



Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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



Araştırma Makalesi

Biyolojik Yöntemle Üretilmiş Gümüş Nanopartiküllerin *In Vitro* Koşullarda *Digitalis purpurea* Kallus ve Kök Oluşumları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Pınar NARTOP*, Özge Nur YÜKSEL, Dilara Özge ŞENCAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 59860, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

Pınar NARTOP, [ORCID No: 0000-0003-2765-6133](https://orcid.org/0000-0003-2765-6133), Özge Nur YÜKSEL, [ORCID No: 0000-0001-8981-6820](https://orcid.org/0000-0001-8981-6820), Dilara Özge ŞENCAN, [ORCID No: 0000-0003-1081-8685](https://orcid.org/0000-0003-1081-8685)

*Sorumlu yazar e-posta: pnartop@nku.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 14.07.2022
Kabul: 10.02.2023
Online Ağustos 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1143944](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1143944)

Anahtar Kelimeler

Biy-AgNP,
Biyolojik sentez,
Digitalis purpurea,
Kallus,
Kök,
Syzygium aromaticum

Öz: Gümüş nanopartikülleri teknolojinin farklı alanlarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Biyosistemler üzerinde de önemli ve faydalı etkileri bulunmaktadır. Ancak, etkileri yeterli derecede çalışılmamıştır. Biyo-AgNP'lerin *in vitro* koşullardaki bitki dokularının ve hücrelerinin gelişimi üzerinde arttırıcı etkileri bulunmaktadır. Bu sebeple, yüksek fiyatlı bitki büyüme düzenleyicilerine alternatif olarak kullanılabilirler. Bu çalışmanın amacı, *Digitalis purpurea* gövde eksplantlarında farklı konsantrasyonlardaki (0-30 mg/L) biyo-AgNP'lerin etkilerini incelemektir. Bu amaçla, kallus ve kök oluşumları ve eksplant kararmaları izlenmiştir. Biyo-AgNP'lerin kallus oluşumuna etkisi olumsuzdur. 1 mg/L biyo-AgNP içeren besin ortamı hariç, kallus oluşum yüzdelerinin hepsi kontrol grubundan daha azdır. Kök oluşum yüzdeleri, 15 ve 20 mg/L biyo-AgNP içeren besin ortamlarında (sırasıyla %42.22 ve %46.67) kontrole göre (%35.56) daha yüksek bulunmuştur. Kallus oluşumlarının tersine, kök oluşumları kararmadan olumsuz etkilenmemiştir. Bu sonuçlar *in vitro* koşullarda hücre çoğalması ve doku rejenerasyonunun biyo-AgNP'lerden ve onların konsantrasyon yoğunluğundan farklı şekilde etkilendiğini göstermektedir.

Investigation of Biologically Synthetized Silver Nanoparticles' Effects on Callus and Root Formations of *D. purpurea* in *In Vitro* Conditions

Article Info

Recieved: 14.07.2022
Accepted: 10.02.2023
Online August 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1143944](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1143944)

Keywords

Bio-AgNP,
Biological synthesis,
Callus,
Digitalis purpurea,
Root,
Syzygium aromaticum

Abstract: Silver nanoparticles are frequently used in many areas of technology. They also have some important and beneficial impacts on biosystems. However, their effects are not studied sufficiently. Bio-AgNPs have boosting effect on growth of plant tissues and cells in *in vitro* conditions. Therefore, they can be used as an alternative for expensive plant growth regulators. This study investigates the effects of different bio-AgNP concentrations (0-30 mg/L) on *Digitalis purpurea* stem explants. For this purpose, callus and root formations and explant browning were observed. Bio-AgNPs had negative effects on callus formations. Callus formation percentages were lower than the control except the medium supplemented with 1 mg/L bio-AgNP. Root formation percentages were found higher than the control (35.56%) at 15 and 20 mg/L bio-AgNP concentrations (42.22% and 46.67%, respectively). Contrary to callus formations, browning did not negatively affect root formations. These results showed that cell proliferation and tissue regeneration in *in vitro* conditions were affected distinctively by bio-AgNPs and their concentrations.

1. Giriş

Digitalis purpurea L. *Scrophulariaceae* familyasına ait olan ve konvansiyonel olarak Eski Mısır ve Roma İmparatorluğu döneminden beri tedavide kullanılan ilk bitkilerden biridir. Avrupa'da ve Amerika'da yabancı olarak yetişen bitki ülkemizde de bahçelerde süs bitkisi olarak yetiştirilmektedir. Bitkinin yapraklarında üretilen kardenolitler kardiyotonik glikozitler olarak bilinmektedirler. Bu bileşiklerin en önemlileri dijitoksin ve digoksin'dir. Bu bileşikler kalp yetmezliği ve kalp ritm bozukluklarının tedavisinde kullanılırlar (Perez-Alonso ve ark., 2018; Jograna ve ark., 2020). *D. purpurea* kendine has sekonder metabolitlerden dolayı farmasotik endüstrisinin en çok ilgilendiği bitkilerden biridir ve bilimsel çalışmaların da sıklıkla konusu olmaktadır. Yapılan çalışmalarda bitkiden elde edilen biyokütlenin ve sekonder metabolitlerinin miktarının artırılması amaçlanmaktadır (Patil ve ark., 2013; Perez-Alonso ve ark., 2018).

Bitki hücre ve doku kültürleri bitkisel biyokütlenin ve sekonder metabolit içeriklerin artırılmasına yönelik farklı yaklaşımlar sunmaktadır. Farklı dokular kullanılarak başlanan çalışmalarda en uygun eksplant tipi, besin ortamı ve kültür koşulları belirlenerek verim artırılabilir ve büyük ölçekte üretime geçilebilmektedir. Bitki hücre ve doku kültürünün en büyük avantajlarından biri mevsimsel koşullardan ve diğer dış faktörlerden bağımsız olmasıdır. Uygun eksplant tipi, besin ortamı ve kültür koşulları belirlendikten sonra yılın on iki ayı boyunca *in vitro* koşullarda bitkisel üretim kesintisiz olarak laboratuvar koşullarında ya da üretime uygun olarak kurulmuş tesislerde gerçekleştirilebilmektedir. *In vitro* koşullarda bitkisel üretim tekniğinde biyokütleyi arttırmak ve içeriğini zenginleştirmek için oksin ve sitokinin grubu bitki büyüme düzenleyicileri kullanılmaktadır. Bu bileşikler miligram düzeyinde kullanılmalarına rağmen, en büyük maliyet kalemlerinden biridirler. Bu sebeple alternatif arayışlar devam etmektedir (Nartop, 2018a).

Gümüş nanopartiküller boyutları 100 nm'yi geçmeyen nanomalzemelerdir. Farklı yöntemlerle üretimleri gerçekleştirilebilse de, maliyet, hız ve ölçek büyütmedeki pratiklik açısından en çok tercih edilen yöntem yeşil sentez olarak da bilinen biyolojik sentez yöntemidir (Sintubin ve ark., 2012; Tran ve ark., 2013). Biyolojik sentez yönteminde doğal kaynaklardan (bitki ve alg gibi) elde edilen sıvı ekstreler gümüş nitrat çözeltisiyle belli oranlarda karıştırılarak çözelti içerisindeki gümüş iyonunun ekstredeki metabolitlerle (fenolik bileşiklerle) reaksiyona girerek indirgenmesi sağlanmakta ve süreç tamamlandığında biyolojik gümüş nanopartiküller (biyo-AgNP) elde edilmektedir (Dhoondia & Chakraborty, 2012; Yasin ve ark., 2013).

Gümüş nanopartiküller bitki biyoteknolojisinde kullanılmakta ve olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Biyolojik sentezle elde edilen gümüş nanopartiküllerin diğer yöntemlerle elde edilenlere göre bitki hücre ve doku kültürlerinde daha etkili olduğu gözlemlenmiştir (Begum ve ark., 2020). Ayrıca, yüzeysel sterilizasyonda kullanıldıklarında bitki eksplantlarında kararmanın engellendiği ve kallus oluşumunun arttırdığı da tespit edilmiştir (Nartop, 2017).

Bu çalışmanın amacı *D. purpurea* gövde eksplantlarının *in vitro* koşullarda biyo-AgNP'lere verdiği tepkileri incelemektir. Eksplantlar dört hafta süresince besin ortamı içerisinde 0-30 mg/L konsantrasyonlarda biyo-AgNP'lere maruz bırakılmıştır. Kültür sürecinin sonunda eksplantlardaki kallus ve kök oluşum yüzdelerinin yanı sıra kararınma yüzdeleri belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Bitkisel materyal

Çalışmamızda *in vitro* koşullarda %3 sükröz ve %0.6 agar içeren pH'ı 5.8 olarak ayarlanmış Woody Plant Medium (WPM) besin ortamında dört haftalık aralıklarla altkültürü yapılan *Digitalis purpurea* bitkiciklerinden elde edilen gövde eksplantları kullanılmıştır (Lloyd & McCown, 1980). Gümüş nanopartiküllerin biyosentetik yöntemle elde edilmesinde biyolojik indirgeyici (biyoredüktör) olarak kurutulmuş karanfil (*Syzygium aromaticum*) çiçekleri kullanılmıştır (Nartop, 2019).

2.2. Biyolojik indirgeyicinin hazırlanması

Biyolojik indirgeyici olarak kullanılan karanfil çiçeği ekstresi dekoksasyon yöntemi ile hazırlanmıştır. Kurutulmuş karanfil çiçekleri çeşme suyunda iyice yıkandıktan sonra bir kez de distile

su ile yıkandıktan sonra kurutulmaya bırakılmışlardır. Havanda ezilen kurumuş karanfil çiçeklerinin 5 g'ı 100 ml distile su içerisinde su banyosunda 80°C'de 1 saat bekletilmişlerdir. Elde edilen dekoksiyon sıcakken filtre kağıdından süzölmüş ve oda sıcaklığında (24±1°C) soğumaya bırakılmıştır (Nartop, 2019; Nartop & Günbeldek, 2020).

2.3. Gümüş nanopartiküllerin (biyo-AgNP) biyosentetik yöntemle elde edilmesi

Soğutulmuş karanfil çiçeği ekstresinin 5 ml'si 1 mM gümüş nitrat çözeltisinin 95 ml'si bir erlende çalkalanarak karıştırılmıştır. 24 saat sonra biyolojik indirgenme tamamlandıktan sonra elde edilen koloidal çözelti içerisindeki biyo-AgNP'ler 5000 rpm'de 3 kez santrifüjlenerek distile su ile yıkanmışlardır. Çöktürülen biyo-AgNP'ler kurutulduktan sonra aşağıda belirtilen miktarlarda besin ortamlarına eklenmişlerdir (Sinha & Paul, 2014; Nartop & Günbeldek, 2020).

2.4. Biyo-AgNP'lerin karakterizasyonu

Biyo-AgNP'lerin oluşumunun tespit edilmesi için renk ve pH değişimleri, UV-Vis spektrofotometri ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Karışımın ilk ve son hallerinin renk değişimleri gözlemlen ve pH değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. 24 saat sonunda elde edilen biyo-AgNP'lerin 280-500 nm dalga boyları arasındaki absorpsanları spektrofotometrede (Shimadzu UV-1201V) okunarak kromatogramları elde edilmiştir. Distile su kör olarak kullanılmıştır. Biyo-AgNP'lerin büyüklük ve şekillerinin belirlenmesi için taramalı elektron mikroskopu (FEI-QUANTA FEG 250) kullanılmıştır (Nartop, 2018b).

2.5. Besin ortamının hazırlanması

Çalışmamızda %3 sükröz ve %0.6 agar içeren WPM besin ortamı kullanılmıştır. Besin ortamı içerisine kallus ve kök oluşumunu teşvik üzere 0,1 mg/L 2,4-dihidroksibenzaldehit (2,4-D), 0,5 mg/L 6-benziladenin (BA), 0,5 mg/L kinetin eklenmiştir. Biyo-AgNP'lerin etkisini belirlemek için ise 1, 5, 10, 15, 20 ve 30 mg/L konsantrasyonlarda (NP1, NP5, NP10, NP15, NP20 ve NP30) biyo-AgNP eklenmiştir ve pH'ları 5.8'e ayarlanmıştır. Kontrol olarak biyo-AgNP içermeyen besin ortamı (NP0) kullanılmıştır. Yarı-katı besin ortamları 15 dakika boyunca 121°C'de 1.2 kg/cm³ basınç altında otoklavda steril edildikten sonra kullanılmışlardır.

2.6. Kültürlerin oluşturulması ve kültür koşulları

D. purpurea bitkiciklerine ait gövde eksplantları 0.5-1 cm uzunluğunda kesilerek yukarıda belirtilen besin ortamları içerisine alınmışlardır. Gövde eksplantları dört hafta boyunca 16 saat aydınlık/8 saat karanlık fotoperiyotta 4000 lüks ışık altında 24±1°C'de kültive edilmişlerdir. Dört hafta sonunda gövde eksplantlarının kallus ve kök oluşturma yüzdelerinin yanı sıra eksplant kararma yüzdeleri de kaydedilmiştir.

2.7. İstatistiksel değerlendirme

Çalışmamızdaki tüm denemeler tek faktörlü (besin ortamı) tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekrarlı olarak kurulmuştur ve her tekrarda 20 eksplant kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar tek yönlü ANOVA testi ile değerlendirilmiştir. Ortalamaların karşılaştırılması için TUKEY testi kullanılmıştır (p<0.05).

3. Bulgular ve Tartışma

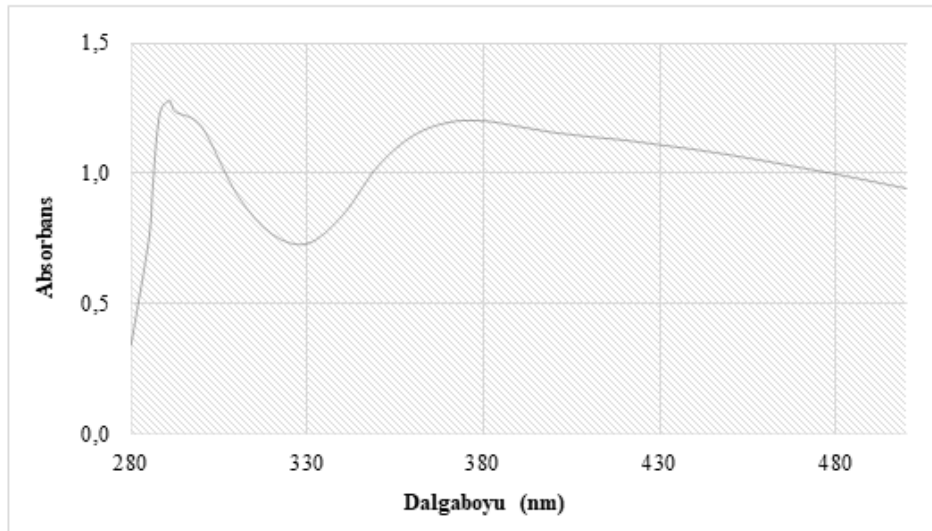
Biyo-AgNP'lerin elde edilmesi sırasında bitki ekstresi ile gümüş nitrat çözeltisinin ilk karıştırıldığı andan itibaren biyo-AgNP'ler oluşmaya başladığı için renk değişimi gözle görülebilir durumdadır. Karıştırma gerçekleşikten sonraki 15 dakika içerisinde karışımın renginin koyulaşmaya başladığı, 2 saat sonra ise karakteristik rengini aldığı tespit edilmektedir. Çalışmamızda kullandığımız karanfil ekstresi ve gümüş nitrat ilk karıştırıldığında rengi açık sarıdır, 24 saat sonrasında iyice

koyulaşarak siyaha yakın bir renge dönmekte ve kolloidal form almaktadır. Biyo-AgNP'lerin oluşumu sırasında benzer renk değişimleri, renk koyulaşmaları ve kolloidal çözelti elde edilmesi [Sinha & Paul \(2014\)](#) tarafından da bildirilmiştir.

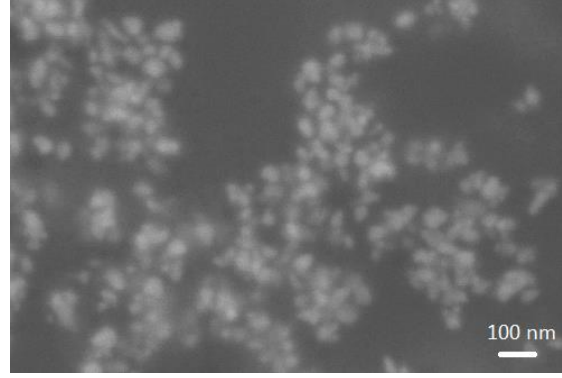
Karışımın pH değerindeki değişiklik, karışım içerisinde biyolojik indirgenmenin gerçekleştiğini gösteren, renk değişiminden sonraki ikinci belirtidir. Karışımın pH değeri, karıştırıldığı ilk anda 5,01 iken, 24 saatin sonunda kolloidal çözelti oluştuğunda 3.86'ya düşmüştür. Benzer pH değişiklikleri biyolojik sentezle gümüş nanopartikül elde etme çalışmalarında da rapor edilmiştir ([Amin ve ark., 2012](#); [Kumar ve ark., 2017](#)). On iki farklı tıbbi bitki ile yapılan çalışmada, biyo-AgNP elde edilmesi sürecinde her bitkiden elde edilen kolloidal çözeltide pH değerlerinin düşüş gösterdiği tespit edilmiştir ([Nartop, 2019](#)).

Karanfil çiçeği ekstresinden elde edilen biyo-AgNP'lere ait kromatogram Şekil 1'de verilmiştir. Karanfil çiçeği ekstresi kullanılarak elde edilen biyo-AgNP'ler 289 nm'de karakteristik pik vermişlerdir. Şekil 2'te biyo-AgNP'lerin taramalı elektron mikroskobundan elde edilen görüntülerinde, nanopartiküllerin küre şeklinde ve 100 nm'den küçük oldukları belirlenmiştir.

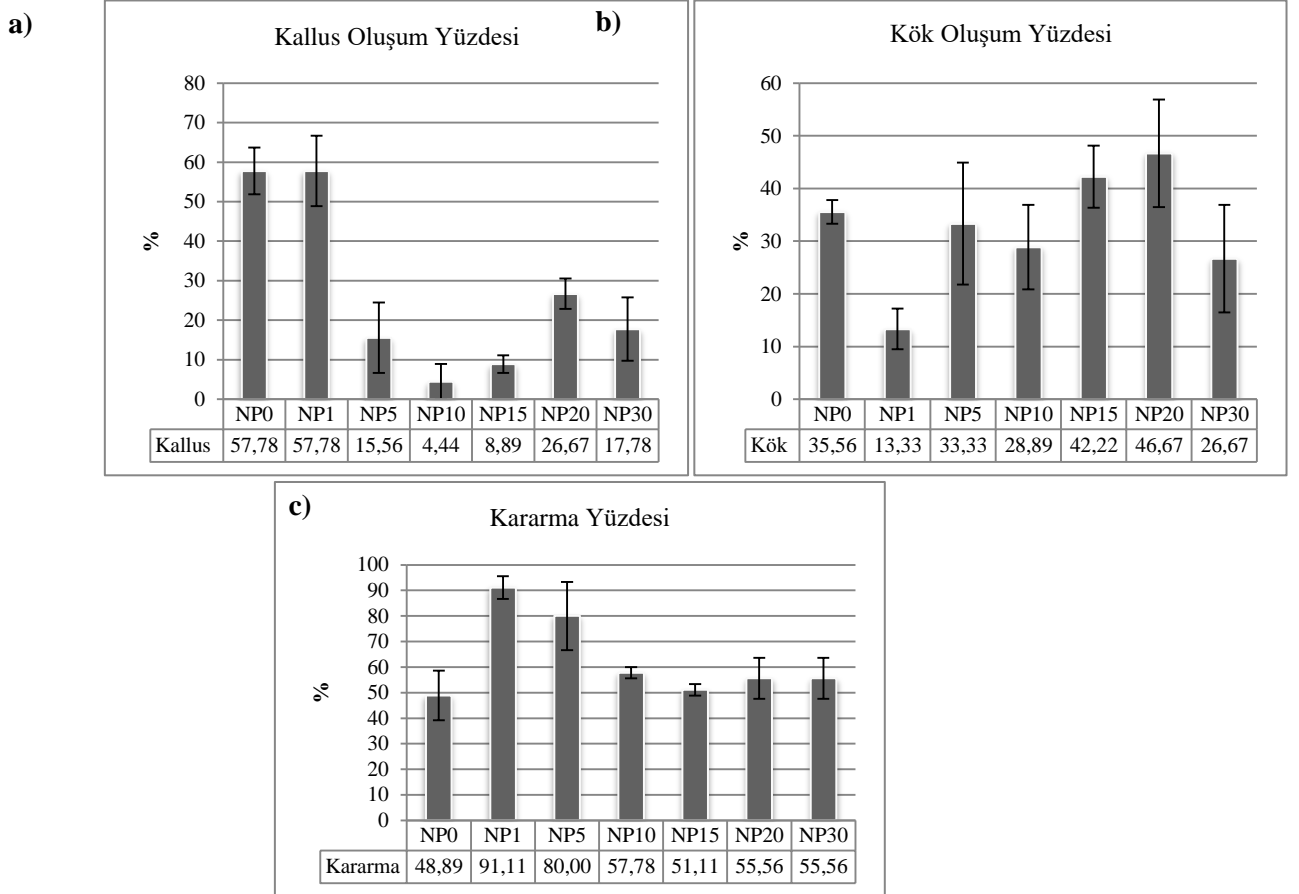
D. purpurea gövde eksplantlarının kallus oluşum yüzdeleri %4.44-57.78 aralığında tespit edilmiştir (Şekil 3a). Elde edilen veriler biyo-AgNP'lerin konsantrasyonlarına bağlı olarak istatistiksel açıdan farklılık göstermiştir. NP0 ve NP1 besin ortamlarında kallus oluşum yüzdesi en yüksek seviyededir ve istatistiksel olarak birinci gruptadır (%57.78). Kallus oluşum yüzdesi NP20 besin ortamında %26.67'dir ve istatistiksel olarak ikinci gruptadır. Diğer besin ortamlarından elde edilen yüzdelere ise üçüncü grupta yer almaktadır. Biyo-AgNP konsantrasyonundaki artış kallus oluşma oranında azalmaya sebep olmuştur. En düşük değer NP10 ortamında %4.44 olarak tespit edilmiştir. NP20 besin ortamında hafif bir artış görülmekle birlikte biyo-AgNP konsantrasyonu 30 mg/L'ye yükseldiğinde kallus oluşum yüzdesi tekrar düşüşe geçmiştir. Biyo-AgNP kullanımı *D. purpurea* gövde eksplantlarında kallus oluşumunu teşvik etmemiştir. Daha önce *Rubia tinctorum* ile yaptığımız çalışmada gövde eksplantlarında kallus oluşumu biyo-AgNP'ler tarafından teşvik edilmiştir ([Nartop ve ark., 2023](#)). 20 mg/L konsantrasyon hariç, 1-30 mg/L konsantrasyonlarda kullanılan biyo-AgNP'lerin bulunduğu besin ortamlarında kallus oluşum yüzdeleri kontrol grubundan yüksek çıkmıştır. En yüksek kallus oluşum yüzdesi düşük konsantrasyonlarda (1, 5 ve 10 mg/L), en düşük yüzde ise 20 mg/L konsantrasyonda tespit edilmiştir. [Begum ve ark. \(2020\)](#) *Fagonia indica* kallus kültürlerinde biyokütle artışının biyo-AgNP'ler tarafından tetiklendiğini bildirmiştir. Kallus oluşumları uygulanan biyo-AgNP konsantrasyonuna ve bitki türüne göre farklılık göstermektedir.



Şekil 1. Karanfil çiçeği ekstresinden elde edilen biyo-AgNP'lere ait UV-Vis kromatogramı.



Şekil 2. Biyo-AgNP'lerin SEM görüntüleri.

Şekil 3. *Digitalis purpurea* kültürlerinde 0, 1, 5, 10, 15, 20 ve 30 mg/L biyo-AgNP konsantrasyonlarındaki besin ortamlarında kallus (a) ve kök (b) oluşum yüzdeleri ve eksplant kararma (c) yüzdeleri.

Biyo-AgNP konsantrasyonlarına bağlı olarak eksplantlar üzerinde kök oluşumları yüzdelerindeki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (Şekil 3b). Kök oluşum yüzdeleri %13.33-46.67 arasındadır. En yüksek kök oluşumu NP20 besin ortamında tespit edilmiştir ve kontrol grubuna göre %31 daha fazladır. NP15 besin ortamında ise kontrol grubuna göre %18.7 daha fazla kök oluşum yüzdesi tespit edilmiştir. En düşük kök oluşum yüzdesi ise NP1 besin ortamında tespit edilmiştir ve yaklaşık %38 daha azdır. Elde edilen sonuçlara göre, kök oluşum yüzdeleri 15 mg/L biyo-AgNP konsantrasyonundan sonra artış göstermiş ancak konsantrasyon 20 mg/L biyo-AgNP'nin üzerine çıktığında düşüşe geçmiştir. *Lavandula officinalis* nod kültürlerinde yaptığımız çalışmada, düşük konsantrasyonlarda kullanılan (1-4 mg/L) biyo-AgNP'ler tekli sürgün oluşumunu ve ortalama

nod uzunluğunu artırırken, çoklu sürgün ve kök oluşumunu azaltmıştır (Nartop & Günbeldek, 2020). *Arabidopsis thaliana*'da yapılan çalışmada ise kullanılan doza bağlı olarak bitkiciklerde kök uzunluğunun inhibe edildiği tespit edilmiştir (Qian ve ark., 2013). Muzda yapılan çalışmada 4 ppm AgNP'nin köklenme ve kök uzunluğu açısından en uygun konsantrasyon olduğu tespit edilmiştir (Huong ve ark., 2021). *Panax vietnamensis*'in *in vitro* rizom rejenerasyonu çalışmasında 1.2 mg/L AgNP konsantrasyonunun kontrole göre daha iyi sonuç verdiği rapor edilmiştir (Cuong ve ark., 2021). *D. purpurea* nod kültürlerinde yaptığımız çalışmada ise, oluşan bitkiciklerin kök oluşum oranı 2 mg/L biyo-AgNP konsantrasyonunda en yüksektir (Nartop ve ark., 2021). Görüldüğü üzere, kök oluşumu bitki türüne ve kullanılan biyo-AgNP konsantrasyonuna göre farklılık göstermektedir.

Kültüre alınan ekplantlardaki kararma bitki hücre ve doku kültürlerindeki gelişmeyi engelleyen faktörlerden biridir (Jones & Saxena, 2013). *D. purpurea* gövde eksplantlarındaki kararma durumları incelendiğinde elde edilen yüzdelere arasında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 3c). En düşük kararma yüzdesi kontrol grubunda (%48.89) tespit edilmiştir ve NP15 besin ortamı ile (%51.11) istatistiksel olarak son gruptadır. 15 mg/L'nin altında ve üstünde olan biyo-AgNP konsantrasyonları eksplantlarda kontrole grubuna göre daha yüksek kararmalara sebep olmuştur. NP5, NP10, NP30 besin ortamları kararma yüzdeleri açısından ikinci gruptadırlar. En yüksek kararma oranı (%91.11) ise NP1 besin ortamında tespit edilmiştir ve istatistiksel olarak birinci gruptadır. Eksplantlardaki kararma yüzdesi NP1 besin ortamında en yüksek seviyede olmasına rağmen kallus oluşumu engellenmemiştir. Eksplantlar NP1 besin ortamında kök oluşumu yerine kallus oluşumuna yönlendirilmiştir. 1 mg/L biyo-AgNP'den daha yüksek konsantrasyonlarda ise, eksplantlar kontrol grubuna göre daha yüksek kararma yüzdelere sahip olmalarına rağmen kök oluşum yüzdeleri artmıştır. Bu durum, biyo-AgNP'lerin kararmaya rağmen kök oluşumunu teşvik ettiğini göstermektedir. *Pyracantha coccinea* gövde eksplantlarının yüzeysel sterilizasyonunda *Alkanna tinctoria* ekstresinden elde edilen biyo-AgNP'lerin kullanıldığı çalışmada eksplantların sadece bisturi ile kesilen kısımlarında kararmalar görüldüğü, NaOCl uygulamasında ise tüm eksplantların kültürün üçüncü gününde karardığı tespit edilmiştir (Nartop, 2017). Benzer bir bulgu, yüksek oranda fenolik bileşik içermesinden dolayı *in vitro* koşullarda ortaya çıkan kararmaların gelişmeyi engellediği *Rosmarinus officinalis* gövde eksplantlarının yüzeysel sterilizasyonun biyo-AgNP'lerle yapıldığı çalışmada da görülmektedir. %97'ye varan sterilizasyon başarısının yanı sıra eksplantlarda kararma gözlenmemiş ve tüm steril eksplantlarda kallus olumu tespit edilmiştir (Nartop, 2018c). Biyo-AgNP'lerin eksplant kararmasını engelleyebildiği görülmektedir. Çalışmamızda elde edilen sonuçlarda ise kararmayı engellemese de kök oluşumunu teşvik edebileceği görülmüştür.

4. Sonuç

Biyo-AgNP'ler çok farklı alanlarda kullanılabilen nanomalzemelerdir. Üretim maliyetleri ucuzdur. Elde edilme süreçleri kısadır ve büyük ölçekte üretime uyarlanması çok kolaydır. Nanobiyoteknoloji alanında da sıklıkla kullanılan bu nanomalzemeler bitki hücre ve doku kültürlerinde de gelişmeyi teşvik edici sonuçlar ortaya çıkarmaktadırlar. Uygulanan biyo-AgNP konsantrasyonu ve uygulamanın yapıldığı bitki türü sonuçlarda farklılıklara sebep olsa da, pahalı sentetik büyüme düzenleyicilerine alternatif olarak biyo-AgNP'lerin bitki hücre ve doku kültürlerinde büyüme ve gelişmeyi teşvik edici olarak kullanımı mümkündür. Biyo-AgNP'lerin etkilerinin belirlenmesi için literatürde yeterli çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamızın bitki biyoteknolojisi ve nanoteknolojiyi bağdaştırarak ortaya koyduğu sonuçlar bu konudaki eksiklerin giderilmesine katkıda bulunacak ve yeni çalışmaların öncülü olacaktır.

Teşekkür

Çalışmamız herhangi bir kurum ya da kuruluş tarafından desteklenmemiştir. Yazarlar bu makale için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynakça

Amin, M., Anwar, F., Janjua, M. R. S. A., Iqbal, M. A., & Rashid U. (2012). Green synthesis of silver nanoparticles through reduction with *Solanum xanthocarpum* L. berry extract:

- Characterization, antimicrobial and urease inhibitory activities against *Helicobacter pylori*. *International Journal of Molecular Science*, 13(8), 9923 - 9941. doi:10.3390/ijms13089923
- Begum, S., Zahid, A., Khan, T., Khan, N.Z. & Ali, W. (2020). Comparative analysis of the effects of chemically and biologically synthesized silver nanoparticles on biomass accumulation and secondary metabolism in callus cultures of *Fagonia indica*. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(8), 1739–1750. doi:10.1007/s12298-020-00851-w
- Cuong, D. M., Du, P. C., Tung, H. T., Ngan, T. H. M., Luan, V. Q., Phong, T. H., ... & Nhu, D. T. (2021). Silver nanoparticles as an effective stimulant in micropropagation of *Panax vietnamensis*—a valuable medicinal plant. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 146, 577–588. doi:10.1007/s11240-021-02095-2
- Dhoondia, Z. H., & Chakraborty, H. (2012). *Lactobacillus* mediated synthesis of silver oxide nanoparticles. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 2012;2, 15. doi:10.5772/55741
- Huong, B. T. T., Xuan, T. D., Trung, K. H., Ha, T. T. T., Duong, V. X., Khanh, T. D., & Gioi, D. H. (2021). Influences of silver nanoparticles *in vitro* morphogenesis of speciality king banana (*Musa ssp.*) in Vietnam. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 22(33-34), 163-175.
- Jograna, M. B., Patil, D. S., & Kotwal, S. W. (2020) *Digitalis* species a potent herbal drug: A review on their pharmacognosy and pharmacological activities. *Journal of Current Pharmaceutical Research; Satara*, 10(4), 3821-3831.
- Jones, A. M. P., & Saxena, P. K. (2013). Inhibition of phenylpropanoid biosynthesis in *Artemisia annua* L.: A Novel approach to reduce oxidative browning in plant tissue culture. *Plos One*, 8(10), e76802. doi:10.1371/journal.pone.0076802
- Kumar, V., Singh, D. K., Mohan, S., Bano, D., Gundampati, R. K. & Hasan, S. H. (2017). Green synthesis of silver nanoparticle for the selective and sensitive colorimetric detection of mercury (II) ion. *Journal of Photochemistry & Photobiology B: Biology*, 168, 67–77. doi:10.1016/j.jphotobiol.2017.01.022
- Lloyd, G. B., & McCown, B. H. (1980). Commercial-feasible micropropagation of mountain laurel-*Kalmia latifolia* by use of shoot-tip culture. *Proceedings of International Plant Propagators Society*, 30, 421–427.
- Nartop, P. (2017). Biyosentetik gümüş nanopartiküllerinin *Pyracantha coccinea* bitkisinin gövde eksplantlarının yüzey sterilizasyonunda kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi*, 23(6), 759-761. doi:10.5505/pajes.2016.04809
- Nartop, P. (2018a). Chapter 9 - Engineering of biomass accumulation and secondary metabolite production in plant cell and tissue cultures. In P. Ahmad, M. A. Ahanger, V. P. Singh, D. K. Tripathi, P. Alam, M. N. Alyemeni (Eds.), *Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress* (pp. 169-194). Amsterdam, Netherlands: Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-812689-9.00009-1
- Nartop, P. (2018b). Effects of surface sterilization with green synthesized silver nanoparticles on *Lamiaceae* seeds. *IET Nanobiotechnology*, 12(5), 663–668. doi:10.1049/iet-nbt.2017.0195
- Nartop, P. (2018c). Green sterilization of *Rosmarinus officinalis* L. stem surfaces with silver nanoparticles synthesized using *Rubia tinctorum* L. cell culture extracts. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 42(2), 411-414. doi:10.1007/s40995-016-0065-0
- Nartop, P. (2019). Silver nanoparticles: Ecofriendly surface sterilization of plant seeds in different shapes and sizes. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 29(2), 453-460.
- Nartop, P., & Günbeldek, Z. (2020). Chapter 4. Impact of green synthesised silver nanoparticles on *In Vitro*-grown *Lavandula officinalis* plantlets. In A. Adler (Ed.), *Plant Science Research and Practices, The Lamiaceae Family, An Overview* (pp. 181-210). New York, USA: Nova Science Publishers. ISBN: 9781536170788.
- Nartop, P., Altan-Duman, A., & Titrek, A. (2021). Modelling of *in vitro* biomass production of *Digitalis purpurea* under the effects of biosynthetic silver nanoparticles. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction A: Science*, 45, 775-783. doi:10.1007/s40995-021-01105-4

- Nartop, P., Çetin, B. N., & Zaidan, G. (2023). Dose-dependent effects of bio-AgNPs on *Rubia tinctorum* callus and root biomass. *Iranian Journal of Science*, 47, 337-345. doi:10.1007/s40995-023-01425-7
- Patil, J. G., Ahire, M. L., Nitnaware, K. M., Panda, S., Bhatt, V. P., Kishor, P. B. K., & Nikam, T. D. (2013). *In vitro* propagation and production of cardiogenic glycosides in shoot cultures of *D.purpurea* L. by elicitation and precursor feeding. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(6), 2379–239. doi:10.1007/s00253-012-4489-y
- Perez-Alonso, N., Martin, R., Capote, A., Perez, A., Hernandez-Diaz, E. K., Rojas, L., ... & Chong-Perez, B. (2018). Efficient direct shoot organogenesis, genetic stability and secondary metabolite production of micropropagated *Digitalis purpurea* L. *Industrial Crops and Production*, 116, 259-266. doi:10.1016/j.indcrop.2018.02.067
- Qian, H., Peng, X., Han, X., Ren, J., Sun, L., & Fu, Z. (2013). Comparison of the toxicity of silver nanoparticles and silver ions on the growth of terrestrial plant model *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Environmental Sciences*, 25(9), 1947–1955. doi:10.1016/S1001-0742(12)60301-5
- Sinha, S. N., & Paul, D. (2014). Eco-friendly green synthesis and spectrophotometric characterization of silver nanoparticles synthesized using some common Indian spices. *International Journal of Green Herbal Chemistry*, 3(2), 401-408.
- Sintubin, L., Verstraete, W., & Boon, N. (2012). Biologically produced nanosilver: current state and future perspectives. *Biotechnology and Bioengineering*, 109(10), 2422–2436. doi:10.1002/bit.24570
- Tran, Q. H., Nguyen, V. Q., & Le, A-T. (2013). Silver nanoparticles: Synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 4, 033001. doi:10.1088/2043-6262/4/3/033001
- Yasin, S., Liu, L., & Yao, J. (2013). Biosynthesis of silver nanoparticles by bamboo leaves extract and their antimicrobial activity. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 6(1), 77–84. doi:10.3993/jfbi03201307