

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**FARKLI BİTKİLERDEN YEŞİL SENTEZ İLE ELDE EDİLEN METAL
NANOPARÇACIKLARIN GIDA PATOJENLERİNİN KONTROLÜ
ÜZERİNDEKİ POTANSİYEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS

Nurdan SANDALCI

**ŞUBAT-2025
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**FARKLI BİTKİLERDEN YEŞİL SENTEZ İLE ELDE EDİLEN METAL
NANOPARÇACIKLARIN GIDA PATOJENLERİNİN KONTROLÜ
ÜZERİNDEKİ POTANSİYEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE POTENTIAL EFFECTS OF METAL
NANOPARTICLES OBTAINED BY GREEN SYNTHESIS FROM DIFFERENT
PLANTS ON THE CONTROL OF FOOD PATHOGENS**

YÜKSEK LİSANS

Nurdan SANDALCI

**ŞUBAT-2025
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**FARKLI BİTKİLERDEN YEŞİL SENTEZ İLE ELDE EDİLEN METAL
NANOPARÇACIKLARIN GIDA PATOJENLERİNİN KONTROLÜ
ÜZERİNDEKİ POTANSİYEL ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF THE POTENTIAL EFFECTS OF METAL
NANOPARTICLES OBTAINED BY GREEN SYNTHESIS FROM DIFFERENT
PLANTS ON THE CONTROL OF FOOD PATHOGENS**

YÜKSEK LİSANS

Nurdan SANDALCI

Danışman: Prof. Dr. Cemalettin BALTACI

**ŞUBAT-2025
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Farklı Bitkilerden Yeşil Sentez ile Elde Edilen Metal Nanoparçacıkların Gıda Patojenlerinin Kontrolü Üzerindeki Potansiyel Etkilerinin Araştırılması**” başlıklı Yüksek Lisans Tezimin tamamen kendi eserim olduğunu, alıntılanan her içeriğin kaynağının gösterildiğini, alıntı yapılan tüm çalışmaların kaynakça bölümünde yer aldığını ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı intihal yazılımı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu standartlara uygun şekilde raporlandığını beyan ederim. Ayrıca, tezimin hem kâğıt hem de elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde muhafaza edilmesine izin verdiğimi bildiririm. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği gereğince ilgili işlemlerin yapılmasını arz ediyorum.

04/02/2025

.....

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında bana rehberlik eden, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cemalettin BALTACI'ya tüm desteği için teşekkür ederim.

Çalışmada kullandığım mikroorganizmaların temin edilmesinde yardımcı olan Trabzon Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü'ne ve bu süreçte bana her zaman destek olan arkadaşlarıma sevgi saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin yazımı sürecinde bana her zaman destek olan ve tüm imkânlarıyla her zaman yanımda olan annem Emine SANDALCI ve babam Abdulvahap SANDALCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nurdan SANDALCI
GÜMÜŞHANE-2025

ÖZET

Hızla gelişen, değişen ve nüfusu artan dünyada her alanda yaşanan sorunlara karşı alternatif çözümler aranmaktadır. Nanoteknoloji alanında yaşanan gelişmeler ‘‘Nanoparçacıklar gıda güvenliği için de kullanılabilir mi?’’ sorusunu akla getirmektedir. Özellikle yeşil sentez yoluyla elde edilen doğa dostu nanoparçacıkların etkileri merak konusu olmuştur.

Çalışmada mevcutta bulunan, karayemiş, karabuğday, siyah çay ve yeşil çay gibi farklı bitkisel kaynaklardan yeşil sentez yöntemiyle elde edilmiş metal nanoparçacıkların, seçtiğimiz 6 bakteriye (*Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica* subsp. *Enterica* serovar *Enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7) karşı etkisi gözlemlendi. Bunun için disk difüzyon yöntemi, minimum inhibisyon konsantrasyonu, minimum bakterisidal konsantrasyon ve bakteriyel büyümenin inhibisyonu analizleri çalışıldı.

Bazı metal nanoparçacıklar bazı bakterilerde etkisiz kalırken bazıları ise gıda güvenliğini tehdit eden patojen mikroorganizmalar üzerinde güçlü etki gösterdi. Farklı kaynaklardan elde edilen gümüş nanopartiküller diğerlerine kıyasla yüksek antimikrobiyal etki gösterdi. *Salmonella* kolonilerinin büyümelerini inhibe etmek için Selvi karayemişten üretilen bakır nanoparçacık için 3.02 µg/mL, demir nanoparçacık için 2.92 µg/mL, gümüş nanoparçacık için 0.05 µg/mL konsantrasyonun yeterli olduğu görülmüştür. Gümüş nanopartiküller kadar gümüş ile diğer metal nanopartiküllerin eşit oranda tartılıp hazırlandığı karışımlar da güçlü antimikrobiyal özellik gösterdi. *S. aureus* bakterisini öldürmek için yaban kara yemiş demir nanopartikülden 5.92 µg/mL, bakır nanopartikülden 5.94 µg/mL, gümüş-demir nanopartikül karışımından 0.09 µg/mL ve gümüş nanopartikülden 0.04 µg/mL konsantrasyon gerekmiştir. Analiz sonuçlarında yeşil çay ekstraktının da küçümsenmeyecek derecede antimikrobiyal potansiyel taşıdığı görüldü. Yapılan çalışmalar ve toplanan verilerle geleceğe kaynak sağlamak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal, Gıda, Nanoparçacık, Nanoteknoloji, Yeşil sentez

SUMMARY

In the rapidly developing, changing and population-increasing world, alternative solutions are being sought for problems in every field. Developments in the field of nanotechnology bring to mind the question of “Can nanoparticles be used for food safety?” In particular, the effects of environmentally friendly nanoparticles obtained through green synthesis have become a matter of curiosity.

In the study, the effects of metal nanoparticles obtained from different plant sources such as black cherry, buckwheat, black tea and green tea through green synthesis were observed against 6 bacteria we selected (*Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica* subsp. *Enterica* serovar *Enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7). For this purpose, disk diffusion method, minimum inhibitory concentration, minimum bactericidal concentration and bacterial growth inhibition analyses were studied.

While some metal nanoparticles were ineffective against some bacteria, some showed a strong effect on pathogenic microorganisms that threaten food safety. Silver nanoparticles obtained from different sources showed high antimicrobial activity compared to others. It was observed that copper nanoparticles produced from cypress tree, iron nanoparticles, and silver nanoparticles at concentrations of 3.02 µg/mL, 2.92 µg/mL, and 0.05 µg/mL were sufficient to inhibit the growth of *Salmonella* colonies. Mixtures prepared by weighing silver and other metal nanoparticles equally as well as silver nanoparticles also showed strong antimicrobial properties. To kill *S. aureus* bacteria, 5.92 µg/mL of iron nanoparticles, 5.94 µg/mL of copper nanoparticles, 0.09 µg/mL of silver-iron nanoparticle mixture, and 0.04 µg/mL of silver nanoparticles were required. The analysis results also showed that green tea extract had a considerable antimicrobial potential. The aim is to provide resources for the future with the studies conducted and the data collected.

Keywords: Antimicrobial, Food, Nanoparticle, Nanotechnology, Green synthesis

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1.GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Nanoteknolojinin Tarihçesi.....	2
1.3. Maddenin Nano Boyutu	4
1.4. Kullanım Alanları	4
1.5. Nanomalzeme Sentezi.....	6
1.5.1. Yeşil Sentez.....	7
1.6. Nano Ölçekte İnceleme	7
1.6.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	8
1.6.2. Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM).....	8
1.7. Halk Sağlığı ve Patojen Mikroorganizmalar.....	8
1.8. Gıda Kaynaklı Patojen Mikroorganizmalar ve Nanoteknoloji	9
1.9. Nanopartiküllerin Patojen Mikroorganizmalara Etki Mekanizması	9
1.10. Literatür Taraması	12
1.11. Çalışmanın Amacı	13
1.12. Çalışmanın Kapsamı.....	14
2. MATERYAL VE METOT	15
2.1. Materyal	15
2.1.1. Kullanılan Cihazlar	15
2.1.2. Kullanılan Kimyasallar.....	15
2.1.3. Çözeltilerin Hazırlanması	15
2.1.4. Kullanılan Bakteri Suşları.....	15
2.2. Metot	17

2.2.1. Örneklerin Hazırlanması	17
Şekil 3. Örneklerin tartılması	18
Şekil 4. Hazırlanan bazı örnek çözeltiler	18
2.2.2. Analizler	19
2.2.2.1. Disk Difüzyon Yöntemi	19
2.2.2.2. Minimum İnhibitör Konsantrasyonu (MİK)	21
2.2.2.3. Minimum Bakterisidal Konsantrasyon (MBK).....	23
2.2.2.4. Bakteriyel Büyümede Azalmanın Belirlenmesi.....	24
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	26
3.1. Disk Difüzyon Analiz Sonuçları	26
3.2. Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu Analiz Sonuçları.....	36
3.3. Minimum Bakterisidal Konsantrasyon (MBK) Analiz Sonuçları (µg/mL).....	48
3.4. Bakteriyel Büyümenin İnhibisyonu	58
4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	70
KAYNAKÇA	72
ÖZGEÇMİŞ	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı sentez yaklaşımları (Baig vd., 2021)	6
Şekil 2. Mevcutta hazır bulunan bazı örnekler.....	17
Şekil 3. Örneklerin tartılması	18
Şekil 4. Hazırlanan bazı örnek çözeltiler	18
Şekil 5. Ultrasonik banyoda bekletilen örnekler	18
Şekil 6. Ertesi gün zon ölçümü yapılan petriler	20
Şekil 7. Zon ölçümü yapılan dijital kumpas	20
Şekil 8. Disk difüzyon yöntemi çalışılmış petriler inkübatörden alındıktan sonra.....	20
Şekil 9. MİK analizi için hazırlanan çift güçlü ve tek güçlü MHB besiyeri.....	21
Şekil 10. Ekim kabininde MİK çalışması	22
Şekil 11. Etüv öncesi <i>Listeria monocytogenes</i> için ekim yapılan mikrolaka.....	22
Şekil 12. Etüv sonrası <i>E. coli</i> O157:H7 için ekim yapılan mikrolaka.....	22
Şekil 13. x, 2x, 4x konsantrasyonlarında yapılan ekimler	23
Şekil 14. MBK okuması yapılan bazı petriler.....	23
Şekil 15. Selvi karayemişi CuNP'in <i>Salmonella</i> için MBK değeri tespiti.....	24
Şekil 16. Kiraz karayemiş AgNP ve Karabuğday FeNP'ün <i>E.coli</i> O157:H7 için MBK değeri tespiti.....	24
Şekil 17. Bakteriyel büyümede azalma (%) analizi için hazırlanan tüpler	25
Şekil 18. Spektrofotometrede absorbans ölçümü yapılan mikrolakalar.....	25
Şekil 19. MeNP ve ekstraktların <i>Salmonella</i> üzerindeki etkisi, sütun grafiği	28
Şekil 20. MeNP ve ekstraktların <i>L. monocytogenes</i> üzerindeki etkisi, sütun grafiği	29
Şekil 21. MeNP ve ekstraktların <i>E. coli</i> O157:H7 üzerindeki etkisi, sütun grafiği	31
Şekil 22. MeNP ve ekstraktların <i>S. aureus</i> üzerindeki etkisi, sütun grafiği	31
Şekil 23. MeNP ve ekstraktların <i>B. cereus</i> üzerindeki etkisi, sütun grafiği.....	32
Şekil 24. MeNP ve ekstraktların <i>E. coli</i> üzerindeki etkisi, sütun grafiği.....	33
Şekil 25. MeNP ve ekstraktların <i>Salmonella</i> üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği.....	38
Şekil 26. MeNP ve ekstraktların <i>L. monocytogenes</i> üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği	39
Şekil 27. MeNP ve ekstraktların <i>E. coli</i> O157 üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği.....	40

Şekil 28. MeNP ve ekstraktların <i>B. cereus</i> üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği.....	42
Şekil 29. MeNP ve ekstraktların <i>E. coli</i> üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği	43
Şekil 30. MeNP ve ekstraktların <i>S. aureus</i> üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği.....	44
Şekil 31. MeNP ve ekstraktların <i>Salmonella</i> spp üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği.....	50
Şekil 32. MeNP ve ekstraktların <i>L. monocytogenes</i> üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği	51
Şekil 33. MeNP ve ekstraktların <i>E. coli</i> O157 üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği.....	53
Şekil 34. MeNP ve ekstraktların <i>S. aureus</i> üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği.....	54
Şekil 35. MeNP ve ekstraktların <i>B. cereus</i> üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği.....	56
Şekil 36. MeNP ve ekstraktların <i>E. coli</i> üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği	57
Şekil 37. MeNP ve ekstraktların <i>Salmonella</i> spp üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği.....	60
Şekil 38. MeNP ve ekstraktların <i>L. monocytogenes</i> üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği	62
Şekil 39. MeNP ve ekstraktların <i>E. coli</i> O157 üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği.....	64
Şekil 40. MeNP ve ekstraktların <i>S. aureus</i> üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği.....	66
Şekil 41. MeNP ve ekstraktların <i>B. cereus</i> üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği.....	67
Şekil 42. MeNP ve ekstraktların <i>E. coli</i> üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği	69

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kullanılan cihazlar	15
Tablo 2. Çalışılan bakteri suşları.....	16
Tablo 3. Nanopartikül ve ekstrakt kodlamaları.....	16
Tablo 4. Disk difüzyon analiz sonuçları	26
Tablo 5. Minimum inhibisyon konsantrasyonu analiz sonuçları (µg/mL).....	37
Tablo 6. Minimum bakterisidal konsantrasyon (MBK) analiz sonuçları (µg/mL)	49
Tablo 7. Bakteriyel büyümenin inhibisyonu analiz sonuçları (%).....	60



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

%	: Yüzde
µg	: Mikrogram
µL	: Mikrolitre
AgAc	: Gümüş asetat
AgNP	: Gümüş nanopartikül
°C	: Santigrat derece
DMSO	: Dimetilsülfoksit
FeO	: Demir oksit
g	: Gram
LCD	: Sıvı kristal ekran
LED	: Işık yayan diyot
MBK	: Minimum bakterisidal konsantrasyon
MDA	: Malonaldehit
MHA	: Mueller Hinton Agar
MHB	: Mueller Hinton Broth
MİK	: Minimum inhibitör konsantrasyonu
mL	: Mililitre
nm	: Nanometre
NP	: Nanopartikül
ROS	: Reaktif oksijen türleri
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TEM	: Geçirimli elektronlu mikroskobu
TiO ₂	: Titanyum dioksit
ZnONP	: Çinko oksit nanopartikül

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Nanobilim boyutu 1-100 nanometre (nm) arasında olan yapıları inceleyen bir bilim dalıdır (Mohanta vd., 2017). Yunanca'da 'cüce' anlamına gelen nano ön eki ölçülen birimin milyarda birini ifade etmektedir. Bu birim hayal bile edilemeyecek kadar küçük bir aralığa karşılık gelmektedir. 1 kağıdın 100.000 nm kalınlığında, bir atomun 0.1 nm yarıçapında, insan saçının 80.000-100.000 nm genişliğinde veya bir virüsün yaklaşık 100 nm genişliğinde olduğunu düşünürsek nano yapılar hakkında fikir sahibi olabiliriz (Sekhon, 2010).

Nanobilim ve nanoteknoloji karıştırılmaması gereken 2 ayrı kavramdır. Nanobilim fizik, biyoloji gibi farklı disiplinleri biraraya getirerek nano yapıların incelenmesidir. Nanoteknoloji ise bu nano yapıları oluşturma, izleme, gözleme ve kontrolünü sağlama kabiliyetidir (Bayda vd., 2019). Nanoteknoloji şaşırtıcı derecede küçük nano ölçekteki malzemelerle ve bunların teknolojiye kazandırılmasıyla ilgilenir. Teknolojiyi daha sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlar. Teknoloji alanında ilerleme için mevcut teknolojilerin yeni materyaller ve çalışmalarla desteklenmesi gerekir. Son yıllarda artan çalışmalarla nanoteknoloji ilgi çekici bir bilim dalı haline gelmiştir. Günümüzde nano parçacıklar, lifler, teller, parçacıklar, filmler başarıyla kullanılmaktadır. Nano yapılar 3 farklı yolla oluşabilirler (Shaheen vd., 2023). Doğada kendiliğinden oluşanlar: volkanik patlamalar sonucu volkanik nanopartiküller oluşur (Ramos vd., 2021). Orman yangınlarından sonra karbon nanotüplerin oluştuğu kanıtlanmıştır (Juárez-Cisneros vd., 2020). Tıp alanında bitki virüsleri ve bakteri virüslerinden (bakteriyofaj) üretilen çeşitli viral nanopartiküllerin kullanımı araştırılmaktadır (Chung vd., 2020). Mühendislik alanında yapılan çalışmalarla üretilenler: nanokapsüller, nanotüpler, güneş kremlerinde ve losyonlarda kullanılan titanyum dioksit nanopartiküller (Vaudagna vd., 2023). Bu malzemeler ticari olarak satışı yapılan ürünlerdir. Bugün televizyon pazarında kuantum dot teknolojisine sahip ürünler satılmaktadır. Kuantum noktaları 10 nm çaplı yarı iletken malzemeden yapılmış kristallerdir. Bu teknolojiyle üretilen televizyonlar sıvı kristal ekran (LCD) ve ışık yayan diyot (LED) ekran televizyonlara göre daha renkli ve uzun ömürlü kullanım sağlar (Bourzac, 2013). Karbon nanotüpler yüksek yüzey alanları sayesinde iyi algılama sağladıkları için sensör üretim alanında kullanılmaktadır (Kausar ve Ahmad, 2024). Katı, sıvı veya içi boş bir çekirdeğe sahip olan polimerik nanokapsüller

tıp alanında önemli bir rol almaktadır (Lima vd., 2022). İnsanın günlük yaşamının sonucu olarak ortaya çıkanlar: istemsizce ortaya çıkan sigara dumanındaki nanopartikülleri (Van Dijk vd., 2011), odun ve yakıt yanması sonucu oluşan nanopartikülleri sayabiliriz (Portugal vd., 2024). Nanomalzemeler nano boyutlu malzemeler ve nano yapıları malzemeler olarak 2'ye ayrılır. Nano boyutlu malzemeler karbon nanotüpler gibi tek başına kullanılırken nano yapıları malzemelerde ise nanokompozit malzemeler gibi fazlardan en az biri nanometre boyutunda olmak şartıyla birden fazla malzeme kullanılır. Nanoteknoloji ise nano boyutlu malzeme üretimi ve bunların nano-manipülasyonunu inceler (Schiavo vd., 2024).

Nanomateriyaller yenilikçi ürünler olarak geliştirilirken çoğunlukla yapay oldukları düşünülmektedir. Aslında sanılanın aksine birçok üründe doğal olarak nanopartiküller bulunmaktadır. Yüzyıllardır tüketilen sütte bulunan süt proteini dediğimiz kazein 100-200 nm arasında bir yapıdır (Rogers, 2016). Süte yapılan homojenizasyon işleminde amaç yaklaşık 100 nm boyutlu damlalar oluşturmaktır (Sekhon, 2010). İçme suyunda demiroksit (FeO) ile bağlanmış nano ve mikro boyutlu maddeler bulunur. Bazı bakteri türlerinin selenyum ve kükürt nanopartikül ürettiği bilinmektedir (Griffin vd., 2017). Meyve lifi olarak bilinen pektinin polimer zincir uzunluğu 100-400 nm arasındadır (Zhang vd., 2008). Bitki ve hayvan hücrelerinde bulunan ribozom gibi organeller de nanometre boyutlu doğal malzemelerdir.

Bilim dünyası hızına yetişilemeyecek şekilde her gün yol katetmektedir. Nano boyutlu malzemelerin getirdiği etik ve güven sorunları endişe yaratmaktadır. Tüketicinin henüz raflarda görmeye alışık olmadığı nano boyutlu malzemelere karşı tutumunun ne olacağı şu an için belirsizdir (Chaudhry vd., 2008).

Nanoteknolojinin dünyayı geliştirerek değiştireceğine inananlar kadar riskli ve kötüye kullanım potansiyeli olduğunu düşünenler de vardır. Nanoteknolojinin multidisipliner bir bilim olduğunu düşünürsek yapılan çalışmaların artırılması ve her yönüyle incelenmesi gerekir.

1.2. Nanoteknolojinin Tarihçesi

Nanoteknoloji biliminin kökeni şaşırtıcı bir şekilde çok eski dönemlere dayanmaktadır. İlk kez 5.000 yıl önce Hindistan'da Ayurveda tıp sisteminde nanoteknolojiye benzer uygulamaların yapıldığı bilinmektedir. Bu uygulamayla nano boyutta karışımlar hazırlanarak insanlar tedavi edilmiştir (Prasad vd., 2023). İnsanlar 4.500 yıl önce seramik karışımlarını daha sağlam hale getirmek için doğal asbest nanofiberleri kullanmıştır (Wins vd., 2021). Aslında antik uygarlıklar nanofiber yapıları

hakkında bilgi sahibi olmamalarına rağmen asbest nanofiberleri kullanıyordu. 4.000 yıl önce Eski Mısırlılar kurşun sülfür nanopartikülleri saçlarını boyamak için kullanmışlardır (Jeevanandam vd., 2018). Eski uygarlıklar nanoteknolojinin ne olduğunu bilmemelerine rağmen maddeleri nano ölçekte kullandıklarında daha faydalı olduklarını fark etmişlerdir. Londra'da British Museum'da sergilenen Lycurgus Kupası ışığın dalga boylarına bağlı olarak kırmızı, sarı veya yeşil renkte görülebilmektedir. Kupanın yapımında cama ilave edilen altın ve gümüş metal oksit nanoparçacıklar sayesinde farklı aydınlatma koşullarında kupa renk değiştirir. Lycurgus Kupası dikroik camın bilinen en eski örneklerinden kabul edilir (Freestone vd., 2007). Orta Çağ kiliselerinde vitraylarda renklendirme için altın ve gümüş nanoparçacıkların kullanıldığı bilinmektedir (Wins vd., 2021).

Faraday 1857 yılında koloidal altın nanopartikül çözeltisi sentezledi ve altın koloidlerinin toplu halinden farklı optik özelliklerine dikkat çekerek nanobilimin modern anlamda tarihini başlattı (Jeevanandam vd., 2018).

Ardından, 1959'da Nobel Ödülü sahibi Richard Feynman Amerikan Fizik Derneği'nde "There is plenty of room at the bottom" başlıklı konuşmasında "Neden Britannica Ansiklopedisi'nin 24 cildini bir iğnenin başına yazamıyoruz?" diyerek vizyonunu anlattı ve yeni bir devrin kapısını araladı (Bayda vd., 2019). Nano boyutta üretim yapılması gerektiğini söyledi. Feynman'ın bu sözleri sonraki dönemde yapılan çalışmalara ilham oldu ve yeni tohumlar atılmış oldu.

Bilim insanları nanobilimle ilgili çalışmaları daha öncesinde bilinçli olarak yapmış olsa da nanoteknoloji terimi ilk kez 1974'de Norio Taniguchi tarafından kullanıldı (Begmatova vd., 2024).

Feynman'ın vizyonundan etkilenen Eric Drexler 1981'de "Moleküler Mühendislik" başlığıyla ilk kez nanoteknoloji alanında bir makale yazdı (Fanfair vd., 2007).

Taramalı Tünelleme Mikroskobu'nu icat eden Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer başarılarının karşılığı olarak 1986'da Nobel Ödülü'nü almaya hak kazanmışlardır (Bayda vd., 2019).

Bir araba markası 2003 yılında nanopartikül bazlı boya kaplaması üretti. Bu kaplama hem boyanın çizilmeye karşı dayanıklılığını artırması hem de daha parlak görünmesini sağlamasıyla ilgi çekti (Wins vd., 2021).

Karbon bazlı bir nano madde olan grafen 2004'de izole edildi. Grafen çok yakın tarihte izole edilmesine karşın bu kısa sürede detaylı şekilde araştırılmıştır. Andre Geim

ve Konstantin Novoselov grafen konusunda yaptıkları olağanüstü çalışmalarla Nobel Fizik Ödülü sahibi olmuşlardır (Cooper vd., 2012).

Günümüzde nanoteknoloji hızla gelişen alanlardan biri olması sebebiyle birçok araştırmaya ve uygulamaya konu olmaktadır. Nanopartiküller benzeri olmayan özellikleri sayesinde pek çok alanda önemli potansiyeller taşır. Bu potansiyel önce bilim adamları tarafından merakla incelenmiş daha sonra teknolojik ürünlerde kullanılmaya başlanmıştır (Heiligttag ve Niederberger, 2013).

1.3. Maddenin Nano Boyutu

Bir maddenin makro ve nano boyuttaki özellikleri tamamen farklı olabilir. Nanoparçacıkların yüzey/hacim oranları çok yüksektir. Bu sayede daha reaktiftirler ve diğer antibakteriyel ajanlara göre üstün özellik gösterirler.

Nano boyutta üretilen malzemelerin farklı özellikler göstermesinin iki ayrı nedeni vardır: Yüzey/hacim oranı ve kuantum özellikleri. Normal altın sarı renkli iken altın nanopartikülleri kırmızı renklidir (Erkoç, 2007). Altın iletken olmasına rağmen altın nanopartikülleri yalıtıcıdır. Madde boyutu makro düzeyden nano düzeye indikçe maddenin kuantum özellikleri, geometrik özellikleri, çözünme hızı ve katalitik özellikleri farklılık gösterir.

Nanoboyutlu malzemelerde parçacık boyutu küçüldükçe çözünürlük ve biyoaktivite artar. Nanoparçacığın hacmi büyük haline kıyasla daha az olacağı için yüzeye yapışması için daha az kuvvet uygulaması yeterli olur. Yani nanopartiküllerin yapışkan özelliği fazladır. Uzun süre hücreye yapışık kalabilirler. Böylece hücreye daha fazla zarar verirler (Griffin vd., 2017).

Nano düzeye inildikçe kuantum etkileri daha net görülmeye başlanır. Burada malzemenin kendi doğasından kaynaklı özellikleri de önemlidir. Nano boyutlu maddeler yüksek sıcaklık ve basınçta da kararlıdır (Siddiqi vd., 2018). Makro düzeyde manyetik özelliği olmayan bir element nano düzeyde manyetik özellik gösterebilir veya bazı özellikleri nano düzeyde çok daha artabilir. Kömür, elmas gibi karbon yapılar yalıtıcı iken grafen iyi bir iletken olarak kabul edilir (Baig vd., 2021). Elektriksel iletkenliği en iyi metallerden biri bakırdır. Bilim insanları bakıra grafen ve karbon nanotüpler ekleyerek elektriksel iletkenliği daha yüksek bir malzeme yapmayı hedeflemektedir (Pan vd., 2022).

1.4. Kullanım Alanları

Küresel dünyada artan nüfus, azalan kaynaklar ve ekonomik nedenler dolayısıyla farklı üretim teknolojileri aranmaktadır. Nanoteknoloji maddeyi nano ölçekte kullanarak

kontrol etmeyi amaçlar (Ahire vd., 2022). Bunu yaparken geleneksel yöntemlerden yola çıkar ve pek çok alanda insan yaşamına kolaylık sağlamayı hedefler.

Tıp, mühendislik, fizik, kimya, biyoloji gibi bilim dallarıyla beraber çalışan çok yönlü bir bilim dalı olan nanobilim küresel anlamda en büyük ilerlemeyi 21. Yüzyılda göstermiştir. 1940'lara kadar gümüş antibakteriyel ajan olarak kullanılırken penisilinin keşfinden sonra kullanımı azalmıştır.(Rai vd., 2009) Özellikle gümüş nanopartiküllerin birçok alanda başarıyla kullanılması diğer metal nanopartiküllere ilgiyi artırmıştır ve farklı nanopartiküller pek çok çalışmaya konu olmuştur.

Bir maddenin nanoparçacık halinde yüzey alanı artacağı için diğer boyuttaki hallerine göre yepyeni fiziksel, kimyasal, elektriksel, manyetik özellikler gösterir (Velmurugan vd., 2014). Nanonoparçacıkların bu benzersiz özellikleri onlara kritik rollerde oynama imkânı sağlar.

Bugün lekelenmeyen kumaşlar, seramik kaplamalı ütüler, güneş kremleri, biyosensörler, gıda ambalajlama materyalleri, çizilmeye dayanıklı araba boya ları, makineler için koruma sağlayan kaplamalar, antimikrobiyal ajanlar gibi birçok farklı alanda nanopartiküller kullanılmaktadır. Bu teknoloji her ne kadar hayatımızı kolaylaştırırsa da ileriki yıllarda çevreyi ve insan sağlığını nasıl etkileyeceği bilinmemektedir. Tıp alanında insanlar üzerinde yapılan çalışmalar da yetersizdir (Dikme ve Padak, 2022).

Gıda alanında ambalajlama, raf ömrünü artırma ve antibakteriyel aktivite için nanomalzemelerin kullanımı artmıştır. Çinko oksit kuantum nanopartiküllerin mikroorganizmalara karşı antibakteriyel etki gösterdiği bilinmektedir (Hulla vd., 2015). Titanyum oksit nanopartikülleri farklı su kaynaklarında filtreleme için kullanılmıştır (Wu vd., 2011). Antibiyotikler satışa sunulana kadar gümüş antimikrobiyal ajan olarak kullanılmıştır (Li ve Xu, 2024). Bu yüzden özellikle gümüş nanopartiküller üzerine pek çok çalışma mevcuttur.

Sakızlarda daha beyaz ve parlak görünüm için titanyum dioksit (TiO_2) kullanıldığını biliyoruz. Sakızlarda kullanılan TiO_2 'in % 93'ten fazlası nano boyuttadır (Chen vd., 2013).

Nanopartiküller gıda endüstrisinde aktif olarak kullanılırsa da bakteri kaynaklı bozulmaları önlemek için veya nano kapsüllenmiş pestisitlerin üretimi için kullanılabilecekleri düşünülmektedir. Bakteri üremesi olan bozulmuş gıdalarda çeşitli gazlar (CO_2 , metan, H_2S , amonyak vb.) açığa çıkar. Gıda ambalajı içinde nanosensörler kullanılarak bu gazların tespit edilebileceği düşünülmektedir (Das vd., 2009).

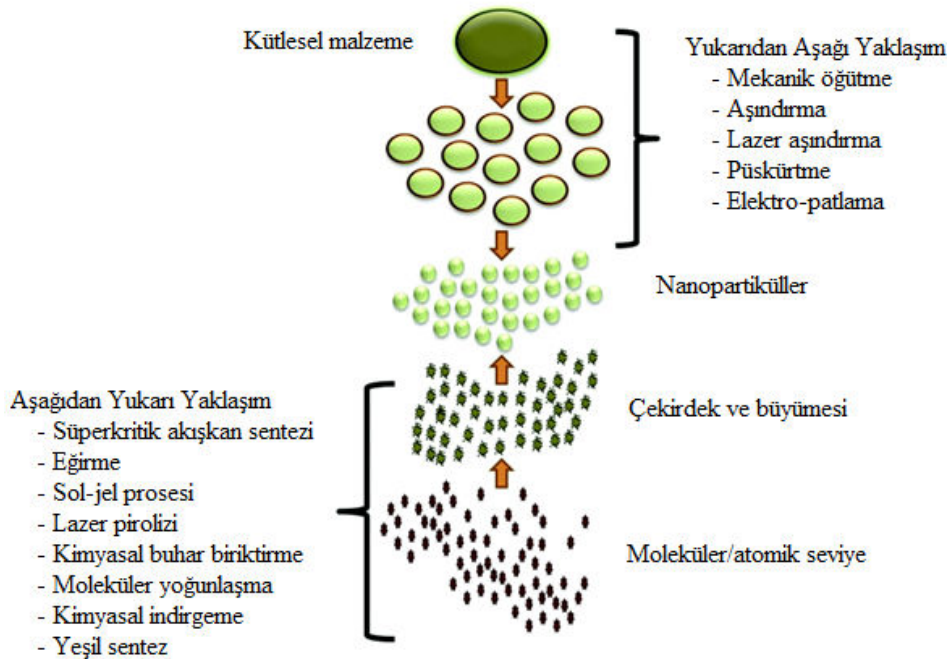
Nanopartiküllerin gıda endüstrisinde iki yaklaşımla kullanılabileceği düşünülmektedir: üretim alanının dezenfeksiyonu gibi nedenlerle dolaylı olarak kullanımı veya gıdaya dahil edilerek doğrudan kullanımı. Nanoteknoloji gıda sektörü için cazip vaatler sunmaktadır. Bu vaatleri önemseyen gıda pazarında söz sahibi şirketlerin AR-GE çalışmaları yaptığı bilinmektedir (Chaudhry vd., 2008). Fakat bu vaatlerin gerçekleşmesi için uzun yıllar gerekmektedir. Ayrıca gıda endüstrisinde nanoteknoloji alanında yaratıcı fikirler ortaya atılmasına rağmen bu konuda ülkelerin mevzuatları yeterli değildir (Sekhon, 2010).

Tuz tüketiminin artması çeşitli hastalıkları beraberinde getirir. Nano boyutta üretilen tuz sayesinde daha az miktarda tuz kullanılarak aynı tadın alınabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Bumbudsanpharoke ve Ko, 2015).

Yapılan çalışmalar nanopartiküllerin gıda katkı maddesi veya tıp alanında ilaç olarak kullanım potansiyeli olduğunu göstermekle beraber sayıca yetersizdir ve daha fazla çalışma yapılması gereklidir

1.5. Nanomalzeme Sentezi

Nanopartiküllerin sentezinde yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya sentez yaklaşımı vardır. Bu yöntemler nitelik, süre ve ekonomik gider anlamında farklılık gösterir. Doğa dostu teknoloji aşağıdan yukarı sentezi benimser.



Şekil 1. Aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı sentez yaklaşımları (Baig vd., 2021)

Yukarıdan aşağı sentez yaklaşımında nanomalzemeler büyük boyutlu malzemelerden öğütme ve homojenizasyon yoluyla üretilir. Aşağıdan yukarı sentez yaklaşımında ise moleküller çeşitli bağlar sayesinde etkileşerek birleşir (Rogers, 2016).

1.5.1. Yeşil Sentez

Zararlı kimyasalların insan ve doğaya etkileri dikkate alınmaya başladıkça yeni üretim metotları geliştirilmektedir. Artık bilim ekosistem için daha az zararlı, daha güvenilir, verimli, ekonomik ve pratik yeni yaklaşımlar aramaktadır. Farklı doğa dostu yöntemler kullanılarak aynı son ürün elde edilebilmektedir (Anastas ve Warner, 2000).

Son yıllarda çevreye karşı farkındalığın artmasıyla değer kazanan bir yöntem olan yeşil sentez doğaya zararlı olduğu bilinen kimyasal maddelerin kullanımını ve üretimini ortadan kaldırmayı veya en aza indirmeyi hedefleyen bir yaklaşım benimser. Hammadde seçimi, nanopartikülün elde edilme yöntemi ve geliştirilmesi dahil tüm süreçlerde çevreci bir yaklaşımı vardır. Yüksek performanslı nanomalzemeler üretirken bunu insan ve doğaya en az zarar verecek şekilde yapar (Dahl vd., 2007).

Yeşil sentezde mikroorganizmalar veya bitkiler kullanılabilir. Yapılan çalışmalara bakıldığında bitkilerden elde edilen nanopartiküllerin mikroorganizmalardan elde edilenlere göre daha kararlı olduğu bulunmuştur. Ayrıca bitkilerden yeşil sentez yöntemiyle nanopartikül üretimi daha hızlı ve maliyet açısından daha ucuz yapılabilmektedir (Iravani, 2011). Yeşil sentez yöntemi toksik maddeler kullanılmadan üretim yapmayı amaçladığı için çevre dostu ve güvenilir bir yöntem olarak kabul edilir. Üretilen nanopartiküller diğer yöntemlerde elde edilen ürünlere göre daha stabil ve biyoyumludur.

Yeşil sentez yöntemi genel olarak avantajlarıyla bilinse de üretilen parçacığın boyutu ve üretilen koşullar da önemlidir. Nanoparçacık boyutu ve şekline bağlı olarak antimikrobiyal aktivitenin değişebileceği ve zamanla toksik bileşenlerin sızma ihtimalinin olduğu unutulmamalıdır (Mathesh vd., 2024).

1.6. Nano Ölçekte İnceleme

Nano boyutlarda çalışmak makroskobik boyutlarda çalışmaya göre oldukça zordur. Özel cihazlar ve yetkin personel gereklidir. Makro ölçekler için kullanılan cihazlar nano ölçekler için uygun değildir (Erkoç, 2007). Makro boyutları incelemek için ışık mikroskobu yeterliyken nano boyutlara gelince ışık mikroskobu ile görüntü sağlanamaz.

1.6.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Nanometre-mikrometre aralığındaki organik ve inorganik maddelerin incelenmesi için farklı disiplinler tarafından kullanılır. Optik ışık mikroskoplarından farklı şekilde elektronların yaydığı ışınları kullanarak oldukça hassas görüntü sağlar. Yüksek çözünürlüğüyle malzeme biliminde, geniş kapsamlı malzemelerin tanımlanmasında, arge çalışmalarında sıklıkla kullanılır (Mohammed ve Abdullah, 2018). Analizi yapılan örneğin yüzey yapısını 3 boyutlu gösterir. Numune yüzeyindeki atomlar yüksek enerjili elektronlarla taranarak etkileşime girer ve bunlar dedektörde sinyal olarak toplanır. Bu sinyaller değerlendirilerek örneğin kompozisyonu bulunabilir. Taramalı elektron mikroskobu bir nesneyi bir milyon kat büyütebilir ve 1 nm'den küçük boyutları bile görebilir (Ul-Hamid, 2018).

1.6.2. Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM)

Nanomalzemeleri tanımlamak için kullanılan yöntemlerden biridir. Elektron tabancası yardımıyla elektronlar üretilir ve hızlandırılarak örneğin üstüne yoğunlaşır. Elektronlar örnekten geçerken görüntü alınır (Dağ, 2018). TEM'de ışık kaynağı elektrondur.

1.7. Halk Sağlığı ve Patojen Mikroorganizmalar

Halk sağlığı toplu yaşamının bir sorunu olarak her zaman önemsenmesi gereken bir konudur. Geçmişte en büyük tehlikeyi bulaşıcı hastalıklar oluştururken şimdi ise antibiyotiklere direnç geliştiren bakteriler de tehdit oluşturmaktadır. Antibiyotikler bakteri kaynaklı enfeksiyonları iyileştirmek için kullanılırlar. Antibiyotik tedavisi sonucu canlı kalan bakteriler antibiyotik direnci geliştirebilirler. Bölünme sonrası direnç geliştiren genlerini yeni bakterilere de aktarırlar (Jaworski vd., 2018). Her ne kadar antibiyotikler sağlık alanında kullanılmaya devam edilse de antibiyotiklere karşı direnç geliştiren bakterilere karşı pasif kalmaktadırlar (Manzoor vd., 2016). Aşırı ve yanlış kullanım sonucu ortaya çıkan antibiyotik direnci sorunu çözülemediği takdirde sağlık dünyası için kriz yaratabilecek bir sorundur (Hegemann vd., 2023). Çağın getirdiği bu soruna çözüm bulabilmek için yeni teknolojiler geliştirilmelidir.

Antibiyotiklerin etki etmesi için doğrudan hücreye nüfuz etmesi gerekirken nanopartiküller ise hücre duvarıyla temas sonrası etki gösterebilmektedir. Bu sayede bakterilerin nanopartiküllere karşı direnç oluşturma riskinin daha düşük olması umut edilmektedir (Mathesh vd., 2024).

Farklı nanopartikül türleri farklı mekanizmaları aynı anda kullanarak bakterilere etki edebilmektedir. Aynı anda farklı mekanizmaların devreye girmesi sonucu bakterinin genetik materyalinde meydana gelen mutasyonların da aynı anda olması gerekir. Bu nedenle bakterinin nanopartiküllere karşı direnç geliştirmesi antibiyotiklere göre daha zordur (Jaworski vd., 2018).

1.8. Gıda Kaynaklı Patojen Mikroorganizmalar ve Nanoteknoloji

Metal nanoparçacıkların patojen mikroorganizmalar üzerine etkisi hem nanoteknoloji hem de mikrobiyoloji açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi gereken bir konudur. Patojen mikroorganizmalar küresel anlamda halk sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturur. Binlerce yıldır uygulanan geleneksel yöntemler patojen mikroorganizmaları etkisiz hale getirmek için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle alternatif çözümler aranmaktadır. Son yıllarda alternatif yöntem olarak nanopartiküllere ilgi artmış ve farklı alanlarda kullanımları için araştırmalar yapılmaktadır.

Gıda kaynaklı hastalıklar büyük ekonomik maliyetler oluşturmaktadır. Nanoteknoloji gibi yeni teknolojilerle üretilen güvenli gıdaların bu maliyeti azaltacağı düşünülmektedir (Buzby ve Roberts, 2009).

Gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalar gıda endüstrisi için ciddi bir sorundur. Gıda pazarının dünyaya yayılması olası riskleri de beraberinde getirmektedir. Gıda tarladan çatala gelene kadar işlenmesi, paketlenmesi ve depolanması dahil tüm aşamalarda patojenleri ortadan kaldırmak ve bulaşı riskini azaltmak için önlemler alınmalıdır. Gıda kaynaklı patojenler salgınlara ve ölüme neden olabilmektedir. Patojen tespit edilen ürünlerin pazardan geri çağırılması gerekir. Gün geçtikçe gıda endüstrisinin güvenli, güçlü yeni antibakteriyel ajanlara ihtiyacı artmaktadır.

1.9. Nanopartiküllerin Patojen Mikroorganizmalara Etki Mekanizması

Nanopartiküllerin mikroorganizmalara karşı antibakteriyel etkisinin nedenleri tam olarak açıklanamamıştır. Çukurlar açarak hücre duvarı ve hücre zarına zarar verme, hücre bölünmesini engelleme, DNA'ya zarar verme, elektron taşıma sistemine engel olma, reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşmasına neden olma, hücre içeriğinin dışarı sızmasına neden olma, protein ve enzim üretimini engelleme gibi sebeplerle nanopartiküllerin ve iyonlarının (gümüş, çinko, bakır, demir vb.) antibakteriyel etki gösterdiği düşünülmektedir (Girma, 2023). Bu etkileri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

1. Elektriksel çekim: Çoğu bakterinin hücre duvarı negatif yüklü iken nanopartiküller pozitif yüklüdür. Bu zıt elektriksel yükler sayesinde nanopartikül ve

bakterinin hücre duvarı arasında güçlü bir elektrostatik etkileşim görülür ve metalik nanopartikül hücre duvarına rahatça yapışır (Z. Li vd., 2019).

2. Hücre duvarının ve hücre zarının yıkımı: Hücre duvarı bakteriyi dış etkenlerden koruyan, hücreye bütünlük, destek ve direnç sağlayan geçirgen bir yapıdır. Nanopartiküller hücre duvarına yapışarak hücre zarında boşluklar açılmasına neden olur. Bunu hücre duvarındaki $-COOH$ ve $-NH-$ gruplarıyla etkileşime girerek yaparlar. Hücre zarı hücreyi dış ortamdan ayırarak iyonik dengeyi sağlar. Bu etkileşim sonucu yapısı bozulan hücre duvarı iyon dengesini sağlayamaz ve görevini yerine getiremez. Böylece hücre ölür. 2 tip hücre duvarı vardır: Gram + ve gram -. Hücre duvarı yapısının farklı olması bakterinin nanopartiküle karşı direncinde etkilidir. Gram pozitif bakterilerde hücre duvarı peptidoglikan tabakası yaklaşık 30 nm kalınlığında iken gram negatif bakterilerde 3-4 nm kalınlığındadır. Hücre duvarının daha kalın olması ve daha fazla peptidoglikan içermesi nedeniyle gram pozitif bakteriler nanopartiküllere karşı nispeten daha dayanıklıdır. Gram pozitif bakterilerin hücre duvarında lipopolisakkarit bulunmazken gram negatiflerde bulunur. Aslında hücre zarındaki lipopolisakkarit gram negatif bakterinin hücre bütünlüğünü korur. Ama lipopolisakkaritin eksi yüklü olması metal nanopartikülün hücreye yapışmasını kolaylaştırır. Bu nedenle gram negatif bakterilerde nanopartiküllerin daha etkili olması beklenir (Dakal vd., 2016).

3. Protein sentezini engelleme: Serbest kalan metal iyonları hücredeki $-COOH$ ve $-NH$ gruplarıyla etkileşerek ortamın hidrojen iyonu konsantrasyonunu değiştireceği için hücrede tahribat başlar (Li ve Xu, 2024).

4. Reaktif Oksijen Türlerinin (ROS) Üretimini artırma: Elektron taşıma sisteminde aksaklık sonucu oluşan reaktif oksijen türleri hücre zarının bozulmasına ve oksidatif strese neden olur (Yin vd., 2020). ROS protein, DNA, lipid gibi makromoleküller ile reaksiyona girerek geri dönülemez şekilde yıkıma neden olabilir. Nanopartiküllerin ROS üretme kapasiteleri makro hallerinden daha yüksektir (Akter vd., 2018).

5. DNA'nın eşlenmesini engellemesi: metal iyonları DNA'ya bağlanarak yapısını tahrip eder. Hücrenin çoğalmasını ve gelişmesini engeller (Li ve Xu, 2024).

6. ATP üretimini engelleme: ATP üretimi için protein ve enzim gereklidir. Metalik nanopartikül protein ve enzim üretimini engellediği için ATP üretimini de engeller (Girma, 2023).

7. Hücrede sızıntı: hücre zarı zarar görünce hücresel iyonlar, ATP, protein, indirgen şeker dışarıya sızar. Böylece hücre hayati fonksiyonlarını yerine getiremez hale gelir (Dakal vd., 2016).

Nanopartiküller şekil, boyut, koloidal yapı ve yoğunluğa bağlı olarak farklı oranlarda antibakteriyel etki gösterebilirler. Sentez yöntemine bağlı olarak dikdörtgen, üçgen, kare, küre, çubuk gibi farklı şekillerde nanopartiküller oluşabilir (Akter vd., 2018). Üçgen şekilli gümüş nanopartiküllerin (AgNP) diğerlerine göre daha yüksek antibakteriyel etki gösterdiği gözlenmiştir (Chen ve Carroll, 2002). Genel olarak 50 nm'den küçük nanopartiküllerin antibakteriyel özelliklerinin daha yüksek olduğunu söyleyebiliriz (Dakal vd., 2016). Ama toksik etkinin sadece boyuta bağlı olduğunu söylemek doğru değildir.

Nanopartiküllerin bakteriye etki mekanizması dışında bakteriden kaynaklı faktörlerde antibakteriyel etki için önemlidir. Hızlı büyüyen bakteriler nanopartiküllerden daha hızlı etkilenir. Yani bakteri suşuna bağlı olarak da antibakteriyel etki değişkenlik gösterebilir (Hajipour vd., 2012).

Bakterilerin birbirlerine veya cansız bir yüzeye yapışarak kendi ürettikleri polimer yapı içerisinde güvenli bir şekilde tutunmasını sağlayan yapılara biyofilm denir. Genellikle patojen bakterilerde görülen biyofilm oluşturma yeteneği bu bakterileri antibakteriyel ajanlardan korur. Biyofilm oluşturabilen bakteriler diğerlerine göre antibakteriyel ajanlara karşı daha dayanıklıdır (Hajipour vd., 2012).

Sıcaklık, ışık, NP ve bakteri konsantrasyonu, pH gibi faktörlerde antibakteriyel etki için önemlidir. Bazı nanopartiküller fotokatalitik etki gösterir. Fotokatalitik etkinin oluşması için ışık gereklidir. Karanlık ortamda fotokatalitik özellik görülmeyeceği için diğer yıkım mekanizmaları devreye girer. TiO_2 karanlık ve ışıklı ortamda ayrı ayrı incelenmiş ve ışıklı ortamda TiO_2 'in daha öldürücü etkiye sahip olduğu görülmüştür. Karanlık ortamda TiO_2 'in antibakteriyel etkisinin az olması TiO_2 'in hücrelerle kümelenmesine bağlanmıştır. Lipid oksidasyonu sonucu oluşan ürünlerin mutasyona neden olabileceği bilinmektedir (Akasaka ve Yamamoto, 1994). Lipid oksidasyonu sonucu oluşan ürünlerden biri de malondialdehittir (MDA). MDA oluşum oranlarına bakılarak lipid oksidasyon düzeyi hakkında fikir edinilebilir. TiO_2 karanlık ve aydınlık ortamda diğer koşullar aynı olacak şekilde incelendiğinde ışık altında incelenen TiO_2 'in karanlıktakine göre 9 kat daha fazla MDA oluşturduğu görülmüştür. Bununla beraber aydınlatma süresi uzatıldığında oluşan MDA miktarının azaldığı görülmüştür (Maness vd., 1999). (Hajipour vd., 2012).

Nanopartikülün antibakteriyel etkisini gösterebilmesi için hücreye girmesine gerek olmadığı gözlenmiştir. Bakteri hücresi ve metal nanoparçacık arasında yakın bir temas sonucu bile toksik etkiler görülebilmektedir. Metal nanoparçacıklar hücre dışında

    n p ROS üretmeye başladığında bakterinin hücre zarı da tahrip olmaktadır (Hajipour vd., 2012).

Tüm veriler incelendiğinde nanopartiküllerin bakterilere karşı antimikrobiyal etkisini  u faktörlerin belirlediğini söyleyebiliriz: kullanılan nanopartikülün fizikokimyasal özelliği, seçilen bakteri su u ve ortam  zellikleri (Hajipour vd., 2012). Nanopartiküllerin boyutu ve duyarlılık sabitleri arasındaki ilişkinin net olarak anlaşılabilmesi için daha fazla araştırma yapılması gereklidir.

Öte yandan nanoboyutlu malzemelerin toksik etkileri hakkında yeterli araştırma bulunmamaktadır. Nanopartiküller organik ve inorganik olmak üzere 2'ye ayrılır. Organik nanopartiküllere lipid, protein, karbonhidrat nanaopartik lleri inorganik nanopartiküllere ise AgNP, Fe₂O₃NP, ZnONP ve TiO₂NP'  örnek olarak verebiliriz. Genel olarak inorganik nanopartiküllerin organik nanopartiküllere kıyasla daha toksik olduğu düşünülmektedir. Çünkü organik nanopartiküller insan vücudunda tamamen sindirilebilir (McClements ve Xiao, 2017). Yapılan  alı malar göz ardı edilmemelidir. Örneğin: TiO₂'nin farelerde DNA yapısının bozulmasına ve beyinde hasara neden olduğu bulunmuştur (Ze vd., 2013). Gümüş nanopartiküllerin zamanla insan vücudunda biriktiği bilinmektedir (Girma, 2023).

1.10. Literatür Taraması

da Silva vd. (2019)  inkooksit nanopartikülleri ve hücrede meydana getirdikleri değişimleri incelemişlerdir. Hücreye  inko oksit nanopartikül (ZnONP) uygulanmadan önce ve sonra elde edilen görüntüler, SEM ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda, uygulama öncesinde hücrelerin düzenli bir yapıya sahip olduğu, ancak uygulama sonrasında hücre duvarındaki hasara bağlı olarak yapının düzensiz hale geldiği tespit edilmiştir. ZnONP'lerin yüzey/hacim oranı az iken bakteriyostatik, yüzey/hacim oranı fazla iken bakterisidal özellik göstermeye ba ladığını rapor etmişlerdir (da Silva vd., 2019). Bakterileri öldürmeden gelişimini durduran maddelere bakteriyostatik denirken bakterileri öldüren maddelere ise bakterisidal denmektedir.

Süt proteini  -laktalbuminden oluşan nanotüpler gıda alanında kullanım potansiyeli taşır.  -laktalbumin proteinlerinden oluşan nanotüpler kararlı yapıdadırlar. Pastörizasyon sıcaklığına ve dondurarak kurutma işlemlerine dayanıklıdırlar.  -laktalbumin nanotüplerinin yüksek yüzey alanı/hacim oranı sayesinde klasik viskozite ajanlarından daha az malzeme kullanılarak viskozite artırılabilir (Graveland-Bikker ve De Kruif, 2006).

Ruparelia vd. (2008) gümüş ve bakır nanopartiküllerin *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı etkilerini incelemişlerdir. *B. subtilis* için bakırın daha iyi bir antibakteriyel etki gösterdiğini rapor etmişlerdir. *B. subtilis*'in hücre yüzeyinde diğerlerine oranla daha fazla karboksil ve amin grubu bulunur. Amin ve karboksil gruplarının bakırla koordineli bağ kurma yeteneklerinin olması bakır nanopartiküllerin *B. subtilis*'e karşı daha etkili olmasını sağlar (Ruparelia vd., 2008).

Tayel vd. (2011) çinko oksit nanopartiküllerin içinde gıda patojenlerinin de olduğu gram pozitif ve gram negatif bakterilere karşı antibakteriyel etkilerini karşılaştırmışlardır. ZnONP'lerin hem gram pozitif hem gram negatif bakteriler için etkili bir antibakteriyel ajan olduğunu fakat gram pozitif bakteriler için daha fazla antibakteriyel özellik gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Sadece gram negatif bakterilerin hücre duvarında bulunan lipopolisakkaritlerin ZnO'nin hücreye girişini engelleyebileceği ve bu yüzden gram negatif bakterilerin ZnONP'e daha dayanıklı olabileceğini rapor etmişlerdir (Tayel vd., 2011).

Liu vd. (2009) çinko oksit nanopartiküllerin (ZnONP) *Escherichia coli* O157:H7 patojeni üzerindeki antibakteriyel etkisini TEM, SEM ve raman spektroskopisi kullanarak incelediklerini bildirmişlerdir. ZnONP'nin hücre zarına yapışıp lipid ve proteinlere zarar vermesinin hücre zarı yapısını bozduğunu görmüşlerdir. ZnONP konsantrasyonu ve antibakteriyel etki arasında doğru orantı olduğunu rapor etmişlerdir (Liu vd., 2009).

Echegoyen ve Nerín (2013) ABD'de ticari olarak satılan içinde gümüş nanopartikül bulunan ambalajlar üzerine bir inceleme gerçekleştirmişlerdir. Gıdayla temas eden bu ambalajlar için migrasyon testleri uygulamışlardır. Normal fırında ısıtmaya kıyasla mikrodalga fırında ısıtmanın nanoplastiklerin gıdaya göçünü artırdığını rapor etmişlerdir (Echegoyen ve Nerín, 2013).

Loeschner vd. (2011) 28 gün boyunca sıçanları AgNP ve gümüş asetat (AgAc) maruz bırakarak gümüş birikimini gözlemlemişlerdir. Organlarda Ag dağılımının AgNP ve AgAc için benzer olduğunu bildirmişlerdir (Loeschner vd., 2011). Yine de AgNP'lerin vücutta birikiminin uzun dönemde ne gibi sorunlara yol açacağı bilinmemektedir.

1.11. Çalışmanın Amacı

Gıda kaynaklı hastalıklar, genellikle gıda patojenlerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı bitkilerden yeşil sentez yöntemiyle üretilen nanopartiküllerin gıda patojenleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Çalışmada, daha önce yeşil sentez yöntemiyle elde edilen metal nanopartiküller (hem tek başına hem de diğer nanopartiküllerle birlikte) ve çay ekstraktları kullanılmıştır. Tüm örnekler üzerinde

Escherichia coli, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica* subsp. *Enterica* serovar *Enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 bakterilerine karşı Disk Difüzyon, Minimum İnhibitör Konsantrasyonu (MİK), Minimum Bakterisidal Konsantrasyonu (MBK) ve Bakteriyel Büyüme İnhibisyonu (%) analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirilerek, hangi nanopartikülün hangi gıda patojeni üzerine daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların, gıda endüstrisinde kullanılması olası yeni yaklaşımlara katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

1.12. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmamızda karayemiş, karabuğday, siyah çay ve yeşil çay bitkilerinden yeşil sentez yoluyla üretilen metal nanopartiküller ve çay ekstraktları kullanılmıştır. Bu nanopartiküller ve ekstraktların, gıda patojenlerine karşı etkinliklerini değerlendirmek amacıyla yapılan analizlerin sonuçları sistematik bir şekilde tablolar halinde sunulmuş ve bu veriler aracılığıyla örnekler birbirleriyle kıyaslanmıştır. Böylece, her bir nanopartikül ve ekstraktın, farklı bakteri suşları üzerindeki etkisi daha net bir şekilde ortaya konulmuştur. Bu kıyaslamalar, hangi nanopartikül ya da ekstraktın hangi gıda patojeni üzerinde daha yüksek etkinlik gösterdiğini belirlememizi sağlamıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Kullanılan Cihazlar

Tablo 1. Kullanılan cihazlar

Ad	Marka	Model
Analitik H. Terazî	Ohaus	PA214C
Etüv	Daihan Scientific	ThermoStable WIG-150
McFarland Densimetresi	Grant Instruments	DEN-1B
Mikroplaka Okuyucu	Thermo Scientific	Multiskan Go
Ultrasonik Su Banyosu	Wisd Laboratory Instruments	WUC-D10H
Vorteks	Daihan Scientific	VM-10
Otoklav	ALP	CL-40M

2.1.2. Kullanılan Kimyasallar

Kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup, Merck ve Sigma firmaları tarafından üretilmişlerdir.

2.1.3. Çözeltilerin Hazırlanması

Çalışma esnasında kullanılan çözeltiler TS 545'e göre hazırlandı (TS 545, 1967).

2.1.4. Kullanılan Bakteri Suşları

Bakteriler Trabzon Gıda Kontrol Laboratuvarı Mikrobiyoloji biriminden temin edilmiştir. Liyofilize hâlde bulunan bakteriler peptonlu suda çözdürüldükten sonra besiyerine özeyle sürülerek inkübatöre kaldırılmıştır. Aktifleştirme sonrası bakteriler 2-8 °C arası koşullarda buzdolabında saklanmıştır.

Tablo 2. Çalışılan bakteri suşları

Ad	Koleksiyon
<i>Escherichia coli</i>	NCTC 12241
<i>Bacillus cereus</i>	NCTC 10320
<i>Staphylococcus aureus</i>	NCTC 12981
<i>Salmonella enterica subsp. Enterica serovar Enteritidis</i>	NCTC 12694
<i>Listeria monocytogenes</i>	NCTC 13372
<i>Escherichia coli</i> (O157:H7)	ATCC 43888

2.1.5. Örnekler ve Kodlamaları

Tablo 3. Nanopartikül ve ekstrakt kodlamaları

No	Kodlama	Örnek Adı
1	YKCUNP	Yaban Karayemiş Meyvesi CuNP
2	KKCuNP	Kiraz Karayemiş Meyvesi CuNP
3	SKCuNP	Selvi Karayemiş Meyvesi CuNP
4	SKAgNP	Selvi Karayemiş Meyvesi AgNP
5	YKAgNP	Yaban Karayemiş Meyvesi AgNP
6	KKAgNP	Kiraz Karayemiş Meyvesi AgNP
7	KBFenP	Karabuğday FeNP
8	KBAgNP	Karabuğday AgNP
9	KKFeNP	Kiraz Karayemiş Meyvesi FeNP
10	SKFeNP	Selvi Karayemiş Meyvesi FeNP
11	YKFeNP	Yaban Karayemiş Meyvesi FeNP
12	SCFeNP	Siyah Çay FeNP
13	YCFenP	Yeşil Çay FeNP
14	YCE	Yeşil Çay Ekstraktı
15	SCE	Siyah Çay Ekstraktı
16	KKAg-CuNP	Kiraz Karayemiş Meyvesi Ag-Cu NP (%50-%50 Karışım)
17	KKAg-FeNP	Kiraz Karayemiş Meyvesi Ag-Fe NP (%50-%50 Karışım)
18	YKAg-CuNP	Yaban Karayemiş Meyvesi Ag-Cu NP (%50-%50 Karışım)
19	YKAg-FeNP	Yaban Karayemiş Meyvesi Ag-Fe NP (%50-%50 Karışım)

Tablo 3 devamı

20	SKAg-CuNP	Selvi Karayemiş Meyvesi Ag-Cu NP (%50-%50 Karışım)
21	SKAg-FeNP	Selvi Karayemiş Meyvesi Ag-Fe NP (%50-%50 Karışım)
22	KBAG-FeNP	Karabuğday Ag-Fe NP (%50-%50 Karışım)

Bu çalışmada Prof. Dr. Cemalettin BALTACI' nın danışmalığını yürüttüğü yüksek lisans ve doktora öğrencilerinin Hasan GEDİKLİ, Havva Nur KOBYA, Ömer KARPUZ ve Osman AKMEŞE' nin üretmiş oldukları MeONP' ler ve ekstraktlar kullanılmıştır. Dolayısıyla bu MeONP'lerin yapısal karakterizasyonlarıyla ilgili testler ilgili tezlerde yapılmıştır.

Hasan GEDİKLİ' nin yazdığı "Türk siyah ve yeşil çayı ekstraktlarının ve bu ekstraktlardan yeşil sentez yoluyla üretilen demir nano parçacıklarının bazı gıdalarda aflatoksinlerin azaltılması üzerine bir araştırma" konulu yüksek lisans çalışmasında sprey kurutma yoluyla üretilen siyah ve yeşil çay ekstraktlarını kullandı.

2.2. Metot

2.2.1. Örneklerin Hazırlanması

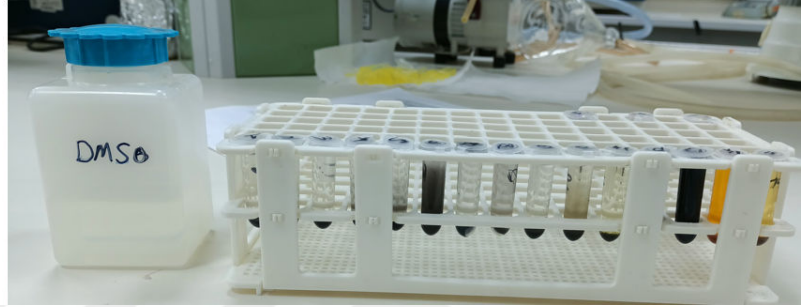
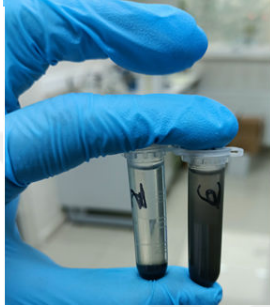
Mevcutta bulunan örnekler 1-22 arası numaralandırıldı ve vakumlu etüve yerleştirildi. Sonrasında desikatöre kaldırıldı. Analizler için ortak kullanılacak nanopartikül çözeltilerinin hazırlanmasına geçildi. Ependorflar sırayla numaralandırıldı. Bir beher içine 2 ml'lik ependorf sarkıtılarak analitik hassas teraziye konuldu. Tüm örneklerin konsantrasyonu 24 mg/mL ve DMSO (dimetilsülfoksit) konsantrasyonu 50 mg/mL olarak belirlendi. Desikatörden alınan nanopartiküllerden 48 mg tartılarak üzerlerine 2 ml DMSO ilave edildi.



Şekil 2. Mevcutta hazır bulunan bazı örnekler



Şekil 3. Örneklerin tartılması



Şekil 4. Hazırlanan bazı örnek çözeltiler

Örnekler ilk olarak el yardımıyla çalkalandı. Ardından içinde örnek çözeltisi bulunan 1-22 arası numaralı tüm ependorflar bir tüplüğe yerleştirilerildi. Ependorfların içine su geçmemesi için üstleri alüminyum folyo ile kaplandı ve tüplük ultrasonik banyoya konuldu. Sıcaklık etkisiyle nanopartiküllerin zarar görmesi istenmediğinden sıcaklık ayarı açılmadan yaklaşık 1 saat beklenildi.



Şekil 5. Ultrasonik banyoda bekletilen örnekler

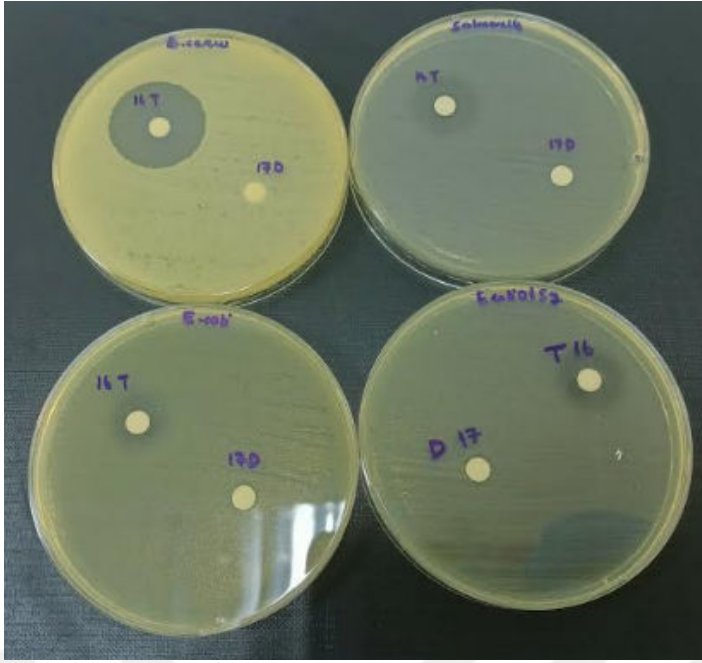
2.2.2. Analizler

2.2.2.1. Disk Difüzyon Yöntemi

Yeşil sentez yöntemiyle üretilmiş olan nanopartiküller ile siyah çay ve yeşil çay ekstraktları kullanılarak örneklerin antimikrobiyal kapasitesi ölçüldü. 1 petride 1'den fazla örneğin antimikrobiyal etkisi ölçülebildiği için avantajlı bir yöntemdir.

Escherichia coli NCTC 12241, *Staphylococcus aureus* NCTC 12981, *Bacillus cereus* NCTC 10320, *Salmonella enterica subsp. Enterica serovar Enteritidis* NCTC 12694, *Listeria monocytogenes* NCTC 13372 ve *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43888 bakteri suşları ile çalışıldı. Standart referans malzemeler kullanılarak bakteri suşları canlandırıldı ve taze kültürleri yapıldı. Ertesi gün, içinde steril saf su bulunan tüpler kullanılarak canlanan koloniler yoğunluğu 0.5 McFarland (yaklaşık 1.5×10^8 hücre/mL) olacak şekilde ayarlandı. 6 bakteri için de işlem tekrarlandı.

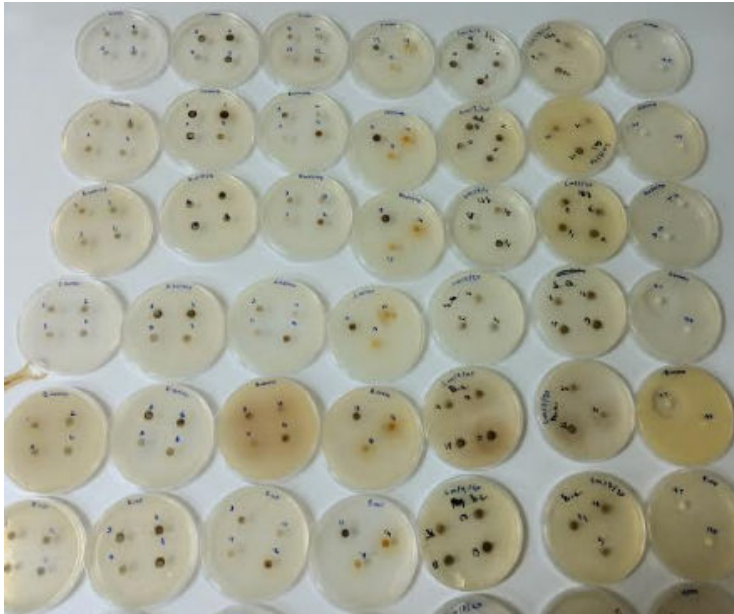
MHA (Mueller Hinton Agar) besiyeri tartılarak 121°C'de 15 dk otoklavlandı. Sterilizasyon sonrası 45-50°C'ye soğutulan MHA besiyeri aseptik koşullarda steril petrilere döküldü. Steril eküvyon çubukları 0.5 McFarland ayarı yapılan tüplere daldırılarak boş yer kalmayacak şekilde MHA besiyeri bulunan petrilere sürüldü. Steril 6 mm çaplı diskler steril bir petriye döküldü. Diskler bir pens yardımıyla besiyerine konuldu. Pens her işlem后会 sonra alevden geçirildi ve disk besiyeri yüzeyine hafifçe bastırarak yerleştirildi. Bu sırada disklerin birbirinden ve petri kenarından yeterli uzaklıkta olmasına dikkat edildi. Tüm diskler örnekleri temsilen 1'den 22'ye karışmayacak şekilde numaralandırıldı. Pozitif kontrol olarak tetrasiklin antibiyotiği, negatif kontrol olarak DMSO çözeltisi kullanıldı. Nanopartiküller ve ekstrakt çözeltiilerinden mikropipetle 10 µl çekilerek diskin üzerine konuldu. Diskin hepsini bir anda emmesi zor olacağı için yarım saat beklendi. Yarım saat beklendikten sonra 5'er µl daha ilave edildi. Petriler inkübatörde 37 °C'de 16-18 saat bekletildi. Bu sırada disklerdeki örnekler agara difüze olması beklenir. Bakteri örneğin antimikrobiyal etkisiyle ters orantılı olarak çoğalabilir. Ertesi gün 22 örnek ve 6 mikroorganizma için mikrobiyal üreme olmayan zon çapı dijital kumpas ile mm cinsinden ölçüldü. Zon çapı ne kadar büyükse bakteri o nanopartiküle karşı o kadar duyarlıdır.



Şekil 6. Ertesi gün zon ölçümü yapılan petriler



Şekil 7. Zon ölçümü yapılan dijital kumpas



Şekil 8. Disk difüzyon yöntemi çalışılmış petriler inkübatörden alındıktan sonra

2.2.2.2. Minimum İnhibitör Konsantrasyonu (MİK)

Mikroorganizmaların test edilen örneğe karşı duyarlılığını belirlemek için yapılan bir analizdir. Mikroorganizma büyümesini inhibe edecek gözle görülebilen minimum nanopartikül veya ekstrakt konsantrasyonunu bulmak amaçlanır.

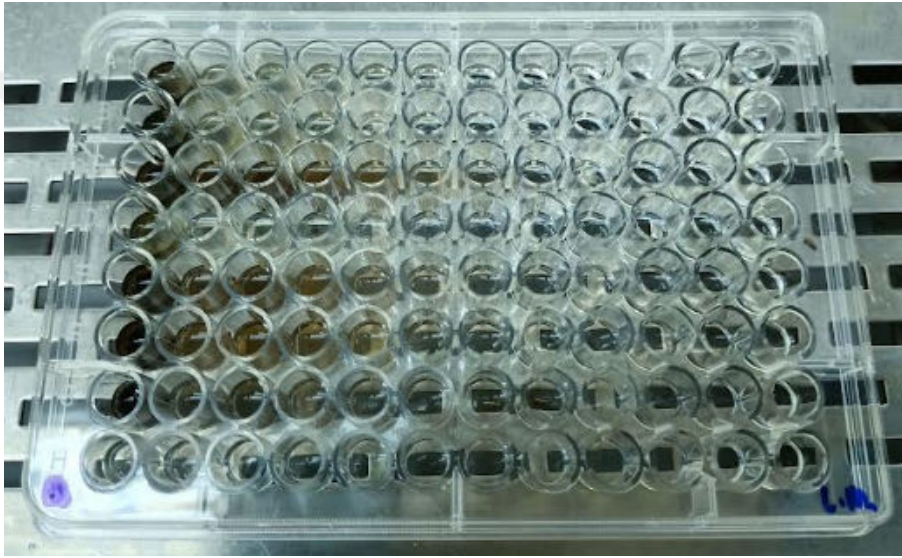
Mueller Hinton Broth (MHB) besiyeri çift güçlü ve tek güçlü olacak şekilde tartıldı ve 121°C’de 15 dk otoklavlandı. 1 bakteri için 3 steril mikropilaka kullanıldı. İlk kuyucuklara çoklu mikropipetle 100 µl çift güçlü MHB, kalan kuyucuklara ise 100 µl tek güçlü MHB konuldu. Sonra ilk kuyucuğa örnek solüsyonlarından 100 µl eklendi. Çoklu mikropipetle ilk kuyucuktan itibaren yan kuyucuğa geçerek 100 µl aktarıldı. Böylece nanopartikül konsantrasyonu her kuyucukta yarıya inecek ve inhibisyonun başladığı konsantrasyondaki kuyucuk gözlenebilecek. En son 11. sütundaki kuyucuklar hariç kalan kuyucuklara 0.5 McFarland’a ayarlanmış bakteri süspansiyonlarından 10 µl eklendi. Tüm mikropilakalar 37 °C’de 16-18 saat inkübatörde bekletildi. Ertesi gün üreme olmayan ilk kuyucuklar not edildi. 12. sütun pozitif kontrol olarak kullanıldığı için üreme gözlenmesi beklenir. 11. sütundaki kuyucuğa bakteri eklenmediği için üreme gözlenmesi beklenmez. Üreme gözlenmesi bulaşı olduğu anlamına gelir.



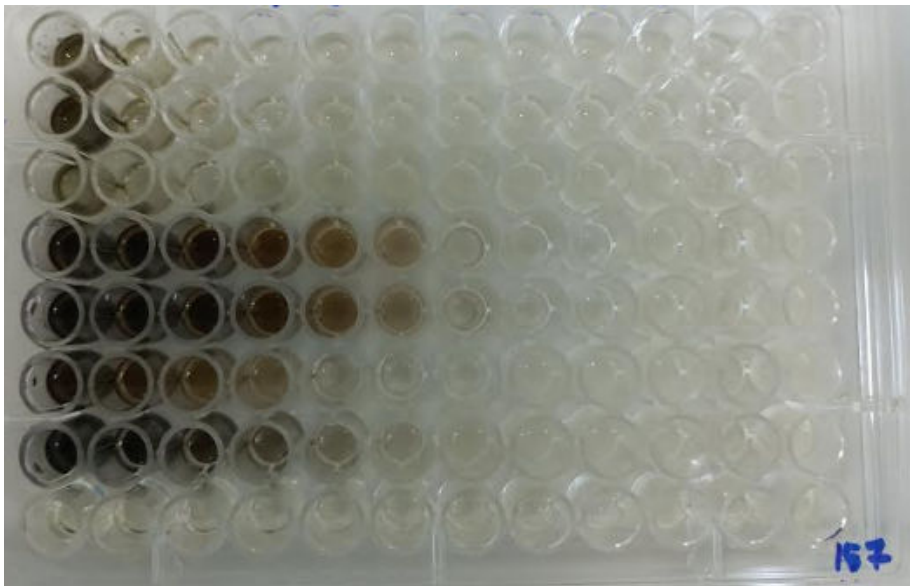
Şekil 9. MİK analizi için hazırlanan çift güçlü ve tek güçlü MHB besiyeri



Şekil 10. Ekim kabininde MİK çalışması



Şekil 11. Etüv öncesi *Listeria monocytogenes* için ekim yapılan mikrolaka

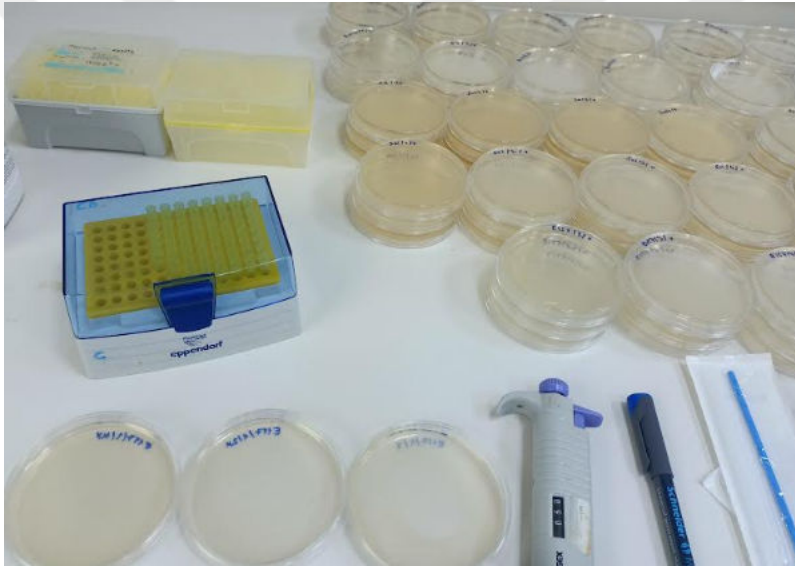


Şekil 12. Etüv sonrası *E. coli* O157:H7 için ekim yapılan mikrolaka

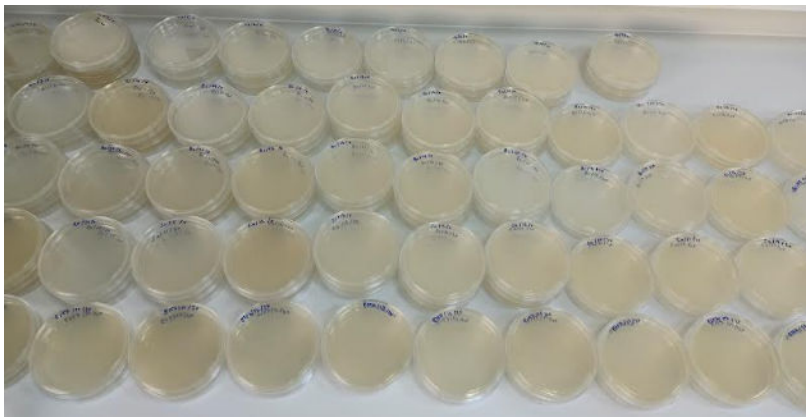
2.2.2.3. Minimum Bakterisidal Konsantrasyon (MBK)

Mikroorganizmaların test edilen örneğe karşı duyarlılığını belirlemek için yapılan başka bir analizdir. Mikroorganizmayı öldürecek minimum nanopartikül veya ekstrakt konsantrasyonunu bulmak amaçlanır. MİK analizinin ölçüm sonuçlarına bakılarak MBK analizine geçilir. Her 1 örneğin 1 suşa karşı MBK değeri için 3 adet besiyeri kullanılır.

Etüvden çıkan mikropalakalar değerlendirilerek tüm bakterilerin ilgili örnek için MİK değeri not edildi. Ardından MİK değeri x olarak kabul edildi. x, 2x ve 4x konsantrasyonundaki kuyucuklardan 50 µl alınarak MHA besiyerine konuldu ve steril drigalski ile petriye yayıldı. Tüm petriler 37 °C’de 16-18 saat inkübatörde bekletildi. Ertesi gün petrilerde koloni sayımı yapıldı. Bakterilerin minimum % 99.9’unu öldüren yani maksimum % 0.1’ini canlı bırakan konsantrasyon MBK değeri olarak not edildi.



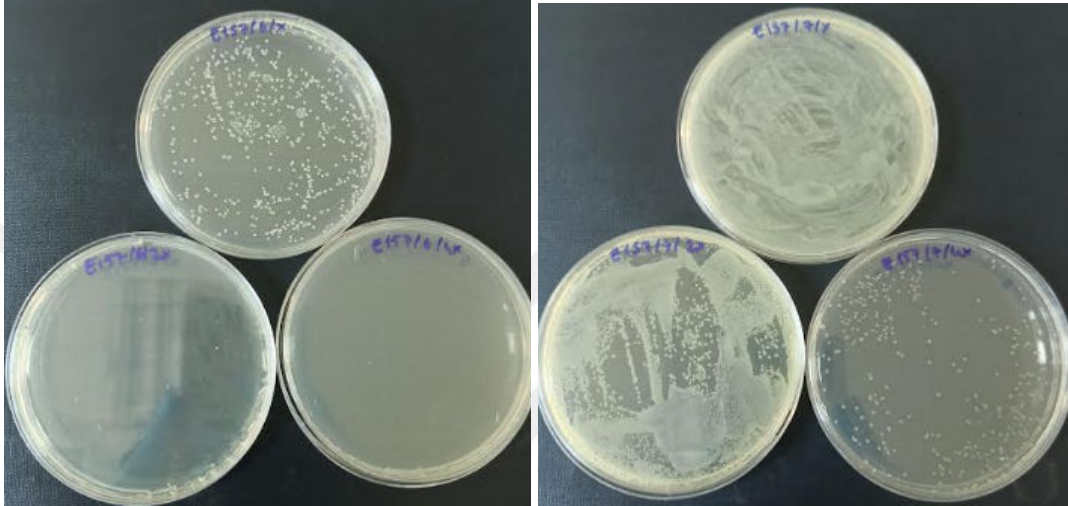
Şekil 13. x, 2x, 4x konsantrasyonlarında yapılan ekimler



Şekil 14. MBK okuması yapılan bazı petriler



Şekil 15. Selvi karayemişi CuNP'in *Salmonella* için MBK değeri tespiti

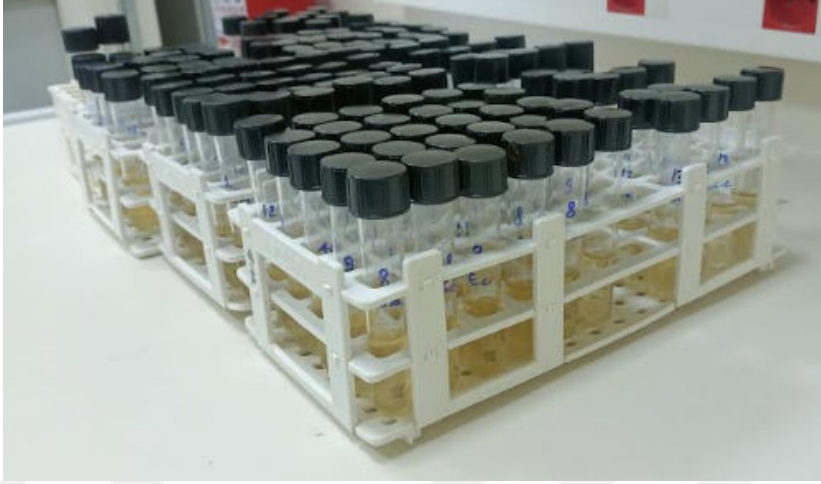


Şekil 16. Kiraz karayemiş AgNP ve Karabuğday FeNP'ün *E.coli* O157:H7 için MBK değeri tespiti

2.2.2.4. Bakteriyel Büyümede Azalmanın Belirlenmesi

MHB besiyeri tartılarak, tüplere 5 ml konuldu ve otoklavlandı. Her nanopartiküle karşı 6 bakteri için tüpler 22 x 6 şeklinde dizildi. Tüpler karışmayacak şekilde adlandırıldı. Örnek: 1Lm, 1 Sal, 1Sa, 1Bc, 1Ec, 1EO157. 6 tüp pozitif kontrol ve 1 tüp kör olarak bırakıldı. Her nanopartikülün ilgili bakteri için MİK değerinin 13 katı konsantrasyon değeri hesaplandı ve en yüksek konsantrasyonda nanopartikül solüsyonu hazırlandı. Diğer konsantrasyonlar için bu çözelti kullanıldı. Tüplere 13 x MİK konsantrasyonunda NP çözeltisi eklendi. Ardından 0.5 McFarland ayarı yapılmış tüplerden 50 µl bakteri suşu eklendi. Bu işlemler sırasında bulaşı olasılığı yüksek olduğu için dikkatli çalışıldı. Tüm tüplerden 96 kuyucuklu steril mikropalakalara 100 µl pipetlendi ve spektrofotometrede 630 nm'de absorbansları okundu. Sonrasında tüpler 37 °C'de 16-18 saat inkübatörde bekletildi. Ertesi gün inkübasyon sonrası tüplerden yine 100 µl alınarak mikropalakalara konuldu ve 630 nm'de absorbansları ölçüldü. Aşağıdaki formül kullanılarak bakteriyel büyümede azalma hesaplandı.

$$\text{Azalma (\%)} = 1 - \frac{(T_F(\text{Örnek}) - T_0(\text{Örnek})) - (T_F(\text{Kör}) - T_0(\text{Kör}))}{(T_F(\text{Kontrol}) - T_0(\text{Kontrol})) - (T_F(\text{Kör}) - T_0(\text{Kör}))} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 1})$$



Şekil 17. Bakteriyel büyümede azalma (%) analizi için hazırlanan tüpler



Şekil 18. Spektrofotometrede absorbans ölçümü yapılan mikropalakalar

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Disk Difüzyon Analiz Sonuçları

Disk difüzyon analiz sonuçlarına ait verilere ait oluşan zonun çapı mm olarak Tablo 4'te verilmiştir. YKAgNP ve KKAgnP nanopartiküller, *Salmonella*, *L. monocytogenes*, *E. coli* O157 ve *S. aureus* üzerinde etkili olmuştur. YKAgNP'nin *E. coli* O157 üzerindeki inhibisyon zonu ortalama 12.37 mm olarak ölçülmüştür, bu önemli bir inhibisyonu ortaya koymaktadır. SKAgNP, *Salmonella* üzerinde 10.47 mm ve *E. coli* O157 üzerinde 11.37 mm inhibisyon göstermiştir. Ancak, bazı bakteriler üzerinde etkisiz kalmıştır.

Tablo 4. Disk difüzyon analiz sonuçları

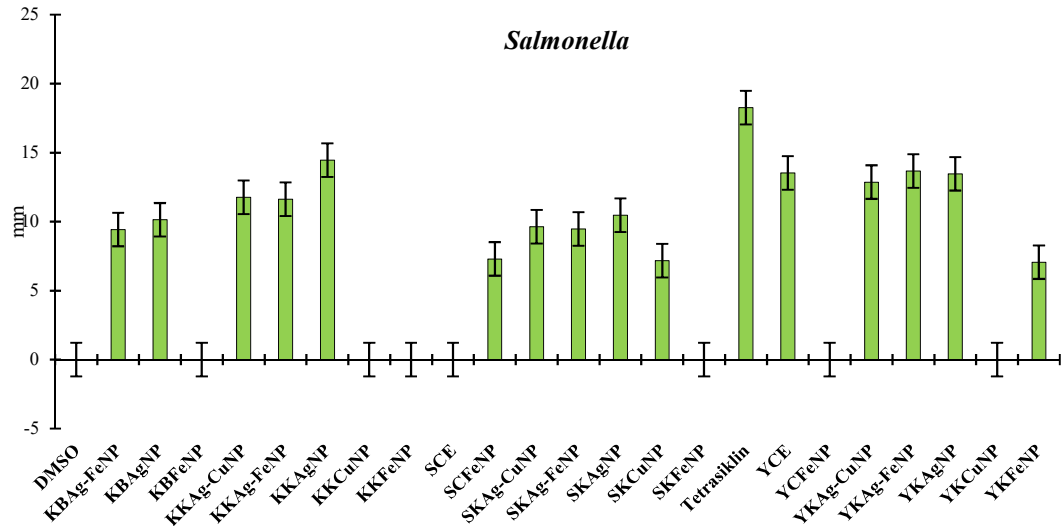
Kodlama	<i>Salmonella</i>		<i>L. monocytogenes</i>		<i>E. coli</i> O157:H7		<i>S. aureus</i>		<i>B. cereus</i>		<i>E. coli</i>	
DMSO	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-
KBAg-FeNP	9.43 ^c	±0.17	14.40 ⁱ	±0.26	9.60 ^d	±0.10	9.60 ^c	±0.15	9.83 ^{ef}	±0.06	9.47 ^d	±0.15
KBAgNP	10.13 ^{de}	±0.15	9.73 ^c	±0.15	9.60 ^d	±0.10	8.90 ^b	±0.10	9.17 ^d	±0.15	11.48 ^{efg}	±0.12
KBFeNP	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-
KKAgn-CuNP	11.76 ^f	±0.06	11.67 ^e	±0.06	11.33 ^g	±0.15	10.90 ^e	±0.20	9.73 ^e	±0.13	10.50 ^{def}	±0.20
KKAgn-FeNP	11.63 ^f	±0.15	11.50 ^e	±0.10	10.90 ^f	±0.10	12.73 ^g	±0.12	10.53 ^h	±0.15	11.15 ^{efg}	±0.06
KKAgnNP	14.45 ⁱ	±0.15	12.27 ^f	±0.17	11.63 ^{gh}	±0.12	14.29 ^j	±0.15	12.42 ^j	±0.21	11.33 ^{efg}	±0.15
KKCuNP	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	7.58 ^c	±0.15	0.00 ^a	-
KKFeNP	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-
SCE	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	6.48 ^b	±0.12
SCFeNP	7.30 ^b	±0.10	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	7.30 ^b	±0.20	7.48 ^c	±0.06
SKAg-CuNP	9.63 ^{cd}	±0.15	9.63 ^c	±0.10	9.63 ^d	±0.14	10.53 ^d	±0.11	10.00 ^{fg}	±0.20	10.29 ^{de}	±0.06
SKAg-FeNP	9.46 ^c	±0.06	14.67 ^j	±0.15	10.17 ^c	±0.06	12.03 ^f	±0.89	9.69 ^e	±0.06	10.40 ^{def}	±0.10
SKAgNP	10.46 ^e	±0.15	9.17 ^b	±0.12	11.36 ^g	±0.12	11.07 ^e	±0.06	10.03 ^{fg}	±0.15	11.28 ^{efg}	±0.16
SKCuNP	7.16 ^b	±0.13	0.00 ^a	-	7.67 ^b	±0.15	0.00 ^a	-	7.53 ^c	±0.06	0.00 ^a	-
SKFeNP	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-
Tetrasiklin*	18.26 ^j	±0.21	21.83 ^k	±0.13	16.50 ^j	±0.10	24.57 ^l	±0.21	28.64 ^l	±0.21	15.13 ^h	±0.12
YCE	13.53 ^h	±0.12	13.37 ^h	±0.14	10.93 ^f	±0.06	17.73 ^k	±0.15	10.10 ^g	±0.20	7.74 ^c	±0.06
YCFNP	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-
YKAg-CuNP	12.86 ^g	±0.14	12.73 ^g	±0.06	12.53 ⁱ	±0.21	12.93 ^h	±0.14	11.85 ⁱ	±0.12	12.00 ^{fg}	±0.10
YKAg-FeNP	13.66 ^h	±1.76	12.37 ^f	±0.15	11.97 ^h	±0.12	13.47 ⁱ	±0.13	12.71 ^k	±0.20	12.50 ^g	±0.10
YKAgNP	13.46 ^{gh}	±0.15	11.20 ^d	±0.10	12.37 ⁱ	±0.15	14.23 ^j	±0.12	12.58 ^{jk}	±0.12	12.03 ^{fg}	±0.14
YKCNP	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	7.25 ^b	±0.12	0.00 ^a	-
YKFeNP	7.06 ^b	±0.15	0.00 ^a	-	8.63 ^c	±1.07	0.00 ^a	-	0.00 ^a	-	7.43 ^c	±0.14

Tabloda bulunan aynı sütundaki farklı harfler ikili karşılaştırmada önemli istatistiksel farklılığı ifade etmektedir (p<0.05). n:3. Duncan testi uygulanmıştır.*Antibiyotik.

Özellikle YKAgNP, KKAgnP ve SKAgNP'nin etkileri kayda değerdir. *S. aureus*, gümüş ve bakır nanopartiküllerinin yanı sıra standart antibiyotik olarak kullanılan

tetrasiklin tarafından başarılı bir şekilde inhibe edilmiştir. YKAgNP'nin etkisi 14.23 mm olarak ölçülmüştür. Miri vd. (2015), *Prosopis farcta* (Banks & Sol.) J.F.Macbr. aracılığıyla yeşil sentez ile elde ettikleri AgNP'lerin *S. aureus*'a karşı antimikrobiyal etkinliğini 9.5 mm olarak ölçmüşlerdir. Harshiny vd. (2015) ise sentezlemiş oldukları AgNP'lerin aynı patojene karşı antimikrobiyal etkinliğini 10.00 mm olarak ölçmüşlerdir. Yine farklı bir çalışmada Anandalakshmi vd. (2016) sentezlemiş oldukları gümüş NP'lerin farklı konsantrasyonlarının *S. aureus*'a karşı etkinliklerini 8.50-9.50 mm arasında ölçmüşlerdir. Yine literatüre bakıldığında Al-Karagoly vd. (2022) yeşil sentez ile elde ettikleri demir NP'lerin *S. aureus*'a karşı antimikrobiyal etkinliklerini 11.52 ± 0.58 mm olarak belirlerken Patra vd. (2017) herhangi bir antimikrobiyal etkinliğin olmadığını rapor etmişlerdir. Rajesh vd. (2018) ve Alao vd. (2022), bakır NP'lerin yine aynı gıda kaynaklı patojene karşı sırasıyla; 5.00 mm ve 8.00 ± 2.83 mm çapında inhibisyon zonu meydana getirdiklerini rapor etmişlerdir. YKAgNP'nin *S. aureus*'a karşı yüksek bir etkinliğe sahip olduğu söylenebilir.

Metal nanoparçacık ve ekstraktlarının *Salmonella enterica subsp. Enterica serovar Enteritidis* bakterisi üzerindeki etkisi sütun grafiği ile gösterimi Şekil 19'da mm zon olarak verilmiştir. Tez çalışması kapsamında disk difüzyon yöntemi kullanılarak bu bakteriye karşı antimikrobiyal etkinlikleri çalışılan KBAg-FeNP, KBAgNP, KKAğ-CuNP, KKAğ-FeNP, KKAğNP, SKAğ-CuNP, SKAğ-FeNP, SKAğNP, YKAğ-CuNP, YKAğ-FeNP ve YKAğNP sırasıyla; 9.43 ± 0.17 , 10.13 ± 0.15 , 11.76 ± 0.06 , 11.63 ± 0.15 , 14.45 ± 0.15 , 9.63 ± 0.15 , 9.46 ± 0.06 , 10.46 ± 0.15 , 12.86 ± 0.14 , 13.66 ± 1.76 ve 13.46 ± 0.15 mm çapında inhibisyon zonları oluşturdular. Yeşil sentez yöntemiyle sentezlenen gümüş NP'lerin antimikrobiyal etkinliğinin belirlendiği başka bir çalışmada ise *Salmonella spp*'ye karşı 8.00 ± 0.15 mm çapında inhibisyon zonu belirlenmiştir (Raza vd., 2020). Bu çalışmayla karşılaştırıldığında tez çalışmasında kullanılan gümüş NP'lerin daha yüksek antimikrobiyal etkinlik gösterdiği söylenebilir.

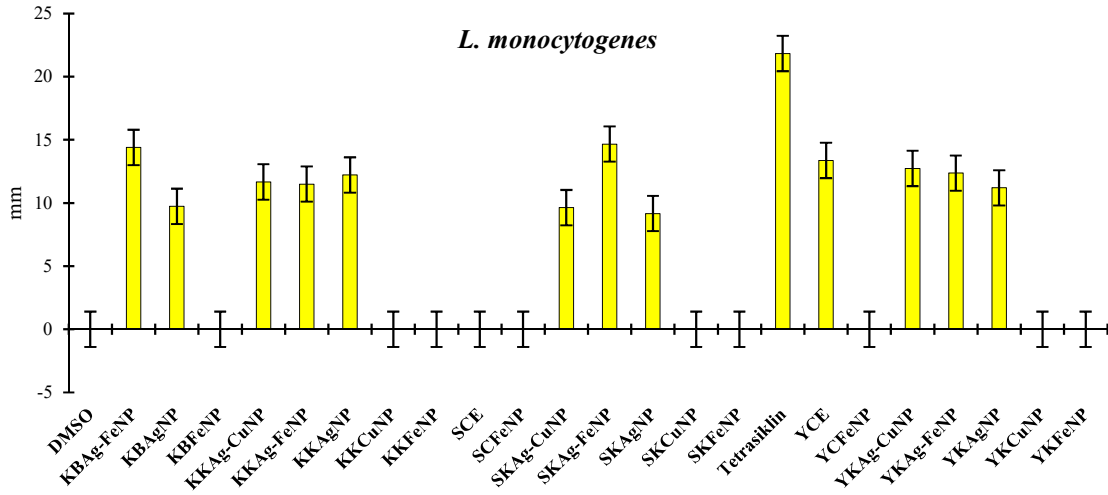


Disk difüzyon yöntemi kullanılarak gıda kaynaklı bir patojen mikroorganizma olan *Salmonella* spp'ye karşı antimikrobiyal etkinlikleri değerlendirilen bakır ve demir NP'lerin göstermiş oldukları sonuçlara bakıldığında, SCFeNP, SKCuNP ve YKFeNP'nin sırasıyla; 7.30 ± 0.10 , 7.16 ± 0.13 ve 7.06 ± 0.15 mm inhibisyon zon çapları göstermesi haricinde herhangi antimikrobiyal bir etkinlik kaydedilmedi. Bu patojen özelinde demir ve AgNP'lerin bu yöntem açısından etkisiz olduğu söylenebilir.

FeNP'lerin antimikrobiyal etkinliklerinin belirlendiği çalışmalara bakıldığında, Nagaraja vd. (2024), sentezlemiş oldukları FeNP'lerin *Salmonella* spp'ye karşı 4.20 ± 0.20 mm inhibisyon zon çapı oluşturduğunu kayıt altına alırken Gaminda vd. (2024) 9.00 mm olarak tespit etmişlerdir. Patra vd. (2017) ise herhangi bir antimikrobiyal etkinlik tespit edememişlerdir. Başka bir çalışmada Alao vd. (2022) yeşil sentez bakır NP'lerin *Salmonella* spp'ye karşı 6.00 ± 2.83 mm inhibisyon zon çapında antimikrobiyal etkinlik gösterdiklerini kayıt altına almışlardır

B. cereus üzerinde gümüş ve bakır nanopartiküller nispeten daha az etkili olmuştur; ancak YKAgNP gibi bazı nanopartiküller 12.53 mm'lik bir inhibisyon sağlamıştır. YKAgNP, *L. monocytogenes* üzerinde 11.20 mm'lik bir inhibitör etki göstermiştir. Bu, bu nanopartikülün bu bakteriye karşı etkili olabileceğini ve gıda güvenliği açısından potansiyel bir kullanım alanı olduğunu gösterir. KKAgNP, 12.10 mm'lik bir etki ile YKAgNP'den daha yüksek bir inhibisyon sağlamıştır. Bu, KKAgNP'nin *L. monocytogenes*'e karşı daha güçlü bir antimikrobiyal etki sunduğunu ortaya koymaktadır. SKCuNP ve SKAgNP gibi bazı nanopartiküllerin etkinlikleri kaydedilmemiştir. Bu durum, bu nanopartiküllerin *L. monocytogenes* üzerinde etkisiz olduğunu göstermektedir.

MeNP ve ekstraktların *L. monocytogenes* üzerindeki etkisi, sütun grafiği Şekil 20’ de verilmiştir.



Şekil 20. MeNP ve ekstraktların *L. monocytogenes* üzerindeki etkisi, sütun grafiği

KBAg-FeNP, KBAgNP, KKAğ-CuNP, KKAğ-FeNP, KKAğNP, SKAğ-CuNP, SKAğ-FeNP, SKAğNP, YKAğ-CuNP, YKAğ-FeNP ve YKAğNP örneklerinin *L. monocytogenes*’e karşı göstermiş oldukları inhibisyon zon çapları sırasıyla; 14.40 ± 0.26 , 9.73 ± 0.15 , 11.67 ± 0.06 , 11.50 ± 0.10 , 12.27 ± 0.17 , 9.63 ± 0.10 , 14.67 ± 0.15 , 9.17 ± 0.12 , 12.73 ± 0.06 , 12.37 ± 0.15 ve 11.20 ± 0.10 mm olarak tespit edildi. K p vd. (2020) yapmış oldukları çalışmada gümüş NP’lerin gıda kaynaklı aynı patojen bakteriye karşı antimikrobiyal etkinliğini 13.00 mm olarak belirlerken Raza vd. (2021) 12.00 ± 0.24 olarak belirlemişlerdir.

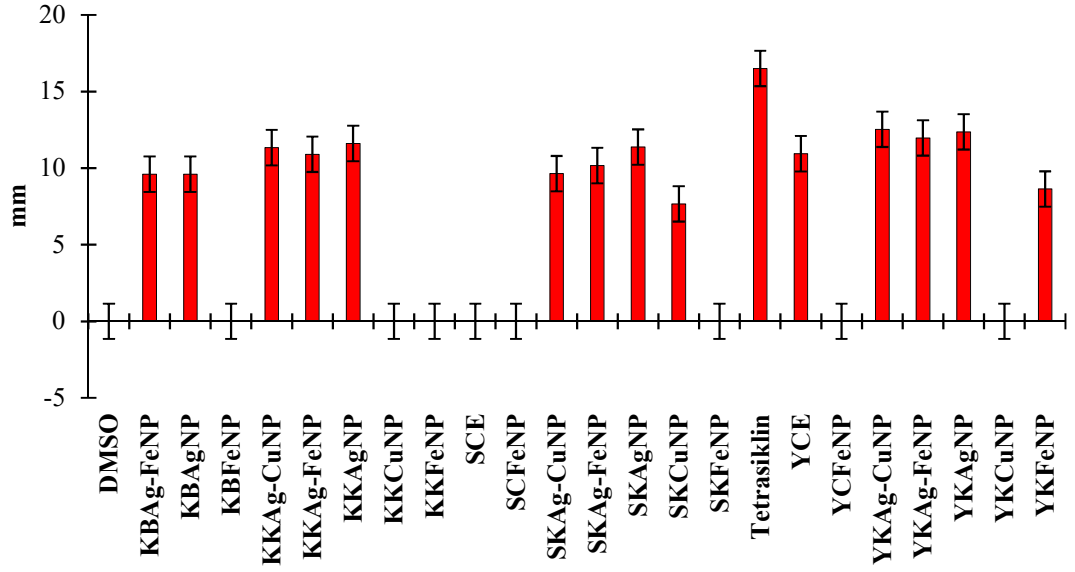
KBFeNP, KKFeNP ve SKFeNP nanopartiküllerinin test edilen bakterilere karşı etkisiz kalması, antimikrobiyal potansiyellerinin düşük olduğunu veya formülasyonlarının uygun olmadığını göstermektedir. Bu bulgular, nanopartiküllerin özelliklerinin ve formülasyonlarının optimizasyonunun gerekliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca, gümüş ve bakır nanopartiküllerinin potansiyel antimikrobiyal uygulamalar için önemini ve spesifik bakterilere karşı etkinliğin de işkenli ini ortaya koymaktadır. Bu, gelecekteki araştırmalarda hedeflenen antimikrobiyal tedavi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Nanopartiküllerin formülasyonları ve etki mekanizmaları üzerine yapılan daha fazla çalışma, bu maddelerin sağlık ve gıda güvenliği alanlarındaki uygulamalarını geliştirebilir.

Karışım olarak hazırlanan KKAğ-CuNP etkisi, 11.77 ± 0.06 (*Salmonella*), 11.67 ± 0.06 (*L. monocytogenes*), 11.33 ± 0.15 (*E. coli* O157), 10.90 ± 0.20 (*S. aureus*),

9.73±0.15 (*B. cereus*), 10.50±0.20 (*E. coli*). Bu karışım, çalışılan çoğu patojen üzerinde oldukça etkili olduğu göstermektedir. *Salmonella* ve *L. monocytogenes* üzerindeki etkinliği 11.00 mm civarında, bu da antimikrobiyal potansiyelin yüksek olduğunu göstermektedir. KKA_g-FeNP etkisi, 11.63±0.15 (*Salmonella*), 11.50±0.10 (*L. monocytogenes*), 10.90±0.10 (*E. coli* O157), 12.73±0.12 (*S. aureus*), 10.53±0.15 (*B. cereus*), 11.17±0.06 (*E. coli*). Gümüş ve demir kombinasyonu, özellikle *S. aureus* üzerinde etkili olmuş. Bu, gümüşün güçlü etkisinin yanında demirin de katkı sağladığını göstermektedir. YKA_g-CuNP etkisi, 12.87±0.15 (*Salmonella*), 12.73±0.06 (*L. monocytogenes*), 12.53±0.21 (*E. coli* O157), 12.93±0.15 (*S. aureus*), 11.83±0.12 (*B. cereus*), 12.00 ± 0.10 (*E. coli*). YKA_g- CuNP, genel olarak çok etkili bir kombinasyon olarak öne çıkmaktadır. Özellikle *Salmonella* ve *S. aureus* üzerinde ortalama 12.00 mm'lik etki, bu karışımın yüksek antimikrobiyal potansiyelini ortaya koymaktadır. YKA_g-FeNP etkisi, 13.67±1.76 (*Salmonella*), 12.37±0.15 (*L. monocytogenes*), 11.97±0.12 (*E. coli* O157), 13.47±0.13 (*S. aureus*), 12.70±0.20 (*B. cereus*), 12.50±0.10 (*E. coli*). YKA_g-FeNP, *Salmonella* ve *S. aureus* üzerinde yüksek etkinlik göstermiştir. Bu karışım, gümüş ve demirin potansiyel faydasını bir araya getiriyor. SKA_g-CuNP etkisi, 9.63±0.15 (*Salmonella*), 12.60±0.10 (*L. monocytogenes*), 9.63±0.15 (*E. coli* O157), 10.53 ± 0.11 (*S. aureus*), 10.00 ± 0.20 (*B. cereus*), 10.27 ± 0.06 (*E. coli*). SKA_g-CuNP, bazı bakteriler üzerinde daha düşük etkinlik göstermektedir. Ancak, *L. monocytogenes* üzerinde 12.60 mm'lik etki, bu karışımın belirli koşullarda faydalı olabileceğini göstermektedir.

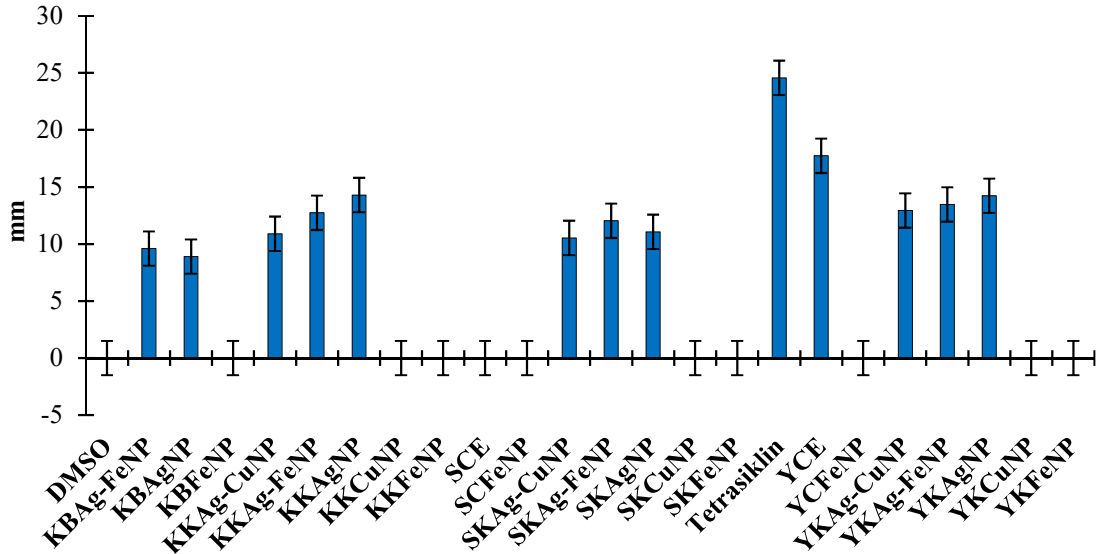
Metal nanoparçacık ve ekstraktlarının *E. coli* O157 bakterisi üzerindeki etkisi sütun grafiği ile gösterimi Şekil 21'de verilmiştir. Metal nanoparçacık ve ekstraktlarının *S. aureus* bakterisi üzerindeki etkisinin sütun grafiği ile gösterimi Şekil 22'de verilmiştir. SKA_g-FeNP etkisi, 9.47±0.06 (*Salmonella*), 14.67±0.15 (*L. monocytogenes*), 10.17±0.06 (*E. coli* O157), 8.70 ± 0.89 (*S. aureus*), 9.67±0.06 (*B. cereus*), 10.40±0.10 (*E. coli*). *L. monocytogenes* üzerindeki 14.67 mm'lik etki oldukça dikkat çekicidir. Ancak diğer bakteriler üzerinde etkinlikleri daha düşük kalmıştır. KBA_g-FeNP etkisi, 9.43±0.15 (*Salmonella*), 14.40±0.26 (*L. monocytogenes*), 9.60±0.10 (*E. coli* O157), 8.77±0.15 (*S. aureus*), 9.83±0.06 (*B. cereus*), 9.47±0.15 (*E. coli*). *L. monocytogenes* üzerindeki 14.40 mm'lik etki, bu karışımın potansiyelini göstermektedir. Diğer bakterilerdeki etkinliği sınırlıdır.

E. coli O157:H7



Şekil 21. MeNP ve ekstraktların *E. coli* O157:H7 üzerindeki etkisi, sütun grafiği

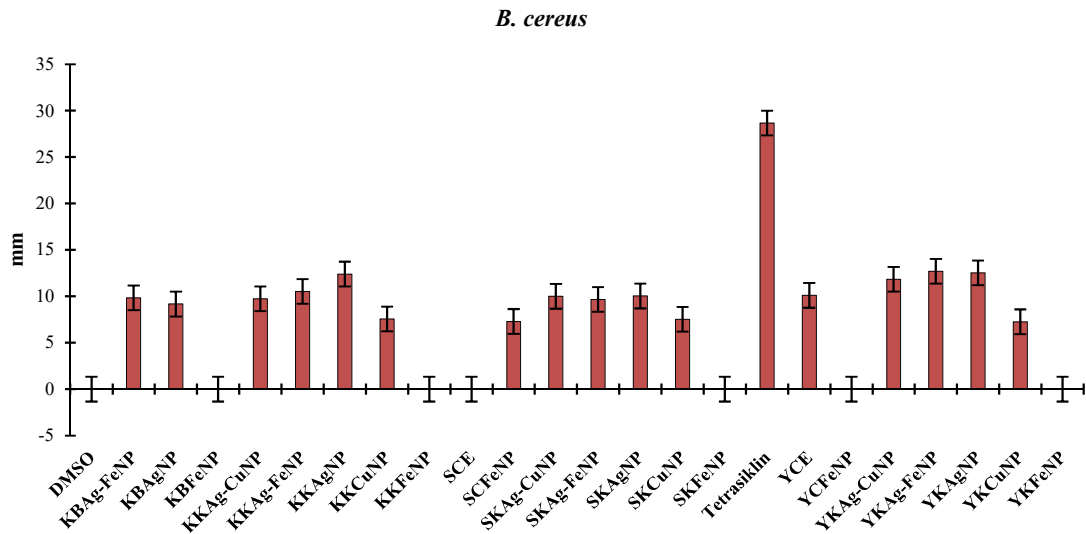
S. aureus



Şekil 22. MeNP ve ekstraktların *S. aureus* üzerindeki etkisi, sütun grafiği

Metal nanoparçacık ve ekstraktlarının *B. cereus* bakterisi üzerindeki etkisinin sütun grafiği ile gösterimi Şekil 23' te verilmiştir. KBaAg-FeNP, KBaAgNP, KKAaAg-CuNP, KKAaAg-FeNP, KKAaAgNP, SKAaAg-CuNP, SKAaAg-FeNP, SKAaAgNP, YKAaAg-CuNP, YKAaAg-FeNP ve YKAaAgNP'nin *B. cereus*'a karşı göstermiş oldukları inhibisyon zon çapları sırasıyla; 9.83 ± 0.06 , 9.17 ± 0.15 , 9.73 ± 0.13 , 10.53 ± 0.15 , 12.42 ± 0.21 , 10.00 ± 0.20 , 9.69 ± 0.06 , 10.03 ± 0.15 , 11.85 ± 0.12 , 12.7 ± 0.20 ve 12.58 ± 0.12 mm olarak tespit edildi. Allafchian vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada 100 mg/mL konsantrasyonda 30 µl

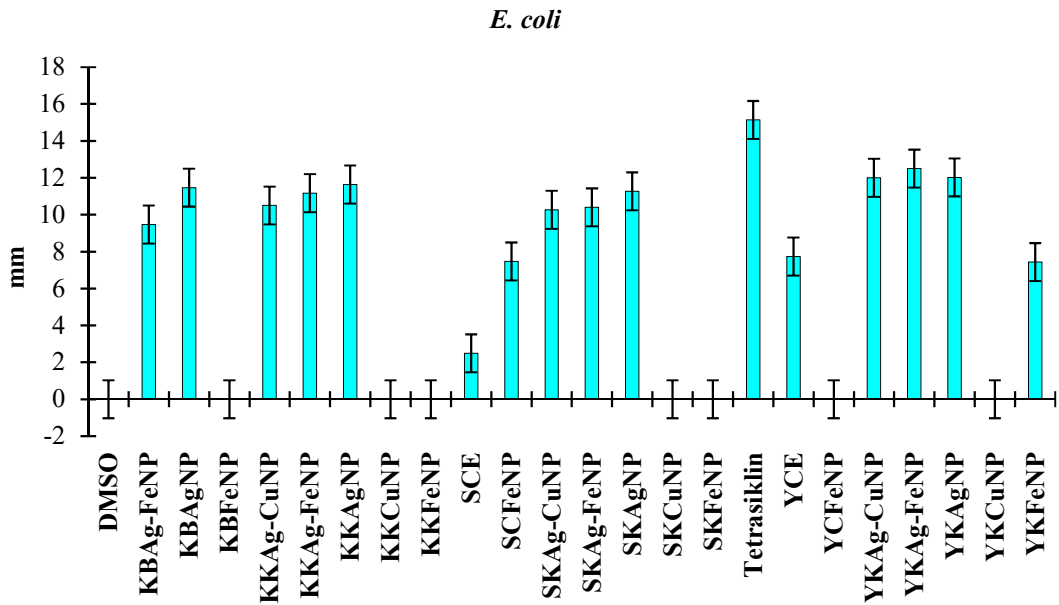
yeşil sentez NP'lerin antimikrobiyal etkinliğini 12.10 mm inhibisyon zon çapı olarak belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada ise K p vd. (2020) sentezlemiş oldukları gümüş NP'lerin etkinliğini 10.5±1.41 mm olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmalarla karşılaştırıldığında tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların kayda değ r olduğu görülmektedir. Yine aynı patojene karşı tez çalışması kapsamında, antimikrobiyal etkinlikleri disk difüzyon yöntemi ile belirlenen demir ve bakır NP'lerden elde edilen sonuçlara bakıldığında KKCuNP, SCFeNP, SKCuNP ve YKCuNP'nin sırasıyla; 7.58±0.15, 7.30±0.20, 7.53±0.06 ve 7.25±0.12 mm zon çapları elde edildi ancak diğer NP'lerde herhangi bir inhibisyon zonu tespit edilemedi. Literatüre bakıldığında ise yeşil sentez demir NP'lerin aynı patojene karşı antimikrobiyal etkinliğini, Amutha ve Sridhar (2018) farklı konsantrasyonlarda 7±1.0 ve 11±1.0 mm arasında tespit ederken Patra vd. (2017) herhangi bir etkinliğin olmadığını rapor etmişlerdir. YKAg-CuNP ve YKAg-FeNP, genel olarak diğer karışımına göre daha yüksek antimikrobiyal etkinlik göstermektedir. Bu durum, bu nanopartiküllerin gıda güvenliği uygulamalarında potansiyel olarak kullanılabileceğini gösterir.



Şekil 23. MeNP ve ekstraktların *B. cereus*  zerindeki etkisi, sütün grafiği

Metal nanoparçacık ve ekstraktlarının *E. coli* bakterisi üzerindeki etkisinin sütün grafiği ile gösterimi  ekil 24' te verilmiştir. Tez çalışması kapsamında *E. coli*'ye karşı antimikrobiyal etkinlikleri çalışılan KBAg-FeNP, KBAgNP, KKAğ-CuNP, KKAğ-FeNP, KKAğNP, SKAğ-CuNP, SKAğ-FeNP, SKAğNP, YKAğ-CuNP, YKAğ-FeNP ve YKAğNP'nin göstermiş oldukları inhibisyon zon çapları sırasıyla; 9.47±0.15, 11.48±0.12, 10.50±0.20, 11.15±0.06, 11.33±0.15, 10.29±0.06, 10.40±0.10, 11.28±0.16,

12.00±0.10, 12.50±0.10 ve 12.03±0.14 olarak ölçüldü. Daha önceden yapılan çalışmalara bakıldığında ise yeşil yöntemle sentezlenen gümüş NP'lerin *E. coli*'ye karşı gösteriş oldukları antimikrobiyal etkinliği Miri vd. (2015) 9.5 mm olarak tespit ederken Mohanta vd. (2016) herhangi bir etkinlik tespit edememişlerdir. Anandalakshmi vd. (2016) ise sentezlemiş oldukları gümüş NP'lerin farklı konsantrasyonlarının etkinliğini 8.50-9.50 mm arasında ölçmüşlerdir. Bu bağlamda tez çalışmasında elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir. Aynı patojene karşı çalışılan ve tek başlarına kullanılan demir ve bakır NP'lerin sonuçlarına bakıldığında SCFeNP'nin 7.48±0.06 mm ve YKFeNP'nin 7.43±0.14 mm olarak gösterdiği etkinlik dışında herhangi bir etkinlik tespit edilemedi.



Şekil 24. MeNP ve ekstraktların *E. coli* üzerindeki etkisi, sütun grafiği

Literatürde *E. coli*'ye karşı antimikrobiyal etkinlikleri çalışılan demir NP'lere bakıldığında; Kanagasubbulakshmi ve Kadirvelu (2017). 10 mm, Madubuonu vd. (2020) 8.00 mm zon çapları ölçmüşken Mirza vd. (2017) iki farklı bitkiden elde ettiği iki FeNP'nin inhibisyon zon çaplarını 6.33±0.33 olarak tespit etmişlerdir. Yine bir başka çalışmada Patra vd. (2017) sentezlemiş oldukları demir NP'nin *E. coli*'ye karşı antimikrobiyal etkinliğinin olmadığını rapor etmişlerdir. Yeşil sentez bakır NP'lerin antimikrobiyal etkinliklerinin test edildiği çalışmalara bakıldığında, Alao vd. (2022) sentezlemiş oldukları bakır NP'lerin *E. coli*'ye karşı etkinliğini 8.00±2.83 mm olarak ölçmüşlerdir. Rajesh vd. (2018) ise 6.00 mm inhibisyon zon çapı ölçtüklerini rapor etmişlerdir.

Nanopartiküllerin kombinasyonları, gümüş ve bakır nanopartiküllerinin kombinasyonları genellikle daha yüksek etkinlik sağlamaktadır. Ancak, demir nanopartikülleri de belirli koşullarda faydalı olabilir. Bu karışım nanopartiküllerinin potansiyel kullanımları, belirli bakterilere karşı antimikrobiyal etkinlikleri ile daha fazla araştırma gerektirir. Bu sayısal veriler, gıda güvenliği ve sağlık alanında yeni stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olabilir.

E. coli O157, çeşitli nanopartiküller ve tetrasiklin ile etkin bir şekilde inhibe edilmiştir. Nanopartiküllerin antimikrobiyal etkinliği üzerine önemli bilgiler ortaya koymaktadır. Genel olarak, gümüş ve bakır nanopartiküllerinin çeşitli patojenler üzerindeki etkinliği literatürde sıkça rapor edilmiştir. YKAgNP, KKAgnP ve SKAgNP gibi nanopartiküllerin, *Salmonella*, *L. monocytogenes*, *E. coli* O157 ve *S. aureus* üzerinde gösterdiği inhibisyon değerleri, benzer çalışmalarda da benzer şekilde yüksek bulunmuştur.

Çözücü olarak kullanılan DMSO₂ (Dimetil sülfoksit), hiçbir bakteri türü üzerinde etkinlik göstermemiştir, DMSO' nun antimikrobiyal aktiviteye sahip olmaması nedeniyle çalışmada bir çözücü olarak kullanılmıştır.

Gümüş ve bakır nanopartikülleri, özellikle belirli patojenlere karşı yüksek antimikrobiyal etkinlik göstermekte ve bu durum, gıda güvenliği uygulamalarında potansiyel kullanım alanlarını işaret etmektedir. Nanopartiküllerin formülasyonlarının optimizasyonu, gelecekteki araştırmalarda önemli bir odak noktası olabilir. Allaker vd. (2014) göre nanopartiküller, 100 nm'den küçük, tipik olarak küresel, kübik veya iğne benzeri şekiller sergileyen, 5 ila 100 nanometre arasında değişen partiküller olarak tanımlanmaktadır. Daha küçük boyutları genellikle daha büyük partiküllere kıyasla önemli ölçüde artırılmış aktif yüzey alanı, kimyasal reaktivite ve biyolojik aktivite ile sonuçlanır. Bu nanopartiküller, metalik veya polimerik olmak üzere çeşitli malzemelerden oluşabilir. Bu benzersiz özellikler nedeniyle mikrobiyal membranlarla yakın etkileşime girebilirler ve bu da antibakteriyel özelliklerinin yalnızca metal iyonlarının salınımına bağlı olmadığını gösterir (Morones vd., 2005).

Bakır (Cu) elektron verme ve alma yeteneğinin sürekli olması nedeniyle bakır antimikrobiyal özelliklere sahiptir. Bu aktivite, proteinleri ve lipitleri oksitlemek gibi çeşitli şekillerde hücrel makromoleküllerle negatif reaksiyona girebilen hidroksil radikalleri üretir. Üretilen hidrojen peroksit sonucunda toksik hidroksil radikal üretimi artabilir. Protein bağlanma bölgelerinde çinko veya diğer metal iyonlarıyla rekabet etmenin yanı sıra, DNA'yı denatüre eder, zarları bozar ve hücrel solunumu engeller, bakır ayrıca demir-kükürt kümelerinden demiri uzaklaştırabilir. *S. aureus*, *E. coli*, *P.*

aeruginosa, *L. monocytogenes*, *Salmonella enterica*, *C. jejuni*, *L. pneumophila*, *C. difficile* ve *M. tuberculosis* gibi bakterilerin % 99.9'u bakır yüzeyler veya alaşımları tarafından saatler içinde ortadan kaldırılabilmektedir (Sistemática vd., 2016).

Bakır nanopartikülleri hem Gram pozitif hem de Gram negatif bakterilerin hücre zarları üzerinde toksik etki gösteren antimikrobiyal bir sınıf olarak, gelecekte etkili bir antimikrobiyal ajan seçeneği sunabilir. Bu özellikleri, bakır nanopartiküllerinin enfeksiyonlarla mücadelede potansiyelini artırmaktadır.

Gümüş nanopartiküllerinin (AgNP) antimikrobiyal etkinliği, çok sayıda araştırmacı tarafından çok çeşitli mikroplara, özellikle çok ilaç dirençli (MDR) ve non-MDR bakterilere, mantarlara ve virüslere karşı değerlendirilmiştir. Nano boyutlu metal parçacıkları, patojen mikroorganizmaların çoklu ilaç direnci sorununu çözme potansiyeli nedeniyle antibiyotik tedavisi için umut verici bir alternatif olarak kabul edilmektedir ve bu nedenle yeni nesil antibiyotikler olarak adlandırılmaktadır (Rai vd., 2012). Özellikle, AgNP'lerin kullanımı büyük ilgi görmüştür (Jana ve Pal, 2007; Stiufluc vd., 2013). AgNP'ler, 650'den fazla mikroorganizmaya karşı etkili olduğu kanıtlanmış olsa da antimikrobiyal etki mekanizmaları henüz tam olarak anlaşılmamıştır (Malarkodi vd., 2013).

AgNP'lerin antimikrobiyal etkisi dört temel mekanizmaya bağlıdır: (1) AgNP'lerin hücre duvarı ve zar yüzeyine yapışması, (2) AgNP'lerin hücre içine nüfuz ederek mitokondri, vakuol ve ribozom gibi iç yapıları ile protein, lipid ve DNA gibi biyomoleküllere zarar vermesi, (3) AgNP'lerin oksidatif stres ve reaktif oksijen türleri (ROS) üreterek hücrel toksisiteyi indüklemesi ve (4) sinyal iletim yollarını modüle etmesi. Ayrıca, AgNP'ler insan hücrelerinin bağışıklık sistemini modüle ederek inflamatuvar yanıtı düzenleyerek mikroorganizmaların inhibisyonuna yardımcı olmaktadır (Tian vd., 2007).

Demir oksit manyetik nanopartikülleri (FeNP'ler), biyouyumlu, ekolojik olarak güvenli ve kimyasal ile fiziksel olarak stabil olmaları nedeniyle terapötik uygulamalar için önemli özellikler sunar. Özellikle, FeNP'ler (Fe_3O_4 (manyetit) veya $\gamma-Fe_2O_3$ (maghemit)) daha küçük boyutlara (demir oksit için yaklaşık 10–20 nm) ulaştığında süperparamanyetik özellikler kazanır; bu da partiküllerin performansını artırır (Lu vd., 2007). Araştırmalar, membran depolarizasyonu ve buna bağlı hücre bütünlüğünün bozulması, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi, lipid peroksidasyonu, DNA hasarı ve metal iyonlarının salınımı gibi çeşitli etkileşimlerin manyetik nanopartiküllerin mikrobiyal toksisite potansiyelinden sorumlu olduğunu göstermektedir. Medikal FeNP tabanlı nanosistemlerin kullanımı, mikrobiyal kolonizasyonun inhibisyonu açısından

umut verici sonuçlar sunmuştur. Gallik asit kaplı FeNP'lerin *E. coli*, *Bacillus subtilis* ve *Aspergillus niger*'e karşı sırasıyla ampicilin, streptomisin ve nistatin ile karşılaştırıldığında benzer antimikrobiyal etkiler gösterdiği gösterilmiştir (Shah vd., 2017).

3.2. Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu Analiz Sonuçları

Minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK), bir mikroorganizmanın büyümesini inhibe etmek için gereken en düşük antibiyotik veya antimikrobiyal madde konsantrasyonunu ifade eder. MİK analizi, genellikle antibiyotik duyarlılık testlerinde kullanılır ve klinik mikrobiyolojide önemli bir rol oynar. MİK sonuçları, enfeksiyonların etkin bir şekilde tedavi edilmesi için kritik öneme sahiptir ve antibiyotiklerin aşırı kullanımı ile direnç gelişimini önlemeye yardımcı olur.

Minimum inhibisyon konsantrasyonu analiz sonuçları Tablo 5' te verilmiştir. YKCuNP, *Salmonella* için 3.01 µg/mL, *L. monocytogenes* için 1.49 µg/mL, *E. coli* O157 için 1.50 µg/mL, *S. aureus* için 3.09 µg/mL, *B. cereus* için 3.02 µg/mL ve *E. coli* için 2.97 µg/mL gibi ortalama MİK konsantrasyon değerleri tespit edilmiştir. Düşük MİK değerleri, mikroorganizmaların o maddeye karşı daha duyarlı olduğunu ve etkili bir inhibisyon sağlandığını gösterir. Özellikle *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157 için düşük MİK değerleri (1.49 ve 1.50 µg/mL) ile daha yüksek etkinlik göstermektedir. Ancak *Salmonella*, *S. aureus*, *B. cereus* ve *E. coli* üzerindeki yüksek MİK konsantrasyon değerleri, bu bakterilere karşı YKCuNP'nin daha az etkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, YKCuNP'nin gıda güvenliği uygulamalarında özellikle *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157 kontrolü için potansiyel bir seçenek olabileceğini işaret etmektedir. Sonuç olarak, YKCuNP'nin *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157 üzerindeki düşük MİK konsantrasyon değerleri, bu bakterilere karşı etkili bir seçenek sunduğu halde, *Salmonella* ve diğer bakterilere karşı gösterdiği yüksek MİK değerleri, etkinliğinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu, farklı antibakteriyel ajanların değerlendirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Tahvilian vd. (2019) *Allium saralicum* R.M. Fritsch yapraklarını kullanarak sentezlemiş oldukları bakır NP'lerin seçili patojenlere karşı MİK değerlerini belirlemişlerdir ve bakır NP'lerin, *S. typhimurium*, *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı sırasıyla 8, 4 ve 4 mg/mL'lik MİK değerleri gösterdiğini belirlemişlerdir.

Tablo 5. Minumum inhibisyon konsantrasyonu analiz sonuçları (µg/mL)

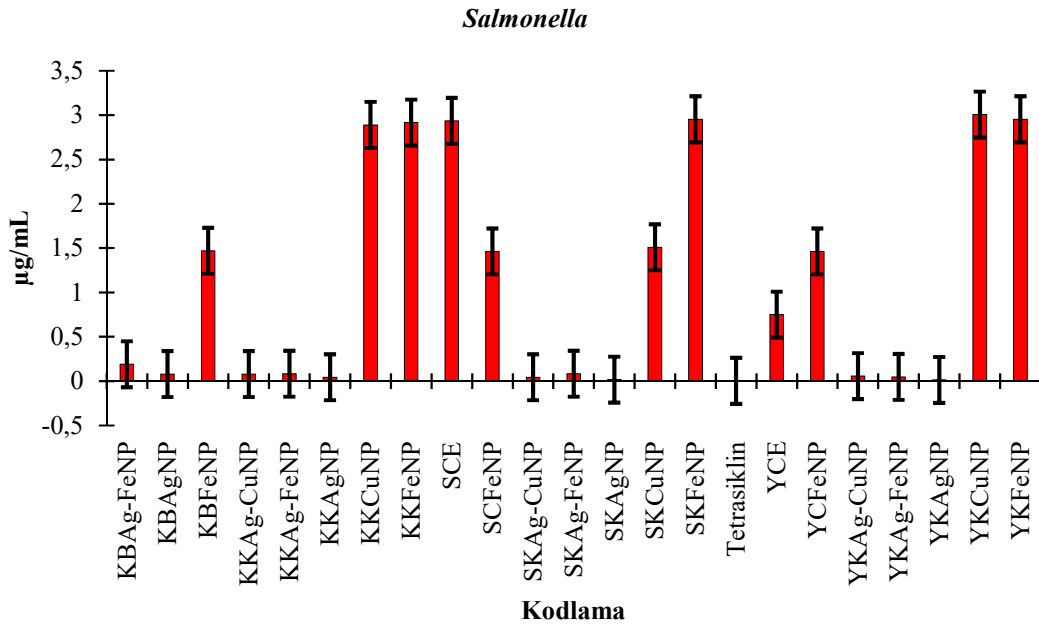
Kodlama	<i>Salmonella</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>E. coli</i> O157:H7	<i>S. aureus</i>	<i>B. cereus</i>	<i>E. coli</i>
KBAg-FeNP	0.19 ^d ±0.00	2.95 ^{ef} ±0.07	0.74 ^b ±0.02	0.38 ^d ±0.01	0.39 ^c ±0.01	0.38 ^c ±0.01
KBAgNP	0.08 ^{bc} ±0.01	1.45 ^d ±0.02	0.17 ^a ±0.02	0.17 ^c ±0.01	0.08 ^a ±0.01	0.07 ^a ±0.01
KBFeNP	1.47 ^f ±0.03	1.47 ^d ±0.06	1.49 ^c ±0.04	1.47 ^c ±0.06	1.46 ^d ±0.01	1.49 ^d ±0.03
KKAg-CuNP	0.08 ^{bc} ±0.01	0.35 ^b ±0.03	0.17 ^a ±0.02	0.17 ^c ±0.02	0.07 ^a ±0.02	0.17 ^b ±0.01
KKAg-FeNP	0.08 ^c ±0.01	0.35 ^b ±0.03	0.08 ^a ±0.01	0.16 ^c ±0.02	0.17 ^b ±0.02	0.17 ^b ±0.02
KKAgNP	0.04 ^{abc} ±0.01	0.36 ^b ±0.02	0.17 ^a ±0.02	0.17 ^c ±0.02	0.17 ^b ±0.02	0.04 ^a ±0.01
KKCuNP	2.89 ^g ±0.11	0.73 ^c ±0.07	1.49 ^c ±0.06	2.97 ^f ±0.04	2.94 ^e ±0.07	2.92 ^e ±0.04
KKFeNP	2.92 ^{gh} ±0.03	2.96 ^{ef} ±0.06	2.94 ^e ±0.07	2.96 ^f ±0.03	2.95 ^e ±0.05	2.93 ^c ±0.04
SCE	2.94 ^{gh} ±0.02	2.91 ^e ±0.02	2.93 ^e ±0.01	2.93 ^f ±0.05	2.95 ^e ±0.05	2.94 ^e ±0.03
SCFeNP	1.46 ^f ±0.04	1.47 ^d ±0.04	1.98 ^d ±0.88	1.46 ^e ±0.03	1.45 ^d ±0.03	1.44 ^d ±0.04
SKAg-CuNP	0.04 ^{abc} ±0.01	2.96 ^{ef} ±0.06	0.08 ^a ±0.02	0.08 ^b ±0.02	0.04 ^a ±0.02	0.08 ^a ±0.01
SKAg-FeNP	0.08 ^c ±0.01	2.92 ^{ef} ±0.07	0.07 ^a ±0.02	0.08 ^b ±0.01	0.04 ^a ±0.01	0.08 ^a ±0.01
SKAgNP	0.02 ^{ab} ±0.01	1.49 ^d ±0.04	0.05 ^a ±0.02	0.04 ^{ab} ±0.01	0.05 ^a ±0.01	0.01 ^a ±0.01
SKCuNP	1.51 ^f ±0.07	0.05 ^a ±0.01	3.02 ^e ±0.09	2.94 ^f ±0.07	2.95 ^e ±0.08	2.97 ^e ±0.14
SKFeNP	2.95 ^{hi} ±0.04	2.92 ^{ef} ±0.03	2.92 ^e ±0.03	2.93 ^f ±0.01	2.93 ^e ±0.07	2.94 ^e ±0.06
Tetrasiklin	0.003 ^a ±0.001	0.002 ^a ±0.000	0.012 ^a ±0.001	0.003 ^a ±0.001	0.001 ^a ±0.001	0.007 ^a ±0.001
YCE	0.75 ^e ±0.01	3.00 ^f ±0.00	1.47 ^c ±0.02	1.45 ^e ±0.02	1.45 ^d ±0.02	1.49 ^d ±0.02
YCFNP	1.46 ^f ±0.03	0.73 ^c ±0.02	1.47 ^c ±0.04	1.47 ^c ±0.04	1.46 ^d ±0.04	1.48 ^d ±0.02
YKAg-CuNP	0.06 ^{abc} ±0.01	2.92 ^{ef} ±0.07	0.05 ^a ±0.01	0.07 ^b ±0.01	0.01 ^a ±0.01	0.04 ^a ±0.02
YKAg-FeNP	0.05 ^{abc} ±0.01	2.95 ^{ef} ±0.08	0.04 ^a ±0.01	0.04 ^{ab} ±0.01	0.02 ^a ±0.01	0.05 ^a ±0.01
YKAgNP	0.01 ^a ±0.01	0.04 ^a ±0.01	0.04 ^a ±0.01	0.04 ^{ab} ±0.01	0.01 ^a ±0.01	0.02 ^a ±0.01
YKCuNP	3.01 ⁱ ±0.06	1.49 ^d ±0.04	1.49 ^c ±0.04	3.09 ^g ±0.10	3.01 ^e ±0.18	2.97 ^e ±0.07
YKFeNP	2.95 ^{hi} ±0.04	2.92 ^{ef} ±0.03	2.93 ^e ±0.01	2.93 ^f ±0.01	2.95 ^e ±0.05	2.95 ^e ±0.04

Tabloda bulunan aynı sütundaki farklı harfler ikili karşılaştırmada önemli istatistiksel farklılığı ifade etmektedir (p<0.05). n:3. Duncan testi uygulanmıştır. *Antibiyotik.

Başka bir çalışmada ise *Juglans regia* L.'nin yeşil yaprakları kullanılarak sentezlenen bakır NP'lerin *E. coli* ve *S. aureus*'a sırasıyla; 266 µg/mL ve 133 µg/mL MİK değerleri göstermişlerdir (Ayadi Hassan vd., 2022). Abdelhai vd. (2024) *Stevia rebaudiana* (Bertoni) ekstraktı kullanarak sentezlemiş oldukları bakır NP'lerinin *B. cereus* ve *S. typhi*'ye karşı MİK değerlerini sırasıyla; 25 µg/mL ve 125 µg/mL olarak belirlemişlerdir. Bu tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar bu verilerle karşılaştırıldıklarında anlamlı bir şekilde daha düşük MİK değerleri tespit edilmiştir.

YKCuNP, *Salmonella* spp için 3.01 µg/mL, *L. monocytogenes* için 1.49 µg/mL, *E. coli* O157 için 1.50 µg/mL, *S. aureus* için 3.09 µg/mL, *B. cereus* için 3.02 µg/mL ve *E. coli* için 2.97 µg/mL gibi ortalama MİK değerleri bulunmuştur. Özellikle *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157 için düşük MİK konsantrasyon değerleri (1.49 ve 1.50 µg/mL) ile daha yüksek etkinlik göstermektedir. Yüksek minimum inhibitör konsantrasyon (MİK) değerleri, *Salmonella* spp, *S. aureus*, *B. cereus* ve *E. coli*'ye karşı YKCuNP'nin daha az etkin olduğunu gösteriyor. Ancak, YKCuNP'nin gıda güvenliği

uygulamalarında, özellikle *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157'nin kontrolünde potansiyel bir alternatif olabileceği düşünülebilir. Sonuç olarak, YKCuNP'nin *L. monocytogenes* ve *E. coli* O157 üzerindeki düşük MİK konsantrasyon değerleri, bu bakterilere karşı etkili bir seçenek sunduğu halde, *Salmonella* ve diğer bakterilere karşı gösterdiği yüksek MİK konsantrasyon değerleri, etkinliğinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu, farklı antibakteriyel ajanların değerlendirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. MeNP ve ekstraktların *Salmonella* üzerindeki MİK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 25' te verilmiştir.

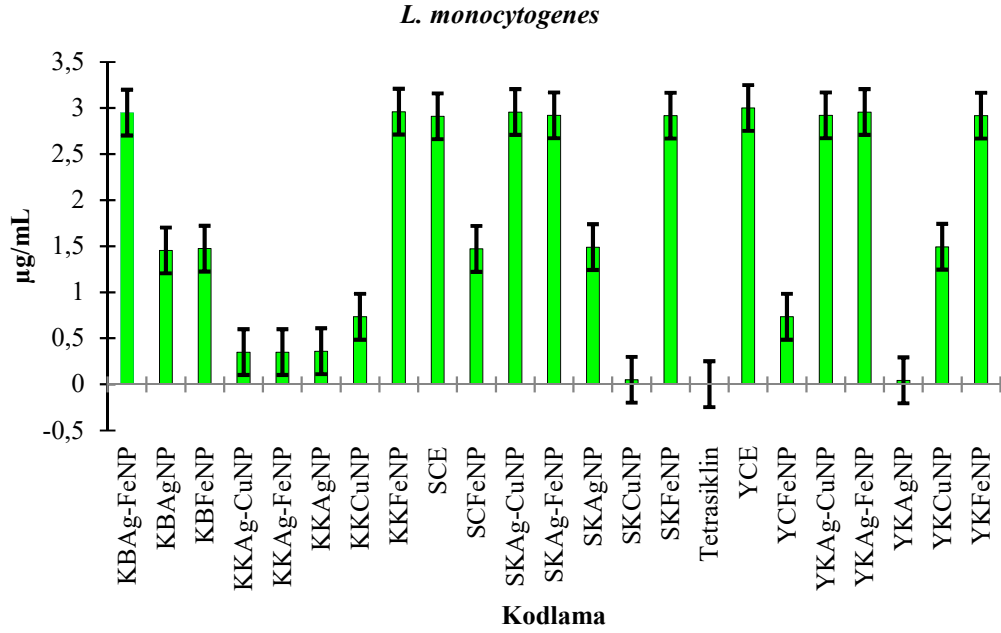


Şekil 25. MeNP ve ekstraktların *Salmonella* üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği

KKCuNP, *Salmonella* için 2.89 µg/mL, *L. monocytogenes* için 0.75 µg/mL, *E. coli* O157 için 1.49 µg/mL, *S. aureus* için 2.97 µg/mL, *B. cereus* için 2.94 µg/mL ve *E. coli* için 2.92 µg/mL gibi MİK konsantrasyon değerleri vermiştir. Özellikle *L. monocytogenes* üzerindeki 0.75 µg/mL değeri, bu bakteriye karşı yüksek etkinlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Diğer bakterilere karşı da ortalama düzeyde etkili olmasına rağmen, *Salmonella* spp üzerindeki 2.89 µg/mL değeri, bu bakteriye karşı etkinliğinin sınırlı olduğunu göstermektedir.

SKCuNP, *Salmonella* için 1.51 µg/mL, *L. monocytogenes* için 0.05 µg/mL, *E. coli* O157 için 3.02 µg/mL, *S. aureus* için 2.95 µg/mL, *B. cereus* için 2.96 µg/mL ve *E. coli* için 2.98 µg/mL değerleri vermiştir. *L. monocytogenes* üzerindeki 0.05 µg/mL değeri,

SKCuNP'nin bu bakteri üzerinde son derece yüksek bir etkinlik sağladığını göstermektedir. Ancak, *E. coli* O157 üzerindeki 3.02 µg/mL değeri, bu bakteriye karşı etkinliğinin düşük olduğunu ortaya koymaktadır. MeNP ve ekstraktların *L. monocytogenes* üzerindeki MİK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 26' da verilmiştir.



Şekil 26. MeNP ve ekstraktların *L. monocytogenes* üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği

SKAğNP, *Salmonella* için 0.02 µg/mL, *L. monocytogenes* için 1.49 µg/mL, *E. coli* O157 için 0.05 µg/mL, *S. aureus* için 0.04 µg/mL, *B. cereus* için 0.05 µg/mL ve *E. coli* için 0.01 µg/mL gibi MİK konsantrasyon değerleri sunmuştur. Özellikle *Salmonella* üzerindeki 0.02 µg/mL ve *E. coli* üzerindeki 0.01 µg/mL değerleri, SKAğNP'nin bu bakterilere karşı olağanüstü bir etkinlik sağladığını göstermektedir. Diğer bakterilere karşı da düşük MİK konsantrasyon değerleri ile etkinlik sunması, SKAğNP'nin genel olarak yüksek bir antibakteriyel potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

YKAğNP, *Salmonella* spp. için 0.01 µg/mL, *L. monocytogenes* için 0.04 µg/mL, *E. coli* O157 için 0.04 µg/mL, *S. aureus* için 0.04 µg/mL, *B. cereus* için 0.01 µg/mL ve *E. coli* için 0.02 µg/mL değerleri tespit edilmiştir. Tüm bakteriler üzerinde son derece düşük MİK konsantrasyon değerleri ile etkili bir profil sergilemektedir. Bu durum, YKAğNP'nin birçok patojen üzerinde oldukça etkili olduğunu ve gıda güvenliği stratejilerinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

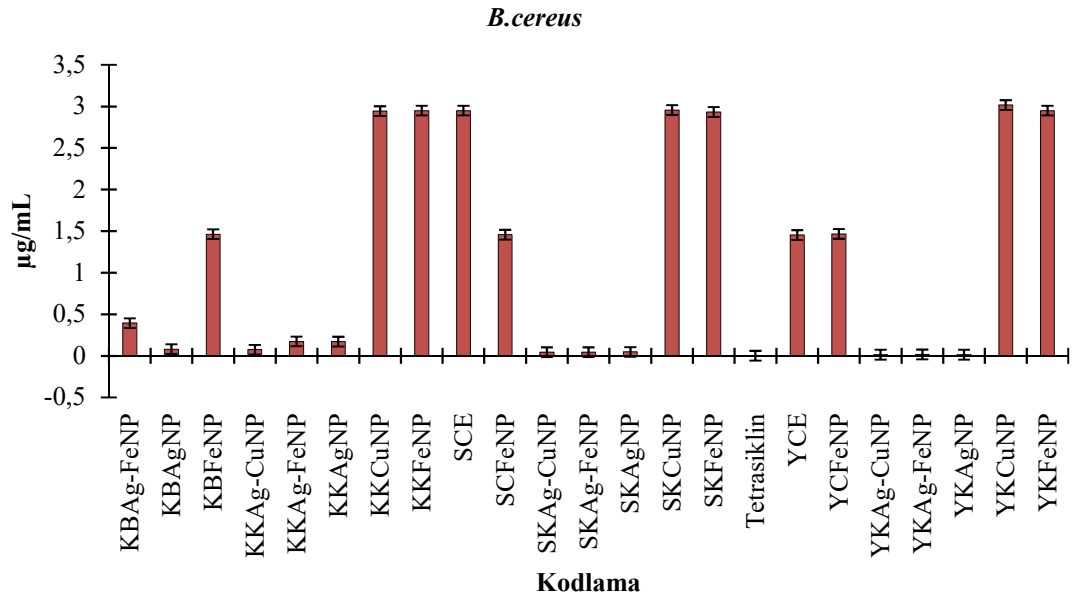
KKAgNP'ye göre belirlenen değerler, farklı patojenik bakterilere karşı etkinliklerini göstermektedir. *Salmonella* spp. için 0.08 µg/mL'lik konsantrasyon, bu

bakteriye karşı çok güçlü bir etki sağladığını ortaya koymaktadır. *L. monocytogenes* için ise 0.35 µg/mL’lik değer, bu patojene karşı etkili bir profil sunmaktadır. Diğer bakteriler için belirlenen değerler ise *E. coli* O157 için 0.17 µg/mL, *S. aureus* için 0.07 µg/mL ve *B. cereus* için de aynı şekilde 0.07 µg/mL olarak saptanmıştır. Özellikle *L. monocytogenes* ve *Salmonella* spp. üzerindeki etkiler, KKAgnP’nin potansiyel antimikrobiyal özelliklerini vurgulamaktadır. Bu bulgular, gıda güvenliği ve sağlık alanında önemli bir yere sahiptir. MeNP ve ekstraktların *E.coli* O157 üzerindeki MİK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 27’ de verilmiştir.

nanopartiküllerin MİK değerlerini belirlemişlerdir ve *S. aureus*'a ve *Bacillus cereus*'a karşı sırasıyla 0.0781 mg/mL ve 1.25 mg/mL olduğunu rapor etmişlerdir. Bu sonuçlarla tez çalışması ile elde edilen sonuçları kıyaslandığında tez çalışmasında sentezlenen gümüş NP'lerin antimikrobiyal etkinliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

KBFeNP'nin bakterilere karşı etkinliği, *Salmonella* spp. ve *L. monocytogenes* için 1.47 µg/mL, *E. coli* O157 için 1.49 µg/mL, *S. aureus* için 1.47 µg/mL, *B. cereus* için 1.46 µg/mL ve *E. coli* için 1,49 µg/mL olarak belirlenmiştir. Bu değerler, KBFeNP'nin genel olarak bakterilere karşı ortalama düzeyde bir etkinlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ancak, bu etkinlik, diğer nanopartiküllerle karşılaştırıldığında daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu durum, daha etkili alternatif seçeneklerinin değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla, özellikle gıda güvenliği ve sağlık alanlarında daha güçlü antimikrobiyal özelliklere sahip nanopartiküllerin araştırılması önem kazanmaktadır.

KKFeNP'nin bakterilere karşı etkinliği, *Salmonella* spp. için 2.92 µg/mL, *L. monocytogenes* için 2.96 µg/mL, *E. coli* O157 için 2.94 µg/mL, *S. aureus* için 2.96 µg/mL, *B. cereus* için 2.5 µg/mL ve *E. coli* için 2.93 µg/mL olarak belirlenmiştir. MİK değerleri, KKFeNP'nin genel olarak bakterilere karşı orta düzeyde bir etkinlik sağladığını göstermektedir. Ancak, tüm bakteriler için belirlenen yüksek MİK değerleri, KKFeNP'nin antibakteriyel etkinliğinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, daha etkili antibakteriyel ajanların araştırılmasını ve geliştirilmesini gerektirmektedir. Böylece, gıda güvenliği ve sağlık alanında daha güçlü çözümler elde edilmesi mümkün olacaktır. MeNP ve ekstraktların *B. cereus* üzerindeki MİK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 28' de verilmiştir.



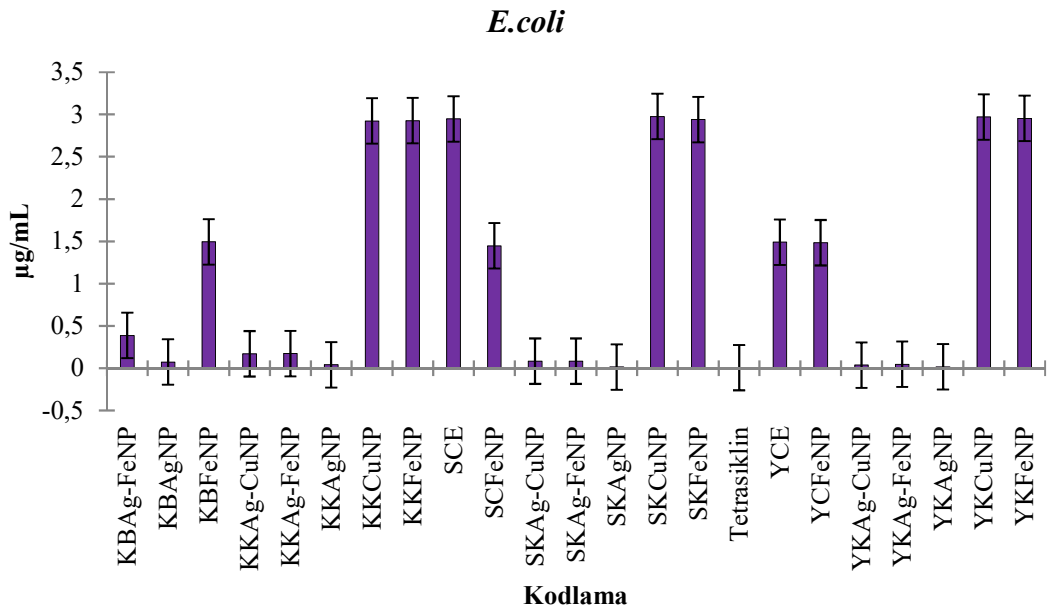
Şekil 28. MeNP ve ekstraktların *B. cereus* üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği

YKFeNP, *Salmonella* spp için 2.95 µg/mL, *L. monocytogenes* için 2.92 µg/mL, *E. coli* O157 için 2.93 µg/mL, *S. aureus* için 2.94 µg/mL, *B. cereus* için 2.95 µg/mL ve *E. coli* için 2.95 µg/mL gibi MİK değerleri sunmaktadır. YKFeNP'nin bakterilere karşı gösterdiği bu MİK değerleri, etkinliğinin oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir. Tüm bakteriler için yüksek MİK değerleri, YKFeNP'nin potansiyel olarak etkili bir antibakteriyel ajan olarak değerlendirilemeyeceğini ortaya koymaktadır.

SKFeNP, *Salmonella* spp için 2.95 µg/mL, *L. monocytogenes* için 2.92 µg/mL, *E. coli* O157 için 2.92 µg/mL, *S. aureus* için 2.93 µg/mL, *B. cereus* için 2.93 µg/mL ve *E. coli* için 2.94 µg/mL gibi MİK değerleri sunmaktadır. Bu değerler, SKFeNP'nin de genel olarak orta düzeyde etkinlik sağladığını göstermektedir. Yine, yüksek MİK değerleri, SKFeNP'nin etkili bir antibakteriyel ajan olarak kullanılmasının sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Zangeneh vd. (2020), *Allium saralicum* ekstraktı kullanarak sentezledikleri demir NP'lerin *Salmonella typhimurium*, *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı MİK değerlerini sırasıyla; 8 mg/mL, 4 mg/mL ve 4 mg/mL olarak belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada ise yeşil sentez demir NP'lerin belirlenen MİK değerlerinin *E. coli* ve *S. aureus* için sırasıyla; 31.25 µg/mL ve 125 µg/mL olarak belirlendiği rapor edilmiştir (Ahmadi vd., 2021). Yeşil sentez demir NP'lerin patojen suşlara karşı MİK değerlerinin belirlendiği başka bir çalışmada Bensy vd. (2022), *B. cereus*'a karşı NP'lerin MİK değerini 50 µg/mL'den daha yüksek olduklarını rapor etmişleridir.

Salmonella üzerinde karışım halindeki nanoparçacıkların etkinliği incelendiğinde, KKA_g-CuNP ve KKA_g-FeNP: Her ikisi de 0.08 µg/mL değerine sahip olup, en yüksek etkinliği gösteren nanoparçacıklar olarak öne çıkmaktadır. Düşük MİK değerleri nedeniyle bu nanoparçacıklar *Salmonella* üzerinde etkili bir mücadele sunmaktadır. KBA_g-FeNP, 0.19 µg/mL ile yine oldukça etkili bir seçenek olmasına rağmen, KKA_g-CuNP ve KKA_g-FeNP ile aynı düzeyde etki göstermemektedir. KKCuNP, 2.89 µg/mL ile *Salmonella* üzerinde daha az etkili bir nanoparçacık olarak değerlendirilmektedir. MeNP ve ekstraktların *E.coli* üzerindeki MİK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 29' da verilmiştir.

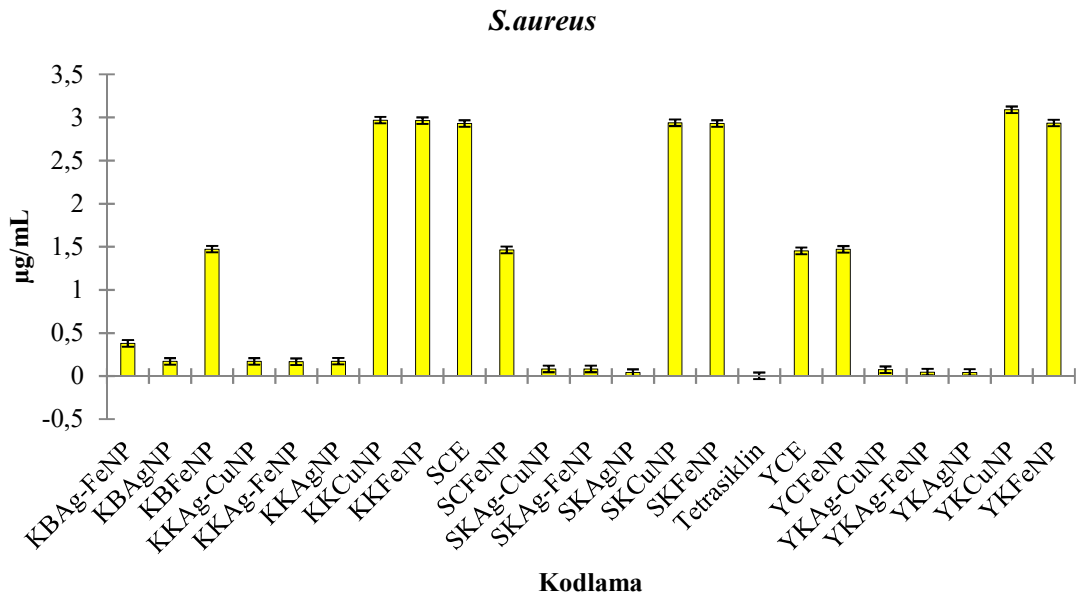


Şekil 29. MeNP ve ekstraktların *E. coli* üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği

KKFeNP: 2.92 0.19 µg/mL ile en az etkili olan nanoparçacıklardandır. Bu bağlamda, *Salmonella* üzerinde en etkili nanoparçacıklar KKA_g-CuNP ve KKA_g-FeNP'dir. Onları takip eden KBA_g-FeNP ise yine etkili bir seçenek olmakla birlikte, diğer iki nanoparçacık kadar yüksek bir etkinlik göstermemektedir. KKCuNP ve KKFeNP ise düşük etkinlikleriyle en az etkili nanoparçacıklar olarak değerlendirilmektedir.

Salmonella spp üzerindeki nanoparçacıkların etkinliği, bakteriyel enfeksiyonların kontrolü ve gıda güvenliği için önemlidir. KKA_g-CuNP ve KKA_g-FeNP, en etkili seçenekler olarak öne çıkarken, daha fazla araştırma, bu nanoparçacıkların potansiyelini ve mekanizmalarını anlamak için gereklidir.

L. monocytogenes gıda kaynaklı enfeksiyonlara neden olan bir bakteri türüdür. Gıda güvenliği açısından önemli bir tehdit oluşturur ve özellikle hazır gıdalarda bulunabilir. MeONP'lerin *L. monocytogenes* üzerindeki etkisi, nanoparçacıkların çeşitlerine ve MİK değerlerine göre farklılık gösterebilir. *L. monocytogenes* üzerinde yapılan bu değerlendirme, gümüş bazlı nanoparçacıkların etkisini ortaya koymaktadır. KKAğ-CuNP ve KKAğ-FeNP, en etkili seçenekler olarak öne çıkarken, diğer nanoparçacıklar daha düşük etkinlik göstermektedir. Bu bulgular, gıda güvenliği ve bakteriyel enfeksiyonların kontrolü için önemli bilgiler sunmaktadır. MeNP ve ekstraktların *S. aureus* üzerindeki MİK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 30'da verilmiştir.



Şekil 30. MeNP ve ekstraktların *S. aureus* üzerindeki MİK konsantrasyonları sütun grafiği

KKAğ-CuNP, MİK değeri: 0.35 µg/mL. Bu nanoparçacık, *L. monocytogenes* üzerinde iyi bir etki göstermektedir. Düşük MİK değeri, etkinin yüksek olduğunu gösterir. Gümüş ve bakırın kombinasyonu, antibakteriyel aktiviteyi artırabilir, bu da bu nanoparçacığın etkisini destekler. KKAğ-FeNP MİK değeri: 0.35 µg/mL. KKAğ-CuNP ile benzer bir etkinlik sergilemektedir. Gümüş bazlı nanoparçacıkların etkinliği, *L. monocytogenes* üzerinde belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Bu nanoparçacığın da güçlü bir antibakteriyel etkisi vardır.

KBağ-FeNP, MİK değeri: 2.95 µg/mL. Bu nanoparçacık, daha yüksek bir MİK değerine sahip olduğu için *L. monocytogenes* üzerinde daha az etkili olduğu söylenebilir. Etkinlik seviyesi düşüktür ve bu, gümüş bazlı nanoparçacıkların antibakteriyel etkisinin

sınırlı olduğu anlamına gelebilir. KKAğ-CuNP ve KKAğ-FeNP, *L. monocytogenes* üzerinde en yüksek etkinliği gösteren nanoparçacıklardır.

Düşük MİK değerleri, bu nanoparçacıkların etkili antibakteriyel özelliklere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. KBAğ-FeNP ve KKFeNP, daha yüksek MİK değerleriyle, *L. monocytogenes* üzerinde daha az etkinlik göstermektedir. KKAğ-CuNP ve KKAğ-FeNP, *L. monocytogenes* üzerinde en yüksek etkinliği gösteren nanoparçacıklardır. Düşük MİK değerleri, bu nanoparçacıkların etkili antibakteriyel özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. KBAğ-FeNP ise etkinlik açısından orta seviyede kalmaktadır, ancak daha yüksek MİK değeri nedeniyle diğer iki nanoparçacık kadar etkili değildir. SKAğ-CuNP, SKAğ-FeNP, YKAğ-CuNP ve YKAğ-FeNP gibi diğer nanoparçacıklar, daha yüksek MİK değerleri ile en az etkili seçenekler olarak değerlendirilmektedir.

E. coli O157 üzerinde karışım nanoparçacıkların etkisi değerlendirildiğinde, KBAğ-FeNP, MİK değeri 1.49 µg/mL ile belirli bir etkinlik göstermektedir; ancak bu değer, etkili bir mücadele için daha düşük olabilecek ideal değerlere kıyasla yüksektir. Bu nedenle, KBAğ-FeNP'nin etkinliği orta seviyededir. KKAğ-CuNP, MİK değeri 0.17 µg/mL ile *E. coli* O157 üzerinde en düşük MİK değerine sahip olup, en yüksek etkinliği göstermektedir. Gümüş ve bakır bileşimi, bakteriyel hücre yapısını etkilemek suretiyle etkili bir antibakteriyel etki sağlamaktadır. KKAğ-FeNP, MİK değeri 0.08 µg/mL ile *E. coli* O157 üzerindeki etkinliği oldukça yüksektir. Düşük MİK değeri, bu nanoparçacığın antibakteriyel aktivitesinin güçlü olduğunu göstermekte ve KKAğ-CuNP ile benzer bir performans sergilemektedir. SKAğ-CuNP, MİK değeri 0.08 µg/mL ile *E. coli* O157 üzerinde güçlü bir etkinlik göstermektedir. KKAğ-FeNP ile aynı MİK değerine sahip olması, bu nanoparçacığın da etkili bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır. SKAğ-FeNP, MİK değeri 0.08 µg/mL ile *E. coli* O157 üzerindeki etkisi yüksektir. Düşük MİK değeri, bu nanoparçacığın güçlü antibakteriyel özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. YKAğ-CuNP, MİK değeri 1.49 µg/mL ile *E. coli* O157 üzerinde belirli bir etkinlik göstermektedir; ancak etkisi KKAğ-FeNP ve diğer düşük MİK değerlerine sahip nanoparçacıklarla karşılaştırıldığında daha azdır. YKAğ-FeNP, MİK değeri 0.04 µg/mL ile *E. coli* O157 üzerinde en düşük MİK değerine sahip olan bu nanoparçacık, yüksek etkinlik göstermektedir. Antibakteriyel aktivite açısından oldukça etkili bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

KKAğ-CuNP, KKAğ-FeNP, SKAğ-CuNP, SKAğ-FeNP ve YKAğ-FeNP, *E. coli* O157 üzerinde en yüksek etkinliği gösteren nanoparçacıklar olarak öne çıkmaktadır. Düşük MİK değerleri, bu nanoparçacıkların etkili antibakteriyel özelliklere sahip

olduğunu göstermektedir. KBağ-FeNP ve YKağ-CuNP, daha yüksek MİK değerleriyle daha az etkili seçenekler olarak değerlendirilmelidir.

S. aureus üzerindeki antibakteriyel etkinlik, minimum inhibe edici konsantrasyon (MİK) değerlerine göre değerlendirildiğinde, YKağ-FeNP en yüksek etkinliği gösteren nanoparçacık olarak öne çıkmaktadır. 0.04 µg/mL'lik MİK değeri, YKağ-FeNP'nin güçlü antibakteriyel özelliklere sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bunu takip eden SKağ-CuNP, 0.08 µg/mL'lik MİK değeriyle yüksek etkinlik göstermektedir ve YKağ-FeNP ile benzer bir performans sergilemektedir. SKağ-FeNP de aynı MİK değerine sahip olup, bu da onun da güçlü antibakteriyel özellikler taşıdığını göstermektedir.

YKağ-CuNP, 0.07 µg/mL'lik MİK değeriyle etkili bir performans sergilemekte, ancak diğer düşük MİK değerine sahip nanoparçacıklara kıyasla biraz daha az etkinlik göstermektedir. KKağ-FeNP, 0.16 µg/mL ile orta seviyede bir etkinlik sunmakta ve diğer etkili seçeneklere göre daha az etkili olduğu görülmektedir. KKağ-CuNP ise 0.17 µg/mL ile *S. aureus* üzerindeki etkinliği daha düşük seviyede kalmaktadır.

KBağ-FeNP, 1.47 µg/mL'lik en yüksek MİK değeriyle en düşük etkinliği göstermekte, bu nedenle daha az etkili bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, KKağ-CuNP, KKağ-FeNP, SKağ-CuNP, SKağ-FeNP ve YKağ-FeNP, *S. aureus* üzerinde en yüksek etkinliği gösteren nanoparçacıklar olarak öne çıkmaktadır. Düşük MİK değerleri, bu nanoparçacıkların güçlü antibakteriyel özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. KBağ-FeNP ise yüksek MİK değeri nedeniyle daha az etkili bir alternatif olarak değerlendirilmelidir. YKağ-CuNP, *S. aureus* üzerindeki etkinliği açısından KBağ-FeNP'den daha düşük görünse de diğer düşük MİK değerine sahip nanoparçacıklarla karşılaştırıldığında etkili bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu bulgular, nanoparçacıkların antibakteriyel etkinliğinin çeşitliliğini ve önemini vurgulamaktadır.

E. coli üzerindeki etkinlikleri değerlendirildiğinde, nanoparçacıkların performansı belirgin farklılıklar göstermektedir.

KBağ-FeNP, 1.47 µg/mL MİK değeri ile belirli bir etkinlik göstermektedir, ancak bu değer, etkili bir antibakteriyel mücadele için ideal kabul edilen seviyelerin oldukça üzerindedir. Bu durum, KBağ-FeNP'nin orta seviyede bir etkinlikte olduğunu göstermektedir. KKağ-CuNP ise 0.17 µg/mL ile en düşük MİK değerine sahip olup, *E. coli* üzerinde en yüksek etkinliği sergilemektedir. Gümüş ve bakır bileşenlerinin sinerjistik etkisi, bakteriyel hücre yapısını etkileyerek güçlü bir antibakteriyel etki sağlamaktadır. KKağ-FeNP, 0.08 µg/mL ile yüksek bir etkinlik göstermekte; düşük MİK

değeri, bu nanoparçacığın antibakteriyel aktivitesinin güçlü olduğunu ortaya koymaktadır. KKAğ-CuNP ile benzer bir performans sergilemektedir. SKAğ-CuNP, 0.08 µg/mL MİK değeri ile güçlü bir etkinlik sunmakta ve KKAğ-FeNP ile aynı değere sahip olması, bu nanoparçacığın da etkili bir alternatif olduğunu göstermektedir. SKAğ-FeNP 0.08 µg/mL ile *E. coli* üzerinde yüksek bir etki göstermektedir. Düşük MİK değeri, bu nanoparçacığın güçlü antibakteriyel özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. YKAğ-CuNP, 1.49 µg/mL ile belirli bir etkinlik sergilemekte; ancak bu değer, önceki karışımlarla karşılaştırıldığında daha az etkilidir. YKAğ-FeNP, 0.04 µg/mL ile *E. coli* üzerindeki en düşük MİK değerine sahip olan bu nanoparçacık, yüksek etkinlik göstermekte ve antibakteriyel aktivite açısından oldukça etkili bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, KKAğ-CuNP, KKAğ-FeNP, SKAğ-CuNP, SKAğ-FeNP ve YKAğ-FeNP, *E. coli* üzerinde en yüksek etkinliği gösteren nanoparçacıklar arasında yer almaktadır. Düşük MİK değerleri, bu nanoparçacıkların etkili antibakteriyel özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. KBAğ-FeNP ve YKAğ-CuNP ise daha yüksek MİK değerleri ile daha az etkili seçenekler olarak değerlendirilebilir.

YCE, genel olarak düşük MİK değerleri ile etkili bir antibakteriyel aktivite göstermektedir. *E. coli* O157 üzerindeki MİK değeri 1.47 µg/mL olup, bu bakteri üzerinde yüksek bir inhibisyon potansiyeli sağladığını göstermektedir. Ayrıca, YCE'nin *Salmonella* ve *L. monocytogenes* üzerindeki MİK değerleri de düşük seviyelerde kalmakta, bu durum YCE'nin bu bakteriler üzerindeki etkinliğini pekiştirmektedir. *S. aureus* ve *B. cereus* üzerinde de benzer şekilde etkili olduğu gözlemlenmektedir.

SCE ise genellikle daha yüksek MİK değerleri ile karakterize edilmektedir. *E. coli* O157 üzerindeki etkinliği YCE'ye göre daha zayıf olup, MİK değeri yüksek çıkmaktadır. *S. aureus* üzerindeki MİK değeri 2.91 µg/mL gibi bir seviyededir ve bu durum SCE'nin genel olarak antibakteriyel özelliklerinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Diğer bakteriler üzerinde de yüksek MİK değerleri, SCE'nin etkinliğinin zayıf olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, YCE, *E. coli* O157, *E. coli*, *Salmonella*, *L. monocytogenes*, *S. aureus* ve *B. cereus* gibi bakterilere karşı etkili bir ekstrakt olarak öne çıkarken, SCE'nin etkinliği genel olarak daha düşük seviyelerde kalmaktadır. YCE'nin daha düşük MİK değerleri, onun güçlü antibakteriyel aktivitesini gösterirken, SCE'nin yüksek MİK değerleri etkinliğinin sınırlı olduğunu ifade etmektedir. Bu durum, her iki ekstraktın farklı bakteriyel türler üzerindeki etkilerinin değişebileceğini ve YCE'nin daha geniş bir antibakteriyel etki yelpazesine sahip olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, nanopartiküllerin MİK konsantrasyon değerleri, her bir bakteriye karşı gösterdikleri etkinlikleri belirlemekte ve gıda güvenliği uygulamalarında kullanılma potansiyellerini vurgulamaktadır. Düşük MİK konsantrasyon değerleri, yüksek etkinlik anlamına gelirken, yüksek MİK konsantrasyon değerleri etkinliğin sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, her bir nanopartikülün farklı bakterilere karşı potansiyelinin değerlendirilmesi, daha etkili antibakteriyel stratejilerin geliştirilmesi için önem taşımaktadır. KKFeNP, YKFeNP ve SKFeNP'nin MİK konsantrasyon değerleri, bu nanopartiküllerin genel olarak sınırlı etkinliğe sahip olduğunu göstermektedir. Tüm bakteriler üzerinde yüksek MİK konsantrasyon değerleri, bu nanopartiküllerin antibakteriyel potansiyellerinin düşük olduğunu ortaya koymakta ve daha etkili alternatiflerin araştırılmasının önemini vurgulamaktadır. Gıda güvenliği uygulamalarında, bu nanopartiküllerin kullanımı, etkinlikleri göz önünde bulundurularak dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir.

3.3. Minimum Bakterisidal Konsantrasyon (MBK) Analiz Sonuçları (µg/mL)

Minimum bakterisidal konsantrasyon (MBK), bir antibakteriyel ajanın belirli bir bakteri türünü öldürmek için gereken en düşük konsantrasyonu ifade eder. MBK, antibakteriyel tedavinin etkinliğini değerlendirmede önemli bir parametredir. MBK, bir antibakteriyel maddenin, hedef bakterinin % 99.9'unu öldürmesi için gerekli olan en düşük konsantrasyonudur. Bu değer, MİK (Minimum İnhibitör Konsantrasyonu) değerinden daha yüksek olabilir, çünkü MİK, bakteriyel büyümeyi engellemekte yeterlidir ancak bakterileri öldürmez.

Metal nanopartiküller (NP'ler), antibakteriyel özellikleri nedeniyle birçok bakteri üzerinde etkili olabilmektedir. Bu çalışmada, farklı metal NP'lerin çeşitli bakteri suşlarına karşı Minimum bakterisidal konsantrasyon (MBK) değerleri değerlendirilmiştir. MBK değerlerine ait veriler Tablo 6' da verilmiştir.

Salmonella spp 'ye karşı en etkili NP'ler arasında SKAg-CuNP (0.10 mg/L), KKAg-FeNP (0.07 µg/mL) ve KKAgNP (0.04 µg/mL) yer almaktadır. Bu NP'ler de *Salmonella* spp 'ye karşı yüksek etkinlik sergileyerek gıda güvenliği açısından önemli potansiyele sahip olduklarını ortaya koymaktadır.

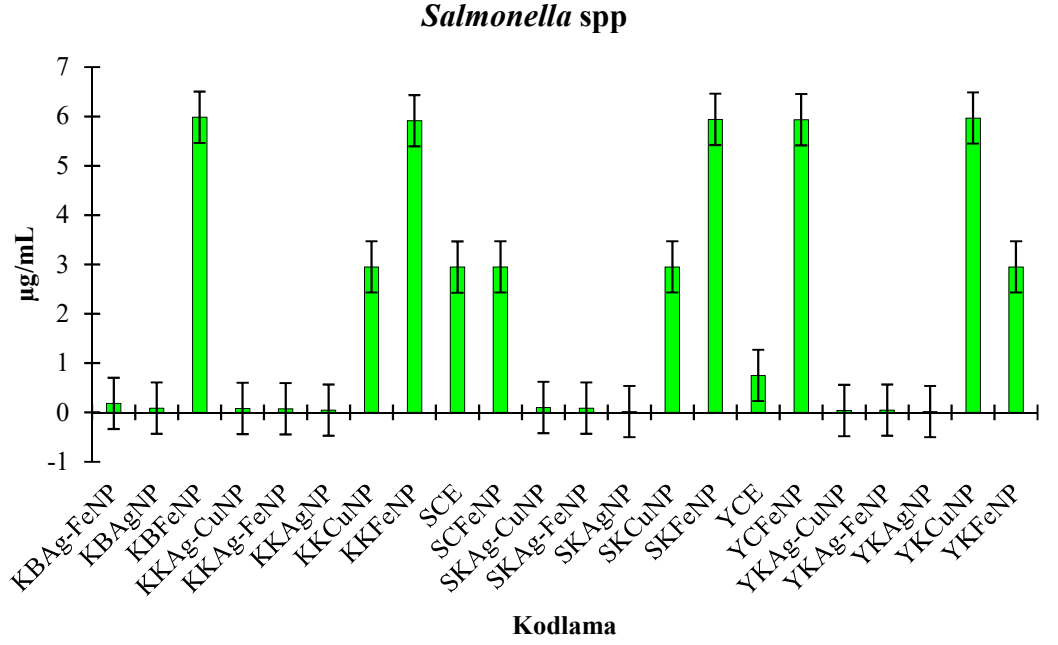
YCE ve KBAG-FeNP, düşük MBK değerleriyle (sırasıyla 0.75 µg/mL ve 0.18 µg/mL) *Salmonella* spp üzerinde en etkili ekstrak ve NP'lerdir. Bu düşük MBK değerleri, bu NP'lerin güçlü antibakteriyel özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 6. Minimum bakterisidal konsantrasyon (MBK) analiz sonuçları (µg/mL)

Kodlama	<i>Salmonella</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>E. coli</i> O157	<i>S. aureus</i>	<i>B. cereus</i>	<i>E. coli</i>
KBFenP	5.98 ^c ±0.06	5.95 ^c ±0.09	5.92 ⁱ ±0.11	5.94 ^{ef} ±0.07	2.92 ^{fg} ±0.13	2.91 ^g ±0.06
YKCunP	5.97 ^c ±0.06	5.95 ^c ±0.12	2.87 ^{efg} ±0.03	5.94 ^{ef} ±0.07	2.99 ^g ±0.06	2.95 ^g ±0.06
SKFeNP	5.94 ^c ±0.02	11.92 ^f ±0.02	5.86 ⁱ ±0.16	5.92 ^{ef} ±0.07	2.91 ^{fg} ±0.07	2.88 ^g ±0.03
KKFeNP	5.91 ^c ±0.01	5.97 ^c ±0.08	2.91 ^{efgh} ±0.01	5.93 ^{ef} ±0.01	2.92 ^{fg} ±0.01	2.86 ^{fg} ±0.01
YKFeNP	2.95 ^d ±0.03	5.93 ^c ±0.01	2.94 ^{fgh} ±0.01	5.92 ^{ef} ±0.01	2.93 ^{fg} ±0.01	2.95 ^g ±0.01
SCFeNP	2.95 ^d ±0.01	5.94 ^c ±0.02	2.95 ^{gh} ±0.01	5.86 ^c ±0.02	2.91 ^{fg} ±0.02	2.91 ^g ±0.01
KKCunP	2.95 ^d ±0.03	2.88 ^d ±0.08	1.47 ^d ±0.05	5.93 ^{ef} ±0.07	2.95 ^{fg} ±0.05	2.94 ^g ±0.08
SCE	2.94 ^d ±0.01	2.86 ^d ±0.02	3.00 ^h ±0.01	6.00 ^f ±0.01	2.80 ^c ±0.01	2.75 ^c ±0.03
YCFenP	5.93 ^c ±0.08	2.87 ^d ±0.03	2.82 ^c ±0.08	5.89 ^c ±0.08	2.87 ^{ef} ±0.05	2.87 ^{fg} ±0.09
SKCunP	2.95 ^d ±0.07	0.07 ^a ±0.07	2.84 ^{ef} ±0.09	5.92 ^{ef} ±0.04	2.94 ^{fg} ±0.04	2.77 ^{ef} ±0.09
YCE	0.75 ^c ±0.07	5.88 ^c ±0.08	1.45 ^d ±0.09	1.47 ^d ±0.08	1.46 ^d ±0.10	1.45 ^d ±0.07
KBAg-FeNP	0.18 ^b ±0.07	2.96 ^d ±0.08	0.74 ^c ±0.07	0.36 ^c ±0.06	0.36 ^c ±0.08	0.37 ^c ±0.14
SKAg-CunP	0.10 ^a ±0.01	11.94 ^f ±0.13	0.08 ^{ab} ±0.01	0.08 ^a ±0.07	0.04 ^a ±0.03	0.08 ^{ab} ±0.03
KBAgNP	0.08 ^a ±0.01	1.48 ^c ±0.06	0.18 ^b ±0.04	0.18 ^b ±0.03	0.08 ^{ab} ±0.04	0.17 ^b ±0.02
KKAg-FeNP	0.07 ^a ±0.01	0.35 ^b ±0.13	0.08 ^{ab} ±0.02	0.37 ^c ±0.03	0.17 ^b ±0.05	0.17 ^b ±0.05
SKAg-FeNP	0.08 ^a ±0.01	2.86 ^d ±0.03	0.01 ^{ab} ±0.01	0.01 ^b ±0.01	0.01 ^a ±0.01	0.01 ^{ab} ±0.01
KKAg-CunP	0.08 ^a ±0.01	0.35 ^b ±0.03	0.17 ^b ±0.01	0.18 ^b ±0.03	0.08 ^{ab} ±0.03	0.18 ^b ±0.02
KKAgNP	0.04 ^a ±0.01	0.36 ^b ±0.13	0.18 ^b ±0.01	0.17 ^b ±0.01	0.17 ^b ±0.01	0.04 ^a ±0.01
YKAg-FeNP	0.05 ^a ±0.01	3.00 ^d ±0.01	0.05 ^a ±0.01	0.09 ^a ±0.01	0.02 ^a ±0.01	0.05 ^a ±0.01
SKAgNP	0.02 ^a ±0.01	5.93 ^c ±0.07	0.04 ^a ±0.01	0.08 ^a ±0.01	0.04 ^a ±0.01	0.02 ^a ±0.01
YKAg-CunP	0.04 ^a ±0.01	2.86 ^d ±0.13	0.04 ^a ±0.01	0.08 ^a ±0.01	0.02 ^a ±0.01	0.04 ^a ±0.01
YKAgNP	0.02 ^a ±0.01	0.08 ^a ±0.01	0.05 ^a ±0.01	0.04 ^a ±0.01	0.02 ^a ±0.01	0.02 ^a ±0.01

Tabloda bulunan aynı sütundaki farklı harfler ikili karşılaştırmada önemli istatistiksel farklılığı ifade etmektedir (p<0.05). n:3. Duncan testi uygulanmıştır.

Öte yandan, YCE, YKCuNP, KBFenP, KKFeNP, YCFenP, SCFeNP: Bu nanopartiküllerin MBK değerleri daha yüksek olup (2.87 µg/mL ile 11.92 µg/mL arasında değişmektedir), etkileri YKAgNP ve KKAgNP' ye göre daha sınırlıdır. Özellikle KBFenP ve SKFeNP, *Salmonella* üzerinde daha az etkili görünmektedir. *Salmonella* spp üzerindeki etkilerinin daha sınırlı olduğunu tespit edilmiştir. MeNP ve ekstraktların *Salmonella* spp üzerindeki MBK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 31' de verilmiştir.



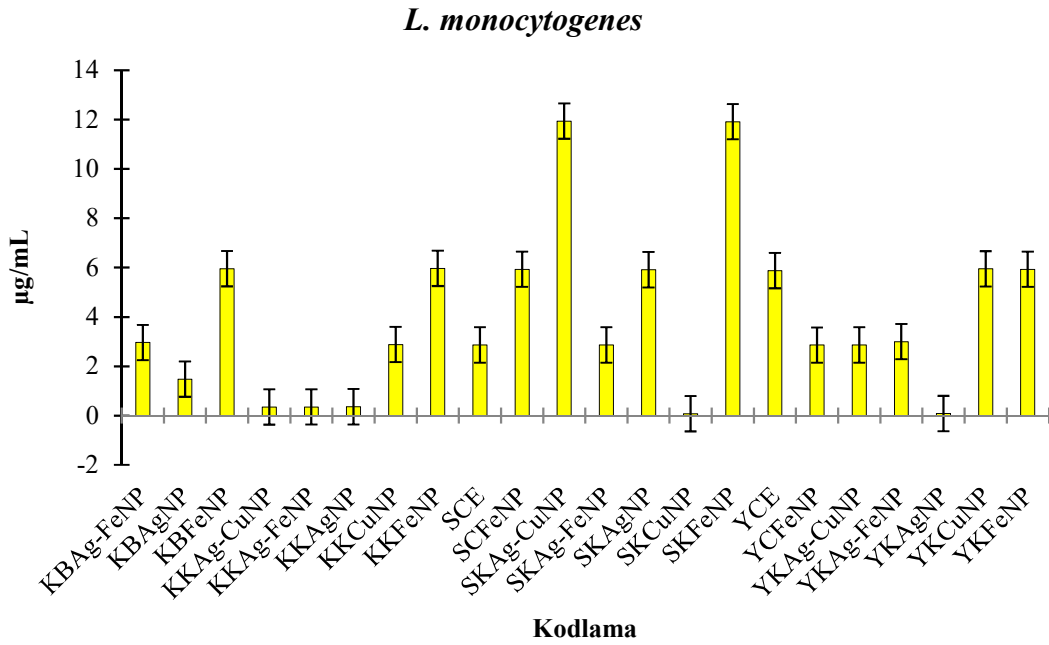
Şekil 31. MeNP ve ekstraktların *Salmonella* spp üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği

Metal nanopartiküller ve bitkisel ekstraktlar, *Salmonella* üzerinde geniş bir antibakteriyel etki spektrumu sunmaktadır. Yapılan çalışmada, belirli nanopartiküllerin bu patojen üzerinde yüksek etkiler gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle YCE, KBAg-FeNP, SKAg-CuNP, KKAgNP, ve YKAgNP gibi nanopartiküller, *Salmonella* spp 'ye karşı en düşük MBK değerlerine sahip olmalarıyla dikkat çekmektedir. Bu düşük MBK değerleri, bu nanopartiküllerin *Salmonella* üzerinde güçlü bir öldürücü etki sağladığını göstermektedir. Özellikle YKAgNP'nin en düşük MBK değerine sahip olduğunu ve bu nanopartikülün *Salmonella* spp üzerinde yüksek antibakteriyel etkinlik sağladığını göstermektedir. Diğer nanopartiküller de etkili olsa da MBK değerlerinin daha yüksek olması, bu NP'lerin etkinliklerinin daha sınırlı olabileceğini ortaya koymaktadır.

Loo vd. (2018) yeşil yöntemle sentezlemiş oldukları gümüş NP'lerin *Salmonella typhimurium* ve *E. coli*'ye karşı MBK değerini 7.8 µg/mL olarak belirlemişlerdir. Tez

çalışmasında çalışılan gümüş ve gümüş kombinasyonlu NP'lerin her iki suşa karşı belirlenen MBK değerleri daha düşüktür.

Metal nanopartiküller ve bitkisel ekstraktlar, *L. monocytogenes* üzerinde çeşitli antibakteriyel etkinlikler göstermektedir. Öne çıkan nanopartiküllerin MBK değerleri şu şekildedir, SKAg-CuNP: 0.10 µg/mL, KKAgnP: 0.07 µg/mL, KBAg-FeNP: 0.18 µg/mL, KKAgn-FeNP: 0.35 µg/mL. Bu nanopartiküller, *L. monocytogenes*'e karşı yüksek etkinlik sergileyerek gıda güvenliği açısından önemli potansiyele sahiptir. Özellikle KKAgnP ve SKAg-CuNP, en düşük MBK değerleriyle dikkat çekmekte ve bu bakteriye karşı etkili bir şekilde mücadele edebilmektedir. Ekstraktlardan MBK değerleri şu şekildedir, YCE: 0.75 µg/mL. Bu düşük MBK değerleri, bu ekstraktların *L. monocytogenes* üzerinde güçlü MBK etkisine sahip olduğunu göstermektedir. MeNP ve ekstraktların, *L. monocytogenes* üzerindeki MBK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 32' de verilmiştir.



Şekil 32. MeNP ve ekstraktların *L. monocytogenes* üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği

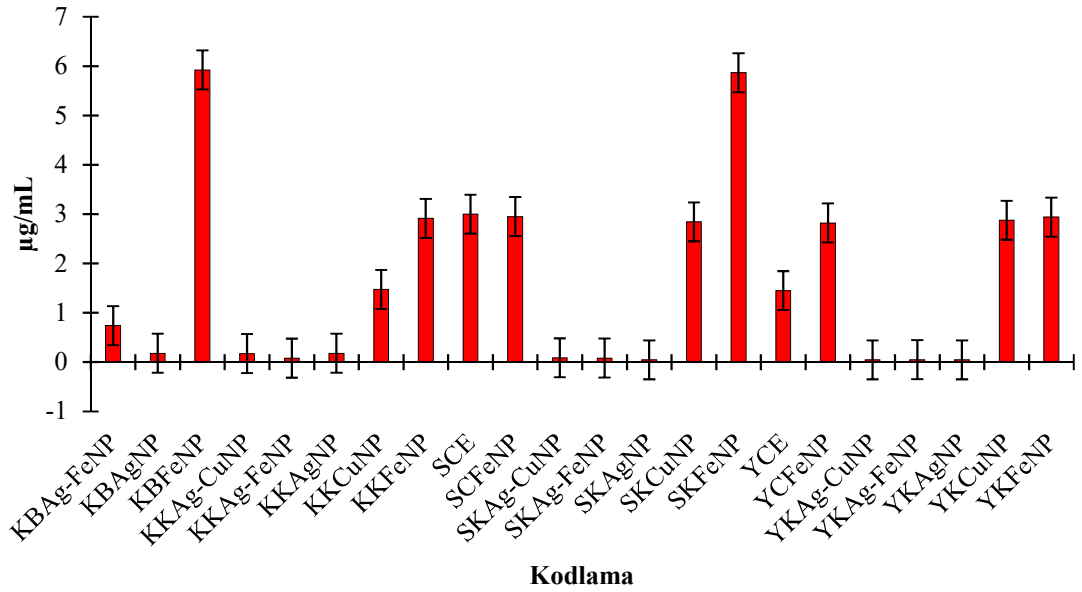
Öte yandan SCE, YKCuNP, KBAgnP, KBAgn-FeNP, YCFE NP ve SCFeNP gibi nanopartiküllerin MBK değerleri daha yüksektir (2.86 µg/mL ile 11.94 µg/mL arasında değişmektedir). Bu durum, bu NP'lerin *L. monocytogenes* üzerindeki etkilerinin daha sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle KBAgnP ve SKFeNP, bu bakteri üzerinde daha az etkili görünmektedir. Metal nanopartiküller ve bitkisel ekstraktlar, *L. monocytogenes* üzerinde geniş bir antibakteriyel etki spektrumu sunmaktadır.

Yapılan çalışma, belirli nanopartiküllerin bu patojen üzerinde yüksek etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle KKA_gNP, SKA_g-CuNP, YCE ve KBA_g-FeNP, *L. monocytogenes*'e karşı en düşük MBK değerlerine sahip olmalarıyla dikkat çekmektedir. Bu düşük MBK değerleri, bu NP'lerin ve ekstraktların *L. monocytogenes* üzerinde güçlü bir öldürücü etki sağladığını göstermektedir. Diğer nanopartiküller de etkili olsa da MBK değerlerinin daha yüksek olması, bu NP'lerin etkinliklerinin daha sınırlı olabileceğini göstermektedir.

Hemmati vd. (2019) sentezlemiş oldukları gümüş NP'lerin antimikrobiyal etkinliklerini araştırmışlardır ve *E. coli*, *L. monocytogenes* ve *Salmonella typhimurium*'a karşı sırasıyla 4 mg/mL, 2 mg/mL ve 8 mg/mL'lik MBK değerlerini tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları, tez çalışması ile MBK değerleri belirlenen gümüş NP'lerin göstermiş oldukları antimikrobiyal etkinliğinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

MeNP ve ekstraktların, *E. coli* O157 üzerindeki MBK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 33'te verilmiştir. Diğer nanopartiküller; YKC_uNP, KBFeNP, KKFeNP, ve YCFeNP gibi diğer nanopartiküllerin MBK değerleri daha yüksektir (2.88 µg/mL ile 11.94 µg/mL arasında değişmektedir). Bu durum, bu NP'lerin *E. coli* O157 üzerindeki etkilerinin daha sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle KBFeNP ve SKFeNP, bu bakteri üzerinde daha az etkili görünmektedir. Metal nanopartiküller ve bitkisel ekstraktlar, *E. coli* O157 üzerinde geniş bir antibakteriyel etki spektrumu sunmaktadır. Yapılan çalışma, belirli nanopartiküllerin bu patojen üzerinde yüksek etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır.

E. coli O 157



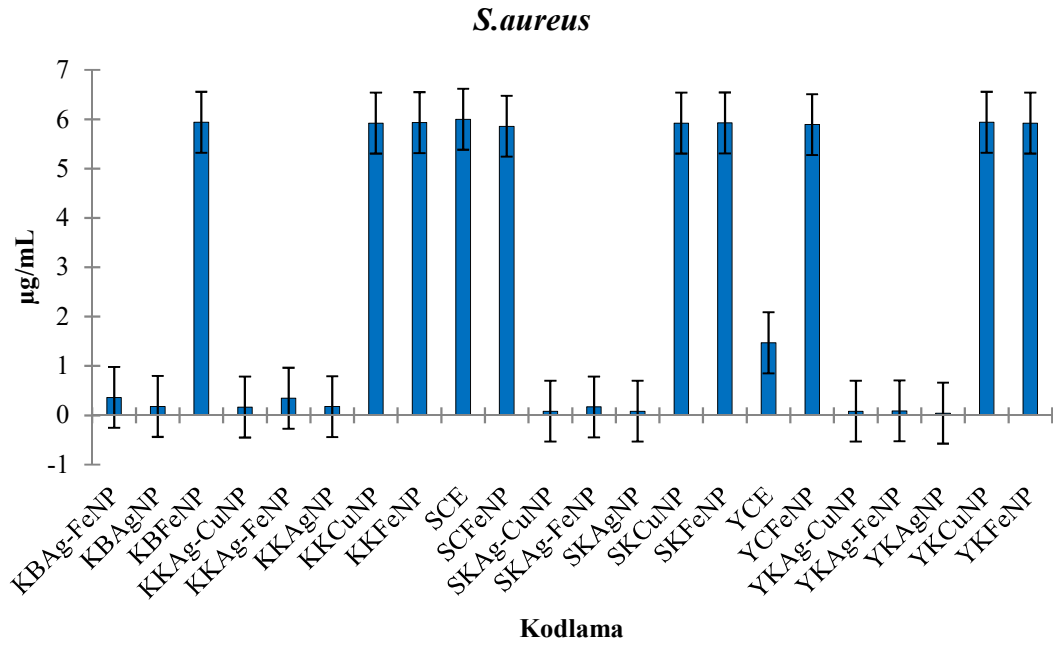
Şekil 33. MeNP ve ekstraktların *E. coli* O157 üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği

E. coli O157'ye karşı metal nanopartiküller ve bitkisel ekstraktlar çeşitli antibakteriyel etkinlikler göstermektedir. Metal Nanopartiküller; YKAaNP: 0.05 µg/mL, KKAaNP: 0.17 µg/mL, KBaAgNP: 0.18 µg/mL, KKAa-FeNP: 0.37 µg/mL, SKAa-CuNP: 0.10 µg/mL. Bu nanopartiküller, *E. coli* O157'ye karşı yüksek etkinlik sergileyerek gıda güvenliği açısından önemli potansiyele sahip olduklarını göstermektedir. Özellikle YKAaNP, en düşük MBK değerine sahip olup, bu bakteriye karşı en güçlü antibakteriyel etkinliği sunmaktadır. Bitkisel ekstraktlar; YCE: 1.47 µg/mL, SCE: 2.94 µg/mL. YCE ve SCE, düşük MBK değerleriyle *E. coli* O157 üzerinde etkili antibakteriyel özellikler sergilemektedir. Özellikle YCE, 1.47 µg/mL MBK değeri ile güçlü bir etki sağlamakta, ancak SCE biraz daha yüksek bir değere (2.94 µg/mL) sahiptir.

Allium saralicum ekstraktı kullanarak sentezlendiği çalışmada yeşil sentez demir NP'lerin, *Salmonella typhimurium*, *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı MBK değerlerini sırasıyla; 8 mg/mL, 8 mg/mL ve 4 mg/mL olarak belirlemiştir (Zangeneh vd., 2020). Başka bir çalışmada ise Ahmadi vd. (2021), sentezlemiş oldukları demir NP'lerin, MBK değerlerini *E. coli* ve *S. aureus* için sırasıyla; 62.5 µg/mL ve 250 µg/mL olarak belirlemişlerdir. Tez çalışmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında elde edilen MBK değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Özellikle YKAgNP, KKAgNP, KBAgNP ve YCE, *E. coli* O157'ye karşı en düşük MBK değerlerine sahip olmalarıyla dikkat çekmektedir. Bu düşük MBK değerleri, bu NP'lerin ve ekstraktların *E. coli* O157 üzerinde güçlü bir öldürücü etki sağladığını göstermektedir. Diğer nanopartiküller de etkili olsa da MBK değerlerinin daha yüksek olması, bu NP'lerin etkinliklerinin daha sınırlı olabileceğini göstermektedir.

MeNP ve ekstraktların, *S. aureus* üzerindeki MBK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 34' te verilmiştir. Metal nanopartiküller ve bitkisel ekstraktlar, *S. aureus* üzerinde çeşitli antibakteriyel etkinlikler göstermektedir. Aşağıda öne çıkan nanopartiküllerin ve ekstraktların MBK değerleri yer almaktadır. Metal nanopartiküller; YKAgNP: 0.08 µg/mL, KKAgNP: 0.18 µg/mL, KBAgNP: 0.18 µg/mL, KKAg-FeNP: 0.37 µg/mL, SKAg-CuNP: 0.08 µg/mL. Bu nanopartiküller, *S. aureus*'a karşı yüksek etkinlik sergileyerek gıda güvenliği açısından önemli potansiyele sahip olduklarını göstermektedir. Özellikle YKAgNP ve SKAg-CuNP, en düşük MBK değerine sahip olup, bu bakteriye karşı güçlü antibakteriyel etkinlik sunmaktadır.



Şekil 34. MeNP ve ekstraktların *S. aureus* üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği

Manosalva vd. (2019) yaptıkları çalışmada yeşil yöntem ile 23, 92 ve 220 nm boyutlara sahip gümüş NP'ler sentezlemişlerdir. Sentezlenen NP'lerin *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı antimikrobiyal etkinliklerini belirlemişlerdir. Her iki patonejik suşa karşı sırasıyla 10 µg/mL, 20 µg/mL ve 50 µg/mL; 60 µg/mL, 70 µg/mL ve 80 µg/mL'lik MBK

değerleri elde etmişlerdir. Başka bir çalışmada ise Rolim vd. (2019) sentezlemiş oldukları gümüş NP'lerin *S. aureus*, *E. coli* ve *Salmonella enterica*'ya karşı göstermiş oldukları MBK değerlerini sırasıyla; 250 µg/mL, 15 µg/mL ve 15 µg/mL olarak belirlemişleridir. Bu çalışmalara bakıldığında tez çalışması ile elde edilen MBK değerlerinin daha düşük olduğunu yani tez çalışması kapsamında kullanılan gümüş NP'lerin daha etkili birer antimikrobiyal ajan olduklarını söyleyebiliriz.

Bitkisel ekstraktlar; YCE: 1.47 µg/mL, SCE: 2.80 µg/mL. YCE ve SCE, *S. aureus* üzerinde etkili antibakteriyel özellikler sergilemektedir. YCE, 1.47 µg/mL MBK değeri ile sınırlı bir etki sağlamakta, ancak SCE biraz daha yüksek bir değere (2.80 µg/mL) sahiptir.

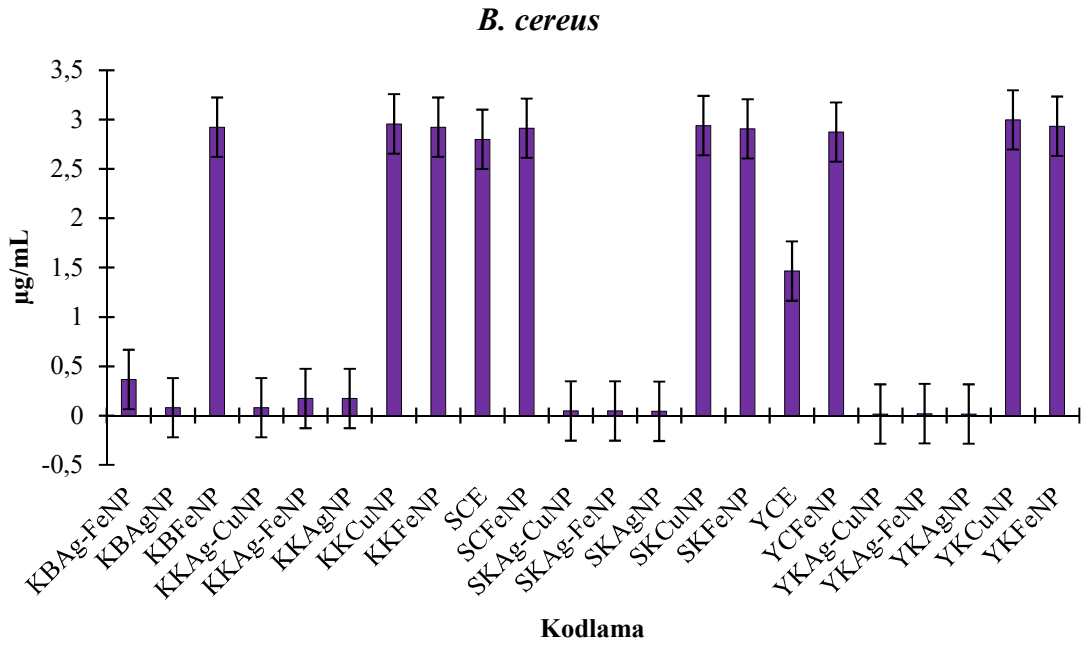
Diğer nanopartiküller, YKCuNP, KBFenP, KKFeNP, YCFenP ve SCFeNP gibi diğer nanopartiküllerin MBK değerleri daha yüksektir (2.91 µg/mL ile 11.94 µg/mL arasında değişmektedir). Bu durum, bu NP'lerin *S. aureus* üzerindeki etkilerinin daha sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle KBFenP ve SKFeNP, bu bakteri üzerinde daha az etkili görünmektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada MeNP ve bitkisel ekstraktlar, *S. aureus* üzerinde geniş bir antibakteriyel etki spektrumu sunmaktadır. Belirli nanopartiküllerin bu patojen üzerinde yüksek etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle YKAgNP, SKAg-CuNP ve KKAgNP *S. aureus*'a karşı en düşük MBK değerlerine sahip olmalarıyla dikkat çekmektedir. Bu düşük MBK değerleri, bu NP'lerin ve ekstraktların *S. aureus* üzerinde güçlü bir öldürücü etki sağladığını göstermektedir. Diğer nanopartiküller de etkili olsa da MBK değerlerinin daha yüksek olması, bu NP'lerin etkinliklerinin daha sınırlı olabileceğini göstermektedir.

Karışım nanopartiküllerin *S. aureus* üzerindeki etkilerini değerlendirdiğimizde, KBAg-FeNP, SKAg-CuNP, KKAg-FeNP, SKAg-FeNP, KKAg-CuNP, YKAg-FeNP ve YKAg-CuNP gibi nanopartiküllerin önemli MBK aktivitelere sahip oldukları görülmektedir. KBAg-FeNP, 0.18 µg/mL MBK değeri ile *S. aureus* üzerinde etkili bir antibakteriyel etki sunmaktadır. SKAg-CuNP, 0.08 µg/mL ile en düşük MBK değerine sahip olup, bu bakteriye karşı güçlü bir etki göstermektedir. Benzer şekilde, SKAg-FeNP de 0.08 µg/mL MBK değeri ile yüksek etkinlik göstermektedir. KKAg-FeNP ise 0.37 µg/mL MBK değeri ile orta seviyede bir etki sunmakta, ancak diğer karışım nanopartiküller kadar etkili değildir. KKAg-CuNP de 0.18 µg/mL MBK değeri ile etkinlik bakımından daha düşük bir performans sergilemektedir. YKAg-FeNP, 0.05 µg/mL ile en düşük MBK değerine sahip olması nedeniyle *S. aureus*'a karşı en etkili nanopartikül olarak öne çıkmaktadır. YKAg-CuNP de 0.08 µg/mL MBK değeri ile etkili

bir antibakteriyel aktivite sunmaktadır. Genel olarak, karışım nanopartiküller *S. aureus* üzerinde yüksek antibakteriyel etkinlik göstermektedir. Özellikle SKAg-CuNP ve SKAg-FeNP, düşük MBK değerleri ile dikkat çekmekte ve bu bakteriye karşı güçlü bir etki sağlamaktadır. YKAg-FeNP ise en düşük MBK değeri ile patojenle mücadelede en etkili seçenek olarak öne çıkmaktadır.

B. cereus'a karşı MeNP ve bitkisel ekstraktlar çeşitli antibakteriyel etkinlikler göstermektedir. Öne çıkan nanopartiküllerin ve ekstraktların MBK değerleri, YKAgNP: 0.04 µg/mL, KKAgnP: 0.17 µg/mL, KBAgnP: 0.08 µg/mL, KKAgn-FeNP: 0.17 µg/mL, SKAg-CuNP: 0.04 µg/mL. Bu MeNP'ler, *B. cereus* üzerinde yüksek etkinlik sergileyerek önemli antibakteriyel potansiyele sahip olduklarını göstermektedir. Özellikle YKAgNP ve SKAg-CuNP, en düşük MBK değerine sahip olup, bu bakteriye karşı güçlü bir antibakteriyel etkinlik sunmaktadır.



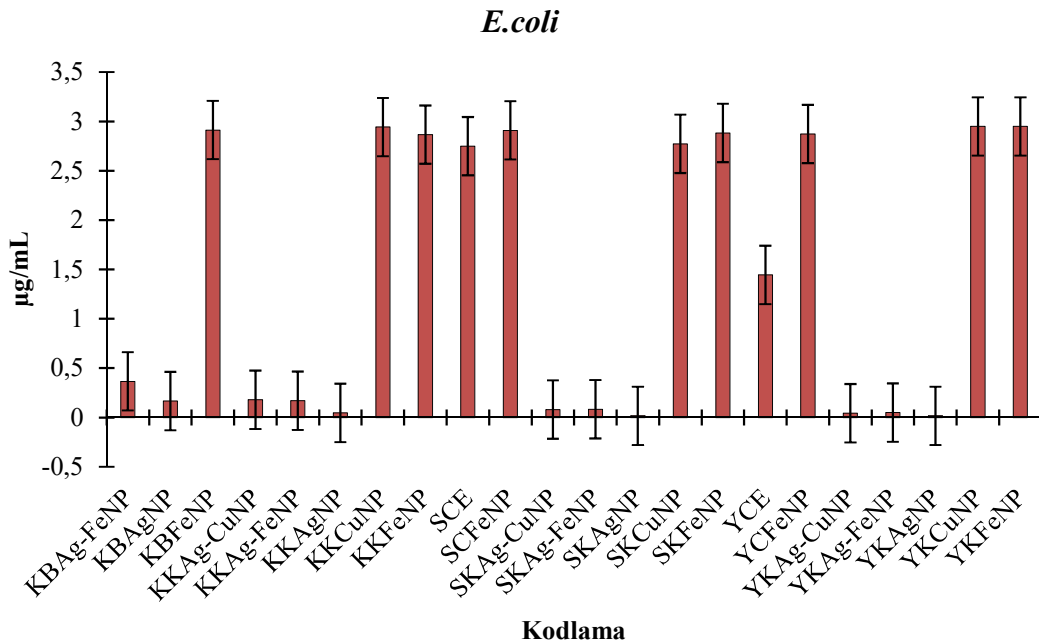
Şekil 35. MeNP ve ekstraktların *B. cereus* üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği

Bitkisel ekstraktlar, YCE: 1.46 µg/mL ve SCE: 2.80 µg/mL. YCE ve SCE, *B. cereus* üzerinde sınırlı etkili antibakteriyel özellikler sergilemektedir. Diğer nanopartiküller, YKCuNP, KBAgnP, KKAgnP, YCFEFeNP ve SCFeNP gibi diğer nanopartiküllerin MBK değerleri daha yüksektir (2.91 µg/mL ile 11.94 µg/mL arasında değişmektedir). Bu durum, bu NP'lerin *B. cereus* üzerindeki etkilerinin daha sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle KBAgnP ve SKFeNP, bu bakteri üzerinde daha az etkili görünmektedir. Metal nanopartiküller ve bitkisel ekstraktlar, *B. cereus* üzerinde

geniş bir antibakteriyel etki spektrumu sunmaktadır. Yapılan çalışma, belirli nanopartiküllerin bu patojen üzerinde yüksek etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle YKAgNP, SKAg-CuNP, ve KBAgNP gibi nanopartiküller, *B. cereus*'a karşı en düşük MBK değerlerine sahip olmalarıyla dikkat çekmektedir.

Karışım MeNP'ler SKAg-CuNP ve SKAg-FeNP, düşük MBK değerleri ile bu bakteriye karşı güçlü bir etki sağlamaktadır. YKAg-FeNP de etkili bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Karışım nanopartiküller, *B. cereus*'a karşı yüksek antibakteriyel etkinlik sunarak gıda güvenliği ve sağlık alanında önemli bir potansiyel taşımaktadır. Düşük MBK değerine sahip olan nanopartiküller, patojenlerle mücadelede daha etkili araçlar olarak değerlendirilmektedir.

E. coli'ye karşı metal nanopartiküller ve bitkisel ekstraktlar belirli antibakteriyel etkinlikler göstermektedir. MeNP'ler, KKFeNP: 2.91 $\mu\text{g/mL}$, YKCuNP: 2.95 $\mu\text{g/mL}$, YKFeNP: $\mu\text{g/mL}$, SCFeNP: 2.91 $\mu\text{g/mL}$, KBFeNP: 5.92 $\mu\text{g/mL}$, YKAg-FeNP: 5.89 $\mu\text{g/mL}$. Bu nanopartiküller, *E. coli* üzerinde belirli bir antibakteriyel etki göstermektedir. Ancak, MBK değerlerinin genel olarak yüksek olduğu gözlemlenmektedir. KKFeNP, YKCuNP ve YKFeNP, *E. coli* üzerinde en düşük MBK değerlerine sahip olup, bu nedenle daha etkili kabul edilmektedir. Diğer nanopartiküller ise daha yüksek MBK değerleri ile daha sınırlı etkinlik göstermektedir. MeNP ve ekstraktların, *E. coli* üzerindeki MBK konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36. MeNP ve ekstraktların *E. coli* üzerindeki MBK konsantrasyonları sütun grafiği

Bitkisel ekstraktlar, YCE: 1.45 µg/mL, SCE: 2.80 µg/mL. MeNP ve bitkisel ekstraktlar, *E. coli* üzerinde geniş bir antibakteriyel etki spektrumu sunmaktadır. Yapılan çalışma, özellikle YCE ve KKFeNP gibi belirli nanopartiküllerin bu patojen üzerinde yüksek etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ekstraktlar etkili olsa da MBK değerlerinin daha yüksek olması, bu ekstraktların etkinliklerinin daha sınırlı olabileceğini göstermektedir.

KBAg-FeNP, SKAg-CuNP, KKAğ-FeNP, SKAg-FeNP, KKAğ-CuNP, YKAğ-FeNP ve YKAğ-CuNP, *E. coli* üzerinde önemli antibakteriyel etkiler göstermektedir. SKAg-CuNP, 0.08 µg/mL ile en düşük MBK değerine sahip olup, *E. coli* üzerinde en etkili nanopartiküllerden biridir. SKAg-FeNP de sadece 0.01 µg/mL MBK değeri ile son derece etkili bir seçenek sunmaktadır.

Gümüş (Ag) ve bakır (Cu) nanopartikülleri, *E. coli* üzerinde çok düşük MBK değerlerine sahip olarak güçlü antibakteriyel etkiler göstermektedir. Özellikle SKAg-CuNP ve YKAğ-CuNP, *E. coli*'ye karşı en etkili nanopartiküllerdir. Demir (Fe) nanopartikülleri ise, daha yüksek MBK değerleri ile daha sınırlı bir etkinlik sergilemektedir.

Tahvilian vd. (2019) yaptıkları çalışma kapsamında yeşil sentez bakır NP'lerin seçili patojenlere karşı MBK değerlerini belirlemişlerdir. Sonuçlar, bakır NP'lerin, *S. typhimurium*, *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı her üç suş içinde 8 µg/mL'lik MBK değerlerine sahip olduklarını göstermiştir. Abdelhai vd. (2024) *Stevia rebaudiana* ekstraktı kullanarak sentezlemiş oldukları bakır NP'lerinin *B. cereus* ve *S. typhi*'ye karşı MBK değerlerini sırasıyla; 50 µg/mL ve 250 µg/mL olarak belirlemişlerdir. Tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar bu verilerle karşılaştırıldıklarında anlamlı bir şekilde daha düşük MBK değerleri tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada ise *Juglans regia*'nın yeşil yaprakları kullanılarak sentezlenen bakır NP'lerin *E. coli* ve *S. aureus*'a bakterisidal etki göstermemişlerdir (Ayadi Hassan vd., 2022).

3.4. Bakteriyel Büyümenin İnhibisyonu

Bakteriyel büyümenin inhibisyonu, bakterilerin üremesini ve çoğalmasını engelleme sürecidir. Bu süreç, sağlık, gıda güvenliği ve tarım gibi birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. Bakteriyel büyümenin kontrol altına alınması, enfeksiyonların önlenmesi ve tedavisi, gıda ürünlerinin raf ömrünün uzatılması ve bitki sağlığının korunması açısından kritik öneme sahiptir.

Bakteriyel büyümenin inhibisyonu çeşitli yöntemlerle sağlanır. Bunların başında antibiyotikler gelir. Antibiyotikler, bakterilerin hücre duvarı, protein sentezi veya DNA

replikasyonu gibi hayati işlevlerini hedef alarak onları etkisiz hale getirir. Örneğin, penisilin bakterilerin hücre duvarını hedef alırken, tetrasiklin protein sentezini engelleyebilir. Bununla birlikte, kimyasal antiseptikler ve dezenfektanlar da bakteriyel büyümeyi kontrol etmek için yaygın olarak kullanılır. Antiseptikler, yaralarda ve ciltte bakterileri öldürmek için kullanılırken, dezenfektanlar yüzeyleri sterilize etmek amacıyla kullanılır.

Fiziksel yöntemler de bakteriyel büyümenin inhibisyonunda önemli bir yer tutar. Isı, bakterileri öldürmek için etkili bir yöntemdir ve sterilizasyon işlemlerinde kullanılır. UV ışığı, bakterilerin DNA'sını hasarlayarak büyümelerini engellerken, filtrasyon işlemi, bakterilerden arındırılmış sıvı ve gazların elde edilmesini sağlar. Biyolojik yöntemler de önemli bir alternatiftir; örneğin, bakteriyofajlar, belirli bakterileri hedef alarak onların çoğalmasını inhibe edebilir.

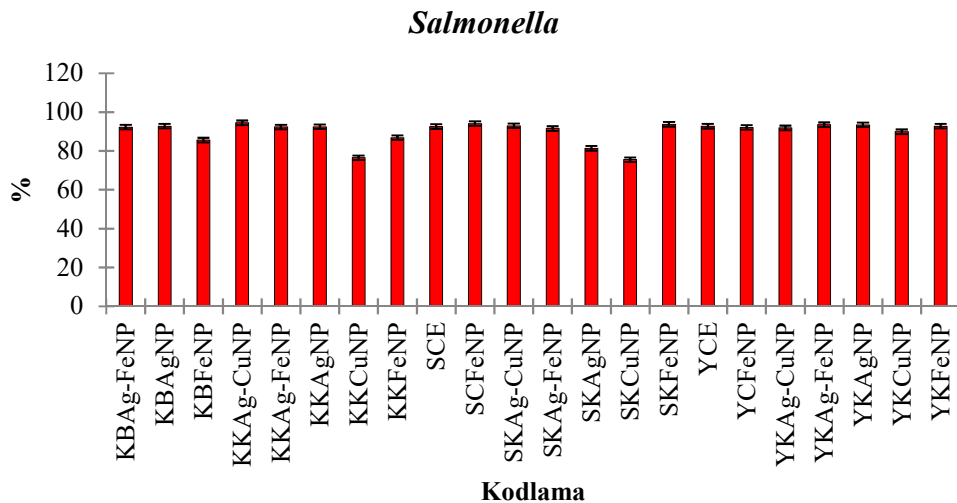
Bakteriyel büyümeyi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. pH düzeyi, bakterilerin büyümesi için uygun bir ortam sağlamak açısından kritik bir rol oynar. Her bakteri türünün optimum pH aralığı farklıdır ve bu aralığın dışına çıkıldığında büyümeleri engellenebilir. Benzer şekilde, sıcaklık da bakterilerin gelişimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir; bazı bakteriler düşük sıcaklıklarda büyümekte zorlanırken, diğerleri yüksek sıcaklıklarda hayatta kalamaz.

MeNP ve ekstraktların, *Salmonella* spp üzerindeki MBI konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 37' de verilmiştir. MeNP ve çay ekstraktları, *Salmonella* spp. üzerindeki etkileri bakımından dikkat çekici sonuçlar göstermektedir. Çalışmalar, özellikle gümüş-bakır (KKA_g-CuNP) ve gümüş-demir (KKA_g-FeNP) bazlı nanoparçacıklarının, *Salmonella* spp 'nın büyümesini inhibe etmede oldukça etkili olduğunu ortaya koymuştur. KKA_g-CuNP, % 94.48 oranıyla en yüksek inhibisyon etkisini gösterirken, KKA_g-FeNP ise % 92.31 oranıyla onu takip etmektedir. Bakteriyel büyümenin inhibisyonu analiz sonuçları (%) Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7. Bakteriyel büyümenin inhibisyonu analiz sonuçları (%)

Kodlama	<i>Salmonella</i>		<i>L. monocytogenes</i>		<i>E.coli</i> O157		<i>S. aureus</i>		<i>B. cereus</i>		<i>E. coli</i>	
KBAg-FeNP	92.28 ^{ef}	±2.25	93.71 ^d	±2.52	93.56 ⁱ	±2.64	85.11 ^{figh}	±2.49	91.07 ^{ghi}	±2.97	90.95 ^{hij}	±2.52
KBAgNP	92.77 ^{ef}	±1.55	90.58 ^{abcd}	±1.73	83.63 ^{ef}	±1.53	40.55 ^{ab}	±2.65	47.13 ^a	±2.09	62.82 ^a	±1.35
KBFeNP	85.59 ^c	±4.78	94.01 ^d	±2.52	59.37 ^{ab}	±2.00	55.77 ^{cd}	±2.04	69.19 ^d	±2.12	62.91 ^a	±2.65
KKA _g -CuNP	94.48 ^f	±2.99	93.68 ^d	±2.31	91.72 ^{hi}	±2.65	92.13 ^{ij}	±2.08	93.12 ^{hi}	±2.09	93.22 ^{ij}	±2.00
KKA _g -FeNP	92.31 ^{ef}	±1.46	90.50 ^{abcd}	±2.52	91.71 ^{hi}	±2.00	93.12 ^j	±3.06	89.59 ^{ghi}	±1.52	92.21 ^{ij}	±2.52
KKA _g NP	92.43 ^{ef}	±1.54	93.44 ^{cd}	±2.52	62.65 ^b	±2.00	42.20 ^b	±3.00	55.46 ^b	±1.52	81.54 ^{efgh}	±2.51
KKCuNP	76.47 ^a	±2.00	92.09 ^{abcd}	±2.08	81.65 ^{de}	±2.00	79.40 ^{ef}	±1.52	61.42 ^c	±2.08	83.07 ^{fghi}	±2.65
KKFeNP	86.85 ^{cd}	±3.70	93.09 ^{bcd}	±1.53	61.01 ^{ab}	±2.00	53.46 ^c	±2.05	54.83 ^b	±2.23	70.97 ^{abcd}	±1.53
SCE	92.53 ^{ef}	±1.96	93.87 ^d	±2.00	93.36 ⁱ	±2.00	88.85 ^{ghij}	±2.51	93.08 ^{hi}	±1.87	86.85 ^{ghij}	±3.05
SCFeNP	94.07 ^{ef}	±2.65	89.47 ^{abc}	±1.00	85.11 ^{efg}	±2.25	78.33 ^e	±1.97	83.72 ^f	±2.52	78.307 ^{defg}	±2.57
SKA _g -CuNP	92.92 ^{ef}	±1.46	92.81 ^{abcd}	±1.53	94.07 ⁱ	±2.00	94.17 ^j	±1.54	93.95 ⁱ	±2.07	95.70 ^j	±2.08
SKA _g -FeNP	91.51 ^{ef}	±1.07	89.30 ^{ab}	±1.53	88.65 ^{gh}	±1.52	85.89 ^{fghi}	±2.53	92.89 ^{ghi}	±3.08	92.21 ^{ij}	±2.98
SKA _g NP	81.34 ^b	±1.01	92.84 ^{abcd}	±1.53	84.21 ^{ef}	±2.52	60.82 ^d	±2.52	56.22 ^b	±1.55	72.75 ^{bcd}	±2.00
SKCuNP	75.51 ^a	±1.00	93.41 ^{cd}	±2.65	67.57 ^e	±2.00	91.21 ^{hij}	±2.02	56.44 ^b	±2.01	75.22 ^{bcd}	±1.99
SKFeNP	93.71 ^{ef}	±2.50	92.17 ^{abcd}	±2.65	58.08 ^a	±2.10	35.59 ^a	±2.52	43.57 ^a	±2.52	66.15 ^{ab}	±1.53
YCE	92.71 ^{ef}	±2.88	92.28 ^{abcd}	±1.73	85.83 ^{fg}	±2.56	85.00 ^{fgh}	±2.06	89.05 ^{gh}	±2.04	83.18 ^{fghi}	±2.10
YCFeNP	92.10 ^{ef}	±1.74	89.04 ^a	±2.00	84.57 ^{ef}	±1.53	82.34 ^{efg}	±2.06	83.78 ^f	±2.50	84.70 ^{fghij}	±2.51
YKA _g -CuNP	91.86 ^{ef}	±0.85	91.88 ^{abcd}	±1.53	93.08 ⁱ	±1.76	92.10 ^{ij}	±3.08	88.90 ^g	±1.49	89.20 ^{hij}	±3.05
YKA _g -FeNP	93.48 ^{ef}	±2.31	93.86 ^d	±2.01	90.45 ^{hi}	±2.64	92.32 ^{ij}	±3.01	88.90 ^g	±2.08	91.71 ^{ij}	±1.51
YKA _g NP	93.41 ^{ef}	±2.08	90.25 ^{abcd}	±2.08	78.35 ^d	±1.53	55.81 ^{cd}	±2.51	79.37 ^e	±2.15	76.30 ^{cdef}	±1.53
YKC _u NP	89.86 ^{de}	±1.53	93.06 ^{bcd}	±2.08	84.97 ^{efg}	±1.53	93.30 ^j	±2.52	90.57 ^{ghi}	±2.49	91.79 ^{ij}	±2.00
YKFeNP	92.77 ^{ef}	±1.55	93.83 ^d	±1.45	69.21 ^c	±2.00	57.48 ^{cd}	±1.53	54.26 ^b	±1.98	67.22 ^{abc}	±2.00

Tabloda bulunan aynı sütundaki farklı harfler ikili karşılaştırmada önemli istatistiksel farklılığı ifade etmektedir (p<0.05). n:3. Duncan testi uygulanmıştır.



Şekil 37. MeNP ve ekstraktların *Salmonella* spp üzerindeki MBI konsantrasyonları sütun grafiği

Bu yüksek oranlar, gümüş ve bakırın antibakteriyel özelliklerinin, bakteriyel hücre zarlarını etkileyerek *Salmonella* spp'nın çoğalmasını engellediğini göstermektedir.

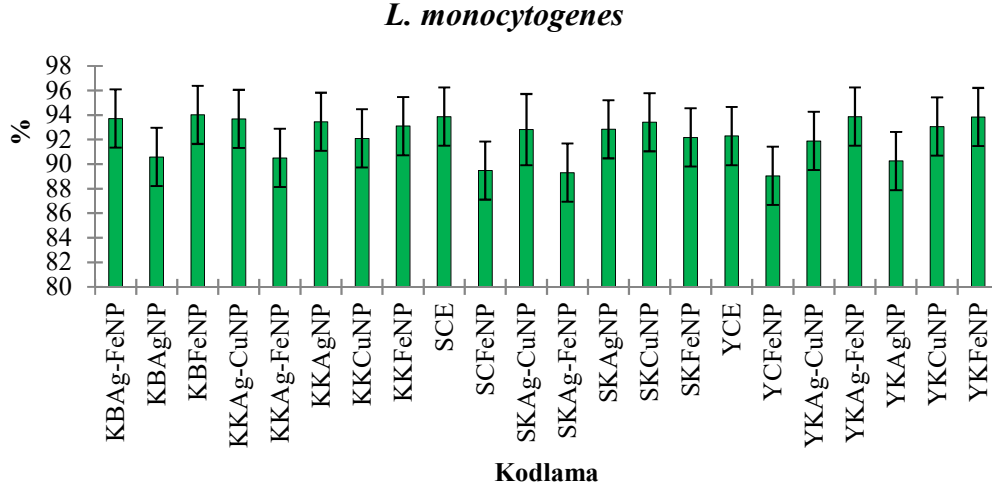
Diğer yandan, KBaAg-FeNP ve KKAgNP de benzer şekilde yüksek etkiler sergileyerek sırasıyla % 92.28 ve % 92.43 oranlarında inhibisyon sağlamaktadır. Bu durum, gümüş bazlı nanoparçacıkların, bakteriyel büyümeyi kontrol etmede etkili bir yöntem olarak kullanılabileceğini işaret etmektedir.

Qais ve Ahmad (2018) sentezlemiş oldukları gümüş NP'lerin 1/2xMİK değerlerinin *S. aureus* ve *Salmonella typhimurium*'a karşı anlamlı bir büyüme inhibisyonu göstermediklerini rapor etmişlerdir. Tez çalışmasında kullanılan gümüş NP'ler ise bu bakterilere karşı 1/2xMİK değerinde oldukça yüksek inhibisyon göstermişlerdir.

Bitkisel ekstraktlar arasında yer alan Siyah Çay Ekstraktı (SCE) ve Yeşil Çay Ekstraktı (YCE) da önemli inhibisyon etkileri göstermiştir. YCE % 92.71, SCE ise % 92.53 oranlarıyla *Salmonella* spp üzerinde etkili olmuştur. Yeşil çayın zengin antioksidan içeriği, özellikle epigallocatechin gallate (EGCG) gibi bileşenlerin varlığı, bakteriyel hücre zarlarını etkileyerek büyümeyi inhibe edebilir. Siyah çayın içerdiği flavonoid ve fenolik bileşikler de benzer şekilde *Salmonella* spp'nın çoğalmasını engelleyebilir.

Bu bulgular, MeNP ve çay ekstraktlarının birlikte kullanılarak, *Salmonella* spp gibi patojenlerin kontrolünde yenilikçi bir yaklaşım sunabileceğini göstermektedir. Özellikle yüksek inhibisyon oranlarına sahip nanoparçacıklar, geleneksel antibiyotiklere alternatif olarak değerlendirilebilir. Çay ekstraktları ise doğal yapıları sayesinde gıda güvenliği ve sağlık alanında potansiyel çözümler sunmaktadır.

MeNP ve ekstraktların, *L. monocytogenes* üzerindeki MBİ konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 38'de verilmiştir. KKAg-CuNP (gümüş-bakır nanoparçacıkları) da %93.68 oranıyla etkili bir inhibisyon sağlamaktadır. Gümüş ve bakır kombinasyonu, bakteriyel zarları hedef alarak *L. monocytogenes* 'in büyümesini inhibe edebilir. Bu durum, gümüş bazlı nanoparçacıkların geniş bir etki yelpazesine sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 38. MeNP ve ekstraktların *L. monocytogenes* üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği

Bu çalışmalar, MeNP ve doğal bitkisel ekstraktların, *Salmonella* spp üzerindeki etkileri açısından etkili birer seçenek olabileceğini ortaya koymaktadır. Nanoparçacıklar ve bitkisel ekstraktların kombinasyonu, antibakteriyel etkileri artırarak daha etkili bir çözüm sağlayabilir.

MeNP ve bitkisel ekstraktlar, *Listeria monocytogenes* üzerindeki inhibisyon etkileri açısından önemli bulgular sunmaktadır. Tablodaki verilere göre, KKAğ-FeNP (gümüş-demir nanoparçacıkları) %93.12 oranıyla en yüksek inhibisyon etkisini sergilemektedir. Bu yüksek oran, gümüş ve demirin sinerjik etkilerinin, bakteriyel hücrelerin büyümesini engellediğini göstermektedir. Gümüş, antibakteriyel özellikleri ile bilinirken, demir metabolizmasında kritik bir rol oynayarak bakterilerin gelişimini zorlaştırabilir.

Diğer metal nanoparçacıklar arasında KBAG-FeNP ve SKAğ-CuNP da dikkate değer etkiler göstermektedir. KBAG-FeNP, %94.01 oranıyla *L. monocytogenes*'i inhibe ederken, SKAğ-CuNP ise %92.81 oranına ulaşmıştır. Bu nanoparçacıkların, bakteriyel hücre yapısını bozma potansiyeli, *L. monocytogenes* 'in kontrolünde etkili bir strateji sunmaktadır.

YCE (Yeşil çay ekstraktı) ve SCE (Siyah çay ekstraktı) da önemli inhibisyon etkileri sergilemektedir. YCE, %92.28 oranıyla *L. monocytogenes* üzerinde etkili olurken, SCE %93.87 oranında inhibisyon sağlamaktadır. Yeşil çayın antioksidan ve antibakteriyel bileşenleri, bakteriyel hücre zarlarını hedef alarak büyümeyi inhibe edebilir. Siyah çaydaki polifenoller ve flavonoidler ise *L. monocytogenes* 'in çoğalmasını engelleyerek, gıda güvenliği açısından önemli bir rol oynamaktadır.

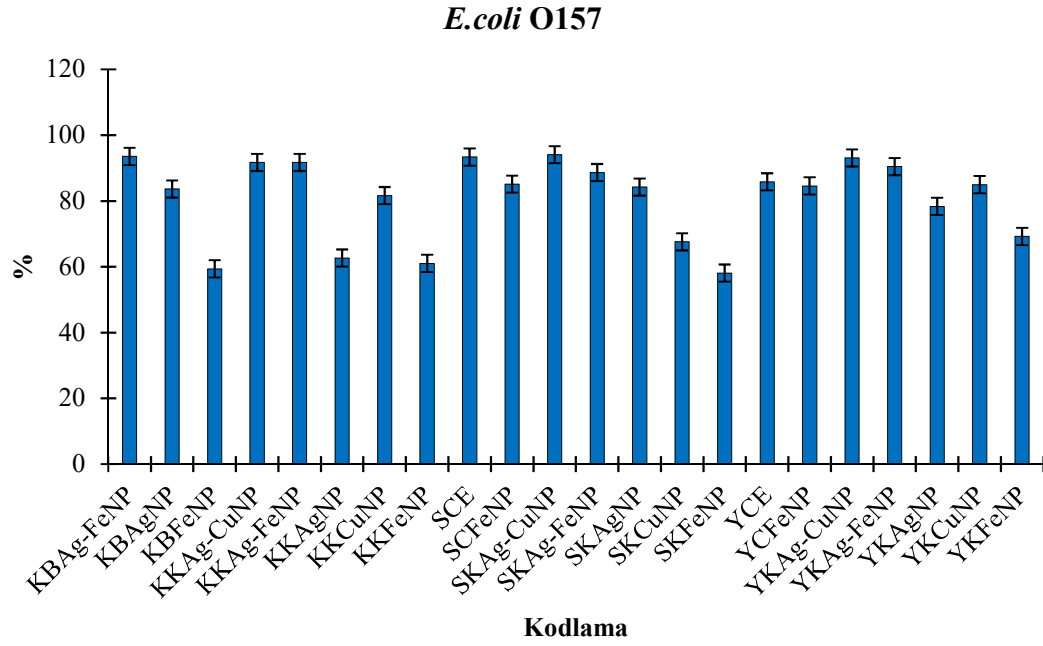
Bu bulgular hem MeNP hem de bitkisel ekstraktların *L. monocytogenes* üzerindeki etkilerini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Özellikle gümüş bazlı nanoparçacıklar ve çay ekstraktlarının kombinasyonu, *L. monocytogenes* gibi patojenlerin kontrolü için etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Bu tür yenilikçi yöntemler, gıda güvenliği ve sağlık alanında potansiyel çözümler sağlayabilir.

MeNP ve bitkisel ekstraktlar, *E. coli* O157 üzerindeki inhibisyon etkileri açısından oldukça ilginç sonuçlar sunmaktadır. Tabloya göre, SKAg-CuNP (gümüş-bakır nanoparçacıkları) bu patojene karşı en yüksek etkili formülasyon olarak %94.07 oranında bir inhibisyon göstermektedir. Gümüş ve bakırın sinerjik etkisi, bakteriyel hücrelerin yaşam süreçlerini olumsuz yönde etkileyerek büyümelerini önemli ölçüde baskılar. Gümüş, bakteriyel zarları hedef alarak hücre ölümüne yol açarken, bakır da antibakteriyel özellikleriyle bu etkiyi pekiştirir.

Diğer MeNP arasında KKAg-CuNP ve KKAg-FeNP de önemli inhibisyon oranlarıyla dikkat çekmektedir. KKAg-CuNP, %91.72 oranıyla etkili bir inhibisyon sağlarken, KKAg-FeNP %91.71 oranıyla onu takip etmektedir. Bu nanoparçacıkların, bakteriyel hücrelerin metabolizmasını hedef alarak *E. coli* O157'nin büyümesini engellediği görülmektedir.

KBAgNP (gümüş nanoparçacıkları) ise %83.63 oranıyla daha düşük bir inhibisyon göstermektedir. Bu durum, gümüş nanoparçacıklarının etkisinin, diğer metal kombinasyonlarına göre daha sınırlı olabileceğini göstermektedir. Yine de gümüşün antibakteriyel özellikleri nedeniyle, belirli koşullar altında etkili olabileceği unutulmamalıdır. MeNP ve ekstraktların, *E. coli* O157 üzerindeki MBI konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 39'da verilmiştir.

Shehabeldine vd. (2023) yaptıkları çalışmada yeşil yöntemle sentezlemiş oldukları bakır NP'lerin 1/2xMİK değerlerinin *B. cereus*, *S. aureus* ve *E. coli*'ye karşı göstermiş oldukları inhibisyonun %50'nin altında olduğunu rapor etmişlerdir. Bu kapsamda tez çalışmasında kullanılan bakır ve bakır karışımli NP'lerin aynı patojenlere karşı inhibisyonlarının çok daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 39. MeNP ve ekstraktların *E. coli* O157 üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği

Bitkisel ekstraktlar açısından bakıldığında, YCE %85.83 oranıyla *E. coli* O157 üzerinde anlamlı bir inhibisyon etkisi gösterirken, SCE %78.31 oranında etkili olmaktadır. Yeşil çayın içerdiği polifenoller, antibakteriyel etki sağlayarak bakteriyel hücre zarlarını hedef alabilirken, siyah çaydaki flavonoidlerin varlığı da benzer şekilde *E. coli* O157'nin büyümesini engelleyebilir.

Elde edilen bulgular hem MeNP hem de bitkisel ekstraktların *E. coli* O157 üzerindeki inhibisyon etkilerini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Özellikle gümüş ve bakır bazlı nanoparçacıkların, bu patojenin kontrolünde potansiyel olarak etkili bir yöntem olabileceği anlaşılmaktadır. Gümüşün antibakteriyel özellikleri, bakteriyel hücre zarlarını hedef alarak zararlı mikroorganizmaların büyümesini engelleme konusunda oldukça etkilidir. Bakır ise ek bir sinerji sağlayarak, bakterilerin yaşam süreçlerini daha da zayıflatmaktadır. Bu durum, MeNP'lerin gıda ürünlerinde ve sağlık uygulamalarında kullanılabileceğini gösteriyor.

Aynı zamanda, çay ekstraktlarının da doğal bir çözüm sunduğu görülmektedir. Yeşil çay ve siyah çayın içerdiği polifenoller ve flavonoidler, doğal antibakteriyel bileşikler olarak öne çıkmakta ve *E. coli* O157'nin gelişimini inhibe etmektedir. Bu bitkisel ekstraktlar, insan sağlığına zararı olmayan, biyolojik olarak uyumlu alternatifler sunarak, gıda güvenliği açısından önemli bir potansiyele sahip olabilir.

Birlikte değerlendirildiğinde, MeNP ve bitkisel ekstraktlar, bakteriyel kontaminasyonun önlenmesi ve gıda güvenliğinin artırılması konusunda yenilikçi ve etkili yaklaşımlar sunmaktadır. Bu tür yenilikçi yöntemlerin geliştirilmesi, gıda endüstrisinde hijyen standartlarını yükseltebilir ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel riskleri azaltabilir. Sonuç olarak, hem MeNP'lerin hem de bitkisel ekstraktların entegrasyonu, gelecekte gıda güvenliği ve sağlık alanında önemli çözümler sağlayabilir.

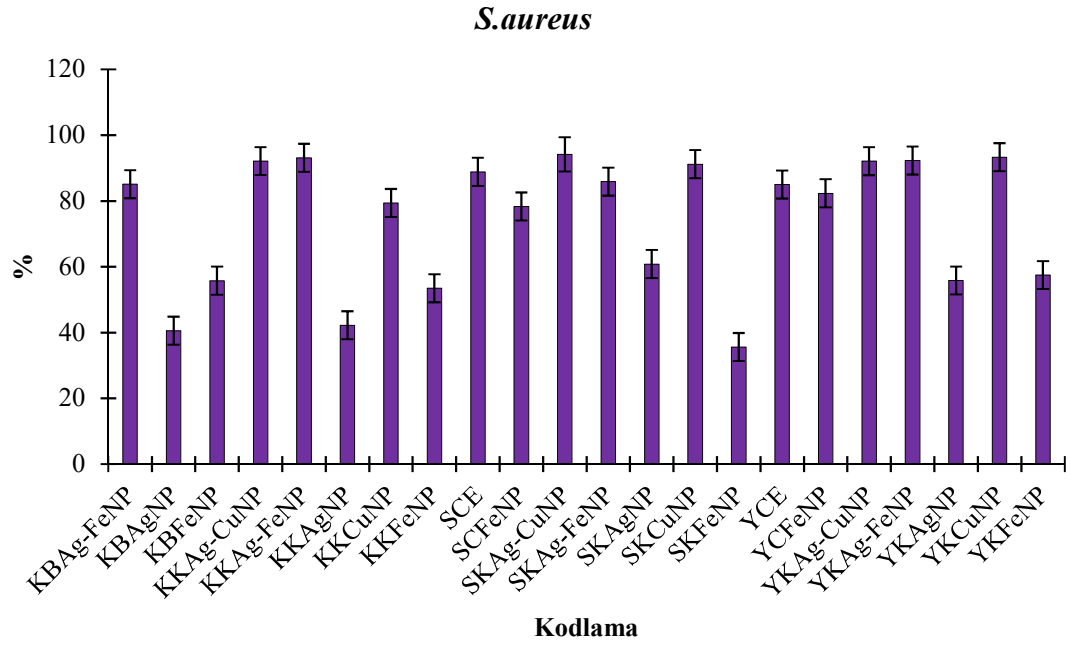
Metal nanopartiküller (MeNP) ve bitkisel ekstraktlar, *Staphylococcus aureus* üzerindeki etkileriyle ilgili önemli bulgular sunmaktadır. Tablo verilerine göre, KKAğ-CuNP (gümüş-bakır nanoparçacıkları), bu patojene karşı %94.17 oranıyla en yüksek inhibisyon etkisini göstermektedir. Gümüş ve bakırın sinerjik birleşimi, bakterinin hücresel yapısını bozarak büyümesini önemli ölçüde engellemektedir. Gümüş, güçlü antibakteriyel özellikleri sayesinde hücre zarlarını hedef alarak bakterilerin yaşam döngüsünü sona erdirirken, bakır da bu etkiyi destekleyici bir rol üstlenmektedir.

Ayrıca, KKAğ-FeNP ve KKAğNP nanoparçacıkları da kayda değer inhibisyon oranlarıyla dikkat çekmektedir; KKAğ-FeNP %93.12, KKAğNP ise %92.21 oranında *S. aureus* üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu metal kombinasyonları, bakteriyel metabolizmayı olumsuz etkileyerek enfeksiyonun yayılmasını engelleme potansiyeline sahiptir.

Diğer yandan, KBAğNP (gümüş nanoparçacıkları) %40.55 oranında daha düşük bir inhibisyon göstermektedir. Bu durum, gümüşün tek başına kullanımının sınırlı etkilerini ortaya koymakla birlikte, belirli koşullarda faydalı olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bitkisel ekstraktlar da *S. aureus* üzerindeki inhibisyon etkilerini destekleyen önemli bileşenlerdir. YCE %85.00 oranıyla etkili bir inhibisyon sağlarken, SCE %82.34 oranında etki göstermektedir. Yeşil çayın içerdiği polifenoller, bakteriyel hücre zarlarını etkileyerek büyümeyi engellerken, siyah çaydaki flavonoidler de benzer bir mekanizmayla bakterilerin çoğalmasını inhibe etmektedir.

Bu bulgular, MeNP ve bitkisel ekstraktların *S. aureus* üzerindeki etkilerini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Gümüş ve bakır bazlı nanoparçacıkların, bakteriyel enfeksiyonların kontrolünde etkili bir strateji sunduğu görülmektedir. Gümüşün bilinen antibakteriyel özellikleri ile bakırın bakteriyel büyümeyi inhibe edici etkileri, bu iki metalin bir arada kullanımının sağladığı sinerjik faydalarla birleşmektedir. Bu durum, gıda ve sağlık alanlarında enfeksiyonları önlemek için yeni ve etkili yöntemler geliştirilmesine olanak tanımaktadır. MeNP ve ekstraktların, *S. aureus* üzerindeki MBI konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 40' da verilmiştir.



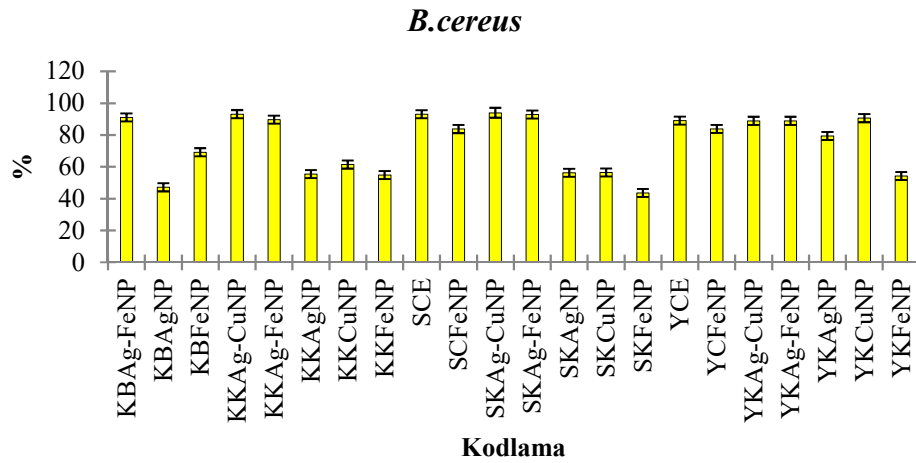
Şekil 40. MeNP ve ekstraktların *S. aureus* üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği

Aynı zamanda, çay ekstraktları, doğal kaynaklı bileşikler olarak hem antibakteriyel hem de antioksidan özellikleri ile dikkat çekmektedir. YCE ve SCE'nin *S. aureus* üzerindeki etkileri, bu bitkisel ekstraktların potansiyelini ortaya koymaktadır. Polifenol ve flavonoid içerikleri, doğal bir çözüm sunarak antibiyotiklere karşı artan direnç sorununa alternatif oluşturabilir. Böylece, doğal bileşenler kullanarak bakteriyel enfeksiyonların önlenmesi ve kontrolü konusunda güvenli bir yaklaşım benimsenebilir.

Bu tür yenilikçi yöntemler, gıda güvenliği ve halk sağlığı alanında önemli ilerlemeler sağlama potansiyeline sahiptir. MeNP ve bitkisel ekstraktların kombinasyonu, gıda ürünlerinde hijyen standartlarını artırarak bakteriyel kontaminasyon riskini azaltabilir. Ayrıca, bu yaklaşımlar gıda endüstrisinde maliyet etkin çözümler sunarak ürün kalitesini de artırabilir. Gelecekte bu araştırmaların genişletilmesi, hem laboratuvar hem de endüstriyel ölçeklerde daha fazla uygulama ve geliştirme fırsatları yaratabilir, böylece toplumsal sağlık açısından da önemli katkılar sağlayabilir.

Tablo verilerine göre, *B. cereus* üzerindeki inhibisyon oranları incelendiğinde, KKAğ-CuNP (gümüş-bakır nanoparçacıkları) %93.12 oranıyla en yüksek inhibisyon etkisini göstermektedir. Bu sonuç, gümüş ve bakırın sinerjik etkisinin, bakteriyel hücre zarlarını hedef alarak *B. cereus*'un büyümesini engellediğini göstermektedir. Gümüşün antibakteriyel özellikleri, hücre ölümünü hızlandırırken, bakırın da bakteriyel metabolizmayı bozma etkisi bu kombinasyonu daha da güçlendirmektedir.

KKAg-FeNP (gümüş-demir nanoparçacıkları) ise %69.19 oranında etkili bir inhibisyon sağlamakta, bu da demirin belirli koşullarda bakteriyel büyümeyi destekleyici rolü olabileceğini düşündürmektedir. KBAgNP (gümüş nanoparçacıkları) ise %47.13 oranıyla daha düşük bir inhibisyon göstermektedir. Bu, gümüşün tek başına kullanımının sınırlı etkilerini ortaya koyarken, yine de belirli şartlarda faydalı olabileceğini göstermektedir. MeNP ve ekstraktların, *B. cereus* üzerindeki MBİ konsantrasyonlarına ait grafik Şekil 41’ de verilmiştir.



Şekil 41. MeNP ve ekstraktların *B. cereus* üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği

Bitkisel ekstraktlar açısından, YCE (Yeşil Çay Ekstraktı) %89.05 oranıyla *B. cereus* üzerinde anlamlı bir inhibisyon etkisi gösterirken, SCE (Siyah Çay Ekstraktı) %83.72 oranında etkili olmaktadır. Yeşil çayın içerdiği polifenoller, bakteriyel hücre zarlarını etkileyerek büyümeyi engellerken, siyah çaydaki flavonoidler de benzer bir mekanizma ile bakterilerin çoğalmasını inhibe etmektedir.

Bu sayısal veriler, metal nanoparçacıkların ve bitkisel ekstraktların *B. cereus* üzerindeki etkilerini daha net bir şekilde ortaya koymaktadır. KKAg-CuNP’nin %93.12’lik inhibisyon oranı, gıda güvenliği alanında önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu tür nanoparçacıkların kullanımı, gıda ürünlerinde bakteri kontaminasyonunu azaltarak, gıda güvenliğini artırma potansiyeline sahiptir.

YCE ve SCE’nin sırasıyla %89.05 ve %83.72 oranlarındaki inhibisyon etkileri, doğal kaynaklı çözümlerin de etkili olabileceğini göstermektedir. Bu, gıda endüstrisinde geleneksel koruyucu maddelerin yerine doğal ve güvenli alternatifler kullanılmasını sağlayabilir. Böylece, hem bakteriyel enfeksiyonların önlenmesi hem de halk sağlığının korunması açısından sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

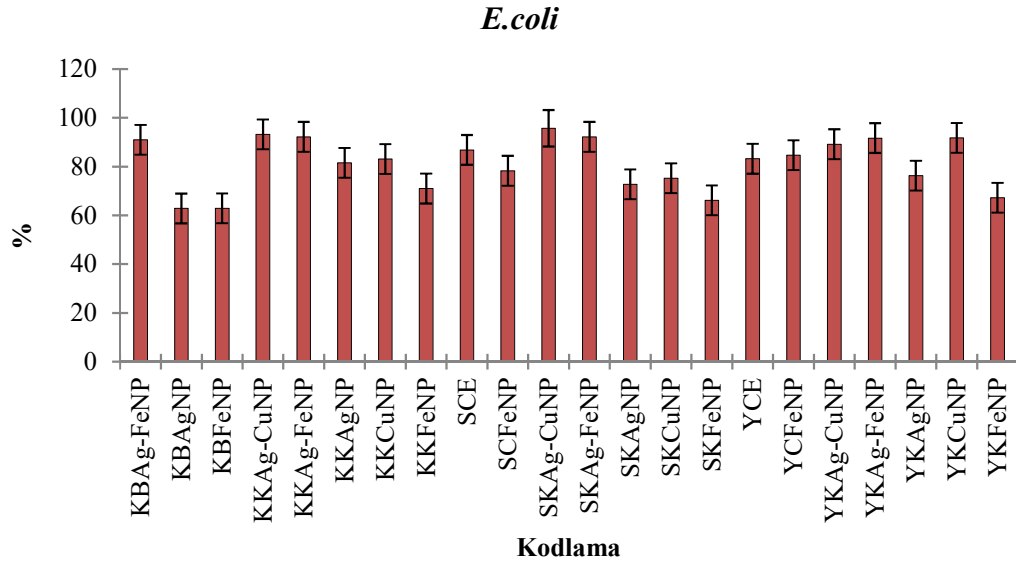
Sonuç olarak, *B. cereus* üzerindeki metal nanoparçacıkların ve bitkisel ekstraktların etkileri, hem sayısal değerlerle desteklenen hem de çok yönlü bir bakış açısıyla ele alındığında, gıda güvenliği ve halk sağlığı açısından önemli bulgular sunmaktadır. Bu bulgular, gelecekteki araştırmalar ve endüstriyel uygulamalar için değerli bir temel oluşturabilir.

E. coli, özellikle gıda kaynaklı enfeksiyonların başlıca etkenlerinden biri olarak bilinir. MeNP, bu patojeni kontrol altına almak için önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir. Gümüş (Ag) ve bakır (Cu) bazlı nanoparçacıkların, bakteriyel hücre zarlarını hedef alarak, hücre içi bileşenleri bozan ve sonuç olarak hücre ölümüne neden olan etkileri dikkat çekmektedir. Örneğin, KKA_g-CuNP'nin %94.07'lik inhibisyon oranı, bu sinerjik etkiyi açıkça ortaya koymaktadır. Gümüş, hücre zarı üzerinde güçlü bir zararlı etki yaratırken, bakırın sağladığı ek antibakteriyel etki bu durumu pekiştirmektedir.

Bu kombinasyonun yanı sıra, KKA_g-FeNP ve KKA_gNP gibi diğer MeNP' de belirgin inhibisyon oranlarıyla (sırasıyla %91.71 ve %91.72) dikkat çekmektedir. Bu durum, gümüş ve demirin bakteriyel metabolizmayı etkileyici ve büyümeyi engelleyici etkilerini bir araya getirerek, *E. coli*'nin gelişimini önleme potansiyelini vurgulamaktadır.

Bitkisel ekstraktlar da *E. coli* üzerindeki etkileriyle önemli bir rol oynamaktadır. YCE, %85.83 oranıyla anlamlı bir inhibisyon gösterirken, SCE %78.31 oranında etkili olmaktadır. Yeşil çayın zengin polifenol içeriği, bakteriyel hücre zarlarını hedef alarak, hücresel işlevleri bozarak büyümeyi engeller. Bu mekanizma, *E. coli*'nin çoğalmasını inhibe ederken, aynı zamanda doğal bir antioksidan kaynağı olarak da fayda sağlamaktadır.

Siyah çaydaki flavonoidler ise benzer bir antibakteriyel etki göstererek, bu patojenin büyümesini engellemekte ve dolayısıyla gıda güvenliği açısından önemli bir alternatif sunmaktadır. Her iki çay da, potansiyel olarak kimyasal koruyucuların yerine geçebilecek doğal çözümler olarak değerlendirilebilir.



Şekil 42. MeNP ve ekstraktların *E. coli* üzerindeki MBİ konsantrasyonları sütun grafiği

Bu bulgular hem metal nanoparçacıklarının hem de bitkisel ekstraktların *E. coli* üzerindeki etkilerini geniş bir çerçevede ele almamıza olanak tanımaktadır. Örneğin, metal nanoparçacıklarının gıda ambalajlarında kullanılması, gıda güvenliğini artırabilirken, bitkisel ekstraktların da doğal koruyucu olarak kullanılma potansiyeli mevcuttur. Bu yaklaşım, gıda ürünlerinde hem antibakteriyel koruma sağlar hem de tüketici sağlığına katkıda bulunur.

Sonuç olarak, *E. coli* üzerindeki MeNP ve bitkisel ekstraktların etkileri, antibakteriyel stratejiler açısından geniş bir perspektif sunmaktadır. Nanoparçacıkların güçlü sinerjik etkileri ile bitkisel ekstraktların doğal koruyucu özellikleri bir araya geldiğinde, gıda güvenliğini artıran ve halk sağlığını koruyan etkili çözümler geliştirmek mümkün olacaktır. Bu durum, özellikle gıda endüstrisinde yenilikçi uygulamalar için zemin hazırlamaktadır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Nanoparçacıklara olan ilgi, farklı alanlardaki kullanım potansiyelleri hakkında merak uyandırmaktadır. Gıda endüstrisi de bu alandaki çalışmaları takip etmektedir. Yeşil sentez yoluyla elde edilen nanoparçacıkların daha sağlıklı, daha ekonomik ve doğa dostu olmaları nedeniyle gıda güvenliğinde kullanılabilecekleri düşünülmektedir.

- Yapılan analizler, metal nanoparçacıkların gıda güvenliğini tehdit eden patojen mikroorganizmalara karşı etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle gümüş nanoparçacıkları (AgNP) ve gümüş ile diğer metallerin nanoparçacık kombinasyonları, tüm analizlerde yüksek antibakteriyel etki göstermiştir.
- Disk difüzyon yönteminde, tetrasiklin antibiyotiği ile nanoparçacıkların sağladığı inhibisyon zonları karşılaştırılmıştır. Tüm mikroorganizmalar üzerinde tetrasiklin antibiyotiği en büyük inhibisyon zonlarını oluşturmuş olsa da, nanoparçacıklar da önemli derecede etkili olmuştur. Uygun nanoparçacık türü ve dozajı seçildiğinde, nanoparçacıklar antibiyotiğe benzer inhibisyon zonları oluşturmuştur. Yeşil çay ekstraktı, AgNP'ler gibi güçlü antibakteriyel etki gösterirken, siyah çay ekstraktı yalnızca *E. coli* üzerinde etkili olmuştur. Antibiyotiklerin kontrolsüz kullanımı sonucu ortaya çıkan antibiyotik direnci sorunu için alternatif maddelerin araştırılması önemlidir.
- Minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK) analizinde, mikroorganizma gelişimini engellemek için gereken en düşük tetrasiklin ve nanoparçacık konsantrasyonları bulunmuştur. Beklendiği gibi, tüm mikroorganizmalarda en düşük MİK değeri tetrasiklin için görülmüştür. FeNP ve CuNP'lerin mikroorganizma gelişimini engellemesi için daha yüksek konsantrasyonlar kullanılması gerektiği tespit edilmiştir.
- Minimum bakterisidal konsantrasyon (MBK) analizinde, bakteriyi öldürmek için gereken minimum konsantrasyon bulunmuştur. MBK değerinin düşük olması, nanoparçacığın güçlü bir antimikrobiyal etkinliğe sahip olduğunu gösterir.
- Bakteriyel büyüme inhibisyonu analizinde de, AgNP'lerin diğer analizlerle uyumlu şekilde en etkili olduğu görülmüştür. Yeşil çay ve siyah çay ekstraktlarının, bakteriyel büyümeyi önleyen önemli ajanlar oldukları tespit edilmiştir. Şu anda nanoparçacıkların gıda endüstrisinde yaygın kullanımı bulunmamakla birlikte, yeşil ve siyah çay ekstraktları güvenle kullanılabilecek ajanlardır.
- Nanoparçacıklar, farklı patojenler üzerinde farklı etkiler göstermiştir. Bu farklılığın, nanoparçacığın türü, yüzeyi, yükü ve boyutuyla ilgili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, gıda türüne göre tehlike yaratan patojenler de değişmektedir. Çalışmada elde

edilen veriler ışığında, hedef bakteriye uygun nanoparçacık türü seçilip, uygun konsantrasyona hazırlanabilir.

- Metal nanoparçacıklar antimikrobiyal ajan olma potansiyeline sahipken, insan sağlığı üzerindeki uzun dönem etkileri hala bilinmemektedir. Nanoparçacıklar, gıdadaki patojenleri hedefleseler de insan hücreleriyle de etkileşim gösterebilirler. Ancak bu konuda yapılan çalışmalar yetersizdir. Nanoparçacıkların gıda endüstrisinde kullanımı için toksikolojik çalışmalar tamamlanmalı ve insan sağlığı üzerindeki uzun dönem etkileri incelenmelidir.

- Gıda katkı maddeleri için uluslararası kuruluşlar tarafından standartlar oluşturulmuştur. Gıda katkı maddeleriyle kıyaslandığında, nanoparçacıklar çok düşük miktarlarda bile yüksek etki gösterebilmektedir. Nanoparçacıklar için de bilimsel çalışmalar yapılarak, hangi gıdalarda hangi limitlerde kullanılabileceği ve insanlar için kabul edilebilir günlük alım miktarı gibi standartların oluşturulması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdelhai, M. F., Shabaan, R. H., Kamal, N. M., Elemery, E. A., Abd-Elhalim, B. T. ve Hassan, E. A. (2024). Copper nanoparticles biosynthesis by *Stevia rebaudiana* extract: biocompatibility and antimicrobial application. *AMB Express*, 14(1), 59.
- Abu-Reida, I. M., Jamous, R. M. ve Ali-Shtayeh, M. S. (2014). Phytochemistry, pharmacological properties and industrial applications of *Rhus coriaria* L.(Sumac). *Jordan Journal of Biological Sciences*, 147(1573), 1-12.
- Ahire, S. A., Bachhav, A. A., Pawar, T. B., Jagdale, B. S., Patil, A. V. ve Koli, P. B. (2022). The Augmentation of nanotechnology era: A concise review on fundamental concepts of nanotechnology and applications in material science and technology. *Results in Chemistry*, 4, 100633.
- Ahmadi, S., Fazilati, M., Nazem, H. ve Mousavi, S. M. (2021). Green synthesis of magnetic nanoparticles using *Satureja hortensis* essential oil toward superior antibacterial/fungal and anticancer performance. *BioMed Research International*, 2021(1), 8822645.
- Ahmed, D., Khan, M. M. ve Saeed, R. (2015). Comparative Analysis of Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant and Antibacterial Potential of Methanolic, Hexanic and Aqueous Extracts from *Adiantum caudatum* Leaves, *Antioxidants*, 4(2), 394-409.
- Akasaka, S. ve Yamamoto, K. (1994). Mutagenesis resulting from DNA damage by lipid peroxidation in the supF gene of *Escherichia coli*. *Mutation Research/DNA Repair*, 315(2), 105-112.
- Akbari, B., Baghaei-Yazdi, N., Bahmaie, M. ve Mahdavi Abhari, F. (2022). The role of plant-derived natural antioxidants in reduction of oxidative stress. *BioFactors*, 48(3), 611-633.
- Akter, M., Sikder, M. T., Rahman, M. M., Ullah, A. A., Hossain, K. F. B., Banik, S., vd. (2018). A systematic review on silver nanoparticles-induced cytotoxicity: Physicochemical properties and perspectives. *Journal of advanced research*, 9, 1-16.
- Alao, I. I., Oyekunle, I. P., Iwuozor, K. O. ve Emenike, E. C. (2022). Green synthesis of copper nanoparticles and investigation of its anti-microbial properties. *Advanced Journal of Chemistry-Section B*, 4(1), 39-52.

- Al-Karagoly, H., Rhyaf, A., Naji, H., Albukhaty, S., AlMalki, F. A., Alyamani, A. A., ... Aloufi, S. (2022). Green synthesis, characterization, cytotoxicity, and antimicrobial activity of iron oxide nanoparticles using *Nigella sativa* seed extract. *Green Processing and Synthesis*, 11(1), 254-265.
- Allafchian, A. R., Mirahmadi-Zare, S. Z., Jalali, S. A. H., Hashemi, S. S. ve Vahabi, M. R. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles using phlomis leaf extract and investigation of their antibacterial activity. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 6, 129-135.
- Allaker, R. ve Memarzadeh, K. (2014). Nanoparticles and the control of oral infections. *Int. J. Antimicrob. Agents.*, 43(2):95-104.
- Alli, B. (2018). *Sumak Ekşisinden Elde Edilen Malik Asit Kalsiyum Kompleksinin Yapısal Karakterizasyonu Ve Retina Hücresinde Hidrojen Peroksit İle Oluşturulan Hücre Hasarında Koruyucu Rolünün Araştırılma, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye*
- Amutha, S. ve Sridhar, S. (2018). Green synthesis of magnetic iron oxide nanoparticle using leaves of *Glycosmis mauritiana* and their antibacterial activity against human pathogens. *Journal of Innovations in Pharmaceutical and Biological Sciences*, 5(2), 22-26.
- Anandalakshmi, K., Venugobal, J. ve Ramasamy, V. J. A. N. (2016). Characterization of silver nanoparticles by green synthesis method using *Pedaliium murex* leaf extract and their antibacterial activity. *Applied nanoscience*, 6, 399-408.
- Anastas, P. T. ve Warner, J. C. (2000). *Green chemistry: theory and practice*: Oxford university press.
- Anonymous, 2019a. Report on The Food Crisis, Fraud in The Food Chain and The Control <https://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=REPORT&reference=A720130434&veformat=PDF&language=EN>
- Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B. ve Özyurt, D. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12(7), 1496-1547.
- Ashurst, P. R. (2016). Fruit juices. In *Food Flavours* (pp. 87-114). Boston, MA: Springer US.
- Aversa, R., Petrescu, R. V., Apicella, A. ve Petrescu, F. I. (2016). One can slow down the aging through antioxidants. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(4), 1112-1126.

- Ayadi Hassan, S., Ghadam, P. ve Abdi Ali, A. (2022). One step green synthesis of Cu nanoparticles by the aqueous extract of *Juglans regia* green husk: assessing its physicochemical, environmental and biological activities. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 45(3), 605-618.
- Aykas, D.P., Sinir, G.O. ve Borba, K.R (2023). Determination of quality traits and possible adulteration of molasses using FT-IR spectroscopy: A study from Turkish market. *J Food Chemistry*, 427, 136727, 1-10.
- Baig, N., Kammakakam, I. ve Falath, W. (2021). Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials advances*, 2(6), 1821-1871.
- Baltacı, C. ve Aksit, Z. (2016). Validation of HPLC method for the determination of 5-hydroxymethylfurfural in Pestil, Kome, Jam, Marmalade and Pekmez. *Hittite J Sci Eng*, 3(2):91–97
- Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M. ve Rizzolio, F. (2019). The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 112.
- Begmatova, D., Eshkuvatov, H., Abdullayev, N., Xodjayeva, N., Suvonova, O. ve Ishtayev, J. (2024). Use of educational technologies in teaching the basics of nanophysics, nanomaterials and nanotechnologies. *Results in Optics*, 100717.
- Bensy, A. D., Christobel, G. J., Muthusamy, K., Alfarhan, A. ve Anantharaman, P. (2022). Green synthesis of iron nanoparticles from *Ulva lactuca* and bactericidal activity against enteropathogens. *Journal of King Saud University-Science*, 34(3), 101888.
- Bourzac, K. (2013). Quantum dots go on display. *Nature*, 493(7432), 283.
- Bumbudsanpharoke, N. ve Ko, S. (2015). Nano-food packaging: an overview of market, migration research, and safety regulations. *Journal of Food Science*, 80(5), R910-R923.
- Buzby, J. C. ve Roberts, T. (2009). The economics of enteric infections: human foodborne disease costs. *Gastroenterology*, 136(6), 1851-1862.
- Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., vd. (2008). Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food additives and contaminants*, 25(3), 241-258.
- Chen, S. ve Carroll, D. L. (2002). Synthesis and characterization of truncated triangular silver nanoplates. *Nano letters*, 2(9), 1003-1007.

- Chen, X. X., Cheng, B., Yang, Y. X., Cao, A., Liu, J. H., Du, L. J., vd. (2013). Characterization and preliminary toxicity assay of nano-titanium dioxide additive in sugar-coated chewing gum. *Small*, 9(9-10), 1765-1774.
- Chung, Y. H., Cai, H. ve Steinmetz, N. F. (2020). Viral nanoparticles for drug delivery, imaging, immunotherapy, and theranostic applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 156, 214-235.
- Cooper, D. R., D'Anjou, B., Ghattamaneni, N., Harack, B., Hilke, M., Horth, A., vd. (2012). Experimental review of graphene. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 501686.
- da Silva, B. L., Caetano, B. L., Chiari-Andréo, B. G., Pietro, R. C. L. R. ve Chiavacci, L. A. (2019). Increased antibacterial activity of ZnO nanoparticles: Influence of size and surface modification. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 177, 440-447.
- Dağ, İ. (2018). Farklı biyolojik örnekler geçirimli elektron mikroskop için nasıl hazırlanır? *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(1), 27-32.
- Dahl, J. A., Maddux, B. L. ve Hutchison, J. E. (2007). Toward greener nanosynthesis. *Chemical reviews*, 107(6), 2228-2269.
- Dakal, T. C., Kumar, A., Majumdar, R. S. ve Yadav, V. (2016). Mechanistic basis of antimicrobial actions of silver nanoparticles. *Frontiers in microbiology*, 7, 1831.
- Das, M., Saxena, N. ve Dwivedi, P. D. (2009). Emerging trends of nanoparticles application in food technology: Safety paradigms. *Nanotoxicology*, 3(1), 10-18.
- Devanesan, S., Ponmurugan, K., AlSalhi, M. S. ve Al-Dhabi, N. A. (2020). Cytotoxic and antimicrobial efficacy of silver nanoparticles synthesized using a traditional phytoproduct, asafoetida gum. *International Journal of Nanomedicine*, 4351-4362.
- Dikme, R. ve Padak, M. (2022). Nanoteknoloji ve sağlık. *Sağlık & bilim*, 21.
- Echegoyen, Y. ve Nerín, C. (2013). Nanoparticle release from nano-silver antimicrobial food containers. *Food and chemical toxicology*, 62, 16-22.
- Erkoç, Ş. (2007). *Nanobilim ve nanoteknoloji*.
- Fanfair, D., Desai, S. ve Kelty, C. (2007). The early history of nanotechnology. *Connexions*, 6, 1-15.
- Freestone, I., Meeks, N., Sax, M. ve Higgitt, C. (2007). The Lycurgus cup—a roman nanotechnology. *Gold bulletin*, 40, 270-277.
- Gaminda, K. A. P., Thomas, I. B. K., Lakmauri, P., Abeysinghe, T., Jayasinghe, C. ve Senthilnithy, R. (2024). Green synthesis of iron nanoparticles using *Syzygium aromaticum* extracts and their applications: Nitrate removal, malachite green

- degradation and antibacterial activity. *Environmental Nanotechnology, Monitoring ve Management*, 21, 100925.
- Girma, A. (2023). Alternative mechanisms of action of metallic nanoparticles to mitigate the global spread of antibiotic-resistant bacteria. *The Cell Surface*, 10, 100112.
- Graveland-Bikker, J. ve De Kruif, C. (2006). Unique milk protein based nanotubes: food and nanotechnology meet. *Trends in Food Science & Technology*, 17(5), 196-203.
- Griffin, S., Masood, M. I., Nasim, M. J., Sarfraz, M., Ebokaiwe, A. P., Schäfer, K.-H., vd. (2017). Natural nanoparticles: a particular matter inspired by nature. *Antioxidants*, 7(1), 3.
- Gulbagca, F., Ozdemir, S., Gulcan, M. ve Sen, F. (2019). Synthesis and characterization of *Rosa canina*-mediated biogenic silver nanoparticles for anti-oxidant, antibacterial, antifungal, and DNA cleavage activities. *Heliyon*, 5(12).
- Hajipour, M. J., Fromm, K. M., Ashkarran, A. A., de Aberasturi, D. J., de Larramendi, I. R., Rojo, T., vd. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in biotechnology*, 30(10), 499-511.
- Harshiny, M., Matheswaran, M., Arthanareeswaran, G., Kumaran, S. ve Rajasree, S. (2015). Enhancement of antibacterial properties of silver nanoparticles–ceftriaxone conjugate through *Mukia maderaspatana* leaf extract mediated synthesis. *Ecotoxicology and environmental safety*, 121, 135-141.
- Hegemann, J. D., Birkelbach, J., Walesch, S. ve Müller, R. (2023). Current developments in antibiotic discovery: Global microbial diversity as a source for evolutionary optimized anti-bacterials. *EMBO reports*, 24(1), e56184.
- Heiligttag, F. J. ve Niederberger, M. (2013). The fascinating world of nanoparticle research. *Materials today*, 16(7-8), 262-271.
- Hemmati, S., Rashtiani, A., Zangeneh, M. M., Mohammadi, P., Zangeneh, A. ve Veisi, H. (2019). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Fritillaria* flower extract and their antibacterial activity against some human pathogens. *Polyhedron*, 158, 8-14.
- Hulla, J., Sahu, S. C. ve Hayes, A. W. (2015). Nanotechnology: History and future. *Human & experimental toxicology*, 34(12), 1318-1321.
- Iravani, S. (2011). Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green chemistry*, 13(10), 2638-2650.
- Jana, S. and Pal, T. (2007). Synthesis, characterization and catalytic application of silver nanoshell coated functionalized polystyrene beads. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 7, 2151–2156. doi: 10.1166/jnn.2007.785

- Jaworski, S., Wierzbicki, M., Sawosz, E., Jung, A., Gielerak, G., Biernat, J., vd. (2018). Graphene oxide-based nanocomposites decorated with silver nanoparticles as an antibacterial agent. *Nanoscale research letters*, 13, 1-17.
- Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y. S., Dufresne, A. ve Danquah, M. K. (2018). Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. *Beilstein journal of nanotechnology*, 9(1), 1050-1074.
- Juárez-Cisneros, G., Gómez-Romero, M., de la Cruz, H. R., Campos-García, J. ve Villegas, J. (2020). Multi-walled carbon nanotubes produced after forest fires improve germination and development of *Eysenhardtia polystachya*. *PeerJ*, 8, e8634.
- Kanagasubbulakshmi, S. ve Kadirvelu, K. J. D. L. S. J. (2017). Green synthesis of iron oxide nanoparticles using *Lagenaria siceraria* and evaluation of its antimicrobial activity. *Defence Life Science Journal*, 2(4), 422-427.
- Kausar, A. ve Ahmad, I. (2024). Highpoints of carbon nanotube nanocomposite sensors—A review. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 100419.
- Küp, F. Ö., Çoşkunçay, S. ve Duman, F. (2020). Biosynthesis of silver nanoparticles using leaf extract of *Aesculus hippocastanum* (horse chestnut): Evaluation of their antibacterial, antioxidant and drug release system activities. *Materials Science and Engineering: C*, 107, 110207.
- Li, H. ve Xu, H. (2024). Mechanisms of bacterial resistance to environmental silver and antimicrobial strategies for silver: A review. *Environmental Research*, 118313.
- Li, Z., Ma, J., Ruan, J. ve Zhuang, X. (2019). Using positively charged magnetic nanoparticles to capture bacteria at ultralow concentration. *Nanoscale research letters*, 14, 1-8.
- Lima, A. L., Gratieri, T., Cunha-Filho, M. ve Gelfuso, G. M. (2022). Polymeric nanocapsules: A review on design and production methods for pharmaceutical purpose. *Methods*, 199, 54-66.
- Liu, Y.-j., He, L.-l., Mustapha, A., Li, H., Hu, Z. ve Lin, M.-s. (2009). Antibacterial activities of zinc oxide nanoparticles against *Escherichia coli* O157: H7. *Journal of applied microbiology*, 107(4), 1193-1201.
- Loeschner, K., Hadrup, N., Qvortrup, K., Larsen, A., Gao, X., Vogel, U., vd. (2011). Distribution of silver in rats following 28 days of repeated oral exposure to silver nanoparticles or silver acetate. *Particle and fibre toxicology*, 8, 1-14.

- Lokina, S., Stephen, A., Kaviyarasan, V., Arulvasu, C. ve Narayanan, V. (2014). Cytotoxicity and antimicrobial activities of green synthesized silver nanoparticles. *European journal of medicinal chemistry*, 76, 256-263.
- Loo, Y. Y., Rukayadi, Y., Nor-Khaizura, M. A. R., Kuan, C. H., Chieng, B. W., Nishibuchi, M. ve Radu, S. (2018). In vitro antimicrobial activity of green synthesized silver nanoparticles against selected gram-negative foodborne pathogens. *Frontiers in microbiology*, 9, 1555.
- Lu, A.H., Salabas, E.L. ve Schüth, F. (2007). Magnetic nanoparticles: Synthesis, protection, functionalization, and application. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 46, 1222–1244.
- Madubuonu, N., Aisida, S. O., Ahmad, I., Botha, S., Zhao, T. K., Maaza, M. ve Ezema, F. I. (2020). Bio-inspired iron oxide nanoparticles using *Psidium guajava* aqueous extract for antibacterial activity. *Applied Physics A*, 126, 1-8.
- Malarkodi, C., Rajeshkumar, S., Paulkumar, K., Gnanajobitha, G., Vanaja, M. and Annadurai, G. (2013). Biosynthesis of semiconductor nanoparticles by using sulfur reducing bacteria *Serratia nematodiphila*. *Adv. Nano. Res.* 1, 83–91. doi: 10.12989/anr.2013.1.2.083
- Maness, P.-C., Smolinski, S., Blake, D. M., Huang, Z., Wolfrum, E. J. ve Jacoby, W. A. (1999). Bactericidal activity of photocatalytic TiO₂ reaction: toward an understanding of its killing mechanism. *Applied and environmental microbiology*, 65(9), 4094-4098.
- Manosalva, N., Tortella, G., Cristina Diez, M., Schalchli, H., Seabra, A. B., Durán, N. ve Rubilar, O. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles: effect of synthesis reaction parameters on antimicrobial activity. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35, 1-9.
- Manzoor, U., Siddique, S., Ahmed, R., Noreen, Z., Bokhari, H. ve Ahmad, I. (2016). Antibacterial, structural and optical characterization of mechano-chemically prepared ZnO nanoparticles. *PLoS One*, 11(5), e0154704.
- Mathesh, A., Mohanprasanth, A. ve Saravanan, M. (2024). Synthesis and characterization of Spirulina-mediated titanium dioxide nanoparticles: Antimicrobial activity against multidrug-resistant bacteria. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 39, 101225.
- McClements, D. J. ve Xiao, H. (2017). Is nano safe in foods? Establishing the factors impacting the gastrointestinal fate and toxicity of organic and inorganic food-grade nanoparticles. *npj Science of Food*, 1(1), 6.

- Miri, A., Sarani, M., Bazaz, M. R. ve Darroudi, M. (2015). Plant-mediated biosynthesis of silver nanoparticles using *Prosopis farcta* extract and its antibacterial properties. *Spectrochimica acta part a: molecular and biomolecular spectroscopy*, 141, 287-291.
- Mirza, A. U., Kareem, A., Nami, S. A., Khan, M. S., Rehman, S., Bhat, S. A., ... Nishat, N. (2018). Biogenic synthesis of iron oxide nanoparticles using *Agrewia optiva* and *Prunus persica* phyto species: Characterization, antibacterial and antioxidant activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 185, 262-274.
- Mohammed, A. ve Abdullah, A. (2018). *Scanning electron microscopy (SEM): A review*. Paper presented at the Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Băile Govora, Romania.
- Mohanta, Y. K., Panda, S. K., Bastia, A. K. ve Mohanta, T. K. (2017). Biosynthesis of silver nanoparticles from *Protium serratum* and investigation of their potential impacts on food safety and control. *Frontiers in microbiology*, 8, 626.
- Mohanta, Y. K., Panda, S. K., Biswas, K., Tamang, A., Bandyopadhyay, J., De, D., ... Bastia, A. K. (2016). Biogenic synthesis of silver nanoparticles from *Cassia fistula* (Linn.): In vitro assessment of their antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities. *IET nanobiotechnology*, 10(6), 438-444.
- Morones, J.; Elechiguerra, J. ve Camacho, A. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology.*, 16, 2346-53.
- Murei, A., Pillay, K., Govender, P., Thovhogi, N., Gitari, W. M. ve Samie, A. (2021). Synthesis, characterization and in vitro antibacterial evaluation of *Pyrenacantha grandiflora* conjugated silver nanoparticles. *Nanomaterials*, 11(6), 1568.
- Nagaraja, K., Almutairi, T. M. ve Oh, T. H. (2024). Green Synthesis of Iron Nanoparticles Using Strychnos Potatorium Polysaccharide Through in situ Bio-Reduction Approach; and Their Antimicrobial Activity. *Journal of Cluster Science*, 1-13.
- Pan, C., Gaur, A. P., Lynn, M., Olson, M. P., Ouyang, G. ve Cui, J. (2022). Enhanced electrical conductivity in graphene–copper multilayer composite. *AIP Advances*, 12(1).
- Patra, J. K., Ali, M. S., Oh, I. G. ve Baek, K. H. (2017). Proteasome inhibitory, antioxidant, and synergistic antibacterial and anticandidal activity of green biosynthesized magnetic Fe₃O₄ nanoparticles using the aqueous extract of corn (*Zea mays* L.) ear leaves. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 45(2), 349-356.

- Portugal, J., Bedia, C., Amato, F., Juárez-Facio, A. T., Stamatiou, R., Lazou, A., vd. (2024). Toxicity of airborne nanoparticles: Facts and challenges. *Environment international*, 108889.
- Prasad, R. D., Prasad, S. R., Shrivastav, O. P., Kanthe, A., Waghmare, S., Shaikh, V. S., vd. (2023). Biogenic synthesis of nano-silver and their anti-microbial efficacy. *ES Food & Agroforestry*, 11, 836.
- Qais, F. A. ve Ahmad, I. (2018). Broad-spectrum inhibitory effect of green synthesised silver nanoparticles from *Withania somnifera* (L.) on microbial growth, biofilm and respiration: a putative mechanistic approach. *Iet Nanobiotechnology*, 12(3), 325.
- Rai, M. K., Deshmukh, S. D., Ingle, A. P. ve Gade, A. K. (2012). Silver nanoparticles: the powerful nanoweapon against multidrug-resistant bacteria. *J. Appl. Microbiol.* 112, 841–852. doi: 10.1111/j.1365-2672.2012.05253.x
- Rai, M., Yadav, A. ve Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology advances*, 27(1), 76-83.
- Rajesh, K. M., Ajitha, B., Reddy, Y. A. K., Suneetha, Y. ve Reddy, P. S. (2018). Assisted green synthesis of copper nanoparticles using *Syzygium aromaticum* bud extract: Physical, optical and antimicrobial properties. *Optik*, 154, 593-600.
- Ramos, C. G., Oliveira, M. L. S., Pena, M. F., Cantillo, A. M., Ayarza, L. P. L., Korchagin, J., vd. (2021). Nanoparticles generated during volcanic rock exploitation: An overview. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106441.
- Raza, S., Ansari, A., Siddiqui, N. N., Ibrahim, F., Abro, M. I. ve Aman, A. (2021). Biosynthesis of silver nanoparticles for the fabrication of non cytotoxic and antibacterial metallic polymer based nanocomposite system. *Scientific Reports*, 11(1), 10500.
- Rogers, M. A. (2016). Naturally occurring nanoparticles in food. *Current Opinion in Food Science*, 7, 14-19.
- Rolim, W. R., Pelegriño, M. T., de Araújo Lima, B., Ferraz, L. S., Costa, F. N., Bernardes, J. S., ... Seabra, A. B. (2019). Green tea extract mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles: Characterization, cytotoxicity evaluation and antibacterial activity. *Applied Surface Science*, 463, 66-74.
- Ruparelia, J. P., Chatterjee, A. K., Duttagupta, S. P. ve Mukherji, S. (2008). Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles. *Acta biomaterialia*, 4(3), 707-716.

- Schiavo, L., Cammarano, A., Carotenuto, G., Longo, A., Palomba, M. ve Nicolais, L. (2024). An overview of the advanced nanomaterials science. *Inorganica Chimica Acta*, 559, 121802.
- Sekhon, B. S. (2010). Food nanotechnology—an overview. *Nanotechnology, science and applications*, 1-15.
- Shah, S. T., Yehye, W. A., Saad, O., Simarani, K., Chowdhury, Z. Z., Alhadi, A. A. ve Al-Ani, L. A. (2017). Surface functionalization of iron oxide nanoparticles with gallic acid as potential antioxidant and antimicrobial agents. *Nanomaterials*, 7(10), 306.
- Shaheen, I., Khalil, A., Shaheen, R. ve Tahir, M. B. (2023). A review on nanomaterials: Types, synthesis, characterization techniques, properties and applications. *Innovation in Science and Technology*, 2(1), 56-62.
- Shehabeldine, A. M., Amin, B. H., Hagrass, F. A., Ramadan, A. A., Kamel, M. R., Ahmed, M. A., ... Salem, S. S. (2023). Potential antimicrobial and antibiofilm properties of copper oxide nanoparticles: time-kill kinetic essay and ultrastructure of pathogenic bacterial cells. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 195(1), 467-485.
- Siddiqi, K. S., ur Rahman, A., Tajuddin, n. ve Husen, A. (2018). Properties of zinc oxide nanoparticles and their activity against microbes. *Nanoscale research letters*, 13, 1-13.
- Sistemática, D., Gabriela, S. S., Daniela, F. R. ve Helia, B. T. (2016). Copper nanoparticles as potential antimicrobial agent in disinfecting root canals. A systematic review. *Int. J. Odontostomat*, 10(3), 547-554.
- Stiufiuc, R., Iacovita, C., Lucaciu, C. M., Stiufiuc, G., Dutu, A. G., Braescu, C., vd. (2013). SERS active silver colloids prepared by reduction of silver nitrate with short-chain polyethylene glycol. *Nanoscale Res. Lett.* 8:47. doi: 10.1186/1556-276X-8-47.
- Tahvilian, R., Zangeneh, M. M., Falahi, H., Sadrjavadi, K., Jalalvand, A. R. ve Zangeneh, A. (2019). Green synthesis and chemical characterization of copper nanoparticles using *Allium saralicum* leaves and assessment of their cytotoxicity, antioxidant, antimicrobial, and cutaneous wound healing properties. *Applied organometallic chemistry*, 33(12), e5234.

- Tayel, A. A., EL-TRAS, W. F., Moussa, S., EL-BAZ, A. F., Mahrous, H., Salem, M. F., vd. (2011). Antibacterial action of zinc oxide nanoparticles against foodborne pathogens. *Journal of Food Safety*, 31(2), 211-218.
- Tian, J., Wong, K. K., Ho, C. M., Lok, C. N., Yu, W. Y., Che, C. M., vd. (2007). Topical delivery of silver nanoparticles promotes wound healing. *Chem. Med. Chem.* 2, 129–136. doi: 10.1002/cmdc.200600171.
- Ul-Hamid, A. (2018). *A beginners' guide to scanning electron microscopy* (Vol. 1): Springer.
- Van Dijk, W. D., Gopal, S. ve Scheepers, P. T. (2011). Nanoparticles in cigarette smoke; real-time undiluted measurements by a scanning mobility particle sizer. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 399, 3573-3578.
- Vaudagna, M. V., Aiassa, V., Marcotti, A., Beti, M. F. P., Constantín, M. F., Pérez, M. F., vd. (2023). Titanium Dioxide Nanoparticles in sunscreens and skin photo-damage. Development, synthesis and characterization of a novel biocompatible alternative based on their in vitro and in vivo study. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 15, 100173.
- Velmurugan, P., Anbalagan, K., Manosathyadevan, M., Lee, K.-J., Cho, M., Lee, S.-M., vd. (2014). Green synthesis of silver and gold nanoparticles using Zingiber officinale root extract and antibacterial activity of silver nanoparticles against food pathogens. *Bioprocess and biosystems engineering*, 37, 1935-1943.
- Wins, J. A., Manickam, M., Thirumagal, J., Jagannathan, S., Tomar, N. ve Arul, K. (2021). A Comprehensive Study on Engineered Nanomaterials and its Applications. *Design Engineering*, 8456-8481.
- Wu, W., Xiao, X., Zhang, S., Ren, F. ve Jiang, C. (2011). Facile method to synthesize magnetic iron oxides/TiO₂ hybrid nanoparticles and their photodegradation application of methylene blue. *Nanoscale research letters*, 6, 1-15.
- Yin, I. X., Zhang, J., Zhao, I. S., Mei, M. L., Li, Q. ve Chu, C. H. (2020). The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *International journal of nanomedicine*, 2555-2562.
- Zangeneh, A., Zangeneh, M. M. ve Moradi, R. (2020). Ethnomedicinal plant-extract-assisted green synthesis of iron nanoparticles using *Allium saralicum* extract, and their antioxidant, cytotoxicity, antibacterial, antifungal and cutaneous wound-healing activities. *Applied Organometallic Chemistry*, 34(1), e5247.

- Ze, Y., Zheng, L., Zhao, X., Gui, S., Sang, X., Su, J., vd. (2013). Molecular mechanism of titanium dioxide nanoparticles-induced oxidative injury in the brain of mice. *Chemosphere*, 92(9), 1183-1189.
- Zhang, L., Chen, F., An, H., Yang, H., Sun, X., Guo, X., vd. (2008). Physicochemical properties, firmness, and nanostructures of sodium carbonate-soluble pectin of 2 Chinese cherry cultivars at 2 ripening stages. *Journal of Food Science*, 73(6), N17-N22.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 2012 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'ne kayıt oldu. 2017 yılında mezun oldu. 2020 yılından beri Trabzon Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü'nde çalışmaya devam etmektedir. Halen devam etmekte olan Yüksek Lisans öğrenimine 2022 yılında Gümüşhane Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde başladı.

