



Arachis hypogaea BİTKİSİ KULLANILARAK YEŞİL SENTEZİ GERÇEKLEŞTİRİLEN GÜMÜŞ NANOPARTİKÜLLERİN ANTİMİKROBİYAL VE ANTI QUORUM SENSİNG AKTİVİTELERİNİN TESPİTİ

Taylan AKTAŞ^{1*}

¹Kırşehir Ahi Evran University, Çiçekdağı Vocational School, Department of Veterinary, 40700, Kırşehir, Türkiye

Özet: Yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.), ağırlıklı olarak Akdeniz bölgesi olmak üzere Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri'nde dikkate değer bir öneme sahip, dünya çapında yetiştirilen önemli bir tarım ürünüdür. Bu çalışmada Osmaniye ilinden elde edilen yer fıstığı, araştırma çalışmalarımızın ana malzemesi olarak kullanılmıştır. Nanopartiküller, çağdaş bilimsel araştırmalar içinde çeşitli disiplinlerde kullanılmaktadır. Bu alanlardaki en kritik araştırmalar arasında, özellikle çeşitli mikroorganizmalar üzerindeki ölümcül etkileri nedeniyle antibiyotiklerin incelenmesi bulunmaktadır. Bu çalışmada *A. hypogaea* bitkisine ait tohum ve kabuklar ile gümüş nanopartiküllerin (AgNP) yeşil sentezi gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen AgNP'ler; antimikrobiyal ve anti-quorum sensing aktivite açısından analiz edilmiştir. Antimikrobiyal aktivite analizi amacıyla çalışmada 22 adet patojen mikroorganizma kullanılmıştır. Sonuç olarak; AgNP'lerin antimikrobiyal aktivitelerinde istatistiksel açıdan anlamlı farklar tespit edilmiştir ($P < 0,05$). Çalışmada kullanılan *Chromobacterium violaceum*, AgNP'lerin en yüksek antimikrobiyal aktivite gösterdiği mikroorganizma olmuştur. AgNP'lerin *C. violaceum* üzerinde göstermiş oldukları antimikrobiyal etki, anti-quorum sensing aktiviteninde olduğunu sonuçlarda göstermiştir. Fıstık ve kabuk ile yeşil sentezi gerçekleştirilen AgNP'ler, Anti-QS açısından istatistiksel olarak anlamlı farklara da neden olmuştur ($P < 0,05$). 2,5 µl/ml konsantrasyondaki yaş, çiğ ve kavrulmuş yer fıstığı tohumu ile yeşil sentezi gerçekleştirilmiş AgNP'lerde zon çapları sırasıyla 19,2 mm, 18,6 mm, 19,4 mm iken, yer fıstığı kabuğu ile yeşil sentezi gerçekleştirilmiş AgNP'lerde sırasıyla 16,8 mm, 16,8 mm, 14,8 mm'dir. Özellikle mikroorganizmaların antibiyotiklere ve diğer terapötik ajanlara karşı önemli ölçüde yüksek direnç seviyeleri sergilediği gerçeği ışığında hem ekonomik olarak uygulanabilir hem de etkili olan bu malzemeler ilaç sektöründe ve diğer alanlarda dikkate alınmayı hak etmektedir.

Anahtar kelimeler: *Arachis hypogaea*, Antimikrobiyal aktivite, Quorum sensing, Gümüş nanopartikül


Detection of Antimicrobial and Anti-Quorum Sensing Activities of Silver Nanoparticles Performed by Green Synthesis Using the *Arachis hypogaea* Plant

Abstract: Peanuts (*Arachis hypogaea* L.) are an important agricultural crop grown worldwide, with notable significance in Türkiye and the United States, particularly in the Mediterranean region. In this research, peanuts obtained from Osmaniye province were used as the main material for our studies. Nanoparticles are utilized in a variety of disciplines within contemporary scientific research. Among the most critical research areas is the study of antibiotics, especially due to their lethal effects on various microorganisms. In this study, the green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) from the seeds and shells of the *A. hypogaea* plant was carried out. Synthesized AgNPs were analyzed for antimicrobial and anti-quorum sensing activity. For the purpose of antimicrobial activity analysis, 22 pathogenic microorganisms were used in the study. As a result, statistically significant differences were found in the antimicrobial activity of AgNPs ($P < 0.05$). *Chromobacterium violaceum*, used in the study, was the microorganism in which AgNPs showed the highest antimicrobial activity. The antimicrobial effect of AgNPs on *C. violaceum* was demonstrated to be related to anti-quorum sensing activity. AgNPs synthesized from peanut seeds and shells also caused statistically significant differences in terms of anti-QS ($P < 0.05$). In AgNPs synthesized from green and raw peanut seeds at a concentration of 2.5 µl/ml, the zone diameters were 19.2 mm, 18.6 mm, and 19.4 mm, respectively, whereas for AgNPs synthesized from green peanuts with shells, the diameters were 16.8 mm, 16.8 mm, and 14.8 mm, respectively. Especially in light of the fact that microorganisms exhibit significantly high levels of resistance to antibiotics and other therapeutic agents, these materials, which are both economically viable and effective, deserve consideration in the pharmaceutical industry and other fields.

Keywords: *Arachis hypogaea*, Antimicrobial activity, Quorum sensing, Silver nanoparticle

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Kırşehir Ahi Evran University, Çiçekdağı Vocational School, Department of Veterinary, 40700, Kırşehir, Türkiye

E mail: taylanaktas@gmail.com (T. AKTAŞ)

Taylan AKTAŞ  <https://orcid.org/0000-0003-1323-8459>

Gönderi: 19 Aralık 2024

Kabul: 29 Aralık 2024

Yayınlanma: 15 Mart 2025

Received: December 19, 2024

Accepted: December 29, 2024

Published: March 15, 2025

Cite as: Aktaş T. 2025. Detection of antimicrobial and anti-quorum sensing activities of silver nanoparticles performed by green synthesis using the *Arachis hypogaea* plant. BSJ Eng Sci, 8(2): 298-309.



1. Giriş

Nanoteknoloji ve nanobilim, ağırlıklı olarak 1-100 nm ölçeğindeki parçacıkları kapsayan ve böylece hem atomik hem de atom altı katmanlardaki tüm kümeleri ele alan kavramsal bir çerçevenin iki temel boyutunu temsil eder (Horikoshi ve Serpone, 2013). Gümüşün içsel ve fizikokimyasal özelliklerine ek olarak, bu ve diğer metalik maddelerde malzemeler nano ölçeğe geçerken yüzey-hacim oranlarındaki önemli değişiklik, nanopartiküllerin doğasında bulunan dönüştürücü özelliklerin ortaya çıkmasıyla sonuçlanır (Liu vd., 2012).

Gümüş nanopartiküller (AgNP), mikrobiyal varlıklarla önemli etkileşimi kolaylaştıran, dikkate değer ölçüde geniş yüzey alanlarına atfedilebilen önemli antimikrobiyal özellikler sergiler. Bu nanopartiküller hücrel zara yapışır ve bakteri hücrelerinin içine sızabilir. Bakteri zarı, kükürt içeren proteinlerden oluşur ve gümüş nanopartiküller, DNA gibi fosfor içeren moleküllerle etkileşime girmenin yanı sıra hücre içi olarak bu proteinlerle etkileşime girer (Singh vd., 2015). Gümüş nanopartiküller bakteriyel hücrel yapılarla etkileşime girdiğinde, bakteri popülasyonlarının toplandığı merkezi bölgede lokalize bir düşük moleküler ağırlıklı bölge oluştururlar, böylece DNA üzerinde gümüş iyonlarına karşı koruyucu bir etki sağlarlar (Kumar vd., 2014). Nanopartiküller, solunum zincirini hedefli bir eğilim sergiler ve bozulmuş hücrel bölünmenin bir sonucu olarak hücre ölümleri gerçekleşir (Kim vd., 2013). Bununla birlikte, nanopartiküller bakteri hücreleri içinde gümüş iyonlarını serbest bırakır, böylece bakterisit etkinliklerini artırır (Singh vd., 2015). Yer fıstığı, izoflavonlar, polikozanol, skualen ve bir dizi ek fitosterol dahil olmak üzere önemli bir fitokimyasal rezervuar görevi görür (Isanga ve Zhang, 2007). Ayrıca, *A. hypogaea*'nın farklı genotipleri, farklı salisilik asit, p-kumarik asit ve daidzein (bir izoflavon olarak sınıflandırılır) konsantrasyonları sergiler (Rodriguez vd., 2015). Genel olarak çeşitli hastalıklarla ilgili risklerin azaltılmasına katkıda bulduklarını gösteren önemli kanıtlar vardır (Lopes vd., 2011). Bu çalışmanın amacı, önemli besin özellikleriyle tanınan *A. hypogaea* tohum ve kabukları ile yeşil sentez yaklaşımı kullanılarak elde edilen gümüş nanopartiküllerin mikrobiyolojik etkinliğini değerlendirmektir. Bu bağlamda, nanopartiküllerin çeşitli patojenik mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal ve anti-quorum sensing etkiler gösterip göstermediği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, fitokimyasal içeriği zengin olan *A. hypogaea* bitkisine ait tohum ve kabuk ekstraktları ile yeşil sentezi gerçekleştirilen AgNP'ler kullanılmıştır. AgNP'lerin karakterizasyonu için UV-Vis spektrometre analizi ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDS) gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra AgNP'lerin morfolojik analizi ise Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) gerçekleştirilmiştir. AgNP'lerin antimikrobiyal

aktivitelerinin tespiti için Agar Well Difüzyon (AWD) yöntemi kullanılmış olup minimal inhibisyon konsantrasyonu da (MİK) belirlenmiştir. AgNP'lerin antimikrobiyal aktivite analizi için 22 adet patojen bakteri kullanılmıştır. Anti-Quorum Sensing Aktivite (Anti-QS) analizi için AWD yönteminin yanı sıra UV-Vis spektrometre analizi de gerçekleştirilmiştir.

AgNP yeşil sentezi için Merck markasına ait kristalize AgNO₃ (169,87 g/mol) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan yer fıstıkları ise Osmaniye ilinin Sumbas ilçesinden toplanmıştır. Gerçekleştirilen bilimsel çalışmada UV-Vis spektrofotometre (Jasco V-730), etüv (Elektromag M 420 P) ve Santrifüj (Nüve NF 400) kullanılmıştır. Antimikrobiyal aktivite testi için *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Bacillus thuringiensis* (ATCC 13367), *Candida albicans* (ATCC 90028), *Candida parapsilosis* (M006), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 13883), *Candida tropicalis* (M007), *Chromobacterium violaceum* (ATCC 12472), *Enterobacter aerogenes* (ATCC 51342), *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212), *Aeromonas hydrophila* (ATCC7966), *Bacillus cereus* (709 Roma), *Bacillus subtilis* (ATCC 6633), *Listeria monocytogenes* (ATCC 35152), *Proteus vulgaris* (ATCC 29905), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028), *Shigella dysenteriae* (ATCC 11835), *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 12228), *Proteus mirabilis* (ATCC 29906), *Vibrio anguillarum* (ATCC 43312) bakterileri kullanılmıştır. Anti-quorum sensing aktivite testi için ise *Chromobacterium violaceum* (ATCC 12472) bakterisi kullanılmıştır. Kullanılan bakteriler Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Mikrobiyoloji Laboratuvarından temin edilmiştir.

Çalışmaların gerçekleştirilebilmesi amacıyla 25 gram toz haline getirilmiş fıstık tohumu ve kabuğu (yaş, çiğ ve kavrulmuş çeşitleri içeren), hem yer fıstığı tohumlarından hem de kabuklardan bileşiklerin ekstraksiyonunu için 30 dakika süreyle 200 mililitre deiyonize suda kaynatma işlemine tabi tutuldu. Elde edilen karışımlar daha sonra Whatman Grade No.1 (11 µm) filtre kâğıdı kullanılarak filtrelemeye tabi tutuldu ve daha sonra erlenlere aktarıldı. Elde edilen yaş, çiğ ve kavrulmuş yer fıstığı tohumu ile bu tohumlara ait kabuk ekstraktları, çalışmalar gerçekleştirilene kadar +4 °C'de muhafaza edildi. Yukarıda bahsedilen prosedürler, üç farklı *A. hypogaea* tohum ve kabuk örneği için ayrı ayrı yürütülmüştür.

Ekstraktlardan 10 mL alınarak üzerlerine kademeli olarak (10⁻⁴ ile 10⁻² mol/L) 90 mL gümüş nitrat (AgNO₃, Merck; Almanya) çözeltisi eklendi. Elde edilen çözelti, 28 santigrat derece sıcaklıkta 24 saat boyunca karanlık bir ortamda tutuldu. Makroskopik inceleme yoluyla, çözelti tonunun 24 saatlik sürenin sonunda kahverengiye geçtiği kaydedildi. Oluşan bu renk değişimi, AgNP'lerin (tohum ve kabuk) oluşumunu kanıtlamaktadır (Zhang vd., 2011). İndirgenme işlemi tamamlanmış olan bitki ekstraktı yüklü Gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) daha sonra Falcon tüplerine aktarıldı ve dakikada 4500 devir dönme hızında

bir saat boyunca santrifülemeye tabi tutuldu. Santrifüleme işleminin tamamlanmasının ardından, sıvı fazdan ayrılan AgNP'ler tüpün sınırları içinde titizlikle izole edildi. Daha sonra, ekstrakte edilen tohum ve kabuk numunelerinden türetilen gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), aseptik tüplerde steril damıtılmış su kullanılarak 1 mM, 2 mM ve 3 mM konsantrasyonlarda hazırlandı. Yeşil sentezlenmiş gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal etkinliğini belirlemek için, steril petrielerde mikroorganizmaların çoğalması için elverişli ortamlar oluşturmak amacıyla Triptik Soy Agar (TSA) besiyeri kullanıldı.

Besiyeri hazırlanmadan önce cam petrieler 180 °C'de 1 saat pastör fırınında bekletilerek steril edildi. Daha sonra, TSA litre başına 40 gram konsantrasyonda formüle edildi ve daha sonra otoklavlama ve sterilizasyon prosedürlerinden geçen petri kaplarına aktarıldı. Petri kaplarında bulunan ortam, çalışma sırasında 37 °C sıcaklıkta 24 saat inkübe edildi ve herhangi bir kontaminasyon belirtisi izlendi. Kontaminasyon gözlenmeyen hazırlanmış plakların her birine eküvyon çubuğu ile kullanılacak mikroorganizmalar ekildi. Ekim işlemi sonrasında; sentezlenen 1mM, 2mM ve 3mM'lık AgNP'ler kuyucukların içerisine uygulandı ve plaklar etüvde 24 saat 37 °C'de bekletildi. Sonrasında plaklarda bulunan kuyucukların etrafındaki zon çapları ölçülerek AgNP'lerin etki düzeyleri tespit edildi.

Gümüş nanoparçacıklar (AgNP'ler) için minimum inhibitör konsantrasyonun (MIC) belirlenmesi, 96 kuyu içeren steril mikropalaklar kullanılarak gerçekleştirildi. Deneyi kolaylaştırmak için, triptik soya suyu (TSB) içindeki 22 farklı mikroorganizmanın kültürlerinden türetilen çözeltiler, McFarland 0.5 bulanıklık standardına göre $1,5 \times 10^6$ hücre/ml'lik bir hücre konsantrasyonu elde etmek için hazırlandı. Mikropalakların ilk kuyularına 100 µl TSB ve 100 µl AgNP'lik bir başlangıç hacmi dağıtıldı, ardından 100 µl önceki kuyudan sonraki kuyuya aktarıldı. Bu seyreltme prosedürü, nihai kuyuya ulaşılan kadar sistematik olarak sürdürüldü. AgNP'ler için belirlenen konsantrasyonlar 5 µl/ml, 2.5 µl/ml, 1.25 µl/ml, 0.625 µl/ml, 0.312 µl/ml, 0.156 µl/ml, 0.078 µl/ml ve 0.039 µl/ml içeriyordu. Daha sonra, negatif kontrol görevi gören nihai kuyu hariç tüm kuyulara 10 µl mikrobiyal çözeltiler eklendi. Hazırlanan mikro plakalar, 24 saatlik bir süre boyunca 37 °C'lik sabit bir sıcaklıkta inkübe edildi. Kuluçka süresinin sona ermesinden sonra, elde edilen plaklar, 600 nm dalga boyunda ayarlanmış bir spektrofotometre kullanılarak analize tabi tutuldu. Yapılan araştırmada, tekrarlanabilirliği sağlamak için AgNP'leri içeren tüm prosedürler üç nüsha halinde gerçekleştirildi.

Çalışmada Anti-QS analizi makroskobik ve spektroskopik yöntemlerle gerçekleştirildi. Makroskobik metodolojide, *Chromobacterium violaceum*'un Triptik Soy Agar (TSA) ile formüle edilmiş agar plakalarına aşılandığı ve Gümüş Nanopartiküller (AgNP'ler) tarafından indüklenen

inhibisyon bölge çaplarının ölçüldüğü AWD yaklaşımı kullanıldı. UV-Vis spektroskopisi kullanılan anti-quorum sensing (anti-QS) değerlendirmesi için, başlangıçta TSB ilavesiyle steril cam tüplere bir sıvı kültür ortamı eklendi. Daha sonra, belirgin quorum sensing mekanizmaları için bilimsel literatürde kapsamlı bir şekilde belgelenmiş bakteri olan *C. violaceum*, TSB'de kültürlendi. Böylece bu organizmanın sıvı ortam içinde yeterli miktarlarda üretimi kolaylaştırıldı. Anti-QS analizi amacıyla her biri 2 mL TSB ortamı içeren cam tüplerde, AgNP'lerin seyreltilmesi sistematik olarak gerçekleştirildi. Dilüsyon yapılmış her tüpe, TSB içerisinde üremesi sağlanmış 200 mL *C. violaceum* bakterisi eklendi. Hazırlanan tüpler etüvde 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakıldı. İnkübasyon sonrasında alınan tüplere 200 mL sodyum dodesil sülfat (SDS) ve 500 ml n-bütanol eklendi. Oluşan çözelti santrifüj edilerek faz oluşumu sağlandı ve süpernatantın spektrofotometrik absorbanı ölçüldü. Çalışmada, yeşil sentezi gerçekleştirilen AgNP'lerin farklı derişimlerinin, antimikrobiyal etkileri faktöriyel anova istatistik testi ile değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, sentezlenen AgNP'lerin mikrobiyolojik açıdan birbirleri arasındaki ilişki duncan çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir.

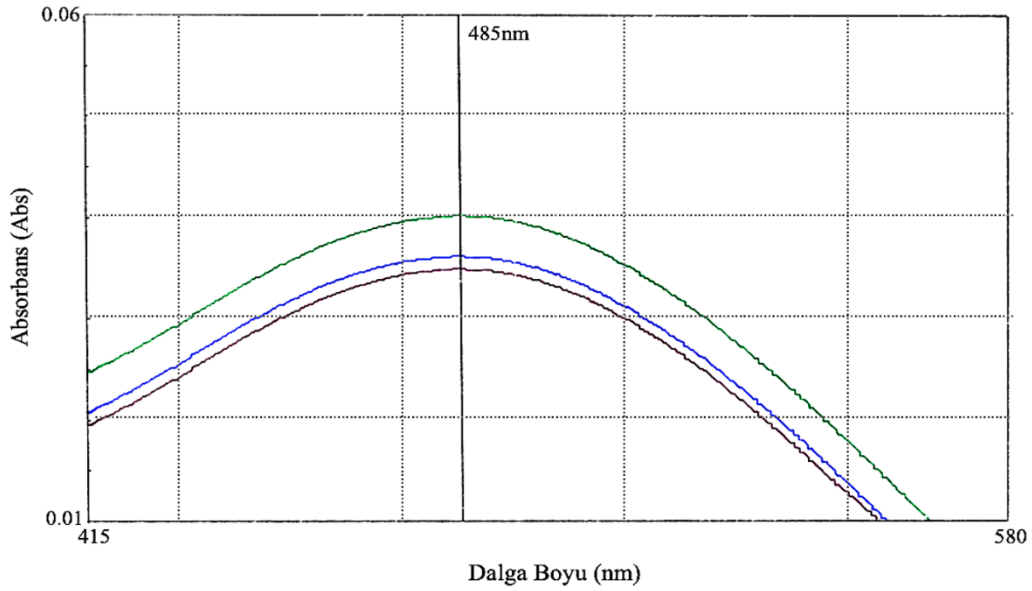
3. Bulgular

3.1. *A. hypogaea* Tohumları ve Kabukları ile Sentezlenen AgNP'lerin Karakterizasyonu

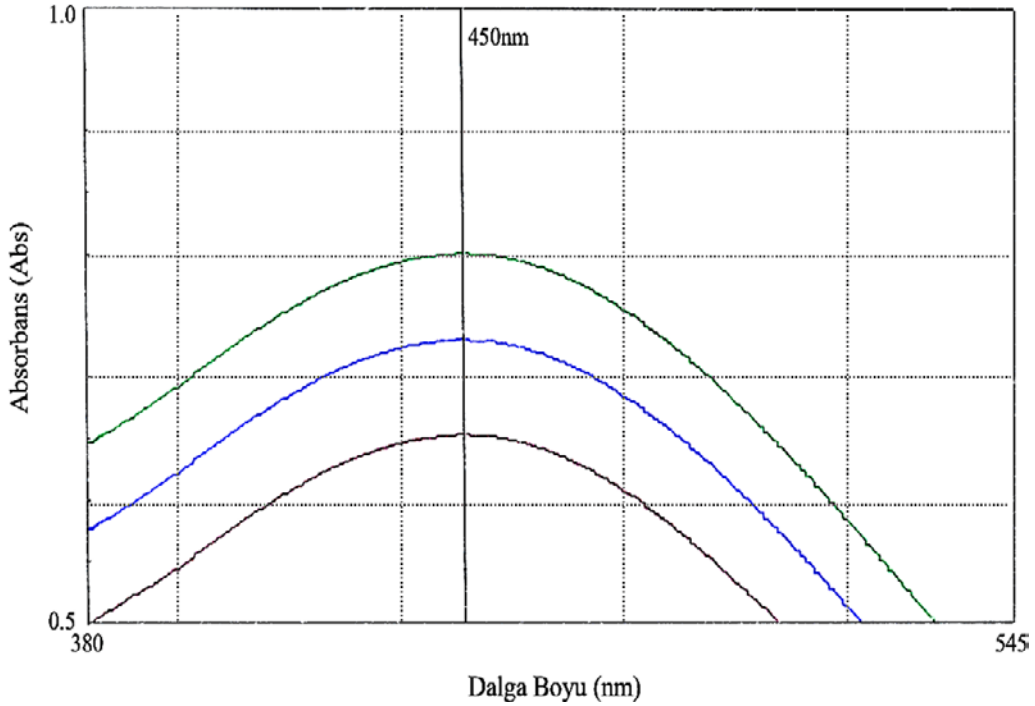
A. hypogaea bitkisinin tohum ve kabukları kullanılarak 1mM, 2mM ve 3mM konsantrasyonlarda sentezlenen gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) UV-Vis spektrumlarından türetilen absorban (abs) metrikleri Tablo 1'de tanımlanmıştır. UV-Vis spektrumlarından elde edilen absorban metriklerinin grafik gösterimleri de Şekil 1 ve 2'de gösterilmektedir. Yapılan araştırmada, yaş, çiğ ve kavrulmuş *A. hypogaea* tohumları ve kabukları kullanılarak üretilen AgNP'lerin UV-Vis spektrumları, tohumlardan sentezlenen nanopartiküller için 485 nm'de bir absorban zirvesi sergilerken, kabuklardan sentezlenen nanopartiküller 450 nm'de bir tepe gösterir. UV-Vis spektrumlarından alınan absorban sonuçları (Tablo 1); *A. hypogaea* tohumları ile gerçekleştirilen AgNP yeşil sentezinin, *A. hypogaea* kabukları ile gerçekleştirilen AgNP yeşil sentezinden daha verimli olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, 3mM AgNO₃ kullanan gümüş nanopartiküllerin (AgNP) biyosentezi, AgNP yeşil sentez işlemi sırasında 1mM ve 2mM AgNO₃ bileşiklerinin kullanımına kıyasla, UV-Vis absorban ölçümlerinden elde edilen sonuçların kanıtı olduğu gibi, yaş, çiğ ve kavrulmuş olarak kategorize edilen tüm numunelerde üstün etkinlik göstermektedir.

3.2. SEM Analizi Sonuçları

A. hypogaea tohum ve kabukları ile sentezlenen AgNP'lere ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 1. *A. hypogaea* tohumu ile sentezlenen AgNP'e ait UV-Vis spektrum grafiği. Yeşil, mavi ve kahverengi absorban eğrileri sırasıyla 1mM, 2mM ve 3mM'lık gümüş nanopartikül derişimlerini belirtmektedir. Çalışmada absorban eğrilerinin pik yaptığı dalga boyu kullanılmıştır.

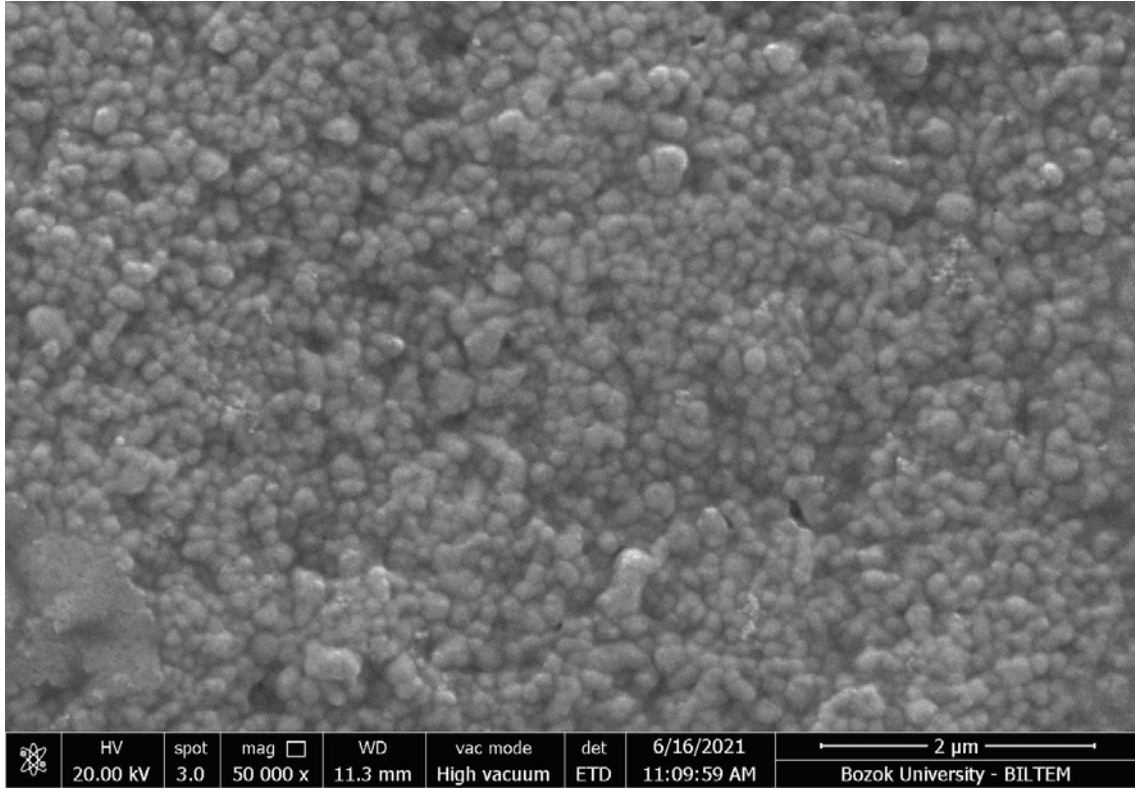


Şekil 2. *A. hypogaea* kabuğu ile sentezlenen AgNP'e ait UV-Vis spektrum grafiği. Yeşil, mavi ve kahverengi absorban eğrileri sırasıyla 1mM, 2mM ve 3mM'lık gümüş nanopartikül derişimlerini belirtmektedir. Çalışmada absorban eğrilerinin pik yaptığı dalga boyu kullanılmıştır.

Tablo 1. *Arachis hypogaea* tohum ve kabukları ile sentezlenen AgNP'lerin UV-Vis absorban değerleri

AgNP Derişimi	Yer Fıstığı Tohumu (UV-Vis Abs)			Yer Fıstığı Kabuğu (UV-Vis Abs)		
	Yaş	Çiğ	Kavrulmuş	Yaş	Çiğ	Kavrulmuş
1mM	0,0433	0,0403	0,0819	0,9249	0,8031	0,7732
2mM	0,0431	0,0376	0,0802	0,9011	0,7357	0,6949
3mM	0,0328	0,0341	0,0419	0,6381	0,6522	0,6428

*absorbans (Abs) değerlerinin "0" (sıfır)'a yaklaşması daha verimli bir AgNP sentezini ifade etmektedir.



Şekil 3. *A. hypogaea* ile sentezlenen AgNP'e ait sem görüntüsü. Elde edilen gümüş nanopartiküllerin SEM görüntülerinde tespit edilen görüntüler, morfolojik açıdan küresel yapıya sahip olduklarını göstermektedir.

Bu bağlamda, SEM ile görüntülenen AgNP'lerde tespit edilen boyutlar her örnekte (tohum ve kabuk ile sentezlenen AgNP'ler için) farklılık göstermektedir.

3.3. EDS Analizi Sonuçları

Arachis hypogaea'nın tohumları ve kabukları kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) için Enerji Dispersiv Spektrum (EDS) analizinin sonuçları Şekil 4 ve 5'te sunulmaktadır. EDS analiz sonuçları, Ag (gümüş), N (azot) ve O (oksijen) gibi elementlerin tanımlanmasıyla kanıtlandığı gibi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile görselleştirilen bölgelerde AgNP'lerin varlığını kanıtlamaktadır. SEM ile görselleştirilen bölgeler, EDS analizi sonucu AgNP tespit edilen bölgeler dahilinde belirlenmiştir.

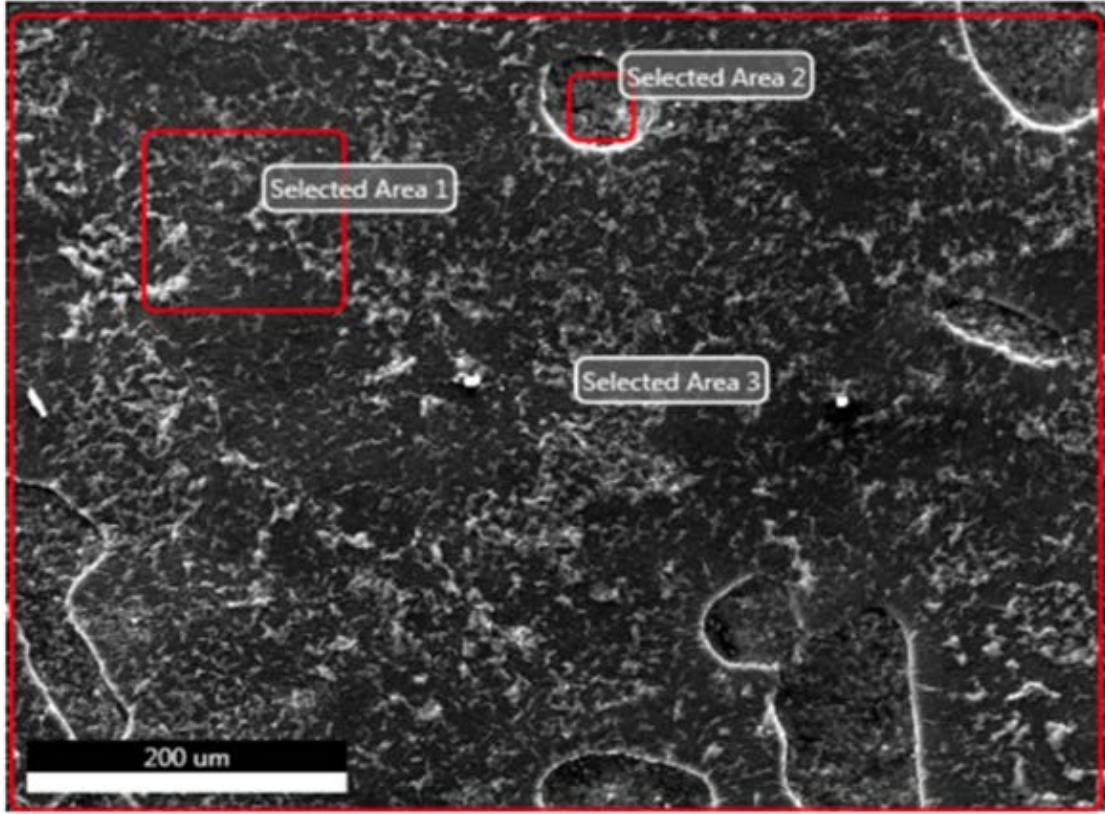
3.4. *A. hypogaea* Tohum ve Kabuğu ile Sentezlenen AgNP'lerin Antimikrobiyal Aktivite Sonuçları

Bu araştırma kapsamında yaş, çiğ ve kavrulmuş *Arachis hypogaea* tohumlarından ve kabuklarından sentezlenen 1mM, 2mM ve 3mM konsantrasyonlarındaki gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) antimikrobiyal özellikleri çeşitli patojenik mikroorganizmalara karşı incelenmiştir. Sentezlenen AgNP'lerin antimikrobiyal etkilerine ilişkin inhibisyon bölgelerinin ortaya çıkan çapları, milimetre cinsinden ölçülen Tablo 2 ve 3'te sunulmuştur. Gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) çeşitli mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkinliği ile ilişkili bölge çapları incelendiğinde, *Chromobacterium violaceum*'un hem yaş hem de çiğ ve kavrulmuş tohumlardan sentezlenen AgNP'lere karşı en yüksek duyarlılığı sergilediği

belirlendi. Ayrıca, üç farklı tohum türünden türetilen AgNP'lere en az duyarlılık gösteren mikroorganizmalar şunlardır: *K. pneumoniae*'ye karşı minimal aktivite sergileyen yaş yer fıstığından sentezlenen AgNP (YFagNP); *Candida albicans*'a karşı etkisiz olan çiğ yer fıstığından sentezlenen AgNP (KFagNP) ve *Bacillus cereus*'a karşı ihmal edilebilir aktivite sergileyen kavrulmuş fıstıktan sentezlenen AgNP (KFagNP). Bununla birlikte, YFagNP ile ilişkili antimikrobiyal aktivite istatistiksel olarak anlamlı bir azalma sağlamasa da ($P>0.05$), ÇFagNP ve KFagNP ile ilgili antimikrobiyal aktivite sonuçlarının belirli bölge çaplarında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma kaydedildi ($P<0.05$).

Yaş, çiğ ve kavrulmuş yer fıstığı kabuğu kullanılarak elde edilen gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), mikroorganizma *Chromobacterium violaceum*'a karşı en yüksek antimikrobiyal etkinliği sergiledi. Ayrıca, üç farklı fıstık kabuğundan sentezlenen AgNP'lere en az duyarlılık gösteren mikroorganizmalar şunları içerir: Yaş kabuklardan türetilen AgNP (YKAgNP) ve çiğ kabuklardan kaynaklanan AgNP (ÇKAgNP), *Candida albicans* kavrulmuş kabuklardan sentezlenen AgNP (KKAgNP) ile ilişkilendirildi ve *Salmonella typhimurium* ham kabuklardan üretilen AgNP (KKAgNP) ile ilişkilendirildi. Bununla birlikte; *A. hypogaea* kabukları ile sentezlenen tüm AgNP'lerin (YKAgNP, ÇKAgNP ve KKAgNP), *Chromobacterium violaceum* üzerindeki antimikrobiyal aktivitesi istatistiksel açıdan anlamlı artış göstermiştir ($P<0,05$).

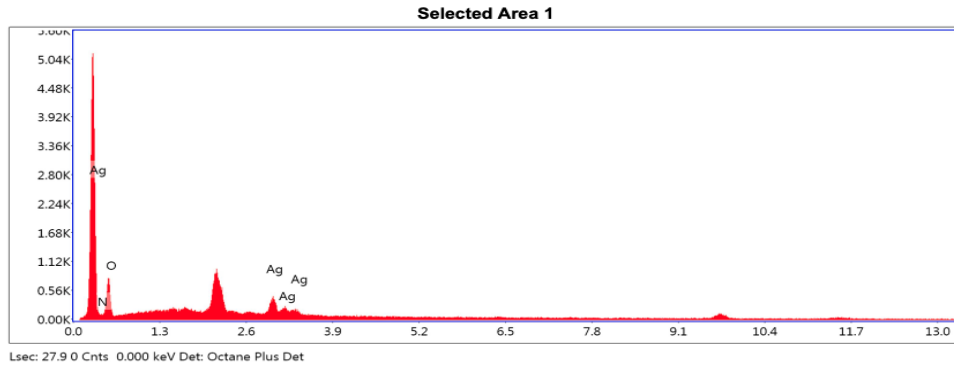
Area 205



Şekil 4. *A. hypogaea* tohumu ile sentezlenen AgNP'e ait eds görüntüsü.

Selected Area 1

kV: 20 Mag: 500 Takeoff: 35.2 Live Time(s): 27.9 Amp Time(µs): 7.68 Resolution:(eV)131.9



eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	R	A	F
N K	0.02	0.03	0.04	99.99	0.00	1.1	0.94	0.44	1
O K	75.75	95.44	192.45	9.84	0.25	1.07	0.95	0.31	1
AgL	24.23	4.53	104.73	6.69	0.20	0.74	1.22	1.12	1.02

Şekil 5. *A. hypogaea* ile sentezlenen AgNP'e ait eds alan grafiği. EDS verilerinde tespit edilen element kompozisyonları, gümüşe (Ag) ait güçlü piklerin oluşu ile gümüş nanopartiküllerin varlığını destekleyici nitelik taşımaktadır.

Tablo 2. *Arachis hypogaea* tohumları ile sentezlenen AgNP'lerin antimikrobiyal aktivite zon çapları

Mikroorganizma Tür İsimleri	Gümüş Nanopartiküller (AgNP)									Kontrol		
	Yaş			Çiğ			Kavrulmuş			AgNO ₃		
	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM
<i>A. hydrophila</i>	9,4	9,8	10,6	9,8	9,8	10,2	---	---	8,6	9,8	9,8	10,2
<i>B. cereus</i>	9,2	10,2	12,2*	9,8	10,2	10,8	---	---	---	9,8	10,2	10,8
<i>B. subtilis</i>	9,8	10,4	10,6	9,6	9,8	7,8	8,4	9,2	10,2	9,8	10,2	10,2
<i>B. thuringiensis</i>	12,2*	13,8*	13,8	11,8	11,8	12,8	8,2*	9,8	10,2*	11,8	11,8	12,8
<i>C. albicans</i>	10,6	11,8*	11,8*	---	---	---	7,2*	7,6	8,2	9,2	9,6	9,8
<i>C. parapsilosis</i>	9,8	8,4	9,8	12,4*	12,6*	11,8	---	7,4	7,8	7,4	8,2	9,4
<i>C. tropicalis</i>	10,8	11,8	12,2	11,8*	10,2	10,2	11,4	11,8	12,2	10,2	10,4	11,2
<i>C. violaceum</i>	17,2*	17,8*	17,8*	15,4*	15,7*	16,4*	12,8	14,2	15,8*	12,2	13,6	14,6
<i>E. aerogenes</i>	11,8	13,8*	12,6	10,4	11,2	11,8	6,8*	8,2*	8,4*	10,4	10,6	10,6
<i>E. faecalis</i>	11,8	13,4*	12,4	9,8	10,4	12,2*	8,4*	9,8	11,6	9,8	10,2	10,6
<i>E. coli</i>	11,6*	11,6	12,2	7,6	9,6	9,8	10,4*	10,6	12,2	8,4	10,4	11,8
<i>K. pneumoniae</i>	8,2	8,8	10,8	10,8	11,2*	12,2*	6,2	6,4*	8,2	8,2	9,2	9,6
<i>L. monocytogenes</i>	9,8	9,8	11,4	10,6	10,6	12,6*	---	7,4*	8,2	9,4	9,6	10,2
<i>P. mirabilis</i>	11,8*	11,6	12,2*	11,8*	11,8	12,2	6,4*	6,4*	6,8*	9,4	10,4	10,4
<i>P. vulgaris</i>	10,6*	10,8*	11,8*	9,8	9,8	10,8*	6,4	6,6*	7,6	7,8	8,4	8,6
<i>P. aeruginosa</i>	10,2	10,4	12,2	9,2	9,4	10,2	7,2*	7,4*	7,6*	10,2	11,4	11,6
<i>S. typhimurium</i>	9,8	10,2	12,2*	8,4	8,4	9,8	6,2*	6,2*	6,6*	8,4	8,4	9,8
<i>S. dysenteriae</i>	10,8	11,2*	11,8	9,8	9,2	11,6	7,4	8,2	9,8	9,2	9,2	10,2
<i>S. aureus (25923)</i>	10,2*	10,4*	12,6*	8,4	7,8	7,8	---	---	---	7,2	7,4	8,2
<i>S. aureus (29213)</i>	10,2*	11,4*	11,6*	8,4	8,8	10,6*	---	---	7,6	8,4	8,4	8,6
<i>S. epidermidis</i>	10,8	11,4	11,6	10,2	10,4	11,2	9,6	9,8	11,2	10,2	10,4	10,8
<i>V. anguillarum</i>	10,6*	12,2	12,8*	9,8	10,2	10,4	9,6	10,2	10,8	8,4	9,8	10,8

*= tespit edilen değerin kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan anlamlı farklılık gösterdiğini ifade etmektedir (P<0,05), (---)= antimikrobiyal aktivite zonu gözlemlenmediğini ifade etmektedir.

Tablo 3. *Arachis hypogaea* kabukları ile sentezlenen AgNP'lerin antimikrobiyal aktivite zon çapları

Mikroorganizma Tür İsimleri	Gümüş Nanopartiküller (AgNP)									Kontrol		
	Yaş			Çiğ			Kavrulmuş			AgNO ₃		
	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM
<i>A. hydrophila</i>	7,4*	7,6*	8,2	9,4	9,8	10,2	8,2	10,2	10,4	9,8	9,8	10,2
<i>B. cereus</i>	8,4	8,8	9,4	8,2	8,4	8,6	10,4	11,4	11,4	9,8	10,2	10,8
<i>B. subtilis</i>	7,2*	7,6*	7,8*	11,4	11,6	11,8	11,8*	12,2	12,4	9,8	10,2	10,2
<i>B. thuringiensis</i>	11,8	12,2	14,2*	11,8	13,4	13,4	9,8	10,8	10,8	11,8	11,8	12,8
<i>C. albicans</i>	---	---	---	---	---	8,2	10,4	10,6	10,8	9,2	9,6	9,8
<i>C. parapsilosis</i>	9,8*	10,4	11,2*	10,2	10,4	11,2	11,4*	11,6*	12,6*	7,4	8,2	9,4
<i>C. tropicalis</i>	9,2	9,4	9,8	8,4	8,8	9,4	11,2	12,2*	12,6	10,2	10,4	11,2
<i>C. violaceum</i>	16,4*	17,4*	17,8*	17,6*	17,8*	18,6*	15,6*	16,4*	16,8*	12,2	13,6	14,6
<i>E. aerogenes</i>	8,4*	8,8	8,8	8,2*	8,4*	8,8	9,8	10,2	10,6	10,4	10,6	10,6
<i>E. faecalis</i>	8,4	8,6	8,6*	9,8	10,2	10,2	9,8	10,2	10,2	9,8	10,2	10,6
<i>E. coli</i>	7,2	7,6*	7,8*	8,4	8,6	9,4	12,4*	12,8*	13,8*	8,4	10,4	11,8
<i>K. pneumoniae</i>	8,2	8,6	8,6	10,4	10,8	12,2	8,2	9,8	10,6	8,2	9,2	9,6
<i>L. monocytogenes</i>	9,2	9,6	10,2	10,2	10,4	11,4	11,8*	12,2*	12,4	9,4	9,6	10,2
<i>P. mirabilis</i>	7,8	8,2*	8,4	9,8	10,4	10,8	10,2	10,6	11,8	9,4	10,4	10,4
<i>P. vulgaris</i>	9,2	9,4	10,2*	9,4	10,2	10,4	11,6*	11,8*	12,4*	7,8	8,4	8,6
<i>P. aeruginosa</i>	8,2	8,4*	9,2	10,8	11,4	11,8	9,8	10,4	10,6	10,2	11,4	11,6
<i>S. typhimurium</i>	---	8,4	8,8	10,2	10,6	10,6	7,8	8,2	8,4	8,4	8,4	9,8
<i>S. dysenteriae</i>	8,2	8,8	10,6	9,8	10,2	10,4	9,6	10,2	10,4	9,2	9,2	10,2
<i>S. aureus (25923)</i>	7,2	7,4	7,8	8,4	8,6	8,8	10,2*	11,4*	11,8*	7,2	7,4	8,2
<i>S. aureus (29213)</i>	8,8	9,2	9,4	10,2	10,2	10,8	10,2	10,6*	11,4*	8,4	8,4	8,6
<i>S. epidermidis</i>	8,6	9,2	10,2	11,6	12,2	13,8	10,2	10,4	11,2	10,2	10,4	10,8
<i>V. anguillarum</i>	9,8	10,2	10,6	8,2	8,6	9,2	11,2*	11,4	12,2	8,4	9,8	10,8

*= tespit edilen değerin kontrol grubuna göre istatistiksel açıdan anlamlı farklılık gösterdiğini ifade etmektedir (P<0,05), (---)= antimikrobiyal aktivite zonu gözlemlenmediğini ifade etmektedir.

YKAgNP ve ÇKAgNP'e ait antimikrobiyal aktivite sonuçlarında ise istatistiksel açıdan anlamlı düşüş tespit edilmesine karşın (P<0,05), KKAgNP'e ait antimikrobiyal aktivite sonuçlarında istatistiksel açıdan anlamlı bir düşüş tespit edilmemiştir (P>0,05). Değişen konsantrasyonlarda (1mM, 2mM ve 3mM)

sentezlenmiş gümüş nanopartiküllerin (AgNP) antimikrobiyal aktivite bölgelerinin çapları üzerindeki etkisi Faktöriyel ANOVA istatistiksel analizi kullanılarak değerlendirildi. Tüm AgNP konsantrasyonlarının birbirleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği tespit edildi (P<0,05). Gözlenen bu değer,

uygulanan her bir AgNP dozunun birbirine göre farklı etkiler sergilediğini göstermiştir. Bununla birlikte, Faktöryal ANOVA istatistiksel analizi ile AgNP'lerin sentezinde kullanılan çeşitli malzemelerin (yaş, çiğ, kavrulmuş yer fıstığı veya kabuklar dahil) mikroorganizmalar üzerinde farklı inhibitör etkiler yarattığı tespit edildi ($P<0.05$). Aynı istatistiksel metodoloji ile tanımlanan ek bir sonuç, çeşitli mikroorganizma sınıflandırmalarının antimikrobiyal aktivite bölgesi çaplarının gelişiminde istatistiksel olarak anlamlı bir varyasyon yarattığını göstermektedir ($P<0.05$).

Kontrol grubu olarak kullanılan çeşitli $AgNO_3$ konsantrasyonlarını ve bunların mikrobiyal popülasyonlar üzerindeki inhibitör etkilerini karşılaştıran istatistiksel bir analiz, Duncan testi kullanılarak yapılmıştır (Tablo 4). İstatistiksel analizden elde edilen bulgulara göre, antimikrobiyal aktivitede en yüksek etkinliği gösteren $AgNO_3$ dozu 3mM dozajıydı. Tersine, mikrobiyal organizmalar üzerinde minimal inhibitör etki sergileyen dozaj, 1mM dozu olarak tanımlandı. Duncan testi sonucuna göre farklı gruplara ayrılan her bir dozajın tanımlanması, hiçbir dozajın diğerinin yerine geçmek için uygun olmadığını ortaya koydu.

Tablo 4. $AgNO_3$ 'lara ait farklı dozların Duncan çoklu karşılaştırma testi tablosu

AgNP Dozları	Gruplar		
	A	B	C
1mM			9,9945
2mM		10,3001	
3mM	10,8678		

*Tabloda verilmiş olan değerler milimetre (mm) cinsinden zon çaplarını temsil etmektedir.

Tablo 5. Farklı materyaller ile sentezlenen AgNP gruplarının Duncan çoklu karşılaştırma testi tablosu

Uygulama Materyali	Gruplar		
	A	B	C
YFagNP	11,5031		
KKAgNP		11,1031	
ÇFagNP		10,5888	
ÇKAgNP		10,5178	
YKAgNP			9,4598
KFagNP			9,1523

*Tabloda verilmiş olan değerler mm cinsinden zon çaplarını temsil etmektedir.

Yeşil yöntemlerle sentezlenen tüm gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) için mikroorganizmalar üzerindeki inhibitör etkilerin istatistiksel bir değerlendirmesi (1mM, 2mM ve 3mM AgNP'ler ilgili grupları içinde eşzamanlı olarak değerlendirildi) Duncan testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Tablo 5). Gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) analizi yapılırken, antimikrobiyal etkinlik açısından en etkili olanın (en yüksek derecede inhibisyon

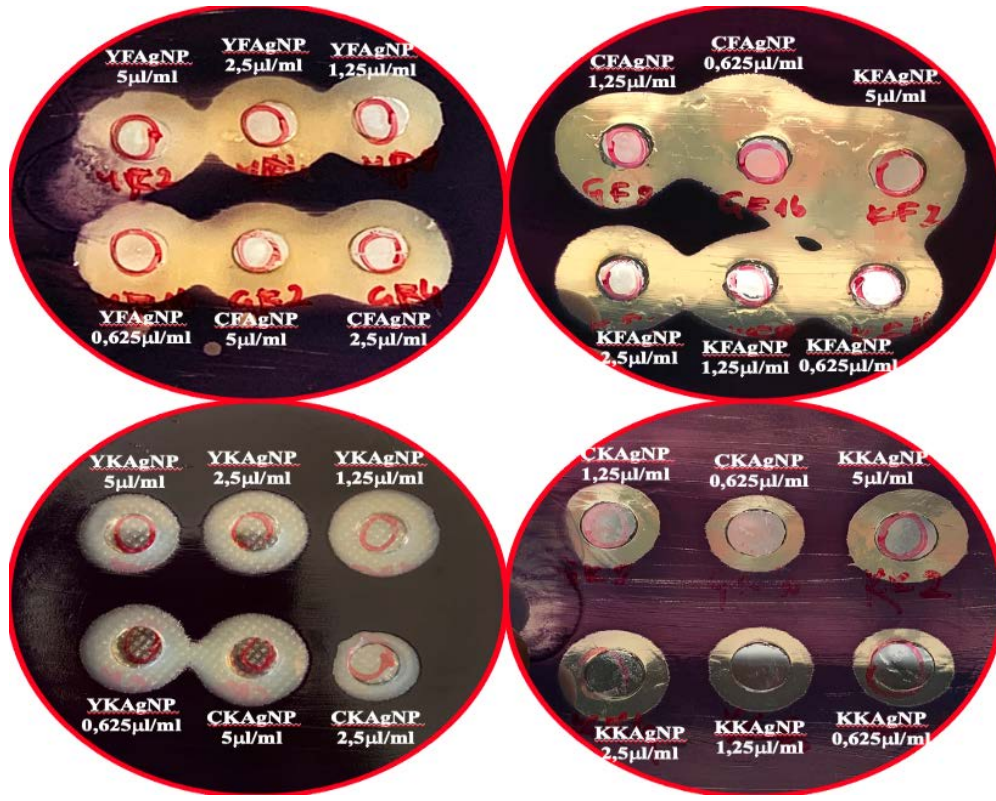
sergileyen) yaş yer fıstığı kullanılarak sentezlenen YFagNP olduğu gözlenmiştir. Bu bağlamda, mevcut araştırmanın gösterdiği genel etki hem üstün performans açısından hem de Duncan testi tarafından belirlendiği gibi toplu olarak diğer sentezlenmiş AgNP'lerden farklıdır. Bununla birlikte, mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkinlik konusunda minimum etki sergileyen gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), sırasıyla yaş kabuk ve kavrulmuş yer fıstığı kullanılarak sentezlenen YKAgNP ve KFagNP'dir. İstatistiksel değerlendirmenin sonucunda, YKAgNP ve KFagNP'nin karşılaştırılabilir antimikrobiyal özellikler sergilediği ve böylece fonksiyonel muadilleri olarak potansiyel değiştirilebilirliklerini gösterdiği belirlenmiştir. Tablo 5'te tanımlanan alternatif gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) incelenmesi üzerine, kavrulmuş kabuk, çiğ yer fıstığı ve yaş kabuk ile sentezlenen AgNP'ler (KKAgNP, ÇFagNP ve ÇKAgNP) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir benzerlik gözlemlendi. Duncan testinden elde edilen bulgulara dayanarak, bu üç AgNP'nin sergilediği antimikrobiyal özellikler karşılaştırılabilir ve etkili bir şekilde birbirinin yerine geçebilir.

3.5. *A. hypogaea* Tohum ve Kabuğu ile Sentezlenen AgNP'lerin Minimal İnhibisyon Konsantrasyonları (MİK)

Yapılan çalışma kapsamında; antimikrobiyal aktivitesi tespit edilen AgNP'lere ait minimal inhibisyon konsantrasyonları Tablo 6 ve 7'de belirtilmiştir. MİK tablosunda bulunan değerler; AgNP'lerin dilüsyon metodu uygulanarak gerçekleştirilmiş seyreltilme seviyelerini göstermektedir. AgNP'lerin minimal inhibisyon konsantrasyonları göz önüne alındığında; sentezlenen AgNP'lerin en düşük doz ile üzerinde en fazla etkiyi gösterdikleri mikroorganizma türü *C. violaceum*'dur. Bununla birlikte; tüm AgNP'ler göz önünde bulundurulduğunda en düşük doz ile en fazla inhibisyon etkisine sahip olan AgNP'ler, 3mM'lık AgNP'lerdir. *A. hypogaea* tohumlarıyla sentezlenen AgNP'lerin minimal inhibisyon konsantrasyonları, *A. hypogaea* kabuklarıyla sentezlenen AgNP'lere göre daha düşüktür. Bu durum, tohumlar ile sentezlenen AgNP'lerin, kabuklar ile sentezlenen AgNP'lere göre daha yüksek inhibisyon etkisi gösterdiğini ifade etmektedir.

3.6. Anti-Quorum Sensing Analizi Sonuçları

Anti-Quorum Sensing aktivite (Anti-QS) iki ayrı yöntem ile analiz edilmiştir. Bu iki yöntemden birincisi olan agar difüzyon yönteminde *C. violaceum* bakterisi bulunan plaklarda (Şekil 6), AgNP'lerin zon çapları hesaplanmıştır (Tablo 8). İkinci yöntemde ise UV-spektroskopi kullanılarak Anti-QS çalışmalarında indikatör olarak kullanılan ve *C. violaceum* bakterisi tarafından üretilen "violacein" pigmenti analiz edilmiştir. *C. violaceum* bakterisinde pigmentasyonda gözlenen azalma, uygulanan maddenin (AgNP) Quorum-sensing (QS) mekanizmaları üzerinde inhibitör bir etki yarattığını göstermektedir.



Şekil 6. *A. hypogaea* ile sentezlenen AgNP'lerin anti-quorum sensing aktivitelerine ait inhibisyon zonları.

Tablo 6. *A. hypogaea* tohumları ile sentezlenen AgNP'lerin MİK tablosu

Mikroorganizma Tür İsimleri	Gümüş Nanopartiküller (AgNP)											
	Yaş			Çiğ			Kavrulmuş			AgNO ₃		
	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM
<i>A. hydrophila</i>	1,25	0,625	0,078	2,5	2,5	0,156	---	---	2,5	2,5	2,5	1,25
<i>B. cereus</i>	5,0	2,5	0,156	5,0	2,5	0,156	---	---	---	5,0	5,0	2,5
<i>B. subtilis</i>	2,5	1,25	0,156	5,0	2,5	0,156	5,0	2,5	0,625	5,0	5,0	1,25
<i>B. thuringiensis</i>	0,078	0,039	0,039	1,25	0,312	0,039	2,5	2,5	1,25	2,5	2,5	0,625
<i>C. albicans</i>	5,0	1,25	0,312	---	---	---	5,0	5,0	2,5	5,0	5,0	2,5
<i>C. parapsilosis</i>	2,5	2,5	0,312	5,0	2,5	0,156	---	5,0	2,5	2,5	1,25	0,156
<i>C. tropicalis</i>	5,0	2,5	0,625	5,0	5,0	0,625	2,5	0,625	0,625	2,5	2,5	0,312
<i>C. violaceum</i>	0,312	0,078	0,039	0,625	0,312	0,039	0,625	0,625	0,312	0,625	0,312	0,312
<i>E. aerogenes</i>	2,5	1,25	0,156	2,5	2,5	0,156	5,0	2,5	1,25	2,5	2,5	0,312
<i>E. faecalis</i>	5,0	0,625	0,312	5,0	5,0	2,5	2,5	1,25	1,25	5,0	5,0	2,5
<i>E. coli</i>	2,5	2,5	0,156	2,5	2,5	0,312	1,25	0,312	0,156	5,0	2,5	0,312
<i>K. pneumoniae</i>	5,0	1,25	0,312	2,5	2,5	0,312	2,5	2,5	2,5	5,0	5,0	2,5
<i>L. monocytogenes</i>	2,5	1,25	0,625	5,0	5,0	0,156	---	5,0	2,5	5,0	5,0	2,5
<i>P. mirabilis</i>	5,0	5,0	0,625	5,0	5,0	1,25	5,0	5,0	2,5	5,0	2,5	2,5
<i>P. vulgaris</i>	5,0	5,0	1,25	5,0	5,0	0,625	5,0	2,5	1,25	5,0	5,0	2,5
<i>P. aeruginosa</i>	2,5	1,25	0,312	5,0	5,0	0,156	2,5	1,25	1,25	5,0	2,5	0,625
<i>S. typhimurium</i>	2,5	1,25	2,5	5,0	5,0	0,156	5,0	5,0	2,5	5,0	5,0	0,625
<i>S. dysenteriae</i>	5,0	1,25	0,312	5,0	2,5	0,156	2,5	0,625	0,625	5,0	5,0	2,5
<i>S. aureus (25923)</i>	2,5	2,5	0,625	2,5	2,5	0,312	---	---	---	2,5	1,25	1,25
<i>S. aureus (29213)</i>	2,5	1,25	0,312	2,5	2,5	0,156	---	---	1,25	2,5	2,5	1,25
<i>S. epidermidis</i>	0,625	0,156	0,156	2,5	1,25	0,078	0,625	0,625	0,312	2,5	0,625	0,625
<i>V. anguillarum</i>	5,0	2,5	1,25	5,0	2,5	0,312	2,5	1,25	0,312	5,0	5,0	1,25

(---)= antimikrobiyal aktivite gözlemlenememesi nedeniyle MİK analizi yapılmadığını ifade etmektedir.

Tablo 7. *A. hypogaea* kabukları ile sentezlenen AgNP'lerin MİK tablosu

Mikroorganizma Tür İsimleri	Gümüş Nanopartiküller (AgNP)											
	Yaş			Çiğ			Kavrulmuş			AgNO ₃		
	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM	1mM	2mM	3mM
<i>A. hydrophila</i>	2,5	1,25	1,25	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,25	2,5	2,5	1,25
<i>B. cereus</i>	2,5	1,25	1,25	2,5	2,5	1,25	5	2,5	2,5	5,0	5,0	2,5
<i>B. subtilis</i>	5	2,5	2,5	2,5	1,25	1,25	5	2,5	2,5	5,0	5,0	1,25
<i>B. thuringiensis</i>	0,312	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,625	0,312	0,312	2,5	2,5	0,625
<i>C. albicans</i>	---	---	---	---	---	2,5	5	5	2,5	5,0	5,0	2,5
<i>C. parapsilosis</i>	2,5	2,5	1,25	5	5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,25	0,156
<i>C. tropicalis</i>	5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5	5	2,5	2,5	2,5	0,312
<i>C. violaceum</i>	0,156	0,156	0,156	0,312	0,156	0,156	0,312	0,312	0,156	0,625	0,312	0,312
<i>E. aerogenes</i>	5	2,5	1,25	5	2,5	1,25	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0,312
<i>E. faecalis</i>	5	1,25	0,625	2,5	2,5	1,25	5	2,5	1,25	5,0	5,0	2,5
<i>E. coli</i>	5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5	5	2,5	5,0	2,5	0,312
<i>K. pneumoniae</i>	5	2,5	1,25	5	5	2,5	5	2,5	2,5	5,0	5,0	2,5
<i>L. monocytogenes</i>	2,5	2,5	2,5	1,25	1,25	1,25	2,5	2,5	2,5	5,0	5,0	2,5
<i>P. mirabilis</i>	5	5	2,5	5	2,5	2,5	5	5	2,5	5,0	2,5	2,5
<i>P. vulgaris</i>	5	2,5	2,5	2,5	1,25	1,25	5	5	2,5	5,0	5,0	2,5
<i>P. aeruginosa</i>	2,5	2,5	1,25	5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5,0	2,5	0,625
<i>S. typhimurium</i>	5	5	2,5	5	5	2,5	5	2,5	2,5	5,0	5,0	0,625
<i>S. dysenteriae</i>	2,5	1,25	1,25	5	2,5	1,25	2,5	2,5	2,5	5,0	5,0	2,5
<i>S. aureus (25923)</i>	5	1,25	1,25	2,5	2,5	1,25	2,5	2,5	2,5	2,5	1,25	1,25
<i>S. aureus (29213)</i>	2,5	1,25	1,25	5	5	1,25	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,25
<i>S. epidermidis</i>	2,5	1,25	1,25	5	1,25	1,25	2,5	2,5	2,5	2,5	0,625	0,625
<i>V. anguillarum</i>	5	1,25	1,25	2,5	2,5	1,25	5	2,5	2,5	5,0	5,0	1,25

(---)= antimikrobiyal aktivite gözlemlenememesi nedeniyle MİK analizi yapılmadığını ifade etmektedir.

Tablo 8. *A. hypogaea* ile sentezlenen AgNP'lerin anti-quorum sensing aktivitelerine ait zon çapları

Konsantrasyon	Gümüş Nanopartiküller (AgNP)					
	Yaş		Çiğ		Kavrulmuş	
	Fıstık	Kabuk	Fıstık	Kabuk	Fıstık	Kabuk
5 µl/ml	19,8	17,8	19,6	18,6	19,6	16,4*
2,5 µl/ml	19,2	16,8*	18,6	16,8*	19,4	14,8*
1,25 µl/ml	18,8	16,4	18,4	14,6*	18,4	14,4*
0,625 µl/ml	18,8	13,6*	18,2	12,4*	17,8	12,6*

*= kabuk ile yeşil sentezi gerçekleştirilmiş AgNP'lerin, tohum ile yeşil sentezi gerçekleştirilmiş AgNP'lere göre istatistiksel açıdan anlamlı düşüşü göstermektedir (P<0,05).

Bu bağlamda, sentezlenen tüm gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler), anti-quorum algılama (anti-QS) aktivitesinin değerlendirilmesi için kullanılan agar difüzyon metodolojisinde etkinlik sergilediği gösterilmiştir. Gözlemlenen inhibisyon bölgeleri, *C. violaceum* bakterilerinin pigmentleri sentezleyemediği alanlar olarak kabul edilir. Sentezlenen gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) arasında, tohum aracılı yöntemle sentezlenenler en belirgin anti-quorum algılama (QS) aktivitesini sergiledi. Bununla birlikte, daha koyu bir renk tonu ile temsil edilen inhibisyon bölgeleri, eşdeğer konsantrasyonlarda diğer toplu nanopartikül formülasyonları tarafından yürütülen anti-quorum algılama aktiviteleri ile yan yana getirildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma sergiledi (P<0,05). AHL oluşumunu engelleyerek *Chromobacterium violaceum*'da açıl homoserin lakton (AHL) sentezini etkili bir şekilde engelleyen ve sonuç olarak en belirgin anti-quorum algılama (anti-QS) aktivitesini sergileyen gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), *Arachis hypogaea* bitkisinden türetilen yaş tohumlar kullanılarak üretilen AgNP'lerdir.

4. Tartışma

Yapılan çalışma kapsamında; yaş, çiğ ve kavrulmuş *A. hypogaea* tohum ve kabukları ile yeşil sentezi gerçekleştirilen AgNP'lerin UV-Vis spektrumları tespit edilmiştir. Bilimsel literatürdeki çalışmalarda, *A. hypogaea* kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerin UV-Vis spektrumlarında gözlemlenen yüzey plazmon rezonansı 420 nm'lik dalga boyunda tanımlanmıştır (Padmapriya vd., 2020). *A. hypogaea*'nın tohum ve kabukları kullanılarak yeşil sentez yoluyla üretilen gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) UV-Vis spektrumları, sırasıyla 485 nm ve 450 nm'de tepe dalga boyu sergilemiştir. Bu bağlamda, *Arachis hypogaea* kullanılan yeşil sentez yaklaşımında, gümüş nanopartiküllerin (AgNP) sentezine odaklanan önceki yıllarda yapılan araştırmalarla bağlantılı olarak, ultraviyole görünür (UV-Vis) spektral değerlerinin 350 nm ila 500 nm aralığında olduğu belirlendi (Saha vd., 2016; Sankaranarayanan vd., 2016). Bununla birlikte, gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) yeşil sentezine ilişkin UV-Vis spektral grafiklerinde çeşitli parametrelerin

tanımlanması, kullanılan malzemelerin doğasına, gümüş nitrat konsantrasyonuna (AgNO₃) ve ayrıca sıcaklık ve pH seviyelerindeki dalgalanmalara bağlı olarak değişebilir (Jagtap ve Bapat, 2013; Yang ve Li, 2013).

Arachis hypogaea tohumları ve kabukları kullanılarak üretilen gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) bir dizi bakteri türüne karşı antimikrobiyal özellikleri sistematik olarak araştırılmıştır. Agar well difüzyon tekniği ile yürütülen antimikrobiyal etkinliğin analizi, yeşil metodolojilerle sentezlenen AgNP'lerin bakterilere karşı önemli antimikrobiyal aktivite sergilediğini ortaya koydu. *Ficus racemosa* bitkisini kullanan çevre dostu yöntemlerle sentezlenen AgNP'lerle ilişkili antimikrobiyal aktivite bölgelerinin maksimum çapları, sırasıyla *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus* ve *P. aeruginosa* için 13 mm, 12 mm, 12 mm ve 9 mm'de ölçülmüştür (Garole vd., 2018). Araştırmamıza göre, gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) için gözlemlenen antimikrobiyal aktivite bölgelerinin maksimum çapları *Escherichia coli* için 13,8 mm, *Bacillus subtilis* için 12,4 mm, *Staphylococcus aureus* için 12,6 mm ve *Pseudomonas aeruginosa* için 12,2 mm'dir. *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* gibi patojenik bakteriler üzerinde inhibitör etkiler sergileyen AgNP'lerin çalışma kapsamında diğer 20 bakteri suşu üzerinde etkisi olduğu belirlendi. Bilimsel literatür içindeki karşılaştırılabilir araştırmalar, bu bakteri taksonlarıyla ilişkili antimikrobiyal özellikleri benzer şekilde tanımlamıştır ve araştırmamızın bulguları, literatürde mevcut verilerle desteklenen antimikrobiyal aktivite olduğunu göstermiştir (Gemell vd., 2006; Chopra, 2007). Gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) belirli bakteri taksonlarına karşı sergilediği belirgin antimikrobiyal etkinliğe rağmen, diğer taksonlarda gözlemlenen azalmış antimikrobiyal etkinlik, bu tür değişkenliğin, özellikle de membran mimarileri içindeki peptidoglikan tabakasının kalınlığı ile ilgili olarak, bakteri türleri arasındaki yapısal tutarsızlıklara atfedilebileceğini ima eder (Rai vd., 2009). Başka bir araştırma, *Arachis hypogaea*'nın tohumlarından ve kabuklarından üretilen AgNP'lerin olası etki mekanizmalarını aydınlatmak için gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) anti-quorum algılama (anti-QS) yeteneklerinin tanımlanmasına odaklanmaktadır. Şimdiye kadar yapılan çok sayıda araştırma, çeşitli bitkiler ve deniz algleri tarafından sergilenen anti-quorum algılama özelliklerinin aydınlatılmasına odaklanmıştır (Gao vd., 2003). Araştırmada açıklanan sonuçlar, *A. hypogaea*'nın yeşil tohumları ve kabukları kullanılarak üretilen AgNP'lerin patojen bakteri suşlarına karşı kapsamlı ve çeşitli anti-quorum algılama (QS) etkinliği sergilediğini göstermektedir. Bu bağlamda, en önemli anti-quorum algılama aktivitesini sergileyen numune, fıstık tohumu kullanılarak üretilen gümüş nanopartiküllerdir. Ayrıca, değişen konsantrasyonlarda uygulanan numunelerde optimal dozajın 5 µl/ml olduğu gösterilmiştir. Gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) *C. violaceum* suşunda violacein pigmentinin biyosentezini inhibe ettiği gözlemlenmiştir (Adonizio vd., 2006). AgNP'lerin pigmentasyonundaki bu kısıtlama, *C.*

violaceum arasında karşılıklı iletişim için bir ortam görevi gören açıl homoserin lakton (AHL) sinyal molekülünün sentezinin baskılanması nedeniyle ortaya çıkmıştır. Bilimsel literatürde belgelenen araştırmaların kapsamlı bir incelemesi yapıldıktan sonra, flora veya mikrobiyal varlıklar dahil olmak üzere çeşitli biyolojik örneklerden türetilen yeşil sentezlenmiş AgNP'lerin, anti-quorum algılama (Anti-QS) aktivitesi ile ilgili olarak önemli etkinlik sergilediği anlaşılmıştır. Örnek olarak, *Carum copticum* bitkisi kullanılarak üretilen gümüş nanopartiküller (AgNP'ler), *C. violaceum* suşuna karşı anti quorum sensing (Anti-QS) etkinlikleri açısından değerlendirilmeye tabi tutuldu. (Qais vd., 2020). Araştırmamızın bir sonucu olarak, violacein pigmentinin inhibisyonunun %83,2 olduğu belirlendi. Araştırmamızda, *A. hypogaea* tohumlarını kullanan yeşil bir yaklaşımla sentezlenen AgNP'ler tarafından violacein inhibisyon oranının mevcut literatürde bildirilen oranı aştığı gözlemlenmiştir. Violacein pigmentinin inhibisyonunun 5 µl/ml konsantrasyonda YFAGNP için %86,74; CFAgNP için %84,83 ve KFAgNP için %84,97 olduğu gözlemlenmiştir. Literatürde belgelenen çok sayıda quorum sensing inhibisyon araştırmasından elde edilen inhibisyon oranlarına ilişkin sonuçlar, araştırmamızda gözlemlenen inhibisyon oranlarından daha düşük değerler sergiler (Salini ve Pandian, 2015; Anju ve Sarada, 2016).

5. Sonuç

Bu araştırma, önemli besin özellikleriyle tanınan *A. hypogaea*'nın tohumları ve kabukları ile yeşil sentez yaklaşımı kullanılarak elde edilen gümüş nanopartiküllerin önemini aydınlatmıştır. Nanomateryaller çağdaş toplumda ve bilimsel alanda çok önemli bir rol oynamaktadır. Halen, patojen mikroorganizmaların antibiyotik tedavilerine direncinde kayda değer bir artış vardır. Bu durum, geleneksel antibiyotiklerin yerine alternatif materyallerin geliştirilmesini gerektirir. Araştırmada analiz edilen veriler; *A. hypogaea* tohumları ve kabukları kullanılarak sentezlenen gümüş nanopartiküllerin önemli antimikrobiyal özelliklere sahip olduğunu ileri sürmüştür. Bununla birlikte bulgularımız, bu AgNP'lerin yalnızca mikroorganizmalar üzerinde ölümcül bir etki göstermekle kalmayıp, aynı zamanda bakterilerin toplu olarak direnç geliştirme kapasitesini engellediğini ve direnç için gerekli strese bağlı mekanizmaları inhibe ettiğini göstermiştir. Gümüş nanopartiküller toksik olmayan özellikler sergiler, uygun maliyetlidir, çevresel olarak sürdürülebilirdir ve bakteriyel patojenlere karşı önemli etkinlik gösterir. Bu nedenle AgNP'ler gelecekteki antimikrobiyal uygulamalar için umut verici adaylar olarak konumlandırılır. Küresel olarak yaygın olarak tüketilen yer fıstığının belirli miktarlarda alındığında sağlık için faydalı olduğu ve ayrıca fıstık tohumları ile kabukları üzerinde nanomalzeme tekniklerinin uygulanmasıyla ilaç sektörünün canlı organizmalar için çeşitli avantajlar sağlayabilecek malzemeler elde edebileceği öne sürülmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarın katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	T.A.
K	100
T	100
Y	100
VTI	100
VAY	100
KT	100
YZ	100
KI	100
GR	100
PY	100
FA	100

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon, PY= proje yönetimi, FA= fon alımı.

Çalışma Beyanı

Yazar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedir.

Etik Onay Beyanı

Bu araştırmada hayvanlar ve insanlar üzerinde herhangi bir çalışma yapılmadığı için etik kurul onayı alınmamıştır.

Kaynaklar

Adonizio AL, Downum K, Bennett BC, Mathee K. 2006. Anti-quorum sensing activity of medicinal plants in southern Florida. *J Ethnopharmacol*, 105(3): 427-435.

Anju S, Sarada J. 2016. Quorum sensing inhibiting activity of silver nanoparticles synthesized by *Bacillus* isolate. *Int J Pharm Biol Sci*, 6: 47-53.

Chopra I. 2007. The increasing use of silver-based products as antimicrobial agents: a useful development or a cause for concern? *J Antimicrob Chemother*, 59: 587-590.

Gao M, Teplitski M, Robinson JB, Bauer WD. 2003. Production of substances by *Medicago truncatula* that affect bacterial quorum sensing. *Amer Phytopathol Soc*, 16: 827-834.

Garole VJ, Garole DJ, Tegtüre SR, Choudhary BC, Borse AU. 2018. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Ficus racemosa* latex and its antimicrobial activity. *World J Pharmaceut Res*, 2018: 1385-1400.

Gemmell CG, Edwards DI, Frainse AP. 2006. Guidelines for the prophylaxis and treatment of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) infections in the UK. *J Antimicrob Chemother*, 57: 589-608.

Horikoshi S, Serpone N. 2013. Introduction to nanoparticles. In: Horikoshi S, Serpone N, editors. *Microwaves in nanoparticle synthesis: Fundamentals and applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH Co, Weinheim, Germany, pp: 57.

Isanga J, Zhang GN. 2007. Biologically active components and

nutraceuticals in peanuts and related products: Review. *Food Rev Int*, 2007: 123-140.

Jagtap UB, Bapat VA. 2013. Green synthesis of silver nanoparticles using *Artocarpus heterophyllus* Lam. seed extract and its antibacterial activity. *Ind Crop Prod*, 46: 132.

Kim JA, Åberg C, de Cárcer G, Malumbres M, Salvati A, Dawson KA. 2013. Low dose of amino-modified nanoparticles induces cell cycle arrest. *ACS Nano*, 9: 7483-7494.

Kumar D, Kumari J, Pakrashi S, Dalai S, Raichur AM, Raichur AM, Sastry TP, Mandal AB, Chandrasekaran N, Mukherjee A. 2014. Qualitative toxicity assessment of silver nanoparticles on the fresh water bacterial isolates and consortium at low level of exposure concentration. *Ecotoxicol Environ Safety*, 108: 152-160.

Liu J, Wang Z, Liu FD, Kane AB, Hurt RH. 2012. Chemical transformations of nanosilver in biological environments. *ACS Nano*, 6: 9887-9899.

Lopes RM, Agostini-Costa TS, Gimenes MA, Silveira D. 2011. Chemical composition and biological activities of *Arachis* species. *J Agri Food Chem*, 59: 4321-4330.

Padmapriya G, Muthukumaravel A, Ashok K, Senthil J, Babu M. 2020. Antimicrobial activity of green synthesized silver nanoparticles room sprayer from *Arachis hypogaea* root nodules. *Eur J Molec Clin Medic*, 2: 2639-2646.

Qais FA, Shafiq A, Ahmad I, Husain F. 2020. Green synthesis of silver nanoparticles using *Carum copticum*: Assessment of its quorum sensing and biofilm inhibitory potential against Gram negative bacterial pathogens. *Microb Pathogenesis*, 144: 104172.

Rai M, Yadav A, Gade A. 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biot Adv*, 27: 76-83.

Rodriguez A, Rueksomtawin Kildegaard K, Li M, Borodina I, Nielsen J, Nielsen J. 2015. Establishment of a yeast platform strain for production of p-coumaric acid through metabolic engineering of aromatic amino acid biosynthesis. *Metabolic Eng*, 31: 181-188.

Saha N, Trivedi P, Gupta SD. 2016. Surface plasmon resonance (SPR) based optimization of biosynthesis of silver nanoparticles from rhizome extract of *Curculigo orchioides* Gaertn and its antioxidant potential. *J Clust Sci*, 27: 1893-1912.

Salini R, Pandian SK. 2015. Interference of quorum sensing in urinary pathogen *Serratia marcescens* by *Anethum graveolens*. *Pathog Dis*, 73(6): ffv038.

Sankaranarayanan A, Govindarasu M, Gopalu K, Shine K, Naiyf S, Jamal M, Denis K. 2016. Green synthesis of silver nanoparticles using *Arachis hypogaea* (ground nut) Root extract for antibacterial and clinical applications. *J Clust Sci*, 28: 995-1008.

Singh R, Shedbalkar UU, Wadhvani SA, Chopade BA. 2015. Bacteriogenic silver nanoparticles: synthesis, mechanism, and applications. *Appl Microbiol Biotechnol*, 99: 4579-4593.

Yang N, Li WH. 2013. Mango peel extract mediated novel route for synthesis of silver nanoparticles and antibacterial application of silver nanoparticles loaded onto non-woven fabrics. *Ind Crop Prod*, 48: 81.

Zhang SB, Lu QY, Yang H, Li Y, Wang S. 2011. Aqueous enzymatic extraction of oil and protein hydrolysates from roasted peanut seeds. *J Amer Oil Chem Soc*, 88: 727-732.