



## Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

### Araştırma Makalesi (Research Article)

Makale Doi: 10.17100/nevbittek.917256

Geliş Tarihi:16-04-2021

Kabul Tarihi:01-06-2021



## Çinko Nanopartiküllerinin (ZnO NP) Biyosentezi, Karakterizasyonu ve Anti- Bakteriye Etkisinin İncelenmesi<sup>A</sup>

Kevser GÜNAY<sup>1</sup> Zeliha LEBLEBİCİ<sup>2\*</sup>, Fatih Doğan KOCA<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı  
ORCID ID:0000-0001-8650-0281

<sup>2</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü  
ORCID ID:0000-0002-6127-3809

<sup>3</sup>Erciyes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Su Ürünleri ve Hastalıkları Anabilim Dalı  
ORCID ID:0000-0001-9774-3019

### Özet

Bitki özütleri ile sentezlenen metal nanopartiküllerin diğer sentez yöntemlerine kıyasla üretimi kolay, güvenilir ve ucuz bir yöntemdir. *Nasturtium officinale* (su teresi) ağır metalleri akümüle etme yeteneğine sahiptir. Bu çalışmada, *Nasturtium officinale* özütü kullanılarak ZnO nanopartiküllerinin (NP) biyosentezi, karakterizasyonu ve antibakteriyel etkisi incelenmiştir. Nanopartiküllerin karakterizasyonu X-ışını analizi (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi (FT-IR), Yüzeysel yük ölçümü (ZETA), Taramalı elektron mikroskobu (SEM) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. *Nasturtium officinale* özütü ile biyosentezi gerçekleştirilen ZnO NP'nin yüzeysel yükü -14 mV'de belirlenmiştir. ZnO NP'nin Taramalı elektron mikroskobu ile parçacık boyutu ortalama 90 nm olarak bulunmuştur. İlk kez bu çalışmada *N. officinale* özüt tabanlı ZnO NP'nin *Vibrio parahaemolyticus* ve *Aeromonas hydrophila* bakterileri üzerindeki antibakteriyel aktiviteleri, minimal inhibe edici konsantrasyon (MİK) yöntemiyle ölçülmüştür. Antibakteriyel aktivite ölçümlerinde, sentezlenen nanopartiküllerin *V. parahaemolyticus* ve *A. hydrophila* bakteriyel aktivite inhibisyonu sağladığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çinko Nanopartikülü (ZnO NP); Biyosentez; *Nasturtium officinale*; SEM; Anti-Bakteriyel etki

## Biosynthesis, Characterization and Anti-bacterial Effects of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles

### Abstract

Production of metal nanoparticles synthesized with plant extracts is easy, reliable and inexpensive method. *Nasturtium officinale* (watercress) plant has the ability to accumulate heavy metals. In this study, green synthesis, characterization and antibacterial effect of ZnO nanoparticles were investigated using *Nasturtium officinale* extract. Characterization of nanoparticles was carried out by X-ray analysis (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy analysis (FT-IR), Surface charge measurement (ZETA), Scanning electron microscope (SEM) method. Biosynthesis with *Nasturtium officinale* extract, surface charge of ZnO NP at -14 mV. Particle size of ZnO NP was found to be approximately 90 nm by scanning electron microscopy. For the first time in this study, the antibacterial activities of *N. officinale* extract-based ZnO NP on *Vibrio parahaemolyticus* and *Aeromonas hydrophila* bacteria were measured by the minimal inhibitory concentration (MIC) method. In antibacterial activity measurements, it has been determined that the synthesized nanoparticles provide bacterial activity inhibition in *V. parahaemolyticus* and *A. hydrophila*.

**Keywords:** Zinc Nanoparticles (ZnO NP); Biosynthesis; *Nasturtium officinale*; SEM; Anti-bacterial effect

\* Sorumlu yazar e-mail: [zleblebici@nevsehir.edu.tr](mailto:zleblebici@nevsehir.edu.tr)

<sup>A</sup>. Bu makale yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## 1. Giriş

Son zamanlarda bitkilerin birçok alanda ve hastalıkları tedavi yöntemlerinde kullanılması büyük önem kazanmıştır. Bitkilerin insan sağlığı açısından çay, baharat ve besin olarak tüketildiği bilinmektedir [1]. Bunların yanı sıra bazı bitkilerden ilaç yapımı söz konusudur. Bitkilerin kimyasal olmayan tekniklerle yağlarını ve özlerini çıkararak kullanımı gerçekleştirilir. Bu bitkilerin bazılarında merhem yapılarak yaraların tedavilerinde kullanılmaktadır [2].

Son yıllarda popülaritesi gittikçe artan nanoteknoloji, 1-100 nm boyutlarında materyaller geliştirmeyi hedeflemektedir. Nanoteknoloji insan hayatında büyük gelişmeler gösteren ve hızla büyüyen bir alandır. Bilim ve teknoloji alanlarında nano yapıları yeni malzemeler üretmektedir [3]. Geleceğin teknolojisi olarak bilinen nanoteknoloji, insan yararına uygun hale getirilmiş nano ölçekler yüzey alanı/ hacim oranına bağlı olarak farklı manyetik, optik, elektriksel, kimyasal ve fiziksel özelliklerde materyallerin oluşumu gerçekleştirilmektedir [4]. Nanoteknoloji, malzemelerin ileri derecede küçültülerek yeni teknolojilerin oluşturulması sağlanmıştır. Bu sayede, uzun yıllar dayanabilen, temiz, güvenilir, akıllı malzemeler oluşmaktadır. Bu üretilen ürünler, tarımda, ulaşımda, evde, tıpta, endüstride, tekstilde, biyoteknolojide ve iletişimde kullanılmaktadır. Nano yapıları malzemelere örnek olarak, nanoteller, nanokristaller, nanotüpler ve nanopartiküller verilebilmektedir [5].

Gümüş (Ag), altın oksit (AuO), çinko oksit (ZnO), titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), bakır oksit (CuO), seryum oksit (CeO<sub>2</sub>) gibi nano skalalarının arasında çinko oksit (ZnO) en yaygın kullanım alanına sahip metalik NP'ler arasındadır. Nano yapıları çinko oksit (ZnO), optik ve elektriksel özelliklere sahiptir [6-7]. Sentezlenen nanopartiküllerin çok fazla alanda, çeşitli çalışmalarda farklı aktiviteleri bulunmaktadır. Çeşitli kanser hücrelerine ZnO nanopartiküllerinin sitotoksik etki gösterdiği bilinmektedir [8-9]. En iyi bilinen ilaç taşıyıcı sistemler olan ZnO nanopartiküller biyoyoumludur. Partikül boyutu 100 nm'den büyük olan ZnO nanopartikülleri ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA), ilaç dağıtımını kullanarak kullanımda destek sağlamaktadır [10].

Nanopartikül sentez yöntemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik sentez yöntemlerinden oluşmaktadır. Fiziksel yöntemde nanopartikül sentezi pahalı malzemelerle gerçekleşmekte, kimyasal yöntemde ise nanopartikül sentezi gerçekleşirken çevreye ve canlılara ciddi zararlar vermektedir. Bu yüzden daha ucuz ve çevre dostu olan biyolojik sentez yöntemi tercih edilmektedir. Biyolojik kaynaklar olarak bilinen bitkiler, mantarlar, algler ve bakteriler biyolojik sentezde kullanılmaktadır [11-12]. Nanopartiküllerin son yıllarda biyolojik olarak kullanımı fiziksel ve kimyasal metotlara göre daha avantajlıdır. Bitki ekstraktlarının kullanımı basit, ucuz ve çeşitli alanlarda uygulanması nanopartikül sentezi için oldukça önemlidir. Çevre dostu, maliyeti düşük ve fazla miktarda NP sentezi için avantajlı bir yöntemdir. Bitki kökenli malzemeler kullanılarak biyojenik sentez işlemi gerçekleştirilmektedir [13]. Bitki kökenli malzemeler sahip oldukları doğal antibakteriyel etkinliklerinden dolayı sentez de kullanıldıklarında, sentezlenen malzemenin antibakteriyel etkinliğini arttırmaktadırlar. Doğal indirgeyici ajan olarak NP'lerin sentezinde bitki kullanımı son yıllarda popüler hale gelmiştir. Bitki özütü, nanopartiküllerin yapısal özelliklerini etkilemekte ve nanopartikül sentez sürecinde stabilize edici, indirgeyici olarak kullanılmaktadır [14].

C vitamini, folik asit, iyot, protein, demir, kalsiyum ve kükürt gibi bileşikler bakımından zengin olan su teresinin farmakolojik potansiyeli de yüksektir. Ayrıca içeriğinde çok miktarda vitamin ve mineral bulunmaktadır [15]. Düşük kalorili ve yeterli lif kaynağı olan su teresi yüksek kaliteli ve çok faydalı olan bitkisel bir besindir. Günümüz koşullarında bitkiler antioksidan özelliği göstermektedir. Primer metabolitler olarak adlandırılan moleküller bitkiler için yaşamsal aktiviteyi gerçekleştirilmektedir. Primer metabolitlerin gıda ve ilaç sanayisinde kullanımı söz konusudur. *Nasturtium*

*officinale* R.Br. (su teresi), ekonomik ve ekolojik öneme sahip tatlı su kaynaklarında yaşayan tıbbi bir bitkidir. Asya ve Avrupa'dan köken alan su teresi besin olarak insanlar tarafından tüketilmektedir [16-17]. *Nasturtium officinale*, hepatit, balgam söktürücü, grip, astım, tüberküloz, şeker hastalığı, kanser gibi birçok hastalığın tedavilerinde su teresinin yapraklarının kullanıldığı bilinmektedir [18]. Daha önceki çalışmalarda *N. officinale* özütünde bulunan alkaloid, fenol bileşenler, tanin grupları, flavanoid ve terpenoidlerin molibden oksit nanopartiküllerin sentezinde indirgeyici ve kaplayıcı ajan olarak rol oynadığı bildirilmiştir[19].

Çalışmamızda antioksidan özelliğine sahip olan *Nasturtium officinale* ekstraktı kullanılarak ZnO nanopartiküllerinin sentezi biyolojik sentez yolu ile gerçekleştirilmiştir. Daha önce *N. officinale* özütü ile ZnO sentezi gerçekleştirilmiş [20], ancak bu çalışmada NaOH kullanılarak pH ayarlamasının yapılmaması ve test edilen bakterilerin farklı olması yönüyle özgündür. Sentezlenen nanopartiküllerin karakterizasyon çalışmaları Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Yüzey yükü ölçümü (ZETA), X-ışını spektroskopisi (XRD) kullanılarak yapılmıştır. Sentezlenen nanopartiküllerin *Vibrio parahaemolyticus* ve *Aeromonas hydrophila* üzerindeki anti-bakteriyel etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal- Metot

### 2.1. Bitki Örneklerinin Toplanması

Nevşehir'in Gülşehir İlçesi, Eskiyaılacık, Kapadokya Havaalanı Yolu üzeri, Çakırcan Alabalık Tesisleri yanındaki sulak alandan (38°46'35.5"N 34°33'30.4"E) *Nasturtium officinale* bitkisi toplanmıştır. Toplanan örnekler Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü Araştırma Laboratuvarı'nda toz kalıntılarında arındırmak için birkaç kez distile su ile yıkanarak 10 gün süre ile kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan *Nasturtium officinale* yaprakları öğütüldükten sonra çalışmalarda kullanılmıştır.

### 2.3. Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Sentezi

*Nasturtium officinale* ekstraktı ile çinko nitrat ( $Zn(NO_3)_2$ ) solüsyonu ZnO NP sentezi için kullanılmıştır. Bir saat süre boyunca 60°C'de 10 gr kurutulmuş bitki yaprağı 100 ml distile su içerisinde ısıtılarak ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Soğutulan solüsyon filtre kâğıdı ile süzölmüştür. Distile su ile 250 ml' ye tamamlanan çözeltiye  $Zn(NO_3)_2$  solüsyonu eklenerek 150°C' de 5-6 saat süre boyunca karıştırılmıştır. Bu işlem sonucunda solüsyon renginin koyulaştığı görölmüştür. Daha sonra 4500 rpm'de 15 dk ile 2 defa santrifüj edilmiştir. Santrifüjden sonra elde edilen süpernatant kısmı 400°C' de 2 saat boyunca yakılmıştır [21]. Yakma işleminden sonra toz halinde partiküller elde edilmiştir. Elde edilen nanopartiküller çalışmalarda kullanılmak üzere ependorf tüplerde muhafaza edilmiştir.

### 2.4. Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Karakterizasyonu

Sentezlenen ZnO NP'nin oluşumu, partikül şekli ve boyutu SEM (Leo 440 computer controlled digital), her bir kristalin karakteristik kırınımı XRD (Bruker AXS D8 advance model), fonksiyonel grup analizi FT-IR (Perkin Elmer 400)ve büyüklük dağılımları ve yüzey yükü ZETA (Zetasizer Nano ZS90) ile karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen ZnO nanopartiküllerinin antibakteriyel etkileri çalışmada sentezlenen nanopartiküllerin referans bakterilere karşı agar kuyucuk difüzyon yöntemi ile belirlenmiştir. Bu amaçla *E. coli* ve *Aeromonas hydrophila* bakterileri kullanılmıştır.

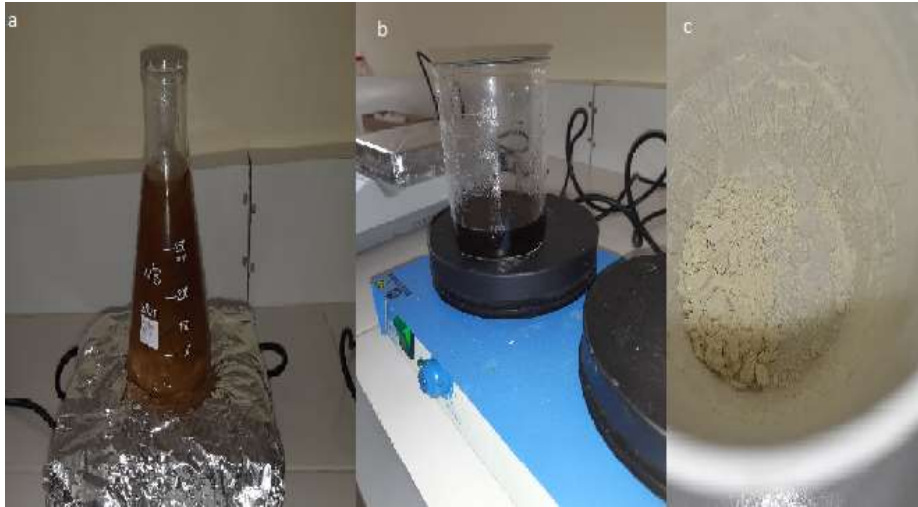
## 2.5. Antibakteriyel Etki

Biyolojik yöntemle sentezlenen ZnO nanopartiküllerin minimum inhibisyon konsantrasyonu testi ile antimikrobiyal aktivitelerini belirlemek için model suşlar olarak *V. parahaemolyticus* ve *A. hydrophila* seçilmiştir. Bu testte, 96 oyuklu mikrotiter plakalar kullanılarak farklı konsantrasyonlarda nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitesi değerlendirildi. Mikroorganizma kültürleri, 0.5 McFarland standardına ayarlandı ( $1.5 \times 10^8$  CFU/mL'ye eşdeğer). Seri şekilde iki kat seyreltilen ZnO nanopartiküller ve bakteriyel süspansiyon (100 uL) her oyuğa eklendikten sonra (negatif kontrol kolonu hariç) inkübe edilmiştir (37° C'de 24 saat). Daha sonra her test örneğinden 10 uL agar yüzeyine kaplanarak 24 saat 37 °C'de inkübe edilmiştir. ZnO nanopartiküllerin antibakteriyel aktiviteleri, pozitif kontrol olarak kullanılan siprofloksasin ile karşılaştırılırken, negatif kontrol olarak distile su kullanılmıştır [22].

## 3. Bulgular

### 3.1. Çinko Nanopartiküllerin Sentezi

Yaptığımız bu çalışmamızda, çinko nanopartiküllerin sentezi için *Nasturtium officinale* özütü kullanılmıştır. Çinko nitrat solüsyonu renksiz, su teresi özütü sarı renklidir. 5 mM  $Zn(NO_3)_2$  solüsyonuna *Nasturtium officinale* özütü eklenmiş ve ısıtma işleminden sonra sarıdan kahverengiye renk değişiminin gerçekleşmesi nanopartikül oluşumunun ilk görsel ifadesi olarak kabul edilmektedir (Şekil 3.1).

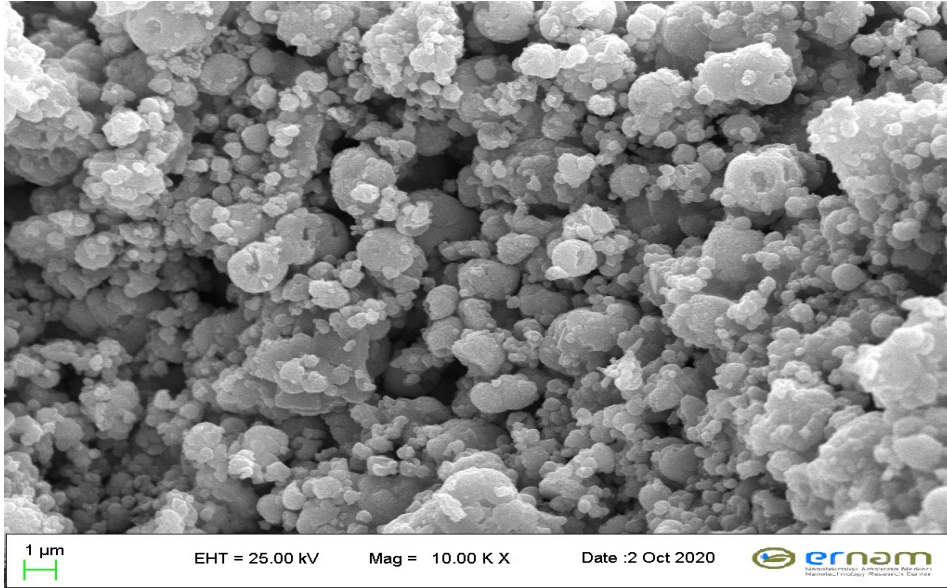


Şekil.3.1. *Nasturtium officinale* özütü kullanılarak ZnO NP'lerin biyosentezi; A- *Nasturtium officinale* özütü; B- ZnO NP solüsyonu; C- Toz halinde ZnO NP

### 3.2. Çinko Oksit Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

#### 3.2.1. SEM Analizi

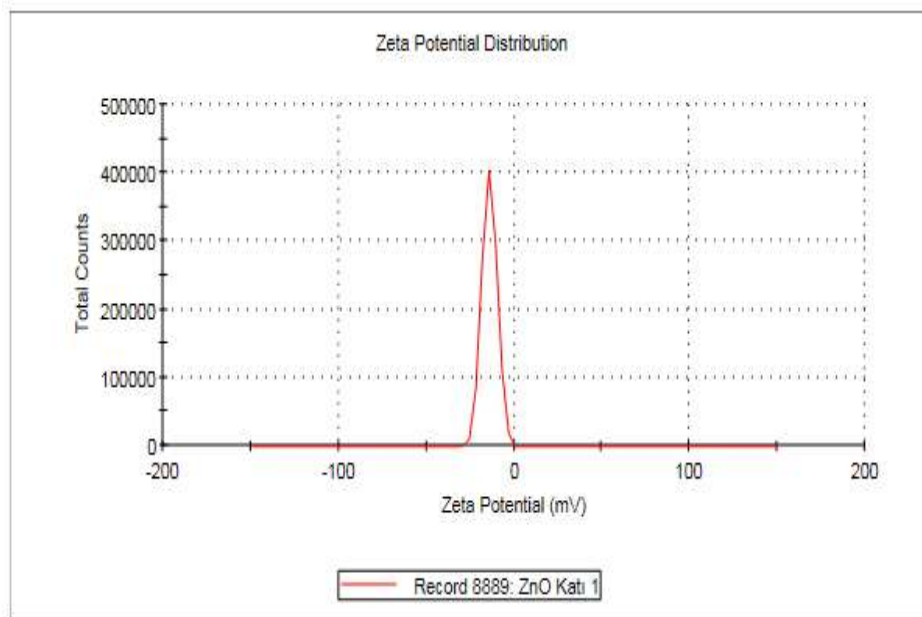
Taramalı Elektron Mikroskobu ile analizi ile yuvarlak yapıdaki ZnO NP'nin parçacık boyutu ortalama 90 nm olarak bulunmuştur (Şekil 3.2). Ayrıca ZnO NP'ler birleşerek farklı boyutlarda agregatlar oluşturduğu gözlenmiştir.



Şekil.3.2. ZN NP

### 3.2.2. Yüzey Yükü Ölçümü

Nanopartiküllerin yüzey yükleri zeta analizleri ile belirlenmekte ve nanopartiküllerin kararlılığının yorumlanmasını sağlamaktadır. Nanopartiküllerin mutlak değer zeta potansiyelinin yüksek çıkması NP'lerin bir araya gelerek kümelenmesini önlemektedir. Bu sayede NP'lerin kararlılığı artmaktadır. *Nasturtium officinale* özütü ile biyosentezi gerçekleştirilen ZnO NP'nin yüzey yükü -14 mV'de belirlenmiştir (Şekil 3.3).

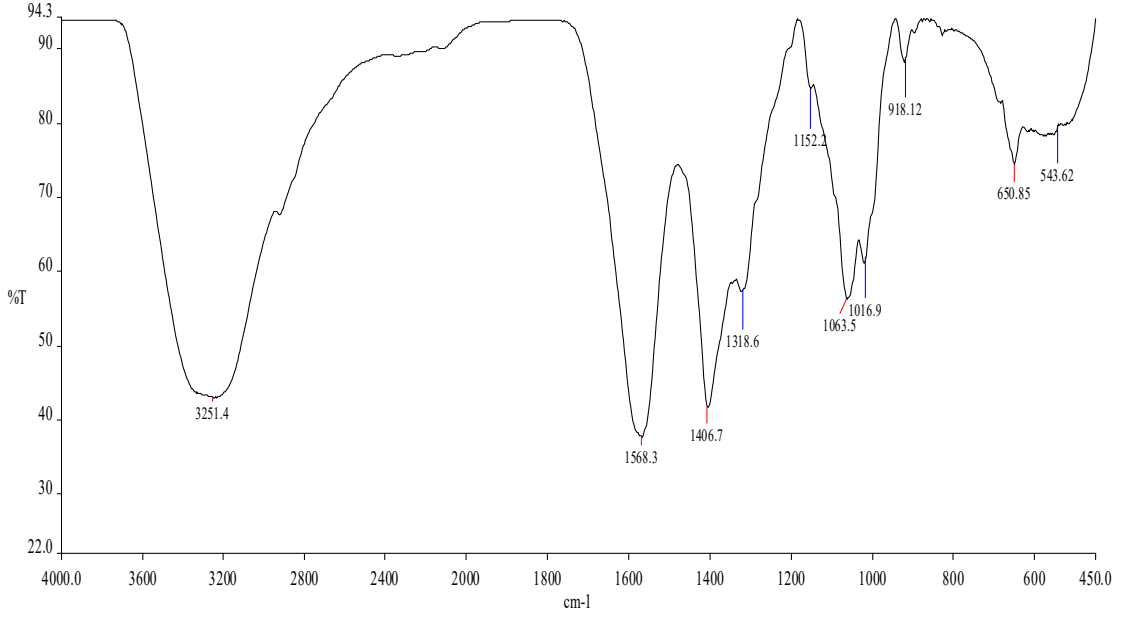


Şekil.3.3. ZnO NP'nin Yüzey Yükü

### 3.2.3. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi

Nanopartiküllerin sentezinde indirgeyici ve kaplayıcı ajan olarak rol oynayan biyolojik fonksiyonel grupların varlığı FT-IR analizi ile belirlenmektedir. FT-IR haritasında elde edilen piklerin 3251.4, 1568.3, 1406.7, 1318.6, 1152.2,

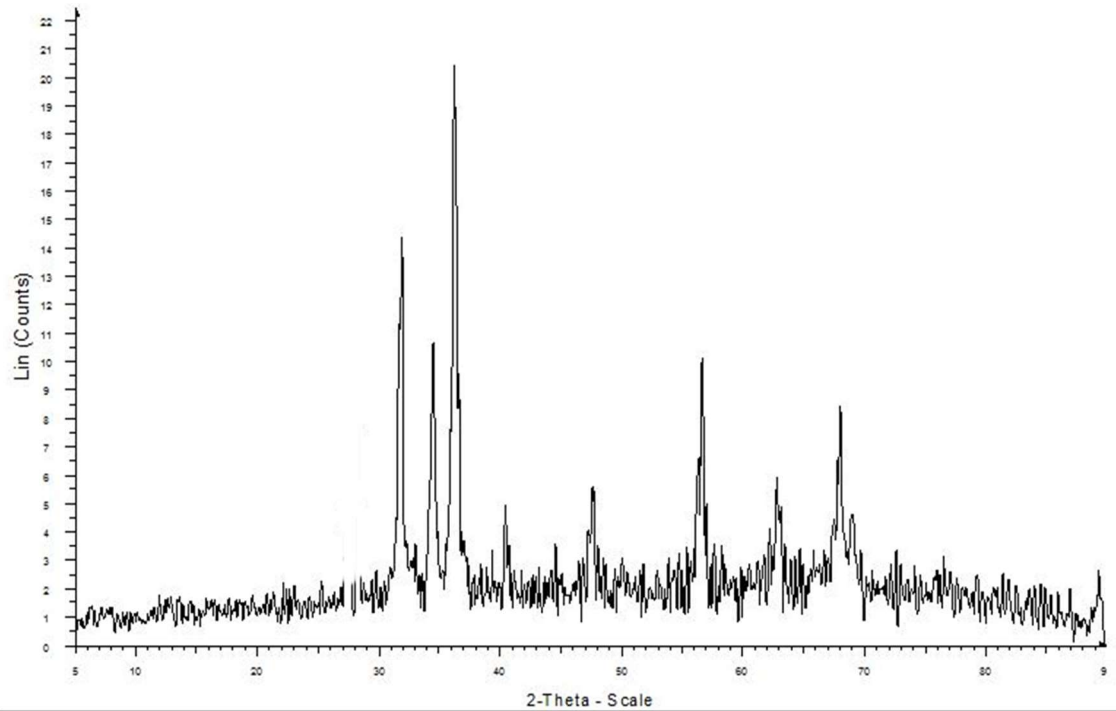
1063.5, 1016.9 ve 918 cm<sup>-1</sup> dalga sayılarında gözlenen pikler ile ZnO NP'lerin sentezinde indirgeyici ve kaplayıcı ajan olarak rol oynayan fonksiyonel gruplar değerlendirilmiştir (Şekil 3.4. ).



Şekil.3.4. ZnO NP 'nin FT-IR analizi

### 3.2.4. X-Işınları Toz Difraksiyon Analizi

X ışını kırınımı, farklı fazlar, yapı ve kristal oryantasyonu hakkında bilgi veren analitik metot olarak kullanılmaktadır. Nanopartiküllerin kristal yapılarını belirlemek amacıyla XRD analizi kullanılmıştır. XRD haritasında 2θ düzleminde 31.7°, 34.3°, 36.2°, 40.2°, 47.6°, 56.5°, 62.9° ve 67.8°'de gözlenen pikler ile 2θ düzleminde kristal yapısı incelenmiştir (Şekil 3.5. ).



Şekil.3.5. ZnO NP'nin XRD analizi

### 3.2.5. Antimikrobiyal aktivite sonuçları

Bu çalışmada *Nasturtium officinale* özütü ile sentezlenen ZnO NP'nin *A. hydrophila* ve *V. parahaemolyticus* suşlarına karşı MIC değeri sırasıyla 15 ve 7.5 µg/ml olarak belirlenmiştir.

## 4. Tartışma ve Sonuç

İçeriğindeki zengin biyoaktif bileşenlerinden dolayı bitki ekstraktları farklı metalik nanopartiküllerin sentezlerinde çok sık kullanıldığı bilinmektedir. Buradaki biyoaktif bileşenler sentez sırasında metal oksitlerin yüzeyine bağlanabilen ve metal oksitlerinin antikanser ve antibakteriyel özelliklere sahip olmasını sağlayabilmektedir [23-24]. Günümüze kadar birçok çalışmada bitki özütleri kullanılarak Zn/ZnO nanopartiküllerin biyosentezi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında ise antikanser özelliklerine yeteri kadar açıklık getirilememiştir. Bugüne kadar çinko nanopartiküllerin sentezi için fiziksel, kimyasal ve biyolojik teknikler kullanılmıştır. Zn NP'lerin sentezinde biyolojik sentez yöntemlerinin gelişim göstermesi düşük maliyetli, çevre dostu ve kolay uygulanabilir olmasıdır.

Su bitkilerinin içeriğinde bulunan zengin biyoaktif bileşenler metal partikülleri oksitleme özelliklerinden dolayı metal oksit sentezinde genellikle kullanılan bitkilerdir. Bitki ekstraktların metal nanopartikülleri indirgeme özelliği metal iyonlarıyla etkileşiminden sonra gerçekleşmektedir [25-30]. Gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada, reaksiyon aşamalarında sarıdan kahverengiye renk değişimi ZnO NP'lerin oluşumunu basitçe belirlemektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi bizim çalışmamızda da sarıdan kahverengiye renk değişimini destekleyen deliller olmaktadır [31-32]. *Nasturtium officinale* bitkisinin içeriğinde bulunan zengin biyoaktif özelliğinden dolayı bu çalışmamızda ZnO NP'nin sentezinde kullanımı gerçekleşmektedir.

ZnO NP'nin yapısı SEM analizi ile gözlenmektedir. Bu çalışmada *Nasturtium officinale* ekstraktında sentezlenen ZnO NP oluşumu biyolojik sentez ile desteklenmektedir. 330 nm'deki  $\lambda$  max. değerleri ZnO NP'lerin sentezinin gerçekleştiğini göstermektedir [33-34]. Nanotıp uygulamalarında etkinliğinin fazla olması ve hücresel boyutta etkileşimini gerçekleşmesi için ZnO NP'nin boyut sınırı  $\leq 200$  nm olması beklenmektedir [35]. Yaptığımız çalışmada SEM analizinde, nano uygulamaları için istenilen boyutlara sahip olduğu kaydedilmiştir.

ZnO NP'nin XRD analizi  $2\theta$  düzleminde  $31.7^\circ$ ,  $34.3^\circ$ ,  $36.2^\circ$ ,  $40.2^\circ$ ,  $47.6^\circ$ ,  $56.5^\circ$ ,  $62.9^\circ$  ve  $67.8^\circ$  de gözlenen kırınım pikleri sırası ile (1 0 0), (0 0 2), (1 0 1), (2 0 0), (1 0 2), (1 1 0), (1 0 3) ve (1 1 2) düzlemlerini ifade etmektedir. Bulgularımız toz kırınımı standartları ortak komitesi (JCPDS NO 36-1451) ile uyumludur [36]. Fu ve Fu (2015), yaptıkları çalışmalarda  $34.420^\circ$ ,  $36.145^\circ$ ,  $47.987^\circ$ ,  $56.502^\circ$ ,  $63.101^\circ$ ,  $67.958^\circ$  ve  $69.014^\circ$  düzleminde gözlenen pikler sırası ile (1 0 0), (0 0 2), (1 0 1), (1 0 2), (1 1 0), (1 0 3), (1 1 2) ve (2 0 1) çizgilerine denk geldiği kaydedilmiştir [37].

FT-IR ile ZnO NP'nin yapısal analizi yapılmıştır. Bu testin sonucunda  $3251.4\text{ cm}^{-1}$ 'de O-H (alkol),  $1568.3\text{ cm}^{-1}$ 'de N-H (amin),  $1406.7\text{ cm}^{-1}$ 'de O-H (alkol),  $1318.6\text{ cm}^{-1}$ 'de C-N (aromatik amin),  $1152.2\text{ cm}^{-1}$ 'de C-O (alifatik eter),  $1063.5\text{ cm}^{-1}$ 'de C-O (alkol),  $1016.9\text{ cm}^{-1}$ 'de C=C (Allen) band titreşimleri  $918\text{ cm}^{-1}$  dalga boylarında ise partikülün yapısında bulunan fonksiyonel gruplar belirlenmiştir. Zn-O varlığı  $50$  ve  $543.62\text{ cm}^{-1}$ 'de metal oksijen titreşimi ile band gözlenmektedir. ZnO NP'nin FT-IR analizini Rajiv ve ark. (2013), M-O (metal oksijen)  $433,457$  ve  $470\text{ cm}^{-1}$  dalga boylarında [38], Fu ve Fu (2015),  $502\text{ cm}^{-1}$  'de Zn-O band titreşimlerini göstermiştir [37]. Naseer ve ark. (2020), *Cassia fistula* ve *Melia azadarach* özütleri ile sentezledikleri ZnO NP'lerin FT-IR analizinde ortaya çıkan sırasıyla  $683-500\text{ cm}^{-1}$  ve  $698-505\text{ cm}^{-1}$  dalga boylarındaki titreşimlerin ZnO oluşumunu işaret ettiğini bildirmişlerdir [39].

ZnO nanopartiküllerinin sahip olduğu yük şiddeti zeta potansiyeli ile ölçümü gerçekleştirilmiştir. *Nasturtium officinale* özütü ile gerçekleştirilen ZnO NP'nin zeta potansiyeli yüzey yükü -14 mV olarak belirlenmiştir. Bu sayede ortaya çıkan ZnO NP'nin kısa süreli bir stabiliteye sahip özellikte olduğu saptanmıştır.

Çinko nanopartiküller günümüzde tıbbi cihaz üretimlerinde antimikrobiyal olarak kullanımı söz konusudur. Jelatin tabanlı sentezlenen Ag NP'nin *E. coli* ve *S. aureus* suşlarına karşı antimikrobiyal etkisinin, sentezde kullanılan Ag tuz konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı bildirilmiştir [40]. *Eucalyptus globulus* bitkisinin yağı ile sentezlenen ZnO NP'nin *S. aureus* ATCC 43300 ve *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 suşlarına karşı MIC değerleri sırası ile 128 ve 32 µg/ml'de gözlenmiştir [41]. *Mussaenda frondosa* özütü ile sentezlenen ZnO NP'nin *S. aureus* ve *E.coli* suşlarına karşı MIC değerleri sırasıyla 54.13 µg/ml ve 19.23 µg/ml olarak belirlenmiştir [42]. *Artemisia pallens* özütü ile sentezlenen ZnO NP'nin *E.coli* ve *S. aureus*'a karşı MIC değerleri de sırasıyla 62.5 ve 31.25 µg/ml'de tespit edilmiştir [43]. Nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitesinin NP'nin morfolojisine (boyut ve şekil) bağlı olarak farklılık gösterdiği [44], reaksiyon sıcaklığı, bitki özütünün konsantrasyonu, özütün içeriğinin, (dolayısı ile de kullanılan bitki türünün) ortam pH'ı, indirgenen metal konsantrasyonunun da nanopartiküllerin morfolojisine önemli etkiye sahip olduğu bilinmektedir [45]. Dolayısı ile nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitelerinin, sentezde kullanılan bitki türü ve konsantrasyonuna bağlı olduğu görülmektedir. Nanopartiküllerin antimikrobiyal aktiviteleri ise NP'lerin hücre duvarı ile etkileşime girerek hücre zarının ve bütünlüğünün bozulması, NP'lerin Zn iyonlarının salınımı ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) meydana gelmesi ile oluşan oksidatif hasara bağlı olarak gözlenen etki mekanizmaları ile açıklanmaktadır [46].

## 5. Teşekkür

Bu çalışma Nevşehir Hacıbektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ABAP-20F41 ve GAP20F1 nolu projeleri tarafından destek almıştır. NEÜ BAP birimine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

## 6. Kaynaklar

- [1] Arıhan S.K., “Antik Dönemde Bitkisel Tıp ve Tedavi” Ankara Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 199s, Ankara, 2003.
- [2] [Ceran B., “Antik Mısır ve Anadolu Uygarlıklarında Tıp” Selçuk Üniversitesi, *Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 38s, Konya, 2008.
- [3] Albrecht M.A., Evan C.W., Raston C.R., “Green chemistry and the health implications of nanoparticles” *Green Chemistry*, 8, 417-32, 2006
- [4] Osuwa J.C., Anusionwu P.C., “Some advances and prospects in nanotechnology: a review” *Asian Journal of Information Technology*, 10, 96-100, 2011
- [5] Buzea C., Pacheco I., Robbie K., “Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity” *Biointerphases*, 2 (4), 17-71, 2007
- [6] Santhoskumar J., Venkat Kumar S., Rajeshkumar S., “Synthesis of zinc oxide nanoparticles using plant leaf extract against urinary tract infection pathogen” *Resource-Efficient Technologies*, 3(4), 459-65, 2017
- [7] Chen J., Liu X., Wang C., Yin S.S., Li X.L., Hu W.J., “Nitric oxide ameliorates zinc oxide nanoparticles-induced phytotoxicity in rice seedlings” *Journal of Hazardous Materials*, 297, 173-82, 2016
- [8] Nair S., Sasidharan A., Divya Rani V.V., Menon D., Nair S., Manzoor K., “Role of size scale of ZnO nanoparticles and microparticles on toxicity toward bacteria and osteoblast cancer cells” *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 20, 235-41, 2009



- [9] Premanathan M., Karthikeyan K., Jeyasubramanian K., Manivannan G., “Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation” *Nanomedicine*, 7(2), 184-92, 2011
- [10] Hanley C., Layne J., Punnoose A., Reddy K.M., Coombs I., Coombs A., “Perferential killing of cancer cells and activated human T cells using ZnO nanoparticles” *Nanotechnology*, 19(29), 295-303, 2008
- [11] Agarwal H., Venkat Kumar S., Rajeshkumar S., “A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles - An eco-friendly approach” *Resource-Efficient Tecnologies*, 3(4), 406-413, 2017
- [12] Yuvakkumar R., Suresh J., Nathanael A.J., Sundrarajan M., Hong S.I., “Novel green synthetic strategy to prepare ZnO nanocrystals using rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel extract and its antibacterial applications” *Materials Science and Engineering, C, Materials for Biological Applications*, 41, 17-27, 2014
- [13] Akhtar M., Panwar J., Yun Y.S., “Biogenic synthesis of metallic nanoparticles by plant extracts” *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 1, 591-602, 2013
- [14] Kumar V., Yadav S.K., “Plant mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications” *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84(2), 151-157, 2009
- [15] Rose P., Faulkner K., Williamson G., Mithen R., “7-Methylsulfinylheptyl and 8- methylsulfinyloctyl isothiocyanates from watercress are potent inducers of phase II enzymes” *Carcinogenesis*, 21(11), 1983-1988, 2000
- [16] Lee J.S., Newman M.E., “Aquaculture-an introduction. Agriscience and technology series” *Interstate Publishers*, 445-446, Illinois, 1997
- [17] Stern K.R., “Introductory Plant Biology” *Wm. C. Brown Publishers*, England, 521s, 1994
- [18] Duke J.A., “Handbook of phytochemical constituents of grass herbs and other economic plants” *Boca Raton, CRC Pres. FL. 33431*, 654pp, 1992
- [19] Shaheen I., Ahmad K.S., “Chromatographic identification of “green capping agents” extracted from *Nasturtium officinale* (Brassicaceae) leaves for the synthesis of MoO<sub>3</sub> nanoparticles” *Journal of Seperation Science*, 43 (3), 598- 605, 2020
- [20] Bayrami A., Ghorbani E., Rahim S., Yangjeh P., Bayrami A.K.M., “Enriched zinc oxide nanoparticles by *Nasturtium officinale* leaf extract: Joint ultrasound-microwave-facilitated synthesis, characterization, and implementation for diabetes control and bacterial inhibition” *Ultrasonics Sonochemistry*, 58, 104613, 2019
- [21] Gunalan S., Sivaraj R., Rajendran V., “Green synthesized ZnO nanoparticles against bacterial and fungal pathogens” *Progress in Natural Science: Materials International*, 22 (6), 693-700, 2012
- [22] Ildiz N., Baldemir A., Altinkaynak C., Özdemir N., Yilmaz V., Ocsoy I., “Self Assembled Snowball-Like Hybrid Nanostructures Comprising *Viburnum opulus* L. Extract and Metal Ions for Antimicrobial and Catalytic Applications” *Enzyme and Microbial Technology*, 102, 60-66, 2017
- [23] Lu W., Qin X., Liu S., Chang G., Zhang Y., Luo Y., “Economical, green synthesis of fluorescent carbon nanoparticles and their use as probes for sensitive and selective detection of mercury(II) ions” *Analytical Chemistry*, 84(12), 5351-7, 2012
- [24] Khatami M., Varma R.S., Zafarnia N., Yaghoobi H., Sarani M., Kumar V.G., “Applications of green synthesized Ag, ZnO and Ag/ZnO nanoparticles for making clinical” *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 10, 9-15, 2018
- [25] Edelman A.D., Cammarata R.C., “Nanomaterials Synthesis Properties and Applications” *Taylor and Francis*, Boca Raton, Fla, USA, 1996.

- [26] Sudip S., Kumar S.I., Mandal A., Aslan T., Ustun Y., Yılmaz E.Ş., Katı A., Demirbas A., Mandal A.K., and Ocoy I., “Biosynthesis of silver nanoparticles and their versatile antimicrobial properties” *Materials Research Express*, 6, 1, 2019
- [27] Demirbas A., Kislakci E., Karaagac Z., Onal I., Ildız N., Öçsoy İ., “Preparation of biocompatible and stable iron oxide nanoparticles using anthocyanin integrated hydrothermal method and their antimicrobial and antioxidant properties” *Materials Research Express*, 6, 12, 2019
- [28] Demirbas A., Yılmaz V., Ildız N., Baldemir A., Öçsoy İ., “Anthocyanins-rich berry extracts directed formation of Ag NPs with the investigation of their antioxidant and antimicrobial activities” *Journal of Molecular Liquids*, 248, 1044-1049, 2017
- [29] Ceylan R., Demirbaş A., Öçsoy İ., Aktumsek A., “Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extracts of three *Sideritis* species from Turkey and evaluations bioactivity potentials” *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 21, 10, 2021
- [30] Dadi S., Celik C., Ocoy I., “Gallic acid nanoflower immobilized membrane with peroxidase-like activity for m-cresol detection” *Scientific Reports*, 10,1, 2020
- [31] Sastry M., Mayya K.S., Bandyopadhyay K., “pH Dependent changes in the optical properties of carboxylic acid derivatized silver colloidal particles” *Colloids and Surfaces A*, 127(1-3), 221-8, 1997
- [32] Kalimuthu K., Babu R.S., Venkataraman D., Bilal M., Gurunathan S., “Biosynthesis of silver nanocrystals by *Bacillus licheniformis*” *Colloids and Surfaces B*, 65(1), 150-3, 2008
- [33] Varghese E., George M., “Green synthesis of zinc oxide nanoparticles” *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 4(1), 307- 14, 2015
- [34] Yedurkar S., Maurya C., Mahanwar P., “Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using ixora coccinea leaf extract-A green approach” *Journal of Synthesis Theory and Applications*, 5(1), 1-14, 2016
- [35] Rizvi S.A.A., Saleh A.M., “Applications of nanoparticle systems in drug delivery technology” *The Saudi Pharmaceutical Journal* 26(1), 64-70, 2018
- [36] Etape E.P., Foba-Tendo J., Ngolui L.J., Namondo B.V., Yollande F.C., Nguimezong, M.B.N., “Structural Characterization and Magnetic Properties of Undoped and Ti-Doped ZnO Nanoparticles Prepared by Modified Oxalate Route” *Journal of Nanomaterials*, 9072325, 2018.
- [37] Fu L., Fu Z., “*Plectranthus amboinicus* leaf extract-assisted biosynthesis of ZnO nanoparticles and their photocatalytic activity” *Ceramics International*, 41 (2), 2492-2496, 2015
- [38] Rajiv P., Rajeshwari S., Vencatesh R., “Bio-Fabrication of zinc oxide nanoparticles using leaf extract of *Parthenium hysterophorus* L. and its size-dependent antifungal activity against plant fungal pathogens” *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 112, 384-387, 2013
- [39] Minha Naseer M., Aslam U., Bushra Khalid B., Chen B., “Green route to synthesize Zinc Oxide Nanoparticles using leaf extracts of *Cassia fistula* and *Melia azadarach* and their antibacterial potential” *Scientific Reports*, 10, 9055, 2020
- [40] Pourjavadi A., Soleyman R., “Silver nanoparticles with gelatin nanoshells: photochemical facile green synthesis and their antimicrobial activity” *The Journal of Nanoparticle Research*, 13, 4647–4658, 2011
- [41] Zahra Obeizi Z., Benbouzid H., Sihem O., Bououdina M., “Biosynthesis of Zinc oxide nanoparticles from essential oil of *Eucalyptus globulus* with antimicrobial and anti-biofilm activities” *Materials Today Communications* 25, 101553, 2020

- [42] Jayappa M.D., Ramaiah C.K., Kumar M.A.P. “Green synthesis of zinc oxide nanoparticles from the leaf, stem and in vitro grown callus of *Mussaenda frondosa* L.: characterization and their applications” *Applied Nanoscience*, 10, 3057–3074, 2020
- [43] Gomathi R., Suhana H., “Green synthesis, characterization and antimicrobial activity of zinc oxide nanoparticles using *Artemisia pallens* plant extract” *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 12, 04, 2020
- [44] Taghizadeh S.M., Lal N., Ebrahiminezhad A., Moeini F., Seifan, M., Ghasemi Y., Berenjian A., “Green and Economic Fabrication of Zinc Oxide (ZnO) Nanorods as a Broadband UV Blocker and Antimicrobial Agent” *Nanomaterials*, 10(3), 530, 2020
- [45] Ahmad T., Bustam A.M., Zulfiqar M., Moniruzzaman M., Idris A., Iqbal J., Asghar H.M.A., Ullah S., “Controllable phytosynthesis of gold nanoparticles and investigation of their size and morphology-dependent photocatalytic activity under visible light” *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 392, 112429, 2020
- [46] Pillai A.M., Sivasankarapillai V.S., Rahdar A., Joseph J., Sadeghfard F., Anuf R., Rajesh A.K., Kyzas G.Z., “Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles with antibacterial and antifungal activity” *Journal of Molecular Structure*, 1211, 128107, 2020