

# RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ

ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

**MART 2026**

**EDİTÖR**

**Doç. Dr. Şeyhmus BAKIR**

**İmtiyaz Sahibi / Yaşar Hız**  
**Yayına Hazırlayan / Gece Kitaplığı**

**Birinci Basım / Mart 2026 - Ankara**  
**ISBN / 978-625-321-010-6**

**© copyright**

Bu kitabın tüm yayın hakları Gece Kitaplığı'na aittir.  
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

**Gece Kitaplığı**

Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak  
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA  
0312 384 80 40  
www.gecekitapligi.com / gecekitapligi@gmail.com

**Baskı & Cilt**

Bizim Büro  
**Sertifika No: 42488**

**RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ  
ALANINDA ARAŞTIRMALAR VE  
DEĞERLENDİRMELER**

**MART 2026**

**EDİTÖR**

**Doç. Dr. Şeyhmus BAKIR**

**gece**  
kitaplığı



# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

### DİŞ RENKLENMELERİ, ETİYOLOJİLERİ VE TEDAVİLERİ

*Ecehan KAPLAN* ..... 7

## BÖLÜM 2

### PULPA KUAFASI VE PULPA KUAFAS MATERYALLERİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR ÜZERİNE BİR DERLEME

*Sena GEZER, Zeynep DERELİ* ..... 29

## BÖLÜM 3

### DİŞ HEKİMLİĞİNDE KİTOSAN UYGULAMALARI

*Aslı SİLKÜ OFLİOĞLU, S. Hülya ERTEN CAN* ..... 51



# BÖLÜM 1

---

## DİŞ RENKLENMELERİ, ETİYOLOJİLERİ VE TEDAVİLERİ

*Ecehan KAPLAN<sup>1</sup>*

## 1.GİRİŞ

Diş rengi, bireyin estetik algısını ve gülüş memnuniyetini belirleyen en önemli parametrelerden biri olup, modern diş hekimliğinde yalnızca fonksiyonel değil aynı zamanda psikososyal açıdan da büyük önem taşımaktadır. Günümüzde artan estetik beklentiler, diş rengindeki değişimlerin etiyojisinin doğru anlaşılmasını ve uygun tedavi yaklaşımlarının bilimsel temellere dayandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Diş renklenmeleri; oluşum mekanizmaları, yerleşim derinlikleri ve klinik görünümleri bakımından heterojen bir yapı sergilemekte olup, basit yüzeysel lekelerden karmaşık gelişimsel ve sistemik kökenli renk değişimlerine kadar geniş bir spektrumda değerlendirilmektedir. <sup>(1,2)</sup>

Dişlerde gözlenen renklenmeler, etkenin kaynağına ve diş dokularıyla etkileşim biçimine bağlı olarak dış kaynaklı (ekstrinsik) ve iç kaynaklı (intrinsik) olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır.<sup>(2)</sup> Bu ayırım, yalnızca tanısal açıdan değil, aynı zamanda tedavi planlamasının belirlenmesi açısından da kritik bir öneme sahiptir. Zira ekstrinsik renklenmeler çoğu zaman mekanik veya kimyasal yöntemlerle elimine edilebilirken, intrinsik kökenli renk değişimleri daha kompleks biyolojik süreçlerin sonucu olup multidisipliner ve bireye özgü yaklaşımlar gerektirebilmektedir. <sup>(3,4)</sup>

Bu bölümde, diş renklenmelerinin etiyojisi ayrıntılı bir şekilde ele alınarak; metabolik, kalıtsal, iatrojenik ve travmatik faktörlerin diş sert dokuları üzerindeki etkileri güncel literatür ışığında incelenecektir. Ayrıca renklenme tiplerinin klinik özellikleri ve ayırıcı tanı kriterleri sistematik bir çerçevede sunulacaktır. Devamında ise, renklenmiş dişlerin tedavisinde kullanılan beyazlatma yöntemleri; tarihsel gelişimleri, etki mekanizmaları ve güncel uygulama protokolleriyle birlikte değerlendirilerek, klinik karar verme sürecine rehberlik edecek bütüncül bir bakış açısı ortaya konacaktır. <sup>(5,6)</sup>

## 2.DİŞ RENKLENMELERİ

### 2.1.Renklenmenin Etiyojisi ve Türleri

Diş renginde meydana gelen değişimler, yalnızca estetik bir sorun olmanın ötesinde, altta yatan biyolojik süreçler ve çevresel etkileşimler hakkında da önemli ipuçları sunmaktadır.

Klinik değerlendirmede renklenmenin karakteri, dağılımı ve derinliği hem etiyolojik faktörlerin doğru tanımlanmasını hem de uygulanacak tedavi yaklaşımının belirlenmesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle diş renklenmeleri, lekenin diş dokularıyla olan etkileşim düzeyi esas alınarak sistematik bir sınıflandırma çerçevesinde ele alınmaktadır.

Bu bağlamda renklenmeler, diş yüzeyiyle sınırlı kalan ve çoğunlukla çevresel faktörlere bağlı gelişen değişimler (dış kaynaklı renklenmeler) ile dişin sert dokularına entegre olan ve gelişimsel ya da sistemik kökenli süreçleri yansıtan değişimler (iç kaynaklı renklenmeler) olarak iki ana başlık altında incelenmektedir.

### **2.1.1. Dış Kaynaklı (Ekstrinsik) Renklenmeler**

Mine tabakasının dış yüzeyinde, topikal etkenler veya dış ajanlar sebebiyle meydana gelen değişimlerdir <sup>(7)</sup>. Bunlar metalik ve metalik olmayanlar şeklinde iki grupta değerlendirilir. Metalik Renklenmeler Diş yüzeyinde metal bileşiklerinin çökmesiyle oluşur. Mesleki maruziyet veya metal tuzu içeren farmakolojik ürünlerin kullanımı karakteristik renklenmelere yol açar <sup>(8,9,10)</sup>. Örneğin, stanöz florür sarı-kahverengi <sup>(11)</sup>, amalgam dolgulardan sızan cıva iyonları ise gri-siyah tonlar oluşturur. Metalik Olmayan Renklenmeler ise günlük tüketilen gıda, içecek ve tütün ürünlerinin dental plak veya pelikül yapısına penetre olmasıyla gelişir. Hijyeni zayıf bireylerde bu lekeler turuncu-yeşil iken, iyi hijyene sahip olanlarda siyah-kahverengidir <sup>(12)</sup>. Özellikle dişin servikal ve orta bölgelerinde yoğunlaşır <sup>(13)</sup>.

### **2.1.2. İç Kaynaklı (İntrinsik) Renklenmeler**

İç kaynaklı renk değişikliği, diş sert dokularının yapısında veya kalınlığında meydana gelen değişiklikler sonucunda oluşur. <sup>(14,15)</sup>

#### **2.1.2.i. Metabolik Hastalıkların Sebep Olduğu İç Kaynaklı Renklenmeler**

##### **Alkaptonüri**

Homogentisik asit oksidaz (HGO) enzimidaki yetersizlik nedeniyle vücutta homogentisik asit birikimiyle seyreden alkaptonüri, farklı dokularda koyu renkli pigmentasyon oluşumuyla karakterize olup diş yapısında da belirgin değişimlere yol açabilmektedir. Bu klinik tabloda, mine ve dentin tabakalarında biriken homogentisik asit sonucunda dişlerde mavi-siyah ya da kahverengi tonlarında renk değişiklikleri meydana gelebilir. Söz konusu bu renklenmelerin, özellikle molar dişlerde ve gingival sınıra yakın bölgelerde daha yoğun şekilde gözlemlendiği bildirilmektedir. <sup>(16)</sup>

### **Konjenital Hiperbilirubinemi**

Doğuştan gelen ve bilirubin metabolizmasındaki bozukluklardan kaynaklanan bir durumdur. Bilirubin, kırmızı kan hücrelerinin yıkımı sonucu oluşan ve karaciğer tarafından işlenerek safra yoluyla vücuttan atılan bir bileşiktir.<sup>(17)</sup> Bilirubin seviyelerinin artmasıyla karakterize konjenital hiperbilirubinemi genellikle bilirubinün karaciğer tarafından yeterince işlenememesi veya vücuttan atılamaması sonucu oluşur. Bilirubin birikimi nedeniyle dişlerde sarımsı-yeşilimsi renklenme oluşabilir.<sup>(17)</sup> Yeni doğan sarılığına bağlı çocuklarda gelişen türe neonatal hiperbilirubinemi olarak geçer.

### **Konjenital Eritropoetik Porfiri (Günther hastalığı)**

Porfirin metabolizmasında meydana gelen bozukluk nedeniyle kemik iliği, eritrositler, idrar ve dışkının yanı sıra dişlerde de porfirin birikimi meydana gelir <sup>(18)</sup>. Metabolik aksama sonucu serbest kalan hematoporfirin dental dokularda depolanması, dişlerde kırmızı-kahverengi renk değişimlerine yol açar bu duruma eritrodonti denir. Süt dişleri daimî dişlere oranla daha şiddetli etkilenir. Klinik açıdan önemli bir diğer nokta ise, bu tip renklenmeye sahip dişlerin beyazlatma tedavilerine karşı direnç göstermesi ve işleme yanıt vermemesidir <sup>(19)</sup>.

## **2.1.2.ii. Kalıtsal Hastalıkların Neden Olduğu İç Kaynaklı Renklenmeler**

### **Amelogenezis İmperfekta**

Hem süt hem de daimî dentisyonu etkileyen kalıtsal bir anomali olan amelogenezis imperfekta, genetik olarak aktarılan bir mine bozukluğudur. Bu klinik tablo çoğunlukla otozomal baskın ya da resesif kalıtım sergilemekle birlikte, literatürde X kromozomuna bağlı nadir geçişler de rapor edilmiştir <sup>(20,21)</sup>. Mine matrisinin şekillenmesi veya mineralizasyon aşamalarındaki aksaklıklara göre kategorize edilen bu durumun 14 farklı varyasyonu tanımlanmıştır <sup>(22)</sup>. Klinik pratikte ise en sık hipoplastik ve hipomineralize formlar gözlenmektedir.

Hipoplastik tipte cinsiyetler arası farklılıklar dikkat çekicidir; erkeklerde diş yüzeyleri pürüzsüz-parlak bir dokuyla birlikte sarıdan kahverengiye uzanan tonlar sergilerken, kadınlarda renk değişimi daha hafif seyretmektedir <sup>(23)</sup>. Buna karşın hipomineralize formda cinsiyet seçiciliği bulunmamaktadır. Bu vakalarda diş rengi başlangıçta tebeşir beyazı veya sarımtırak bir tondayken, yaş ilerledikçe renk koyulaşarak siyaha kadar dönüşebilir <sup>(10)</sup>.

## **Dentinogenezis İmpperfekta**

Dişin morfolojisi, rengi ve işlevsel kapasitesinde kayıplara yol açan dentinogenezis imperfekta, dentin ve pulpa dokularını etkileyen gelişimsel bir patolojidir. Temel bozukluk dentin dokusunda olsa da süreç mine tabakasını da dolaylı olarak etkilemektedir. Hem süt hem de daimî dişlerde gözlenebilen bu anomali, her iki cinsiyette de eşit prevalans sergiler. Klinik olarak dişler sürdüğünde başlangıçta olağan bir renk sergilese de zaman içerisinde karakteristik bir yarı saydamlık kazanarak gri, sarı ya da kahverengi tonlarına bürünür. Çoğu olguda mine tabakasının dişten ayrılmasıyla alttaki yumuşak dentin dokusu korunmasız kalır; bu durum, gıda pigmentleri ve kromojenik bakterilerin dentin tübüllerine penetre olmasıyla dişin daha yoğun renklenmesine yol açar <sup>(24)</sup>. Shields ve çalışma arkadaşları, bu patolojiyi üç temel grupta sınıflandırmıştır <sup>(25)</sup>. Tip I kolajen sentezindeki aksaklıktan kaynaklanan ve bir bağ dokusu hastalığı olan osteogenezis imperfekta ile seyreden formu olan Tip I klinik tabloda kemik kırılabilirliği, eklem laksitesi, mavi sklera ve opak dentin yapısı bir arada görülebilir. Baskın veya resesif kalıtılabilir; resesif formun klinik seyri daha agresif olup erken yaşta mortalite riski taşır <sup>(26)</sup>. Tip II ise sistemik bir hastalıkla ilişkili olmaksızın sadece dentin dokusunu etkileyen tiptir. Her iki dentisyonu da kapsamına alan bu durumda, süt dişleri genellikle daha ağır etkilenir <sup>(27)</sup>. Dişlerde mavimsi veya kahverengi bir renk yansıması izlenir; transillüminasyonda belirgin bir opaklık saptanır. Pulpa odalarının zamanla obliterasyona uğraması karakteristiktir. Mine tabakası kaybolduğunda, açığa çıkan poröz dentin yapısı kromojenleri hızla absorbe ederek rengin koyu kahverengiye dönmesine neden olur <sup>(27)</sup>. Wiktop tarafından literatüre kazandırılan tip III, klinik olarak Tip I ve II ile benzerlik gösterse de özellikle süt dişlerinde çoklu pulpa ekspozisyonlarıyla ayırt edilir. Radyografik incelemelerde, manto dentin oluşumunun ardından dentin yapımının durmasıyla karakterize kabuk diş (shell teeth) görüntüsü dikkat çekicidir. Güncel yaklaşımlar, bu tipin genetik olarak Tip II ile yakından ilişkili olduğunu savunmaktadır <sup>(26)</sup>.

## **Dentin Defektleri**

Dentin tabakasında izlenen defektlerin kökeni; genetik mutasyonlara veya dışsal (çevresel) faktörlere dayanabilmektedir. Kalıtsal olarak aktarılan dentin bozuklukları, başka bir semptom göstermeksizin sadece diş yapısını etkileyen izole bir tablo sergileyebileceği gibi, çeşitli sistemik hastalıklarla (sendromik durumlar) kombine bir şekilde de ortaya çıkabilir.

Bu yapısal anomalilerde ana problem, dentin matrisinin organik yapısı veya mineralizasyon sürecindeki aksaklıklardır. Klinik açıdan bu durum; dişin renginde bozulma, doku direncinde azalma ve ileri seviyede aşınma ile karakterizedir.<sup>(28)</sup>

### 2.1.2.iii. İatrojenik Nedenlerle Oluşan İç Kaynaklı Renklenmeler

#### Tetrasiklin Renklenmesi

Tetrasiklin geniş spektrumlu bir antibiyotiktir ve diş gelişimi sırasında kullanıldığı takdirde plasenta bariyerini aşır iç kaynaklı renklenmeye neden olabilir. Tetrasiklin renklenmesi, stabil bir ortofosfat kompleksi olarak hidroksi apatit kristallerinin yüzeyindeki kalsiyum iyonları ile şelatlanan ilacın sistemik uygulamasından kaynaklanır.<sup>(14,29)</sup>

Tetrasiklin, hamilelikte, emzirme döneminde ve diş gelişiminin sürdüğü 12 yaşına kadar olan çocuklarda kullanılmamalıdır<sup>(30)</sup>. Renklenme riski açısından en kritik dönemler; süt dişleri için rahimdeki 4. aydan doğum sonrası 5. aya kadar, daimî anterior dişler için ise doğumdan yaklaşık 7 yaşına kadar olan süreçtir<sup>(30)</sup>. Ortaya çıkan renk değişikliğinin şiddeti; kullanılan ilaca, doza ve kullanım zamanına bağlı olarak değişkenlik gösterir<sup>(10)</sup>. Klinik olarak bu dişler başlangıçta sarımsı veya kahverengi-gri bir görünüme sahipken, ışığa maruz kalma ile renk zamanla kahverengiye döner; bu nedenle ışığa doğrudan maruz kalan ön dişler bu değişime daha duyarlıdır. Ayrıca, mine tabakasının daha ince olduğu servikal bölgelerde alttaki renklenmiş dentinin daha fazla yansımaları, dişlerin boyun bölgelerinin insizal ve okluzal üçlüye göre daha koyu görünmesine neden olur.<sup>(10)</sup>

Tetrasiklin, oksitetrasiklin, dimetiltetrasiklin, dişleri sarı-kahverengimsi-gri tonlarda boyarken, klortetrasiklin dişleri gri tonda boyamaktadır. Vibramisin ve Doksasiklin gibi renklenme yapmayan tetrasiklin preparatları da bulunmaktadır.<sup>(31)</sup> Son zamanlarda yetişkinlerde uzun süreli tetrasiklin tedavisinin ardından diş renginde değişiklik yaşandığına dair raporlar bulunmaktadır.<sup>(32)</sup> Tetrasiklin antibiyotiklerinin sentetik bir bileşiği olan minosiklin, akne tedavisinde uzun süreli kullanımı sonrasında yetişkin hastada renk bozulmasına neden olmakla da ilişkilendirilmiştir.<sup>(33,34)</sup>

#### Florozis (Benekli Mine)

Endemik bir tablo olan florozis, hem süt hem de daimî dişleri etkileyebilen bir anomalidir. Tablonun ağırlığı; florür maruziyetinin süresine, dozuna, bireyin vücut ağırlığına, metabolik hızına ve kemik gelişim sürecine göre değişkenlik gösterir<sup>(35)</sup> Günlük florür alımı için güvenli seviye 0,05 ila 0,07 mg F/Kg/gündür.<sup>(36)</sup> Gebeliğin 2. trimesteri ile 8 yaş arasındaki süre zarfında günde 1 ppm'den fazla flor alımına bağlı olarak meydana gelir. Su veya florür içeren ağız gargaraları, tabletler, diş macunları sebebiyle ortaya çıkabilir. Klinik tablonun şiddetine bağlı olarak florozis; başlangıç evrelerinde mine üzerinde simetrik beyaz opak şeritler ve

beneklenmelerle kendini gösterirken, ilerlemiş olgularda diş yüzeyinde tebeşirsi bir matlık ve koyu kahverengi kavitasyonlar izlenir.<sup>(11)</sup>

Florozisin kesin teşhisi diş yüzeyleri kuruyken ve yeterli bir ışık kaynağı altında yapılır. Hafif düzeydeki florozis vakalarında klinik tablo; dişlerde simetrik dağılım gösteren, sınırları belirsiz, opak ve mine yüzeyini yatay yönde kesen beyaz çizgilenmeler ile kendini gösterir. Bu opak alanların bir araya gelmesiyle daha geniş beyaz lekeler oluşabilmektedir. Hastalığın daha ileri ve şiddetli aşamalarında ise mine dokusunda şeffaflaşma veya çukurcuklar (pitting) gözlenebilir. Florozisli mine, diş sürmesi anında aslında lekesizdir; ancak zaman içerisinde anormal derecede poröz olan mine yapısına demir ve bakır gibi dış kaynaklı (ekzojen) iyonların difüze olmasıyla karakteristik renklenmeler meydana gelir.<sup>(37)</sup>

#### **2.1.2.iv. Travma Nedeni ile Oluşan İç Kaynaklı Renklenmeler**

##### **Mine Hipoplazisi**

Mine hipoplazisi diş minesinin normalden daha ince veya yetersiz geliştiği bir durumdur. Lokalize veya generalize olabilir. Dişlerde renklenme, pürüzlü veya çukurlu yüzeyler, hassasiyet, kolay aşınma en yaygın belirtileridir. En yaygın lokalize nedeni, süt dişlenmede travma veya enfeksiyondur.<sup>(38)</sup> Diş germindeki bu tür lokalize hasar, genellikle yaralanmanın zamanı ile ilişkili olabilen hipoplastik bir mine defekti üretecektir. Maternal D vitamini eksikliği, kızamıkçık enfeksiyonu, gebelik sırasında ilaç alımı ve pediatrik hipokalsemik durumlar diş gelişimini etkileyebilir. Etki doğrudan sistemik rahatsızlığın derecesiyle ilgilidir.<sup>(39)</sup>

##### **Pulpal Hemorajiler**

Sürmüş bir dişte meydana gelen akut travma veya derin bir çürük intrapulpal kanamaya neden olarak dişin kırmızı bir renk almasına neden olabilir. Kırmızı kan hücrelerinin hemolizi nekrotik pulpa dokusuyla birleşerek siyah demir sülfür oluşturmak üzere hem grubunu serbest bırakır. Pulpa nekrotik hale geldikçe bu renk değişikliği birkaç gün içinde gri-kahverengiye dönüşebilir. Bu durum özellikle anterior dişlerde görülmektedir.<sup>(40)</sup> Renk değişikliğine ağrı ve hassasiyet eşlik edebilir. Bazen diş kendi kendine rejenere olur ve beyazlatma tedavisi yapılmaksızın diş doğal rengine döner.<sup>(41)</sup> Bu renk bozukluğuna sahip dişlerde vitaliteye bakılmalıdır. Renklenme süresinin uzaması genellikle pulpa nekrozunun bir göstergesidir. Travma sonrası gelişen ankiloz sonucunda ise dişlerde beyaz ya da sarı-kahverengi renk değişiklikleri gözlenebilir.<sup>(42)</sup>

### **Diş Sert Dokularının Rezorpsiyonu**

Farklı travmatik etkenler, inflamatuvar reaksiyonlar veya patolojik mekanizmalar neticesinde gelişen bu tablo, mine-dentin birleşiminde gözlenen karakteristik pembe renk yansımasıyla ayırt edilir. Söz konusu bu görünüm, dentin dokusundaki ileri dereceli yıkıma (rezorpsiyon) bağlı olarak pulpadaki vasküler dokunun incelmış mine tabakasından dışarıya yansıması sonucunda ortaya çıkmaktadır.<sup>(43)</sup>

### **Dentin Hiperkalsifikasyonu**

Fizyolojik yaşlanma, mekanik travmalar veya pulpal enflamasyonlar; dişin beslenmesini geçici olarak bozarak odontoblastik faaliyette düzensizliğe yol açabilir. Bu sürecin sonunda dentin tübülleri içinde kontrolsüz kalsiyum birikimi gözlenir. Klinik tabloda dişler vitalitesini (canlılığını) sürdürse de mineral yoğunluğundaki artış dokunun ışık geçirgenliğini azaltır. Sonuç olarak dişlerde karakteristik bir opaklaşma ve sarı-kahverengi tonlarda renk değişimi meydana gelir<sup>(40)</sup> Tedavi planlamasında konservatif bir yaklaşım olarak öncelikle vital beyazlatma prosedürleri tercih edilmelidir. Şayet bu yöntemle arzu edilen estetik sonuç elde edilemezse; endodontik tedavi (kök kanal tedavisi) sonrasında intrakronal (içten) beyazlatma uygulamaları gündeme alınmalıdır. <sup>(44)</sup>

#### **2.1.2.v. Yaşlanma**

Fizyolojik yaşlanma süreciyle birlikte dişlerde sekonder dentin birikimi kademeli olarak artış gösterirken, dış katmandaki mine tabakası aşınma (atrisyon/abrazyon) yüzünden giderek incelir. Sekonder dentin dokusunun bu doğal ve sürekli depolanma süreci, dişin ışığı geçirme ve yansıtma kapasitesinde değişimlere yol açar. Bu yapısal farklılaşma, dişlerin zamanla doğal parlaklığını kaybetmesine ve klinik olarak daha koyu, sarımsı bir görünüm kazanmasına neden olur.

### **2.2. Renklenmiş Dişlerin Beyazlatma Tedavileri**

Diş beyazlatma uygulamalarının tarihsel süreci, günümüzdeki estetik odaklı yaklaşımlardan farklı olarak, başlangıçta devital dişlerde ortaya çıkan belirgin renk değişimlerinin klinik olarak maskelenmesi ihtiyacından doğmuştur. Özellikle 19. yüzyılın ikinci yarısında, pulpası kaybedilmiş dişlerin restoratif seçeneklerinin sınırlı olması, diş dokularında renk açıcı etki gösterebilecek kimyasal ajanların araştırılmasını kaçınılmaz hâle getirmiştir. <sup>(44)</sup>

Bu doğrultuda, devital dişlerin beyazlatılmasına yönelik ilk tanımlı girişim 1864 yılında Truman tarafından rapor edilmiş; asetik asit ve klor içeren Labarraque solüsyonunun renklenmiş dişlerde kullanımı gündeme getirilmiştir. <sup>(45)</sup> Takip eden dönemde oksidatif ajanların diş rengi üzerindeki etkileri daha sistematik biçimde incelenmiş ve 1884 yılında Harlan, hidrojen peroksitin beyazlatma amacıyla kullanılabileceğini bildirmiştir. Bu yaklaşım, Abbot'un 20. yüzyılın başlarında yüksek konsantrasyonlu (%30) hidrojen peroksiti klinik uygulamalara dâhil etmesiyle daha geniş bir kullanım alanı kazanmıştır <sup>(46)</sup>.

1920'li yıllarda Prinz, sodyum perborat ile hidrojen peroksitin birlikte kullanımının devital dişlerde daha kontrollü ve öngörülebilir sonuçlar sağladığını ortaya koymuş; bu bulgu intrakoronel beyazlatma tekniklerinin gelişiminde önemli bir aşama olarak kabul edilmiştir <sup>(47)</sup>. Daha sonraki yıllarda, beyazlatma ajanlarının etkinliğini artırmaya yönelik arayışlar kapsamında ışık ve ısı destekli aktivasyon kavramı gündeme gelmiş; Pearson'un 1958 yılında yayımladığı çalışmalarda, peroksitlerin ayrışma hızının bu yöntemlerle artırılacağı gösterilmiştir <sup>(48)</sup>.

Devital dişlerde uzun yıllar boyunca referans teknik olarak kabul edilen "Walking Bleach" yöntemi, 1961 yılında Spasser tarafından tanımlanmıştır. Bu teknikte, sodyum perborat-su karışımının pulpa odasına yerleştirilmesi esas alınmıştır <sup>(49)</sup>. Daha sonraki çalışmalarda Nutting ve Poe, su yerine yüksek konsantrasyonlu hidrojen peroksit kullanımının beyazlatma etkinliğini artırdığını bildirmiş; Stewart ise termokatalitik yaklaşımları devital diş beyazlatma protokollerine adapte ederek süreci hızlandırmayı hedeflemiştir <sup>(50,51)</sup>.

Vital dişlerin beyazlatılmasına yönelik ilk sistematik uygulamalardan biri, McInnes tarafından 1966 yılında tanımlanan ve hidrojen peroksit, hidroklorik asit ile eter içeren solüsyonun kullanıldığı yöntemdir. <sup>(52)</sup> Ancak bu tekniğin pulpal ve periodontal dokular üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkiler nedeniyle, zamanla daha güvenli ve kontrollü protokollere yönelinmiştir. Bu bağlamda, 1968 yılında Klusmier'in periodontal tedavi amacıyla önerdiği %10'luk karbamid peroksitin diş renginde açılma sağladığını gözlemlemesi, vital beyazlatma alanında önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Bu yaklaşım, 1980'li yıllarda Abou-Rass ve Haywood tarafından geliştirilerek "Nightguard Vital Bleaching" konseptinin temelini oluşturmuştur. <sup>(50,53)</sup>

1980'lerin sonlarından itibaren, ticari beyazlatma ürünlerinin piyasaya sunulmasıyla birlikte ev tipi uygulamalar yaygınlaşmış; 1988 yılında tanıtılan ilk beyazlatma kitleri bu süreci

hızlandırmıştır <sup>(54)</sup>. Aynı dönemde Croll tarafından tanımlanan mine mikroabrazyon tekniği, yüzeysel renklenmelerin minimal invaziv yöntemlerle giderilebileceğini ortaya koymuştur <sup>(55)</sup>. 1990'lı yıllarda ise ofis tipi beyazlatma protokolleri; ışık ve lazer destekli sistemlerin eklenmesiyle çeşitlenmiş, kombine ofis–ev uygulamaları klinik pratiğe entegre edilmiştir <sup>(56)</sup>.

2000'li yıllardan itibaren beyazlatma alanındaki çalışmalar, yalnızca estetik etkinlik üzerine değil, aynı zamanda biyolojik güvenlik ve uzun dönem renk stabilitesi üzerine odaklanmıştır. Bu dönemde ozon, plazma ve farklı ışık kaynaklarının beyazlatma potansiyeli değerlendirilmiş; güncel yaklaşımlar, kontrollü peroksit konsantrasyonları ve bireye özgü tedavi protokolleri temelinde şekillenmiştir <sup>(57–59)</sup>. Günümüzde diş beyazlatma, vitalite durumuna göre sınıflandırılan ve klinik ile ev tipi uygulamaların birlikte ya da ayrı olarak planlanabildiği, bilimsel temellere dayalı bir estetik tedavi yöntemi olarak kabul edilmektedir <sup>(60)</sup>.

### **2.2.2. Beyazlatmanın Etki Mekanizması**

Güncel diş beyazlatma materyalleri ister klinik ortamda ister evde uygulansın, temel olarak hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) veya karbamid peroksit bileşenlerine dayanmaktadır. Kimyasal kompozisyon açısından karbamid peroksit, takriben %35 oranında  $H_2O_2$  ve %65 oranında üre ihtiva eder. Bu bağlamda, %10'luk bir karbamid peroksit jeli uygulamada yaklaşık %3,5 oranında aktif  $H_2O_2$  salınımı gerçekleştirir; bu da beyazlatma fenomeninin asıl yürütücü bileşeninin  $H_2O_2$  olduğunu kanıtlar.

Kuvvetli bir oksidasyon ajanı olan hidrojen peroksit, reaktif oksijen molekülleri ve serbest radikallerin açığa çıkmasını tetikler <sup>(61)</sup>. Oluşan bu aktif yapılar, kromojenik moleküllerin çift bağlarını parçalayarak moleküler yayı değiştirir. Bu süreç sonucunda pigmentler ya diş yüzeyinden uzaklaşır ya da ışık emilim kapasiteleri azaldığı için daha açık bir tonda algılanır <sup>(62)</sup>. Tedavi sonrasında sıkça karşılaşılan renk geri dönüşü (shade rebound) olgusu, muhtemelen bu parçalanmış çift bağların yeniden stabilize olmasından kaynaklanmaktadır. Önemli bir nokta olarak;  $H_2O_2$  dişin mineral yapısında veya kristalizasyonunda kalıcı bir deformasyona yol açmasa da organik matris üzerinde oksidatif bir etki gösterir <sup>(30)</sup>.

Beyazlatma sürecinin başlangıç aşaması, peroksit moleküllerinin diş yüzeyine ve mine katmanlarına penetre olarak ayrışmasıdır. Mine ve dentin dokusunun derinliklerinde özellikle hidroksil radikalleri (OH) gibi serbest radikaller sentezlenir <sup>(63)</sup>. Açığa çıkan bu radikaller, sert dokulardaki organik pigmentlerle reaksiyona girerek yüksek molekül ağırlıklı renkli bileşikler, daha küçük ve renksiz formlara indirger. Pigmentlerin bu şekilde moleküler düzeyde parçalanması, dişin estetik olarak daha beyaz görünmesini sağlar <sup>(64,65)</sup>.

Derin dokularda gerçekleşen bu oksidasyon süreci, renkli yapıların daha açık tonlu bileşenlere dönüştürülmesini optimize eder. Dişin en derin katmanlarına kadar nüfuz eden bu etki, pigmentlerin moleküler düzeyde ayrıştırılmasına ve böylece arzu edilen estetik görünümün elde edilmesine olanak tanır <sup>(66)</sup>. Beyazlatma performansının başarısı; kullanılan ajanın konsantrasyonu ve uygulama süresiyle doğrudan ilişkilidir. Isı, lazer veya özel ışık kaynakları gibi harici aktivatörler, peroksit moleküllerinin dekompozisyon hızını ivmelendirerek klinik sonucun daha kısa sürede alınmasını destekler <sup>(67,68)</sup>.

### **2.2.3. Beyazlatma Yöntemleri**

#### **2.2.3.i. Ofis Tipi Beyazlatma (Office Bleaching)**

Plak kullanımını tercih etmeyen veya hızlı sonuç almak isteyen hastalar için ofis tipi beyazlatma en iyi seçenektir. Bu yöntemin en belirgin kazanımı, klinik şartlarda sağlanan hızlı estetik değişim sayesinde hasta motivasyonunun en üst seviyeye çıkarılmasıdır. Klinik uygulamaların bu yüksek başarısı, kullanılan hidrojen peroksit oranlarının ev tipi kitlere kıyasla çok daha yüksek tutulmasına dayanmaktadır <sup>(69)</sup>. Konsantrasyonun yüksek olması, beyazlatıcı materyalin diş dokularına penetrasyon hızını artırarak tedavinin başarısını pekiştirir <sup>(70)</sup>.

Uygulama aşamasında genellikle %30-38 aralığında hidrojen peroksit içeren jel, likit ya da toz-likit karışımlar doğrudan diş yüzeyine sürülür. Standart bir protokolda, her biri yaklaşık 15-20 dakika süren 2 ila 4 uygulama gerçekleştirilmektedir <sup>(71)</sup>. İşlemin güvenliği açısından, yüksek konsantrasyonlu ajanın çevre yumuşak dokularla temasını önlemek için lastik örtü izolasyonu veya ışıkla sertleşen gingival bariyer kullanımı gerekir <sup>(72)</sup>. Piyasadaki bazı ürünlerde hidrojen peroksit yerine karbamid peroksit veya hibrit formüller de kullanılabilir; bu tip vakalarda ajanın stabilizasyonu için özel apareylerden destek alınır <sup>(73)</sup>. Beyazlatma jellerinin mine dokusuna daha efektif sızması amacıyla ısı, ışık veya lazer gibi harici enerji kaynakları aktivatör olarak kullanılabilir <sup>(74)</sup>.

Klinik değerlendirmede istenen beyazlık seviyesine varıldığında tedavi tamamlanır; ancak vakaya bağlı olarak optimal sonuçlar için devam seansı planlanabilir <sup>(75)</sup>. Hızlı sonuç alma avantajının yanında; tedavinin maliyetli oluşu, koltuk süresinin uzunluğu, operasyon sonrası gelişebilecek geçici diş hassasiyeti ve bazen ev tipi sistemlerle pekiştirme zorunluluğu gibi kısıtlılıkları da mevcuttur <sup>(76)</sup>. Ayrıca, elde edilen beyazlığın devamlılığı hastanın beslenmesi ve alışkanlıklarıyla yakından ilişkili olduğu için sonuçların kalıcılığını önceden net bir şekilde öngörmek mümkün değildir <sup>(77)</sup>.

### 2.2.3.ii. Ev Tipi Beyazlatma (Home Bleaching / Nightguard Vital Bleaching)

Diş hekimi gözetiminde yürütülen ve hastanın ev ortamında uyguladığı bu yöntem, kişiye özel hazırlanan apareyler aracılığıyla gerçekleştirilir. Süreç, hekim tarafından alınan hassas ölçülere uygun olarak üretilen şeffaf plakların içine beyazlatma jellerinin tatbik edilmesi esasına dayanır. Ev tipi sistemlerde kullanılan aktif materyaller genellikle karbamid peroksit (CP) veya hidrojen peroksit (HP) türevleridir <sup>(78)</sup>. Güvenlik sınırlarını korumak ve olası yan etkileri minimize etmek amacıyla bu jellerin konsantrasyonları, klinik uygulamalara kıyasla daha düşük seviyelerde tutulmaktadır.

Karbamid peroksit bazlı jeller; %10-22 yoğunluklarda tercih edilebilir. Bu ajan, ağız içerisinde yavaş bir dekompozisyon süreciyle hidrojen peroksit ve üreye dönüşür. Örnek olarak, %10-15'lik bir karbamid peroksit solüsyonu, yaklaşık %3-5 hidrojen peroksit ile %7-10 oranında üre açığa çıkarır. Kimyasal reaksiyonun devamında hidrojen peroksit su ve oksijene; üre ise karbondioksit ve amonyağa ayrışır <sup>(79)</sup>. Konsantrasyon artışı beyazlama hızını ivmelendirse de dental hassasiyet riskini de beraberinde getirebilir. Bu sistemler, vakanın durumuna göre gece boyunca (6-8 saat) veya gün içerisinde belirlenen periyotlarda (2-4 saat) uygulanır.

Doğrudan hidrojen peroksit içeren ev tipi jeller ise %3 ile %10 arasında değişen oranlarda sunulmaktadır. HP, diş yapısındaki organik pigmentleri oksidasyon yoluyla hedefleyerek renk açılması sağlar. Karbamid peroksit'e kıyasla çok daha hızlı reaksiyona giren bu ajanlar için 15 ila 60 dakikalık kısa uygulama süreleri yeterli olmaktadır.

Ev tipi beyazlatma protokolleri; uygulama kolaylığı, ekonomik oluşu ve hekim-hasta güvenliği açısından pek çok avantaja sahiptir <sup>(53)</sup>. Buna karşın, klinik etkinliğin gözlemlenebilmesi için gereken 2-3 haftalık süre bazı hastalarca uzun bulunabilmektedir. Ayrıca, plakların ağızda tutulma zorunluluğu ve uygulama zahmeti, hastaların tedaviye olan adaptasyonunu ve uyumunu zorlaştırabilen unsurlar arasında yer almaktadır <sup>(80)</sup>.

### 2.2.3.iii. Tezgâh Üstü (Over-the-Counter- OTC) Beyazlatma Yöntemleri

İlk olarak 2000'li yılların başlarında ABD pazarında yaygınlık kazanan bu ürünler, hastaların uzman kontrolü olmaksızın bireysel olarak uyguladıkları yöntemler olup klinik ortamda yürütülen profesyonel prosedürlere kıyasla daha ekonomik bir alternatif sunmaktadır <sup>(2)</sup>. Diş hekimi denetimi dışında; eczaneler, marketler veya dijital platformlar üzerinden temin edilebilen bu yelpazede; beyazlatma kalemleri, şeritler, gargaralar, diş ipleri, sakızlar, özel macunlar ve ışık destekli ev kitleri bulunmaktadır <sup>(81,82)</sup>.

Genellikle düşük konsantrasyonlu hidrojen peroksit (%3-6) içerirler sodyum bikarbonat ve silika gibi abrazyon yapıcılar, bromelain ve papain gibi enzimatik bileşenler veya anlık bir

beyazlık illüzyonu oluşturan mavi kovarin gibi optik ajanlar da yer alabilmektedir <sup>(3,83,84)</sup>. Bu yöntemler profesyonel tedavilere oranla daha kısıtlı bir başarı sergiler. Genelde iki haftalık bir süreçte, günde iki defa kullanılması tavsiye edilen bu ürünlerin, gelişimsel kökenli (intrinsik) renklenmeler üzerinde bir etkinliği bulunmamaktadır <sup>(85)</sup>.

Profesyonel yaklaşımlarda, tedavi öncesi yapılan hekim muayenesi olası risklerin belirlenmesi ve sürecin güvenliği için vazgeçilmezdir. Dahası, kontrolsüz kullanım neticesinde hastalar rutin diş hekimi ziyaretlerini ihmal edebilmekte; bu durum diş çürüğü veya periodontal lezyonlar gibi erken teşhis edilmesi gereken patolojilerin gözden kaçmasına neden olabilmektedir.

### **Beyazlatıcı Diş Macunları**

Beyazlatıcı macunlar klinik beyazlatma protokolleri kadar dramatik bir renk değişimi vaat etmese de rutin kullanımla diş tonunda istatistiksel olarak anlamlı iyileşmeler sağlayabilmektedir. İçeriğinde temel olarak; hidrate silika, kalsiyum karbonat ve sodyum bikarbonat gibi aşındırıcılar; hidrojen/karbamid peroksit ve pirofosfatlar gibi kimyasal maddeler; papain ve bromelain bazlı enzimler ile anlık parlaklık sağlayan mavi kovarin gibi optik ajanlar yer almaktadır <sup>(86)</sup>.

Günümüzde beyazlatma iddiasıyla sunulan ürünler, tezgâh üstü (OTC) dental materyal pazarının %50'sinden fazlasını domine etmektedir. Bu ürünlerin leke çıkarma kapasitesi, büyük oranda formüllerindeki yüksek miktardaki abraziv (aşındırıcı) partiküllerin dış kaynaklı renklenmeleri mekanik olarak uzaklaştırmasına dayanmaktadır <sup>(87)</sup>. Beyazlatıcı macunların etkinliğini irdeleyen pek çok bilimsel çalışmada; bu ürünlerin standart macunlara kıyasla ekstrasik lekeleri gidermede ve yeni leke oluşumunu önlemede daha üstün performans sergilediği bildirilmiştir <sup>(88,89)</sup>.

### **Beyazlatıcı Diş Fırçaları ve Diş İpi**

Diş eti sınırı ve arayüzlerdeki renklenmeleri hedefleyen beyazlatıcı diş ipleri, yapılarındaki silika sayesinde mekanik bir aşındırma sağlayarak leke eliminasyonuna yardımcı olur. Beyazlatma tedavilerinin kalıcılığını artırmak ve yeni dış kaynaklı renklenmeleri önlemek amacıyla kullanılan fırçalama yöntemleri üzerine yapılan bir klinik çalışmada; %15 karbamid peroksit uygulaması sonrasında elektrikli diş fırçası kullanımının, 6 aylık süreçte beyazlık etkisini koruma açısından manuel fırçalara göre daha üstün performans sergilediği saptanmıştır. <sup>(86)</sup>

### **Beyazlatıcı Gargaralar**

Diş fırçalama işleminin ardından ağızda çalkalanarak uygulanan beyazlatıcı gargaralar, formüllerinde genellikle %1-2 oranında düşük dozda hidrojen peroksit barındırır. Ayrıca, diş yüzeyinde yeni lekelerin tutunmasını engellemek amacıyla sodyum heksametafosfat bileşeni ile desteklenirler <sup>(90)</sup>. Beyazlatma performansları oldukça hafif seyrettiği için belirgin bir değişim için uzun vadeli kullanım şarttır. Üretici tavsiyeleri doğrultusunda, günde iki defa ve 60 saniyelik sürelerle uygulanmaları önerilmektedir. Düzenli kullanım neticesinde diş renginde yaklaşık 1-2 tonluk bir açılma sağlanabilirken, bu etkinin kalıcılığı 3 aya kadar devam edebilmektedir <sup>(77,81)</sup>.

### **Beyazlatıcı Sakızlar**

Ekstrinsik lekelenmelerin oluşumunu engellemek için formüle edilen ve içeriğinde %4-7,5 aralığında sodyum heksametafosfat barındıran sakızlar, güncel diş hekimliğinde özellikle ev tipi beyazlatma prosedürlerini destekleyen bir OTC materyali olarak kabul görmüştür. Gün boyu süren çiğneme eylemi aracılığıyla dişlerin dış yüzeyinde biriken pigmentlerin temizlenmesine yardımcı olan bu ürünlerin tek başına klinik başarısı ise kısıtlıdır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; heksametafosfat içeren sakız kullanımının, kontrol gruplarına kıyasla yeni leke formasyonunu istatistiksel açıdan anlamlı düzeyde baskıladığı rapor edilmiştir <sup>(91)</sup>

### **Beyazlatma Kalemleri**

Doğrudan diş yüzeyine tatbik edilen jel formundaki beyazlatma kalemleri, pratik bir kullanım sunar. Uygulama süreci sadece birkaç dakika sürer ve jelin diş üzerinde kendiliğinden kuruması beklenir. Bu ürünlerin formülasyonunda genelde %5 ile %10 arasında değişen konsantrasyonlarda hidrojen peroksit tercih edilmektedir.

### **Beyazlatma Plakları**

Son zamanlarda eczanelerde veya internette, kişinin kendisine göre ayarlayabildiği universal bir plaktan oluşan yeni ürünler ortaya çıkmıştır. Bu plağa LED ünitesi tarafından etkinleştirilen bir jel konulur. Üretici beyazlatma etkinliğinin ev tipi beyazlatma ile benzer olduğunu iddia etse de aktif içeriğin ne olduğunu netleştirmemişlerdir. <sup>(92)</sup> Ayrıca adaptasyon problemi olan bir plak, yumuşak dokularda hasara ve okluzal problemlere neden olabilir.

### **Beyazlatma řeritleri**

Özellikle anterior bölgedeki dişlerde kişiye özel plak kullanım gereksinimini ortadan kaldırmak için tasarlanan beyazlatma şeritleri, pratik bir uygulama sunar. Genellikle günde bir veya iki defa, 30 dakikalık periyotlarla uygulanan bu şeritlerin kullanım süresi 7 ile 14 gün arasında değişmektedir. İçeriğinde yaklaşık %5-14 oranında hidrojen peroksit barındıran bu ürünler <sup>(93)</sup>, ekonomik olmalarıyla öne çıksalar da profesyonel ofis tipi tedaviler kadar dramatik bir renk değişimi sağlamazlar. Bununla birlikte, uygulamanın başlamasından birkaç gün sonra etkileri gözlemlenebilir ve diş renginde bir iki ton açılma elde edilebilir.

## KAYNAKÇA

- Oktaý, E. K. (2006). *Farklı vital beyazlatma sistemlerinin diř rengi üzerine etkilerinin klinik olarak karşılaştırılması* [Doktora Tezi]. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Türkün, L. Ş., & Türkün, M. (2004). Effect of bleaching and repolishing procedures on coffee and tea stain removal from three anterior composite veneering materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 16(5), 290–301.
- Vaz, V. T. P., Jubilato, D. P., Oliveira, M. R. M., et al. (2019). Whitening toothpaste containing activated charcoal, blue covarine, hydrogen peroxide or microbeads: Which one is the most effective? *Journal of Applied Oral Science*, 27, Article e20180051.
- Demarco, F. F., Meireles, S. S., & Masotti, A. S. (2009). Over-the-counter whitening agents: A concise review. *Brazilian Oral Research*, 23(Suppl 1), 64–70.
- Yalcin, F., & Gürgan, S. (2005). Effect of two different bleaching regimens on the gloss of tooth colored restorative materials. *Dental Materials*, 21(5), 464–468.
- Yıldırım, D. M. (2012). Estetik restoratif materyallerin cila işlemlerinden sonra yüzey yapısının SEM ile incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 22(3), 277–286.
- Manuel, S. T., Abhishek, P., & Kundabala, M. (2010). Etiology of tooth discoloration – a review. *Nigerian Dental Journal*, 18(2), 56–63.
- Alali, J., Alanazi, H., Alyousef, H. K., et al. (2020). Teeth discoloration removal and management: A review. *International Journal of Medicine in Developing Countries*, 4(7), 1070–1074.
- Alazmah, A. (2021). Primary teeth stains and discoloration: A review. *Journal of Child Science*, 11(01), e20–e27.
- Dayan, D., Heifferman, A., Gorski, M., & Begleiter, A. (1983). Tooth discoloration – extrinsic and intrinsic factors. *Quintessence International*, 14(2), 195–199.
- Burke, S., & Efes, B. G. (2022). Diş renklenmeleri ve güncel tedavileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 55–68.
- Addy, M., & Moran, J. (1995). Mechanisms of stain formation on teeth, in particular associated with metal ions and antiseptics. *Advances in Dental Research*, 9(4), 450–456.
- Mirbod, S. M., & Ahing, S. I. (2000). Tobacco-associated lesions of the oral cavity: Part I. Nonmalignant lesions. *Journal of the Canadian Dental Association*, 66(5), 252–256.

- Murchison, D. F., Charlton, D. G., & Moore, B. K. (1992). Carbamide peroxide bleaching: Effects on enamel surface hardness and bonding. *Operative Dentistry*, 17(5), 181–185.
- Newbrun, E. (1992). Current regulations and recommendations concerning water fluoridation, fluoride supplements, and topical fluoride agents. *Journal of Dental Research*, 71(5), 1255–1265.
- Child, G. P., & Hall, W. K. (1948). Alcaptonuria. *Genetics*, 33(1), 101.
- Watanabe, K., Shibata, T., Kurosawa, T., et al. (1999). Bilirubin pigmentation of human teeth caused by hyperbilirubinemia. *Journal of Oral Pathology & Medicine*, 28(3), 128–130.
- Fayle, S. A., & Pollard, M. A. (1994). Congenital erythropoietic porphyria – oral manifestations and dental treatment in childhood: A case report. *Quintessence International*, 25(8), 551–554.
- Çalışkan, M. K. (2006). *Endodontide tanı ve tedaviler*. Nobel Tıp Kitabevleri.
- Sundell, S., & Koch, G. (1985). Hereditary amelogenesis imperfecta. I. Epidemiology and clinical classification in a Swedish child population. *Swedish Dental Journal*, 9(4), 157–169.
- Wright, J. T., Robinson, C., & Shore, R. (1991). Characterization of the enamel ultrastructure and mineral content in hypoplastic amelogenesis imperfecta. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 72(5), 594–601.
- Winter, G. B. (1997). Anomalies of tooth formation and eruption. In *Paediatric Dentistry*. Oxford University Press.
- Hu, J. C. C., Chun, Y. H. P., Al Hazzazzi, T., & Simmer, J. P. (2007). Enamel formation and amelogenesis imperfecta. *Cells Tissues Organs*, 186(1), 78–85.
- Koenig, M. M., & Taylor, D. T. (1973). Hereditary opalescent dentin. *ASDC Journal of Dentistry for Children*, 40(6), 461–466.
- Shields, E. D. (1983). A new classification of heritable human enamel defects and a discussion of dentin defects. *Birth Defects Original Article Series*, 19(1), 107–127.
- Witkop, C. J. (1988). Amelogenesis imperfecta, dentinogenesis imperfecta and dentin dysplasia revisited: Problems in classification. *Journal of Oral Pathology*, 17(9-10), 547–553.
- Barron, M. J., McDonnell, S. T., MacKie, I., & Dixon, M. J. (2008). Hereditary dentine disorders: Dentinogenesis imperfecta and dentine dysplasia. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 3(1), Article 31.
- Sclare, R. (1948). Hereditary opalescent dentine. *British Dental Journal*, 84(8), 164–166.
- Türker, S. B., & Biskin, T. (2002). The effect of bleaching agents on the microhardness of dental aesthetic restorative materials. *Journal of Oral Rehabilitation*, 29(7), 657–661.

- Watts, A. M., & Addy, M. (2001). Tooth discolouration and staining: A review of the literature. *British Dental Journal*, 190(6), 309–316.
- Sapir, S., & Shapira, J. (2007). Clinical solutions for developmental defects of enamel and dentin in children. *Pediatric Dentistry*, 29(4), 330–336.
- Chiappinelli, J. A., & Walton, R. E. (1992). Tooth discoloration resulting from long-term tetracycline therapy: A case report. *Quintessence International*, 23(8), 539–544.
- Parkins, F. M., Furnish, G., & Bernstein, M. (1992). Minocycline use discolors teeth. *The Journal of the American Dental Association*, 123(10), 87–89.
- Patel, K., Cheshire, D., & Vance, A. (1998). Oral and systemic effects of prolonged minocycline therapy. *British Dental Journal*, 185(11), 560–562.
- Den Besten, P. K. (1994). Dental fluorosis: Its use as a biomarker. *Advances in Dental Research*, 8(1), 105–110.
- Burt, B. A. (1992). The changing patterns of systemic fluoride intake. *Journal of Dental Research*, 71(5), 1228–1237.
- Alvarez, J. A., Celiberti, P., & Ciamponi, A. L. (2009). Dental fluorosis: Exposure, prevention and management. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 14(2), E103–E107.
- Nikiforuk, G., & Fraser, D. (1981). The etiology of enamel hypoplasia: A unifying concept. *The Journal of Pediatrics*, 98(6), 888–893.
- Fearne, J. M., Bryan, E. M., Elliman, A. M., et al. (1990). Enamel defects in the primary dentition of children born weighing less than 2000 g. *British Dental Journal*, 168(11), 433–437.
- Miller, E. K., Lee, J. Y., Tawil, P. Z., et al. (2012). Emerging therapies for the management of traumatized immature permanent incisors. *Pediatric Dentistry*, 34(1), 66–69.
- Andreasen, F. M. (1986). Transient apical breakdown and its relation to color and sensibility changes after luxation injuries to teeth. *Endodontics & Dental Traumatology*, 2(1), 9–19.
- Kielbassa, A. M., Wrbas, K. T., Gurkmann, S., & Schulte-Mönting, J. (2000). An in situ study on the comparison of fluoride uptake and bond strength of composite resin on fluoridated enamel. *The Journal of Clinical Dentistry*, 11(1), 4–9.
- Zimmerli, B., Strub, M., Jeger, F., et al. (2010). Composite materials: Composition, properties and clinical applications. A literature review. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin*, 120(11), 972–986.
- Kwon, S. R. (2013). The evolution of tooth whitening. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 14(4), i–ii.

- Truman, J. (1864). Bleaching of non-vital discoloured anterior teeth. *Dental Times*, 1(1), 69–72.
- Abbot, C. H. (1918). Bleaching discolored teeth by means of 30% perhydrol and the electric light rays. *Journal of the Allied Dental Societies*, 13, 259.
- Prinz, H. (1924). *Recent improvements in tooth bleaching: A clinical syllabus*. SS White Dental Manufacturing Company.
- Pearson, H. H. (1958). Bleaching of the discolored pulpless tooth. *The Journal of the American Dental Association*, 56(1), 64–68.
- Spasser, H. F. (1961). A simple bleaching technique using sodium perborate. *New York State Dental Journal*, 27, 332–334.
- Nutting, E. B., & Poe, G. S. (1963). A new combination for bleaching teeth. *Journal of the Southern California State Dental Association*, 31, 289–291.
- Stewart, G. G. (1965). Bleaching discolored pulpless teeth. *The Journal of the American Dental Association*, 70(2), 325–328.
- Baumgartner, J. C., Reid, D. E., & Pickett, A. B. (1983). Human pulpal reaction to the Modified McInnes Bleaching Technique. *Journal of Endodontics*, 9(12), 527–529.
- Haywood, V. B. (1991). Nightguard vital bleaching, a history and product update: Part 1. *Esthetic Dentistry Update*, 2, 63–66.
- Sulieman, M., Addy, M., Macdonald, E., & Rees, J. S. (2005). The bleaching depth of a 35% hydrogen peroxide based in-office product: A study in vitro. *Journal of Dentistry*, 33(1), 33–40.
- Croll, T. P. (1989). Enamel microabrasion: The technique. *Quintessence International*, 20(6), 395–400.
- Garber, D. A., Goldstein, R. E., Goldstein, G. E., & Schwartz, C. G. (1991). Dentist monitored bleaching: A combined approach. *Practical Periodontics and Aesthetic Dentistry*, 3(2), 22–26.
- Sulieman, M. A. (2008). An overview of tooth-bleaching techniques: Chemistry, safety and efficacy. *Periodontology 2000*, 48(1), 148–169.
- Tessier, J., Rodriguez, P. N., Lifshitz, F., et al. (2010). The use of ozone to lighten teeth: An experimental study. *Acta Odontológica Latinoamericana*, 23(2), 84–89.
- Grundlingh, A. A., Grossman, E. S., & Witcomb, M. J. (2012). Tooth colour change with Ozicure Oxygen Activator: A comparative in vitro tooth bleaching study. *South African Dental Journal*, 67(7), 332–337.

- Atalayın, Ç., Pamir, T., & Tezel, H. (2013). Beyazlatma ajanlarının diş yapısında oluşturduğu değişiklikler. *Ege Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi*, 29(1), 13–20.
- Dahl, J. E., & Pallesen, U. (2003). Tooth bleaching – a critical review of the biological aspects. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 14(4), 292–304.
- Zantner, C., Beheim-Schwarzbach, N., Neumann, K., & Kielbassa, A. M. (2007). Surface microhardness of enamel after different home bleaching procedures. *Dental Materials*, 23(2), 243–250.
- Fasanaro, T. S. (1992). Bleaching teeth: History, chemicals, and methods used for common tooth discolorations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 4(3), 71–78.
- Karadaş, M., & Seven, N. (2014). Vital dişlerde beyazlatma. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 24(3), 126–135.
- Goldstein, R. E., & Garber, D. A. (1995). *Complete dental bleaching*. Quintessence Publishing Co.
- Greenwall, L. (2001). *Bleaching techniques in restorative dentistry: An illustrated guide*. Martin Dunitz.
- Goldstein, R. E. (1997). In-office bleaching: Where we came from, where we are today. *The Journal of the American Dental Association*, 128, 11S–15S.
- Jones, A. H., Diaz-Arnold, A. M., Vargas, M. A., & Cobb, D. S. (1999). Colorimetric assessment of laser and home bleaching techniques. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 11(2), 87–94.
- Tezel, H., Ertaş, Ö. S., Özata, F., et al. (2007). Effect of bleaching agents on calcium loss from the enamel surface. *Quintessence International*, 38(4), 339–347.
- Haywood, V. B. (2006). Number of in-office light-activated bleaching treatments needed to achieve patient satisfaction. *Quintessence International*, 37(2), 115–120.
- Kwon, S. R., & Wertz, P. W. (2015). Review of the mechanism of tooth whitening. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(5), 240–257.
- Ontiveros, J. C., & Paravina, R. D. (2009). Color change of vital teeth exposed to bleaching performed with and without supplementary light. *Journal of Dentistry*, 37(11), 840–847.
- Freedman, G. A., McLaughlin, G., & Greenwall, L. (2001). Power bleaching and in-office techniques. In *Bleaching Techniques in Restorative Dentistry*. Martin Dunitz Ltd.
- Claiborne, D., McCombs, G., Lemaster, M., et al. (2014). Low-temperature atmospheric pressure plasma enhanced tooth whitening: The next-generation technology. *International Journal of Dental Hygiene*, 12(2), 108–114.

- Haywood, V. B. (2006). Number of in-office light-activated bleaching treatments needed to achieve patient satisfaction. *Quintessence International*, 37, 115–120.
- Parreiras, S. O., Vianna, P., Kossatz, S., et al. (2014). Effects of light activated in-office bleaching on permeability, microhardness, and mineral content of enamel. *Operative Dentistry*, 39(5), E225–E230.
- Carey, C. M. (2014). Tooth whitening: What we now know. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 14, 70–76.
- Haywood, V. B., & Heymann, H. O. (1989). Nightguard vital bleaching. *Quintessence International*, 20(3), 173–176.
- Haywood, V. B., & Heymann, H. O. (1991). Nightguard vital bleaching: How safe is it? *Quintessence International*, 22(7), 515–523.
- Gallagher, A., Maggio, B., Bowman, J., et al. (2002). Clinical study to compare two in-office (chairside) whitening systems. *The Journal of Clinical Dentistry*, 13(6), 219–224.
- Ntovas, P., Masouras, K., & Lagouvardos, P. (2021). Efficacy of non-hydrogen peroxide mouthrinses on tooth whitening: An in vitro study. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(7), 1059–1065.
- Koc Vural, U., et al. (2021). Effects of charcoal-based whitening toothpastes on color stability and surface roughness of human enamel. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.
- Epple, M., Meyer, F., & Enax, J. (2019). A critical review of modern concepts for teeth whitening. *Dentistry Journal*, 7(3), 79.
- Meireles, S. S., de Sousa, J. P., Lins, R. B. E., & Sampaio, F. C. (2021). Efficacy of whitening toothpaste containing blue covarine: A double-blind controlled randomized clinical trial. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(2), 341–350.
- Joiner, A. (2006). The bleaching of teeth: A review of the literature. *Journal of Dentistry*, 34(7), 412–419.
- Walsh, T. F., Rawlinson, A., Wildgoose, D., et al. (2005). Clinical evaluation of the stain removing ability of a whitening dentifrice and stain controlling system. *Journal of Dentistry*, 33(5), 413–418.
- Lima, D. A. N. L., Aguiar, F. H. B., Liporoni, P. C. S., et al. (2008). In vitro assessment of the effectiveness of whitening dentifrices for the removal of extrinsic tooth stains. *Brazilian Oral Research*, 22, 106–111.
- Kayalidere, E. E., & Dörter, C. (2020). Ofis tipi diş beyazlatma. *Türkiye Klinikleri Restorative Dentistry-Special Topics*, 6(1), 15–21.

- Gungor, A. S., Örcün, M. E., & Dönmez, N. (2023). Farklı beyazlatıcı diş macunlarının minenin renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin in vitro olarak değerlendirilmesi. *Near East University Dental Journal*, 5(1), 25–34.
- Ozduman, Z. C., & Celik, C. (2017). Tooth discolorations and bleaching treatments. *Yeditepe Dental Journal*, 13(1), 37–44.
- Porciani, P. F., Grandini, S., Perra, C., & Grandini, R. (2006). Whitening effect by stain inhibition from a chewing gum with sodium hexametaphosphate in a controlled twelve-week single-blind trial. *The Journal of Clinical Dentistry*, 17(1), 14.
- Marson, F. C., Sensi, L. G., Vieira, L. C. C., & Araújo, E. (2008). Clinical evaluation of in-office dental bleaching treatments with and without the use of light-activation sources. *Operative Dentistry*, 33(1), 15–22.
- Donly, K. J., Segura, A., Henson, T., et al. (2007). Randomized controlled trial of professional at-home tooth whitening in teenagers. *General Dentistry*, 55(7), 669–674.

# BÖLÜM 2

---

## PULPA KUAFAJI VE PULPA KUAFAJ MATERYALLERİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR ÜZERİNE BİR DERLEME

*Sena GEZER<sup>1</sup>, Zeynep DERELİ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Arş.Gör., Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Konya, sena.ceran@erbakan.edu.tr, ORCID: 0009-0007-4613-0977

<sup>2</sup> Dr.Öğr.Üyesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Konya, zdereli@erbakan.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2317-9069

## GİRİŞ

Bu derlemenin amacı, restoratif diş tedavisinde pulpa kuafajının biyolojik temellerini incelemek ve pulpa kuafajında kullanılan güncel materyaller hakkında literatürde yer alan bilgileri değerlendirmektir. Diş hekimliği kliniğinde uygulamalar öncelikle var olan yapıyı korumak üzerine gerçekleştirilmektedir. Bu anlayış çerçevesinde de korunması gereken ilk yapı dişin vitalitesidir. Diş yapısında meydana gelen hasar sonucu öncelikle amaç dişin vitalitesini koruyarak nasıl tedavi edilebileceğini düşünmektir. Bu anlayışla birlikte vital pulpa tedavileri güncel olarak kliniklerde çok sık yapılan tedavilerdir. Bu derlemede vital pulpa tedavileri içerisinde yer alan direkt pulpa kuafajı ve indirekt pulpa kuafajından kısaca bahsedilecektir. Pulpa kuafajının başarısında büyük rol oynayan etkenlerden biri, pulpa vitalitesinin korunmasını sağlayan ve doku ile uyumlu olan materyalin tercih edilmesidir. Günümüzde bu amaçla birçok materyal kullanılmakta olup geçmişte de birçok materyalin kullanılması denenmiştir. Ancak her materyalin avantajları olduğu gibi dezavantajları da mevcuttur. Bu nedenle halen uygun kuafaj materyali bulma çalışmaları devam etmektedir.

Pulpa kuafajı; pulpanın canlılığını, fonksiyonlarını ve pulpa dentin kompleksini korumak üzere yeni bir dentin köprüsü veya dentin benzeri yapı oluşumunu teşvik etmek amacıyla ekspozite pulpa dokusu üzerine bir örtüleyici uygulanmasını içermektedir.<sup>1,2</sup>

Pulpa kuafajı indirekt pulpa kuafajı ve direkt pulpa kuafajı olmak üzere iki başlıkta incelenebilir.

Direkt pulpa kuafajı; dış ortama açılmış sağlıklı pulpa dokusunun, tersiyer dentin üretimi ve pulpa iyileşmesini teşvik etmek için biyoyumlu bir materyal ile örtülenmesidir.<sup>3</sup>

### **Direkt Pulpa Kuafajının Endikasyonları/Kontraendikasyonları**

#### **Endikasyonlar**

1. Diş pulparlarının mekanik veya travmatik nedenlerle ekspozite olması
2. İrreversible pulpitis öyküsü olmamalıdır
3. Diş vital olmalıdır
4. Radyografik muayenede kök çevresindeki dokularda patolojik bulgu olmamalıdır.
5. Pulpada oluşan kanama 3-5 dakikadan fazla sürmemelidir.
6. Restoratif tedavi sınırlı olmalıdır.<sup>4,5</sup>

### **Kontrendikasyonlar**

1. Spontan ağrı olması.
2. Çürük sebebiyle oluşan geniş pulpa ekspozu
3. Radyografik muayenede kök çevresi bölgede radyolüsent alanlar gözlenmesi
4. Pulpanın kalsifiye olması (kireçlenme).
5. Pulpada hiç kanama olmaması veya kanamanın 5 dakikadan fazla sürmesi
6. Pürülan ya da seröz eksüdalarla temas.<sup>4,5</sup>

İndirekt pulpa kuafajı; pulpaya yakın olan çürüklerde pulpa ekspozunu önlemek pulpaya yakın olan dentin dokusunu biyouyumlu bir materyal ile örtüleme işlemidir. Derin çürük varlığında ve geri dönüşlü pulpitis teşhisi konulan dişlerde pulpanın korunması için önerilir.<sup>6</sup>

### **İndirekt Pulpa Kuafajının Endikasyonları/Kontraendikasyonları**

#### **Endikasyonlar**

1. Diş vital olmalıdır.
2. Radyografik muayenede periradiküler dokularda patolojik bulgu olmamalıdır.
3. Soğuk, ekşi, tatlı gibi uyarımlarla dişte kısa süreli ağrı oluşması.
4. Dişteki madde kaybı restore edilebilecek düzeyde olmalıdır.<sup>4</sup>

#### **Kontrendikasyonlar**

1. İrreversibl (geri dönüşsüz) pulpitis.
2. Pulpal veya periradiküler patozun klinik veya radyografik kanıtı.
3. Çürük nedeniyle oluşan perforasyon.
4. Aşırı madde kaybı nedeniyle kron restorasyonu gerektiği durumlarda.<sup>4</sup>

### **Kuafaj Materyalinde Bulunması Gereken Özellikler**

- Biyouyumlu olmalıdır.
- Mikrosızıntıyı önlemelidir.
- Antibakteriyel ve antienflamatuvar olmalıdır.

- Pulpa hücrelerinin proliferasyonunu ve hücrelerin odontoblastlara farklılaşmasını uyarmalıdır.
- Dentin formasyonunu hızlandırmalıdır.
- Suda çözünmemelidir.
- Klinik olarak kolay uygulanabilmelidir.
- Ucuz olmalıdır.

## **Kuafaj Materyalleri**

### 1.Kalsiyumhidroksit İçerikli Kuafaj Materyalleri

#### a. Kalsiyumhidroksit

### 2.Kalsiyum Silikat İçerikli Kuafaj Materyalleri

#### a. MTA

#### b. Biodentin

#### c. Bioaggregate

### 3.Kalsiyum Silikat İçerikli Rezin Modifiye Kuafaj Materyalleri

#### a. Theracal LC

### 4.Diğer Potansiyel Kuafaj Materyalleri

#### a. Çinko Oksit Ojenol

#### b. Cam iyonomer/Modifiye Cam iyonomer

#### c. Propolis

#### d. Lazer

#### e. Biyolojik Faktörler

## **1.Kalsiyum Hidroksit içerikli Kuafaj Materyalleri**

### **a. Kalsiyum Hidroksit**

Kalsiyum hidroksitin pulpa dokusunun korunmasına yönelik etkileri ilk kez 1930 yılında, ekspozite pulpa alanlarının tedavisinde başarılı sonuçlar vermesiyle ortaya konmuştur.<sup>7</sup> Bu tarihten itibaren kalsiyum hidroksit, pulpa tedavilerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

ve farklı klinik gereksinimlere uygun olarak toz, pat ve siman gibi çeşitli formlarda uygulanabilen bir materyal olarak geliştirilmiştir. Sahip olduğu biyolojik özellikler nedeniyle kalsiyum hidroksit, pulpa dokusunun korunması ve iyileşme sürecinin desteklenmesi amacıyla uzun yıllar boyunca klinik uygulamalarda tercih edilmiştir.

Kalsiyum hidroksit özellikle mineralizasyonun uyarılması, reparatif dentin oluşumunun teşvik edilmesi, bakteriyel büyümenin inhibe edilmesi ve pulpa vitalitesinin korunması gibi önemli biyolojik etkiler göstermektedir. Bu özellikleri sayesinde vital pulpa tedavilerinde geniş bir kullanım alanı bulmuş ve uzun yıllar boyunca pulpa kuafajı uygulamalarında “altın standart” materyal olarak kabul edilmiştir.<sup>8</sup>

Kimyasal açıdan değerlendirildiğinde kalsiyum hidroksitin pH değeri yaklaşık 12 olup oldukça güçlü bazik özellik göstermektedir. Sulu ortamda çözüldüğünde kalsiyum ( $Ca^{2+}$ ) ve hidroksil ( $OH^-$ ) iyonlarına ayrılmaktadır. Bu iyonların salınımı, materyalin biyolojik etkilerinin ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle hidroksil iyonlarının oluşturduğu yüksek alkalik ortam, bakterilerin çoğalmasını baskılayarak güçlü bir antibakteriyel etki meydana getirmekte ve bakterilerin pulpa dokusuna penetrasyonunu önemli ölçüde azaltmaktadır.

Bununla birlikte kalsiyum hidroksitin sahip olduğu yüksek pH değeri bazı olumsuz biyolojik etkileri de beraberinde getirebilmektedir. Aşırı alkalik ortam, pulpa dokusunda irritasyona neden olabilmekte ve uygulama bölgesinde yüzeysel pulpa nekrozu oluşmasına yol açabilmektedir. Bu nekrotik alanın altında zamanla reparatif dentin oluşumu gerçekleşse de, bu durum pulpa dokusunun biyolojik yanıtını etkileyebilmektedir. Bu nedenle kalsiyum hidroksitin avantajlarının yanında bazı sınırlılıklarının bulunması, günümüzde alternatif biyomateryallerin geliştirilmesine yönelik araştırmaların artmasına neden olmuştur

### **Avantajları**

- Yüksek pH sayesinde antimikrobiyal özellik göstermektedir.<sup>9</sup>
- Dentin köprüsü oluşumunu sağlamaktadır.<sup>9</sup>
- Yüksek pH sayesinde asitlerin pH'ını nötralize eder
- Yüksek pH sayesinde fibroblastları ve enzim sistemlerini uyarabilmektedir.
- Yüksek pH sayesinde tamir dentin yapımını indüklemektedir.

## **Dezavantajları**

- Mikro sızıntıya neden olmaktadır.
- Pulpa nekrozu ve pulpada distrofik kalsifikasyonlar oluşmaktadır.<sup>10,11</sup>
- Tünel defektleri meydana gelmektedir.
- Dentine bağlanma yeteneği bulunmamaktadır.
- Çözünebilen bir yapıya sahiptir.

Kalsiyumhidroksit olumlu özellikleri sayesinde uzun yıllar altın standart kabul edilip kliniklerde uzun yıllar kullanılmış olmasına rağmen söz konusu dezavantajları araştırmacıları daha iyi bir kuafaj materyali arayışına yönlendirmiştir.

## **2.Kalsiyum Silikat İçerikli Kuafaj Materyalleri**

### **a. MTA**

Mineral Trioxide Aggregate (MTA), bir radyoaktifleştirici olarak bizmut oksit ilavesi ile esas olarak Portland çimentosundan oluşan kalsiyum silikat bazlı materyaldir.<sup>12</sup>

Trikalsiyum ve dikalsiyum silikat su ile karıştırıldığında reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum hidroksit oluşturmaktadır. MTA gibi kalsiyum silikat bazlı materyaller nem varlığında sertleşmektedirler.

Mineral Trioksit Agregat (MTA), biyouyumlu özellikleri ve sert doku oluşumunu destekleyici etkileri nedeniyle diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan bir materyaldir. Yapılan araştırmalar, MTA'nın yalnızca fiziksel bir bariyer oluşturmakla kalmayıp aynı zamanda biyolojik olarak aktif bir materyal olduğunu ve çevre dokular üzerinde olumlu hücresel yanıtlar oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle sert doku oluşumunun uyarılmasında önemli rol oynadığı ve hücresel proliferasyonu artırdığı çeşitli in vitro çalışmalarla ortaya konmuştur.

Osteoblast hücre kültürleri üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, MTA uygulamasının hücresel aktiviteyi artırdığı ve hücrelerin metabolik faaliyetlerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Bu süreçte MTA'nın, hücreler tarafından salgılanan biyolojik düzenleyiciler olan sitokinlerin salınımını artırdığı gözlemlenmiştir. Sitokinler, hücreler arası iletişimi sağlayan ve inflamasyon, hücre proliferasyonu ile doku yenilenmesi gibi biyolojik süreçlerde önemli rol oynayan moleküllerdir. MTA'nın sitokin salınımını artırması, çevre dokularda rejeneratif süreçlerin aktive edilmesine katkı sağlamaktadır.

Bununla birlikte MTA'nın osteoblast hücrelerinde interlökin üretimini de artırdığı bildirilmiştir. İnterlökinler bağışıklık sistemi ve doku iyileşme mekanizmalarında görev alan önemli sinyal molekülleridir. Bu moleküllerin artışı, kemik dokusunda hücrel aktivitenin uyarılmasına ve yeni kemik oluşumunun desteklenmesine yardımcı olmaktadır. Böylece MTA'nın oluşturduğu biyolojik ortam, kemik dokusunun yeniden yapılanmasını ve onarım süreçlerini hızlandırmaktadır.

Sonuç olarak, MTA'nın osteoblast hücreleri üzerinde sitokin ve interlökin üretimini artırarak kemik dokusunun biyolojik aktivitesini uyardığı ve bu sayede sert doku oluşumu ile iyileşme sürecinin daha hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleşmesine katkıda bulunduğu ifade edilmektedir. Bu özellikleri MTA'yı özellikle endodontik tedavilerde ve sert doku rejenerasyonunun gerekli olduğu klinik uygulamalarda önemli bir biyomateryal haline getirmektedir.<sup>13</sup>

MTA'dan salınan kalsiyum iyonu dokuların yapısındaki fosfat iyonu ile reaksiyona girerek hidroksiapatit oluşumunu sağlamaktadır. Bu sayede de MTA ve dentin duvarları arasındaki sızdırmazlık artmaktadır.

MTA yüksek klinik avantajlara sahip olmasına rağmen bazı olumsuz özellikleri nedeniyle nedeniyle klinikte pulpa kuafaj materyali arayışı devam etmiştir. Bunlardan en önemlileri; uzun sertleşme süresi (284 dakikaya kadar), manipülasyon zorlukları, kalan diş yapısının renginin değişmesi ve tozdaki ağır metallerin varlığı olarak özetlenebilir.<sup>14,15</sup>

### **Avantajları**

- Biyouyumlu olması
- Sızdırmaz olması
- Kalsiyumhidroksite göre daha az pulpal enflamasyona neden olması
- Daha az tünel defekti oluşturması
- Daha az toksik olması

### **Dezavantajları**

- Uzun sertleşme süresine sahip olması
- Dişte renklenmeye sebep olması
- Manipülasyonunun zor olması

-Yüksek maliyet

### **b. Biodentin**

MTA'nın dezavantajlarına yönelik bir çözüm olarak, 2011 yılında yeni bir trikalsiyum silikat bazlı siman olan Biodentine (Septodont, Fransa) piyasaya sürülmüştür. Üretici, sertleşme süresinin 9 ile 12 dakika arasında değiştiğini belirtse de ancak 45 dakika sonra son sertleşmenin gerçekleştiği görülmüştür.<sup>16</sup>

Yapısı MTA'ya benzeyen Biodentin'in tozunda trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum karbonat, kalsiyum oksit, demir oksit ve radyoopasiteyi sağlayan zirkonyum oksit bulunmaktadır.

Likitinde kalsiyum klorid ve suda çözünebilen polimerler mevcutken, tozunda ise trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum karbonat, kalsiyum oksit, demiroksit ve zirkonyum oksit bulunmaktadır. Toz ve likit birbirinden ayrı tek kullanımlık kapsüllerde yer alır. Tozun yer aldığı kapsüle beş damla kadar likit ilavesi ve amalgamatörde 30 saniyelik karıştırma sonucunda elde edilen karışım kullanılmaktadır. Toz ve likidin karışımı sonucunda jel kıvamı almaktadır. Sertleşme süresinin MTA'ya oranla kısa olması Biodentine'in kuafaj ve perforasyon tamiri tedavilerinde kullanımını ön plana çıkarmıştır. Yapılan histolojik çalışmalarda kuafaj materyali olarak kullanılan Biodentin'e karşı iltihabi cevabın oluşmadığı görülmüştür. Biodentinin erken dönemdeki mekaniksel kuvvet artışı, saf trikalsiyum silikattan daha büyük bir hidrasyon kinetiğine sahip olmasıyla bağdaştırılmaktadır.<sup>17,18,19,20,21</sup>

Biodentin, içeriğinden salınan kalsiyum ve hidroksil iyonları sayesinde biyolojik olarak aktif özellikler gösteren ve pulpa dokusunun korunmasına katkı sağlayan bir materyaldir. Bu iyonların salınımı, materyalin özellikle direkt ve indirekt pulpa kuafajı uygulamalarında kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Salınan kalsiyum iyonları sert doku oluşumunu desteklerken, hidroksil iyonları ortamın alkalinitesini artırarak antibakteriyel etki oluşturmakta ve pulpal iyileşme için uygun bir biyolojik ortam hazırlamaktadır.

Direkt ve indirekt pulpa kuafajı uygulamalarında Biodentin'in pulpa ve dentin dokuları ile etkileşime girmesi sonucunda biyolojik ve fizyolojik iyileşme süreçleri aktive olmaktadır. Bu etkileşim, pulpa dokusunun korunmasını sağlayan önemli mekanizmalardan biri olan tersiyer dentin oluşumunu uyarmaktadır. Tersiyer dentinin oluşması, pulpa dokusunu dış uyaranlardan koruyan koruyucu bir bariyer meydana getirmekte ve pulpanın canlılığının devamına katkı sağlamaktadır. Bunun yanı sıra Biodentin'in dentin dokusu ile güçlü bir bağ oluşturması,

marjinal sızdırmazlığın sağlanmasına yardımcı olmakta ve mikroorganizma geçişini engelleyerek pulpal dokunun enfeksiyon riskini azaltmaktadır.

Biodentin, uzun yıllar boyunca pulpa kuafajı uygulamalarında altın standart materyal olarak kabul edilen kalsiyum hidroksit ile karşılaştırıldığında bazı üstün özelliklere sahiptir. Bu materyal, kalsiyum hidroksite kıyasla daha yüksek mekanik dayanıklılık, daha düşük çözünürlük ve daha iyi marjinal sızdırmazlık göstermektedir. Bu özellikleri sayesinde Biodentin, pulpa dokusunun korunmasında ve dentin-pulpa kompleksinin biyolojik iyileşme sürecinin desteklenmesinde etkili bir biyomateryal olarak değerlendirilmektedir.<sup>22</sup>

### **Avantajları**

- Kolay manipülasyon
- Daha düşük maliyet
- Daha hızlı sertleşme süresi
- Marjinal sızdırmazlık
- Reperatif dentin üretimini sağlar
- Dentin köprüsü oluşumunu uyarmaktadır

### **Dezavantajları**

- Oluşturmuş olduğu dentin MTA'nın oluşturduğu dentine kıyasla daha düzensizdir.<sup>23</sup>
- Kompozit, kompomer ve rezin modifiye cam iyonomer simanı dahil olmak üzere restoratif materyallere MTA'dan önemli ölçüde daha düşük bağlanma değerleri göstermiştir.<sup>24</sup>

### **c. BioAggregate**

Bioaggregate, kalsiyum silikat bazlı biyoseramik bir materyal olup vital pulpa tedavilerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Özellikle direkt ve indirekt pulpa kuafajı, pulpotomi, perforasyon tamiri ve kök ucu cerrahisi gibi endodontik işlemlerde biyouyumlu özellikleri nedeniyle tercih edilen materyaller arasında yer almaktadır. Kalsiyum hidroksit ve mineral trioksit agregat (MTA) gibi materyallerin olumlu özelliklerini taşımasının yanı sıra bazı ek avantajlar sunması nedeniyle son yıllarda pulpa tedavilerinde dikkat çeken biyomateryallerden biri haline gelmiştir.

BioAggregate'in temel yapısı kalsiyum silikat, kalsiyum fosfat, amorf silika ve tantal oksit gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Bu materyal, sertleşme reaksiyonu sırasında çevre dokulara kalsiyum iyonları salarak biyolojik olarak aktif bir ortam oluşturur. Salınan kalsiyum iyonları, pulpa dokusundaki hücreleri uyararak odontoblast benzeri hücrelerin farklılaşmasını desteklemekte ve reparatif dentin oluşumunu teşvik etmektedir. Bu süreç, pulpa dokusunun korunmasına ve dentin-pulpa kompleksinin rejeneratif kapasitesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Pulpa kuafajı uygulamalarında BioAggregate'in en önemli özelliklerinden biri yüksek biyouyumluluğa sahip olmasıdır. Yapılan çalışmalarda bu materyalin pulpa dokusunda minimal inflamatuvar reaksiyon oluşturduğu ve pulpa hücrelerinin canlılığını desteklediği bildirilmiştir. Ayrıca BioAggregate'in alkalik pH değerine sahip olması bakteriyel gelişimin baskılanmasına yardımcı olmakta ve tedavi bölgesinde antibakteriyel bir ortam oluşmasını sağlamaktadır.

BioAggregate'in pulpa kuafajında kullanılmasını destekleyen bir diğer önemli özelliği ise biyomineralizasyon yeteneğidir. Materyalin çevre dokularla etkileşime girmesi sonucunda dentin yüzeyinde hidroksiapatit benzeri kristal yapılar oluşabilmekte ve bu durum dentin ile materyal arasında güçlü bir biyolojik bağ meydana getirmektedir. Bu bağ sayesinde marjinal sızdırmazlık artmakta ve mikroorganizma penetrasyonu önemli ölçüde engellenmektedir.

Bunun yanında BioAggregate, bazı geleneksel materyallere kıyasla çeşitli avantajlar sunmaktadır. Materyalin içeriğinde bizmut oksit bulunmaması, MTA ile ilişkilendirilen diş renklenmesi riskini azaltmaktadır. Ayrıca yüksek biyouyumluluğu, iyi sızdırmazlık özelliği ve biyolojik iyileşmeyi destekleyici etkileri sayesinde pulpa dokusunun korunmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte bazı çalışmalarda sertleşme süresinin nispeten uzun olması ve mekanik özelliklerinin klinik koşullarda dikkatle değerlendirilmesi gerektiği de belirtilmiştir.

Sonuç olarak BioAggregate, pulpa dokusuyla uyumlu biyolojik özellikleri, biyomineralizasyon kapasitesi ve reparatif dentin oluşumunu destekleyici etkileri sayesinde pulpa kuafajı tedavilerinde potansiyel bir alternatif biyoseramik materyal olarak değerlendirilmektedir. Ancak materyalin uzun dönem klinik başarısını ortaya koymak ve standart kullanım protokollerini belirlemek amacıyla daha kapsamlı klinik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

### **Avantajları**

-Çalışma ve sertleşme süresi optimumdur. (5 dk)

-Manipülasyonu kolaydır.

- Diş dokusunda renklenmeye sebep olmamaktadır.
- Biyouyumludur.
- Dokularda düşük enflamasyon yaratır.
- Oluşturduğu tamir dentin daha homojen ve daha kalındır.<sup>25,26,27</sup>

### **3.Kalsiyum Silikat İçerikli Resin Modifiye Kuafaj Materyalleri**

#### **a. TheraCal LC**

Restorasyonlarda görülen kalsiyum silikat materyallerin rezinlere zayıf bağlanmasının üstesinden gelmek için 2011 yılında TheraCal LC (Bisco, ABD) piyasaya sürülmüştür. TheraCal LC, nihai restorasyonun hemen yerleştirilmesini kolaylaştıran hem direkt hem de indirekt pulpa kuafaj malzemesi olarak tasarlanmıştır.<sup>28</sup> TheraCal LC kalsiyum oksit, kalsiyum silikat partikülleri (tip III Portland çimentosu), stronsiyum cam, füme silika, baryum sülfat ve BisGMA ve polietilen glikol dimetakrilattan oluşan % 43 rezin içeren, ışıkla sertleşen, rezinle modifiye edilmiş kalsiyum silikat bazlı tek tüpten oluşan bir paktır.<sup>29,30</sup> Kullanıma hazır olarak şırıngada sunulmakta ve hidrofobik bir ortamda fotopolimerizasyonla sertleştirilmektedir.<sup>29</sup>

Kalsiyum ve hidroksit iyonu salabilen rezin formu sayesinde dişin yapısını remineralize etme yeteneğine sahiptir. Salmış olduğu kalsiyum iyonu sayesinde pulpa ve odontoblastları uyararak dişin yapısını remineralize etme yeteneğine sahiptir. Ancak yine de bu değerler biodentinden düşüktür.<sup>31,32</sup> Sertleşmiş TheraCal LC'de kalsiyum hidroksitin olmaması bu malzemenin salınan kalsiyum iyonlarının hidroksit formunda olmadığını göstermiştir. Resin matrisinin varlığının TheraCal LC'nin sertleşme mekanizmasını ve kalsiyum iyon kinetiğini değiştirerek daha düşük kalsiyum salınımını açıklayabileceği belirtilmiştir.<sup>33</sup> TheraCal LC'in hidrasyon özelliklerine bağlı hafif kronik enflamasyon, azalmış dentin köprüsü kalınlığına ve daha yüksek enflamasyonla birlikte dentin köprüsü oluşumuna neden olmuştur.<sup>34</sup> TheraCal LC'nin polimerizasyonu esnasında düşük ısı üretimi olmasına rağmen, pulpa kuafajında kullanıldığında olumsuz pulpal etkilere neden olabileceği söylenmiştir.<sup>35</sup> TheraCal LC, derin kavitelere yerleştirilmesi durumunda yeterli derecede kapaticılık sağlamaktadır, biyouyumludur ve pulpal hücreler üzerinde toksik etkisi bulunmamaktadır.<sup>36,37,38</sup>

#### 4. Diğer Potansiyel Kuafaj Malzemeleri

##### a. Çinko Oksit Ojenol

Çinko oksit ojenol, restoratif diş hekimliğinde uzun yıllardır kullanılan bir materyal olup, özellikle geçmişte direkt pulpa kuafajı amacıyla piyasaya sürülmüş ilk materyaller arasında yer almaktadır. Materyal, çinko oksit tozu ile okzalik asit içeren ojenolün reaksiyona girmesiyle oluşmakta ve başlangıçta kolay uygulanabilirliği ve düşük maliyeti nedeniyle ilgi görmüştür.

Ancak deneysel ve klinik araştırmalar, ZOE'nin pulpa dokusuna olan biyolojik etkileri açısından ciddi sınırlılıklarını ortaya koymuştur. Özellikle yapılan histolojik incelemelerde, ZOE uygulanan pulpa dokularında dentin köprüsü oluşumunun gerçekleşmediği, pulpa bölgesinde kronik inflamasyon gözlemlendiği ve pulpal iyileşme sürecinin yetersiz olduğu rapor edilmiştir.<sup>39</sup> Bu durum, materyalin pulpa hücreleri üzerindeki uyumsuz biyolojik etkilerinden kaynaklanmaktadır.

ZOE'nin pulpa üzerindeki olumsuz etkileri, iki temel mekanizmayla açıklanmaktadır:

**Sitotoksik Etki:** Materyal içerisindeki fenolik türevler ve bazı organik bileşikler pulpa hücreleri üzerinde sitotoksik etki oluşturarak hücre ölümüne ve inflamatuvar yanıtın kronikleşmesine yol açmaktadır.

**Yüksek İnterfasial Sızıntı:** ZOE'nin pulpa ve dentin yüzeyine adaptasyonu sınırlı olduğundan mikro sızıntıya yol açmakta, bu da bakteriyel penetrasyonu kolaylaştırarak pulpa dokusunda ek irritasyon ve enfeksiyon riskini artırmaktadır.

Bunlara ek olarak, materyalin pH değeri nötr veya hafif asidik olması nedeniyle biyolojik mineralizasyonu uyarması sınırlıdır. Bu durum, reparatif dentin oluşumunun yeterince sağlanamamasına ve pulpa dokusunun korunamamasına neden olmaktadır. Klinik çalışmalar, ZOE ile yapılan direkt pulpa kuafajlarında pulpa vitalitesinin uzun dönem korunamadığını ve dentin köprüsü oluşumunun sınırlı olduğunu göstermiştir.

Sonuç olarak, çinko oksit ojenol başlangıçta uygun fiyatlı ve kolay uygulanabilir bir direkt kuafaj materyali olarak öne çıkmış olsada, yüksek toksisite, yetersiz biyouyumluluk ve mikro sızıntı sorunları nedeniyle günümüzde pulpa kuafajında tercih edilmemekte ve modern biyoseramik ve kalsiyum silikat bazlı materyaller (ör. MTA, Biodentine, BioAggregate) ile yer değiştirmiştir.

## **Dezavantajları**

-Sitotoksiktir<sup>40</sup>

-Pulpal enflamasyona neden olmaktadır.<sup>41</sup>

-Dentin köprüsü oluşumu yoktur.<sup>41</sup>

Bu sebeplerle çinko oksit ojenolün pulpa kuafajında kullanımı önerilmemektedir.

## **b. Rezin Modifiye Cam İyonomer Siman**

Rezin modifiye cam iyonomer simanları (RMCIS), başlangıçta Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından belirlenen standartlara dayalı olarak yürütülen deneysel çalışmalarda, insan dışı primatlar üzerinde gerçekleştirilen ön pulpa kaplama araştırmalarında olumlu sonuçlar göstermiştir. Bu çalışmalarda materyalin pulpa dokusu ile belirli düzeyde uyumlu olduğu ve klinik açıdan umut verici sonuçlar sunduğu bildirilmiştir.<sup>10,42,43</sup> Ancak daha sonraki araştırmalarda, söz konusu materyallerin insan denekler üzerinde kullanılması durumunda aynı derecede olumlu sonuçlar elde edilemediği ortaya konmuştur.

İnsan dişleri üzerinde yapılan klinik ve histolojik değerlendirmelerde, rezin modifiye cam iyonomer simanlarının biyoyumluluk açısından sınırlı performans gösterdiği ve pulpa dokusunda beklenen iyileşme yanıtını yeterince oluşturamadığı belirlenmiştir. Özellikle pulpa dokusunun korunmasında önemli bir kriter olan onarım dentini (dentin köprüsü) oluşumu açısından bu materyallerin yetersiz kaldığı rapor edilmiştir. Bunun yanı sıra, rezin esaslı materyallerin doğrudan pulpa yüzeyine veya pulpaya çok yakın bölgelere uygulanmasının pulpa dokusunda istenmeyen histolojik reaksiyonlara yol açabildiği görülmüştür.<sup>10,44</sup>

Bu materyallerin içerdiği rezin monomerlerinin pulpa hücreleri üzerinde sitotoksik etki oluşturabildiği ve hücresel düzeyde olumsuz biyolojik yanıtların ortaya çıkmasına neden olabildiği bildirilmektedir. Ayrıca polimerizasyon süreci sırasında oluşabilecek büzülme ve adeziv bağlanma sorunları nedeniyle restorasyon ile diş dokusu arasında adeziv başarısızlıklar meydana gelebilmektedir. Bu durum mikro sızıntıya zemin hazırlayarak pulpa dokusunun bakteriyel irritasyona maruz kalmasına ve tedavi başarısının olumsuz etkilenmesine yol açabilmektedir.

Bu nedenle, rezin modifiye cam iyonomer simanlarının özellikle direkt pulpa kaplama uygulamalarında kullanımı konusunda dikkatli olunması gerektiği ve biyoyumluluğu daha

yüksek alternatif biyomateryallerin tercih edilmesinin daha uygun olabileceği literatürde vurgulanmaktadır.

### **Dezavantajları**

- Uzun süreli başlangıç asitliği.<sup>41</sup>
- Antibakteriyel özelliği yoktur.<sup>40</sup>
- Dentin köprüsü formasyonu izlenmez.<sup>41</sup>

### **c. Propolis**

Propolis, bal arıları tarafından ağaç kabukları, tomurcuklar ve bitki yüzeylerindeki çatlaklardan toplanan reçinemsı maddelerin işlenmesiyle elde edilen doğal bir biyomateryaldir. Arılar bu reçineleri enzimleri ve balmumu ile karıştırarak propolisi oluşturur. Zengin kimyasal içeriği sayesinde propolis; antibakteriyel, antiviral, antifungal, antioksidan, antiinflamatuvar, yara iyileştirici, doku yenileyici ve lokal anestezi özelliğe sahip biyolojik olarak aktif bir ajandır.<sup>45,46</sup> Bu özellikleri nedeniyle tıp ve diş hekimliği alanında çeşitli tedavi uygulamalarında kullanılma potansiyeline sahiptir.

Propolisin biyolojik etkileri büyük ölçüde içerdiği flavonoidler, fenolik bileşikler ve aromatik asit türevlerinden kaynaklanmaktadır. Bu bileşenler mikroorganizmaların çoğalmasını baskılayarak antimikrobiyal etki oluşturmakta, aynı zamanda inflamatuvar süreçleri düzenleyerek doku iyileşmesini desteklemektedir. Bu biyolojik özellikler propolisi özellikle pulpa dokusunun korunmasına yönelik tedavilerde potansiyel bir materyal haline getirmiştir.

Yapılan deneysel ve klinik çalışmalarda propolis pulpa dokusu üzerinde biyoyumlu bir etki gösterdiği bildirilmiştir. Araştırma sonuçları, propolis uygulamalarının pulpa dokusunda belirgin bir inflamatuvar reaksiyona yol açmadığını, ayrıca pulpa nekrozu veya enfeksiyon gelişimine neden olmadığını ortaya koymuştur. Bunun yanında propolis pulpa-dentin kompleksini uyararak yüksek kalitede tübüler dentin oluşumunu desteklediği ve böylece pulpa dokusunun korunmasına katkı sağladığı belirlenmiştir.<sup>47</sup>

Bu bulgular doğrultusunda propolis, biyoyumlu özellikleri ve rejeneratif etkileri sayesinde özellikle vital pulpa tedavileri kapsamında kullanılacak doğal ve alternatif bir biyomateryal olarak değerlendirilebileceği ifade edilmektedir.

#### **d. Lazerler**

Lazer teknolojisi, restoratif diş tedavisinde birçok klinik uygulamada kullanılmakta olup son yıllarda pulpa kuafajı işlemlerinde de alternatif bir yöntem olarak araştırılmaktadır. Lazerlerin klinik kullanımında sağladığı bazı önemli avantajlar bulunmaktadır. Özellikle hemostaz sağlama, biyostimülasyon etkisi oluşturma ve operasyon alanında dekontaminasyon sağlama, lazerlerin pulpa kuafajı uygulamalarında diğer konvansiyonel yöntemlere alternatif olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.<sup>48</sup>

Ancak farklı lazer türlerinin pulpa dokusu üzerindeki etkileri birbirinden farklılık göstermektedir. Örneğin CO<sub>2</sub> ve Nd:YAG lazerlerin uygulama sırasında pulpa dokusunda belirgin bir ısı artışına neden olabildiği bildirilmiştir.<sup>49</sup> Bu durum, pulpa dokusunda termal hasar oluşturma riskini beraberinde getirebildiğinden klinik kullanım açısından dikkatle değerlendirilmesi gereken bir faktördür.

Buna karşılık Er:YAG lazerlerin, pulpa kuafajında kullanılan biyomateryaller ile birlikte uygulanmasına yönelik çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, söz konusu lazerlerin sert ve yumuşak dokular üzerinde kontrollü etki oluşturabildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, Er:YAG lazerlerin pulpa kuafajı uygulamalarında güvenli ve etkili şekilde kullanılabilmesi için standart işlem protokollerinin ve uygun parametrelerin belirlenmesine yönelik daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır.<sup>50</sup>

Diyot lazerler ise özellikle melanin ve hemogloblin gibi kromoforlarda yüksek absorpsiyon göstermeleri nedeniyle yumuşak dokular üzerinde etkili bir şekilde kullanılabilmektedir.<sup>48</sup> Bu özellikleri sayesinde diyot lazerlerin pulpa dokusunun dekontaminasyonu ve kanamanın kontrol altına alınması gibi klinik aşamalarda faydalı olabileceği belirtilmektedir.

Bununla birlikte, farklı lazer sistemlerinin kendilerine özgü avantaj ve dezavantajlarının bulunmasına rağmen, mevcut bilimsel çalışmaların sayısının sınırlı olması ve klinik uygulamalara yönelik standart protokollerin henüz net olarak belirlenmemiş olması nedeniyle lazerlerin pulpa kuafajı tedavilerinde rutin kullanımının henüz tam anlamıyla standardize edilmediği ifade edilmektedir. Bu nedenle lazerlerin pulpa kuafajındaki etkinliğini ve güvenilirliğini ortaya koymak amacıyla daha kapsamlı deneysel ve klinik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

## **f. Biyolojik Faktörler**

Direkt pulpa kuafajı uygulamalarında pulpa dokusunun iyileşmesini desteklemek ve dentin-pulpa kompleksinin rejenerasyonunu teşvik etmek amacıyla ekstrasellüler matriks bileşenleri ve çeşitli büyüme faktörlerinin kullanımı da araştırılmıştır. Bu yaklaşımın temel amacı, pulpa dokusunda doğal iyileşme mekanizmalarını aktive ederek reparatif dentin oluşumunu biyolojik olarak uyarmaktır. Bu kapsamda özellikle bazı büyüme faktörlerinin dentin oluşumunu düzenleyen hücresel süreçler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

DeneySEL hayvan çalışmaları, transforme edici büyüme faktörü (TGF) ve kemik morfogenetik proteinleri (BMP) gibi büyüme faktörlerinin pulpa dokusunda reparatif dentin formasyonunu indükleyebildiğini göstermiştir. Bu büyüme faktörlerinin pulpa hücrelerini uyararak odontoblast benzeri hücrelerin farklılaşmasını desteklediği ve böylece dentin köprüsü oluşumuna katkı sağladığı bildirilmiştir. Ancak söz konusu büyüme faktörlerinin oluşturduğu dentin yapısının her zaman ideal özellikler göstermediği de belirtilmektedir.

Bazı çalışmalarda bu büyüme faktörlerinin uygulandığı bölgelerde oluşan sert dokunun tünel defektleri içeren ve poröz yapıda osteodentin karakterinde olduğu rapor edilmiştir.<sup>51,52</sup> Bu tür yapısal düzensizlikler, oluşan dentin köprüsünün bütünlüğünü ve koruyucu fonksiyonunu azaltabilmekte, ayrıca bakteriyel penetrasyon riskini artırabilmektedir. Bu nedenle TGF ve BMP gibi büyüme faktörlerinin pulpa kuafajı tedavilerinde kullanımının terapötik açıdan beklenen düzeyde başarı sağlamayabileceği ve klinik uygulamalar için henüz yeterli potansiyele sahip olmadıkları düşünülmektedir.

Buna karşın ekstrasellüler matriks kökenli bazı proteinler arasında amelogenin oldukça umut verici bir biyomateryal olarak değerlendirilmektedir.<sup>53</sup> Yapılan araştırmalar, amelogeninin pulpa hücreleri üzerinde olumlu biyolojik etkiler oluşturabildiğini ve dentin-pulpa kompleksinin rejeneratif kapasitesini destekleyebileceğini göstermektedir. Bu nedenle amelogenin, özellikle direkt pulpa kuafajı uygulamalarında potansiyel bir biyolojik ajan olarak dikkat çekmekte ve gelecekteki araştırmalar için önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır.

## SONUÇ

Yapılan derlemenin sonuçlarına göre pulpa kuafaj uygulamalarında klinikte birçok materyal kullanılarak dişin vitalitesini korumak, pulpa kuafajı ile reperatif dentin oluşumu sağlamak hedeflenmiştir. Klinikte kullanılan her malzemenin birçok avantajı yanında dezavantajı da bulunmaktadır bu da sürekli olarak yeni materyallerin arayışını gündeme getirmiştir. İdeal kuafaj materyali için arayış ise halen araştırmacılar tarafından devam etmektedir.

## KAYNAKÇA

1. Carlo Prati, Maria Giovanna Gandolfi. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Materials* 2015; 31(4): 351-70.
2. Komabayashi, T.; Zhu, Q.; Eberhart, R.; Imai, Y. Current status of direct pulp-capping materials for permanent teeth. *Dent. Mater. J.* 2016, 35, 1–12.
3. Hargreaves KM, Cohen S, Berman LH. *Cohen's Pathways of the Pulp*. 10th ed. St. Louis: Mosby Year Book; 2011.
4. Cohenca N, Paranjpe A, Berg J. Vital pulp therapy. *Dent Clin North Am* 2013;57(1):59-73.
5. Mete Üngör, Emel Olga Önay. Vital Pulpa Tedavisi Endikasyonları. *Türkiye Klinikleri J Endod-Special Topics*. 2017;3(3):160-164.
6. Guideline of pulp therapy for primary and young permanent teeth. *Pediatr Dent* 2008;30(7 Suppl):170-4.
7. Hermann B. Dentinobliteration der Wurzelkanäle nach Behandlung mit Calcium. *Zahnärztl Rundschau* 1930; 39: 888-898.
8. Cavalcanti BN, Rode SM, Marques MM. Cytotoxicity of substances leached or dissolved from pulp capping materials. *Int Endod J* 2005; 38: 505-509.
9. Kawakami T, N.C., Hasegawa H, Eda S., Fate of <sup>45</sup>Ca-labelled Calcium Hydroxide in a Root Canal Filling Paste Embedded in a Rat Subcutaneous Tissue. *J Endod* ;13:220-3. 1987.
10. Hargreaves, L.H.B.K.M., *Cohen's Pathways of the Pulp* (2020). 2020.
11. Mohammadi Z, D.P., Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology, *Int Endod J*;44: 697. 2011.
12. Guimarães, B. M., Prati, C., Duarte, M. A. H., Bramante, C. M., Gandolfi, M. G. (2018). Physicochemical properties of calcium silicate-based formulations MTA Repair HP and MTA Vitalcem. *Journal of Applied Oral Science*, 5(26). doi: 10.1590/1678-7757-2017-0115.
13. Karayılmaz H, Kırzıoğlu Z. [Mineral trioxide aggregate and the importance in pediatric dentistry]. *Süleyman Demirel Üni Diş Hek Fak Derg* 2011; 3(1): 30-46.

14. Ha, W.N.; Nicholson, T.; Kahler, B.; Walsh, L.J. Mineral trioxide aggregate-A review of properties and testing methodologies. *Materials* 2017; 10: 1261.
15. Schembri, M.; Peplow, G.; Camilleri, J. Analyses of heavy metals in mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J. Endod.* 2010; 36: 1210–1215.
16. Dilara Yürekten, Arzu Pınar Erdem. Biyoaktivitenin Restoratif Diş Hekimliğindeki Önemi Ve Bu Konudaki Güncel Çalışmaların Derlenmesi. *Atatürk Üniv Diş Hek Derg* 2020;30(2):337-345.
17. Yıldız E, Erdemir U, Yücel T, Altay Nİ. [Base Materials for Restorations]. *Türkiye Klinikleri J Restor Dent Special Topics* 2015; 1(3): 58-65.
18. Jefferies SR. Bioactive and biomimetic restorative materials: a comprehensive review. Part I. *J Esthet Restor Dent* 2014; 26(1): 14-26.
19. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Characterization of set Intermediate Restorative Material, Biodentine, Bioaggregate and a prototype calcium silicate cement for use as root-end filling materials. *Int Endod J* 2013; 46(7): 632-41.
20. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dent Mater* 2013; 29(5): 580-93.
21. Malkondu Ö, Kazandağ MK, Kazazoğlu E. A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *Biomed Res Int* 2014.
22. About, I. Biodentine: From biochemical and bioactive properties to clinical applications. *G. Ital. Endod.* 2016; 30: 81–88.
23. Kim, J.; Song, Y.-S.; Min, K.-S.; Kim, S.-H.; Koh, J.-T.; Lee, B.-N.; et al. Evaluation of reparative dentin formation of ProRoot MTA, Biodentine and BioAggregate using micro-CT and immunohistochemistry. *Restor Dent Endod* 2016; 41: 29.
24. Tulumbacı, F.; Almaz, M.E.; Arikan, V.; Mutluay, M.S. Shear bond strength of different restorative materials to mineral trioxide aggregate and Biodentine. *J Conserv Dent* 2017; 20: 292–296.

25. Batur YB, Acar G, Yalçın Y, Dindar S, Sancaklı H, Erdemir U. The cytotoxic evaluation of mineral trioxide aggregate and bioaggregate in subcutaneous connective tissue of rats. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 18(4): 745-751, 2013
26. DiaDent Group İntemationa lwww.endo.bg /images/DiaRoot\_Booklet.pdf).
27. Chung RC, Kim E, Shin SJ. Biocompatibility of bioaggregate cement on human pulp and periodontal ligament derived cells. *JKACD*. 35(6):473-478, 2010
28. Marta Kunert, Monika Lukomska-Szymanska. Bio Inductive Materials in Direct and Indirect Pulp Capping—A Review Article. *Materials* 2020; 13(5): 1204
29. Thomas Giraud, Charlotte Jeanneau, Charlotte Rombouts, Hengameh Bakhtiar, Patrick Laurent, Imad About. Pulp capping materials modulate the balance between inflammation and regeneration. *Dent Materials* 2019; 35(1):24-35.
30. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *Int Endod J* 2012; 45: 571-579.
31. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *Int Endod J* 2012; 45: 571-579.
32. Fathy, S. Remineralization ability of two hydraulic calcium-silicate based dental pulp capping materials: Cell-independent model. *J Clin Exp Dent* 2019; 11: e360–e366.
33. Camilleri, J. Hydration characteristics of Biodentine and Theracal used as pulp capping materials. *Dent Mater* 2014; 30: 709–715.
34. Kamal, E.; Nabih, S.; Obeid, R.; Abdelhameed, M. The reparative capacity of different bioactive dental materials for direct pulp capping. *Dent Med Probl* 2018; 55: 147–152.
35. Savas, S.; Botsali, M.S.; Kucukyilmaz, E.; Sari, T. Evaluation of temperature changes in the pulp chamber during polymerization of light-cured pulp capping materials by using a VALO LED light curing unit at different curing distances. *Dent Mater J* 2014;33: 764–769.
36. Gandolfi MG, Taddei P, Siboni F, Modena E, Ciapetti G, Prati C. Development of the foremost light curable calcium- silicate MTA cements root-end in oral surgery. Chemical physical properties, bioactivity and biological behaviour. *Dental Materials*. 27:34-57, 2011

37. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Chemical- physical properties of TheraCal LC, a novel light- curable MTA-like material for pulp cap- ping. *IntEndod.* 45(6): 571-579,2012
38. Hebling J, Lessa FCR, Nogueira I, Carvalho RM, De Souza Costa CA (2009). Cytotoxicity of resin-based light-cures liner cements. *Journal of Dental Research* 87B:470.
39. Tewari S. Assessment of coronal microleakage in intermediately restored endodontic access cavities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002; 93: 716-719.
40. Liang Chen and Byoung In Suh. Cytotoxicity and biocompatibility of resin-free and resin-modified direct pulp capping materials: A state-of-the-art review. *Dental Materials Journal* 2017; 36(1): 1–7.
41. Hilton, T.J. Keys to Clinical Success with Pulp Capping: A Review of the Literature. *Oper. Dent.* 2009; 34, 615–625.
42. Cox CF, H.A., Akimoto N., Biocompatibility of primer, adhesive and resin composite systems on nonexposed and exposed pulps of non-human primate teeth, *Am J Dent*; 11: S55. 1998.
43. Tarim B, H.A., Cox CF., Pulpal response to a resinmodified glass-ionomer material on nonexposed and exposed monkey pulps, *Quintessence Int*;29: 535. 1998.
44. Accorinte Mde L, L.A., Reis A., Adverse effects of human pulps after direct pulp capping with different components from a total-etch, three-step adhesive system, *Dent Mater*;21: 599. 2005.
45. Burcu Oğlakçı, Neslihan Arhun, Duygu Tuncer. Pulp capping treatments in restorative dentistry. *J Dent Fac Atatürk Uni.* 2016; 14:94-103.
46. Mihriban Gökçek, Ebru Hazar Bodrumlu. New approaches in vital pulp therapy. *J Dent Fac Atatürk Uni* 2016; 14:118-129.
47. Ahangari Z, Naseri M, Jalili M, Mansouri Y, Mashhadiabbas F, Torkaman A. Effect of propolis on dentin regeneration and the potential role of dental pulp stem cell in guinea pigs. *Cell J* 2012; 13:223-8.
48. Iraj Yazdanfar, Mehrdad Barekatin, Maryam Zare Jahromi. Combination effects of diode laser and resin modified tricalcium silicate on direct pulp capping treatment of caries

- exposures in permanent teeth: a randomized clinical trial. *Lasers Med Sci.* 2020; 35(8):1849-1855.
49. Karaaslan Eş, Yıldırım C, Üşümez A. Restoratif tedavide lazer uygulamaları. *Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg* 2012; 22:340-9.
50. Mengchen W, Lin M, Qian L, Wendong Y. Efficacy of Er:YAG laser-assisted direct pulp capping in permanent teeth with cariously exposed pulp: A pilotstudy. *AustEndod J* 2020; 46(3):351-357.
51. Goldberg M, Farges JC, Lacerda-Pinheiro S, Six N, Jegat N, Decup F, et al. Inflammatory and immunological aspects of dental pulp repair. *Pharmacol Res* 2008; 58: 137-147.
52. Goldberg M, Smith AJ. Cells and extracellular matrices of dentin and pulp: A biological basis for repair and tissue engineering. *Crit Rev Oral Biol Med* 2004; 15: 13-27.
53. Komabayashi, T.; Zhu, Q.; Eberhart, R.; Imai, Y. Current status of direct pulp-capping materials for permanent teeth. *Dent. Mater. J.* 2016, 35, 1–12.

# BÖLÜM 3

---

## DİŞ HEKİMLİĞİNDE KİTOSAN UYGULAMALARI

*Aslı SİLKÜ OFLİOĞLU<sup>1</sup>, S. Hülya ERTEN CAN<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Arş. Gör. Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Orcid No: 0009-0009-1210-9867

<sup>2</sup> Prof. Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Orcid No: 0000-0001-7823-7145

## GİRİŞ

Son yıllarda diş hekimliğinde biyomateryal araştırmaları, minimal invaziv tedavi yaklaşımlarının yaygınlaşması ve biyolojik dokularla daha uyumlu materyal arayışlarının artmasıyla birlikte önemli bir ivme kazanmıştır (Hannig & Hannig, 2010). Özellikle restoratif diş tedavisi başta olmak üzere pek çok alt disiplinde, yalnızca mekanik dayanımı yüksek değil; aynı zamanda biyoyumlu, biyobozunur ve dokularla etkileşime girebilen materyallerin geliştirilmesi ön plana çıkmıştır (Ferracane, 2011). Bu gelişmeler doğrultusunda doğal kökenli biyopolimerler, sentetik materyallere alternatif ya da tamamlayıcı çözümler sunmaları nedeniyle güncel literatürde giderek daha fazla ilgi görmektedir (Islam et al., 2017).

Doğal polimerler arasında yer alan kitosan, sahip olduğu çok yönlü biyolojik ve kimyasal özellikler sayesinde diş hekimliği uygulamalarında dikkat çeken materyallerden biridir (Dash et al., 2011). Kitinin deasetilasyonu ile elde edilen kitosan; biyoyumluluk, biyobozunurluk ve düşük toksisite gibi özellikleri ile biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Husain et al., 2017). Pozitif yüklü yapısı sayesinde oral ortamda mikroorganizmalarla elektrostatik etkileşime girebilmesi, kitosana belirgin bir antibakteriyel ve antibiyofilm etki kazandırmaktadır (Costa et al., 2014).

Güncel çalışmalar, kitosanın yalnızca antimikrobiyal bir ajan olarak değil; aynı zamanda mine ve dentin dokusunda demineralizasyonu azaltabilen ve remineralizasyon süreçlerini destekleyebilen fonksiyonel bir biyomateryal olduğunu ortaya koymaktadır (Arnaud et al., 2010a). Bunun yanı sıra, farklı molekül ağırlıkları ve formülasyonları sayesinde kitosan; jel, solüsyon, film ve nanopartikül formunda hazırlanabilmekte ve bu durum klinik kullanım alanlarını genişletmektedir (Kong et al., 2010).

Diş hekimliğinde kitosan temelli yaklaşımlar; restoratif diş tedavisi, endodonti, periodontoloji, protetik diş tedavisi ve rejeneratif uygulamalar gibi pek çok alanda umut vadeden sonuçlar ortaya koymaktadır (Shrestha & Kishen, 2016). Ancak bu geniş kullanım potansiyeline rağmen, kitosanın klinik protokollerde standart hale gelebilmesi için mevcut literatürün bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu kitap bölümünün amacı, kitosanın diş hekimliğindeki kullanımını temel bilimsel özelliklerinden klinik uygulamalarına kadar kapsamlı bir şekilde ele almak ve güncel, erişilebilir literatür ışığında mevcut kanıtları değerlendirmektir. Böylece bu bölümün, kitosan temelli uygulamalarla ilgilenen klinisyenler ve araştırmacılar için güncel ve güvenilir bir başvuru kaynağı olması hedeflenmektedir.

### 1. Kitosanın Tanımı ve Kaynağı

Kitosan, doğal kökenli bir biyopolimer olup, kimyasal olarak  $\beta$ -(1→4) glikozidik bağlarla bağlı D-glukozamin ve N-asetil-D-glukozamin birimlerinden oluşan doğrusal bir polisakkarit olarak tanımlanmaktadır (Aranaz et al., 2021). Kitosan tek tip bir polimerden ziyade; deasetilasyon derecesi, molekül ağırlığı ve monomer dağılımı gibi parametrelere bağlı olarak fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri değişkenlik gösteren bir polimer ailesi olarak değerlendirilmektedir (Aranaz et al., 2021; Pellis et al., 2022). Bu yapısal değişkenlik, kitosanın biyomedikal ve diş hekimliği uygulamalarındaki performansını doğrudan etkilemektedir.

Kitosan, doğada yaygın olarak bulunan kitinin kısmi deasetilasyonu sonucu elde edilmektedir (Pellis et al., 2022). Kitin; özellikle kabuklu deniz canlılarının (karides, yengeç, ıstakoz) dış iskeletinde, böceklerin kutikulasında ve mantarların hücre duvarında bulunan yapısal bir polisakkarittir (Izadi et al., 2025). Endüstriyel ölçekte kitosan üretimi için en yaygın hammadde deniz kabukluları olmakla birlikte, son yıllarda fungal (mantar) kaynaklı kitin ve kitosan üretimi de alternatif bir yaklaşım olarak önem kazanmıştır (Huq et al., 2022; Izadi et al., 2025; Pellis et al., 2022).

Kabuklu deniz canlılarından elde edilen kitin genellikle demineralizasyon ve deproteinizasyon basamaklarını içeren çok aşamalı bir işleme ihtiyaç duymaktadır (Pellis et al., 2022). Buna karşılık, mantar kökenli kitin/kitosan üretiminde ham maddenin yıl boyunca temin edilebilmesi, bazı safsızlıkların daha düşük düzeyde olması ve alerjen risklerinin daha kontrollü yönetilebilmesi gibi avantajlar bildirilmektedir (Huq et al., 2022). Bu özellikler, özellikle biyomedikal ve dental uygulamalar için standartlaştırılmış ve yüksek saflıkta kitosan üretimi açısından önem taşımaktadır.

Kitosanın üretiminde en yaygın yöntem, kitinin asetil gruplarının alkali koşullarda kimyasal deasetilasyonu olmakla birlikte; son yıllarda daha kontrollü zincir yapısı elde etmek amacıyla enzimatik deasetilasyon yöntemleri de araştırılmaktadır (Iqbal et al., 2024; Pellis et al., 2022). Deasetilasyon süreci sonucunda kitosan zincirinde açığa çıkan primer amino grupları, polimere fizyolojik pH koşullarında pozitif yük kazandırmakta ve bu durum çözünürlük, biyolojik etkileşimler ve antimikrobiyal aktivite gibi temel özelliklerin belirlenmesinde kilit rol oynamaktadır (Aranaz et al., 2021; Iqbal et al., 2024). Bu yapısal özellikler, kitosanın dış hekimliğinde biyofilm kontrolü, remineralizasyon ve ilaç taşıma sistemleri gibi uygulamalarda neden yoğun olarak araştırıldığını açıklamaktadır.

## 2. Kitosanın Kimyasal Yapısı ve Fizikokimyasal Özellikleri

Kitosanın kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri, bu biyopolimerin dış hekimliği uygulamalarındaki performansını belirleyen en temel unsurlar arasında yer almaktadır. Kitosan, yapısal olarak  $\beta$ -(1→4) glikozidik bağlarla bağlı D-glukozamin ve N-asetil-D-glukozamin birimlerinden oluşan doğrusal bir polisakkarittir (Aranaz et al., 2021). Bu yapının en ayırt edici özelliği, zincir boyunca yer alan primer amino gruplarıdır, ki bu gruplar kitosana fizyolojik koşullarda katyonik karakter kazandırmaktadır (Rinaudo, 2006a).

Kitosanın biyolojik ve fizikokimyasal davranışı büyük ölçüde deasetilasyon derecesi ile ilişkilidir<sup>15,16</sup>. Deasetilasyon derecesi, kitosan zincirindeki asetil gruplarının uzaklaştırılma oranını ifade etmekte olup, genellikle %50–95 aralığında değişmektedir (Pellis et al., 2022). Yüksek deasetilasyon derecesine sahip kitosanlar, daha fazla serbest amino grubu içerdiğinden asidik ortamlarda daha iyi çözünürlük, artmış pozitif yük yoğunluğu ve daha belirgin antibakteriyel aktivite göstermektedir (Qian et al., 2023; Verlee et al., 2017). Bu özellikler, kitosanın oral biyofilm kontrolü ve antimikrobiyal uygulamalardaki etkinliğinin temelini oluşturmaktadır.

Molekül ağırlığı, kitosanın viskozite, mekanik dayanım ve biyolojik etkileşimlerini belirleyen bir diğer kritik parametredir (Rinaudo, 2006a). Literatürde kitosanlar genel olarak düşük, orta ve yüksek molekül ağırlıklı olarak sınıflandırılmaktadır (Qian et al., 2023). Düşük molekül ağırlıklı kitosanların biyolojik membranlardan daha kolay difüze olabildiği ve antibakteriyel etkinliklerinin daha belirgin olabileceği bildirilirken; yüksek molekül ağırlıklı kitosanların ise jel oluşturma kapasitesi ve mekanik stabilitesinin daha yüksek olduğu belirtilmektedir

(Ahmed & Ikram, 2016; Verlee et al., 2017). Bu durum, kitosanın jel, film veya hidrojel formülasyonlarında kullanımını doğrudan etkilemektedir.

Kitosanın çözünürlük özellikleri, büyük ölçüde pH ortamına bağlıdır. Serbest amino gruplarının protonlanması nedeniyle kitosan, genellikle asidik pH koşullarında ( $\text{pH} < 6.5$ ) suda çözünürlük göstermekte; nötr ve alkali ortamlarda ise çözünürlüğü azalmaktadır (Berger et al., 2004a). Bu pH-duyarlı davranış, kitosanın oral ortamda farklı formülasyonlarla kullanılmasını gerektirmekte ve modifiye kitosan türevlerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir.

Kitosanın viskozite ve reolojik özellikleri, molekül ağırlığı, deasetilasyon derecesi ve konsantrasyon gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Qian et al., 2023). Yüksek viskoziteli kitosan solüsyonları, oral dokular üzerinde daha uzun süre kalabilme potansiyeline sahip olup; bu özellik, kitosanın ağız gargaraları, yapay tükürük formülasyonları ve lokal uygulama jellerinde tercih edilmesini sağlamaktadır (Ahmed & Ikram, 2016). Ayrıca viskoelastik davranışı sayesinde kitosan, mukozal yüzeylerde koruyucu bir bariyer oluşturabilmektedir.

Bu kimyasal ve fizikokimyasal özelliklerin tümü birlikte değerlendirildiğinde, kitosanın diş hekimliği uygulamalarında formülasyona özgü olarak optimize edilmesi gereken bir biyopolimer olduğu anlaşılmaktadır. Deasetilasyon derecesi ve molekül ağırlığının kontrollü şekilde ayarlanması, kitosanın restoratif, koruyucu ve rejeneratif uygulamalardaki etkinliğini artıracak temel stratejiler arasında yer almaktadır (Verlee et al., 2017).

### **3. Kitosanın Biyolojik Özellikleri**

Kitosanın diş hekimliği alanında yoğun şekilde araştırılmasının temel nedenlerinden biri, sahip olduğu çok yönlü biyolojik özelliklerdir. Bu özellikler; kitosanın doğal kökenli yapısı, katyonik karakteri ve biyolojik dokularla etkileşime girebilme kapasitesi ile yakından ilişkilidir (Muzzarelli, 1996). Özellikle biyouyumluluk, antibakteriyel aktivite ve doku iyileşmesini destekleyici etkiler, kitosanın dental uygulamalardaki klinik potansiyelini belirleyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Kitosanın diş hekimliğindeki değerini artıran önemli bir nokta, bu biyolojik etkilerin tek bir mekanizma ile değil, materyalin kimyasal yapısı ve ortam koşullarına bağlı olarak birden fazla yol üzerinden ortaya çıkabilmesidir (Muzzarelli, 1996). Bu nedenle kitosan temelli yaklaşımlarda, elde edilen etkinliğin değerlendirilmesi kadar, bu etkinliği belirleyen parametrelerin (ör. kitosan formu, konsantrasyon, temas süresi) doğru tanımlanması da kritik önemdedir (Aranaz et al., 2021).

#### **3.1. Biyouyumluluk**

Kitosan, canlı dokularla uyumlu yapısı sayesinde biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan biyopolimerler arasında yer almaktadır (Muzzarelli, 1996). *In vitro* ve *in vivo* çalışmalar, kitosanın farklı hücre tipleri (fibroblastlar, osteoblastlar ve dental pulpa hücreleri) üzerinde düşük sitotoksikite gösterdiğini ortaya koymuştur (Jayakumar et al., 2010). Biyobozunur bir materyal olması nedeniyle kitosan, vücutta enzimatik yollarla parçalanarak toksik olmayan ürünlere dönüşmekte ve bu özelliği sayesinde uzun süreli doku irritasyonu oluşturmamaktadır (Kumar, 2000).

Diş hekimliği açısından bakıldığında, biyouyumlu materyallerin kullanımı; özellikle rejeneratif endodonti, periodontal doku iyileşmesi ve lokal ilaç taşıma sistemleri için büyük

önem taşımaktadır (Jayakumar et al., 2010). Bu bağlamda kitosan, doku ile uyumlu bir taşıyıcı veya destek materyali olarak dikkat çekmektedir. Bunun yanında, kitosanın biyouyumluluğu tek başına yeterli bir kriter değildir; dental uygulamalarda materyalin tükürük, oral biyofilm ve farklı pH koşullarıyla temas ettiğinde davranışı önem kazanır. Kitosanın bu ortam koşullarında biyolojik olarak tolere edilebilir kalması, onu uzun süreli temas gerektiren jel/film gibi formlarda aday materyal haline getirmektedir (Muzzarelli, 1996). Kitosanın biyobozunur yapısı, özellikle kontrollü salım sistemlerinde “taşıyıcı matriks” rolü üstlenmesini ve görevini tamamladıktan sonra ortamdaki uzaklaşmasını kolaylaştırır (Kumar, 2000).

### **3.2. Antibakteriyel ve Antibiyofilm Etki**

Kitosanın en dikkat çekici biyolojik özelliklerinden biri, geniş spektrumlu antibakteriyel aktivitesidir (Kong et al., 2010). Bu etkinin temel mekanizması, kitosanın pozitif yüklü amino grupları ile bakteriyel hücre duvarının negatif yüklü bileşenleri arasındaki elektrostatik etkileşimlere dayanmaktadır (Muzzarelli, 1996). Bu etkileşimler sonucunda hücre membranının bütünlüğü bozulmakta, hücre içi içeriklerin sızması ve metabolik aktivitelerin inhibisyonu meydana gelmektedir (Kong et al., 2010). Bunun yanında, kitosanın bazı koşullarda hücre yüzeyine bağlanarak besin taşınımını sınırlandırabildiği, hücre duvarı geçirgenliğini bozabildiği ve biyofilm matriksi ile etkileşime girerek mikroorganizma tutunmasını azaltabildiği bildirilmiştir (Kong et al., 2010).

Ağız ortamında kitosanın, Streptococcus mutans, Lactobacillus ve Enterococcus faecalis gibi diş çürüğü ve endodontik enfeksiyonlarla ilişkili mikroorganizmalar üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Shrestha & Kishen, 2016). Ayrıca kitosanın yalnızca planktonik bakteriler üzerinde değil, aynı zamanda oral biyofilm oluşumunu baskılayıcı etki gösterdiği de vurgulanmaktadır<sup>26</sup>. Bu özellik, kitosanı ağız bakım ürünleri, kök kanal irrigasyon solüsyonları ve restoratif materyallerle kombine uygulamalar açısından değerli kılmaktadır.

Biyofilm bağlamında dikkat edilmesi gereken temel nokta, oral biyofilmin çok katmanlı yapısının ve ekstrasellüler polimerik matriksin, antimikrobiyal ajanlara karşı doğal bir bariyer oluşturmasıdır (Pasquantonio et al., 2008). Kitosanın biyofilm üzerinde etkili olabilmesi, özellikle matriks bileşenleriyle etkileşimi ve yüzey yükü aracılığıyla bakteri adezyonunu azaltabilmesi ile ilişkilendirilmektedir (Kong et al., 2010). Bu nedenle kitosan, “tek başına bakterisidal” olmaktan ziyade, klinikte biyofilm kontrolünü destekleyen bir yaklaşım olarak konumlandırılabilir. Restoratif materyallerde kitosan kullanımını gündeme geldiğinde ise hedef, materyalin mekanik performansını korurken restorasyon kenarında bakteriyel kolonizasyonu azaltmak ve dolaylı olarak sekonder çürük riskini düşürmektir (Costa et al., 2014).

### **3.3. Antiinflamatuar ve Yara İyileşmesini Destekleyici Etkiler**

Kitosanın biyolojik etkileri antibakteriyel aktivite ile sınırlı değildir. Literatürde, kitosanın inflamatuvar yanıtı modüle edebildiği ve doku iyileşme süreçlerini destekleyebildiği gösterilmiştir (Ueno et al., 2001). Kitosanın makrofaj aktivitesini düzenleyerek proinflamatuvar sitokinlerin salınımını azaltabildiği, buna karşılık doku rejenerasyonunu destekleyen büyüme faktörlerinin salınımını artırabildiği bildirilmektedir. Bu immünomodülatör etki, oral dokularda görülen yara iyileşmesi sürecinin daha düzenli ilerlemesine katkı sağlayabilecek bir mekanizma olarak değerlendirilmektedir.

Bu özellikler, kitosanın cerrahi sonrası yara iyileşmesi, periodontal doku rejenerasyonu ve mukozal lezyonların tedavisi gibi alanlarda potansiyel kullanımını desteklemektedir (Kumar, 2000). Ayrıca kitosan bazlı biyomateryallerin, yara bölgesinde nemli bir ortam oluşturarak epitelizasyon sürecini hızlandırdığı da belirtilmektedir (Ahmed & Ikram, 2016). Klinik açıdan bakıldığında, ağız içi yaralar ve cerrahi alanlar; sürekli tükürük akışı, mekanik travma ve mikrobiyal yük nedeniyle “zor iyileşen” alanlar olarak değerlendirilebilir. Kitosanın yüzeye tutunabilen ve bariyer benzeri bir tabaka oluşturabilen yapısı, bu bölgelerde hem koruyucu hem de iyileşmeyi destekleyici bir ortam sağlayabilir. Dolayısıyla kitosanın yara iyileşmesi üzerindeki etkisi, antibakteriyel etkisiyle birlikte düşünüldüğünde, cerrahi ve periodontoloji uygulamalarında çift yönlü (enfeksiyon kontrolü + doku onarımı) bir avantaj sunma potansiyeline sahiptir (Ueno et al., 2001).

### **3.4. Antioksidan Özellikler**

Son yıllarda yapılan çalışmalar, kitosanın serbest radikallere karşı antioksidan özelliklere de sahip olduğunu ortaya koymuştur (Park et al., 2004). Bu özellik, özellikle oksidatif stresin rol oynadığı inflamatuvar ağız hastalıkları ve beyazlatma sonrası oluşabilecek mine ve dentin hassasiyeti gibi durumlar açısından önem taşımaktadır. Antioksidan aktivitenin derecesinin, kitosanın deasetilasyon derecesi ve molekül ağırlığına bağlı olarak değişebildiği bildirilmektedir (Ngo & Kim, 2014).

Oksidatif stres, oral dokularda inflamasyonun sürdürülmesinde ve doku hasarının derinleşmesinde katkı sağlayabilen bir faktör olarak değerlendirildiğinden, antioksidan kapasitesi olan biyomateryallerin destekleyici rolü önem kazanmaktadır (Ngo & Kim, 2014). Kitosanın serbest radikal süpürücü etkisi, özellikle kitosan bazlı jel/film formülasyonlarıyla mukozal yüzeylerde lokal bir destek sağlama potansiyeli açısından dikkat çekicidir (Park et al., 2004). Ayrıca antioksidan etki, antibakteriyel etkiyle birlikte ele alındığında, oral ortamda biyofilm kaynaklı inflamatuvar yükün azaltılmasına teorik olarak katkıda bulunabilecek bir mekanizma olarak yorumlanabilir (Ngo & Kim, 2014). Bununla birlikte, antioksidan etkinliğin klinik sonuçları noktalarına (ağrı/hassasiyet, mukozal iyileşme süresi, inflamasyon belirteçleri vb.) ne ölçüde yansıdığı konusu, daha fazla standardize çalışmaya ihtiyaç duyulan alanlar arasında yer almaktadır (Park et al., 2004).

## **4. Diş Hekimliğinde Kitosan Uygulamaları**

### **4.1. Restoratif Diş Tedavisi Alanında Kitosan**

Restoratif diş tedavisinde kullanılan materyallerden beklenen temel özellikler arasında biyouyumluluk, uzun dönem stabilite, sekonder çürük oluşumunun önlenmesi ve doğal diş dokusunun korunması yer almaktadır (Ferracane, 2001). Güncel yaklaşımlar, restoratif materyallerin yalnızca kayıp dokuyu yerine koymasını değil; aynı zamanda biyolojik olarak aktif, çevre dokularla etkileşime girebilen ve çürük oluşumunu baskılayıcı özellikler göstermesini de hedeflemektedir (Van Meerbeek et al., 2003). Bu bağlamda kitosan, hem biyolojik özellikleri hem de farklı materyal sistemlerine entegre edilebilme potansiyeli sayesinde restoratif diş hekimliği alanında çok yönlü bir biyomateryal olarak dikkat çekmektedir.

Kitosanın restoratif uygulamalardaki önemi, yalnızca tek bir etki mekanizmasına dayanmamakta; remineralizasyonu destekleyici, antibakteriyel ve yüzey etkileşimlerini düzenleyici özelliklerin bir arada bulunmasıyla ortaya çıkmaktadır (Ferracane, 2001). Bu çok

yönlü etki, kitosanın klasik restoratif materyallere biyolojik bir boyut kazandırabilmesi açısından önemlidir.

#### **4.1.1. Remineralizasyon**

Kitosanın restoratif diş tedavisindeki en önemli kullanım alanlarından biri, mine ve dentin dokusunda demineralizasyonun azaltılması ve remineralizasyonun desteklenmesidir<sup>33</sup>. Kitosanın katyonik yapısı sayesinde negatif yüklü hidroksiapatit kristalleri ile elektrostatik etkileşime girebildiği ve bu etkileşimin kalsiyum ve fosfat iyonlarının diş yüzeyine tutunmasını kolaylaştırdığı bildirilmiştir (Arnaud et al., 2010b) . Bu özellik, özellikle başlangıç mine lezyonlarının ve subklinik demineralizasyon alanlarının yönetiminde kitosanı potansiyel bir destek ajan haline getirmektedir (Ruan et al., 2013).

İn vitro çalışmalar, kitosan içeren solüsyonların ve jellerin asidik ortamda mineral kaybını azalttığını ve yüzey mikrosertliğini artırabildiğini göstermiştir. Bu etkinin, kitosanın yüzeyde oluşturduğu yarı geçirgen film tabakası ile asit difüzyonunu sınırlandırması ve mineral iyonlarının yüzeyde daha uzun süre tutulmasını sağlamasıyla ilişkili olabileceği öne sürülmektedir (Arnaud et al., 2010b) . Ayrıca kitosanın kalsiyum ve fosfat iyonları ile kombine edildiğinde remineralizasyon etkinliğinin daha da arttığı bildirilmektedir (Simeonov et al., 2019). Bu kombinasyonlar, kitosanın florür bazlı ajanlara alternatiften ziyade tamamlayıcı bir remineralizasyon stratejisi olarak değerlendirilmesinin daha uygun olabileceğini düşündürmektedir.

Klinik açıdan bakıldığında, remineralizasyonu destekleyen bu özellikler; minimal invaziv diş hekimliği yaklaşımları, erken lezyonların non-invaziv yönetimi ve restorasyon öncesi yüzey hazırlığı gibi alanlarda kitosanın kullanım potansiyelini artırmaktadır (Van Meerbeek et al., 2003).

#### **4.1.2. Beyazlatma Sonrası Mine ve Dentin Üzerine Etkileri**

Diş beyazlatma işlemleri sonrası mine yüzeyinde mineral kaybı, yüzey pürüzlülüğünde artış ve mikroyapısal değişiklikler oluşabildiği bilinmektedir (Joiner, 2006). Bu değişiklikler, özellikle hassasiyet gelişimi ve uzun dönemde yüzey bütünlüğünün bozulması açısından klinik sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle beyazlatma sonrası remineralizasyonu destekleyen ajanların kullanımı klinik açıdan önem taşımaktadır.

Kitosanın, beyazlatma sonrası uygulandığında mine yüzeyindeki mikrosertlik kaybını azalttığı ve yüzey bütünlüğünü kısmen restore edebildiği bildirilmiştir (Pini et al., 2016). Bu etkinin, kitosanın yüzeyde oluşturduğu koruyucu film tabakası ve mineral iyonlarıyla etkileşimi sayesinde ortaya çıktığı düşünülmektedir. Ayrıca kitosan bazlı jellerin beyazlatma sonrası diş yüzeyine uygulanmasının, kalsiyum-fosfat dengesini destekleyerek dentin tübüllerinin açık kalma süresini azaltabileceği ve böylece hassasiyetin azalmasına katkı sağlayabileceği öne sürülmektedir (da Costa Soares et al., 2013).

Bu yönüyle kitosan, beyazlatma protokollerine dahil edilebilecek biyolojik olarak aktif bir destek ajan olarak değerlendirilmektedir. Ancak beyazlatma ajanlarıyla eş zamanlı veya ardışık kullanımda en uygun uygulama süresi ve konsantrasyonun belirlenmesi, klinik çalışmalarla netleştirilmesi gereken konular arasında yer almaktadır (da Costa Soares et al., 2013).

#### **4.1.3. Adeziv Sistemler ve Kompozit Rezinlerle Etkileşim**

Restoratif diş tedavisinde kitosanın bir diğer potansiyel kullanım alanı, adeziv sistemler ve kompozit rezinlerle olan etkileşimidir . Kitosanın dentin yüzeyine bağlanabilmesi ve kollajen fibrillerle etkileşime girebilmesi, hibrit tabakanın stabilitesini artıracak bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Özellikle kitosanın kollajen matriksi stabilize edici etkisi, bağlanma arayüzünde hidrolitik ve enzimatik degradasyonun sınırlandırılmasına katkı sağlayabilir (Perdigão, 2010).

Bazı çalışmalar, kitosan ile modifiye edilmiş adeziv sistemlerin bağlanma dayanımını olumsuz etkilemediğini, hatta uzun dönem stabilite açısından avantaj sağlayabileceğini bildirmiştir. Bu durum, kitosanın adeziv arayüzde yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda yapısal bir destek rolü üstlenebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, adeziv sistemlere kitosan eklenmesinin viskozite, penetrasyon derinliği ve polimerizasyon kinetiği üzerindeki etkilerinin dikkatle değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Mohammadipour et al., 2025).

Ayrıca kitosanın antibakteriyel özellikleri sayesinde restorasyon kenarlarında sekonder çürük riskini azaltma potansiyeli bulunduğu da vurgulanmaktadır (Imazato, 2003). Bu etki, özellikle marjinal sızıntının tam olarak önlenemediği klinik durumlarda biyolojik bir avantaj sağlayabilir.

#### **4.1.4. Antibakteriyel Etkili Restoratif Yaklaşımlar**

Kitosanın restoratif materyallere eklenmesi, restorasyon çevresinde bakteriyel kolonizasyonu azaltmaya yönelik yenilikçi yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Imazato, 2003). Kitosan içeren kompozit rezinler ve ara yüzey materyalleri ile yapılan in vitro çalışmalar, Streptococcus mutans adezyonunun anlamlı düzeyde azaldığını göstermiştir (Deng et al., 2020). Bu durum, restoratif materyallerin yalnızca mekanik değil, aynı zamanda biyolojik performansının da artırılabilmesine işaret etmektedir.

Antibakteriyel etkili restoratif yaklaşımlarda temel hedef, materyalin fiziksel ve estetik özelliklerini korurken, restorasyon kenarında oluşabilecek mikrobiyal kolonizasyonu sınırlamaktır. Kitosanın bu amaçla kullanımı, bakteriyel adezyonu azaltıcı yüzey özellikleri ve biyofilm oluşumunu baskılayıcı etkisi sayesinde önem kazanmaktadır (Deng et al., 2020). Bununla birlikte, antibakteriyel etkinliğin uzun dönem stabilitesi ve klinik koşullarda sürdürülebilirliği, değerlendirilmesi gereken kritik noktalar arasında yer almaktadır.

Genel olarak restoratif diş hekimliği bağlamında kitosan; remineralizasyonu destekleyen, antibakteriyel özellik kazandıran ve materyal-diş arayüzünde biyolojik etkileşimleri düzenleyebilen bir ajan olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu çok yönlü etkinin klinik başarıya yansiyabilmesi için, kitosanın restoratif materyallerde optimum konsantrasyon, uygun formülasyon ve doğru klinik endikasyonlar ile kullanılması gerekmektedir (Ferracane, 2001).

#### **4.1.5. Cam İyonomer Simanlara Kitosan Eklenmesi**

Cam iyonomer simanlar, diş dokularına kimyasal bağlanabilme yetenekleri, florür salımı ve biyouyumlulukları nedeniyle restoratif diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan materyaller arasında yer almaktadır (Nicholson, 2010). Bununla birlikte, konvansiyonel cam iyonomer

simanların düşük mekanik dayanım, aşınma direnci ve kırılma yapı gibi sınırlılıkları, bu materyallerin modifikasyonuna yönelik araştırmaları gündeme getirmiştir (Sidhu & Nicholson, 2016).

Bu bağlamda kitosan, cam iyonomer simanların biyolojik ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla araştırılan doğal biyopolimerlerden biridir (Ibrahim et al., 2015). Kitosanın, cam iyonomer simanların sıvı fazına belirli oranlarda eklenmesiyle; simanın poliasit matriksi ile etkileşime girebildiği ve bu etkileşimin materyalin mikroyapısal organizasyonunu olumlu yönde etkileyebileceği bildirilmiştir (Kim et al., 2017). Özellikle kitosanın katyonik yapısının, cam iyonomer matrisinde iyonik çapraz bağlanmayı destekleyebileceği öne sürülmektedir.

Yapılan in vitro çalışmalar, kitosan ilavesinin cam iyonomer simanların basma dayanımı, eğilme dayanımı ve aşınma direnci üzerinde olumlu etkiler gösterebildiğini ortaya koymuştur (Elshenawy et al., 2023). Bununla birlikte, kitosan eklenmiş cam iyonomer simanların florür salım özelliklerinin korunduğu, hatta bazı çalışmalarda florür salımının arttığı bildirilmiştir (Nishanthine et al., 2022). Bu durum, kitosan modifikasyonunun cam iyonomerlerin antikaryojenik potansiyelini destekleyebileceğini düşündürmektedir.

Kitosan eklenmiş cam iyonomer simanların bir diğer önemli avantajı, antibakteriyel etkinliğin artmasıdır. Literatürde, kitosan katkılı cam iyonomer simanların *S. mutans* başta olmak üzere çürükle ilişkili bakterilere karşı daha belirgin antibakteriyel etki gösterdiği rapor edilmiştir (Debnath et al., 2017). Bu özellik, restorasyon kenarlarında bakteriyel sızıntının ve sekonder çürük oluşumunun azaltılması açısından klinik olarak önem taşımaktadır. Son yıllarda yapılan bir çalışmada, florür yüklü kitosan nanopartiküller ile modifiye edilmiş cam iyonomer simanların, sekonder çürük gelişimini anlamlı düzeyde azalttığı ve antibakteriyel etkinliği artırdığı bildirilmiştir (Altınışık et al., 2024). Bu çalışmada, kitosan nanopartikül ilavesinin cam iyonomer simanın temel biyolojik özelliklerini korurken antikaryojenik potansiyelini güçlendirdiği vurgulanmıştır.

Bununla birlikte, kitosan eklenmesinin cam iyonomer simanların sertleşme süresi, çözünürlük ve renk stabilitesi üzerindeki etkilerinin kullanılan kitosan konsantrasyonuna ve molekül ağırlığına bağlı olarak değişebileceği belirtilmektedir. Bu nedenle, klinik uygulamaya yönelik kitosan katkılı cam iyonomer simanların geliştirilmesinde optimum konsantrasyonun belirlenmesi ve uzun dönem klinik verilerin elde edilmesi büyük önem taşımaktadır.

#### **4.2. Endodontide Kitosan**

Endodontik tedavinin temel amacı, kök kanal sisteminin mikroorganizmalardan arındırılması ve yeniden kontaminasyonun önlenmesidir (Schilder, 1974). Bununla birlikte, kök kanal anatomisinin karmaşık yapısı, lateral kanallar, apikal dallanmalar ve düzensiz dentin tübülleri; mikroorganizmaların kök kanal sistemi içerisinde korunmasına ve geleneksel mekanik preparasyonun tek başına yeterli olmamasına neden olmaktadır (Zehnder, 2006). Bu nedenle endodontide kullanılan irrigasyon solüsyonları ve yardımcı ajanların yalnızca antibakteriyel değil; aynı zamanda biyoyumlu, dentin dokusunu koruyucu ve bağlanma yüzeyini olumsuz etkilemeyen özelliklere sahip olması büyük önem taşımaktadır.

Bu bağlamda kitosan, antibakteriyel etkinliği ve dentin dokusu ile olan biyolojik etkileşimi sayesinde endodontide alternatif veya tamamlayıcı bir ajan olarak dikkat çekmektedir (Kishen et al., 2008).

#### **4.2.1. Antibakteriyel Etki ve *Enterococcus faecalis* Üzerine Etkiler**

Endodontik enfeksiyonların ısrarcı olmasında en sık ilişkilendirilen mikroorganizmalardan biri *Enterococcus faecalis*'tir (Stuart et al., 2006). Bu bakterinin yüksek pH toleransı, dentin tübüllerine derinlemesine penetre olabilme yeteneği, düşük besin koşullarında canlı kalabilmesi ve biyofilm oluşturma kapasitesi, geleneksel irrigasyon protokollerine karşı direnç göstermesine neden olmaktadır (Love, 2001). Bu özellikler, *E. faecalis*'in özellikle başarısız kök kanal tedavilerinde sıklıkla izole edilmesini açıklamaktadır.

Kitosanın katyonik yapısı sayesinde *E. faecalis* dahil olmak üzere Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteriler üzerinde belirgin antibakteriyel etki gösterdiği bildirilmektedir (Kishen et al., 2008). Bu etki, bakteriyel hücre duvarı ile kitosan arasındaki elektrostatik etkileşim sonucu hücre membran bütünlüğünün bozulması ve hücre metabolizmasının inhibe edilmesi ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca kitosanın biyofilm matriksi ile etkileşime girerek bakteri adezyonunu ve biyofilm stabilitesini zayıflatabildiği de vurgulanmaktadır (Shrestha & Kishen, 2016).

Çeşitli *in vitro* çalışmalar, kitosan solüsyonlarının ve özellikle nanokitosan formlarının, *E. faecalis* biyofilmini anlamlı düzeyde azalttığını ortaya koymuştur (Shrestha & Kishen, 2016). Nanopartikül boyutuna indirgenmiş kitosanın, dentin tübülleri içerisine daha derin penetre olabildiği ve bu sayede antibakteriyel etkinliğinin arttığı bildirilmektedir (Supotngarmkul et al., 2020). Bu özellik, kitosanı özellikle dentin tübülleri içinde yerleşmiş mikroorganizmaların hedeflenmesi açısından umut verici bir ajan haline getirmektedir.

#### **4.2.2. Kök Kanal İrrigasyonunda Kitosan Kullanımı**

Endodontide en yaygın kullanılan irrigasyon solüsyonları arasında sodyum hipoklorit (NaOCl), etilendiamintetraasetik asit (EDTA) ve klorheksidin (CHX) yer almaktadır. Bu irrigantlar etkili olmakla birlikte; sitotoksikite, dentin organik yapısında bozulma ve periapikal dokular üzerinde istenmeyen etkiler gibi potansiyel dezavantajlara sahiptir (Haapasalo et al., 2014). Bu nedenle, özellikle son yıllarda daha biyouyumlu irrigasyon ajanlarının araştırılması gündeme gelmiştir.

Kitosan, şelatlayıcı özelliği sayesinde smear tabakasının uzaklaştırılmasında EDTA'ya alternatif bir ajan olarak değerlendirilmektedir<sup>61</sup>. Yapılan çalışmalar, kitosan solüsyonlarının smear tabakasını etkin şekilde uzaklaştırabildiğini ve dentin yüzeyinde aşırı demineralizasyona neden olmadığını göstermiştir (Alamoudi, 2019). Bu durum, dentin yüzeyinin aşırı yumuşamasını önleyerek kök kanal duvarlarının mekanik bütünlüğünün korunmasına katkı sağlayabilir.

Ayrıca kitosanın daha kontrollü ve yumuşak bir şelasyon etkisi göstermesi, kollajen matriksin korunması açısından klinik olarak önemlidir<sup>62</sup>. Bu özellik, özellikle rezin bazlı kanal dolgu sistemleri ile yapılacak restorasyonlarda bağlanma yüzeyinin daha stabil kalmasına katkı sağlayabilir. Dolayısıyla kitosan, kök kanal irrigasyon protokollerinde tek başına bir irriganttan ziyade, kombine veya tamamlayıcı bir ajan olarak değerlendirilmesi gereken biyomateryaller arasında yer almaktadır (Sarkees & Al-Maarrawi, 2020).

#### **4.2.3. Dentin Yapısı ve Bağlanma Dayanımı Üzerine Etkileri**

Kitosanın endodontik irrigasyon sonrası dentin yüzeyinde oluşturduğu etkiler, kök kanal dolgu materyallerinin bağlanma dayanımı açısından da önem taşımaktadır (Kishen et al., 2016). Literatürde, kitosan uygulanmış dentin yüzeylerinin rezin bazlı kanal dolgu sistemleri ile uyumlu olduğu ve bağlanma dayanımını olumsuz etkilemediği bildirilmiştir (Ratih et al., 2020). Bu durum, kitosanın dentin yüzeyinde aşırı demineralizasyona yol açmadan yüzey özelliklerini düzenleyebilmesi ile ilişkilendirilmektedir.

Ayrıca kitosanın kollajen fibrilleri stabilize edici etkisinin, dentin matriksinin enzimatik degradasyona karşı daha dirençli hale gelmesine katkı sağlayabileceği öne sürülmektedir (Kishen et al., 2016). Bu özellik, kök kanal dolgu materyali–dentin arayüzünde uzun dönem stabilitenin sağlanması açısından önemlidir. Klinik olarak bakıldığında, bu etki mikro sızıntının azaltılması ve tedavi başarısının uzun dönem korunması açısından dolaylı bir avantaj sunabilir.

#### **4.2.4. Rejeneratif Endodonti ve İlaç Taşıyıcı Sistemler**

Son yıllarda kitosan, rejeneratif endodonti alanında da dikkat çeken bir biyomateryal haline gelmiştir. Kitosan bazlı hidrojeller ve iskele (scaffold) yapılar, hücre adezyonunu ve proliferasyonunu destekleyerek pulpa-dentin kompleksinin rejenerasyonuna katkı sağlayabilmektedir (Albuquerque et al., 2014). Bu materyaller, hücreler için üç boyutlu bir mikroçevre sağlayarak doku onarımını destekleyen bir platform görevi görebilir.

Bunun yanı sıra kitosanın kontrollü ilaç salımına olanak tanıyan yapısı, antibakteriyel ajanların, büyüme faktörlerinin veya biyolojik sinyal moleküllerinin kök kanal sisteminde uzun süreli ve kontrollü şekilde salınmasına imkan tanımaktadır (Bernkop-Schnürch & Dünnhaupt, 2012). Bu özellik, rejeneratif endodontik yaklaşımlarda enfeksiyon kontrolü ile doku rejenerasyonunun aynı anda hedeflenebilmesine olanak sağlaması açısından önemlidir.

Ancak rejeneratif endodontide kitosan temelli sistemlerin klinik rutine girebilmesi için, materyalin uzun dönem biyouyumluluğu, bozunma hızı ve biyolojik etkinliğinin daha geniş klinik çalışmalarla değerlendirilmesi gerekmektedir (Bernkop-Schnürch & Dünnhaupt, 2012).

### **4.3. Periodontoloji ve Cerrahide Kitosan**

Periodontal ve cerrahi uygulamalarda kullanılan biyomateryallerden beklenen temel özellikler arasında biyouyumluluk, antibakteriyel etki, yara iyileşmesini destekleme ve rejeneratif potansiyel yer almaktadır (Bartold & Van Dyke, 2013). Ağız içi ortamın yoğun mikrobiyal yükü, mekanik stres ve sürekli tükürük akışı gibi faktörler göz önüne alındığında, bu alanlarda kullanılan materyallerin biyolojik performansı klinik başarının belirleyici unsurlarından biri haline gelmektedir (Socransky & Haffajee, 2002). Bu bağlamda kitosan, sahip olduğu antibakteriyel, antiinflamatuvar ve doku iyileşmesini destekleyici özellikleri sayesinde periodontoloji ve cerrahi alanlarında dikkat çeken doğal biyopolimerlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Kitosanın bu alanlardaki potansiyeli, yalnızca enfeksiyon kontrolü ile sınırlı olmayıp; aynı zamanda doku onarım süreçlerinin düzenlenmesine katkı sağlayabilmesi ile ilişkilidir. Bu çok yönlü etki, kitosanı destekleyici periodontal ve cerrahi uygulamalar açısından değerli bir biyomateryal haline getirmektedir (Bartold & Van Dyke, 2013).

#### **4.3.1. Periodontal Uygulamalar**

Periodontal hastalıkların patogeneğinde bakteriyel biyofilm ve buna bağlı gelişen inflamatuvar yanıt temel rol oynamaktadır. Periodontal cepler, mekanik olarak tam temizlenmesi güç alanlar olup, rezidüel bakteri varlığı tedavi başarısını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle mekanik tedavilere ek olarak biyolojik olarak aktif destek materyallerinin kullanımı gündeme gelmiştir (Dai et al., 2011).

Kitosanın antibakteriyel ve antiinflamatuvar özellikleri, periodontal tedavilerde destekleyici bir ajan olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Dai et al., 2011). Yapılan çalışmalar, kitosan bazlı jellerin ve lokal uygulama formlarının periodontal ceplerde bakteri yükünü azaltabildiğini ve klinik periodontal parametrelerde (cep derinliği, kanama indeksi ve plak indeksi) iyileşme sağlayabildiğini göstermiştir. Bu iyileşmenin, kitosanın hem bakteri adezyonunu azaltıcı etkisi hem de inflamatuvar yanıtı modüle edici özellikleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Sah et al., 2019).

Ayrıca kitosanın kontrollü ilaç salımına olanak tanıyan yapısı, antibakteriyel veya antiinflamatuvar ajanların periodontal ceplerde daha uzun süre etkin kalmasını mümkün kılmaktadır. Bu özellik, özellikle derin ceplerin tedavisinde kitosanı konvansiyonel mekanik periodontal tedavilere ek olarak değerlendirilebilecek biyolojik bir destek materyali haline getirmektedir. Bununla birlikte, periodontal uygulamalarda kullanılan kitosan formülasyonlarının konsantrasyonu ve uygulama süresi gibi parametrelerin klinik sonuçlar üzerindeki etkisi, daha fazla çalışma ile netleştirilmelidir (Babrawala et al., 2016).

#### **4.3.2. Cerrahi ve Yara İyileşmesi**

Cerrahi girişimler sonrasında yara iyileşmesinin hızlandırılması ve enfeksiyon riskinin azaltılması, postoperatif konfor ve tedavi başarısı açısından klinik olarak büyük önem taşımaktadır. Ağız içi cerrahi alanlar, sürekli mekanik irritasyon ve mikrobiyal kontaminasyona maruz kaldığından, iyileşme süreci sistemik dokulara kıyasla daha karmaşık olabilmektedir (Guo & DiPietro, 2010).

Kitosan bazlı membranlar, filmler ve sünger formülasyonlarının cerrahi alanlarda hemostazı desteklediği, epitelizasyonu hızlandırdığı ve postoperatif iyileşmeyi olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir. Bu etkilerin, kitosanın yüzeyde koruyucu bir bariyer oluşturarak yara alanını dış etkenlerden izole etmesi ve aynı zamanda hücrel migrasyonu desteklemesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Ueno et al., 2001).

Kitosanın biyobozunur yapısı sayesinde cerrahi sahada uzun süreli yabancı cisim reaksiyonuna neden olmadan görevini yerine getirebilmesi, cerrahi uygulamalar açısından önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir (Sukhodub et al., 2016). Bu özellikler, kitosanın dış çekimi sonrası soketler, küçük kemik defektleri ve yumuşak doku iyileşmesini destekleyici uygulamalarda potansiyel bir biyomateryal olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, cerrahi uygulamalarda kitosan temelli materyallerin uzun dönem klinik sonuçlarının değerlendirilmesi, materyalin rutine entegrasyonu açısından önem taşımaktadır (Guo & DiPietro, 2010).

#### **4.4. Protetik ve Ortodontik Uygulamalarda Kitosan**

Protetik ve ortodontik tedavilerde kullanılan materyaller, uzun süre oral ortamda bulunmaları nedeniyle mikrobiyal kolonizasyon ve biyofilm oluşumu açısından yüksek risk taşımaktadır (Williams & Lewis, 2011). Oral ortamın nemli yapısı, besin artıkları ve mekanik temizliğin sınırlı olması, bu materyallerin yüzeylerinde mikroorganizmaların kolaylıkla tutunmasına zemin hazırlamaktadır. Bu durum, protez stomatiti ve ortodontik apaceylere bağlı plak birikimi gibi klinik sorunlara yol açabilmektedir (Gondim et al., 2018). Bu nedenle, uzun süre ağızda kalan materyallerin biyolojik performansının artırılması, modern protetik ve ortodontik yaklaşımların önemli hedeflerinden biri haline gelmiştir.

Kitosanın antibakteriyel, antibiyofilm ve biyouyumlu özellikleri, bu alanda destekleyici bir biyomateryal olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Özellikle yüzey modifikasyonu veya kaplama ajanı olarak kullanıldığında, materyalin mekanik özelliklerini değiştirmeden biyolojik avantaj sağlayabilmesi kitosanı dikkat çekici bir seçenek haline getirmektedir (Williams & Lewis, 2011).

##### **4.4.1. Protetik Uygulamalar**

Protetik diş tedavisinde, özellikle akrilik esaslı protez kaide materyalleri üzerinde gelişen biyofilm, *Candida albicans* başta olmak üzere çeşitli mikroorganizmaların kolonizasyonuna zemin hazırlamaktadır. Bu durum, protez stomatitinin gelişiminde temel etiyolojik faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Protez yüzeylerinin poröz yapısı ve mekanik temizliğin her zaman yeterli olmaması, mikroorganizmaların tutunmasını ve çoğalmasını kolaylaştırmaktadır (Gendreau & Loewy, 2011).

Kitosan içeren kaplamaların ve solüsyonların, protez yüzeylerinde mikrobiyal adezyonu azalttığı ve *Candida* türlerinin yüzey tutunmasını baskıladığı bildirilmiştir (Namangkalakul et al., 2020). Bu etkinin, kitosanın yüzey yükü ve hücre duvarı ile etkileşimi sonucu mikroorganizma adezyonunu zorlaştırması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Gendreau & Loewy, 2011). Ayrıca kitosan bazlı yüzey modifikasyonlarının, protez materyalinin mekanik bütünlüğünü bozmadan biyolojik bir koruma sağlayabilmesi, klinik kullanım açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

Bu özellikler, kitosanı yalnızca tedavi edici değil, aynı zamanda koruyucu protetik yaklaşımlar kapsamında da değerlendirilebilir bir ajan haline getirmektedir. Protez bakım ürünleri, yüzey kaplamaları ve dezenfeksiyon protokollerine entegre edilebilecek kitosan bazlı sistemler, özellikle yaşlı bireyler ve protez hijyeninin zor olduğu hasta gruplarında klinik fayda sağlayabilir (Gendreau & Loewy, 2011).

##### **4.4.2. Ortodontik Uygulamalar**

Ortodontik tedaviler sırasında kullanılan braketler, bantlar ve ark telleri, plak retansiyonunu artırarak mine yüzeyinde demineralizasyon riskini yükseltebilmektedir. Bu durum, özellikle tedavi süresinin uzun olduğu hastalarda beyaz nokta lezyonlarının gelişmesine ve estetik problemlere yol açabilmektedir (Heymann & Grauer, 2013). Bu nedenle ortodontik materyallerin yüzey özelliklerinin biyolojik açıdan iyileştirilmesi, güncel araştırmaların odak noktalarından biri haline gelmiştir.

Kitosan bazlı kaplamaların, ortodontik aparey yüzeylerinde antibakteriyel etki göstererek plak birikimini azalttığı ve *Streptococcus mutans* gibi kariyojenik mikroorganizmaların adezyonunu sınırlandırabildiği bildirilmektedir. Bu etkinin, kitosanın yüzeyde oluşturduğu antibakteriyel tabaka ve biyofilm oluşumunu baskılayıcı özellikleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu sayede kitosan, ortodontik tedavi süresince mine yüzeyinin korunmasına dolaylı katkı sağlayabilecek bir ajan olarak değerlendirilmektedir (Al-Banaa et al., 2025).

Ayrıca kitosanın biyoyumlu ve biyobozunur yapısı, ortodontik tedavi süresince uzun dönemli kullanım açısından avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte, ortodontik uygulamalarda kitosan temelli kaplamaların mekanik aşınma, sürtünme katsayısı ve uzun dönem antibakteriyel etkinliği üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı klinik çalışmalarla değerlendirilmesi gerekmektedir (Al-Banaa et al., 2025).

## 5. Kitosan Formülasyonları ve Güncel Yaklaşımlar

Kitosanın diş hekimliğinde farklı klinik gereksinimlere uyarlanabilmesi, büyük ölçüde çeşitli formülasyonlarda hazırlanabilme yeteneğine bağlıdır (Dong et al., 2024). Saf kitosanın biyolojik özellikleri değerli olmakla birlikte, klinik uygulamalarda etkinliğin artırılması; materyalin çözünürlüğü, yüzey etkileşimi, salım profili ve hedef dokuya adaptasyonu gibi faktörlerin optimize edilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle son yıllarda kitosan; yalnızca polimer formunda değil, nanopartikül, hidrojel, film ve kompozit sistemler halinde modifiye edilerek diş hekimliği uygulamalarına uyarlanmaktadır (Li et al., 2015).

Bu formülasyon yaklaşımları, kitosanın biyolojik etkilerinin daha kontrollü, hedefe yönelik ve uzun süreli şekilde ortaya çıkmasını sağlamakta; böylece materyalin klinik potansiyelini belirgin biçimde güçlendirmektedir.

### 5.1. Nanokitosan ve Nanopartikül Sistemler

Nanoteknolojik yaklaşımlar, kitosanın yüzey alanını ve biyolojik etkileşim kapasitesini artırarak antibakteriyel etkinliğini güçlendirmektedir<sup>84</sup>. Nanokitosan partiküller, özellikle oral biyofilm kontrolü, kök kanal dezenfeksiyonu ve restoratif materyallerle kombinasyon açısından dikkat çekmektedir<sup>52, 85</sup>. Nanopartikül boyutuna indirgenen kitosanın, biyofilm matriksi ve dentin tübüleri içerisine daha etkin penetre olabildiği ve bu sayede mikroorganizmalarla daha doğrudan etkileşime girebildiği bildirilmektedir (Bourgi et al., 2025).

Nanokitosan sistemlerinin bir diğer avantajı, antibakteriyel etkinliğin daha düşük konsantrasyonlarda dahi sağlanabilmesidir. Bu durum, hem sitotoksikite riskinin azaltılması hem de uzun dönem biyoyumluluğun korunması açısından önem taşımaktadır. Endodontik uygulamalarda nanokitosan bazlı irrigantların veya taşıyıcı sistemlerin, konvansiyonel irrigasyon protokollerine biyolojik açıdan daha yumuşak bir alternatif sunabileceği öne sürülmektedir (Bourgi et al., 2025).

Bununla birlikte, nanokitosan partiküllerin boyut dağılımı, yüzey yükü ve stabilitesinin klinik performansı doğrudan etkileyen faktörler olduğu unutulmamalıdır. Bu parametrelerin standardizasyonu, nanokitosan temelli sistemlerin klinik rutine entegrasyonu açısından kritik öneme sahiptir (Chandrasekaran et al., 2020).

### **5.2. Hidrojeller ve Film Formülasyonları**

Kitosan bazlı hidrojeller ve filmler, oral mukozaya ve diş yüzeylerine uzun süreli temas sağlayabilmeleri nedeniyle klinik uygulamalar açısından önemli avantajlar sunmaktadır (Berger et al., 2004). Bu formülasyonlar, özellikle cerrahi sonrası yara iyileşmesi, lokal antibakteriyel uygulamalar ve periodontal ceplere yönelik tedavilerde kullanılmaktadır. Hidrojel sistemlerinin viskoelastik yapısı, kitosanın kontrollü salım özelliklerini destekleyerek aktif bileşenlerin hedef bölgede daha uzun süre kalmasını mümkün kılmaktadır.

Film formülasyonları ise kitosanın yüzeye tutunabilen yapısı sayesinde mukozal veya dental yüzeylerde koruyucu bir tabaka oluşturabilmektedir (Berger et al., 2004). Bu tabaka, mekanik irritasyonu azaltmanın yanı sıra, mikroorganizma adezyonunu sınırlayıcı bir bariyer görevi de üstlenebilmektedir. Klinik açıdan değerlendirildiğinde, bu özellikler kitosan bazlı hidrojel ve filmleri lokal ve non-invaziv tedavi yaklaşımları için uygun adaylar haline getirmektedir (Valenciana-Solís et al., 2025).

Ancak bu sistemlerin klinik başarısı; jel viskozitesi, film kalınlığı, çözünme hızı ve ağız içi ortamda stabilite gibi faktörlere bağlıdır. Bu nedenle formülasyon parametrelerinin uygulama alanına özgü olarak optimize edilmesi gerekmektedir.

### **5.3. Kombine ve Fonksiyonel Sistemler**

Güncel literatürde kitosanın florür, kalsiyum-fosfat bileşikleri, biyolojik olarak aktif moleküller ve bitkisel ekstraktlar ile kombine edildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Salama, 2021). Bu kombinasyonların, kitosanın tek başına kullanımına kıyasla remineralizasyon, antibakteriyel etkinlik ve doku iyileşmesi açısından sinerjik etkiler oluşturabildiği bildirilmektedir (Rinaudo, 2006). Özellikle florür yüklü kitosan nanopartiküller, antikaryojenik yaklaşımlar açısından güncel ve güçlü bir örnek oluşturmaktadır.

Kombine sistemlerin temel avantajı, tek bir formülasyon ile birden fazla biyolojik hedefin eş zamanlı olarak etkilenebilmesidir. Örneğin remineralizasyonu destekleyen bir kitosan sistemi aynı zamanda antibakteriyel etki gösterebilmekte ve restorasyon kenarında biyolojik bir koruma sağlayabilmektedir (Salama, 2021). Bu çok fonksiyonlu yaklaşım, minimal invaziv diş hekimliği anlayışı ile uyumlu bir strateji sunmaktadır.

Bununla birlikte, kombine sistemlerde kullanılan aktif bileşenlerin etkileşimi, salım kinetiği ve uzun dönem stabilitesi dikkatle değerlendirilmelidir. Klinik rutine entegrasyon öncesinde, bu sistemlerin biyoyumluluk ve etkinlik açısından kapsamlı klinik çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir<sup>83,90</sup>.

## **6. Mevcut Kanıtların Değerlendirilmesi ve Sınırlılıklar**

Son yıllarda kitosanın diş hekimliğinde kullanımına yönelik yapılan çalışmalar, bu biyopolimerin çok sayıda klinik ve deneysel uygulama alanında umut verici sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir. Restoratif diş tedavisinden endodontiye, periodontolojiden cerrahiye kadar geniş bir yelpazede değerlendirilen kitosan; antibakteriyel aktivitesi, biyoyumluluğu ve biyolojik dokularla etkileşime girebilme kapasitesi sayesinde dikkat çekmektedir.

Özellikle restoratif diş hekimliği alanında, kitosanın remineralizasyonu destekleyici etkileri ve cam iyonomer simanlar gibi materyallerle kombine edildiğinde antikaryojenik potansiyelinin artması, klinik açıdan önemli bulgular sunmaktadır (Altınışık et al., 2024). Benzer şekilde endodontik uygulamalarda kitosanın *Enterococcus faecalis* biyofilmi üzerindeki etkileri ve smear tabakasının uzaklaştırılmasındaki potansiyeli, geleneksel irrigasyon protokollerine biyouyumlu bir alternatif sunabileceğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte, mevcut literatürün büyük bir kısmının in vitro ve hayvan çalışmaları ile sınırlı olduğu görülmektedir. Klinik çalışmaların sayısı sınırlı olup, mevcut klinik veriler çoğunlukla kısa dönem sonuçlara dayanmaktadır<sup>52</sup>. Bu durum, kitosanın uzun dönem klinik etkinliği ve güvenilirliği hakkında kesin çıkarımlar yapılmasını güçleştirmektedir.

Bir diğer önemli sınırlılık, çalışmalarda kullanılan kitosanın kaynağı, molekül ağırlığı, deasetilasyon derecesi ve formülasyonu açısından belirgin bir heterojenlik bulunmasıdır. Bu yapısal farklılıklar, kitosanın biyolojik performansını doğrudan etkileyebilmekte ve farklı çalışmalar arasında sonuçların karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Özellikle restoratif materyallere veya irrigasyon solüsyonlarına eklenen kitosan konsantrasyonlarının standart olmaması, klinik uygulamaya yönelik net protokollerin oluşturulmasını engellemektedir.

Ayrıca bazı çalışmalarda, yüksek konsantrasyonda kitosan kullanımının materyalin fiziksel özelliklerini (sertleşme süresi, viskozite, çözünürlük) olumsuz yönde etkileyebileceği bildirilmiştir. Bu durum, kitosanın klinik uygulamalarda optimize edilmiş doz ve formülasyonlar ile kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, mevcut kanıtlar kitosanın diş hekimliği uygulamalarında biyolojik açıdan güçlü bir aday materyal olduğunu desteklemektedir. Ancak klinik rutine entegrasyon için, iyi tasarlanmış, uzun dönemli ve standardize edilmiş klinik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır (Budiarso et al., 2023).

## 7. Gelecek Perspektifler

Kitosanın diş hekimliğinde kullanımına yönelik mevcut veriler, bu biyopolimerin yalnızca destekleyici bir ajan olmanın ötesinde, biyolojik olarak aktif ve fonksiyonel bir dental materyal olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Özellikle restoratif diş tedavisi ve endodonti alanlarında elde edilen bulgular, kitosanın gelecekte daha hedefe yönelik ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarında önemli bir rol üstlenebileceğine işaret etmektedir (Arnaud et al., 2010b).

Nanoteknoloji ve biyomalzeme mühendisliğindeki gelişmeler, kitosanın diş hekimliğinde kullanım alanlarını daha da genişletebilecek potansiyele sahiptir. Nanokitosan temelli sistemler, antibakteriyel etkinliğin artırılması, kontrollü ilaç salımı ve hedef dokuya özgü uygulamalar açısından geleceğin en umut verici yaklaşımları arasında yer almaktadır (Altınışık et al., 2024). Bu sistemlerin, minimal invaziv diş hekimliği anlayışıyla uyumlu şekilde geliştirilebileceği öngörülmektedir.

Kitosan; biyolojik özellikleri, modifiye edilebilir yapısı ve çok yönlü uygulama potansiyeli sayesinde, gelecekte biyomimetik ve fonksiyonel dental materyallerin geliştirilmesinde önemli bir yapı taşı olmaya adaydır. Ancak bu potansiyelin klinik gerçekliğe dönüşebilmesi, disiplinler arası iş birlikleri ve standardize edilmiş bilimsel yaklaşımlar ile mümkün olacaktır.

## SONUÇ

Bu kitap bölümünde, doğal kökenli bir biyopolimer olan kitosanın diş hekimliğindeki kullanımını; temel yapısal özelliklerinden klinik uygulamalarına kadar bütüncül bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Mevcut literatür, kitosanın biyoyumlu ve biyolojik olarak aktif yapısı sayesinde restoratif diş tedavisi, endodonti, periodontoloji, cerrahi, protetik ve ortodontik uygulamalarda geniş bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Ferracane, 2001).

Özellikle restoratif diş hekimliğinde, kitosanın remineralizasyonu destekleyici etkileri ve cam iyonomer simanlar gibi materyallerle kombine edildiğinde antikaryojenik özellikler kazandırabilmesi, klinik açıdan dikkat çekici bulgular sunmaktadır. Endodontik uygulamalarda ise kitosanın antibakteriyel etkinliği, smear tabakasının uzaklaştırılmasındaki potansiyeli ve biyoyumlu yapısı, geleneksel irrigasyon protokollerine alternatif veya tamamlayıcı bir ajan olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır (Kishen et al., 2008).

Genel olarak değerlendirildiğinde, kitosan diş hekimliğinde yalnızca pasif bir materyal değil; biyomimetik, fonksiyonel ve geliştirilebilir bir biyomateryal olarak öne çıkmaktadır. Gelecekte standardize edilmiş üretim süreçleri ve yüksek kaliteli klinik çalışmalar ile desteklenmesi halinde, kitosanın kanıta dayalı diş hekimliği uygulamalarında daha fazla yer kazanması öngörülmektedir.

**KAYNAKÇA**

- Ahmed, S., & Ikram, S. (2016). Chitosan based scaffolds and their applications in wound healing. *Achievements in the Life Sciences*, 10(1), 27–37.
- Alamoudi, R. A. (2019). The smear layer in endodontic: To keep or remove—an updated overview. *Saudi Endodontic Journal*, 9(2), 71–81.
- Al-Banaa, L. R., Al-Khatib, A. R., & Jabrail, F. H. (2025). Evaluation of the biological, physical, mechanical and chemical properties of orthodontic primer modified by nano-chitosan loaded with bioactive materials. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 15(3), 500–507.
- Albuquerque, M., Valera, M., Nakashima, M., Nör, J., & Bottino, M. (2014). Tissue-engineering-based strategies for regenerative endodontics. *Journal of Dental Research*, 93(12), 1222–1231.
- Altınışik, H., Erten Can, H., Mutlu Ağardan, N. B., Berkkan, A., & Güney, M. (2024). Prevention of secondary caries using fluoride-loaded chitosan nanoparticle-modified glass-ionomer cement. *Clinical Oral Investigations*, 28(9), 504.
- Aranaz, I., Alcántara, A. R., Civera, M. C., Arias, C., Elorza, B., Heras Caballero, A., & Acosta, N. (2021). Chitosan: An overview of its properties and applications. *Polymers*, 13(19), 3256.
- Arnaud, T. M. S., de Barros Neto, B., & Diniz, F. B. (2010a). Chitosan effect on dental enamel de-remineralization: An in vitro evaluation. *Journal of Dentistry*, 38(11), 848–852.
- Arnaud, T. M. S., de Barros Neto, B., & Diniz, F. B. (2010b). Chitosan effect on dental enamel de-remineralization: An in vitro evaluation. *Journal of Dentistry*, 38(11), 848–852.
- Babrawala, I. S., Mlv, P., Bv, K., & Khanna, D. (2016). A novel approach using natural 1%(W/W) chitosan as a local drug delivery system in the management of non-surgical periodontal treatment: A pilot study. *J Int Acad Periodontol*, 18(4), 129–133.
- Bartold, P. M., & Van Dyke, T. E. (2013). Periodontitis: A host-mediated disruption of microbial homeostasis. Unlearning learned concepts. *Periodontology 2000*, 62(1), 203–217.
- Berger, J., Reist, M., Mayer, J., Felt, O., Peppas, N., & Gurny, R. (2004a). Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 57(1), 19–34.
- Berger, J., Reist, M., Mayer, J., Felt, O., Peppas, N., & Gurny, R. (2004b). Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 57(1), 19–34.
- Bernkop-Schnürch, A., & Dünnhaupt, S. (2012). Chitosan-based drug delivery systems. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 81(3), 463–469.
- Bourgi, R., Doumandji, Z., Cuevas-Suárez, C. E., Ben Ammar, T., Laporte, C., Kharouf, N., & Haikel, Y. (2025). Exploring the Role of Nanoparticles in Dental Materials: A Comprehensive Review. *Coatings*, 15(1), 33.
- Budiarso, I. J., Rini, N. D., Tsalsabila, A., Birowosuto, M. D., & Wibowo, A. (2023). Chitosan-based smart biomaterials for biomedical applications: Progress and perspectives. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 9(6), 3084–3115.
- Chandrasekaran, M., Kim, K. D., & Chun, S. C. (2020). Antibacterial activity of chitosan nanoparticles: A review. *Processes*, 8(9), 1173.

- Costa, E., Silva, S., Tavarina, F., & Pintado, M. (2014). Antimicrobial and antibiofilm activity of chitosan on the oral pathogen *Candida albicans*. *Pathogens*, 3(4), 908–919.
- da Costa Soares, M. U. S., Araújo, N. C., Borges, B. C. D., Sales, W. da S., & Sobral, A. P. V. (2013). Impact of remineralizing agents on enamel microhardness recovery after in-office tooth bleaching therapies. *Acta Odontologica Scandinavica*, 71(2), 343–348.
- Dai, T., Tanaka, M., Huang, Y.-Y., & Hamblin, M. R. (2011). Chitosan preparations for wounds and burns: Antimicrobial and wound-healing effects. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 9(7), 857–879.
- Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R. M., & Chiellini, E. (2011). Chitosan—A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 36(8), 981–1014.
- Debnath, A., Kesavappa, S. B., Singh, G. P., Eshwar, S., Jain, V., Swamy, M., & Shetty, P. (2017). Comparative evaluation of antibacterial and adhesive properties of chitosan modified glass ionomer cement and conventional glass ionomer cement: An in vitro study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR*, 11(3), ZC75.
- Deng, Z., Wang, T., Chen, X., & Liu, Y. (2020). Applications of chitosan-based biomaterials: A focus on dependent antimicrobial properties. *Marine Life Science & Technology*, 2(4), 398–413.
- Dong, J., Chen, X., Li, Y., Luan, M., Yang, X., Chen, H., Koosha, M., Zhai, Y., & Fakhrullin, R. F. (2024). Hydrophilic chitosan: Modification pathways and biomedical applications. *Russian Chemical Reviews*, 93(5).
- Elshenawy, E. A., El-Ebiary, M. A., Kenawy, E.-R., & El-Olimy, G. A. (2023). Modification of glass-ionomer cement properties by quaternized chitosan-coated nanoparticles. *Odontology*, 111(2), 328–341.
- Ferracane, J. L. (2001). *Materials in dentistry: Principles and applications*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Ferracane, J. L. (2011). Resin composite—State of the art. *Dental Materials*, 27(1), 29–38.
- Gendreau, L., & Loewy, Z. G. (2011). Epidemiology and etiology of denture stomatitis. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry*, 20(4), 251–260.
- Gondim, B. L. C., Castellano, L. R. C., de Castro, R. D., Machado, G., Carlo, H. L., Valença, A. M. G., & de Carvalho, F. G. (2018). Effect of chitosan nanoparticles on the inhibition of *Candida* spp. Biofilm on denture base surface. *Archives of Oral Biology*, 94, 99–107.
- Guo, S. al, & DiPietro, L. A. (2010). Factors affecting wound healing. *Journal of Dental Research*, 89(3), 219–229.
- Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2014). Irrigation in endodontics. *British Dental Journal*, 216(6), 299–303.
- Hannig, M., & Hannig, C. (2010). Nanomaterials in preventive dentistry. *Nature Nanotechnology*, 5(8), 565–569.
- Heymann, G. C., & Grauer, D. (2013). A contemporary review of white spot lesions in orthodontics. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 25(2), 85–95.
- Huq, T., Khan, A., Brown, D., Dhayagude, N., He, Z., & Ni, Y. (2022). Sources, production and commercial applications of fungal chitosan: A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 7(2), 85–98.
- Husain, S., Al-Samadani, K. H., Najeeb, S., Zafar, M. S., Khurshid, Z., Zohaib, S., & Qasim, S. B. (2017). Chitosan biomaterials for current and potential dental applications. *Materials*, 10(6), 602.

- Ibrahim, M. A., Neo, J., Esguerra, R. J., & Fawzy, A. S. (2015). Characterization of antibacterial and adhesion properties of chitosan-modified glass ionomer cement. *Journal of Biomaterials Applications*, 30(4), 409–419.
- Imazato, S. (2003). Antibacterial properties of resin composites and dentin bonding systems. *Dental Materials*, 19(6), 449–457.
- Iqbal, N., Ganguly, P., Yildizbakan, L., Raif, E. M., Jones, E., Giannoudis, P. V., & Jha, A. (2024). Chitosan Scaffolds from Crustacean and Fungal Sources: A Comparative Study for Bone-Tissue-Engineering Applications. *Bioengineering*, 11(7), 720.
- Islam, S., Bhuiyan, M. R., & Islam, M. (2017). Chitin and chitosan: Structure, properties and applications in biomedical engineering. *Journal of Polymers and the Environment*, 25(3), 854–866.
- Izadi, H., Asadi, H., & Bemani, M. (2025). Chitin: A comparison between its main sources. *Frontiers in Materials*, 12, 1537067.
- Jayakumar, R., Prabakaran, M., Nair, S., & Tamura, H. (2010). Novel chitin and chitosan nanofibers in biomedical applications. *Biotechnology Advances*, 28(1), 142–150.
- Joiner, A. (2006). The bleaching of teeth: A review of the literature. *Journal of Dentistry*, 34(7), 412–419.
- Kim, D.-A., Lee, J.-H., Jun, S.-K., Kim, H.-W., Eltohamy, M., & Lee, H.-H. (2017). Sol-gel-derived bioactive glass nanoparticle-incorporated glass ionomer cement with or without chitosan for enhanced mechanical and biomineralization properties. *Dental Materials*, 33(7), 805–817.
- Kishen, A., Shi, Z., Shrestha, A., & Neoh, K. G. (2008). An investigation on the antibacterial and antibiofilm efficacy of cationic nanoparticulates for root canal disinfection. *Journal of Endodontics*, 34(12), 1515–1520.
- Kishen, A., Shrestha, S., Shrestha, A., Cheng, C., & Goh, C. (2016). Characterizing the collagen stabilizing effect of crosslinked chitosan nanoparticles against collagenase degradation. *Dental Materials*, 32(8), 968–977.
- Kong, M., Chen, X. G., Xing, K., & Park, H. J. (2010). Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. *International Journal of Food Microbiology*, 144(1), 51–63.
- Kumar, M. N. R. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*, 46(1), 1–27.
- Li, Z., Yang, F., & Yang, R. (2015). Synthesis and characterization of chitosan derivatives with dual-antibacterial functional groups. *International Journal of Biological Macromolecules*, 75, 378–387.
- Love, R. (2001). Enterococcus faecalis—a mechanism for its role in endodontic failure. *International Endodontic Journal*, 34(5), 399–405.
- Mohammadipour, H. S., Boruziniat, A., Hoseini, S. A., Bagheri, H., Ramezani, N., Tanhaieian, A., Pourgonabadi, S., & Shahri, A. (2025). Antibacterial activity, cytotoxicity, and microshear bond strength of an experimental adhesive system containing chitosan-based silver oxide particles. *Odontology*, 1–16.
- Muzzarelli, R. A. (1996). Chitosan-based dietary foods. *Carbohydrate Polymers*, 29(4), 309–316.
- Namangkalakul, W., Benjavongkulchai, S., Pochana, T., Promchai, A., Satitviboon, W., Howattanapanich, S., Phuprasong, R., Ungvijanpunya, N., Supakanjanakanti, D., & Chaitrakoonthong, T. (2020). Activity of chitosan antifungal denture adhesive against common Candida species and Candida albicans adherence on denture base acrylic resin. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 123(1), 181-e1.
- Ngo, D.-H., & Kim, S.-K. (2014). Antioxidant effects of chitin, chitosan, and their derivatives. *Advances in Food and Nutrition Research*, 73, 15–31.

- Nicholson, J. (2010). Glass ionomer dental cements: Update. *Materials Technology*, 25(1), 8–13.
- Nishanthine, C., Miglani, R., Poorni, S., Srinivasan, M. R., Robaian, A., Albar, N. H. M., Alhaidary, S. F. R., Binalrimal, S., Almalki, A., & Vinothkumar, T. S. (2022). Evaluation of fluoride release in chitosan-modified glass ionomer cements. *International Dental Journal*, 72(6), 785–791.
- Park, P.-J., Je, J.-Y., & Kim, S.-K. (2004). Free radical scavenging activities of differently deacetylated chitosans using an ESR spectrometer. *Carbohydrate Polymers*, 55(1), 17–22.
- Pasquantonio, G., Greco, C., Prenna, M., Ripa, C., Vitali, L. A., Petrelli, D., Di Luca, M., & Ripa, S. (2008). Antibacterial activity and anti-biofilm effect of chitosan against strains of *Streptococcus mutans* isolated in dental plaque. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*, 21(4), 993–997.
- Pellis, A., Guebitz, G. M., & Nyanhongo, G. S. (2022). Chitosan: Sources, processing and modification techniques. *Gels*, 8(7), 393.
- Perdigão, J. (2010). Dentin bonding—Variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dental Materials*, 26(2), e24–e37.
- Pini, N., Lima, D., Lovadino, J., Ganss, C., & Schlueter, N. (2016). In vitro efficacy of experimental chitosan-containing solutions as anti-erosive agents in enamel. *Caries Research*, 50(3), 337–345.
- Qian, J., Wang, X., Chen, Y., Mo, C., Liang, C., & Guo, H. (2023). The correlation of molecule weight of chitosan oligomers with the corresponding viscosity and antibacterial activity. *Carbohydrate Research*, 530, 108860.
- Ratih, D. N., Sari, N. I., Santosa, P., & Kaswati, N. M. N. (2020). Time-dependent effect of chitosan nanoparticles as final irrigation on the apical sealing ability and push-out bond strength of root canal obturation. *International Journal of Dentistry*, 2020(1), 8887593.
- Rinaudo, M. (2006a). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31(7), 603–632.
- Rinaudo, M. (2006b). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31(7), 603–632.
- Ruan, Q., Zhang, Y., Yang, X., Nutt, S., & Moradian-Oldak, J. (2013). An amelogenin–chitosan matrix promotes assembly of an enamel-like layer with a dense interface. *Acta Biomaterialia*, 9(7), 7289–7297.
- Sah, A. K., Dewangan, M., & Suresh, P. K. (2019). Potential of chitosan-based carrier for periodontal drug delivery. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 178, 185–198.
- Salama, A. (2021). Recent progress in preparation and applications of chitosan/calcium phosphate composite materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 178, 240–252.
- Sarkees, M., & Al-Maarrawi, K. (2020). Chitosan: A natural substitute of EDTA solution for final irrigation in endodontics treatment. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 23(5), 697–703.
- Schilder, H. (1974). Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics of North America*, 18(2), 269–296.
- Shrestha, A., & Kishen, A. (2016). Antibacterial nanoparticles in endodontics: A review. *Journal of Endodontics*, 42(10), 1417–1426.
- Sidhu, S. K., & Nicholson, J. W. (2016). A review of glass-ionomer cements for clinical dentistry. *Journal of Functional Biomaterials*, 7(3), 16.
- Simeonov, M., Gussiyska, A., Mironova, J., Nikolova, D., Apostolov, A., Sezanova, K., Dyulgerova, E., & Vassileva, E. (2019). Novel hybrid chitosan/calcium phosphates

- microgels for remineralization of demineralized enamel—a model study. *European Polymer Journal*, 119, 14–21.
- Socransky, S. S., & Haffajee, A. D. (2002). Dental biofilms: Difficult therapeutic targets. *Periodontology 2000*, 28(1), 12–55.
- Stuart, C. H., Schwartz, S. A., Beeson, T. J., & Owatz, C. B. (2006). Enterococcus faecalis: Its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. *Journal of Endodontics*, 32(2), 93–98.
- Sukhodub, L., Sukhodub, L., & Chorna, I. (2016). Chitosan-apatite composites: Synthesis and properties. *Biopolymers and Cell*.
- Supotngarmkul, A., Panichuttra, A., Ratisoontorn, C., Nawachinda, M., & Matangkasombut, O. (2020). Antibacterial property of chitosan against E. faecalis standard strain and clinical isolates. *Dental Materials Journal*, 39(3), 456–463.
- Ueno, H., Mori, T., & Fujinaga, T. (2001). Topical formulations and wound healing applications of chitosan. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 52(2), 105–115.
- Valenciana-Solís, J. A., Gaitán-Fonseca, C., Aguilera-Galavíz, L. A., Martínez-Castañón, G. A., Zavala-Alonso, V., & Bermúdez-Jiménez, C. (2025). Uses of Chitosan-Based Hydrogels in Dentistry: A Systematic Review. *Odovtos-International Journal of Dental Sciences*, 26(3), 99–112.
- Van Meerbeek, B., De Munck, J., Yoshida, Y., Inoue, S., Vargas, M., Vijay, P., Van Landuyt, K., Lambrechts, P., & Vanherle, G. (2003). Adhesion to enamel and dentin: Current status and future challenges. *OPERATIVE DENTISTRY-UNIVERSITY OF WASHINGTON-*, 28(3), 215–235.
- Verlee, A., Mincke, S., & Stevens, C. V. (2017). Recent developments in antibacterial and antifungal chitosan and its derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 164, 268–283.
- Williams, D., & Lewis, M. (2011). Pathogenesis and treatment of oral candidosis. *Journal of Oral Microbiology*, 3(1), 5771.
- Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 32(5), 389–398.