

Derleme Makalesi/Review Article

Metal Nanopartiküllerin Mikroalgler Üzerine Olan Etkileri ve Uygulamaları

Effects of Metal Nanoparticles on Microalgae and Their Applications

Dilek Yalçın Duygu*

Geliş / Received : 23/05/2018

Revize / Revised : 30/08/2018

Kabul / Accepted : 19/09/2018

Öz- Bu derlemede, metal nanopartiküllerin (NP) sentezi, özellikleri ve mikroalglerle olan etkileşimleri ile uygulamaları hakkında genel bir bakış sunulmaktadır. NP'ler, 1-100 nm arasında değişen büyüklükteki maddelerdir. Özellikleri, şekilleri veya büyüklüklerine göre farklı sınıflara ayrılabilirler. Bu özellikleri nedeniyle, kataliz, görüntüleme, tıbbi uygulamalar, enerji tabanlı ve çevresel uygulamaları içeren çeşitli ticari uygulamalar için uygun adaylardır. Biyonanoteknoloji ile biyolojik sistemler kullanılarak nanomateryal sentezi gerçekleştirilmektedir. Bu tür biyolojik sistemler arasında mikroalgler, metal iyonlarını almak ve detoksifikasyon süreci ile nanopartiküller üretmek için çok büyük bir potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler- Mikroalg, nanopartikül, biyonanoteknoloji, sekonder metabolit

Abstract- In this review, synthesis and properties of metal nanoparticles (NP) and their interactions and applications with microalgae are presented. NPs are of size ranging from 1-100 nm. They can be divided into different classes according to their features, shapes or sizes. Because of these features, they are suitable candidates for various commercial applications including catalysis, imaging, medical applications, energy-based and environmental applications. Nanomaterial synthesis is carried out by biological systems with bionanotechnology. Among such biological systems, microalgae have a tremendous potential to take up metal ions and produce nanoparticles with the detoxification process.

Keywords- Microalgae, nanoparticule, bionanotechnology, secondary metabolite

I. GİRİŞ

Algler, karbondioksiti atmosferden organik karbon haline dönüştürmek için güneş ışığı kullanan fotosentetik organizmalardır ve diğer organizmalar için hem hücrel karbon hem de kimyasal enerjinin nihai kaynağıdır. Bu nedenle, alglere birincil üreticiler de denilmektedir [1]. Algler yapısal olarak tek hücreli (mikroalg) ve çok hücreli (makroalg) olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar. Algler içerdikleri pigmentlere, depo maddelerine ve hücre duvarı yapı taşlarına göre mavi-yeşil bakteriler (Cyanobacteria), mavi-yeşil algler (Glaucophyta), öglenalar (Euglenophyta), Kriptomonadlar (Cryptophyta), Haptofitler (Haptophyta), Dinoflagellatlar (Dinophyta), kahverengi algler (Ochrophyta), kırmızı algler (Rhodophyta) ve yeşil algler (Chlorophyta) olarak sınıflandırılırlar [2]. Mikroalglerin fototrofik büyümesi için ışık, karbondioksit ve besin maddelerine ihtiyaçları vardır [3]. Bazıları, karbon kaynağı olarak şeker, gliserol veya organik asit kullandıkları için heterotrofik veya hem fototrofik hem de heterotrofik olabildikleri için mikstotrofik olarak büyüebilirler [4]. Alglerin %70'i ekolojik olarak sularda (deniz, göl ve nehirler) yaşamakla birlikte, karasal ortamda da (toprak, ağaç ve kayalar) yaşayabilmektedirler [2]. Mikroalg büyümesi için optimum sıcaklık genellikle 20-30°C'dir. Ancak bazı suşların buzla kaplı alanlarda çok daha düşük sıcaklıklarda, kaynak suları gibi yüksek (70°C) sıcaklıklarda, çok tuzlu su ortamlarında, düşük ışık yoğunluğu ve yüksek basınç altındaki göl ve deniz ortamlarında büyüebildiği de bildirilmiştir [5,6]. Mikroalgler yapılarında bulunan lipit, pigment, karbonhidrat, vitamin ve protein gibi endüstrinin farklı uygulama alanlarında değerlendirilebilecek bileşiklerin kaynağıdır [7].

*Sorumlu yazar iletişim: dilekduygu06@hotmail.com

Orta Öğretim Fen ve Matematik Alanları, Gazi Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Bu özelliklerinden dolayı kozmetik ve ilaç endüstrisinde, su ürünleri yetiştiriciliğinde, atık sularındaki kirletici maddelerin uzaklaştırmasında kullanılmaktadır. Ayrıca mikroalgler, yüksek yağ içeriği ve hızlı biyokütle üretimi nedeniyle biyoyakıt üretimi için potansiyel olarak iyi bir kaynak oluşturmaktadır [8-10].

Nanometre aralığındaki metal nanopartiküller optik, elektrik ve manyetik özelliklere sahiptir. Kozmetikten ilaca kadar değişen artan sayıdaki ticari ürünler, kazayla ya da tesadüfen çevreye salınabilecek şekilde üretilmiş nanomalzemelere sahiptir [11]. Son günlerde, nanopartiküllerin, bitki koruma ve üretimi, kozmetik, ilaç, fotonik kristaller, çeşitli analizler, gıda, kaplamalar, boyalar, kataliz ve malzeme biliminde çeşitli uygulamaları bulunmaktadır. Metal nanopartiküllerin, özellikle de TiO₂, ZnO, CuO, PbO gibi ağır metal veya iz metal iyonları içerenlerinin suda yaşayan organizmalar için toksik olduğu bulunmuştur [12].

Alg biyoteknolojisinde nanomalzemelerin uygulanması oldukça yenidir. Uygulamaların kolaylaştırılıp güvenilirliğinin sağlanması için, nanopartiküllerin özelliklerinin deneysel yaklaşım ile ortaya konulması gerekmektedir. Birçok metalin, metalloidlerin ve metalik nanopartiküllerin mikroalg büyümesi ve metabolizmasını etkilediği bilinmektedir [13]. Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlu nanoparçacıkların alg biyokütlesine katılmasının gıda ya da ilaçlarda kullanıldığında insan sağlığı risklerine neden olabileceği ve algal biyodizel üretiminde uygulandığında risklerin çok daha düşük olduğu düşünülmektedir [14,15]. Bu çalışma, metal nanopartiküllerin sentezi, özellikleri ve mikroalg türleri üzerine etkileri ile mikroalglerden nanopartiküller kullanılarak endüstriyel bileşikler üretmek için yapılan uygulamalar hakkında bir bakış sunmaktadır.

II. NANOPARTİKÜL (NP)

Nanobilim, çeşitli bilim ve teknoloji alanlarında geniş bir uygulama yelpazesini kapsayan, hızla gelişen bir alandır. Nanoteknoloji, nanomateryaller ve nanopartikül sözcüklerinde kullanılan Yunanca ön ek 'nano', bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelmektedir. Nanoteknoloji, 100 nm'den daha küçük biyolojik ve biyolojik olmayan yapıların karakterizasyonu, yapımı ve işlenmesi üzerinde yoğunlaşmış bir teknolojidir. Nano ölçekli malzemeler 1-100 nm boyut aralığında olan malzemelerdir. Bir nanometre ise metrenin bir milyarda birine eşit bir uzunluk birimidir [16,17]. Nanoteknolojiyi diğer bilim dallarından ayıran en önemli özellik nano boyutlarda malzemelerin yüzey/hacim oranlarının artmasıdır. Bu sayede malzemenin özelliklerinde büyük değişiklikler sağlanabilmektedir [16,18,19]. Yüzey/hacim oranlarına bağlı olarak; çok ince filmler, tüpler, teller ve kaplamalar gibi geleneksel biçimlerine kıyasla yeni işlevler ve özellikler taşıyan malzemeler üretmek için kullanılabilirler. Tasarlanmış nanopartiküller elektronik, gıda teknolojisi, enerji ve ilaç sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve 20 milyar €'luk tahmini küresel piyasa değerine sahiptir [20]. Nanopartiküller, antiviral, antibakteriyel, antifungal, antikanser ve antiparazit özelliklere sahip olmakla birlikte, kataliz veya fotonik alanlarda uygulama bulmaktadırlar [13, 21]. Metalik nanopartiküller, dökme metallere farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere (ör., daha düşük erime noktaları, daha yüksek spesifik yüzey alanları, optik özellikler, mekanik mukavemet ve manyetizasyon) sahiptirler ve bu nedenle çeşitli endüstriyel uygulamalarda daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle sahip oldukları optik özellikler son derece caziptir. Örneğin, 20 nm'lik bir altın nanoparçacık karakteristik şarap kırmızısı, gümüş bir nanoparçacık sarımsı gri, platin ve paladyum nanopartikülleri ise siyah renktedir. Nanopartiküllerin optik özellikleri, MS 4. yüzyıldan önceki zamanlarda bile heykelerde ve resimlerde kullanılmıştır [22].

III. NANOPARTİKÜLLERİN SENTEZLENMESİ

NP'lerin pek çok endüstriyel alanda sıkça kullanılmaya başlanması, nanopartikül sentezlenmesinin de önemini artırmaktadır. Herhangi bir maddeye dışarıdan mekaniksel ya da kimyasal uygulamalarla enerji verilerek maddenin nanoboyuta parçalanması sağlanabilmekte olup, NP sentezi için pek çok farklı yöntem geliştirilmiştir [19]. Nano partiküllerin üretiminde yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı olarak adlandırılan iki ana yaklaşım bulunmaktadır [18]. Yukarıdan aşağıya yaklaşımda hacimsel malzemeye dışarıdan mekaniksel veya kimyasal işlemler ile enerji verilmesi sonucunda malzemenin nano boyuta kadar inebilecek küçük parçalara ayrılması sağlanmaktadır [23]. Aşağıdan yukarıya yaklaşımda ise atomlar veya moleküller ile organik veya inorganik yapı inşa edilmektedir [24]. Yüksek kaliteli nanopartiküllerin üretimi, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında basit operasyonlarla gerçekleştirilebilmektedir [25]. Nanopartiküllerin üretimi için; mekanik, lazer ve UV ışınlama işlemleri, mikroemülsiyon sistemi, hidrotermal proses, sol-jel işlemi, kimyasal buhar yoğunlaşması, sonokimyasal işleme ve mikrobiyal biyosentez gibi teknikler kullanılmaktadır [26]. Nanopartikül üretiminde kullanılan teknolojiler ile elde edilen partiküllerin toksik içeriklerinin yüksek olması, partikül kararlılıklarının iyi olmaması ve kullanılan teknolojilerin pahalı olması yeni teknolojilerin araştırılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır [27]. Bu bağlamda araştırmalar doğada var olan, nano boyutlar içeren maddelerin ve canlıların incelenmesine yönelmiş ve canlı yapılar kullanılarak inorganik maddelerin üretilmesi araştırılmaya

başlanmıştır. Mikroorganizmalar (bakteri, maya, mantar ve mikroalgler) ile bitkilerin ya da bitki kısımlarının kullanıldığı biyolojik yöntemlerle nanopartiküllerin sentezi ve üretimi yeşil ve çevre dostu bir yöntemdir [28]. “Yeşil Nanoteknoloji” çevre dostu, toksik madde içeriğinin az olduğu, canlı hücrelerden nanopartikül üretimi esasına dayanan bir kavram olarak ortaya çıkmıştır. Diğer yöntemlere kıyasla biyolojik prosedür ile, sürdürülebilir, daha düşük maliyetli ve büyük miktarlarda nanopartiküller üretilebilmektedir [29-31].

Nanopartiküllerin biyosentezi çeşitli mikroorganizmalar tarafından hücre içi ve hücre dışı biyokimyasal yollardan ortaya çıkar. Genel olarak, nanopartiküllerin sentezinin, toksik maddelere maruz kalmanın bir sonucu olarak, bu materyalin yakalanması veya elektrostatik etkileşimler aracılığıyla hücre dışı maddelerin salgılanması ile oluştuğu düşünülmektedir. Alternatif olarak nanopartiküller hücre dışı veya hücre içi enzimler ile oluşturulabilmektedir [32,33].

IV. NANOPARTİKÜLLERİN MİKROALGLERE OLAN ETKİLERİ

Mikroalglerin hücresel fonksiyonları için metaller vazgeçilmezdir. Fotosentez döngüsü, DNA transkripsiyonu, P alımı ve N₂ asimilasyonuna katılan enzimler için kofaktör olarak görev yaparlar. Metaller ayrıca mikroalg hücrelerin morfolojisini de etkiler. Metallerin varlığı klorofil, karotenoid ve fikobilinler gibi fotosentez işleminde görev alan pigmentlerin üzerinde de etkilidir. Bununla birlikte, metallerin ve ağır metallerin yüksek konsantrasyonları mikroalg hücrelerinde negatif etkilere neden olabilmektedir [34].

Metaloid ve metalik nanopartiküller de mikroalgler üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Nanopartiküllerin mikroalglere olan toksik etkisinin, oksidatif strese neden olan reaktif oksijen türleri oluşumu, gölgeleme etkisi ve aglomerasyon ile ilişkili olduğu bilinmektedir [35]. Nanopartiküllerin inhibe edici aktivitesi; büyüklüklerine, mikroalg kültürünün yaşına ve büyüme ortamı bileşimine bağlıdır. Alglerin ağır metal partiküllerinin biyoabsorpsiyonu, bu parçacıkların yüzey yükü ile ilişkilidir. Algal hücre duvarlarının eleme özelliğinden dolayı, 5-20 nm arasındaki NP'lerin hücre duvarından geçerek, hücre zarına ulaşması beklenir [11]. Birçok metal (Fe, Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, Hg, Pb, La, Li, V), metaloid (As, Te) ve metalik nanopartiküllerin (Ag, Pt, TiO₂, ZnO, CeO₂, NiO, BaTiO₃, Y₂O₃, Al₂O₃) mikroalg büyümesi ve metabolizması için stres oluşturucu veya modülatör olarak işlev görebileceği yapılan çalışmalarla ifade edilmektedir [13]. Diğer taraftan, nanopartiküllerden salınan metal iyonları siyanobakteri ve mikroalg büyümesini teşvik edebilmektedir [15]. Oksit nanopartiküllerin mikroalgler üzerindeki toksisitesi hakkında birçok çalışma bildirilmiş olmasına rağmen, sadece birkaç çalışma algal biyoteknoloji üzerindeki potansiyel etkilere odaklanmıştır [36]. Örneğin, AgNP'lerin oksidatif çözünmesinden ortama Ag⁺ salınımı, bakteriler ve algler de dahil olmak üzere çeşitli organizmaları olumsuz yönde etkileyebilir. AgNP'lerin proteinlerle etkileştiği gösterilmiştir. Algal hücrelerde AgNP'lerin etkisi; toplam klorofil içeriğindeki zamansal azalma, fotosentetik enzimleri ters yönde etkilenmesi, kromozomal anormallikler ve hücre çeperine zarar vermesi şeklinde ortaya çıkmaktadır [37,38].

V. MİKROALGLER ÜZERİNE YAPILAN NANOPARTİKÜL UYGULAMALARI

Ekolojik sistemlerin korunması için çeşitli kanallarla ortama bulaşmış kontaminantların uzaklaştırılması amacıyla fiziksel ve kimyasal birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlere alternatif olarak kontaminantların biyolojik olarak uzaklaştırılması, taşınması anlamına gelen “Bioremediasyon Yöntemi” sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [19]. Ancak verimlilik, operasyonel yöntem, enerji gereksinimleri ve yüksek maliyet gibi faktörler bu yöntemin kullanılabilirliğini kısıtlamıştır. Özellikle sucul ekosistemler için mikroalglerin; absorpsiyon ve biyolojik birikim özelliklerinden dolayı nanopartiküllerin taşınımında önemli rol oynayabilecekleri düşünülmektedir. Son yıllarda nano ölçekli malzemeler; etkinlik, maliyet ve çevre dostu olmaları nedeniyle mevcut malzemelere alternatif hale gelmiştir [39]. Biyosentez, zararlı kimyasal kullanımını en aza indirmeye yardımcı olmakla beraber, basit ve uygun maliyetli oluşu ve zamandan tasarruf sağlaması nedeniyle avantajlıdır. Zn, Ag, Au, Fe ve Cu nanopartikülleri birçok araştırmacı tarafından bakteriler, mantarlar ve algler kullanarak sentezlenmiştir. *Cystophora moniliformis* (ZnNP); *Sargassum muticum*, *Navicula atomus* (AgNP); *Klebsormidium flaccidum*, *Tetraselmis kachinensis* (AuNP); *Sargassum muticum* (FeNP); *Bifurcaria bifurcate* (CuNP) araştırmacılar tarafından alglerden elde edilen NP'lerdir [40]. Kahverengi bir alg olan *Sargassum glaucescens*'den elde edilen NP'ler kullanılarak nikel ve kobaltın ortamdaki uzaklaştırılmasında metal iyon biosorpsiyonunun uygulanabilir, endotermik ve kendiliğinden olabildiği sonucu elde edilmiştir [41]. AgNP'lerin biyosentezinde; iki alg (*Nannochloropsis oculata* ve *Chlorella vulgaris*) ile üç laktobasil (*Lactobacilli acidophilus*, *Lactobacilli casei*, *Lactobacilli reuteri*) kullanılmış ve nanomalzemelerin üretiminde umut verici olduğu ifade edilmiştir [42]. Mavi-yeşil algler arasında *Anabaena*, *Calothrix*, *Leptolyngbya* ve *Nostoc ellipsosporum*'un hücre içi Au, Ag, Pd ve Pt nanopartiküllerini sentezlediği bildirilmiştir [43,44]. Yeşil alg *Chlorella vulgaris*'in hücre içinde Au, Pd, Pt, Ru, Rh ve Ir'nin nanopartikül ürettiği rapor edilmiştir [45].

Ag iyonları ve Ag bazlı bileşikler bakterisidler olarak bilinir, düşük derişimde toksik değildir ve antibakteriyel ajan olarak nanopartiküllerle çalışan araştırmacıların ilgisini çekmiştir. AgNP, mikrobiyal hücrelerle temas eden geniş yüzey alanı nedeniyle etkili antibakteriyel aktivite gösterir [46]. AgNP'lerin antibakteriyel aktivitesi *Cyanobacteria* ve *Chlorophyta*'ya mensup bazı türler tarafından sentezlenmiş ve patojenik bakteriler üzerinde test edilmiştir. Test edilen *Cyanobacteria*'ların ve mikroalglerin çoğunun AgNP'leri sentezleyebildiklerini göstermiştir. Sentezlenen AgNP'lerin büyüklüğü ve şeklinin kullanılan suşa bağı olduğı da saptanmıştır [33]. Yeşil mikroalg *Chlamydomonas reinhardtii* kullanılarak AgNP'lerin biyosentezi ve antimikrobiyal potansiyeli, patojen bir bakteri olan *Listeria monocytogenes* üzerinde araştırılmıştır. Sonuçta patojen büyümesini inhibe edebildiğı gösterilmiştir [47].

Mikroalg kültürlerinden elde edilen değerli bileşiklerin sentezinin ve üretiminin artırılması üzerine çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Metal, metaloid ve metalik nanopartiküller mikroalg büyümesi ve metabolizmasına hem stres oluşturuucu hem de modölatörler olarak etki yapabilmektedir. Mikroalg hücrelerini metale maruz bırakarak pigment, lipit, peptit vb. hedef ürünlerin sentezini başlatmak ve artırmak ilginç bir yöntem olarak görölmektedir. Özellikle algal lipit üretimi, biyoyakıt elde edilmesi konusundaki artan endişeye bağı olarak yoğun ilgi çekmektedir. Kimyasal (metal stres) veya fiziksel, çevresel koşullar altında mikroalg yetiştiriciliğı, hedef bileşiklerin üretimini uyarabilir, büyük miktarlarda TAG'lerin sentezi ve birikimine neden olabilir. Oksidatif stresi indükleyen tipik nanopartiküllerin, uygun konsantrasyonda uygun bir şekilde uygulandığında, alg büyümesini ve sekonder metabolitleri biriktirmeyi destekleyen bir aday olabileceğı araştırmacılar tarafından varsayılmaktadır [35, 48].

KAYNAKLAR

- [1] Duygu Yalçın, D., “*Chlorella vulgaris* Beyerinck [Beijerinck] (Chlorophyta) suşlarının kesikli kültür sisteminde yığın kültürlerinin üretimi üzerine bir çalışma”, *LIMNOFISH-Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, vol. 3(2), pp. 61-67, 2017.
- [2] Aktar, S. ve Elgin Cebe, G., “Alglerin genel özellikleri, kullanım alanları ve eczacılıktaki önemi”, *Ankara Ecz. Fak. Derg.*, vol. 39(3), pp. 237-264, 2010.
- [3] Hattab, M. and Ghaly, A., “Effects of Light exposure and nitrogen source on the production of oil from freshwater and marine water microalgae”, *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, vol. 10(4), pp. 208-230, 2014.
- [4] Lowrey, J., Brooks, M.S. and McGinn, P.J., “Heterotrophic and mixotrophic cultivation of microalgae for biodiesel production in agricultural wastewaters and associated challenges-a critical review”, *J. Appl. Phycol.*, vol. 27, pp. 1485-1498, 2015.
- [5] Bleeke, F., Rwehumbiza, V.M., Winckelmann, D. and Klöck, G., “Isolation and characterization of new temperature tolerant microalgal strains for biomass production”, *Energies*, vol.7, pp. 7847-7856, 2014.
- [6] Cirik, Ş. ve Cirik, S., *Su bitkileri I-Deniz Bitkilerinin Biyolojisi, Ekolojisi ve Yetiřtirme Teknikleri*, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, Bornova, İzmir, 58, pp. 135-145, 2011.
- [7] Varshney, P., Mikulic, P., Vonshak, A., Beardall, J. and Wangikar, P.P., “Extremophilic micro-algae and their potential contribution in biotechnology”, *Bioresour. Technol.*, vol.184, pp. 363-372, 2015.
- [8] Velichkova, K., Sirakov, I. and Georgiev G., “Cultivation of *Botryococcus braunii* strain in relation of its use for biodiesel production”, *J Bio Sci Biotech*, pp. 157-162, 2012.
- [9] Lorenz, R.T. and Cysewski, G.R., “Commercial potential for Haematococcus microalgae as a natural source of astaxanthin”, *Tibtech*, vol. 18, pp. 160-167, 2000.
- [10] Sirakov, I., Velichkova, K., Stoyanova, S. and Staykov, Y., “The importance microalgae for aquaculture industry. Review”, *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, vol. 2(4), pp. 81-84, 2015.
- [11] Dash, A., Singh, A.P., Chaudhary, B.R., Singh, S.K. and Dash, D., “Effect of silver nanoparticles on growth of eukaryotic green algae”, *Nano-Micro Lett.*, vol. 4(3), pp. 158-165, 2012.
- [12] López-Serrano, A., Olivas, R.M., Landaluze, J.S. and Cámara, C., “Nanoparticles: a global vision, characterization, separation, and quantification methods, potential environmental and health impact”, *Analytical Methods*, vol. 6(1), pp. 38-56, 2014.

- [13] Miazek, K., Iwanek, W., Remacle, C., Richel, A., and Goffin, D., “Effect of metals, metalloids and metallic nanoparticles on microalgae growth and industrial product biosynthesis: a review”, *Int. J. Mol. Sci.*, vol.16, pp. 23929-23969, 2015.
- [14] Eroglu, E., Eggers, P.K., Winslade, M., Smith, S. M. and Raston, C.L., “Enhanced accumulation of microalgal pigments using metal nanoparticle solutions as light filtering devices”, *Green Chemistry*, vol.15(11), pp. 3155–3159, 2013.
- [15] Padrova, K., Lukavsky, J., Nedbalova, L., Cejkova, A., Cajthaml, T., Sigler, K., Vitova, M., and Rezanka, T. “Trace concentrations of iron nanoparticles cause overproduction of biomass and lipids during cultivation of cyanobacteria and microalgae”, *J. Appl. Phycol.*, vol. 27, pp. 1443-1451, 2015.
- [16] Beykaya, M., ve Çağlar, A., “Bitkisel özütler kullanılarak gümüş-nanopartikül (AgNP) sentezlenmesi ve antimikrobiyal etkinlikleri üzerine bir araştırma”, *AKÜ FEMÜDİB*, vol.16, pp. 631-641, 2016.
- [17] Dobias, J., *Nanoparticles and microorganisms: from synthesis to toxicity*, Thèse, École Polytechnique Fédérale De Lausanne, No 5614, Suisse, 2013.
- [18] Ravichandran, R., “Nanotechnology applications in food and food processing: innovative green approaches, opportunities and uncertainties for global market”, *Int J Green Nanotechnology, Physics and Chemistry*, vol.1, pp. 72-96, 2010.
- [19] Üçüncü Tunca, E., “Nanoteknolojinin temeli nanopartiküller ve nanopartiküllerin fitoremediasyonu”, *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg.*, vol.5(2), pp. 23-34, 2015.
- [20] Simonin, M. and Richaume, A., “Impact of engineered nanoparticles on the activity, abundance, and diversity of soil microbial communities: a review”, *Environmental Science and Pollution Research*, vol.22(18) pp. 13710-13723, 2015.
- [21] Schrofel, A., Kratosova, G., Safarik, I., Safarikova, M., Raska, I., and Shor, L.M., “Applications of biosynthesized metallic nanoparticles-A review”, *Acta Biomater.*, vol.10, pp. 4023-4042, 2014.
- [22] Khan, I. Saeed, K., Khan, I., “Nanoparticles: Properties, applications and toxicities”, *Arabian Journal of Chemistry*, pp. 1-24, 2017.
- [23] Machado, S., Pinto, S. L., Grosso, J. P., Albergaria, J. T., and Delerue-Matos, C., “Green production of zero-valent iron nanoparticles using tree leaf extracts”, *The Science of the Total Environment*, vol.1(2), pp. 445-446, 2013.
- [24] Kumar, A., Chisti, Y., and Banerjee, U., “Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts”, *Biotechnology Advances*, vol.31. pp. 346-356, 2013.
- [25] Horikoshi, S., and Serpone, N., “Introduction to Nanoparticles” in *Microwaves in Nanoparticle Synthesis*, First Ed. Horikoshi, S., and Serpone, N., UK: Wiley Verlag, 2013.
- [26] Ju-Nam, Y., and Lead, J.R., “Manufactured nanoparticles: an overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications”, *Sci. Total Environ.* vol. 400, pp. 396-414, 2008.
- [27] Narayanan, K.B., and Sakthivel, N., “Biological synthesis of metal nanoparticles by microbes”, *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol.156, pp. 1-13, 2010.
- [28] Hulkoti, N.I., and Taranath, T.C., “Biosynthesis of nanoparticles using microbes-a review”, *Colloids Surf. B Biointerfaces*, vol. 121, pp. 474-483, 2014.
- [29] Duncan, T.V., “Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors”, *J Colloid Interface Sci*, vol. 363(1), pp. 1-24, 2011.
- [30] Sharma, V.K., Yngard, R.A., and Lin, Y. “Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities”, *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 145, pp. 83-96, 2009.
- [31] Logeswari, P., Silambarasan, S., and Abraham, J., “Synthesis of silver nanoparticles using plants extract and analysis of their antimicrobial property”, *J. Saudi Chem. Soc.*, vol. 19, pp. 311-317, 2015.

- [32] Sastry, M., Ahmad, A., Khan, M.I., and Kumar, R., "Biosynthesis of metal nanoparticles using fungi and actinomycete", *Curr. Sci.*, vol. 85, pp. 162-170, 2003.
- [33] Patel, V., Berthold, D., Puranik, P., and Gantarb, M., "Screening of cyanobacteria and microalgae for their ability to synthesize silver nanoparticles with antibacterial activity", *Biotechnology Reports*, vol. 5, pp. 112-119, 2015.
- [34] Blaby-Haas, C.E., and Merchant, S.S., "The ins and outs of algal metal transport", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 1823, pp. 1531-1552, 2012.
- [35] He, M., Yan, Y., Pei, F., Wu, M., Gebreluel, T., Zou, S., and Wang, C., "Improvement on lipid production by *Scenedesmus obliquus* triggered by low dose exposure to nanoparticles", *Scientific REPORTS*, vol. 7, pp. 1-12, 2017.
- [36] He, D., Dorantes-Aranda, J.J., and Waite, T.D., "Silver nanoparticle-algae interactions: Oxidative dissolution, reactive oxygen species generation and synergistic toxic effects", *Environmental Science & Technology*, vol. 46(16), pp. 8731-8738, 2012.
- [37] Navarro, E., Piccapietra, F., Wagner, B., Marconi, F., Kaegi, R., and Odzak, N., "Toxicity of silver nanoparticles to *Chlamydomonas reinhardtii*", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 42(23), pp. 8959-8964, 2008.
- [38] Mittal, A., Chisti, Y., and Banerjee, U., "Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts", *Biotechnol Adv.*, vol. 31, pp. 346-356, 2013.
- [39] Huang, S.H., Chen, D.H., "Rapid removal of heavy metal cations and anions from aqueous solutions by an amino-functionalized magnetic nano-adsorbent", *J Hazard Mater*, vol. 163(1), pp. 174-179, 2009.
- [40] Davis, A.S., Prakash, P., and Thamaraiselvi, K., "Nanobioremediation Technologies for Sustainable Environment" in *Bioremediation and Sustainable Technologies for Cleaner Environment*, Ed. Prashanthi M. et al. Environmental Science and Engineering Springer Singapore, pp. 13-33, 2017.
- [41] Mahdieh, M., Zolanvari, A., Azimeea, A.S., and Mahdieh, M., "Green biosynthesis of silver nanoparticles by *Spirulina platensis*", *Scientia Iranica F*, vol. 19(3), pp. 926-929, 2012.
- [42] Mohseniazar, M., Barin, M., Zarredar, H., Alizadeh, S., and Shanehbandi, D., "Potential of microalgae and Lactobacilli in biosynthesis of silver nanoparticles", *BioImpacts*, vol. 1(3), pp. 149-152, 2011.
- [43] Brayner, R., Barberousse, H., Hernadi, M., Djedjat, C., Yepremian, C., and Coradin, T., "Cyanobacteria as bioreactors for the synthesis of Au, Ag, Pd, and Pt nanoparticles via an enzyme-mediated route", *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 7, pp. 2696-2708, 2007.
- [44] Parial, D., Patra, H.K., Roychoudhury, P., Dasgupta, A.K., and Pal, R., "Gold nanorod production by cyanobacteria - a green chemistry approach", *J. Appl. Phycol.*, vol. 24, pp. 55-60, 2012.
- [45] Luangpipat, T., Beattie, I.R., Chisti, Y., and Haverkamp, R.G., "Gold nanoparticles produced in a microalga", *J. Nanopart. Res.*, vol. 13, pp. 6439-6445, 2011.
- [46] Furno, F., Morley, K.S., Wong, B., Sharp, B.L., Arnold, P.L., Howdle, S.M., and Bayston, R., "Silver nanoparticles and polymericmedical devices: a new approach to prevention of infection", *J. Antimicrob. Chemother.*, vol. 54, pp. 1019-1024, 2004.
- [47] Ahmadi, F.S., Tanhaeian, A., and Pirkohi, M.H., "Biosynthesis of silver nanoparticles using *Chlamydomonas reinhardtii* and its inhibitory effect on growth and virulence of *Listeria monocytogenes*", *Iran J Biotech.*, vol. 14(3), pp. 163-168, 2016.
- [48] Sibi, G., Ananda Kumar, D., Gopal, T., Harinath, K., Banupriya, S., and Chaitra, S., "Metal nanoparticle triggered growth and lipid production in *Chlorella vulgaris*", *Int J Sci Res Environ Sci Toxicol*, vol. 2(1), pp. 1-8, 2017.