



Derleme
10.34108/eujhs.1814521

Künye:
Cilt: 35(1)
Yıl: 2026
Sayfa: 190-198

 Feyza Nur ALTAN^a
 Zeynep Aslı GÜÇLÜ^{b*}

^aArş. Gör., Erciyes Üniversitesi,
fnuraltan@gmail.com

^bDoç. Dr., Erciyes Üniversitesi,
zasliozkaya@gmail.com

*Sorumlu Yazar

Geliş Tarihi: 31/10/2025
Kabul Tarihi: 24/02/2026

Atıf:

Altan, FN, Güçlü, ZA, Gümüş
Nanopartikülle Modifiye Edilmiş
Geleneksel Cam İyonomer
Simanların Antimikrobiyal Etkinliği:
Sistemik Derleme. *Sağlık Bilimleri
Dergisi*, 2026; 35(1) :190-198.
[https://doi.org/10.34108/eujhs.
1814521](https://doi.org/10.34108/eujhs.1814521)

Gümüş Nanopartikülle Modifiye Edilmiş Geleneksel Cam İyonomer Simanların Antimikrobiyal Etkinliği: Sistemik Derleme

Öz

Nanoteknolojinin diş hekimliğine entegrasyonu yeni bir dönemi başlatmıştır. Nanopartiküllerin eklenmesiyle dental malzemelerin daha üstün özelliklere kavuşmasını hedefleyen çalışmalar yapılmaktadır. Ancak henüz nanopartiküllerin etki mekanizması ve malzemeye etkisi tam olarak ortaya konulmamıştır. Bu sistemik derlemenin amacı, geleneksel cam iyonomer simanlara gümüş nanopartikül ilavesinin antimikrobiyal performans etkisini nanopartikül konsantrasyonu, morfolojisi ve boyutuna bağlı olarak değerlendirmektir. 2015–2025 yılları arasında PubMed, Scopus ve Web of Science veri tabanlarında yayımlanmış çalışmalar taranmıştır. Dahil edilen çalışmalar gümüş nanopartikül içeren geleneksel cam iyonomer simanların mikroorganizmalar üzerindeki inhibisyon etkisini inceleyen *in vitro* araştırmaları kapsamaktadır. Çalışmaların büyük çoğunluğunda, antimikrobiyal etkinliğin konsantrasyon ile doğru orantılı olduğu, ancak düşük ilave oranlarının dahi yüksek antimikrobiyal etki oluşturduğu belirlenmiştir. Ayrıca küçük boyutlu ve homojen dağılmış nanopartiküllerin, kümelenmiş veya düzensiz partiküllere kıyasla daha güçlü antimikrobiyal etki gösterdiği saptanmıştır. Klinik uygulamalara yönelik optimal oranların belirlenebilmesi için sitotoksikite ve uzun dönem çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Antimikrobiyal aktivite, geleneksel cam iyonomer siman, gümüş nanopartikül, sistemik derleme.



Antimicrobial Efficacy of Silver Nanoparticle- Modified Conventional Glass Ionomer Cements: A Systematic Review

Abstract

The integration of nanotechnology into dentistry has initiated a new era in dental materials research. Numerous studies have aimed to enhance the properties of dental materials through the incorporation of nanoparticles; however, the underlying mechanisms of action and their effects on material performance have not yet been fully elucidated. The aim of this systematic review was to evaluate the effect of silver nanoparticle incorporation into conventional glass ionomer cements on antimicrobial performance, with particular emphasis on nanoparticle concentration, morphology, and size. Studies published between 2015 and 2025 were systematically searched in the PubMed, Scopus, and Web of Science databases. Eligible studies included experimental and *in vitro* investigations assessing the inhibitory effects of silver nanoparticle-modified conventional glass ionomer cements against microorganisms. The majority of the included studies reported that antimicrobial efficacy was positively correlated with nanoparticle concentration; however, even low incorporation levels were found to yield substantial antimicrobial effects. In addition, smaller and



Except where otherwise noted, content
in this article is licensed under a
Creative Commons 4.0 International
license. Icons by Font Awesome.

homogeneously dispersed nanoparticles demonstrated stronger antimicrobial activity compared with aggregated or irregularly distributed particles. Further studies addressing cytotoxicity and long-term outcomes are required to determine optimal incorporation ratios for clinical applications.

Keywords: Antimicrobial activity, conventional glass ionomer cement, silver nanoparticles, systematic review



Giriş

Dünya genelinde en yaygın kronik hastalıklardan olan diş çürüğü, *Streptococcus mutans* (*S. mutans*) ve diğer karyojenik mikroorganizmaların biyofilm oluşturma yeteneği ile yakından ilişkilidir.¹⁻³ Geleneksel cam iyonomer simanlar (CİS), diş yapısına kimyasal olarak bağlanabilmeleri, flor salınımı, nemden etkilenmemesi ve biyouyumluluk gibi avantajları sayesinde diş hekimliğinde sıklıkla tercih edilmektedir.⁴⁻¹¹ Ancak, bu malzemelerin sınırlı antimikrobiyal etkisi ve bakteri tutulumuna yatkın yüzey özellikleri, sekonder çürük oluşumu ve restorasyon ömrünün kısalması gibi klinik sorunlara yol açabilmektedir.¹²⁻¹⁶

Son yıllarda nanoteknoloji temelli modifikasyonlar, bu sınırlılıkları gidermek amacıyla yoğun şekilde araştırılmaktadır.^{17,18} Gümüş nanopartiküller (AgNP), geniş spektrumlu antimikrobiyal etkinlikleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Gümüş nanopartiküllerin bakteriyel hücre duvarına bağlanarak geçirgenliği bozması, gümüş iyonu (Ag⁺) salınımı ile protein ve deoksiribonükleik asit yapısına zarar vermesi ve reaktif oksijen ürünleri üretimini artırması gibi çok yönlü etki mekanizmaları bulunmaktadır.¹⁹⁻²¹

Geleneksel CİS'e AgNP ilavesi, malzemenin antimikrobiyal özelliklerini güçlendirme açısından umut verici bir strateji olarak görülmektedir.²² Bununla birlikte, etkinin büyüklüğü kullanılan nanopartikülün konsantrasyonu, boyutu, şekli ve CİS matrisi içindeki dağılımına bağlı olarak değişmektedir.²³⁻²⁵ Bu nedenle, mevcut literatürün sistematik olarak değerlendirilmesi; farklı konsantrasyonlardaki AgNP ilavesinin geleneksel CİS'lerin antimikrobiyal etkinliği üzerindeki etkilerini ortaya koymak açısından önemlidir. Bu derlemede, son on yılda yayımlanan çalışmalar analiz edilerek AgNP modifikasyonunun CİS'lerin bakteriyel inhibisyon potansiyeline etkisi, konsantrasyon bağımlı davranışı ve olası sınırları tartışılmaktadır.

Gereç ve Yöntem

Çalışma Tasarımı

Bu çalışma, PRISMA (Sistematik İncelemeler ve Meta Analizler için Tercih Edilen Raporlama Ögeleri) yönergelerine uygun olarak planlanmış sistematik bir derlemedir.²⁶

Veri Tabanı Taraması

Literatür taraması, 30 Ekim 2025 tarihinde PubMed, Scopus ve Web of Science veri tabanlarında 1 Ocak 2015 ile 31 Ekim 2025 tarihleri arasında yayımlanan çalışmalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Arama stratejisi şu şekilde yapılandırılmıştır: ("silver nanoparticles" or "AgNP") and ("glass ionomer cement" or "GIC") and ("antibacterial" or "antimicrobial"). Ek olarak, referans zinciri yöntemiyle konuya ilişkin diğer potansiyel makaleler de taranmıştır.²⁷

Dahil Etme Kriterleri

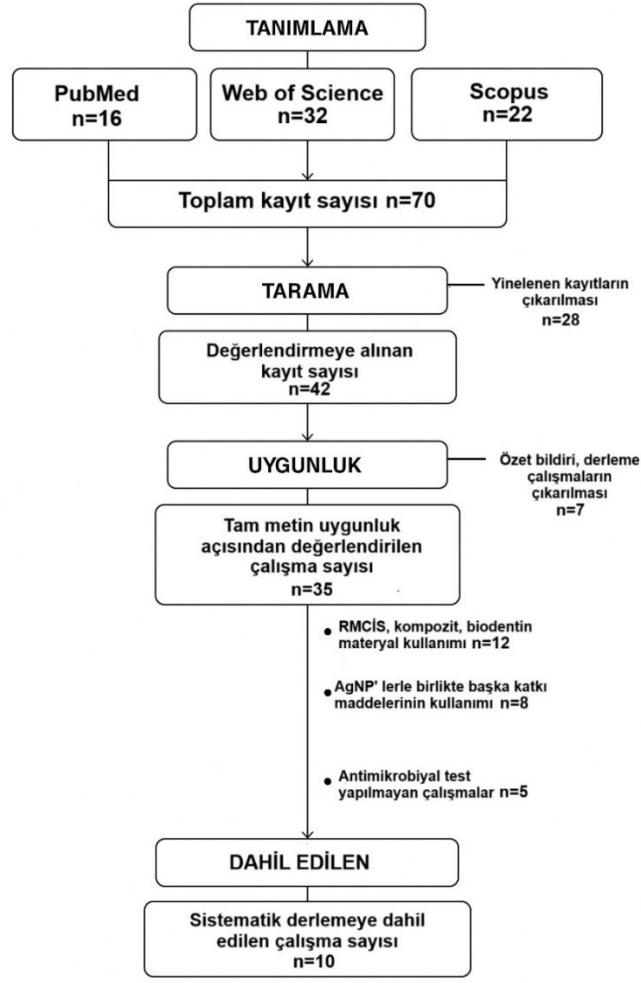
- Çalışmaların *in vitro* nitelikte olması
- Kullanılan malzemenin geleneksel CİS olması
- AgNP ilavesinin açıkça belirtilmiş olması
- AgNP'lerin fonksiyonelleştirilmemesi
- Antimikrobiyal etkinliğin değerlendirilmiş olması
- İngilizce dilinde yayımlanmış olması

Hariç Tutma Kriterleri

- Deney grubunda geleneksel CİS harici malzeme kullanımı
- AgNP içermeyen diğer nanopartikül katkıları (ör. ZnO, TiO₂, CuO vb.)
- Antimikrobiyal analiz içermeyen çalışmalar
- Özet bildiriler ve derleme makaleler

Çalışma Seçimi Süreci

Tarama sonucunda elde edilen tüm çalışmalar, iki bağımsız araştırmacı tarafından başlık ve özet düzeyinde değerlendirilmiştir. Uygun görülen çalışmaların tam metinleri incelenmiş, kriterleri karşılayan makaleler derlemeye dahil edilmiştir. Görüş ayrılığı durumlarında üçüncü bir araştırmacının değerlendirmesi alınmıştır. Çalışma seçimi süreci PRISMA akış diyagramı Şekil 1 ile özetlenmiştir.



Şekil 1. PRISMA 2020 akış diyagramı ile çalışma seçim süreci

Veri Çıkarımı

Dahil edilen makalelerden aşağıdaki bilgiler sistematik biçimde çıkarılarak tablo halinde analiz edilmiştir.

- Çalışmanın yazarı ve yılı
- Kullanılan CİS markası
- Partikül boyutu, morfolojisi
- AgNP konsantrasyonu (ağırlıkça %)
- Test edilen mikroorganizma türü
- Kullanılan mikrobiyolojik test yöntemi
- Antimikrobiyal etkinlik sonuçları

Veri Analizi

Elde edilen çalışmalar heterojen olduğu için sonuçlar niteliksel (deskriptif) sentez yöntemiyle değerlendirilmiştir. Ayrıca partikül morfolojisinin (küresel, çubuk, poligonal vb.) antimikrobiyal performans üzerindeki olası etkileri yorumlanmıştır.

Bulgular

PubMed (n=16), Scopus (n=22) ve Web of Science (n=32) veri tabanlarında 2015–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmalar taranmıştır. Toplam 70 kayıt elde edilmiştir. Yinelenen kayıtların (n=28) çıkarılmasının ardından 42 çalışma değerlendirmeye alınmıştır. Başlık ve özet düzeyinde yapılan ön inceleme sonucunda yedi çalışma dahil etme kriterlerini karşılamadığı için dışlanmıştır. Kalan 35 çalışma tam metin olarak incelenmiş ve 15'i hariç bırakılmıştır. Hariç bırakma nedenleri; AgNP'lerin rezin modifiye cam iyonomer siman, kompozit veya biodentin gibi malzemelere ilave edilmesi (n=12), AgNP ile birlikte

başka katkı maddelerinin tek başına ya da kombine şekilde kullanılması (n=8) ve antimikrobiyal testin gerçekleştirilmemiş olmasıdır (n=5). Sonuç olarak, dahil etme kriterlerini karşılayan 10 çalışma sistematik derlemeye dahil edilmiştir. Derlemeye dahil edilen çalışmaların temel özellikleri Tablo 1'de özetlenmektedir.

Tablo 1. AgNP ile modifiye edilmiş geleneksel CİS'lerin antimikrobiyal etkinliği üzerine yapılan çalışmaların özeti

Yazar - Yıl	Marka	Konsantrasyon (ağırlık%)	Şekil-Boyut	Mikroorganizma	Test Yöntemi	Bulgular
Paiva ve ark. ²³ (2018)	Vitro Molar	%0.05 %0.10 %0.50	Küresel 6 nm ortalama	<i>E. coli</i> <i>S. mutans</i>	Agar disk difüzyon testi, MTT hücre canlılık testi	AgNP ilave edilen tüm gruplarda geleneksel CİS grubuna kıyasla artmış inhibisyon çapı ve azalmış hücre canlılığı %0.50 AgNP-CİS grubunda diğer gruplara göre inhibisyon çapında anlamlı artış %0.50 AgNP-CİS grubunda %99.00 oranında hücre canlılığında azalma
Guo ve ark. ²⁴ (2025)	3M Ketac Molar	%0.05 %0.10 %0.30 %0.50	Nanotel 120 nm çap, 45 µm uzunluk Küresel 60-120 nm	<i>S. mutans</i> <i>S. sobrinus</i> <i>L. fermentum</i> <i>L. rhamnosus</i>	*SEM Konfokal Lazer Taramalı Elektron Mikroskopu *****EPS testi Laktik asit testi	SEM görüntülerinde AgNW ilavesi bakteriyel kümelenmesini azalttı, ilave oranı arttıkça antimikrobiyal etkide artma Canlılık testi sonuçlarında tüm rartan konsantrasyonla canlı bakteri sayısında azalma, ölü bakteri sayısında anlamlı artış EPS testi sonucunda tüm gruplarda negatif kontrole göre EPS/bakteri oranında anlamlı düşüş Laktik asit üretimi açısından tüm grup ve zaman aralıklarında anlamlı farklılık yok
Enan ve ark. ²⁵ (2021)	GC Fuji IX GP	%0.50	Küresel Dikdörtgen polidispers 13.5- 25.8 nm	<i>S. mutans</i> <i>S. aureus</i>	SEM Agar disk difüzyon testi Koloni sayım testi	AgNP-CİS grubunda geleneksel CİS grubuna kıyasla tüm bakteri gruplarında inhibisyon çapında artış ve CFU değerinde azalma
Guo ve ark. ²⁸ (2023)	3M Ketac Molar Easy mix	%0.05 %0.50	Nanotel 120 nm çap, 45 µm uzunluk Küresel 60-120 nm	<i>S. mutans</i>	SEM **IFM	SEM'de %0.50 AgNW-CİS ve AgNP-CİS gruplarında daha az ve küçük <i>S. mutans</i> kümeleri IFM analizinde %0.50 AgNP-CİS grubunda geleneksel CİS ve %0.05 AgNP-CİS grubuna kıyasla bakteriyel alan oranı anlamlı ölçüde daha düşük %0.50 AgNW-CİS grubunda <i>S. mutans</i> alan ortalaması %0.05 grubundan düşük olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı değil
Ashour ve ark. ²⁹ (2022)	GC Fuji IX	%0.50	Küresel 20-50 nm	<i>S. aureus</i> <i>S. mutans</i>	Agar disk difüzyon testi, Modifiye direkt temas testi	AgNP-CİS grubunda geleneksel CİS grubuna göre inhibisyon çapında ve ***CFU sayısında anlamlı artış <i>S. aureus</i> grubunda <i>S. mutans</i> grubuna göre inhibisyon çapında anlamlı artış
El-Wassef y ve ark. ³⁰ (2018)	GC Fuji IX GP	%1.00 %3.00 %5.00	Şekil belirtilmemiş <100 nm	<i>S. aureus</i> <i>S. mutans</i>	SEM ****MİK ****MBK	AgNP ilave edilen tüm CİS gruplarında SEM' de biyofilm miktarında azalma, %5.00 AgNP-CİS grubunda biyofilm tespit sınırı altında <i>S. aureus</i> için nanopartiküllerin MİK değeri benzer MBK değerinde anlamlı artış
Wassel ve ark. ³¹ (2022)	SDI Riva Self Cure	%5.00	Şekil belirtilmemiş <100 nm	<i>S. mutans</i>	Agar disk difüzyon testi	AgNP-CİS grubunda geleneksel CİS grubuna kıyasla anlamlı artmış inhibisyon çapı
Porter ve ark. ³² (2020)	GC Fuji IX GP 3M Ketac Molar SDI Riva Selfcure	Kapsül başına 6, 10, 24 µg	Küresel 6 nm ortalama	<i>S. mutans</i>	Konfokal Lazer Taramalı Elektron Mikroskopu	AgNP ile modifiye edilmiş Fuji IX' de, biyofilm birikiminde en yüksek oranda azalma, kapsül başına 10 µg AgNP ilavesiyle biyofilm oluşumunu %99.00 oranında azalma Ketac Molar ve Riva Selfcure, %78.00 oranında biyofilm azalımı elde etmek için kapsül başına 24 µg AgNP ilavesi gerekli
Imran ve ark. ³³ (2024)	Belirtilmemiş	%0.50 %1.00 %1.50	Şekil ve çap belirtilmemiş	<i>S. mutans</i> <i>L. acidophilus</i>	Agar disk difüzyon testi	AgNP ilavesi tüm gruplarda antimikrobiyal etkiyi artırmakla birlikte en büyük inhibisyon çapı %1.50 AgNP-CİS grubunda
Siddiqui ve ark. ³⁴ (2024)	GC Gold Label	%0.025 %0.50 %0.10 %0.20	Küresel 34 nm ortalama	<i>S. mutans</i> <i>L. acidophilus</i>	Agar disk difüzyon testi	AgNP-CİS gruplarında <i>S. mutans</i> üzerinde geleneksel CİS grubuna kıyasla artmış inhibisyon çapı <i>L. acidophilus</i> üzerindeki inhibisyon etkisi anlamlı değil

*Taramalı Elektron Mikroskopu

**Ters Floresan Mikroskopu

***Koloni oluşturan birim

****Minimum İnhibitör Konsantrasyon
 *****Minimum Bakterisidal Konsantrasyon
 *****Ekstraselüler polisakkarit

Çalışmalarda ticari formda geleneksel CİS kullanılmış olup, dört çalışmada GC Fuji IX GP tercih edilirken, bunu 3M Ketac Molar Easymix, SDI Riva Selfcure, GC Gold Label gibi ticari markalar takip etmiştir.^{23-25,28-32,34} Yapılan çalışmalardan birinde kullanılan geleneksel CİS markası belirtilmemiştir.³³ Simana ilave edilen AgNP oranları ağırlıkça %0.025 ila %5.00 arasında değişmektedir. Bunun yanı sıra bir çalışmada yüzde olarak oran belirtilmemiş olup kullanılan CİS kapsül başına AgNP miktarı olarak belirtilmiştir.³² Kullanılan bakteriler arasında en sık *S. mutans*, *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Escherichia coli* (*E. coli*), *Lactobacillus acidophilus* (*L. acidophilus*) yer almıştır. İncelenen çalışmaların yarısından fazlasında malzemenin doğrudan bakteri üzerindeki inhibisyonunu karşılaştırmak amacıyla agar disk difüzyon yöntemi tercih edilmiştir.^{23,25,29,31,33,34} Bunun yanı sıra beş çalışmada Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM), Konfokal Lazer Taramalı Elektron Mikroskopi ve Ters Floresans Mikroskopi (IFM) ile oluşan biyofilm görüntülemeye tercih edilmiştir.^{24,25,28,30,32} Antimikrobiyal etki analizinde bu yöntemlere ilave olarak koloni sayım yöntemi, minimum inhibitör konsantrasyon (MİK)- minimum bakterisidal konsantrasyon (MBK) , MTT hücre canlılık testi ve modifiye direkt temas testi kullanılmıştır.^{23,25,29,30}

Paiva ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ortalama 6 nm boyutta küresel AgNP'ler, ağırlıkça %0.05, %0.10 ve %0.50 oranlarında eklenerek *E. coli* ve *S. mutans* üzerindeki etkisi incelenmiştir. Antimikrobiyal etkinliğin belirlenmesinde agar disk difüzyon testi ve MTT hücre canlılık testi kullanılmıştır. Agar disk difüzyon testi sonuçlarına göre, *E. coli* ile inoküle edilen AgNP-CİS gruplarında ortalama inhibisyon zon çapları sırasıyla 32.80±3.40 mm, 32.80±5.60 mm ve 76.10±6.90 mm ölçülmüştür. MTT hücre canlılık testi bulguları değerlendirildiğinde, tüm AgNP-CİS gruplarında negatif kontrole kıyasla hücre canlılığında anlamlı azalma gözlenmiştir. Bu azalma, nanopartikül konsantrasyonuna bağlı olarak artış göstermiş ve %0.50 AgNP-CİS grubunda hücre canlılığında %99.00 oranında anlamlı azalma tespit edilmiştir.²³

Guo ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, %0.05, %0.10, %0.30 ve %0.50 oranlarda gümüş nanotel (AgNW) ilavesi yapılan 3M Ketac Molar CİS' in antimikrobiyal özellikleri değerlendirilmiştir. Kullanılan nanotel formundaki AgNP' ler 120 nm çapında ve yaklaşık 45 µm uzunluğunda olup, küresel AgNP' ler 60–120 nm aralığındadır. Çalışmada *S. mutans*, *Streptococcus sobrinus* (*S. sobrinus*), *Lactobacillus fermentum* (*L. fermentum*) ve *Lactobacillus rhamnosus* (*L. rhamnosus*) kullanılmıştır. Morfolojik analizler SEM ve Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop ile yapılmış; ayrıca ekstraselüler polisakkarit (EPS) üretimi ve laktik asit oluşumu testleri uygulanmıştır. (SEM) görüntülerinde, AgNW katkısının bakteri kümelenmesini azalttığı ve oran arttıkça antimikrobiyal etkinin belirgin biçimde arttığı gözlemlenmiştir. Canlılık analizinde, artan AgNW konsantrasyonu ile canlı bakteri sayısında azalma ve ölü bakteri oranında istatistiksel olarak anlamlı artış tespit edilmiştir. EPS testinde, tüm deney gruplarında negatif kontrole kıyasla EPS/bakteri oranında anlamlı düşüş saptanmıştır. Bununla birlikte, laktik asit üretimi açısından gruplar arasında ve zaman aralıklarında anlamlı fark bulunmamıştır.²⁴

Enan ve ark. tarafından yürütülen çalışmada, ağırlıkça %0.50 AgNP ilavesinin *S. mutans* ve *S. aureus* üzerindeki antimikrobiyal etkileri değerlendirilmiştir. Kullanılan AgNP' lerin morfolojisinin küresel ve dikdörtgen biçiminde, polidispers yapıda olduğu; boyutlarının ise 13.50–25.80 nm aralığında değiştiği bildirilmiştir. Agar disk difüzyon testi sonuçlarına göre, *S. mutans* için kontrol grubunda inhibisyon zon çapları sırasıyla 8±1.14 mm (24. saat), 0 mm (1. hafta) ve 0 mm (3. hafta) olarak kaydedilmiştir. Çalışmada AgNP-CİS grubunda inhibisyon zonları sırasıyla 18±2.5 mm, 13.8±0.83 mm ve 11±0.84 mm olarak ölçülmüştür. *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) için kontrol grubunda zon çapları 9±1.04 mm (24. saat), 0 mm (1. hafta) ve 0 mm (3. hafta) olarak belirlenirken; AgNP-CİS grubunda sırasıyla 20±1.2 mm, 14.8±1.28 mm ve 12±1.2 mm olarak rapor edilmiştir. Koloni sayım (CFU) analizlerinde *S. mutans* için log CFU değeri kontrol grubunda 8.98, AgNP-CİS grubunda 8.75 olarak; *S. aureus* için ise kontrol grubunda 8.95 ve AgNP-CİS grubunda 8.68 olarak belirlenmiştir. Yapılan analizlerde AgNP ilavesinin her iki mikroorganizma üzerinde de istatistiksel olarak anlamlı bir antimikrobiyal etki oluşturduğu gösterilmiştir. SEM görüntüleri, AgNP-CİS örneklerinde kontrol grubuna kıyasla bakteriyel hücre morfolojisinde belirgin bozulmalar ve yüzey adezyonunda azalma olduğunu ortaya koymuştur.²⁵

Guo ve ark. yaptığı çalışmada, 60–120 nm boyut aralığında küresel AgNP' ler ile yaklaşık 120 nm çapında ve 45 µm uzunluğunda gümüş nanotelleri (AgNW) değerlendirmiştir. Ağırlıkça %0.05 ve %0.50 oranlarında ilave edilerek *S. mutans* biyofilmleri üzerindeki etkisi SEM ve IFM ile incelenmiştir. (SEM) analizlerinde negatif kontrol grubunda *S. mutans* hücreleri ekstraselüler matriks içerisinde yoğun şekilde gözlenmiştir. Buna karşın %0.05 AgNW-CİS ve %0.05 AgNP-CİS gruplarında daha az sayıda ve daha küçük

S. mutans hücre paketleri tespit edilmiştir. %0.50 AgNW-CİS ve %0.50 AgNP-CİS gruplarında ise bakterilerin nadiren gözleendiği rapor edilmiştir. Ters Floresan Mikroskopu (IFM) analizlerinde *S. mutans* biyohacmi negatif kontrol grubunda %70.40 olarak belirlenmiştir. Tüm AgNP-CİS gruplarında *S. mutans* biyohacminde negatif kontrole kıyasla anlamlı düşüş saptanmıştır. Ayrıca AgNP-CİS gruplarında belirgin bir doz-cevap ilişkisi gözlenmiştir. %0.50 AgNP-CİS grubunda %0.05 AgNP-CİS grubuna göre anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur (%4.20±2.40'e karşı %23.20±11.20). AgNW-CİS gruplarında da benzer eğilim saptanmış, ancak fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (%0.50 AgNW-CİS grubu %3.00, %0.05 AgNW-CİS grubu %14.50).²⁸

Ashour ve ark. yaptığı çalışmada 20–50 nm boyutta AgNP'ler, ağırlıkça %0.50 oranında eklenmiş ve elde edilen AgNP-CİS örneklerinin *S. mutans* ve *S. aureus* üzerindeki etkisi incelenmiştir. Antimikrobiyal etkinlik değerlendirmesinde agar disk difüzyon yöntemi ve modifiye doğrudan temas testi uygulanmıştır. Agar disk difüzyon testi sonuçlarına göre, negatif kontrol gruplarında inhibisyon zonu gözlenmemiştir. *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ekimi yapılan AgNP-CİS grubunda ortalama inhibisyon zon çapları sırasıyla 24±1.41 mm (24. saat), 19±0.57 mm (1. hafta) ve 16±1.00 mm (1. ay) olarak ölçülmüştür. *S. mutans* ekimi yapılan grupta inhibisyon zon çapı 20±1.65 mm, 18±1.53 mm ve 14±1.66 mm olarak rapor edilmiştir. Modifiye doğrudan temas testi bulguları da agar disk difüzyon sonuçlarıyla paralellik göstermiştir.²⁹

El-Wassefy ve ark. tarafından yürütülen çalışmada kullanılan nanopartikül morfolojisi belirtilmemiş, boyutunun 100 nm'nin altında olduğu bildirilmiştir. Gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) ağırlıkça %1.00, %3.00 ve %5.00 eklenmiş, *S. mutans* ile *S. aureus* üzerindeki etkileri incelenmiştir. Antimikrobiyal etkinliğin değerlendirilmesinde SEM, MİK ve MBK testleri uygulanmıştır. (SEM) analizleri, kontrol grubunun yüzeyinde yoğun hücre dışı matriks içeren olgun biyofilm yapısının oluştuğunu göstermiştir. %1.00 AgNP-CİS numunelerinde bakterilerin yüzeye daha seyrek dağıldığı ve hücre dışı matriksin daha az yoğun olduğu gözlenmiştir. %3.00 AgNP-CİS numunelerinde biyofilm oluşumunun büyük oranda veya tamamen engellendiği, %5.00 AgNP-CİS numunelerde ise tespit sınırının altında kaldığı rapor edilmiştir. Nanopartiküller açısından MİK ve MBK değerleri, *S. aureus* için sırasıyla 25 µg/mL ve 50 µg/mL, *S. mutans* için ise her iki parametre açısından 25 µg/mL olarak bulunmuştur.³⁰

Wassel ve ark. yapmış olduğu çalışmada, ağırlıkça %5.00 AgNP ilavesinin *S. mutans* üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Morfoloji belirtilmemiş, boyutun 100 nm'nin altında olduğu bildirilmiştir. Agar disk difüzyon testi sonucunda, kontrol grubunda ortalama inhibisyon zon çapı 0.16 mm olarak ölçülürken, AgNP-CİS grubunda 32.00 mm'ye anlamlı düzeyde artış gösterdiği rapor edilmiştir.³¹

Porter ve ark. yaptığı çalışmada üç farklı ticari geleneksel CİS formu (GC Fuji IX GP, 3M Ketac Molar Aplicap ve SDI Riva Self Cure) kullanmıştır. Kullanılan AgNP'ler küresel morfolojide olup ortalama boyutu 6 nm olarak belirtilmiştir. Her bir CİS kapsülüne sırasıyla 6 µg, 10 µg ve 24 µg AgNP eklenmiştir. Antibiyofilm etkinlik, *S. mutans* biyofilmleri üzerinde Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlara göre Fuji IX CİS' e yalnızca 10 µg AgNP eklenmesi, biyofilmde %100 azalmaya neden olmuş, 6 µg AgNP ilavesi biyofilm oluşumunu %76.00 oranında azaltmıştır. Ketac Molar grubunda 10 µg AgNP ilavesi, biyofilm birikiminde %17.00'lik bir azalmaya neden olurken, 24 µg AgNP eklenmesiyle bu oran %87.00'ye yükselmiştir. Riva Self Cure CİS'lerinde 10 µg gümüş ilavesi biyofilmi %61.00 oranında azaltmış, AgNP miktarının 24 µg'a çıkarılması antibiyofilm etkisini anlamlı ölçüde artırmamış ve biyofilm birikimi %67.00 oranında azalmıştır.³²

Imran ve ark. tarafından yürütülen araştırmada %0.50, %1.00 ve %1.50 oranlarında AgNP ilave edilerek *S. mutans* ve *L. acidophilus* üzerindeki antimikrobiyal etkinliği değerlendirilmiştir. Çalışmada AgNP'lerin morfolojisi ve partikül çapı belirtilmemiştir. Deneysel tasarımda çekilmiş süt azı dişleri kullanılmış, hazırlanan AgNP-CİS malzemesi doğrudan diş yüzeylerine uygulanarak testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, AgNP ilavesinin CİS'in antimikrobiyal aktivitesini doza bağlı olarak artırdığını göstermiştir. *S. mutans* için inhibisyon zon çapları sırasıyla %0.50, %1.00 ve %1.50 AgNP-CİS gruplarında 2 mm, 3 mm ve 4 mm olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde, *L. acidophilus* için inhibisyon zon çapları sırasıyla 1.5 mm, 2.5 mm ve 3.5 mm olarak kaydedilmiştir. Kontrol grubunda ise herhangi bir inhibisyon bölgesi gözlenmemiştir. Yapılan analizlerde AgNP ilavesinin her iki mikroorganizma üzerinde de istatistiksel olarak anlamlı antimikrobiyal etki oluşturduğu belirlenmiştir.³³

Siddiqui ve ark. tarafından yürütülen çalışmada, küresel morfolojide ve ortalama 34 nm boyutunda AgNP'ler %0.025, %0.05, %0.10 ve %0.20 oranlarında eklenmiştir. Elde edilen AgNP-CİS örneklerinin *S. mutans* ve *L. acidophilus* üzerindeki antimikrobiyal etkileri agar disk difüzyon yöntemi ile değerlendirilmiştir. *S. mutans* için inhibisyon zonları sırasıyla %0.20, %0.10, %0.05 ve %0.025 AgNP-CİS gruplarında 9.3 mm, 8.7 mm, 7.7 mm ve 7.3 mm olarak belirlenmiştir. İstatistiksel analizler, %0.20 ve %0.10 ve %0.05 oranlarında AgNP ilavesinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha geniş inhibisyon zonu oluşturduğunu göstermiştir. %0.25 oranındaki katkı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Lactobacillus acidophilus (*L. acidophilus*) için yapılan ölçümlerde, %0.20, %0.10, %0.05 ve %0.025 AgNP-CİS gruplarında inhibisyon zonları sırasıyla 12.5 mm, 11.0 mm, 10.45 mm ve 10.4 mm olarak saptanmıştır. Kontrol grubunda (10.5 mm) elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.³⁴

Dahil edilen çalışmaların tamamında AgNP ilavesinin CİS'in bakteriyel büyüme ve biyofilm oluşumu üzerindeki inhibitör etkisini belirgin biçimde artırdığı rapor edilmiştir. Çalışmaların büyük bölümü, AgNP ilavesinin doza bağımlı antimikrobiyal etki oluşturduğunu göstermektedir. Guo ve ark. ile Siddiqui ve ark., AgNP konsantrasyonu arttıkça *S. mutans* biyofilmlerinde anlamlı azalma olduğunu ve %0.10-0.50 aralığındaki konsantrasyonlarda maksimum etki elde edildiğini bildirmiştir. Benzer şekilde Paiva ve ark., %0.50 AgNP katkısında hücre canlılığında %99.00 oranında azalma saptayarak yüksek dozlarda belirgin bakterisidal etki göstermiştir.^{23,28,34}

Morfolojik yapı da etkinlik üzerinde önemli bir belirleyici olarak görülmektedir. Guo ve ark. ile Porter ve ark., küresel AgNP ve nanotel (AgNW) formlarını karşılaştırdıklarında, her iki formun da biyofilm yoğunluğunu azalttığını; ancak AgNW ilavesinde etkinin daha yüksek konsantrasyonlarda anlamlı hale geldiğini bildirmiştir.^{25,29} Bu durum, partikül yüzey alanı ve CİS matrisi içindeki dağılımın biyolojik etkiyle doğrudan ilişkili olabileceğini göstermektedir.

Test yöntemleri arasında farklılık bulunmakla birlikte (agar disk difüzyon, CFU, SEM, konfokal mikroskopi, MTT, MIC-MBC), genel eğilim benzerdir: AgNP-CİS grupları hem *S. mutans* hem *S. aureus*'a karşı anlamlı inhibisyon zonları oluşturmuştur. Özellikle Ashour ve ark., 1 aya kadar uzanan test süresince etkinliğin zamanla azalsa da devam ettiğini bildirmiştir.²⁹ Bu bulgular AgNP'lerin CİS matrisinden sürekli iyon salınımı yoluyla uzun süreli antimikrobiyal etki sağlayabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca El-Wassefy ve ark. gibi yüksek doz (%5) kullanan çalışmalar, biyofilm oluşumunu tamamen baskılasa da mekanik özelliklerde potansiyel zayıflama riskine değinmiştir.³⁰ Bununla birlikte, farklı çalışmalar arasındaki metodolojik değişkenlikler karşılaştırmayı güçleştirmektedir.

Sonuç

Çalışmalar da daha düşük oranlarda da yeterli etkinliğin sağlanabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, düşük dozda ve iyi karakterize edilmiş AgNP ilavesinin, geleneksel CİS'in biyofilm oluşumunu önleyici performansını artırabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, CİS'e AgNP ilavesi yapılırken mümkün olan en düşük etkin konsantrasyonla maksimum antimikrobiyal faydanın elde edilmesi hedeflenmelidir. Gelecekte yapılacak çalışmaların, düşük konsantrasyon aralıklarında etkinlik eşliğini doğrulayan, uzun dönem sitotoksikite ve biyoyoumluluk verilerini içeren *in vivo* araştırmalara yönelmesi, bu yaklaşımın klinik kullanıma güvenle aktarılmasını sağlayacaktır.



Hakem: Dış, Bağımsız.

Teşekkür: -

Beyanname:

1.Özgünlük Beyanı: Bu çalışma özgündür ve daha önce herhangi bir yerde yayımlanmamıştır. Bu çalışma herhangi bir tezden üretilmemiştir.

2.Yazar Katkıları: Fikir: ZAG; Kavramsallaştırma: ZAG-FNA; Literatür Taraması: ZAG-FNA; Veri Toplama: ZAG-FNA; Veri İşleme ZAG-FNA; Analiz: ZAG-FNA; Yazma-rijinal taslak: ZAG-FNA; Yazma-inceleme ve düzenleme: ZAG-FNA.

3.Etik Kurul İzni: Bu çalışma için etik kurul izni gerekmemektedir.

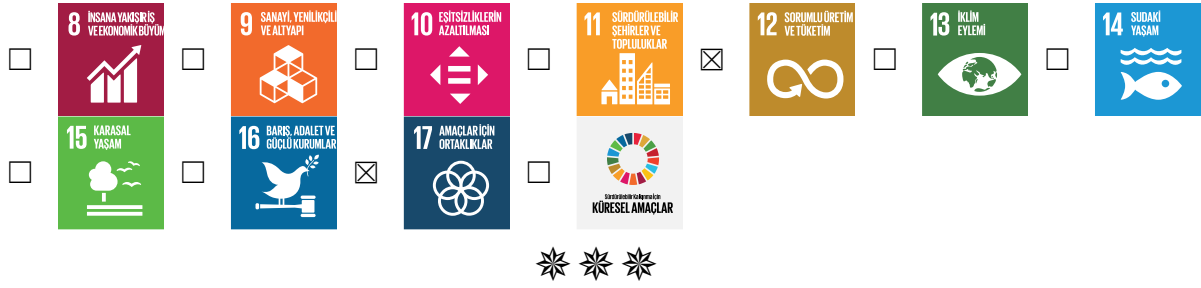
4.Finansman/Destek: Bu çalışma, herhangi bir finansman ya da destek almamıştır.

5.Çıkar Çatışması: Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

6.Üretken Yapay Zeka Beyanı: Literatürü sentezleme, bir alanın genel bir görünümünü sunma, kanıta dayalı klinik bakımı gözden geçirme, araştırma boşluklarını belirleme ve içerik düzenleme, dil ve okunabilirliği iyileştirme gibi görevlerde ChatGPT 5.1 isimli yapay zekadan faydalanılmıştır.

7.Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: Bu çalışma, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'ndan aşağıdakilerle ilişkilidir.





KAYNAKLAR

1. Lemos JA, Palmer SR, Zeng L, et al. The biology of *Streptococcus mutans*. *Microbiol Spectr*. 2019;7(1): GPP3-0051-2018. doi: 10.1128/microbiolspec.GPP3-0051-2018.
2. Pitts NB, Zero DT, Marsh PD, et al. Dental caries. *Nat Rev Dis Primers*. 2017;3:17030. doi:10.1038/nrdp.2017.30.
3. Mazurel D, Brandt BW, Boomsma M, et al. *Streptococcus mutans* and caries: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res*. 2025;104(6):594-603. doi:10.1177/00220345241303880.
4. Nicholson JW. Adhesion of glass-ionomer cements to teeth: a review. *Int J Adhes Adhes*. 2016;69:33-38. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2016.03.012.
5. Hoshika S, Ting S, Ahmed Z, et al. Effect of conditioning and 1 year aging on the bond strength and interfacial morphology of glass-ionomer cement bonded to dentin. *Dent Mater*. 2021;37(1):106-112. doi: 10.1016/j.dental.2020.10.016.
6. Zubaer A, Akter RS, Salahuddin AA, Ayubur RM, Hidehiko S, Shuhei H. Effect of conditioning and 3-year aging on the bond strength and interfacial morphology of glass-ionomer cement bonded to dentin. *J Dent Sci*. 2025;20(2):1229-1235. doi: 10.1016/j.jds.2022.01.004.
7. Cabral MF, Martinho RL, Guedes-Neto MV, Rebelo MA, Pontes DG, Cohen-Carneiro F. Do conventional glass ionomer cements release more fluoride than resin-modified glass ionomer cements? *Restor Dent Endod*. 2015;40(3):209-215. doi:10.5395/rde.2015.40.3.209.
8. Islam MS, Padmanabhan V, Koniali G, et al. Fluoride release, recharge, and mass stability of restorative dental materials: an in vitro study. *Dent J*. 2025;13(10):438. doi:10.3390/dj13100438.
9. Oliveira RC, Camargo LB, Novaes TF, et al. Survival rate of primary molar restorations is not influenced by hand mixed or encapsulated GIC: 24 months RCT. *BMC Oral Health*. 2021;21(1):371. doi:10.1186/s12903-021-01710-0.
10. Almuhaiza M. Glass-ionomer cements in restorative dentistry: a critical appraisal. *J Contemp Dent Pract*. 2016;17(4):331-336. doi:10.5005/jp-journals-10024-1850.
11. Singh S, Kulkarni G, Kumar RSM, et al. Comparative evaluation of the biological response of conventional and resin modified glass ionomer cement on human cells: a systematic review. *Restor Dent Endod*. 2024;49(4):e41. doi:10.5395/rde.2024.49.e41.
12. Tüzüner T, Dimkov A, Nicholson JW. The effect of antimicrobial additives on the properties of dental glass-ionomer cements: a review. *Acta Biomater Odontol Scand*. 2019;5(1):9-21. doi:10.1080/23337931.2018.1539623.
13. Farrugia C, Camilleri J. Antimicrobial properties of conventional restorative filling materials and advances in antimicrobial properties of composite resins and glass ionomer cements-A literature review. *Dent Mater*. 2015;31(4):e89-99. doi:10.1016/j.dental.2014.12.005.
14. Kelten OS, Hepdeniz OK, Tuncer Y, Kankaya DA, Gurdal O. Effect of surface characteristic of different restorative materials containing glass ionomer on *Streptococcus mutans* biofilm. *Niger J Clin Pract*. 2020;23(7):957-964. doi: 10.4103/njcp.njcp_538_19.
15. Bohinc K, Tintor E, Kovačević D, et al. Bacterial adhesion on glass-ionomer cements and micro/nano hybrid composite dental surfaces. *Coatings*. 2021;11(2):235. doi:10.3390/coatings11020235.
16. Ge KX, Quock R, Chu CH, Yu OY. The preventive effect of glass ionomer cement restorations on secondary caries formation: A systematic review and meta-analysis. *Dent Mater*. 2023;39(12):e1-e17. doi:10.1016/j.dental.2023.10.008.
17. Bayda S, Adeel M, Tuccinardi T, Cordani M, Rizzolio F. The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical-physical applications to nanomedicine. *Molecules*. 2019;25(1):112. doi:10.3390/molecules25010112.

18. Dipalma G, Inchingolo AD, Guglielmo M, et al. Nanotechnology and its application in dentistry: a systematic review of recent advances and innovations. *J Clin Med.* 2024;13(17):5268. doi:10.3390/jcm13175268.
19. Yin IX, Zhang J, Zhao IS, Mei ML, Li Q, Chu CH. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *Int J Nanomedicine.*2020;15:2555-2562. doi:10.2147/IJN.S246764.
20. Nie P, Zhao Y, Xu H. Synthesis, applications, toxicity and toxicity mechanisms of silver nanoparticles: A review. *Ecotoxicol Environ Saf.*2023;253:114636. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.114636.
21. Bruna T, Maldonado-Bravo F, Jara P, Caro N. Silver nanoparticles and their antibacterial applications. *Int J Mol Sci.* 2021;22(13):7202. doi:10.3390/ijms22137202.
22. Bapat RA, Chaubal TV, Joshi CP, et al. An overview of application of silver nanoparticles for biomaterials in dentistry. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2018;91:881-898. doi: 10.1016/j.msec.2018.05.069.
23. Paiva L, Fidalgo TKS, da Costa LP, et al. Antibacterial properties and compressive strength of new one-step preparation silver nanoparticles in glass ionomer cements. *J Dent.* 2018;69:102-109. doi: 10.1016/j.jdent.2017.12.003.
24. Guo T, Wang D, Gao SS. The antibiofilm effect and mechanism of silver nanowire-modified glass ionomer cement against multi-species oral biofilm. *BMC Oral Health.* 2025;25(1):160. doi:10.1186/s12903-025-05536-y.
25. Enan ET, Ashour AA, Basha S, Felemban NH, Gad El-Rab SMF. Antimicrobial activity of biosynthesized silver nanoparticles, amoxicillin, and glass-ionomer cement against *Streptococcus mutans* and *Staphylococcus aureus*. *Nanotechnology.* 2021;32(21). doi:10.1088/1361-6528/abe577.
26. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372: n71. doi:10.1136/bmj. n71.
27. Horsley T, Dingwall O, Sampson M. Checking reference lists to find additional studies for systematic reviews. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011;2011(8):MR000026. doi: 10.1002/14651858.MR000026.pub2.
28. Guo T, Yang M, Wang D, Zheng J, Gao SS. Antibiofilm and mechanical properties of silver nanowire-modified glass ionomer cement. *J Dent.* 2023;135:104569. doi: 10.1016/j.jdent.2023.104569.
29. Ashour AA, Felemban MF, Felemban NH, et al. Comparison and advanced antimicrobial strategies of silver and copper nanodrug-loaded glass ionomer cement against dental Caries microbes. *Antibiotics.* 2022;11(6):756. doi:10.3390/antibiotics11060756.
30. El-Wassefy NA, El-Mahdy RH, El-Kholany NR. The impact of silver nanoparticles integration on biofilm formation and mechanical properties of glass ionomer cement. *J Esthet Restor Dent.* 2018;30(2):146-152. doi:10.1111/jerd.12353.
31. Wassel MO, Allam GG. Anti-Bacterial effect, fluoride release, and compressive strength of a glass ionomer containing silver and titanium nanoparticles. *Indian J Dent Res.* 2022;33(1):75-79. doi: 10.4103/ijdr.IJDR_117_20.
32. Porter GC, Tompkins GR, Schwass DR, Li KC, Waddell JN, Meledandri CJ. Anti-biofilm activity of silver nanoparticle-containing glass ionomer cements. *Dent Mater.* 2020;36(8):1096-1107. doi: 10.1016/j.dental.2020.05.001.
33. Imran M, Mallick R, Vadlamani R, Dhar A. Assessment of the antimicrobial efficacy and mechanical properties of glass ionomer cement incorporating silver nanoparticles in varying concentrations for pediatric dental applications. *J Pharm Bioallied Sci.* 2024;16:S3689-S3691. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_1202_24.
34. Siddiqui A, Gul A, Khan H, Anjum F, Hussain T. Bio-inspired synthesis of silver nanoparticles using *Salsola imbricata* and its application as antibacterial additive in glass ionomer cement. *Nanotechnology.* 2024;35(35). doi:10.1088/1361-6528/ad50e4.

