tr

Öz: *Microcystis aeruginosa* ve biyokömür uygulamalarının buğdayın rizosfer bölgesindeki bazı toprak enzimleri üzerine ve temel bitki büyüme özelliklerine etkileri incelenmiştir. Araştırma serada tesadüf parselleri faktöryel deneme desenine göre 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Biyokömürün üç dozu (kontrol, % 1, % 2), *M. aeruginosa*'nın 4 dozu (kontrol, % 0.5, %1 ve % 1.5) kullanılmıştır. Biyokömür ekimle birlikte, *M. aeruginosa* ise çimlenme sonrası topraklara uygulanmıştır. Hasat ekimden 60 gün sonra yapılmıştır. Uygulamalar incelenen özellikler üzerinde farklılık göstermiştir. En fazla yeşil aksam ağırlığı %2 biyokömür uygulamasından elde edilirken, kök ağırlığı en yüksek %2 biyokömür x %0.5 *M. aeruginosa* uygulamasında belirlenmiştir. Biyokömürün %2 x *M. aeruginosa* %1'in birlikte uygulanması ile en yüksek bitki boyu, %2 biyokömür x %1.5 *M. aeruginosa* uygulaması ile en yüksek kök uzunluğu elde edilmiştir. Uygulamalar yaprakların klorofil içeriklerini kontrole göre artırmıştır. Rizosferdeki en yüksek β -glukosidaz, alkalın fosfataz ve dehidrogenaz aktivitesi biyokömür %2 x *M. aeruginosa* %1.5 uygulamalarında belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokömür, Buğday, Doz, *M. aeruginosa*, Rizosfer

Effects of *Microcystis aeruginosa* and Biochar Treatments on Some Enzymes and Basic Growth Characteristics in Wheat Rhizosphere

Abstract: The effects of *Microcystis aeruginosa* and biochar treatments on some soil enzymes and basic plant growth characteristics in the rhizosphere of wheat were investigated. The experiment was conducted in the greenhouse according to the random factorial plots experimental design with 3 replications. Three doses of biochar (control, 1%, 2%) and 4 doses of *M. aeruginosa* (control, 0.5%, 1% and 1.5%) were used. Biochar was applied at sowing and *M. aeruginosa* was applied to the soil after germination. Harvesting was done 60 days after sowing. The treatments showed differences on the studied traits. While the highest green part weight was obtained from 2% biochar treatment, the highest root weight was determined in 2% biochar x 0.5% *M. aeruginosa* treatment. The highest plant height was obtained with 2% biochar x 1% *M. aeruginosa* and the highest root length was obtained with 2% biochar x 1.5% *M. aeruginosa*. The treatments increased the chlorophyll content of the leaves compared to the control. The highest β -glucosidase, alkaline phosphatase, dehydrogenase activities in the rhizosphere were determined in biochar 2% x *M. aeruginosa* 1.5% treatment.

Keyword: Biochar, Dose, *M. aeruginosa*, Rhizosphere, Wheat

1. Giriş

Mevcut tarımsal uygulamalar hem bitki büyüme uyarıcılarını hem de bitkileri farklı stres koşullarından koruma için gübreler ve pestisitler gibi sentetik kimyasalların uygulanmasına bağımlı olup, halkın gıda ihtiyacını karşılamasını kolaylaştırmıştır (Ashour ve ark., 2023; Hassan ve ark., 2021). Oysa, tarımda kimyasalların tekrar eden kullanımları bitkilerde ve toprakta birikerek, insanlar için tehlikeli olabilecek zararlı ürünlerin çevreye salınmasına neden olmuştur (Pan ve ark., 2019). Örneğin, azotlu gübrenin yaklaşık %50'si bitkiler tarafından kullanılmakta, kalan %50'sinin ise yüzey sularına karıştığı açıklanmıştır (Abo-Shady ve ark., 2023). Bu nedenle, nüfusun gıda gereksinimlerini

Gönderilme Tarihi: 16.10.2024

Kabul Tarihi: 27.02.2025

Nasıl atıf yapılır: Sezen, G., Küçük, Ç., & Aktan, R. (2025). *Microcystis aeruginosa* ve biyokömür uygulamalarının buğday rizosferindeki bazı enzimler ve temel gelişme özelliklerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(1), 303-314. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1568023>

sınırlı kaynaklarla ve çevre kalitesini kötüleştirmeden karşılamak büyük bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır (Nawaz ve ark., 2024; Parmar ve ark., 2023).

Siyanobakteriler, çevre dostu olup, düşük maliyetli üretimleriyle tarım uygulamalarında ideal bir çözümdür. Binlerce yıl önce, siyanobakteriyel biyokütle tarımda yaygın olarak kullanılmış, günümüzde ise siyanobakteriyel özütlerden elde edilen yararlı ürünlerin artması dünya çapında araştırmacıların dikkatini çekmiştir (Kumar ve ark., 2022). Araştırmacılar, bitki koruma etmeni olarak ve biyo-uyarıcı potansiyelleri açısından değerlendirilen siyanobakteriler gibi biyolojik bazlı ürünlere odaklanmışlardır (Gorka ve ark., 2018). Siyanobakteriler ve yeşil alglerle yapılan biyogübrelemenin, asma çeliklerinin köklenmesini ve ayçiçeği tohumlarının çimlenmesini artırabildiği; çeltik, arpa, yulaf, domates, turp, pamuk, mısır, biber, marul, buğday, asma ve mısırdaki gözlemlendiği gibi bitki büyümesini iyileştirebildiği belirtilmiştir (Grzesik & Romanowska-Duda, 2015). Bitkilerin artan büyümesinin; mikroalglerin toprağın doğal besin döngülerini geri kazandırma, toprak organik maddesini oluşturma ve ayrıca bitkilerin gelişimine etkili olan çeşitli besinler, hormonlar ve ikincil metabolitlerce toprağı zenginleştirme yeteneğinden kaynaklanabileceği öne sürülmüştür (Abo-Shady ve ark., 2023). Siyanobakteriyel patlamalar, küresel ölçekte önemli bir çevresel sorun olarak ortaya çıkmış sucul ötrofikasyon ve iklim değişikliği alg patlamalarına neden olmuştur (Monchamp ve ark., 2018). Sularda oluşan alg patlamaları ve ilişkili doğal toksinlerin salınımı insan aktivitelerinden ve iklim değişikliğinden kaynaklanan aşırı besin yüklenmesi nedeniyle son yıllarda artış göstermiştir (Li ve ark., 2023). *Microcystis aeruginosa* (Kützinger) Kützinger 1846 (*M.aeruginosa*), *Microcystis* cinsine ait bir alg türü olup, düşük ışık koşullarında gelişmesini sağlayan benzersiz bir fikobiliprotein sistemine sahiptir ve bazı izolatları su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır (Li ve ark., 2023). Bu mavi-yeşil alglerin bazı izolatları çeşitli kirleticileri azaltma yeteneğine sahiptir ve potansiyel olarak biyolojik olarak parçalayıcı organizmalar olduğu tespit edilmiştir (Shashirekha ve ark., 1997). Ayrıca bitki büyümesi ve verimi arttırmada da kullanılmıştır (Grzesik ve ark., 2017). Siyanobakteriler, bitki büyümesini ve ürün verimini artırmak için biyogübre olarak çeşitli tarımsal ürünlere kullanılmıştır (Abo-Shady ve ark., 2023). Siyanobakteriler; bitkilerin azot eksikliği olan topraklarda büyümesine yardımcı olduğundan kirlilik kaynağı olan ve maliyeti yüksek azot gübreleri kullanma ihtiyacını ortadan kaldırdığı belirlenmiştir (Li ve ark. 2019). Osman ve ark. (2020) bakla tohumlarının *Nostoc muscorum* ile muamelesinin; kök uzunluğu (%30), bitki boyu (%44), kök yaş ağırlığı (2 kat), yeşil aksam yaş ağırlığı (1.5 kat), kök kuru ağırlığı (%67) ve yeşil aksam kuru ağırlığı (1.6 kat) gibi büyüme parametrelerini artırmıştır. Mutale-Joan ve ark. (2020), *Aphanethece* sp. uygulamasının bitkinin kök ve yeşil aksam uzunluklarını %112.65 ve %53.70 oranında önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Benzer olarak, *Arthrospira platensis* ve *Nostoc muscorum*'un sıvı özütlerinin buğday tohumlarına uygulanmasıyla, buğday büyümesinin uyarılmasına ve çeşitli büyüme parametrelerinde iyileşmeye neden olduğu bildirilmiştir (Osman ve ark., 2021). Araştırmacılar ayrıca buğday fidelerinde pigmentlerin, karbonhidratlar ve protein içeriklerinin kontrole göre arttığını da saptamışlardır. *A.platensis*'in domates ve biberlere yaprak püskürtme yoluyla uygulanması ile her iki bitki türünde de yeşil aksam kuru ağırlığı 1.4 kat artmış, kök ağırlığı üzerindeki olumlu etkileri domateslerde 2.30 kat, biberlerde %67 oranında artmıştır (Elarroussi ve ark. 2016). Biyokömür ve mikroorganizmaların entegre uygulaması, toprağın organik karbon içeriğini artırmış, bitki büyümesini ve üretkenliğini destekleyen toprağın fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmiştir (Zhang ve ark., 2019). Ağır metallerle kirlenmiş topraklarda biyokömür ve mikroorganizmaların birlikte uygulanması, ağır metallerin stabilitesini ve toprak alkalizasyonunu iyileştirmeye yardımcı olabilmış, yonca (*Medicago sativa*) ve soya fasulyesinin (*Glycine max*) gelişimini desteklemiştir (Zhang ve ark., 2019; Haider ve ark., 2021). Bununla birlikte, bitki büyümesini ve toprak özelliklerini iyileştirmede biyokömür ve mikroorganizma uygulamasının kombinasyonu, biyokömür uygulama dozları ve bunların fizikokimyasal özellikleri ile de ilişkili olduğunu göstermiştir (Zhang ve ark., 2018; Yuan ve ark., 2019).

Toksik ve toksik olmayan *M.aeruginosa*'nın oranları göl, gölcük ve gölet sularında zamansal ve mekansal olarak değişmektedir (Cao ve ark., 2018). Tanabe ve ark. (2007), *M.aeruginosa* izolatlarını filogenetik analizle sınıflandırmış, yüksek intraspesifik genetik çeşitliliğe sahip olduğu belirlenmiştir (Tanabe ve ark., 2007; 2018). Bu yaklaşımla, *M.aeruginosa* izolatları 12 filogenetik gruba (A-K ve X) ayrılmış, A ve X gruplarındaki ve B grubundaki bazı izolatların mikrosistin ürettiği bildirilmiştir (Tanabe ve ark., 2007; 2018). *M.aeruginosa*'nın aşırı çoğaldığı göllerden toplanan izolatlarının ancak yarısı toksik çıkmıştır (Yamaguchi ve ark., 2020). Albay ve ark. (2024) yaptıkları çalışmalarında 25 adet göl veya barajda siyanotoksin tespit etmişlerdir. Araştırmacıların bu sonuçları,

Microcystis türlerinin büyük çoğunluğunun ya toksin salgılamadığını ya da suda bulunma oranının analiz edilemeyecek oranda toksin salgıladıklarını göstermektedir. *M. aeruginosa* ilgili çalışmaların çoğunluğu üretilen mikrosistinler (MC'ler) gibi güçlü toksinlerin doğal yaşamın kirlenmesi ve insanların zehirlenmesiyle ilgilidir (Campos ve ark., 2021). Bazı *M. aeruginosa* izolatları tarafından salgılanan mikrosistinlerin bozunması ile ilgili laboratuvar ortamında 25 °C 'de yapılan çalışmada topraklardaki yarı ömürlerinin 6-8 gün arasında olduğu tahmin edilmekte, toprağa uygulanan mikrosistinlerin bir kısmı güneş ışığı veya bazı toprak bakterileri tarafından hızla parçalanabildiği, topraktaki kil ve organik madde içeriğinin mikrosistinlerin adsorpsiyonu ve bozunmasında önemli rol oynadığı bildirilmiştir (Corbel ve ark., 2014). Şanlıurfa'da gündüz hava sıcaklıkları yazın 40-50 °C arasında olmaktadır. Şanlıurfa Baraj göllerinde yaz aylarında aşırı çoğalan *M. aeruginosa* önceki çalışmada izole edilip tanımlanmıştır (Sezen & Küçük, 2021). Bu mikroalgi içeren sular ile etrafındaki tarlaların ve bahçelerin sulanması, çiftçilerin bu sular ile sulanan tarlalardan yüksek verim alması, baraj gölünde balık ve kuş ölümlerinin görülmemesi, bu yetiştirilen ürünleri yiyen ve tüketen hayvanlarda ve insanlarda da herhangi bir rahatsızlık ve ölüm olmaması mikroalgin toksik olmadığını göstermektedir. Farklı mikroorganizma türlerinin ve biyokömürün toprak ve bitki özelliklerini olumlu yönde etkilediği, kirli topraklardan ağır metallerin temizlenmesi üzerindeki etkileri de bilinmektedir (Haider ve ark., 2021), ancak biyokömür ve *Microcystis aeruginosa*'nın birlikte kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Araştırmamız, *M. aeruginosa*'nın ve biyokömürün sera koşulları altında buğdayın (*Triticum aestivum* L.) gelişimi ve toprağın bazı biyolojik özelliklerine (dehidrogenaz, β -glukosidaz, alkalın fosfataz aktivitesi) olan etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metod

Çalışmamızda kullanılan buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumu ticari olarak satın alınmıştır. Denemede kullanılan *Microcystis aeruginosa* Harran Üniversitesi Biyoloji Bölümü Hidrobiyoloji A.B.D.'dan temin edilmiştir. Denemede kullandığımız *M. aeruginosa*'nın toplam fenolik içeriği 584.14 (μ g PEs/mg ekstrakt), toplam flavonoid 617.52 içeriği (μ g QEs/mg ekstrakt) olarak tespit edilmiştir (Ceylan & Sezen, 2024). Çalışmada kullanılan biyokömür; Biorfe marka olup, ticari olarak satın alınmış ve iki farklı dozda (%1, %2) kullanılmıştır. Kullanım talimatına göre (25 litre toprağa 250 g biyokömür olacak şekilde) biyokömür dozları ekim öncesi toprağa ayrı ayrı uygulanmıştır. Kullanılan biyokömür ince taneli olup, organik madde içeriği %80, nem %15, P %3, K %3, N %3'tür. Denemede kullanılan toprak, kampüs alanından daha önce herhangi bir ekim yapılmamış alandan 0-30 cm derinlikten alınarak, 2 mm elekten geçirilmiş, 3 kg'lık saksılara doldurulmuştur. Kullanılan toprağın pH'sı 8.17; organik madde (%) 1.35; kireç (%) 2.47; EC 0.2 mmhos/cm; N ise % 0.11 olup, killi bünyeye sahiptir. Kullanılan toprak; hafif alkalın, az kireçli ve organik madde içeriği düşüktür.

2.1. Denemenin kurulumu

Buğday tohumları 10 v/v sodyum hipoklorit'te (NaOCl) iki dakika bekletilmiş, ardından %70'lik etanol ve ardından steril distile su ile yıkanmış, fazla su filtre kağıdı üzerinde emdirilmiştir. Ekim öncesi biyokömür ile karıştırılan topraklara tohumlar ekilmiştir. Çimlenme sonrası saksılardaki bitki kök bölgesine *M. aeruginosa*'nın farklı dozları ayrı ayrı uygulanmıştır. Deneme doğal ışık alan serada 3 tekerrürlü olarak, tesadüf parselleri faktöryel deneme desenine göre yürütülmüştür. Her saksıya 10 tohum ekilmiş, çimlenme sonunda saksılarda 3 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. *M. aeruginosa* çimlenme sonrası bitki kök bölgesine 0, % 0.5, %1, %1.5 dozlarında (Grzesik ve ark., 2017) ve saksılara ayrı ayrı 15 gün ara ile 3 kez uygulanmıştır (Sezen & Küçük, 2023). Deneme; hiçbir uygulamanın yapılmadığı kontrol grubu, biyokömür'ün farklı dozları (%1 ve %2) ve *M. aeruginosa*'nın farklı dozlarının ayrı ayrı ve kombinasyonları olarak kurulmuştur. Bitkiler 15 gün ara ile çeşme suyu ile sulanmıştır. Deneme üç tekerrürlü olarak doğal ışık alan serada yürütülmüştür. Bitkiler ekimden 60 gün sonra hasat edilmiştir.

2.2. Bitki parametreleri

Hasat sonunda temel bitki parametrelerinden bitki boyu, yeşil aksam ve kök yaş ağırlığı, kök uzunluğu belirlenmiştir. Her bir uygulamadaki yeşil aksam ve kök kuru ağırlığı için örnekler 70 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulmuş, tartılmıştır (Yıldız & Özgen, 2004).

2.3. Buğday yapraklarının klorofil içeriğinin belirlenmesi

Yaprakların klorofil içeriği Arnon (1949)'a göre incelenmiştir. Her bir uygulamaya ait yaprak örnekleri aseton: su karışımı ile homojenize edilerek 5000 x g'de santrifüjlenmiştir. Filtratın absorbansı spektrofotometrede 645 nm ve 663 nm dalga boyunda 3 tekrarlı ölçülmüştür. Sonuçlar mg/g olarak Arnon (1949)'a göre hesaplanmıştır.

2.4. Rizosferin bazı enzim aktivitelerinin belirlenmesi

Hasat sonunda köklere yapışan toprak örnekleri alınıp, bekletilmeden laboratuvara getirilmiş ve analizler yapılmıştır. Topraktaki alkalın fosfataz aktivitesi için, toprak örneği (1g) üzerine eklenen tolüen, fosfat tamponu (pH 8), p-nitrofenilfosfat iyice karıştırılmış, 1 saat 37°C de inkübe edilmiştir. Süre sonunda açığa çıkan p-nitrofenol, standart (PNPP'den hazırlanan) kullanılarak, 410 nm'de spektrofotometrede (Shimadzu, Japonya) belirlenmiştir (Küçük ve ark., 2024). β-glukosidaz aktivitesi, substrat olarak p-nitrofenil-β-D-glukopiranosid kullanılarak ölçülmüştür. Toprak örneğine (1 g) tolüen ilave edilmiş, 15 dakika çalkalandıktan sonra tampon çözelti ve p-nitrofenil-β-D-glukozit çözeltisi ilave edilerek 37°C'de 1 saat süreyle inkübe edilmiştir. Daha sonra kalsiyum klorür çözeltisi ve tris çözeltisi (pH 12) eklenmiş, santrifüj sonrası süpernatant 410 nm'de spektrofotometrik olarak ölçülmüştür (Küçük & Şinşek, 2020). Rizosfer toprağın dehidrogenaz aktivitesi Küçük & Cevheri (2019)'e göre yapılmıştır. Toprak örneğine eklenen glukoz ve %3'lük TTC (2,3,5-trifenil tetrazolium klorür) iyice çalkalanmış, 25 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Süre sonunda oluşan 1,3,5 trifenil formazan 485 nm dalga boyunda UV- spektrofotometrede (Shimadzu, Japonya) okunmuştur. Sonuç mg TPF/kg toprak olarak hesaplanmıştır (Küçük & Cevheri, 2019).

2.5. İstatistiksel analiz

Deneme sonunda elde edilen veriler JMP 11 istatistik paketi kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen ortalama değerler arasındaki farklılıklar p<0.05 önem seviyesinde karşılaştırılmıştır.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Çalışmamızda; kontrolle karşılaştırıldığında uygulamalar, buğdayın kök uzunluğu, yeşil aksam boyu ve kuru ağırlığı üzerinde etkili bulunmuştur (Çizelge 1). En yüksek yeşil aksam ağırlığı biyokömürün %2 dozunda alınırken, en yüksek kök kuru ağırlık *M. aeruginosa*'nın %0.5 ve biyokömür %2 interaksyonu ile elde edilmiştir (Çizelge 1). Biyokömürün %2'lik dozunun uygulanması ile yeşil aksam ağırlığı kontrolle karşılaştırıldığında % 45 oranında artış göstermiştir. *M. aeruginosa*'nın %1'lik dozu kontrole göre bitki boyunu %17 oranında artırmıştır. *M. aeruginosa*'nın %1'lik ve %2 biyokömür interaksyonu ise bitki boyunu kontrole göre %81.2 oranında artırmıştır. Uygulamalar kök uzunluğu üzerinde de etkili olmuş, en yüksek kök uzunluğu biyokömür %2 ve *M. aeruginosa*'nın %1.5'luk dozunun birlikte uygulanması ile alınmış, bunu sırası ile biyokömür %1 ve *M. aeruginosa*'nın %1.5 dozunun beraber uygulanması ve sadece *M. aeruginosa*'nın %1.5'lik doz uygulaması izlemiştir. Bu uygulamalar, kontrolle karşılaştırıldığında artış, sırası ile %64.9, %61.3 ve %53.3 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Uygulamaların yeşil aksam ve kök kuru ağırlığı, bitki boyu, kök uzunluğu üzerindeki etkileri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Uygulamaların buğday bitkisinin gelişim parametreleri üzerine etkileri

Parametreler	Biyokömür (%)	<i>M. aeruginosa</i> (%)			
		0 (kontrol)	0.5	1	1.5
Yeşil aksam kuru ağırlık (g/bitki)	0 (kontrol)	0.02 g*	0.10 c-f	0.17 b	0.16 bc
(LSD 0.05: 0.06)	1	0.10 cde	0.13 bcd	0.04 efg	0.10 b-e
CV (%):4.30	2	0.24 a	0.03 g	0.07 d-g	0.15 bc
Bitki boyu (cm)	0	12.70 f	34.00 de	45.70 c	38.50 d
(LSD 0.05: 5.30)	1	32.50 e	36.90 de	48.50 c	48.40 c
CV(%): 8.97	2	37.90 de	37.60 de	67.90 a	56.90 d
Kök kuru ağırlık (g/bitki)	0	0.04 d	0.07 bcd	0.06 cd	0.16 abc
(LSD 0.05: 0.10)	1	0.05 cd	0.06 cd	0.06 cd	0.15 a-d
CV(%): 5.91	2	0.11 a-d	0.19 a	0.18 ab	0.16 abc
Kök uzunluğu (cm)	0	6.07 f	10.20 d	12.30 bc	13.00 b
(LSD 0.05: 1.87)	1	7.80 ef	11.00 cd	12.40 bc	15.70 a
CV(%):9.41	2	9.60 de	12.70 bc	13.70 b	17.30 a

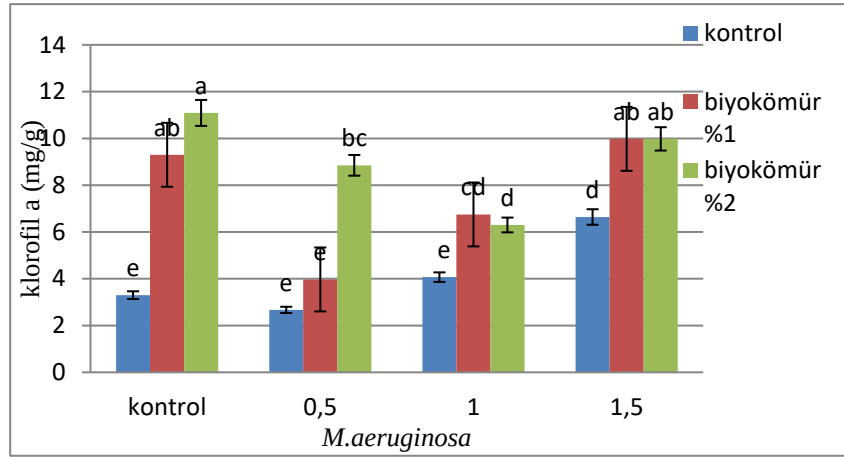
* Farklı harfler birbirinden farklı olan değerleri göstermektedir (p < 0.05)

Çizelge 1’de görüldüğü gibi uygulamaların dozları kendi aralarında karşılaştırıldığında dozlar arasında da farklılık belirlenmiştir (p<0.05). *M.aeruginosa*’ın farklı dozları kendi aralarında karşılaştırıldığında %1.5’luk doz ile kök uzunluğu, bitki boyu, kök kuru ağırlığı önemli oranda artmış, bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). Yeşil aksam kuru ağırlığı üzerine *M. aeruginosa*’ın uygulanan dozları arasında ise farklılık önemsiz bulunmuştur. Biyokömürün %2’lik dozu incelenen özellikler üzerinde önemli bulunmuştur. Toprak özellikleri (fiziksel, kimyasal ve biyolojik) biyokömür uygulamasıyla iyileştikçe, bu da ürün verimini artırmıştır (Zhang ve ark., 2019). Biyokömür uygulamasının artan dozu bitki temel parametrelerini artırmıştır (Çizelge 1). Biyokömür uygulaması tohum çimlenmesini, kök yoğunluğunu iyileştirmiştir. Rondon ve ark. (2007) fasulyedeki biyokütle veriminin 60 t ha⁻¹ kadar biyokömür uygulamasıyla arttığını, ancak doz 90 t ha⁻¹a çıkarıldığında kontrol parselleriyle aynı değere ulaştığını bulmuştur. Bizim çalışmamızda ise artan dozlardaki biyokömür ve *M.aeruginosa*’nın uygulanması kök uzunluğu, yeşil aksam boyu ve yeşil aksam ağırlığında kontrole göre önemli iyileşmeye neden olmuştur (Çizelge 1). Yapılan çalışmalarda, buğdaya biyokömür uygulamalarının bitkinin vejetatif gelişimini ve toplam verimini artırdığı bildirilmiştir (Şener & Erdal, 2022; Erdal ve ark., 2024). Erdal ve ark. (2024) biyokömür uygulamalarının vejetatif büyümeyi ve saman verimini artırdığı, tane verimini azalttığını saptamışlardır. Ayrıca, biyokömür uygulamalarının toprakların fiziksel özellikleri üzerindeki önemli bir farklılık yaratmadığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, biyokömürün toprağa besin sağlayarak veya alınabilir besin miktarını artırarak doğrudan bitki büyümesini etkilemediğini; ancak bazı toprak özelliklerini iyileştirerek bitki büyümesini uyurabileceğini tespit etmişlerdir. Yapılan bir çalışmada da, biyokömür uygulamalarının buğdayın vejetatif gelişmesini artırdığı, buna karşılık tane verimini azalttığını, hasat indeksi, başak boyu, bitki tane sayısı, kardeşlenme ve tane protein içeriklerini olumsuz etkilediği belirlenmiştir (Şener & Erdal, 2022).

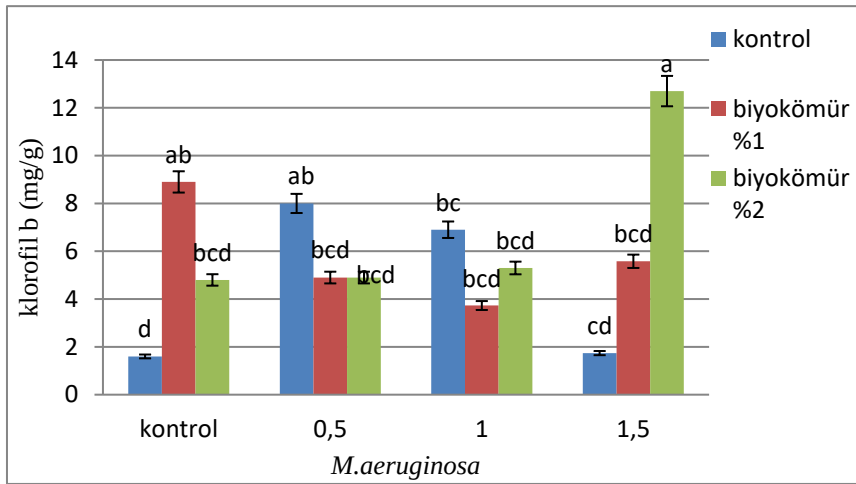
Yapılan bir çalışmada toksin üretici *M.aeruginosa* ile kirlenmiş göl suyu ile sulanan marul ve çeltik fidelerinin gelişimini ve verimlerini olumsuz etkilemediği saptanmıştır (Cao ve ark., 2018). *M.aeruginosa* ‘nın farklı dozları ile yapılan sulama suyunun marul ve çeltiğin yeşil aksam ağırlığı, kök

ağırlığı, bitki boyu, yaprak alanı, başak sayısı ve tane verimi gibi parametrelerin olumsuz olarak etkilenmediği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Cao ve ark., 2018). Zhu ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada; *M.aeruginosa* içeren sulama suyuna maruz kalan hıyar büyümesi önemli ölçüde etkilenmiş, hıyarda organik asit, çözünür şeker ve C vitamini içeriğinin azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca, *M.aeruginosa* içeren sulama suyu ıspanağın bitki biyokütlesini ve toplam yaprak alanını önemli ölçüde azaltmıştır (Tsoumalakou ve ark., 2021). Machado ve ark. (2017), *M.aeruginosa* uygulamasının, havuçlarda kök büyümesinde ve besin değerinde bir azalmaya yol açtığını belirlemişlerdir. Buna karşın yapılan başka bir araştırmada ise *M.aeruginosa* uygulanan marul, çeltik, domates, maydanoz ve kişnişin büyümesinde kontrole göre artışın önemli olduğu bildirilmiştir (Cao ve ark., 2018). Araştırmacılar *M.aeruginosa*'nın toksin üreten suşlarının bitki gelişimi ve veriminde azalmaya neden olduğunu, toksin üretmeyen suşların ise bitki gelişimini arttırdığını açıklamışlardır. Bizim çalışmamızda da *M.aeruginosa*'nın %1.5'lik dozu buğdayın kök uzunluğu, kök kuru ağırlığını artırmış, sonuçlarımız Cao ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışma ile desteklenmiştir. Bitki boyu, kök ağırlığı, kök uzunluğunun kontrole göre daha fazla olması mikroalg uygulamaları sonucunda fazla miktarda aktif bileşiğin toprağa aktarılması ve bitki tarafından kullanılmasından kaynaklanabilir (Cao ve ark., 2018). Sezen & Küçük (2021; 2023), sera koşullarında *Microcystis viridis* ve *Aphanizomenon gracile* siyanobakterilerinin fiğ, nohut, arpa, mısır ve mercimek bitkilerinin büyümesi üzerine etkilerini araştırmışlar, siyanobakteri uygulamalarının işlem görmemiş kontrol bitkilerine kıyasla bitki boyunu, kök kuru ve yaş ağırlığını, kök uzunluğunu ve yeşil aksam ağırlığını önemli oranda artırdığını tespit etmişlerdir. Rey ve ark. (2024) vermikompost, deniz yosunu ve algal gübrelerin toprak verimliliği ve kenevir üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında Okeechobee Gölü'nden toplanan ve ekim sırasında uygulanan kurutulmuş algleri (*M. aeruginosa*) tarla koşullarında 1 ton ha⁻¹ oranı ile uygulamışlar, *M.aeruginosa* uygulaması ile en yüksek biyokütle elde edildiği, yüksek azot ve organik madde içeriği nedeniyle vermikompost ve deniz yosunu uygulamalarına göre önemli besin içeriği sağladığı, bu nedenle zengin bir organik katkı maddesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu sonuçlar, toksik olarak bilinen bazı siyanobakteri uygulamalarının kontrol gruplarına göre bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki olumlu etkilerini göstermektedir.

Yapılan bir çalışmada, *Spirulina platensis*, turp (*Raphanus sativus*) tohumuna ve yapraktan spreyleme olarak uygulanmıştır. *S. platensis*'in her iki şekildeki uygulamalarında farklılık bulunmamış, uygulamalar turp fidelerinin kontrole göre büyümesini, klorofil ve element içeriğini artırmıştır (Godlewska ve ark., 2019). Mutale-Joan ve ark. (2020) ise 18 siyanobakteri ve mikroalg türünden elde edilen ham biyo-ekstraktları, domates bitkisinin bitki büyümesi, besin alımı, klorofil içeriği ve metabolit profilleri için biyostimülant olarak önermiştir. Uygulamaların artan dozları bitki yapraklarındaki klorofil içeriklerini artırmıştır (Şekil 1 ve Şekil 2). Diğer uygulamalara göre klorofil a içeriğini (Şekil 1) sadece biyokömürün %2'lik dozu artırırken diğer taraftan, *M. aeruginosa* %1.5 ve biyokömürün %2'nin birlikte uygulanması klorofil b'yi (Şekil 2) artırmıştır. Söğüt fidelerine mikroalg uygulamasının fide gelişimini etkilediği, mikroalg uygulanmayanlara göre yaprak klorofil içeriğinin arttığı saptanmıştır (Grzesik ve ark., 2017). Benzer sonuçlar mısır bitkilerinde de gözlemlenmiştir (Grzesik & Romanowska-Duba, 2015). Deniz yosunu özütünün uygulanması 'Fuji' elmasının yapraklarında klorofil içeriğine, fotosentez ve solunum oranlarında %12'lik bir artışa neden olmuştur (Spinelli ve ark., 2009). Yapraklardaki klorofil içeriğinin artması, siyanobakteriler tarafından atmosferden asimile edilen ve bitki dokularına iletilen daha yüksek miktardaki azottan kaynaklanabileceği araştırmacılar tarafından açıklanmıştır (Parmar ve ark., 2023; Spinelli ve ark., 2009).



Şekil 1. Uygulamaların yapraklarda klorofil-a içeriğine etkileri.



Şekil 2. Uygulamaların yapraklarda klorofil-b içeriğine etkileri.

Bitkinin oksin (IAA), gibberellik asit (GA), sitokin, amino asit, makro (N, P, K, Ca, Mg) ve mikro element (S, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, Co), poliamin içeriğindeki artış, siyanobakteriler ve yeşil algler tarafından üretilen bazı ikincil metabolitlerle zenginleştirilmesiyle oluşabilir (Abo-Shady ve ark., 2023; Ashour ve ark., 2023). Grzesik ve ark. (2017) *M. aeruginosa*, *Anabaena* sp. (siyanobakteri) ve *Chlorella* sp.'nin (yeşil alg), sentetik gübrelerin sınırlı kullanıldığı koşullarda, söğüt (*Salix viminalis* L.) fidelerinin fizyolojik performansını, kimyasal bileşimini, büyümesini ve verimini iyileştirmek, kimyasal gübrelemenin kullanımını ve çevre kirliliğini azaltmak için biyogübre olarak kullanılabileceğini önermişlerdir. *M. aeruginosa* tarafından üretilen metabolitler, fitohormonlar (IAA, sideroforlar, gibberellinler, oksinler, sitokinin), peptitler (poliaminler/amino asitler) ve fenoliklerin (gallik asit, kafeik asit, flavonoidler, terpenoidler, steroidler, saponinler vb.) bitki büyüme düzenlemesi ve gelişimi (hücre bölünmesi, uzama), besin elementlerin biyoyararlanımını iyileştirme, bitkilerin savunması, antioksidan, lignin sentezi, ozmotik dengenin korunması, sinyal moleküller gibi bitkiler üzerindeki olumlu etkileri bulunmaktadır (Bibi ve ark., 2024).

Enzimlerin, bitki kökleri veya toprak mikroorganizmaları tarafından salgılanan ve besin maddelerinin biyoyararlanımını etkilediği rapor edilmiştir (Rahmanian & Khadem, 2024). Biyokömür ilavesi toprağın mikrobiyal yanıtını (aktivite, bolluk ve topluluk yapısı) etkilediği gibi, enzimatik aktiviteyi de etkilemektedir. Biyokömürün substrat ve enzimle etkileşiminin, toprak enzimatik aktivitesini güçlü bir şekilde etkilediği açıklanmıştır (Rahmanian & Khadem, 2024). Substrat ve enzimler biyokömürde bulunan fonksiyonel gruplara bağlandığında, enzimatik aktivite ya teşvik edilebilir ya da sınırlanabilir (Rahmanian & Khadem, 2024). Enzimlerin, toprakların biyokimyasal sürecinde kritik roller oynadığı ve toprak sağlığının korunmasında önemli oldukları bilinmektedir. Toprakların enzim aktivitesi çevresel şartlara hızlı bir şekilde yanıt vermiş, bu nedenle toprak

sağlığındaki değişikliklerin belirlenmesinde önemli bulunmuştur (Wojewdzki ve ark., 2022). Bu çalışmada, dehidrogenaz, β -glukosidaz, alkalın fosfataz enzim aktivitelerinin uygulamalar tarafından etkilenip etkilenmediği değerlendirilmiştir. Çalışmamızda biyokömürün uygulanması toprağın dehidrogenaz, β -glukosidaz, alkalın fosfataz aktivitesini arttırmıştır (Çizelge 2). Biyokömür %2 ve *M. aeruginosa* %1.5'in birlikte uygulanması ile alkalın fosfataz aktivitesi, dehidrogenaz ve β -glukosidaz aktivitesinde en yüksek değerler elde edilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde Biyokömür % 2 ve *M. aeruginosa* %1.5'in birlikte uygulanması kontrolle karşılaştırıldığında alkalın fosfataz aktivitesi %88.9, dehidrogenaz aktivitesi %92.5 ve β -glukosidaz aktivitesi ise %92.7 oranında artmıştır. Topraklara uygulanan %0.4 ve %2 dozlarındaki biyokömürün toprak enzim aktivitesini arttırdığı Wojewdzki ve ark. (2022) tarafından da bildirilmiştir, araştırmacıların bulguları sonuçlarımızı desteklemektedir. Dehidrogenaz aktivitesi, metabolik aktivitenin bir endeksi olarak kullanılır ve mikrobiyal solunumla ilişkili bulunmuştur (Dick, 1997). Bu çalışmada, *M. aeruginosa*'nın artan dozları dehidrogenaz enzim aktivitesini önemli ölçüde artırmıştır ($p < 0.05$). Yüksek dozun dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerindeki uyarıcı etkisi; *M. aeruginosa*'nın uygulanmasından topraktaki mikrobiyal aktivitenin artması ve toprağa uygulamalar sonunda giren organik maddeyi parçalayan mikroorganizmaların artan aktivitelerinden; toprağa uygulanan *M. aeruginosa* ve biyokömürün mineralize olan karbon nedeniyle dehidrogenaz enzim aktivitesinin uyarılmasından kaynaklanmış olabilir.

Çizelge 2. Uygulamaların rizosfer toprağın bazı enzim aktiviteleri üzerine etkileri

Enzim aktiviteleri	Biyokömür (%)	<i>M. aeruginosa</i> (%)			
		0 (kontrol)	0.5	1	1.5
Alkalın fosfataz aktivitesi (mg PNP/kg toprak)	0 (kontrol)	2.83 f*	5.36 e	9.30 d	8.90 d
(LSD 0.05: 0.57)	1	10.08 d	9.90 d	13.20 c	12.60 c
CV(%): 4.69	2	13.00 c	12.90 c	18.10 b	25.50 a
Dehidrogenaz aktivitesi (mg TPF/kg toprak)	0	8.53 j	41.80 h	50.10 f	65.70 c
(LSD 0.05: 0.341)	1	33.80 i	46.40 fg	60.50 de	88.70 b
CV(%): 4.26	2	44.50 h	57.40 e	63.70 cd	115.20 a
β-glukosidaz aktivitesi (mg-p nitrofenol/kg toprak)	0	1.31 i	1.59 h ₁	1.64 h ₁	3.12 e
(LSD 0.05: 0.64)	1	1.86 gh	5.16 d	2.43 f	9.12 b
CV(%):14.1	2	2.20 fg	6.35 c	5.42 d	17.90 a

* Farklı harfler birbirinden farklı olan değerleri göstermektedir ($p < 0.05$)

Ayrıca denemenin kısa süreli olması da uygulamalar ve enzim aktiviteleri arasındaki etkiyi tam olarak gözlemlene fırsatını sınırlamış olabilir. Sonuçta toprağa uygulanan biyokömür uygulaması enzim aktivitelerini artırmıştır (Çizelge 2). Biyokömür ilavesiyle enzimatik aktivitelerdeki bu artışın, bu tür enzimler için organik substrat görevi gören yüksek miktardaki toprak organik karbonu, mikrobiyal biyokütle karbonu ve azot içeriği tarafından indüklendiği bildirilmiştir (Oladele ve ark., 2019). Çeltik kabuğu biyokömürü uygulaması, toprağın üreaz, katalaz, alkalı fosfataz ve invertaz enzim aktivitelerini önemli ölçüde iyileştirmiştir (Oladele ve ark., 2019). Wojewodzki ve ark. (2022), biyokömür ilavesiyle fosfataz aktivitesinin arttığını bildirmişlerdir; bu artış yüksek oranda biyolojik olarak kullanılabilir fosfor anlamına gelmektedir. Biyokömür ilavesiyle enzimatik aktivitedeki artışın, bitkilerin bu enzimleri salgılamak üzere kök büyümesinin uyarılmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Garbuz ve ark. (2021), alkalın fosfataz aktivitesindeki artışın, biyokömür eklenen topraklarda fosforun bulunabilirliğindeki artıştan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Glukosidazlar,

topraktaki bitki ve hayvan artıkları gibi organik bileşiklerin ayrışmasını kontrol ettiği gibi, toprak organik maddesindeki hızlı değişiklikleri incelemek için ve toprak kalitesinin değerlendirilmesinde de kullanılmıştır (Rahmanian & Khadem, 2024). Toprağın biyolojik ve biyokimyasal özellikleri, özellikle enzimatik aktivite, topraklara eklenen organik maddenin mineralizasyonu, humik maddelerin üretimi, organik bileşiklerin ayrışması, bitki zararlılarının biyolojik kontrolünde yer alan mekanizmalar gibi birçok toprak sürecinde önemli bir rol oynar (Frene ve ark., 2021). Toprakta gerçekleşen tüm biyokimyasal değişikliklerin enzimlerin varlığına bağlı olduğu, toprağa eklenen biyokömürün toprağın mikrobiyal popülasyonunu ve enzim aktivitesini artırdığı açıklanmıştır (Frene ve ark., 2021). *M. aeruginosa* ve biyokömürün toprağa uygulanan yüksek dozlarının toprağa karbonhidrat kazandırdığı ve dolayısıyla kolayca erişilebilir bileşiklerinin eklenmesi, toprağın heterotrofik popülasyonunu uyararak, mikrobiyal aktivite ve enzim üretimini artırmış olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuç

Siyanobakteriler farklı ekosistemlerde azot, fosfor ve karbon döngüsünde önemli bir rol oynayan prokaryotik organizmalardır. Bu organizmalar toprakta azot, fosfor, demir, potasyum, magnezyum gibi besin elementlerinin içeriğini doğrudan ve dolaylı olarak iyileştirerek bitki büyümesini ve bitki verimini artıran ve agroekosistem için muazzam yetenekleri olan alg grubudur. Toksik olmayan siyanobakteriyel kültürleri toksik kimyasal gübre ve pestisit kullanma ihtiyacını azaltarak çevre korumayı kolaylaştırabilir. Çalışmamızda biyokömürün %2'lik uygulama dozu yeşil aksam ağırlığını, Biyokömürün %2 ve %1 *M.aeruginosa*'nın birlikte uygulanması bitki boyunu, Biyokömürün %2 ve %1'lik dozları ile %1.5 *M.aeruginosa*'nın birlikte uygulanmaları kök uzunluğunu, Biyokömürün %2 ve %0.5 *M.aeruginosa*'nın birlikte uygulanması kök kuru ağırlığını diğer uygulamalara göre artırmıştır. Ayrıca *M.aeruginosa*'nın uygulanan %1.5'lik dozu diğer uygulama dozları ile karşılaştırıldığında toprakların test edilen enzim aktivitelerini artırmıştır. Ancak, mevcut veriler sınırlı olduğundan ve bu alana olan ilginin artması nedeniyle, *M. aeruginosa* tarafından salgılanan aktif bileşikler ve bunların bitki türleri üzerindeki etkilerini belirlemek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Kaynakça

- Abo-Shady, A. M., Osman, M. E., Gaafar, R. M., Ismail, G. A., & El-Nagar, M. F. E. (2023). Cyanobacteria as a valuable natural resource for improved agriculture, environment, and plant protection. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(5), 313. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06331-7>
- Albay, M., Köker, L., Oğuz, A., Zengin, Z., Gürevin, C., & Akçaalan, R. (2024). An emerging problem in Türkiye's lake and drinking water reservoirs: "Cyanobacteria Blooms and Cyanotoxins". In M. Albay, E. G. Özbayram, Z. Dorak, & R. A. Albay (Eds.), *Freshwater researches: Fundamentals, trends and perspectives* (pp. 81-96). Istanbul University Press.
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Ashour, M., Al-Souti, A. S., Hassan, S. M., Ammar, G. a. G., Goda, A. M. A., El-Shenody, R., Abomohra, A. E., El-Haroun, E., & Elshobary, M. E. (2022). Commercial seaweed liquid extract as strawberry biostimulants and bioethanol production. *Life*, 13(1), 85. <https://doi.org/10.3390/life13010085>
- Bibi, S., Saadaoui, I., Bibi, A., Al-Ghouti, M., & Dieyeh, M. H. A. (2024). Applications, advancements, and challenges of cyanobacteria-based biofertilizers for sustainable agro and ecosystems in arid climates. *Bioresource Technology Reports*, 25, 101789. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101789>
- Campos, A., Redouane, E. M., Freitas, M., Amaral, S., Azevedo, T., Loss, L., Máthé, C., Mohamed, Z. A., Oudra, B., & Vasconcelos, V. (2021). Impacts of microcystins on morphological and physiological parameters of agricultural plants: a review. *Plants*, 10(4), 639. <https://doi.org/10.3390/plants10040639>

- Cao, Q., Rediske, R. R., Yao, L., & Xie, L. (2018). Effect of microcystins on root growth, oxidative response, and exudation of rice (*Oryza sativa*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 149, 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.020>
- Ceylan, B., & Sezen, G. (2024). Determination of biological activity of some macro/micro algae. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 10(1), 1-6. <https://doi.org/10.55385/kastamonujes.1424276>
- Corbel, S., Bouaïcha, N., & Mougin, C. (2014). Dynamics of the toxic cyanobacterial microcystin-leucine-arginine peptide in agricultural soil. *Environmental Chemistry Letters*, 12, 535-541. <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0482-2>
- Dick, R. P. (1997). Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In C. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta (Eds.), *Biological indicators of soil health* (pp. 121-156). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Elarroussi, H., Elmernissi, N., Benhima, R., Meftah El Kadmiri, I., Bendaou, N., & Smouni, A. (2016). Microalgae polysaccharides are a promising plant growth biostimulant. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 7(4), 55-63.
- Erdal, İ., Alaboz, P., Ekinci, K., Türkan, Ş. A., Yaylacı, C., & Şener, A. (2024). Effect of biochar on some soil properties after 4-year application and its effect on growth, yield and nutrient uptake of wheat grown on an alkaline soil. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 35(1), 223-235. <https://doi.org/10.1007/s12210-023-01221-w>
- Frene, J. P., Frazier, M., Liu, S., Clark, B., Parker, M., & Gardner, T. (2021). Early effect of pine biochar on peach-tree planting on microbial community composition and enzymatic activity. *Applied Sciences*, 11(4), 1473. <https://doi.org/10.3390/app11041473>
- Garbuz, S., Mackay, A., Camps-Arbestain, M., DeVantier, B., & Minor, M. (2021) Biochar amendment improves soil physico-chemical properties and alters root biomass and the soil food web in grazed pastures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 319, 107517. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107517>
- Godlewska, K., Michalak, I., Pacyga, P., Baśladyńska, S., & Chojnacka, K. (2019). Potential applications of cyanobacteria: *Spirulina platensis* filtrates and homogenates in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35, 80. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2653-6>
- Górka, B., Korzeniowska, K., Lipok, J., & Wieczorek, P. P. (2018). The biomass of algae and algal extracts in agricultural production. In K. Chojnacka, P. Wieczorek, G. Schroeder, & I. Michalak (Eds.), *Algae biomass: Characteristics and applications. Developments in applied phycology*, vol 8 (pp. 103-114). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74703-3_9
- Grzesik, M., & Romanowska-Duda, Z. (2015). Ability of cyanobacteria and green algae to improve metabolic activity and development of willow plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(3), 1003-1012. <https://doi.org/10.15244/pjoes/34667>
- Grzesik, M., Romanowska-Duda, Z., Kalaji, H. M. (2017). Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (*Salix viminalis* L.) plants under limited synthetic fertilizers application. *Photosynthetica*, 55(3), 510-521. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0716-1>
- Haider, F. U., Coulter, J. A., Cheema, S. A., Farooq, M., Wu, J., Zhang, R., Shuaijie, G., & Liqun, C. (2021). Co-application of biochar and microorganisms improves soybean performance and remediate cadmium-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214, 112112. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112112>
- Hassan, S. M., Ashour, M., Soliman, A. A. F., Hassanien, H. A., Alsanie, W. F., Gaber, A., & Elshobary, M. E. (2021). The potential of a new commercial seaweed extract in stimulating morpho-agronomic and bioactive properties of *Eruca vesicaria* (L.) cav. *Sustainability*, 13(8), 4485. <https://doi.org/10.3390/su13084485>
- Kumar, A., Chaurasia, U., Elshobary, M. E., Kumari, S., Hussain, T., Bharti, A. P., Maurya, D. K., Samanta, L., & El-Sheekh, M. (2022). Utilization of algae in crop improvement and crop protection for a better agricultural system. In M. El-Sheekh, N. Abdullah, & I. Ahmad (Eds.), *Handbook of research on Algae as a sustainable solution for food, energy, and the environment* (pp. 442-470). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-2438-4.ch018>

- Küçük, Ç., & Cevheri, C. (2019). Investigation of some soil microbiological properties of rhizosphere soil of halophytic forage plants. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37(1), 7-14.
- Küçük, Ç., & Şinşek, N. (2020). The effects of different agricultural wastes on some microbiological properties of soil. *EJONS International Journal on Mathematics, Engineering & Natural Sciences*, 15, 451-460.
- Küçük, Ç., Uslu, P., & Sezen, G. (2024). *Cladophora* sp. ve Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF) spor aşılamaının mısır bitkisinin (*Zea mays* L.) gelişim parametreleri ve bazı rizosfer toprak enzimlerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2), 189-196. <http://dx.doi.org/10.19113/sdufenbed.1473028>
- Li, H., Zhao, Q., & Huang, H. (2019). Current status and challenges of salt-affected soil remediation by cyanobacteria. *Science of the Total Environment*, 669, 258-272. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.104>
- Li, X., Zhao, W., Chen, J., & Wang, F. (2023). Dosage impact of submerged plants extracts on *Microcystis aeruginosa* growth: From hormesis to inhibition. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 268, 115703. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115703>
- Machado, J., Campos, A., Vasconcelos, V., & Freitas, M. (2017). Effects of microcystin-LR and cylindrospermopsin on plant-soil systems: A review of their relevance for agricultural plant quality and public health. *Environmental Research*, 153, 191-204. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.015>
- Monchamp, E., Spaak, M., Domaizon, I., Dubois, N., Bouffard, D., & Pomati, F. (2018). Homogenization of Lake Cyanobacterial communities over a century of climate change and eutrophication. *Nature Ecology & Evolution*, 2(2), 317-324. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0407-0>
- Mutale-Joan, C., Redouane, B., Najib, E., Yassine, K., Lyamlouli, K., Laila, S., Zeroual, Y., & Hicham, E. A. (2020). Screening of microalgae liquid extracts for their biostimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum lycopersicum* L. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59840-4>
- Nawaz, T., Saud, S., Gu, L., Khan, I., Fahad, S., & Zhou, R. (2024). Cyanobacteria: Harnessing the power of microorganisms for plant growth promotion, stress alleviation, and phytoremediation in the era of sustainable agriculture. *Plant Stress*, 11, 100399. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100399>
- Oladele, S., Adeyemo, A., Awodun, M., Ajayi, A., & Fasina, A. (2019). Effects of biochar and nitrogen fertilizer on soil physicochemical properties, nitrogen use efficiency and upland rice (*Oryza sativa*) yield grown on an Alfisol in Southwestern Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 295-308. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0251-0>
- Osman, M. E. H., Abo-Shady, A. M., & El-Nagar, M. M. F. (2020). Treatment of broad bean seeds with algal suspensions to study their effects on certain growth and yield parameters. *Journal of Environmental Sciences*, 49(1), 1-7. <https://doi.org/10.21608/JOESE.2020.147760>
- Osman, M. E. H., Abo-Shady, A. M., Gaafar, R. M., El-Nagar, M. M. F., & Ismail, G. A. (2021). Promoting wheat growth by priming grains with water extracts of *Nostoc muscorum* and *Arthrospira platensis*. *Egyptian Journal of Botany*, 61(3), 809-821. <https://doi.org/10.21608/ejbo.2021.78079.1697>
- Pan, S., Jeevanandam, J., & Danquah, M. K. (2019). Benefits of algal extracts in sustainable agriculture. In: A. Hallmann, & P. Rampelotto (Eds.), *Grand challenges in algae biotechnology. Grand challenges in biology and biotechnology* (pp. 501-534). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-25233-5_14
- Parmar, P., Kumar, R., Neha, Y., & Srivatsan, V. (2023). Microalgae as next generation plant growth additives: Functions, applications, challenges and circular bioeconomy based solutions. *Front. Plant Sci., Plant Physiology*, 14, 1-37. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1073546>
- Rahmanian, M., & Khadem, A. (2024). The effects of biochar on soil extra and intracellular enzymes activity. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 21993-22005. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04330-6>

- Rey, C. S., Oyege, I., Shetty, K. G., Jayachandran, K., & Balaji Bhaskar, M. S. (2024). Evaluation of vermicompost, Sseaweed, and algal fertilizers on soil fertility and plant production of sunn hemp. *Soil Systems*, 8(4), 132. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8040132>
- Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramírez, J., & Hurtado, M. (2007) Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*, 43, 699-708. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-006-0152-z>
- Sezen, G., & Küçük, Ç. (2021). *Microcystis viridis* ve *Aphanizomenon gracile* karışık kültürün fiğ, nohut ve arpa gelişimine etkileri. *Commagene Journal of Biology*, 5(2), 182-186. <https://doi.org/10.31594/commagene.1031232>
- Sezen, G., & Küçük, Ç. (2023). Mısır (*Zea mays* L.) ve mercimek (*Lens culinaris* Medik) gelişimi üzerine *Microcystis viridis* ve *Aphanizomenon gracile* karışımının etkisi. *Commagene Journal of Biology*, 7(2), 141-146. <https://doi.org/10.31594/commagene.1396910>
- Shashirekha, S., Uma, L., & Subramanian, G. (1997). Phenol degradation by the marine cyanobacterium *Phormidium valderianum* BDU 30501. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 19(2), 130-133. <https://doi.org/10.1038/sj.jim.2900438>
- Spinelli, F., Fiori, G., Noferini, M., Sprocatti, M., & Costa, G. (2009). Perspectives on the use of a seaweed extract to moderate the negative effects of alternate bearing in apple trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 84(6), 131-137. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512610>
- Şener, A., & Erdal, İ. (2022). Biyokömür inkübasyonunun buğday verimi ve bazı verim parametrelerine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 41, 410-415. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1197040>
- Tanabe, Y., Kasai, F., & Watanabe, M. M. (2007). Multilocus sequence typing (MLST) reveals high genetic diversity and clonal population structure of the toxic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Microbiology*, 153(11), 3695-3703. <https://doi.org/10.1099/mic.0.2007/010645-0>
- Tanabe, Y., Hodoki, Y., Sano, T., Tada, K., & Watanabe, M. M. (2018). Adaptation of the freshwater bloom-forming cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* to brackish water is driven by recent horizontal transfer of sucrose genes. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1150. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01150>
- Tsoumalakou, E., Papadimitriou, T., Berillis, P., Kormas, K. A., & Levizou, E. (2021). Spray irrigation with microcystins-rich water affects plant performance from the microscopic to the functional level and food safety of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Science of the Total Environment*, 789, 147948. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147948>
- Wojewódzki, P., Lemanowicz, J., Debska, B., & Haddad, S. A. (2022). Soil enzyme activity response under the amendment of different types of biochar. *Agronomy*, 12(3), 569. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030569>
- Yamaguchi, H., Suzuki, S., Osana, Y., & Kawachi, M. (2020). Genomic characteristics of the toxic bloom-forming cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* NIES-102. *Journal of Genomics*, 8, 1. <https://doi.org/10.7150/jgen.40978>
- Yildiz, M., & Özgen, M. (2004). The effect of a submersion pretreatment on in vitro explant growth and shoot regeneration from hypocotyls of flax (*Linum usitatissimum*). *Plant cell, tissue and Organ Culture*, 77, 111-115. <https://doi.org/10.1023/B:TICU.0000016493.03592.c3>
- Yuan, P., Wang, J., Pan, Y., Shen, B., Wu, C. (2019). Review of biochar for the management of contaminated soil: preparation, application and prospect. *Science of The Total Environment*, 659, 473-490. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.400>
- Zhang, C., Liu, L., Zhao, M., Rong, H., & Xu, Y. (2018). The environmental characteristics and applications of biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 21525-21534. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2521-1>
- Zhang, M., Riaz, M., Zhang, L., El-desouki, Z., Jiang, C. (2019). Biochar induces changes to basic soil properties and bacterial communities of different soils to varying degrees at 25 mm rainfall: More effective on acidic soils. *Frontier Microbiology*, 10, 1321. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01321>
- Zhu, J., Ren, X., Liu, H., & Liang, C. (2018). Effect of irrigation with microcystins-contaminated water on growth and fruit quality of *Cucumis sativus* L. and the health risk. *Agricultural Water Management*, 204, 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.011>