

Derleme

Cam Matara Sistemlerinde Propolisin Antibakteriyel Potansiyeli: Literatür Temelli Bir İnceleme

Antibacterial Potential of Propolis in Glass Bottle Systems: A Literature-Based Review

Gülşah DOĞAN^{1*} 

¹ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksek Okulu, Malatya; gulsah.dogan@ozal.edu.tr

* Sorumlu Yazar; gulsah.dogan@ozal.edu.tr

Article Information / Makale Bilgisi

Citation / Atıf: Doğan, G. (2025). Cam Matara Sistemlerinde Propolisin Antibakteriyel Potansiyeli: Literatür Temelli Bir İnceleme. *Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9, 134-151. / Doğan, G. (2025). Antibacterial Potential of Propolis in Glass Bottle Systems: A Literature-Based Review. *Sirnak University Journal Of Science*, 9, 134-151.

Date of Submission (<i>Geliş Tarihi</i>)	22. 09. 2025
Date of Acceptance (<i>Kabul Tarihi</i>)	09. 12. 2025
Date of Publication (<i>Yayın Tarihi</i>)	23. 12. 2025
Article Type (<i>Makale Türü</i>)	Derleme (<i>Review</i>)
Peer-Review (<i>Değerlendirme</i>)	Double anonymized – At Least Two External (<i>Çift Taraflı Körlük / En az İki Dış Hakem</i>).
Ethical Statement (<i>Etik Beyan</i>)	It is declared that scientific, ethical principles have been followed while carrying out and writing this study, and that all the sources used have been properly cited. (<i>Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur</i>).
Plagiarism Checks (<i>Benzerlik Taraması</i>)	Yes (Evet) – Ithenticate/Turnitin.
Conflicts of Interest (<i>Çıkar Çatışması</i>)	The author(s) has no conflict of interest to declare (<i>Çıkar çatışması beyan edilmemiştir</i>).
Complaints (<i>Etik Beyan Adresi</i>)	sufbd@gmail.com
Grant Support (<i>Finansman</i>)	The author(s) acknowledge that they received no external funding in support of this research. (<i>Bu araştırmayı desteklemek için dış fon kullanılmamıştır</i>).
Copyright & License (Telif Hakkı ve Lisans)	Authors publishing with the journal retain the copyright to their work licensed under the CC BY-NC 4.0. (<i>Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmaları CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır</i>).

ÖZET

Bu çalışmada, cam matara sistemlerinde propolisin bakteriyel kontaminasyonu önleyici potansiyeli, güncel literatür ışığında kapsamlı ve eleştirel bir perspektifle incelenmiştir. Propolisin kimyasal bileşimi, fenolik bileşiklerin yoğunluğu ve antimikrobiyal etki mekanizmaları detaylı olarak ele alınmış; farklı yüzeylerde, özellikle cam ve seramik malzemelerdeki uygulama örnekleri üzerinden potansiyel kullanım alanları değerlendirilmiştir. Literatürde propolisin, özellikle gram-pozitif ve gram-negatif bakterilere karşı etkinliği birçok çalışmayla desteklenmekte olup, bu etkinin cam yüzeylerde mikrobiyal kolonizasyonu önlemede önemli bir katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, propolisin biyolojik uyumluluğu, düşük toksisite profili ve doğal yapısı, cam mataralarda sürdürülebilir ve çevre dostu bir antibakteriyel ajan olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda, propolis bazlı uygulamaların geliştirilmesi, ürün hijyenini artırırken aynı zamanda kullanıcı sağlığını koruyan yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Çalışma, mevcut literatürün detaylı bir sentezini sunarken, bu alanda yapılacak deneysel çalışmalar için sağlam bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır. Böylece, propolisin cam mataralar ve benzeri içme sistemlerinde uygulanabilirliği üzerine yeni araştırmaların teşvik edilmesine katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Propolis; Cam Yüzeyler; Antibakteriyel Aktivite; Mikrobiyal Kontaminasyon

ABSTRACT

This review critically examines the antibacterial potential of propolis in glass water bottle systems, based on current literature. The chemical composition of propolis, particularly its rich phenolic content, and its antimicrobial mechanisms are analyzed in detail. Potential applications are illustrated through examples on various surfaces, especially glass and ceramic materials. Evidence from the literature supports propolis's efficacy against both gram-positive and gram-negative bacteria, highlighting its significant role in preventing bacterial colonization on glass surfaces. Moreover, the biocompatibility, low toxicity, and natural origin of propolis make it a sustainable and environmentally friendly antibacterial agent. In this context, developing propolis-based solutions represents an innovative approach to enhance product hygiene while safeguarding user health. This review provides a comprehensive synthesis of existing studies and aims to establish a solid foundation for future experimental research. By summarizing current knowledge, it contributes to promoting further investigations into the applicability of propolis in glass bottles and similar drinking systems.

Keywords: Propolis; Glass Surfaces; Antibacterial Activity; Microbial Contamination

1. GİRİŞ

Cam mataralar, hem içeceğe kimyasal bulaşma riski taşımamaları hem de defalarca kullanılabilmesi sayesinde, plastik şişelere göre daha sağlıklı ve çevreye daha duyarlı bir seçenek olarak görülmektedir (Mason ve ark., 2018; UNEP Life Cycle Initiative, 2020). Ancak, cam yüzeylerin mikroskopik pürüzlülükleri, bakteriyel kolonizasyon için uygun ortamlar yaratabilmekte ve bu durum kullanıcı sağlığı açısından riskler doğurabilmektedir (Johnson ve Lee, 2020). Bu bağlamda, doğal antimikrobiyal ajanlar, özellikle propolis, cam yüzeylerin mikrobiyal yükünü azaltmak için umut verici çözümler arasında yer almaktadır (Martinez ve Gonzalez, 2019).

Propolis, arıların bitkisel reçinelerden ürettiği karmaşık bir biyolojik karışımdır ve antibakteriyel, antifungal ve antiviral etkileriyle geniş çapta araştırılmıştır (Silva ve ark., 2022). Kimyasal yapısında bulunan flavonoidler, fenolik asitler ve esterler, mikroorganizmaların hücre duvarını ve metabolizmasını hedef alarak etkili bir mikrobiyal kontrol sağlar (Kumar ve Patel, 2018). Bu özellikleri sayesinde propolis, çeşitli yüzeylerde biyofilm oluşumunu engellemek amacıyla kullanılmaktadır (Lee ve ark., 2021).

Propolis kullanımı, tıp ve gıda sektörlerinin yanı sıra son yıllarda malzeme bilimlerinde de dikkat çekici bir uygulama alanı bulmuştur (Fernandes ve ark., 2020). Cam yüzeylerde propolis bazlı kaplamaların, özellikle antibakteriyel etkinliğin artırılmasında ve mikrobiyal biyofilm oluşumunun önlenmesinde etkili olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Öztürk ve Yılmaz, 2021; Zhang, Li ve Chen, 2019). Bununla birlikte, cam mataraların günlük kullanımda hijyenik koşullarının sağlanması için propolisin kontrollü salınımı ve dayanıklılığı gibi parametrelerin optimize edilmesi gerekmektedir (Nguyen ve ark., 2022).

Doğal ve biyolojik kökenli antimikrobiyal ajanlara yönelik artan ilgi, çevresel sürdürülebilirlik ve kullanıcı güvenliği açısından da önemli avantajlar sağlamaktadır (Garcia ve Lopez, 2021). Bu bağlamda, propolisin toksik etkilerinin düşük olması ve biyolojik uyumluluğunun yüksekliği, özellikle içme suyu temasındaki ürünlerde tercih edilmesini desteklemektedir (Miller ve ark., 2017). Ancak, propolisin kimyasal bileşiminin coğrafi kaynaklara bağlı olarak değişkenlik göstermesi, standart uygulamalar geliştirilmesi açısından önemli bir zorluk olarak değerlendirilmektedir (Singh ve ark., 2020).

Propolisin cam mataralarda kullanımı, sadece mikrobiyal koruma sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ürünlerin ömrünü uzatmaya ve kullanıcı deneyimini iyileştirmeye yönelik yenilikçi bir yaklaşım olarak da öne çıkmaktadır (Rodriguez ve ark., 2018). Literatürde,

propolis bazlı kaplamaların antibakteriyel etkilerinin yanı sıra antioksidan ve antienflamatuar özelliklerinin de cam yüzeylerde aktif kalabileceğine dair bulgular mevcuttur (Chen ve ark., 2021). Bu çok yönlü etkiler, cam mataraların sadece hijyenik değil, aynı zamanda fonksiyonel ürünler haline gelmesini sağlamaktadır.

Bununla birlikte, propolisin cam yüzeylere uygulanması sırasında karşılaşılan teknik zorluklar da vardır. Propolisin yapısal karmaşıklığı ve bileşenlerin çözünürlüğündeki sınırlamalar, kontrollü salınım sistemlerinin geliştirilmesini gerektirmektedir (Kang ve ark., 2019). Ayrıca, propolisin tat ve koku üzerinde potansiyel etkileri, kullanıcı kabulünü etkileyebileceği için ürün tasarımında dikkate alınması gereken önemli faktörlerdendir (Garcia ve Lopez, 2021).

Bu kapsamda, cam mataralarda propolisin etkin ve güvenilir kullanımına yönelik çalışmalar hem temel bilimler hem de uygulamalı araştırmalar alanında multidisipliner iş birlikleri gerektirmektedir (Singh ve ark., 2021). Mevcut literatür ışığında, propolisin antibakteriyel potansiyelinin cam mataralarda uygulanabilirliği konusunda umut verici sonuçlar bulunmakla birlikte, bu alandaki bilgi boşluklarının sistematik araştırmalarla doldurulması gerekmektedir.

2. MATERYALLER VE METOTLAR

2.1. Yöntem

Bu çalışma, cam matara sistemlerinde propolisin antibakteriyel potansiyelini inceleyen literatürü derleme niteliğinde ele almaktadır. Literatür taraması, 2010–2025 yılları arasında yayımlanmış çalışmalar dikkate alınarak PubMed, Web of Science ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Arama sırasında “propolis”, “antibacterial activity”, “glass surfaces”, “biofilm inhibition” ve “controlled release” anahtar kelimeleri kullanılmıştır.

Çalışmaya dahil edilme kriterleri şunlardır:

- Propolisin cam yüzeylerde, içme suyu kaplarında veya benzer gıda/ambalaj sistemlerinde antibakteriyel etkisini inceleyen araştırmalar,
- Hakemli dergilerde yayımlanmış, deneysel veya derleme nitelikli makaleler.

Dışlama kriterleri ise yalnızca propolisin kimyasal bileşimini analiz eden, fakat cam yüzey uygulamasıyla ilişkilendirmeyen çalışmalardır. Seçilen çalışmalar, bulguların karşılaştırmalı olarak sunulabilmesi amacıyla yazar, yıl, kullanılan propolis kaynağı, test edilen mikroorganizmalar, uygulama yöntemi ve elde edilen sonuçlar çerçevesinde sınıflandırılmıştır.

Bu yaklaşım, farklı coğrafi bölgelerden elde edilen propolis örneklerinin etkinliğini karşılaştırmaya ve gelecekteki araştırmalara yön verecek ortak eğilimleri ortaya koymaya imkân sağlamaktadır.

2.2. Propolisin Kimyasal Yapısı ve Antimikrobiyal Özellikleri

Propolis, arılar tarafından bitkisel reçinelerden toplanan ve bal mumuyla karışarak oluşturulan karmaşık bir doğal bileşiktir. Kimyasal yapısı, coğrafi kaynaklar, mevsim ve bitki türlerine bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, temel olarak flavonoidler, fenolik asitler, esterler, aromatik aldehytler ve ketonlar gibi birçok biyoaktif bileşeni içermektedir (Bankova ve ark., 2020). Flavonoidler, propolisin antimikrobiyal aktivitesinde en etkili bileşenler arasında yer almakta olup, mikroorganizmaların hücre zarını hedef alarak bakteriyel büyüme ve çoğalmayı engellemektedir (Ghisalberti, 2019).

Fenolik bileşikler, serbest radikallerle reaksiyona girerek oksidatif strese karşı koruma sağlamakta ve böylece hücre zararını önlemektedir (Sforcin, 2016). Propolisin antimikrobiyal etkisi, bakterilere karşı doğrudan inhibitör aktivitenin yanı sıra, biyofilm oluşumunun engellenmesi yoluyla da ortaya çıkmaktadır (Queiroga ve ark., 2023). Bu mekanizmalar, propolisin özellikle gram-pozitif bakterilere karşı etkisini artırırken, gram-negatif bakterilere karşı da önemli düzeyde aktivite göstermesini sağlamaktadır (Silva ve ark., 2022).

Kimyasal çeşitliliği nedeniyle propolis, farklı mikroorganizmalara karşı geniş spektrumlu bir antimikrobiyal ajan olarak değerlendirilmektedir. Bu çok yönlü biyolojik aktivite, propolisin cam yüzeylerde mikrobiyal kolonizasyonu önleme potansiyelini artırmakta ve bu nedenle içme amaçlı kullanılan cam mataralarda kullanımı için uygun bir aday haline getirmektedir (Fernandes ve ark., 2020).

2.3. Cam Mataralarda Propolis Kullanımının Gerekçeleri

Cam mataralar, plastik alternatifleri olarak sağlık ve çevre açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, cam yüzeylerin mikroskobik pürüzlülükleri ve çatlakları, bakteri tutunması ve biyofilm oluşumu için uygun ortamlar yaratabilir (Johnson ve Lee, 2020). Bu durum, özellikle günlük kullanımdaki içme suyu kaplarında mikrobiyal kontaminasyon riskini artırmakta ve kullanıcı sağlığını tehdit etmektedir (Martinez ve Gonzalez, 2019).

Propolis, doğal yapısı ve zengin kimyasal bileşimi sayesinde antibakteriyel etkisini uzun süre sürdürebilmekte ve biyofilm oluşumunu engelleyebilmektedir (Kumar ve Patel, 2018). Cam mataralarda propolis kullanımı hem yüzeyde mikrobiyal çoğalmayı azaltmak hem de

hijyen standartlarını artırmak amacıyla yenilikçi ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır (Öztürk ve Yılmaz, 2021).

Ayrıca, propolisin toksik olmayan, biyolojik uyumlu yapısı, içme suyuyla doğrudan temas eden ürünlerde güvenli kullanımını desteklemektedir (Miller ve ark., 2017). Sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde ise, propolis bazlı kaplamalar, kimyasal antibakteriyel maddelere alternatif olarak çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Garcia ve Lopez, 2021).

Bu nedenlerle, cam mataralarda propolisin antibakteriyel bir ajan olarak kullanılması hem kullanıcı sağlığının korunması hem de çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir (Singh ve ark., 2020).

2.4 Propolis Bazlı Kaplamaların Cam Yüzeylerde Kullanımı

Cam yüzeylerde propolis uygulamaları, biyofilm oluşumunun engellenmesi ve bakteri kolonizasyonunun azaltılmasını hedeflemektedir (Lee ve ark., 2021). Farklı coğrafi kaynaklardan elde edilen propolis örnekleri üzerinde yapılan çalışmalar, hem gram-pozitif hem de gram-negatif bakterilere karşı etkinliğin sağlanabileceğini göstermektedir (Silva ve ark., 2022; Fernandes ve ark., 2020).

Cam mataralarda propolisin uygulanması genellikle spreyle kaplama, nano-enkapsülasyon veya mikrokapsülleme yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler, propolisin kontrollü salınımını sağlayarak antimikrobiyal etkinliğin uzun süre devam etmesini hedefler (Kang ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2019).

Bununla birlikte, propolisin yapısal karmaşıklığı ve bileşenlerin çözünürlüğü, uygulama sırasında bazı teknik sınırlamalara yol açabilir. Özellikle tat ve koku değişimleri, kullanıcı kabulünü etkileyebileceği için tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır (El-Sakhawy ve ark., 2023; Bangar ve ark., 2021).

3. TARTIŞMA

Propolisin cam yüzeylerde mikrobiyal kontaminasyonu azaltma potansiyeli, son yıllarda giderek daha fazla dikkat çeken bir araştırma alanı hâline gelmiştir. Literatürde yer alan çalışmaların büyük bölümü, propolisin hem *Staphylococcus aureus* hem de *Escherichia coli* gibi yaygın kontaminantlara karşı anlamlı düzeyde antibakteriyel aktivite sergilediğini göstermektedir. Bu etkinliğin, propolisin zengin fenolik ve flavonoid bileşenlerinin hücre

zarında oluşturduğu geçirgenlik artışı, enzim inhibisyonu ve oksidatif stres mekanizmalarıyla ilişkili olduğu belirtilmektedir (Przybyłek ve Karpiński, 2019; Silva ve ark., 2022) (Tablo 1).

Tablo 1. Propolis–Cam Etkileşimi ve Antibakteriyel Mekanizma

I. Kaplama/Salınım	Cam yüzey üzerinde propolis tabakası ve sıvı faza geçen moleküller.	Yüzey Modifikasyonu, Sürdürülebilir Elüsyon (Salınım), Fenolikler (CAPE), Flavonoidler
II. Hücre Hasarı	Bir bakteri hücresine doğru ilerleyen propolis molekülleri	Membran Permeabilitesinin Bozulması, Membran Potansiyelinin Depolarizasyonu, Hücre İçi Sızıntı (Efflux).
III. Nihai Etkiler	Hasar görmüş bakteri hücresi ve engellenmiş biyofilm	Metabolik İnhibisyon /ATP Baskılanması), Oksidatif stres, Biyofilm oluşumunun baskılanması (veya Quorum Sensing İnhibisyonu), Patojen Ölümü.

Bu nedenle propolise dayalı kaplamalar, özellikle tekrarlı kullanım gerektiren cam mataralarda daha hijyenik bir içme deneyimi sunma potansiyeline sahiptir. Şekil 1’de detaylandırıldığı üzere, propolis bileşenlerinin yüzeyden kontrollü salınımı, üç ana yolla patojenlerin inaktivasyonunu sağlar.

Propolisin farklı coğrafi kökenlere göre kimyasal bileşenlerde belirgin farklılıklar göstermesi, literatürde bildirilen antibakteriyel etkinlik sonuçlarını açıklamada önemli bir değişken olarak karşımıza çıkmaktadır. Brezilya kırmızı propolisinin yüksek izoflavanon içeriği nedeniyle güçlü antibakteriyel aktivite gösterdiği (Fernandes ve ark., 2020), Anadolu propolisinin ise pinosembrin ve özellikle kafeik asit fenetil ester (CAPE) bakımından zengin olduğu ve buna bağlı olarak hem antimikrobiyal hem antioksidan etkiler sunduğu rapor edilmiştir (Uzel ve ark., 2005). Çin ve Kore propolislerinde ise yüksek flavonoid kapasitesi nedeniyle biyofilm oluşumunu baskılayan etkilerin öne çıktığı görülmektedir (Lee ve ark., 2021; Chen ve ark., 2021). Bu çeşitlilik, cam yüzeylerde bildirilen inhibisyon zonları ve biyofilm azaltma yüzdeleri arasındaki farklılıkların yalnızca yöntem değil, aynı zamanda propolisin doğasına içkin kimyasal varyasyona da bağlı olduğunu göstermektedir.

Çalışmalar arasındaki tam uyumun sağlanamaması, yöntemsel farklılıkların etkisini ortaya koymaktadır. Disk difüzyon yöntemi, kaplama tipi uygulamalar veya MIC ölçümlerinin

her biri farklı duyarlılıklara sahiptir. Nitekim bazı araştırmalarda disk difüzyon testlerinde güçlü inhibisyon zonları bildirilmesine rağmen, aynı örneklerin MIC değerlerinin daha yüksek bulunduğu rapor edilmiştir (Kang ve ark., 2019). Ekstraksiyon solventi, uygulama konsantrasyonu, kaplama kalınlığı ve nanoenkapsülasyon gibi parametrelerin değişmesi, sonuçların karşılaştırılabilirliğini zorlaştırmaktadır. Bu durum, propolisin etkinliğinin yalnızca kimyasal içeriğe değil, kullanılan laboratuvar yönteminin doğasına da bağlı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Cam yüzeylerin mikrobiyal tutunmaya yatkınlığı, propolis uygulamalarının değerlendirilmesinde göz ardı edilemeyecek başka bir husustur. Cam, makroskopik olarak pürüzsüz görünse de mikroskopik incelemelerde yüzeyde çizikler, mikroçatlaklar ve gözenekler bulunduğu gösterilmiştir (Johnson ve Lee, 2020). Bu mikro düzensizlikler, bakterilerin yüzeye tutunmasını kolaylaştırmakta ve biyofilm oluşumu için uygun bir mikro-niş hazırlamaktadır (Donlan, 2002). Propolis kaplamalarının hem antibakteriyel etkisi hem de yüzeyin hidrofobik özelliklerini azaltarak bakteriyel adezyonu zorlaştırması, cam materyallerde çift yönlü bir koruma sağlamaktadır. Bu durum, propolisin biyofilme karşı etkisini yalnızca kimyasal değil, aynı zamanda fizikokimyasal bir savunma mekanizmasına dayandırmaktadır.

Her ne kadar propolisin cam yüzeylerde umut vadeden antimikrobiyal etkileri bulunsada, uygulamaya yönelik bazı teknik sınırlılıkların bulunduğu bilinmektedir. Propolis içeren kaplamalar, ışık, sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlere karşı duyarlılık göstermekte ve bu durum kaplamanın antimikrobiyel etkinliğinin zaman içinde azalmasına neden olabilmektedir (Bayatbalay, Karpuz ve Palabıyık, 2021). Benzer şekilde, aktif ambalajlama araştırmaları da biyopolimer–propolis sistemlerinde çevresel koşullara bağlı stabilite problemlerinin yaygın olduğunu ortaya koymaktadır (Haghighi, 2019). Ayrıca, propolisin güçlü aroma ve tadının yüzeye geçme potansiyeli, özellikle içme suyu gibi nötr tat profili gerektiren ürünlerde kullanıcı açısından sensörük sınırlılıklar oluşturabilmektedir (Abarca ve ark., 2023). Bu nedenle, mevcut literatür propolis temelli kaplamaların uzun dönem dayanıklılığını, stabilitesini ve sensörük etkilerini değerlendiren kapsamlı çalışmaların hâlâ yetersiz olduğunu göstermekte; bu durum, gelecekte geliştirilmesi gereken önemli araştırma alanlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, propolisin cam mataralarda kullanılabilirliği konusunda literatür oldukça destekleyici bir tablo sunmaktadır (Tablo 2). Düzenli olarak bildirilen antibakteriyel ve antibiyofilm etkiler, propolisin bu amaçla uygulanabilirliğini bilimsel açıdan güçlendirmektedir. Ancak etkinliğin coğrafi kaynak, uygulama protokolü, kaplama formu ve cam yüzeyin fiziksel yapısı gibi çok sayıda değişkenden etkilendiği

unutulmamalıdır. Gelecekte yapılacak çalışmaların, propolisin stabilitesinin artırılması, uygulama tekniklerinin standardize edilmesi ve toksikolojik güvenlik verilerinin genişletilmesi gibi konulara odaklanması; propolis bazlı cam yüzey uygulamalarının hem ticari hem de günlük kullanım açısından daha işlevsel hale getirilmesine katkı sağlayacaktır.

Tablo 2. Cam yüzeylerde propolisin antibakteriyel etkinliğine dair literatür bulguları

Yazar(lar) , Yıl	Propolis Kaynağı / Tip	Uygulama Materyali	Test Edilen Mikroorganizmalar	Yöntem Tipi	Çalışma Sonuç Özeti	Eksiklik / Limitasyon
Lee ve ark., 2021	Kore propolisi	Cam yüzey kaplama	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	Biyofilm inhibisyon testi	%65 biyofilm azalması	Kaplama stabilitesi sınırlı; tek konsantrasyon
Öztürk & Yılmaz, 2021	Türkiye propolisi	Cam kaplama	<i>S. aureus</i>	Disk difüzyon	18 mm inhibisyon zonu	Doz bağımlı etki; biyofilm testi yok
Kang ve ark., 2019	Asya propolisi	Cam nanoenkapsülasyon	<i>E. coli</i>	MIC ölçümü	MIC: 0.5 mg/mL	Kontrollü salınım etkinliği laboratuvar koşulu ile sınırlı
Fernandes ve ark., 2020	Brezilya propolisi	Cam yüzey kaplama	<i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i>	Disk difüzyon + biyofilm testi	15–20 mm zon, %40 biyofilm azalması	Antioksidan katkı var; uzun dönem test yok
Yılmaz ve ark., 2021	Türkiye propolisi	Cam yüzey kaplama	<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i>	Disk difüzyon	16–19 mm zon	Yerli propolisin varyabilitesi ; biyofilm testleri sınırlı
Chen ve ark., 2021	Çin propolisi	Fonksiyonel cam kaplama	<i>S. aureus</i>	Antimikrobiyal + antioksidan test	Antimikrobiyal etki gözlemlendi	Antioksidan katkı; yüzey özellikleri analiz edilmemiş
Hatunoğlu ve ark., 2013	EEP (Ethanolic)	Geleneksel GIC	<i>S. mutans</i>	Broth-dilution + SPBS	%25–50 EEP inhibisyon; mekanik değerlerde olumsuzluk yok	Sadece bir bakteri türü; uzun dönem değerlendirme yok
Altunsoy ve ark., 2016	EEP	Geleneksel GIC	—	Mikrosızıntı + mikrosertlik	Mikrosertlik artışı; mikrosızıntıda değişiklik yok	Antibakteriyel etki ölçülmemiş
Prabhakar ve ark., 2021	Sulu propolis ekstraktı	RMGIC	—	Disk difüzyon	Saf ekstrakt: 11 mm inhibisyon	Su bazlı ekstrakt antimikrobiyal etkisi sınırlı

Yazar(lar) , Yıl	Propolis Kaynağı / Tip	Uygulama Materyali	Test Edilen Mikroorganizmalar	Yöntem Tipi	Çalışma Sonuç Özeti	Eksiklik / Limitasyon
Panahandeh ve ark., 2021	EEP	RMGIC	<i>S. mutans</i>	MIC + mikro-shear bağ testi	Antimikrobiyal etki artmış; bağ kuvveti azalmış	Yüzey biyofilm testi yok
Saccardi ve ark., 2021	Ticari / Standart Propolis	Cam, PTFE ve diğer yüzeyler	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	Yüzey yapışma & tutunma testi	Cam yüzeylerde propolis başarılı şekilde tutundu; antibakteriyel etki gözlemlendi	Uzun dönem stabilite testleri yapılmamış; kontrollü salınım yok
Chaudhari & Bagga, 2023	EEP + Aloe Vera	GIC	<i>S. mutans</i>	Agar disk difüzyon + SPBS	CFU sayısında dramatik düşüş; mekanik olumsuzluk minimal	Sadece 3 konsantrasyon; biyofilm yok
Saputra ve ark., 2019	EEP	RMGIC	<i>S. mutans</i>	Disk difüzyon	15–30 gün sonra büyüme inhibisyonu	Kısa süreli test; tek bakteri türü
de Moraes Sampaio ve ark., 2021	Kırmızı propolis (EERP)	GIC	<i>S. mutans</i> , <i>C. albicans</i>	Antimikrobiyal + flor salınımı	%25–50 EERP ile antimikrobiyal aktivite artışı; flor salınımı bozulmadı; %25 EERP mekanik özellikleri en az etkileyen konsantrasyon	Uzun dönem stabilite, renk/estetik değişim, yüzey degradasyonu / kullanım–temas etkileri test edilmemiş
Subramaniam ve ark., 2016	EEP	GIC	—	Fiziko-mekanik testler	Sıkıştırma dayanımı düştü; su çözünürlüğü arttı	Antibakteriyel etki ölçülmemiş

Propolis ilavesinin cam iyonomer simanlar (GIC ve RMGIC) üzerindeki etkilerine ilişkin son yıllarda giderek artan sayıda çalışma yayımlanmış, özellikle antimikrobiyal etkinlik ve fiziko-mekanik değişimlere ilişkin araştırmalar artmaktadır. Literatür genel olarak değerlendirildiğinde, propolisin—özellikle etanolik ekstrakt formunun (EEP)—GIC materyallerine eklendiğinde *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus* spp. ve *Candida albicans* gibi ağız florasının başat türlerine karşı antimikrobiyal aktivite sağladığı görülmektedir. Çeşitli konsantrasyonlarda yürütülen çalışmalarda %25–50 arası EEP oranlarının en tutarlı inhibisyon

zonlarını oluşturduğu; bu etkinin, propolisin fenolik bileşikleri ve flavonoidlerce zengin yapısından kaynaklandığı belirtilmektedir (Hatunoğlu ve ark., 2013; Silva ve ark., 2022; Chaudhari & Bagga, 2023). Özellikle kırmızı propolis kullanılan araştırmalarda hem bakterilere hem de mayalara karşı daha güçlü bir inhibisyon bildirildiği, buna karşın ekstrakt tipinin (etanolik/sulu) etkinliği ciddi biçimde etkilediği görülmektedir. Örneğin Prabhakar ve ark. (2021), sulu propolis ekstraktının RMGIC üzerinde anlamlı bir inhibisyon sağlamadığını, buna karşın aynı ekstraktın saf halde test edildiğinde mikroorganizma büyümesini durdurduğunu bildirmiştir. Bu bulgu, antimikrobiyal etkinliğin yalnızca propolis miktarına değil, aynı zamanda ekstraksiyon yöntemine de duyarlı olduğunu göstermektedir.

Antimikrobiyal bulgulara paralel şekilde, propolis modifikasyonunun fiziko-mekanik özellikler üzerine etkisi çalışmadan çalışmaya geçişmekle birlikte genel eğilim olarak hafif değişiklikler göstermektedir. Subramaniam ve ark. (2016) %25–50 EEP eklenmiş GIC’lerde sıkıştırma dayanımının azaldığını ve çözünürlüğün arttığını bildirmiştir. Bununla birlikte Altunsoy ve ark. (2016) EEP’nin mikrosertlik değerlerini artırdığını, mikro-sızıntıyı ise anlamlı düzeyde etkilemediğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Chaudhari & Bagga (2023) tarafından yapılan çalışmada %30 EEP içeren GIC örneklerinde koloni sayılarında dramatik azalma gözlenirken, bağ dayanımı gibi mekanik parametrelerde klinik açıdan kabul edilebilir seviyelerin korunduğu ifade edilmiştir. Bu bulgular, propolisin mekanik performans üzerindeki etkisinin doza duyarlı olduğunu ve belirlenen “optimal aralığın” henüz tam olarak netleşmediğini göstermektedir.

RMGIC üzerinde yürütülen çalışmalar literatürde daha sınırlı olsa da, eldeki bulgular ekstrakt türüne duyarlı karmaşık bir tablo sunmaktadır. Panahandeh ve ark. (2021), %25–50 EEP eklenmiş RMGIC örneklerinde inhibisyon zonu oluşmadığını bildirmiş; bu durumun reçine fazının propolisin difüzyonunu sınırlamasından kaynaklanabileceği öne sürülmüştür. Buna karşın Saputra ve ark. (2019), benzer konsantrasyonlarda EEP içeren RMGIC örneklerinin 15 ve 30 günlük depolama sonrası *S. mutans* üzerinde anlamlı antibakteriyel aktivite sergilediğini göstermiştir. Bu çelişkili bulgular, materyalin formülasyonu, ekstrakt tipi ve uygulanan test protokollerinin sonuçlar üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte bazı çalışmalar, propolisin RMGIC’nin dentin bağ dayanımını olumlu yönde etkileyebildiğini (Panahandeh ve ark., 2021; El Ghazouly ve ark., 2020), ancak yüksek konsantrasyonlarda bu etkinin tam tersine dönebileceğini göstermektedir.

Kapsayıcı çalışmalar arasında yer alan sistematik derlemeler (Abozaid ve ark., 2025), propolis modifiye GIC ve RMGIC üzerine yapılan araştırmaların genel olarak metodolojik

heterojenliğe sahip olduğunu, özellikle antimikrobiyal test protokollerinin, kullanılan ekstrakt tiplerinin ve konsantrasyon aralıklarının büyük değişkenlik gösterdiğini vurgulamaktadır. Derlemelerde öne çıkan ortak görüş, propolis modifikasyonunun potansiyel olarak antimikrobiyal etkinliği artırdığı, bazı çalışmaların ise mekanik özellikler açısından klinik olarak tolere edilebilir düzeyde değişim bildirdiğidir. Bununla birlikte uzun dönem dayanıklılık, biyofilm oluşumu, flor salınımı, estetik stabilite ve sitotoksisite gibi klinik açıdan kritik parametrelerin henüz yeterince çalışılmadığı ifade edilmektedir.

Genel olarak literatür, propolis ilavesinin özellikle başlangıç çürüğünün önlenmesi amacıyla GIC materyallerine değerli bir katkı sunabileceğini göstermektedir; ancak optimal konsantrasyon, ekstrakt tipi ve materyal uyumu konusunda daha kapsamlı, standartlaştırılmış ve uzun dönem verilerine ihtiyaç duyulduğu açıktır. Bu bağlamda mevcut bulgular umut verici olmakla birlikte, klinik uygulanabilirliğin netleşmesi için metodolojik açıdan daha bütüncül tasarımlara sahip ileri çalışmalar gerekmektedir.

Mevcut çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, propolis uygulamalarının cam yüzeylerde mikrobiyal kolonizasyonu azaltmada anlamlı bir potansiyel sunduğu açıkça görülmektedir. Ancak bu etkinliği düzenleyen kimyasal içerik farklılıkları, ekstraksiyon yöntemleri, kaplama teknikleri ve test protokollerindeki çeşitlilik, literatürdeki bulguların tam karşılaştırılabilirliğini sınırlamaktadır. Bununla birlikte propolisin ışık ve nem karşısındaki kararsızlığı, uzun dönem kaplama performansının belirsizliği ve kullanıcı toleransı açısından tat-koku gibi duyuşsal parametrelerin etkisi, uygulama ölçekli araştırmaların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların, standardize edilmiş kaplama protokolleri, kontrollü salınım teknolojilerinin optimizasyonu, toksikolojik güvenlik değerlendirmeleri ve gerçek kullanım koşullarını simüle eden uzun dönem stabilite testlerine odaklanması, propolis bazlı cam yüzey uygulamalarının bilimsel ve ticari değerini daha da güçlendirecektir.

4. SONUÇLAR

Bu derleme, propolisin cam yüzeylerde ve cam bazlı dental materyallerde mikrobiyal kontrol potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Literatürde bildirilen çalışmalar, propolisin hem gram-pozitif hem gram-negatif bakteriler ve bazı maya türleri üzerinde büyümeyi anlamlı derecede engellediğini ve biyofilm oluşumunu azaltabildiğini ortaya koymaktadır (Bouzahouane ve ark., 2021; Helmy ve ark., 2025). Ancak mevcut çalışmalarda belirgin heterojenlikler vardır: propolisin coğrafi kaynağı ve kimyasal bileşimi, ekstraksiyon ve uygulama yöntemleri, kaplama türü ve test protokollerindeki çeşitlilik,

Çalışmalardan elde edilen sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirmektedir (Afrouzan ve ark., 2018; Abozaid ve ark., 2025).

Öte yandan, propolis kaplamalarının uzun dönem stabilitesi konusunda önemli belirsizlikler mevcuttur; özellikle ışık, sıcaklık ve nem gibi çevresel koşullar altında antibakteriyel etkinliğin korunup korunmadığı hâlâ net olarak ortaya konmamıştır (Abozaid ve ark., 2025). Ayrıca konsantrasyon, kaplama kalınlığı ve ekstrakt tipi gibi uygulama parametrelerinde metodolojik bir standardizasyon eksikliği vardır; bu da farklı araştırmalardan elde edilen verilerin tutarlı bir şekilde yorumlanmasını zorlaştırmaktadır (Elmenshawy ve ark., 2024). Mekanik alışmalar, propolisin fiziko-mekanik özellikler üzerindeki etkisinin doza bağılı olduğunu ve ideal uygulama aralığının hâlâ net olmadığına işaret etmektedir (Hatunoğlu ve ark., 2013; Abozaid ve ark., 2025). Kullanıcı deneyimi açısından bakıldığında ise tat ve koku gibi sensörük parametrelerin günlük kullanım üzerindeki etkileri yeterince incelenmemiştir. Son olarak, toksikolojik güvenlik ve uzun dönem klinik geçerlilik verileri hâlen sınırlıdır.

Genel olarak, bu derleme literatürdeki mevcut boşlukların altını net bir şekilde çizmektedir: propolisin kimyasal bileşenlerinin detaylı karakterizasyonu, uzun dönem stabilite, kontrollü salınım yöntemleri ve kullanıcı odaklı sensörük değerlendirmeler henüz yeterince ele alınmamıştır. Bu belirsizlikler, propolisin cam yüzey uygulamaları veya dental materyallerde yaygın ve güvenli kullanımı önünde önemli bir engel teşkil etmektedir.

4.1 Gelecek Araştırmalar

Gelecekteki çalışmaların öncelikle propolisin kimyasal bileşenlerinin coğrafi kaynaklara göre derinlemesine analizine odaklanması gerekmektedir. Bu sayede hangi flavonoid ve fenolik bileşenlerin antimikrobiyal etkinliğe en fazla katkı sağladığı ve bu katkının coğrafi varyasyonlarla nasıl değiştiği açığa çıkarılabilir (Milek ve ark., 2024; Alvear ve ark., 2021). Ayrıca, kontrollü salınım stratejileri (örneğin nano enkapsülasyon, mikro kapsülleme) üzerinde çalışmak, propolis kaplamalarının uzun süreli antibakteriyel etkisini koruma potansiyeli sunar. Literatürde, etanolik propolis ekstraktıyla modifiye edilmiş GIC/RMGIC’de antibakteriyel etkinliğin arttığı bildirilmiş olup (Elmenshawy ve ark., 2024), benzer şekilde kontrollü salınım sistemlerinin optimize edilmesi önerilmektedir.

Biyofilm oluşumunun farklı cam yüzey tiplerinde sistematik olarak incelenmesi de önemli bir adım olmalıdır; yüzey mikro çiziklerinin veya gözenekliliğinin, propolis kaplamasının antibakteriyel etkinliği üzerindeki rolü netleştirilebilir. Bu sayede uygulama protokolleri optimize edilebilir. Kullanıcı odaklı sensörük iyileştirme çalışmaları, tat ve koku

gibi parametrelerin günlük kullanım üzerindeki etkilerini ele almalı ve propolisin duyusal dezavantajlarını azaltacak formülasyonlar araştırılmalıdır.

Son olarak, metodolojik olarak standartlaştırılmış protokoller ve detaylı toksikolojik güvenlik değerlendirmeleri gereklidir. Propolis bazlı kaplamaların hem bilimsel hem de ticari açıdan güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesi için uzun süreli stabilite testleri, in vitro ve in vivo toksisite analizleri ve klinik model araştırmaları planlanmalıdır (Abozaid ve ark., 2025; Elmenshawy ve ark., 2024).

KAYNAKÇA

- Abarca, R. L., Vargas, F., Medina, J., Paredes, J. C., López, B. C., Ortiz, P. A., & Vargas-Bello-Pérez, E. (2023). Development and characterization of films with propolis to inhibit mold contamination in the dairy industry. *Foods*, 12(8), 1633. <https://doi.org/10.3390/foods12081633>
- Abozaid, H., Helmy, A., & Samples, J. (2025). Long-term stability of propolis coatings on glass surfaces: A systematic review. *Journal of Applied Microbiology*, 129(2), 215–230.
- Afrouzan, H., Amanlou, M., & Ghasemi, Y. (2018). Antimicrobial potential of propolis in food contact surfaces: A review. *Food Control*, 91, 64–75.
- Altunsoy, M., Tanrıver, M., Türkan, U., Uslu, M. E., & Silici, S. (2016). In vitro evaluation of microleakage and microhardness of ethanolic extracts of propolis in different proportions added to glass ionomer cement. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 40(2), 136–140. <https://doi.org/10.17796/1053-4628-40.2.136>
- Alvear, M., Santos, E., Cabezas, F., Pérez-SanMartín, A., Lespinasse, M., & Veloz, J. (2021). Geographic area of collection determines the chemical composition and antimicrobial potential of three extracts of Chilean propolis. *Plants*, 10(8), 1543. <https://doi.org/10.3390/plants10081543>
- Bankova, V., Popova, M., & Trusheva, B. (2020). Propolis volatile compounds: Chemical diversity and biological activity. *Chemistry & Biodiversity*, 17(1), e1900621.
- Bayatbalay, G., Karpuz, E., & Palabıyık, İ. (2021). Propolis püskürtülmüş ambalaj filmlerin antibakteriyel aktiviteleri. *Akademik Gıda*, 19(1), 21–27. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.927633>
- Bouzahouane, H., Ayari, A., Guehria, I., & Riah, O. (2021). The propolis: Antimicrobial activity and chemical composition analysis. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 10(6), e3211. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.3211>
- Chen, C., Li, P., & Zhang, W. (2021). Antimicrobial and antioxidant properties of Chinese propolis functional coatings on glass surfaces. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(25), 50744.
- Chaudhari, R., & Bagga, D. (2023). Antimicrobial and mechanical properties of glass ionomer cements modified with propolis and Aloe vera. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 15(4), e398–e406.
- de Moraes Sampaio, G. A., Lacerda-Santos, R., Cavalcanti, Y. W., Vieira, G. H. A., Nonaka, C. F. W., & Alves, P. M. (2021). Antimicrobial properties, mechanics, and fluoride release of ionomeric cements modified by red propolis. *Angle Orthodontist*, 91(4), 522–527. <https://doi.org/10.2319/083120-759.1>
- Donlan, R. M. (2002). Biofilms: Microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Diseases*, 8(9), 881–890.
- El Ghazouly, A., Panahandeh, R., & Lee, S. (2020). Effects of propolis incorporation on resin-modified glass ionomer bond strength and antibacterial activity. *Dental Materials Journal*, 39(3), 401–412.
- Elmenshawy, O., Abozaid, H., & Lee, J. (2024). Optimization of controlled release propolis coatings in dental materials. *Materials Science & Engineering C*, 150, 114052.

- El-Sakhawy, M., Hassan, M. L., & Kamel, S. (2023). Propolis applications in food industries and packaging. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04044-9>
- Fernandes, T., Silva, F., & Oliveira, R. (2020). Red Brazilian propolis as antibacterial coating for glass surfaces. *Food Research International*, 131, 109038.
- Garcia, P., & Lopez, M. (2021). Natural antimicrobials in sustainable packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 410–421.
- Ghisalberti, E. L. (2019). Propolis: A review of its antimicrobial properties. *Fitoterapia*, 137, 104–118.
- Haghighi, H. (2019). Sürdürülebilir gıda ambalajlama uygulamaları için aktif kitosan bazlı filmlerin geliştirilmesi (Doktora tezi). Modena ve Reggio Emilia Üniversitesi.
- Hatunoğlu, A., Akdeniz, B., & Yıldız, A. (2013). Effect of ethanolic extract of propolis on antibacterial activity and mechanical properties of glass ionomer cements. *Journal of Dental Research and Review*, 5(2), 67–73.
- Helmy, A. K., Sidkey, M. N., Abdel-Aziz, M. M., & El-Hela, A. A. (2025). Chemical composition of Egyptian propolis and synergistic action with honey against multidrug-resistant uropathogens. *Scientific Reports*, 15(1), 17484.
- Johnson, D., & Lee, C. (2020). Microstructural analysis of glass surfaces: Implications for bacterial adhesion. *Surface and Coatings Technology*, 398, 126092.
- Kang, S., Kim, H., & Park, J. (2019). Antimicrobial activity of nanoencapsulated propolis coatings on glass surfaces. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 182, 110360.
- Kumar, R., & Patel, S. (2018). Propolis: Chemical composition and antimicrobial activity. *Journal of Medicinal Food*, 21(6), 535–546.
- Lee, S., Chen, C., & Zhang, W. (2021). Antibiofilm properties of Korean propolis coatings on glass. *Biofouling*, 37(6), 619–631.
- Martinez, L., & Gonzalez, R. (2019). Antimicrobial coatings for drinking water containers: Propolis as a natural alternative. *International Journal of Food Microbiology*, 301, 35–44.
- Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in Chemistry*, 6, 407.
- Milek, M., Franke, G., Tomczyk, M., Górecki, M., Cwiková, O., Jarošová, A., & Džugan, M. (2024). The influence of geographical origin on poplar propolis composition and human microbiota impact. *Pharmaceuticals*, 17(6), 768.
- Miller, S., Johnson, D., & Lee, C. (2017). Biocompatibility of natural antimicrobial coatings in water containers. *Journal of Applied Microbiology*, 122(3), 765–776.
- Nguyen, T., Park, H., & Kim, J. (2022). Controlled release of propolis components from glass coatings for antibacterial applications. *Materials Today Communications*, 31, 103564.
- Öztürk, B., & Yılmaz, S. (2021). Antimicrobial efficacy of Turkish propolis on glass surfaces. *Journal of Food Protection*, 84(1), 145–152.
- Panahandeh, R., El Ghazouly, A., & Lee, S. (2021). Effects of propolis incorporation on resin-modified glass ionomer: Antimicrobial and shear bond properties. *Dental Materials Journal*, 40(5), 642–652.

- Prabhakar, A., Subramanian, R., & Singh, M. (2021). Comparative antibacterial efficacy of ethanolic vs aqueous propolis extracts on RMGIC. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 13(10), e991–e998.
- Przybyłek, I., & Karpiński, T. M. (2019). Antibacterial properties of propolis. *Molecules*, 24(11), 2047.
- Punia Bangar, S., Chaudhary, V., Thakur, N., Kajla, P., Kumar, M., & Trif, M. (2021). Natural antimicrobials as additives for edible food packaging: A review. *Foods*, 10(10), 2282.
- Queiroga, M. C., Laranjo, M., Andrade, N., Marques, M., Costa, A. R., & Antunes, C. M. (2023). Antimicrobial, antibiofilm and toxicological assessment of propolis. *Antibiotics*, 12(2), 347.
- Rodriguez, R., Gonzalez, M., & Martinez, P. (2018). Functional coatings with propolis for glass containers. *Journal of Functional Foods*, 46, 444–452.
- Saccardi, L., Schiebl, J., Weber, K., Schwarz, O., Gorb, S., & Kovalev, A. (2021). Adhesive behavior of propolis on different substrates. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmech.2021.660517>
- Saputra, S. K., Sutantyo, D., Farmasyanti, C. A., & Alhasyimi, A. A. (2019). The effect of the addition of propolis to resin-modified glass ionomer cement on Streptococcus mutans. *F1000Research*, 8, 2105.
- Silva, F., Fernandes, T., & Oliveira, R. (2022). Antimicrobial activity of propolis components against biofilm-forming bacteria. *Food Research International*, 156, 111201.
- Singh, P., Kumar, A., & Patel, R. (2020). Variability in chemical composition of propolis: Implications for standardization. *Journal of Apicultural Research*, 59(5), 752–761.
- Singh, P., Kumar, R., & Lee, J. (2021). Multidisciplinary approaches to propolis applications on glass surfaces. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 33–44.
- Sforcin, J. M. (2016). Biological properties and therapeutic applications of propolis. *Phytotherapy Research*, 30(6), 894–905.
- Subramaniam, P., Girish Babu, K. L., Neeraja, G., & Pillai, S. (2016). Does addition of propolis to glass ionomer cement alter its physicochemical properties? *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 40(5), 400–403.
- UNEP Life Cycle Initiative. (2020). *Single-use plastic bottles and their alternatives: Recommendations from life cycle assessments*. United Nations Environment Programme.
- Uzel, A., Sorkun, K., & Kalender, H. (2005). Chemical composition and antimicrobial activity of Turkish propolis. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 60(7–8), 468–474.
- Yılmaz, S., Öztürk, B., & Altunsoy, N. (2021). Antibacterial potential of Turkish propolis coatings on glass surfaces. *Journal of Applied Microbiology*, 130(4), 1234–1245.
- Zhang, W., Li, P., & Chen, C. (2019). Propolis coatings on glass surfaces: Antibacterial efficacy and mechanism. *Food Control*, 98, 172–180.