

## ***Myrtus communis* L. Ekstresi ile Sentezlenen Bakır Nanopartiküllerin *Galleria mellonella* L. Larvaları Üzerindeki Biyolojik Etkileri**

Biological Effects of Copper Nanoparticles Synthesized with *Myrtus communis* L. Extract on *Galleria mellonella* L. Larvae

**Zeynep Şendur<sup>1</sup>, Sıla Yunmak<sup>2</sup>, Ayşe Kara<sup>3</sup>, Pınar Özalp<sup>4</sup>, Hikmet Yeter Çoğun<sup>5</sup>, Murat İdikut<sup>6</sup>**

1) Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye  
**ORCID:** 0009-0004-2519-0469, zeynep.sendur33@gmail.com

2) Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye  
**ORCID:** 0009-0009-4788-5911, silayunmak@gmail.com

3) Çukurova Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye  
**ORCID:** 0000-0003-2642-1914, aysekara50@outlook.com

4) Çukurova Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Adana, Türkiye  
**ORCID:** 0000-0002-2977-6334, pozalp@cu.edu.tr

5) Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, 01010, Adana, Türkiye  
**ORCID:** 0000-0001-6559-4397, hcogun@cu.edu.tr

6) Biyomühendislik Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Adana, Türkiye  
**ORCID:** 0009-0001-8831-3006, biomuratidikut@gmail.com

**Geliş Tarihi:** 27 Kasım 2025 - **Kabul Tarihi:** 13 Ocak 2026

**DOI:** 10.55205/joctensa.5120261831414

**ATIF:** Şendur, Z., Yunmak, S., Kara, A., Özalp, P., Çoğun, H. Y., & İdikut, M. (2026). *Myrtus communis* L. Ekstresi ile Sentezlenen Bakır Nanopartiküllerin *Galleria mellonella* L. Larvaları Üzerindeki Biyolojik Etkileri. *Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 1-12.

### **Öz**

Bakır sülfat nanopartikülleri (CuSO<sub>4</sub> NP'leri), özellikle Cu<sup>+2</sup> iyonları sayesinde geniş spektrumlu antimikrobiyal ve fungusit etki gösterir. Son zamanlardaki, küresel sorunlar nedeniyle, çevre dostu ve uygun maliyetli olmasıyla yeşil sentez (biyosentez) sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yaklaşımla, *Myrtus communis* L. bitkisinin meyve özütü kullanılarak CuSO<sub>4</sub> (bakır sülfat) nanopartiküllerinin yeşil sentezi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, memeli canlılara benzerlik gösteren model organizma *G. mellonella* larvalarında Total hemosit sayımı ve fenoloksidaz aktivitesi incelenmesi sonucunda bağışıklık sistemi üzerine olan etkisi belirlenmiştir. *Myrtus communis* L. bitkisi üzerinde yapılan fenoloksidaz aktivitesi çalışmalarında, kontrol grubuna göre ekstre ve 500 ppm konsantrasyonunda azalma gözlenmiştir. 500 ppm grubunun kontrol ve ekstre gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. Bu bulgular, fenoloksidaz enzim sisteminin baskılandığını ve bunun da melanin üretimiyle ilgili savunma mekanizmasını zayıflatmış olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle, 500 ppm grubunda gözlenen anlamlı azalmanın *Galleria mellonella* L. larvaları üzerinde immünosüpresif veya toksik bir etkisi olabilir. *Myrtus communis* L. bitkisinin toplam hemosit sayısı incelendiğinde,

\* Sorumlu Yazar: zeynep.sendur33@gmail.com

ekstrakt ve 500 ppm seviyelerinde kontrol grubuna kıyasla bir azalma tespit edilmiş ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. Toplam hemosit sayısındaki bu azalma, *Myrtus communis* L.'den elde edilen bakır nanopartiküllerinin hemolenf hücreleri üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabileceğini ve potansiyel olarak bağışıklık sistemini zayıflatabileceğini düşündürmektedir. Nanopartiküllerin organizmanın hücresel savunmaları üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceği ve yüksek konsantrasyonlarda bağışıklık yanıtını azaltabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyokimyasal aktivite, *Galleria mellonella* L., Bakır sülfat Nanopartikülü, Yeşil Sentez, *Myrtus communis* L.

## ABSTRACT

Copper sulfate nanoparticles (CuSO<sub>4</sub> NPs) exhibit broad-spectrum antimicrobial and fungicidal activity, particularly thanks to Cu<sup>+2</sup> ions. Due to recent global problems, green synthesis (biosynthesis) is frequently preferred due to its environmental friendliness and cost-effectiveness. This approach aimed to green synthesis of CuSO<sub>4</sub> (copper sulfate) nanoparticles using the fruit extract of *Myrtus communis* L. In this study, the effects on the immune system were determined by examining total hemocyte count and phenoloxidase activity in larvae of *G. mellonella*, a model organism similar to mammals. In phenoloxidase activity studies conducted on *Myrtus communis* L., a decrease was observed in the extract and 500 ppm concentrations compared to the control group. The 500 ppm group was found to be statistically significant compared to the control and extract groups. These findings suggest that the phenoloxidase enzyme system was suppressed, which may have weakened the defense mechanism related to melanin production. Therefore, the significant decrease observed in the 500 ppm group may have an immunosuppressive or toxic effect on *Galleria mellonella* L. larvae. When the total hemocyte count of *Myrtus communis* L. was examined, a decrease was detected at the extract and 500 ppm levels compared to the control group, and this decrease was found to be statistically significant. This decrease in total hemocyte count suggests that copper nanoparticles obtained from *Myrtus communis* L. may have a detrimental effect on hemolymph cells, potentially weakening the immune system. It is thought that nanoparticles may have a negative effect on the organism's cellular defenses and, at high concentrations, may reduce the immune response.

**Keywords:** Biochemical activity, *Galleria mellonella* L, Copper sulfate Nanoparticle, Green Synthesis, *Myrtus communis* L.

## GİRİŞ

Günümüzde ilgi odağı haline gelen ve önemli kabul edilen nanoteknolojinin yol açabileceği potansiyel değişimleri anlamak, gelecek nesiller için yeni bir çağın kapılarını aralayacaktır. Bu alandaki artan araştırmalar, parçacıkların belirli bir boyut aralığında farklı özellikler ve işlevler göstermesinin avantajlarından kaynaklanmaktadır. Biyolojik nanoteknolojilerin uygulama alanları oldukça geniştir ve gelişmeye devam etmektedir. Çok disiplinli bir bilim olan nanoteknoloji, fizik, kimya, biyoloji, bilgisayar bilimi, malzeme bilimi ve elektronik gibi alanlardaki uygulamalarının yanı sıra tıp alanında da giderek önem kazanmaktadır. Ayrıca kozmetik, tarım ve tıp alanlarında da uygulamaları bulunmaktadır.

$\text{CuSO}_4$ , kolayca elde edilebilen ve depolanması kolay bir kimyasal maddedir; bakteri, yosun ve mantar kontaminasyonuna karşı etkili bakteri öldürücü, algisit ve mantar öldürücü özelliklere sahiptir. Bakır sülfat suda çözündüğünde bakır ve sülfat iyonlarına ayrışır. Canlı organizmalar üzerindeki zararlı etkiler öncelikle bakır iyonlarına atfedilir. Bakır iyonlarının vücuttaki hücrelerin mukoza zarlarına zarar verdiği ve yüksek düzeyde bakır birikiminin hücre hasarı ve ölümüne yol açtığı bildirilmiştir (Eskin ve ark., 2024).

Birçok bitki biyolojik olarak aktif bileşikler açısından zengindir ve manyetik nanopartiküllerin biyogenik üretimi için kullanılabilir. Bitki özlerinde bulunan biyomoleküller, metal iyonlarını zararsız bir şekilde nanopartiküllere dönüştürebilir. Bu çevre dostu yöntem, metal iyonlarını hızlı ve kolay bir şekilde metal nanopartiküllere dönüştürür. Bugüne kadar birçok bitki özütü, çevre dostu metallerin, metal oksitlerin ve manyetik nanoyapıların üretiminde kullanılmıştır (Moradi ve ark., 2025).

*Myrtus communis* L., tüketilebilir meyveleri olan tıbbi bir bitkidir ve çeşitli halk hekimliği uygulamalarında, likör yapımında, şaraplara aroma ve yemeklerde tat vermede kullanılır. Libya'ya özgü olan bu bitki, anti-inflamatuar, antioksidan, yara iyileştirici ve iştah açıcı gibi sağlık yararları ile bilinir (Al-Najjar vd., (2025)). Tıbbi mersin bitkisi olarak bilinen *Myrtus communis* L., dünya çapında geleneksel tıpta kullanılır.  $\alpha$ -terpinolen, limonen ve linalool dahil olmak üzere birçok kimyasal bileşik içerir. Bitkinin meyveleri ve yaprakları gibi kısımları yüzyıllardır ishal, ülser ve iltihaplanma gibi sorunları tedavi etmek için kullanılmıştır. Araştırmalar, çeşitli farmakolojik etkilerinin yanı sıra anti-inflamatuar, antikanser, antidiyabetik ve antiviral özelliklerini de doğrulamaktadır (Alipour vd., 2014).

*G. mellonella* larvaları, memelilere benzer bir bağışıklık sistemine sahiptir. İnsanda bulunan patojenlerin mekanizmalarını incelemek için model olarak kullanılmaktadır. Geniş yüzey alanları ve kolay hemolenf izolasyonları, onları immünolojik çalışmalar için uygun hale getirir. Özel ekipman gerektirmeden büyük sayılarda yetiştirilebilirler. 25-37°C arasındaki sıcaklıklarda hayatta kalabildikleri için enfeksiyon araştırmaları için faydalıdırlar (Andırın ve ark., 2024).

Nanopartiküllerin en dikkat çekici özelliklerinden biri yüksek yüzey alanıdır (Andaç vd., 2022). Nanopartiküller şekil, boyut ve morfolojilerine göre gruplandırılır. Ferritin, miseller, dendrimerler ve lipozomlar dahil olmak üzere organik nanopartiküller aynı zamanda polimerik nanopartiküller olarak da bilinir. Organik nanopartiküllerin yanı sıra, metaller ve metal oksitler olmak üzere iki alt gruba içeren inorganik nanopartiküller de mevcuttur (Ijaz vd., 2020). Metal nanopartiküller arasında altın (Au), gümüş (Ag), bakır (Cu) ve platin (Pt) nanopartikülleri sıklıkla araştırmalara dahil edilmektedir (Arroyo vd., 2020). Son zamanlarda metal nanopartiküller ile çevresel, tarımsal, biyomedikal ve fiziksel kimyasal çalışmalar yürütülmektedir (Singh vd., 2016).

Nanopartiküllerin çevre dostu üretimi üzerine yapılan araştırmalar genellikle antibakteriyel etkilerine odaklanmakta olup, model organizmalar üzerindeki potansiyel etkileri üzerine çok az çalışma mevcuttur. Üretilen nanopartiküller biyolojik yöntemlerle elde edilmiş olsa da, çevre ve diğer istenmeyen organizmalar üzerindeki etkilerini anlamak için canlı organizmalar üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, bakır sülfat nanopartiküllerinin zararlı etkilerinin biyolojik birikim nedeniyle ortaya çıktığı bilinmektedir.

Bu nedenle, bu çalışmada *Myrtus communis* L. meyvesinden sentezlenen bakır sülfat nanopartiküllerinin model organizma *Galleria mellonella* L. larvalarının bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### *G. mellonella* Larvalarının Kitle Üretimi

*G. mellonella* L., Bronksil (1961) tarafından belirlenen yarı sentetik besin kültüründe yetiştirilen larvalardan,  $28 \pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $70 \pm 5\%$  bağıl nem koşullarında elde edildi. Stok kültürünün devamlılığı, besin kavanozlarına yerleştirilen yetişkin böceklerin çiftleştirilmesi ve yumurtlamasıyla sağlandı. Deneylerde bu yumurtalardan çıkan larvalar kullanıldı.



Şekil 1. *Galleria mellonella* L. larvaları

### Bitki Özütünün Elde Edilmesi

Çalışmada kullanılan meyveler damıtılmış suyla yıkandı ve  $50^\circ\text{C}$ 'de 2 ila 5 gün fırında kurutuldu. Ardından havan ve tokmak kullanılarak öğütüldü. Öğütülmüş bitki örneklerinin 10 g'ı tartılarak 150 ml damıtılmış su içeren bir konik balona eklendi. Karışım daha sonra manyetik karıştırıcı kullanılarak kaynatıldı. Karışım, renk elde edilene kadar yaklaşık bir saat kaynatıldı. Karışım daha sonra Whatman filtre kağıdından (1 mm) süzüldü.



a

b

Şekil 2. *Myrtus communis* L., meyve (a), meyve ekstraktı (b)

### **Yeşil Sentez Yöntemi ile Bakır Nanopartiküllerinin (Cu NP'leri) Sentezi**

Elde edilen bitki ekstraktının 3 ml alınarak 27 ml 2 mM bakır sülfat ( $\text{CuSO}_4$ ) çözeltisine (1 ml ekstrakt: 9 ml çözelti) eklendi. 60 °C'de ultrasonik su banyosunda yaklaşık 30 dakika karıştırıldı ve açık renkten koyu renge doğru renk değişimi bakır iyonlarının Cu NP'lerine dönüşümünün bir göstergesi olarak kabul edildi. İşlem sonunda hazırlanan Cu NP'ler 45 dakika (10.000 rpm, 4 °C) santrifüj edildi ve ardından iki kez 15 dakika (10.000 rpm, 4 °C) santrifüj edildi ve bağlanmamış kalıntıları uzaklaştırmak için iki kez saf su ile yıkandı. Son olarak saflaştırılan Cu NP'ler 65 °C'de bir fırında 48 saat kurutuldu (Tunçsoy ve ark., 2024).



a

b

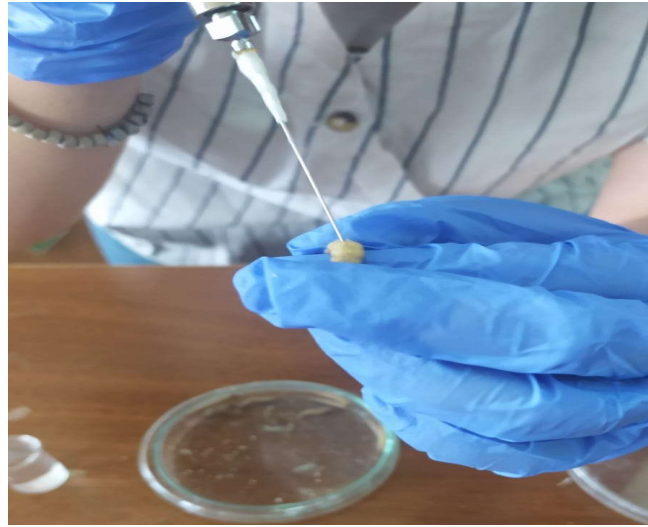
c



**Şekil 3.** Bakır sülfat (renk şeffaf) (a), NaOH bazı eklenmeden (b) ve NaOH bazı eklendikten sonra (c) yeşil sentezle elde edildi.

#### ***Elde edilen nanopartikül sentezinin larvalara uygulanması***

Son dönem larvalar besin ortamından çıkarıldı ve ön denemelerden belirlenen konsantrasyonlar (kontrol, ekstrakt ve 500 ppm), mikroyenjeksiyon yoluyla larvaların ön bacaklarına uygulandı. Uygulamadan sonra 72 saat bekledi. Bakır nanopartikül sentezi uygulanan her grupta 40 adet larva kullanıldı. Larvalara uygulanacak konsantrasyonlar ön denemeler sonucunda belirlendi. Deneyler farklı zamanlarda en az beş kez tekrarlandı ve her deney serisinden elde edilen veriler kontrol grubuyla karşılaştırıldı.



**Şekil 4.** Enjeksiyon işlemi

#### ***G. mellonella Larvalarının Toplam Hemosit Sayılarının Belirlenmesi***

Son evre *G. mellonella* larvaları 72 saat sonra mikroyenjeksiyon yoluyla besiyerinden toplandı. Hemolenf elde etmek için larvalar  $-20^{\circ}\text{C}$ 'de 15-20 saniye tutularak hareketleri yavaşlatıldı. Hareket kabiliyeti kısıtlı larvalar %95'lik etanol ile dezenfekte edildikten sonra, arka bacaklarından birincisi ince uçlu mikro makasla kesildi ve mikropipet yardımıyla 10  $\mu\text{L}$  hemolenf alınarak N-feniltiyüre (Sigma Aldrich) (PTU) içeren Eppendorf tüplerine aktarıldı. Daha sonra, Eppendorf içerisindeki hemolenfin 4  $\mu\text{L}$ 'si buz üzerinde tutulan ve 36  $\mu\text{L}$  antikoagülan (0,098 M NaOH, 0,186 M NaCl, 0,017 M  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  ve 0,041 M sitrik asit, pH = 4,5) içeren başka bir Eppendorf tüpüne aktarıldı. 1:10 oranında seyreltilmiş hücre süspansiyonundan 10  $\mu\text{L}$ , Neubauer hemositometresine yüklendi. Hemositler, Leica DM750 ışık mikroskobu kullanılarak sayıldı ve mililitre hemolenf başına hemosit sayısı, Jones (1962) yöntemi kullanılarak hesaplandı.

#### ***Fenoloksidaz (PO) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi***

Fenoloksidaz aktivitesini ölçmek için (Lee ve ark., 2008), 8  $\mu\text{L}$  hemolenf (N-feniltiyüre içermeyen) plastik bir Eppendorf'a yerleştirildi ve üzerine 400  $\mu\text{L}$  buz gibi soğuk fosfat tamponlu salin (PBS, pH 7,4) yerleştirildi. Tamponlanmış hemolenften 100  $\mu\text{L}$  alınarak başka

bir Eppendorf'a aktarıldı ve 100 µL 10 mM L-Dopa (substrat) eklendi. Bu karışım 25 °C'de 20 dakika inkübe edildikten sonra, absorbans 0 ile 30 dakika arasında 5 dakikalık aralıklarla 490 nm'de bir UV spektrofotometresi ile okundu. PO için bir birim, dakikada 0,001'lik bir absorbans artışına neden olan enzim miktarıdır.

### Veri Analizi

Kontrol grubu ile ekstrakt ve bakır nanopartikül uygulanan gruplar arasındaki istatistiksel veriler SPSS 21 programında Student Newman Keul's (SNK) testi kullanılarak değerlendirildi.  $p < 0,05$  değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

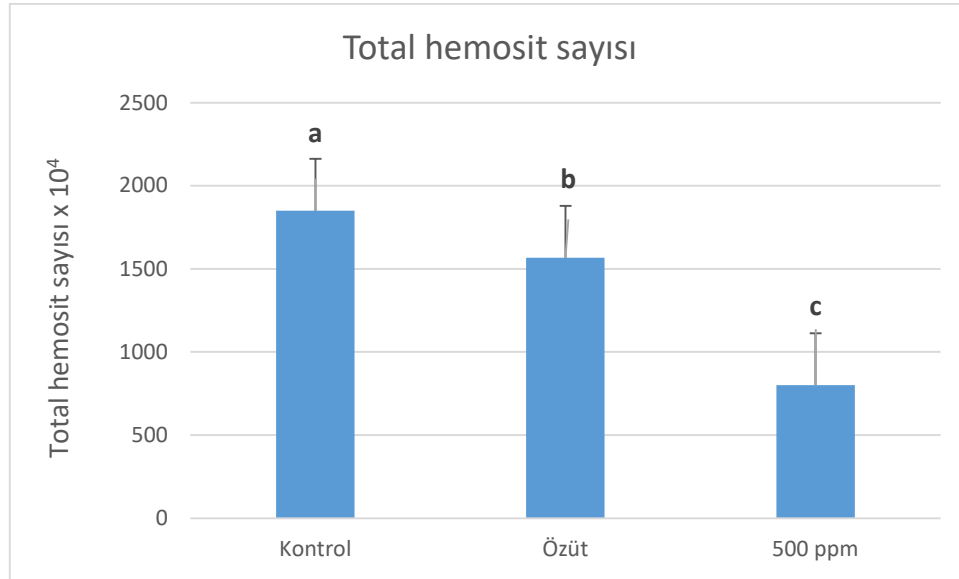
## BULGULAR

*M.s communis* L.'nin toplam hemosit sayısı incelendiğinde, ekstrakt ve 500 ppm konsantrasyonunda kontrol grubuna göre bir azalma gözlenmiş ve bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. Toplam hemosit sayısındaki bu azalma, *M. communis* L.'den sentezlenen bakır nanopartiküllerinin hemolenf hücreleri üzerinde toksik etki gösterebileceğini ve bunun da bağışıklık baskılanmasına yol açabileceğini düşündürmektedir. Bu durum nanopartiküllerin organizmanın hücrel savunma mekanizmaları üzerinde olumsuz etki gösterebileceğini ve yüksek konsantrasyonlarda bağışıklık yanıtını zayıflatılabileceğini düşündürmektedir. Bir çalışmada, 50 ve 100 µg/ml konsantrasyonlarında ZnO-NP uygulamasının, 5. evre Bombyx mori larvalarında toplam ve diferansiyel hemosit sayısını önemli ölçüde azalttığı, ötekoid sayısını ise artırdığı bildirilmiştir (Belal ve Gad, 2023). Tunçsoy ve Özalp (2017), *Galleria mellonella* L. larvalarının farklı konsantrasyonlarda (10, 100 ve 1000 mg/L) CuO nanopartiküllerine maruz kalma süresi boyunca herhangi bir ölüm gözlenmediğini, ancak toplam hemosit sayısının 10 ve 100 mg/L'de arttığını, 1000 mg/L'de ise azaldığını bildirmişlerdir.

**Tablo 1.** *Myrtus communis* L.'nin *G. mellonella* hemolimfindeki toplam hemosit sayısı (Ortalama  $\pm$  Standard Hata) \*

| Konsantrasyon | Total Hemosit Sayımı ( $\bar{X} \pm s\bar{x}$ ) * |
|---------------|---------------------------------------------------|
| Kontrol       | 1850,00 $\pm$ 57,73 a                             |
| Ekstrakt      | 1566,67 $\pm$ 16,66 b                             |
| 500 ppm       | 800,00 $\pm$ 28,86 c                              |

\*SNK; Farklı harflerle gösterilen veriler arasında  $p < 0,05$  düzeyinde istatistiksel fark vardır.



**Şekil 5.** Kontrol, özütleme ve 500 ppm uygulamalarının total hemosit sayısı üzerine etkisi. Veriler ortalama  $\pm$  standart hata (SE) olarak verilmiştir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler(a, b, c), gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu göstermektedir ( $p < 0.05$ ). İstatistiksel analiz Student–Newman–Keuls (SNK) çoklu karşılaştırma testi ile yapılmıştır.

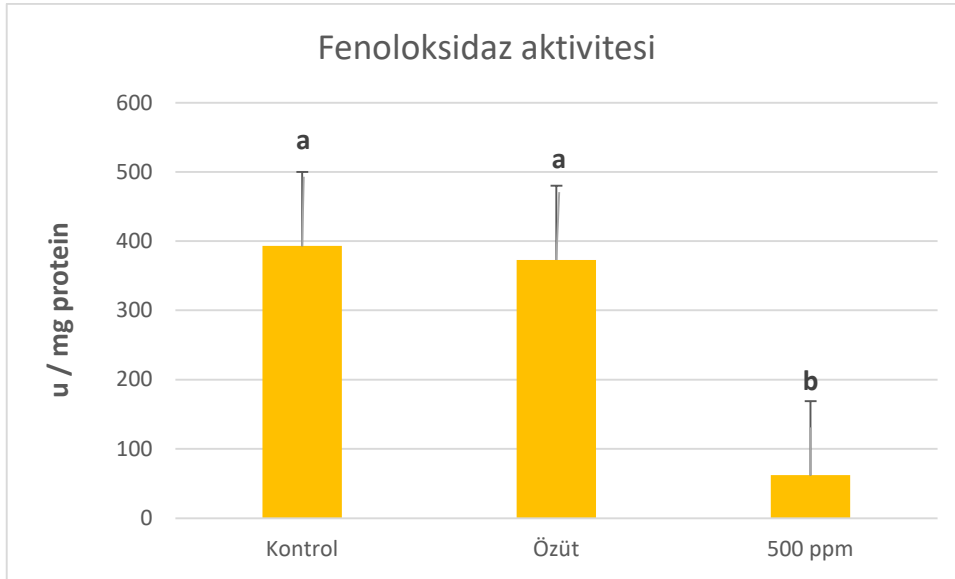
Fenoloksidaz enzimi, böceklerin hücresel bağışıklık tepkilerinde önemli bir rol oynar ve özellikle yaralanma veya patojen tehdidine yanıt olarak melanin oluşumunu başlatır. *M. communis* L.'nin fenoloksidaz aktivitesi incelendiğinde, özütleme ve 500 ppm konsantrasyonlarında kontrol grubuna kıyasla bir azalma gözlemlendi. 500 ppm grubu, kontrol ve özütleme gruplarıyla karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Bulgular, fenoloksidaz enzim sisteminin baskılandığını ve melanin senteziyle ilgili savunma mekanizmasını zayıflattığını göstermektedir. Sonuç olarak, 500 ppm grubunda gözlemlenen önemli azalmanın *G. mellonella* L. larvaları üzerinde immünosupresif veya toksik bir etkisi olabilir.

**Table 2.** *M. communis* L.'nin *G. mellonella* hemolenfindeki fenol oksidaz aktivitesi (Ortalama  $\pm$  Standart Hata) \*

| Konsantrasyon | Fenol Oksidaz ( $\bar{X} \pm s\bar{x}$ ) * |
|---------------|--------------------------------------------|
| Kontrol       | 393,68 $\pm$ 3,23 a                        |
| Ekstrakt      | 373,61 $\pm$ 17,51 a                       |
| 500 ppm       | 62,95 $\pm$ 3,14 b                         |

\*SNK; Farklı harflerle gösterilen veriler arasında  $p < 0,05$  düzeyinde istatistiksel fark vardır.





**Şekil 6.** Kontrol, özüt ve 500 ppm uygulamalarının fenoloksidaz aktivitesi (U/mg protein) üzerine etkisi. Veriler ortalama  $\pm$  standart hata (SE) olarak verilmiştir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler (a, b), gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu göstermektedir ( $p < 0.05$ ). İstatistiksel analiz Student–Newman–Keuls (SNK) çoklu karşılaştırma testi ile yapılmıştır.

## SONUÇ

Bu çalışma, *Myrtus communis* L.'den yeşil sentez yoluyla elde edilen bakır nanopartiküllerinin (Cu NP'leri) biyolojik etkilerini göstererek çevre dostu nanoteknoloji uygulamalarının potansiyelini vurgulamaktadır. Yeşil sentez yaklaşımı, toksik kimyasalların kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte ve bitki özlerindeki biyoaktif bileşiklerin nanopartiküllere kazandırdığı biyolojik özellikler sayesinde yeni ve güvenli malzemelerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Çalışma, yeşil sentez yaklaşımının biyokontrol organizmalarının bağışıklık sistemi üzerindeki olası etkilerini ortaya koyarak literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır. Model organizma olarak kullanılan *Galleria mellonella* L., bağışıklık sisteminin omurgalılara benzerliği nedeniyle toksisite ve bağışıklık savunma çalışmaları için önemli bir biyolojik modeldir.

Elde edilen sonuçlar, *M. communis*-temelli CuNP'lerin *G. mellonella* hemolenfinde toplam hemosit sayısını ve fenoloksidaz aktivitesini anlamlı biçimde azalttığını göstermiştir. Bu durum, nanopartiküllerin hem hücresel hem de humoral bağışıklık yanıtını baskıladığını düşündürmektedir. Fenoloksidaz enzimi, böceklerin doğal savunma mekanizmalarında kilit bir rol oynar; melanin sentezinin yanı sıra patojenlere karşı savunma yanıtının başlatılmasında etkilidir. Bu enzimin aktivitesindeki düşüş, nanopartiküllerin bağışıklık sisteminde immünosupresif etki oluşturabileceğine işaret etmektedir. Aynı zamanda hemosit sayısındaki azalma, hücresel bağışıklığın zayıfladığını destekler niteliktedir.

Bu etkilerin altında yatan mekanizma, nanopartiküllerin küçük boyutları sayesinde hücre zarından kolayca geçebilmesi ve hemolenf hücrelerinde oksidatif stres, DNA hasarı veya apoptozis gibi olayları tetikleyebilmesiyle ilişkili olabilir. Özellikle 500 ppm konsantrasyonda

belirgin biçimde gözlenen bu azalma, nanopartikül dozu ile toksisite arasındaki doğrudan ilişkiyi vurgulamaktadır. Bu da, yeşil sentezlenmiş nanopartiküllerin bile belirli eşik değerlerin üzerinde biyolojik sistemlerde toksik etki gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

*M. communis* ekstraktının içerdiği fenolik bileşiklerin nanopartikül yüzeyine bağlanarak onların biyolojik aktivitesini şekillendirdiğini düşündürmektedir. Bu durum, farklı bitkilerle sentezlenen nanopartiküller arasında biyolojik etki farklılıkları oluşabileceğini de ima etmektedir. Dolayısıyla, yeşil sentez ürünlerinin biyolojik sistemlerle etkileşimini anlamak için, bitki metabolit profili ile nanopartikül yüzey kimyasının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, nanopartikül boyutu, yüzey yükü ve yapısal özelliklerin biyolojik yanıt üzerindeki etkileri detaylı biçimde araştırılmalıdır. Ayrıca, CuNP'lerin oksidatif stres belirteçleri (örneğin süperoksit dismutaz, katalaz, lipid peroksidasyonu gibi) üzerindeki etkilerinin incelenmesi, gözlenen immünosupresif yanıtın biyokimyasal mekanizmasını aydınlatacaktır. Farklı dozların, uygulama sürelerinin ve diğer model organizmaların karşılaştırmalı değerlendirmesi de yeşil sentezlenmiş nanopartiküllerin güvenli biyoteknolojik kullanımına yönelik önemli bilgiler sağlayacaktır.

Sonuç olarak, *Myrtus communis* L. ekstraktı ile sentezlenen bakır nanopartiküllerinin *Galleria mellonella* bağışıklık sistemi üzerinde doza bağlı bir toksik etki oluşturduğu, bu etkinin fenoloksidaz enzimi aktivitesinin baskılanması ve hemosit sayısının azalmasıyla kendini gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma, yeşil sentez yaklaşımının çevre dostu bir teknoloji olmasına rağmen, sentezlenen nanopartiküllerin biyolojik sistemlerde potansiyel immün etkilerinin mutlaka değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bulgular, yeşil sentezlenmiş nanopartiküllerin biyokontrol, ekotoksikoloji ve çevre biyoteknolojisi alanlarında güvenli kullanım dozlarının belirlenmesine katkı sağlayabilir.

## KAYNAKLAR

- Al-Najjar, B. O., Elshibani, F., Sharkasi, M. A., Shintiri, N. E., Naili, E. E., Abdulsayid, M., ... & Mohammed, H. A. (2025). Phytochemical analysis, bioactivity, and molecular docking studies of *Myrtus communis* L. seeds and fruit peel extracts demonstrating antioxidant and anti-tyrosinase properties. *Scientific Reports*, 15(1), 5634. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89401-6>
- Alipour, G., Dashti, S., & Hosseinzadeh, H. (2014). Review of pharmacological effects of *Myrtus communis* L. and its active constituents. *Phytotherapy research*, 28(8), 1125-1136.
- Andaç M, Dikbaş Ç, Akyüz G. General properties of nanoparticles, synthesis and characterization techniques. Yavuz O, editor. *Nanotechnology in Pharmacology and Toxicology*. 1st ed. Ankara: Turkey Clinics; 2022. p.1-10.
- Andırın, A., Yayı, N.D., Idikut, M. et al. Green synthesis of silver nanoparticles using carob leaf extract: Characterization and analysis of toxic effects in model organism *Galleria mellonella* L. (The greater wax moth). *Environ Sci Pollut Res* 31, 57778–57788 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34996-y>

- Arroyo, G. V., Madrid, A. T., Gavilanes, A. F., Naranjo, B., Debut, A., Arias, M. T., & Angulo, Y. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles for application in cosmetics. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 55(11), 1304–1320. <https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1790953>
- Belal, R. and Gad, A., 2023. Zinc oxide nanoparticles induce oxidative stress, genotoxicity, and apoptosis in the hemocytes of *Bombyx mori* larvae. *Scientific Reports* | (2023) 13:3520 | <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30444-y>.
- Bronksil, J.F., 1961. A Cage to Simplify the Rearing of The Greater Wax Moth, *Galleria mellonella* (Pyralidae). *Journal of Lepidopteran Society*, 102-104.
- Eskin, A., Taşdirek, S., & Kirmizikar, F. (2024). The effect of copper sulfate pentahydrate (CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O) on the hemocyte counts of the larvae of the wax moth *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) and the mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 5(2), 103-110.
- Ijaz, I., Gilani, E., Nazir, A., & Bukhari, A. (2020). Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 13(3), 59–81. <https://doi.org/10.1080/17518253.2020.1802517>
- Jones, J. C. (1962). Current Concepts concerning Insect Hemocytes. *American Zoologist*, 2(2), 209–246. <https://doi.org/10.1093/icb/2.2.209>.
- Lee, K.P., Simpson, S.J., Clissold, F.J., Brooks, R., Ballard, J.W.O., Taylor, P.W., Soran, N., Raubenheimer, D., 2008. Lifespan and reproduction in *Drosophila*: new insights from nutritional geometry. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* 105, 2498-2503. <https://doi.org/10.1073/pnas.0710787105>.
- Moradi, M., Rouhani, M., Hekmati, M., Veisi, H., & Esmali, D. (2025). Green synthesis of gold nanoparticles supported over the *Myrtus communis* L extract modified magnetic iron oxide as a novel antibacterial agent. *Results in Chemistry*, 102323.
- Singh, P., Kim, Y. J., Zhang, D., & Yang, D. C. (2016). Biological Synthesis of Nanoparticles from Plants and Microorganisms. *Trends in Biotechnology*, 34(7), 588–599. <https://doi.org/10.1016/j.tibt.2016.02.006>
- Tuncsoy, B. S., & Ozalp, P. (2017). Effects of copper oxide nanoparticles on hemocytes of *Galleria mellonella*. *Toxicology Letters*, 280, S187. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.07.525>

#### Yazar Katkıları

Bu çalışmada, araştırma konusunun belirlenmesi, literatür taramasının yapılması, analizlerin gerçekleştirilmesi ve metnin yazımı 1. Yazar Zeynep ŞENDUR tarafından gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yöntemlerin seçimi, analizlerin uygulanması ve sonuçların yorumlanması aşaması, grafiklerin oluşturulması ve makalenin nihai düzenlemeleri de ortak yazarların ortak katkılarıyla oluşturulmuştur.



#### **Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından çıkar çatışmasının olmadığı rapor edilmiştir.

#### **Fonlama**

Herhangi bir fon desteği alınmamıştır.

#### **Etik Bildirim**

Çalışma için etik kurul izni gerekmemektedir.