

EĞİTİM yayınevi

Editör: **Prof. Dr. Ahmet Çelik**

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme

Alanında Uluslararası Araştırmalar-II

Editör: **Prof. Dr. Ahmet Çelik**

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme

Alanında Uluslararası Araştırmalar-II

EĞİTİM yayınevi

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Alanında Uluslararası Araştırmalar-II

Editör: Prof. Dr. Ahmet Çelik

Yayınevi Grubu Genel Başkanı: Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)
Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)
Sayfa Tasarımı: Kübra Konca Nam
Kapak Tasarımı: Eğitim Yayınevi Grafik Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı
Yayıncı Sertifika No: 76780

ISBN: 978-625-385-449-2
1. Baskı, Ekim 2025

Baskı Cilt: Vadi Grafik Tasarım ve Reklamcılık Ltd. Şti.
İvedik Org. San.1420. Cad. No: 58/1 Yenimahalle/ANKARA
Matbaa Sertifika No: 47479

Kütüphane Kimlik Kartı

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Alanında Uluslararası Araştırmalar-II
Editör: Prof. Dr. Ahmet Çelik
VI+122 s., 135x215 mm
Kaynakça var, dizin yok.
ISBN: 978-625-385-449-2

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mekanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

EĞİTİM yayınevi

Yayınevi Türkiye Ofis: İstanbul: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Atakent mah. Yasemen sok. No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

Konya: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
+90 332 351 92 85, +90 533 151 50 42
bilgi@egitimyayinevi.com

Yayınevi Amerika Ofis: New York: Egitim Publishing Group, Inc.
P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America
americaoffice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye
sevkiyat@egitimyayinevi.com
E-Ticaret: +90 553 950 50 37

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye
+90 332 499 90 00
bilgi@egitimkitabevi.com

İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr
bilgi@kitapmatik.com.tr
Kitabevi Hattı: +90 501 651 92 85

EĞİTİM YAYINEVİ GRUBU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ IV

JİPSLİ TOPRAKLARIN HİDROLOJİSİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ..... 1

Gülay Karahan, Sabit Erşahin

TÜRKİYE'DE BÖLGESEL BİTKİSEL ÜRETİM ETKİNLİĞİNİN VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE ÖLÇÜMÜ (ÇIKTI ODAKLI ÖLÇEĞE GÖRE SABİT GETİRİLER MODELİ)..... 39

Naci Yılmaz, Korkmaz Bellitürk, Eren Savaş, Ahmet Çelik

BİNGÖL OVASI'NDA TOPRAK KORUMA STRATEJİLERİ: İKLİM, TOPRAK ÖZELLİKLERİ VE ÜRETİM VERİLERİNE DAYALI BİR YAKLAŞIM..... 65

Yasin Demir

TARIMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİKTE MİKROALGLERİN ROLÜ..... 91

Fatma Nur Kılıç, Osman Sönmez

FINDIK YETİŞTİRİCİLİĞİNDE GÜBRELEME..... 105

Barkın Külahtaş

TARIMSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİKTE MİKROALGLERİN ROLÜ

Fatma Nur Kılıç*, Osman Sönmez**

Giriş

Tarımsal sürdürülebilirlik, küresel gıda güvenliğinin sağlanmasında temel etmenler arasındadır (Pingali, 2012). Bitkisel üretimde yüksek verim sağlanması amacıyla yoğun biçimde kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitler, su ve toprak ekosistemlerinde besin elementlerinin sızmasına, su kaynaklarının kirlenmesine, ötrofikasyona; toprak kalitesinin düşmesine ve toprak kirliliğinin artmasına neden olmuştur (Mahapatra vd., 2022; Xie vd., 2022). Buna ilaveten toprak yapısını ve biyolojik çeşitliliğin bozulmasına, tuzlanmaya; bitkide verim ve kalitede düşüşe yol açmaktadır (Kumar vd., 2022). Ekosistem kirliliğinin önlenmesi amacıyla, kimyasal uygulamalara bağımlılığı azaltan sürdürülebilir ve çevre dostu tarımsal uygulamalara yönelik çalışmaların önemi giderek artmaktadır.

Biyogübreler, biyostimülanlar ve biyopestisitlerin tarıma entegre edilmesi bitkilerin besin alımını artırmakta, stres koşullarına karşı dayanıklılığını geliştirmekte ve zararlılarla mücadelede çevre dostu bir alternatif sunmaktadır (Garcia-Gonzalez ve Sommerfeld, 2016;

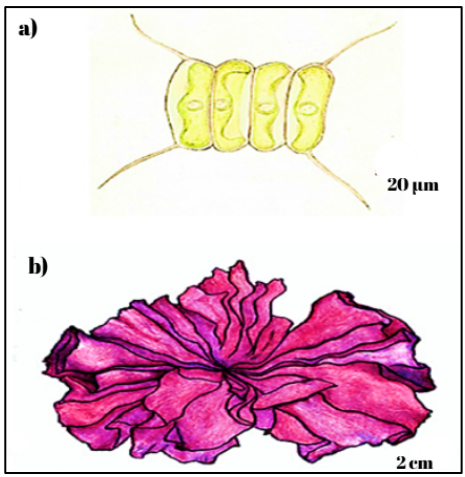
* Araştırma Görevlisi, Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kayseri, fatmanur@erciyes.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0003-3498-2455
** Profesör, Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kayseri, osmansonmez@erciyes.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0002-9134-6466

Solomon vd., 2023). Bu uygulamaların içeriğinde bakteriler, algler ve mantarlar gibi mikroorganizmalar bulunmaktadır. Mikroalgler, 5 ila 50 µm arasında boyutlarda, ökaryotik organizmalar (yeşil algler, öjenoidler ve diatomlar gibi) ve prokaryotik organizmaları (siyanobakteriler) içeren, fotosentez yeteneğine sahip mikroorganizmalardır (Zhu vd., 2018). Mikroalglerin fotosentetik aktiviteleriyle CO_2'yi toprağa sabitlemeleri, azot fiksasyonu ile biyolojik azot kaynağı sağlamaları, mikrobiyal enzim aktivitelerini iyileştirmeleri, besin elementlerinin biyoyararlanımını artırmaları ve ekzopolisakkarit (EPS) salgılamalarıyla toprak yapısını iyileştirmeleri sayesinde toprak sağlığını olumlu yönde etkiledikleri bilinmektedir (Wang vd., 2015; Renuka vd., 2018; Barone vd., 2019). Aynı zamanda kirleticilerin biyoremediasyonunda da (ağır metaller, pestisitler, petrol ve türevleri, mikroplastikler vs.) potansiyellerinin ve azot oksiti azaltmasından dolayı iklim değişikliğini hafifletici rollerinin olduğuna dair çeşitli araştırmalar bulunmaktadır (Decesaro vd., 2017; Cao vd., 2023; Yeheyo vd., 2024; Sarkhel vd., 2025). Buna ilaveten mikroalg biyokütlesi oksinler, gibberellinler, sitokininler, vitaminler, betainler, amino asitler gibi bitki büyümesini destekleyen maddeler üretmektedirler (Chanda vd., 2019; Kour vd., 2020).

Bu bölümde, mikroalglerin tarımsal üretimdeki biyolojik, kimyasal ve ekolojik katkıları ayrıntılı bir biçimde incelenecektir. Mikroalglerin tarımsal sistemlere entegrasyonu ayrıntılı biçimde ele alınarak, toprak verimliliği, bitki verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilecektir.

Mikroalglerin genel özellikleri

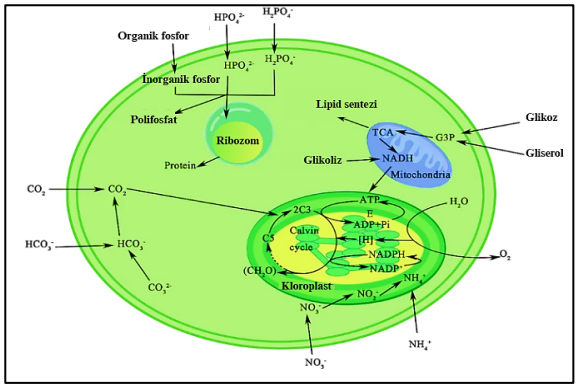
Algler genel olarak klorofil a pigmentine sahip oksijen üretebilen fotosentetik organizmaları ifade etmektedir (Shaikh vd., 2022). Geniş ekosistemlerde varlıklarını devam ettirebilen bu organizmalar makroalgler ve mikroalgler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Makroalgler deniz yosunu olarak da bilinen birkaç metre uzunluğunda olabilen alg grubudur (Pereira vd., 2015). Mikroalgler ise 5 ila 50 µm arasında boyutlara sahip, ökaryotik ve prokaryotik organizmalardır (Şekil 1) (Zhu vd., 2018; Barsanti ve Gualtieri, 2022).



Şekil 1. Alglerin boyutu: a) mikroalgin mikroskobik boyutta olduğuna dair görsel b) makroalgin büyük boyutta olduğuna dair görsel (Pereira, 2021)

Mikroalgler fitoplanktonun bir parçası olarak yer almakta ve toprak ekosistemi de dahil olmak üzere hemen hemen bütün sistemlerde bulunmaktadırlar (Tomaselli, 2004). Yüzeylerindeki negatif yükler (-7.5-40 mV) sayesinde fonksiyonel grupların aktifliği yüksektir (Harun vd., 2010). Metabolizmaları, üreme stratejileri ve hücresel

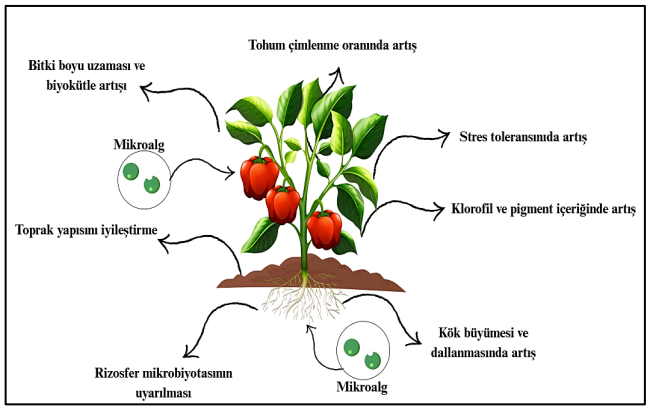
yapılarından dolayı adaptasyon yetenekleri yüksektir (González-Hourcade vd., 2023). Heterotrofik ve ototrofik süreçlere bağlı olarak metabolizmaları değişmektedir. Heterotrofik süreçlerde mikroalg türleri, karbon ve lipit kaynaklarını esas alarak diğer besin maddelerini de kullanırlar. Karbon bazlı metabolit kaynakları arasında glikoz, gliserol, laktat ve asetat bulunmaktadır. Örneğin; *Chlorella vulgaris*, *Galdieria sulphuraria*, *Azospirillum brasilense*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Scenedesmus obliquus* metabolizmalarında bu metabolitleri kullanmaktadır (Perez-Garcia vd., 2021; Sarıtaş vd., 2024). Ototrofik süreçlerde mikroalgler klorofil, karotenoidler ve fikobiliproteinler metabolit olarak kullanılmaktadır. Örneğin; *Haematococcus pluvialis* ve *Chlorella zofingiensis* metabolizmasında bu metabolitler kullanılmaktadır (Del Campo vd., 2007). Ayrıca mikroalglerin ortamdan azot, fosfor ve karbonu alım mekanizmaları bulunmaktadır. Azotu NH_4^+, NO_3^-, NO_2^- veya organik azot, fosforu HPO_4^{-2}, $H_2PO_4^-$ ve inorganik fosfor formunda çözer ve sonrasında, bunları protein, karbonhidrat ve lipit sentezlemek için kullanırlar (Siniffen vd., 2018) (Şekil 2). Hücre yapılarına göre amoeboid, kokoid, palmelloid, filamentli, sarkinoid ve kamçılı olarak çeşitli morfolojik kategorilere ayrılmaktadırlar (Andersen, 2013).



Şekil 2. Mikroalglerin azot, fosfor ve karbon asimilasyonu için metabolik yolları (Wang ve Hong, 2022)

Mikroalglerin bitki gelişimindeki rolü

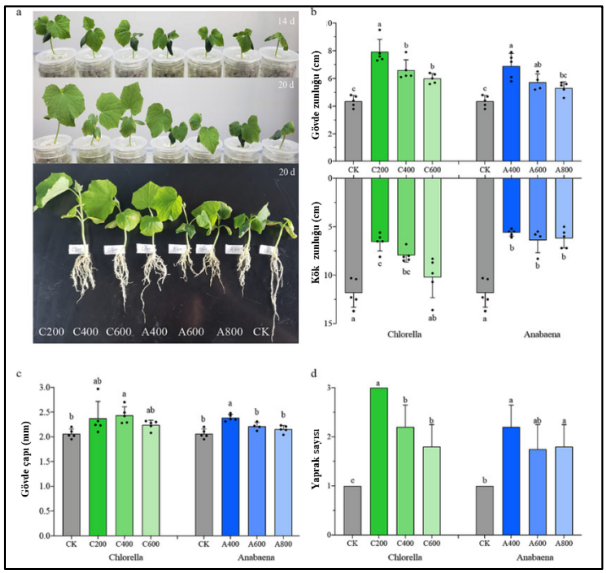
Mikroalglerin hızlı biyokütle üretimi, fotosentetik verimliliğinin yüksek olması ve biyoaktif bileşik sentezleme yetenekleri sayesinde, bitkisel üretimde çevre dostu bir kaynak olarak yer almıştır. Bitki gelişimin destekleme, besin kullanım etkinliğini iyileştirme, stres etmenlerine karşı direnç sağlama gibi etkileri bulunmaktadır (de Morais vd., 2015; Alobwede vd., 2019). Mikroalglerin bitki gelişimini teşvik etmesi doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki mekanizmaya dayanmaktadır. Doğrudan mekanizmada, besin alım verimliliğinin arttırılması, fotosentez uyarımı, tohum çimlenmesinde artış, metabolizma ve fitohormonların düzenlenmesi; dolaylı mekanizmada ile, toprak agregasyonunu iyileştirmesi ve toprak-kök mikrobiyomu etkileşimini arttırması bulunmaktadır (Şekil 3) (Ramakrishnan vd., 2023).



Şekil 3. Mikroalglerin bitki gelişimi üzerine etkileri (Kılıç, FN.)

Mikroalglerin sentezledikleri fitohormonlar; indol asetik asit (IAA), giberellik asit (GA), sitokininler ve absisik asit (ABA) esas olarak bitki gelişiminde etkili olmaktadır (Tarakhovskaya vd., 2007). Mikroalg ve siyanobakterilerin ekstraktlarının uygulanmasının domates bitkisinin boy ve kök uzunluğunu kontrole kıyasla %112.65 ve %53.70 arttırdığını, ayrıca azot, fosfor ve potasyum alımını da arttırdığını ifade etmişlerdir (Mutale-Joan vd., 2020). Diğer bir çalışmada buğday bitkisine mikroalg uygulamasının (*Chlorella vulgaris)* buğday çimlenme indeksini %16.86 ve çimlenme oranı katsayısını %7.87 arttırdığı bildirilmiştir (Minaouı vd., 2024). Soya fasulyesinin köküne uygulanan *Chlorella pyrenoidosa* mikroalginin sürgün ağırlığını ve tane verimini kontrol kıyasla %70 ve %53 oranında arttırdığı belirlenmiştir (Dubey ve Dubey, 2010). *Arthrospira plantensis* ve *Amphora cofeaeformis* mikroalg özütlerinin, hıyar bitkisinde büyümeyi, verimi, meyve kalitesini ve nematod kontrolünü artırdığı kaydedilmiştir (El-Eslamboly vd., 2019). Buna ilaveten salatalık bitkisinin hidroponik sistemde yetiştirildiği koşullarda *Chlorella sp.* ve *Anabaena sp.*'nin, fide gövde çapını ve uzunluğunu

sırasıyla %81.7 ve %58.3 oranında arttırdığını ayrıca yaprak sayısını da arttırdığını ifade etmişlerdir (Şekil 4) (Zhang vd., 2024).



Şekil 4. (a) Salatalık fidelerinin 4. günde ve 20. gündeki görünümü (b) gövde ve kök uzunluğu (c) gövde çapı (d) yaprak sayısı

Mikroalglerin topraktaki rolü

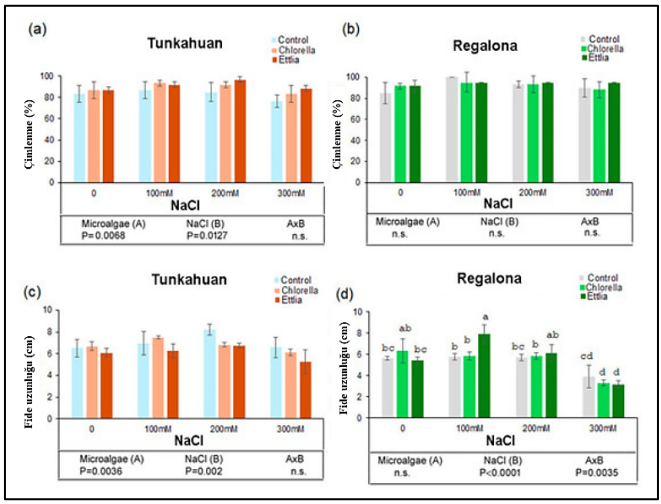
Tarım topraklarında yoğun tarımsal uygulamalar sonucunda toprak verimliliğinde düşüşler ve yapısında bozulmalar meydana gelmektedir (Song vd., 2022). Verimliliği düşmüş ve bozulmuş topraklarda, mikroalgler hücre bölünmesi esnasında filamentler ve kılıflar oluşturarak toprak agregasyonunun sağlanmasına yardımcı olmaktadırlar (Belnap, 2006). Ayrıca, toprak organik maddesinin ayrışmasını, nitrifikasyon ve azot, karbon fiksasyonu aracılığıyla besin maddelerinin çözünürlüğünün artmasına katkı sağlamaktadırlar (Song vd., 2022). Buna ilaveten, mikroalgler karotenoidler, bitki hormonları, proteinler, yağ asitleri, hücre dışı

polisakkaritler (EPS'ler), antibiyotikler ve vitaminler salgılayabilmektedirler (Redmile-Gordon vd., 2020). Mikroalglerin toprakta biyolojik aktiviteyi arttırdığı farklı çalışmalarla desteklenmiştir. Domates bitkisi yetiştiriciliğinde toprağa uygulanan *Chlorella vulgaris* ve *Scenedesmus quadricauda* mikroalg çeşitlerinin bitki büyümesini arttırmasının yanı sıra dehidrogenaz aktivitesinde kontrole kıyasla yaklaşık anlamlı düzeyde artış belirlendiğini ifade etmişlerdir (Barone vd., 2019). Benzer şekilde pirinçte *Chlorella vulgaris* ve *Spirulina platensis* uygulamalarının kontrole göre dehidrogenaz aktivitesini yaklaşık %40.5 oranında arttırmıştır (Dineshkumar vd., 2018).

Mikroalglerin abiyotik stres toleransındaki rolü

İklim değişikliği sonucunda artan sıcaklıklar mahsul verimliliğinde her artan derece başına yaklaşık %5'lik bir düşüşe meydana gelmektedir (Lobell ve Gourdji, 2012). Tuzluluk, kuraklık, sıcaklık değişimleri gibi abiyotik stresler, bitkisel üretimde verimin düşmesinden sorumludur (Bilal vd., 2020). Abiyotik stres durumunun artışı ile bitkilerde reaktif oksijen türlerinin protein sentezini değiştirmesi, lipid peroksidasyonunu indüklemesi, membran geçirgenliğini değiştirmesi, enzimleri inaktif hale getirmesi ile stres durumu oluşmaktadır (Singh vd., 2019). Alt başlıklarda da geçtiği üzere mikroalglerin fonksiyonel grupları sayesinde, EPS salgılamaları, besin elementlerinin çözünürlüklerini sağlaması ve bitki gelişimini desteklemesiyle abiyotik stres faktörlerine karşı toleransa yardımcı olurlar (Lee ve Ryu, 2021). Biber bitkisinde yapılan bir çalışmada *Dunaliella salina* mikroalginin tuzluluğa karşı antioksidan enzim aktivitelerini arttırmıştır (El Arroussi vd., 2018). *Ettlia pseudoalveolaris* ve *Chlorella vulgaris* uygulanan

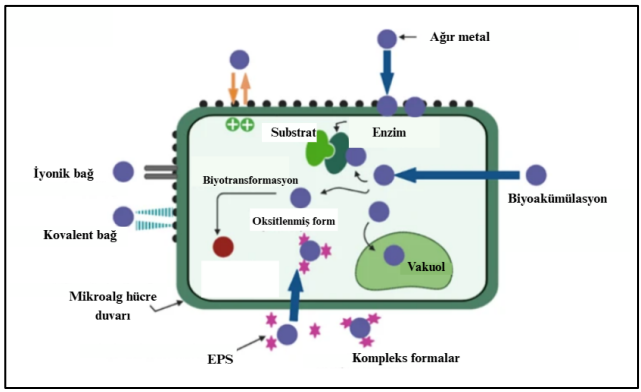
kinoa bitkisi çeşitlerinde (Tunkahuan ve Regalona) tuzluluk stresi maruziyetinde çimlenme yüzdesi ve fide uzunluğu etkisi Tunkahuan çeşidinde önemli bulunurken diğer çeşitte önemsiz bulunmuştur. Kinoa çeşitlerinde mikroalg uygulamaları genel olarak stres durumunu azaltıcı etki göstermiştir (Şekil 5) (Fiorentino vd., 2025).



Şekil 5. (a, c) *Chlorella vulgaris*, *Ettlia pseudoalveolaris* ve kontrol grubunda Tunkahuan çeşidinde, (b, d) Regalona çeşidinde filizlerde çimlenme yüzdesi ve fide uzunluğu

Buna ilaveten mikroalglerin bitkide askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz, katalaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidanların düzenlemesi sayesinde kuraklık stresindeki hasarı hafiflettiği hakkında çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Haggag vd., 2018; Kusvuran, 2021; Wang vd., 2023). Abiyotik stres faktörleri arasında yer alan ağır metaller, insan ve çevre sağlığı içim ciddi bir tehdit kaynağıdır (Sönmez ve Kılıç, 2021). Mikroalglerin ağır metalleri adsorpsiyon sürecinde hem serbest radikalleri serbest bırakmakta hem de glutatyon redüktaz, süperoksit dismutaz, peroksidaz ve katalaz gibi

antioksidanları sentezlemektedir (Upadhyay vd., 2016). Kirlenmiş ortamdan ağır metal giderimi mikroalglerde biyosorpsiyon ve biyoakümülasyon olmak üzere iki aşamalı süreçle gerçekleşmektedir. Mikroalglerin hücre duvarında bulunan makromoleküller aracılığıyla ağır metallerdeki anyon ve katyonlar hücre duvarına bağlanmaktadır (Priatni vd., 2018; Pradhan vd., 2019).



Şekil 6. Mikroalglerin ağır metalleri alma mekanizması (Tawfik vd., 2022)

SONUÇ

Mikroalgler tarımsal üretimde bitki gelişimini desteklemesi ve toprak sağlığını olumlu yönde etkilemektedir. Bu organizmaların ürettiği fitohormonlar bitki büyümesini desteklemekte, fotosentez verimliliğini ve biyokütle üretimini arttırmaktadır. Ayrıca toprakta biyolojik aktiviteyi artırarak besin döngüsüne katkı sağlamaktadır. Stres koşulları altında antioksidan savunma sistemlerini aktive ederek bitkilerin dayanıklılığını artırmakta, iyon dengesi ve ozmotik tolerans üzerinde olumlu etkiler oluşturmaktadırlar. Bu potansiyel etkilerinden dolayı mikroalgler, sürdürülebilir ve çevre dostu tarımsal üretim için değerlendirilmesi gereken bir kaynak olarak öne çıkmaktadır.

Kaynaklar

Alobwede, E., Leake, J. R., & Pandhal, J. (2019). Circular economy fertilization: Testing micro and macro algal species as soil improvers and nutrient sources for crop production in greenhouse and field conditions. Geoderma, 334, 113-123.

Andersen, R. A. (2013). The microalgal cell. Handbook of microalgal culture: applied phycology and biotechnology, 1-20.

Barone, V., Puglisi, I., Fragalà, F., Stevanato, P., & Baglieri, A. (2019). Effect of living cells of microalgae or their extracts on soil enzyme activities. Archives of Agronomy and Soil Science, 65(5), 712-726.

Barsanti, L., & Gualtieri, P. (2022). Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology. CRC press.

Belnap, J. (2006). The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. Hydrological Processes: An International Journal, 20(15), 3159-3178.

Bilal, S., Shahzad, R., Imran, M., Jan, R., Kim, K. M., & Lee, I. J. (2020). Synergistic association of endophytic fungi enhances Glycine max L. resilience to combined abiotic stresses: Heavy metals, high temperature and drought stress. Industrial Crops and Products, 143, 111931.

Cao, T. N. D., Mukhtar, H., Le, L. T., Tran, D. P. H., Ngo, M. T. T., Pham, M. D. T., ... & Bui, X. T. (2023). Roles of microalgae-based biofertilizer in sustainability of green agriculture and food-water-energy security nexus. Science of The Total Environment, 870, 161927.

Chanda, M. J., Merghoub, N., & El Arroussi, H. (2019). Microalgae polysaccharides: the new sustainable bioactive products for the development of plant bio-stimulants?. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 35(11), 177.

de Morais, M. G., Vaz, B. D. S., de Morais, E. G., & Costa, J. A. V. (2015). Biologically active metabolites synthesized by microalgae. BioMed research international, 2015(1), 835761.

Decesaro, A., Rampel, A., Machado, T. S., Thomé, A., Reddy, K., Margarites, A. C., & Colla, L. M. (2017). Bioremediation of soil contaminated with diesel and biodiesel fuel using biostimulation with microalgae biomass. Journal of Environmental Engineering, 143(4), 04016091.

Del Campo, J. A., García-González, M., & Guerrero, M. G. (2007). Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives. Applied microbiology and biotechnology, 74(6), 1163-1174.

Dineshkumar, R., Kumaravel, R., Gopalsamy, J., Sikder, M. N. A., & Sampathkumar, P. (2018). Microalgae as bio-fertilizers for rice growth and seed yield productivity. Waste and biomass valorization, 9(5), 793-800.

Dubey, A., & Dubey, D. (2010). Evaluation of cost effective organic fertilizers.

El-Eslamboly, A. A. S. A., Abd El-Wanis, M. M., & Amin, A. W. (2019). Algal application as a biological control method of root-knot nematode Meloidogyne incognita on cucumber under protected culture conditions

and its impact on yield and fruit quality. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 29(1), 18.

Garcia-Gonzalez, J., & Sommerfeld, M. (2016). Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga Acutodesmus dimorphus. Journal of applied phycology, 28(2), 1051-1061.

González-Hourcade, M., Fernando, D., & Gentili, F. G. (2023). Morphological and cellular organization of green microalgae to cope with cold stress in subarctic environment. Algal Research, 75, 103254.

Haggag, W. M., Hoballah, M. M. E., & Ali, R. R. (2018). Applications of nano biotechnological microalgae product for improve wheat productivity in semi arid areas.

Harun, R., Singh, M., Forde, G. M., & Danquah, M. K. (2010). Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. Renewable and sustainable energy reviews, 14(3), 1037-1047.

Kour, D., Rana, K. L., Yadav, A. N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., ... & Saxena, A. K. (2020). Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 23, 101487.

Lee, S. M., & Ryu, C. M. (2021). Algae as new kids in the beneficial plant microbiome. Frontiers in Plant Science, 12, 599742.

Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. (2012). The influence of climate change on global crop productivity. Plant physiology, 160(4), 1686-1697.

Mahapatra, D. M., Satapathy, K. C., & Panda, B. (2022). Biofertilizers and nanofertilizers for sustainable agriculture: Phycoprospects and challenges. Science of the total environment, 803, 149990.

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. Achtar) and soil fertility. Algal Research, 82, 103655.

Mutale-Joan, C., Redouane, B., Najib, E., Yassine, K., Lyamlouli, K., Laila, S., ... & Hicham, E. A. (2020). Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of Solanum lycopersicum L. Scientific reports, 10(1), 2820.

Pereira, L. (2021). Macroalgae. Encyclopedia, 1(1), 177-188.

Perez-Garcia, O., Escalante, F. M., De-Bashan, L. E., & Bashan, Y. (2011). Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products. Water research, 45(1), 11-36.

Pingali, P. L. (2012). Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. Proceedings of the national academy of sciences, 109(31), 12302-12308.

Pradhan, D., Sukla, L. B., Mishra, B. B., & Devi, N. (2019). Biosorption for removal of hexavalent chromium using microalgae Scenedesmus sp. Journal of Cleaner Production, 209, 617-629.

Priatni, S., Ratnaningrum, D., Warya, S., & Audina, E. (2018, June). Phycobiliproteins production and heavy metals reduction ability of Porphyridium sp. In IOP conference series: Earth and environmental science (Vol. 160, p. 012006). IOP Publishing.

Ramakrishnan, B., Maddela, N. R., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2023). Potential of microalgae and cyanobacteria to improve soil

health and agricultural productivity: a critical view. Environmental Science: Advances, 2(4), 586-611.

Redmile-Gordon, M., Gregory, A. S., White, R. P., & Watts, C. W. (2020). Soil organic carbon, extracellular polymeric substances (EPS), and soil structural stability as affected by previous and current land-use. Geoderma, 363, 114143.

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.

Sarıtaş, S., Kalkan, A. E., Yılmaz, K., Gurdal, S., Göksan, T., Witkowska, A. M., ... & Karav, S. (2024). Biological and nutritional applications of microalgae. Nutrients, 17(1), 93. Shaikh, R., Rizvi, A., Pandit, S., Desai, N. ve Patil, R. (2022). Mikroalgler: Sınıflandırma, biyoaktifler, tıbbi özellikler, endüstriyel uygulamalar ve geleceğe yönelik beklentiler. Atık su arıtımında fikoremediasyon proseslerinin entegrasyonu (s. 451-486). Elsevier.

Sarkhel, R., Gupta, P., & Mandal, T. (2025). Bioremediation of Microplastics by Cyanobacteria. In Microplastics in the Terrestrial Environment (pp. 316-330). CRC Press.

Singh, A., Kumar, A., Yadav, S., & Singh, I. K. (2019). Reactive oxygen species-mediated signaling during abiotic stress. Plant gene, 18, 100173.

Sniffen, K. D., Sales, C. M., & Olson, M. S. (2018). The fate of nitrogen through algal treatment of landfill leachate. Algal research, 30, 50-58.

Solomon, W., Mutum, L., Janda, T., & Molnár, Z. (2023). Potential benefit of microalgae and their interaction with bacteria to sustainable crop production. Plant Growth Regulation, 101(1), 53-65.

Song, X., Bo, Y., Feng, Y., Tan, Y., Zhou, C., Yan, X., ... & Cheng, P. (2022). Potential applications for multifunctional microalgae in soil improvement. Frontiers in Environmental Science, 10, 1035332.

Sönmez, O., & Kılıç, F. N. (2021). Toprakta ağır metal kirliliği ve giderim yöntemleri. Turkish Journal of Agricultural Engineering Research, 2(2), 493-507.

Tarakhovskaya, E. R., Maslov, Y. I., & Shishova, M. F. (2007). Phytohormones in algae. Russian Journal of Plant Physiology, 54(2), 163-170.

Tawfik, A., Eraky, M., Alhajeri, N. S., Osman, A. I., & Rooney, D. W. (2022). Cultivation of microalgae on liquid anaerobic digestate for depollution, biofuels and cosmetics: a review. Environmental Chemistry Letters, 20(6), 3631-3656.

Tomaselli, L. (2004). The microalgal cell. Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology, 1, 3-19.

Upadhyay, A. K., Mandotra, S. K., Kumar, N., Singh, N. K., Singh, L., & Rai, U. N. (2016). Augmentation of arsenic enhances lipid yield and defense responses in alga Nannochloropsis sp. Bioresource technology, 221, 430-437.

Wang, B., Li, X., & Wang, G. (2023). Responses of the desert green algae, Chlorella sp. to drought stress. Journal of Phycology, 59(6), 1299-1309.

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.

Wang, X., & Hong, Y. (2022). Microalgae biofilm and bacteria symbiosis in nutrient removal and carbon fixation from wastewater: a review. Current Pollution Reports, 8(2), 128-146.

Xıe, Y., Wang, J., Su, T., Lı, H., Tan, B., & Yang, W. (2022). Effects of partial substitution of chemical fertilizers by organic fertilizers on lettuce growth and soil environment. Journal of Southwest University Natural Science Edition, 44(5), 41-49.

Yeheyo, H. A., Ealias, A. M., George, G., & Jagannathan, U. (2024). Bioremediation potential of microalgae for sustainable soil treatment in India: a comprehensive review on heavy metal and pesticide contaminant removal. Journal of Environmental Management, 363, 121409.

Zhang, Z., Xu, M., Fan, Y., Zhang, L., & Wang, H. (2024). Using microalgae to reduce the use of conventional fertilizers in hydroponics and soil-based cultivation. Science of the Total Environment, 912, 169424.

Zhu, L., Li, Z., & Hiltunen, E. (2018). Microalgae Chlorella vulgaris biomass harvesting by natural flocculant: effects on biomass sedimentation, spent medium recycling and lipid extraction. Biotechnology for biofuels, 11(1), 183.