



RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ ALANINDA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Musa ACARTÜRK

yaz
yayınları

Restoratif Diş Tedavisi Alanında Bilimsel Araştırmalar

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Musa ACARTÜRK

yaz
yayınları

2026

Restoratif Diş Tedavisi Alanında Bilimsel Araştırmalar

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Musa ACARTÜRK

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8574-94-4

Mart 2026 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Diş Hekimliğinde Polisakkaritler.....	1
<i>Cansu YIKICI ÇÖL</i>	
Diş Çürükleri ve Sistemik Hastalıklar Arasındaki İlişki: Güncel Bir Değerlendirme.....	28
<i>Musa ACARTÜRK, İsmail CİHANGİR, Hatice Zehra BODUR GÜNEY</i>	
Restoratif Diş Hekimliğinde Bioaktif Materyaller: Etki Mekanizmaları ve Güncel Yaklaşımlar	49
<i>Senem GÜNDÜZ, Ömer ÇELLİK</i>	
Bulk Fill Kompozitler	65
<i>Sevda CAN, Ömer ÇELLİK</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

DİŞ HEKİMLİĞİNDE POLİSAKKARİTLER

Cansu YIKICI ÇÖL¹

1. GİRİŞ

Polisakkaritler; bitki, hayvan ve mikroorganizmalarda yaygın olarak bulunan, birden fazla monosakkarit biriminin glikozidik bağlarla birleşmesiyle oluşan yüksek molekül ağırlıklı karbonhidrat polimerleridir. Doğal polisakkaritler genellikle kolay elde edilebilir, biyolojik olarak parçalanabilir ve düşük toksisiteli olmalarıyla dikkat çeker(Yang et al., 2022). Bu özellikleri sayesinde biyomedikal uygulamalarda ideal aday malzemeler olarak görülürler. Nitekim son on yılda biyopolimer malzemelerde kayda değer gelişmeler yaşanmış ve bu malzemeler diş hekimliğinde periodontitis tedavisi, endodonti, dental pulpa rejenerasyonu ve oral yara iyileşmesi gibi birçok alanda kullanılmak üzere araştırılmıştır(Alsalhi, 2024). Özellikle polisakkaritlerin mükemmel biyouyumluluk, antienflamatuvar ve antibakteriyel etkileri, ağız boşluğundaki yumuşak ve sert doku hastalıklarının tedavisinde onları cazip hale getirmektedir(Yang et al., 2022).

Polisakkarit bazlı biyomalzemelerin diş hekimliğine girişiyle birlikte, diş çürüğü gibi yaygın problemlerin önlenmesi ve tedavisi için yeni yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Örneğin kitosan gibi bazı doğal polisakkaritler, bakteri plağının oluşumunu engelleyerek veya diş sert dokularının remineralizasyonunu teşvik ederek çürüklerin önlenmesine katkı sunabilmektedir(Qu, Ma, Yu, & Wang, 2023). Benzer şekilde hyaluronik asit gibi polisakkaritler, periodontal tedavilerde doku iyileşmesini

¹ Uzman Diş Hekimi, ORCID: 0000-0001-8855-7417.

hızlandırmak ve iltihabı azaltmak amacıyla yardımcı tedavi olarak kullanılmaya başlanmıştır(Malcangi et al., 2025). Yüksek biyouyumlulukları sayesinde polisakkaritler, dental implant yüzeylerinden pulpa dokusuna kadar geniş bir yelpazede doku dostu malzemeler geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Sonuç olarak, polisakkaritlerin diş hekimliğinde kullanımı hem sert doku (diş minesi, dentin, kemik) hem de yumuşak doku (gingiva, ağız mukozası) hastalıklarının tedavi ve önlenmesinde umut vadeden bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır.

2. POLİSAKKARİTLERİN SINIFLANDIRILMASI VE ÖZELLİKLERİ

Polisakkaritler farklı kriterlere göre sınıflandırılabilir. Kaynağa göre sınıflandırma, diş hekimliğinde önemli olan birçok polisakkaritin kökenini vurgular. Örneğin deniz canlılarından elde edilen kitosan, kahverengi alglerden elde edilen alginat ve fukoidan, hayvansal dokulardan elde edilen hyaluronik asit ve bitkisel hücre duvarlarından elde edilen selüloz bu sınıflamanın örnekleridir(Paradowska-Stolarz, Wieckiewicz, Owczarek, & Wezgowiec, 2021).

Polisakkaritler ayrıca kimyasal yapılarına göre homopolisakkaritler (tek tip monosakkarit biriminden oluşanlar, örneğin selüloz ve nişasta hep glukoz birimlerinden oluşur) ve heteropolisakkaritler olarak ayrılabilir. Moleküler yapı açısından dallanma derecesi ve fonksiyonel gruplarının varlığı da özelliklerini belirler(Mohammed, Naveed, & Jost, 2021). Örneğin, fukoidan sülfatlanmış bir heteropolisakkarittir ve yüksek sülfat içeriği ona belirgin biyolojik aktiviteler kazandırır(Hudiyati, Sunarintyas, Ardhani, & Isnansetyo, 2024). Kitosan ise kısmen deasetile edilmiş bir kitin türevidir olup pozitif yüklü amin grupları sayesinde mikrop yüzeylerine tutunma ve antibakteriyel etki gösterme özelliğine sahiptir(Qu et al., 2023).

Polisakkaritlerin genel özellikleri arasında su tutucu olma, jel oluşturabilme, adezyon ve biyobozunurluk sayılabilir. Örneğin alginat kalsiyum iyonları varlığında hızla jelleşir ve bu özelliği onu hem biyomalzeme hem de geleneksel ölçü maddesi olarak değerli kılar(Alipour et al., 2021). Selüloz ise kristalin yapıda, yüksek mekanik dayanıklılığa sahip bir lifli polisakkarittir(Marinho, 2025); suda çözünmese de kimyasal modifikasyonlarla türevleri (ör. karboksimetil selüloz) suda çözünebilen ve jel oluşturabilen formlara dönüştürülebilir(M. S. Rahman et al., 2021).

Polisakkaritler doğal veya sentetik kaynaklı olabilir; doğal olanlar genellikle yenilenebilir ve ucuz kaynaklardan elde edilirken, sentetik polisakkaritler veya modifiye edilmiş türevler laboratuvar koşullarında istenen özelliklere göre tasarlanabilir. Sentetik türevler arasında çeşitli kimyasal modifikasyonlarla elde edilen yarı sentetik polisakkaritler (ör. hidroksietil selüloz, sülfatlanmış kitosanlar vb.) ile tamamen yapay yollarla polimerize edilmiş karbonhidrat polimerleri sayılabilir. Bununla birlikte, karmaşık stereokimyaları nedeniyle polisakkaritlerin tam sentetik üretimi zordur; bu sebeple çoğu zaman doğal polisakkaritlerin kimyasal modifikasyonları tercih edilmektedir(Benalaya, Alves, Lopes, & Silva, 2024).

3. DIŞ HEKİMLİĞİNDE DOĞAL POLİSAKKARİTLER

Diş hekimliğinde en çok araştırılan doğal polisakkaritler, kaynaklarına bağlı olarak farklı özellikler sunarlar. Bu bölümde kitosan, alginat, hyaluronik asit, fukoidan, dekstran ve selüloz türevleri ayrı alt başlıklar halinde incelenecektir. Bu polisakkaritlerin her biri gerek tek başlarına gerekse diğer malzemelerle kompozit halinde, restoratif diş hekimliği ve

biyomalzeme uygulamalarında önemli potansiyele sahiptir(Alsalhi, 2024).

3.1. Kitosan

Kitosan, kabuklu deniz canlılarının kitininden elde edilen doğal bir polimerdir. Kısmen deasetilasyon yoluyla kitinden üretilen kitosan, fizyolojik pH'ta pozitif yüklü amino grupları taşıyan benzersiz bir polisakkarittir. Bu katyonik yapısı, kitosana antibakteriyel ve biyoadeziv özellik kazandırır. Bakteri hücre duvarları genellikle negatif yüklü olduğundan kitosan onlara bağlanarak hücre zarı bütünlüğünü bozabilir ve plak oluşumunu engelleyebilir. Nitekim kitosanın diş çürüğünün önlenmesi ve plak biyofilmine karşı etkileri yoğun şekilde araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar, kitosan bazlı vernik veya jellerin *Streptococcus mutans* gibi çürük etkeni bakterilerin biyofilm oluşturmalarını engelleyebildiğini ve başlangıç düzeydeki mine lezyonlarında yeniden mineralizasyonu teşvik edebildiğini göstermiştir. Bu sayede kitosan, yeni nesil anti-karyojenik (çürük önleyici) ajanlar arasında öne çıkmaktadır(Qu et al., 2023).

Kitosan aynı zamanda doku mühendisliği ve rejeneratif tedavilerde dikkat çekicidir. Biyobozunur ve hücre dostu bir iskele malzemesi olarak, dental pulpa dokusunun veya kemik dokusunun rejenerasyonunda kitosanlı hidrojel ve membranlar kullanılmaktadır(Aguilar et al., 2019). Örneğin, kitosan içerikli membranlar pulpa üzerini örterek pulpa korumasında (doğrudan kaplama) denenmiştir. Kitosanın hemostatik etkisi de vardır; bu nedenle pulpa kanamasını kontrol altına almak ve yara iyileşmesini hızlandırmak amacıyla kullanılabilir. Ayrıca, kitosan nanoparçacıkları ilaç taşıyıcı olarak da değerlidir: Antibiyotikler veya florür gibi ajanlar kitosan nanopartiküllerine yüklenerek diş yüzeyine veya periodontal ceplere yavaş salınımlı şekilde ulaştırılabilir(Qu et al., 2023).

Restoratif malzemelere katkı olarak kitosan kullanımı da araştırılmıştır. Cam iyonomer simanlar (CİS) ve kompozit rezinlere belirli oranlarda kitosan eklendiğinde malzemelerin hem antibakteriyel özelliklerinin arttığı hem de mekanik dayanımlarının korunduğu hatta bazen iyileştiği bildirilmiştir. Yapılan çalışmada %10 oranında kitosan ilavesiyle modifiye edilen cam iyonomer, *Streptococcus mutans* ve *Lactobacillus* bakterilerinin gelişimini belirgin şekilde engellerken basınç dayanımında da artış göstermiştir(Mishra, Pandey, & Manickam, 2017). Bu tür kitosan-modifiye restoratif materyaller, özellikle ART (atravmatik restoratif tedavi) yaklaşımlarında rezidual bakterileri baskılamak ve ikincil çürük riskini azaltmak açısından ilgi çekmektedir.

Özetle kitosan; antimikrobiyal, biyoyumlu ve çok yönlü bir polisakkarit olarak diş hekimliğinde hem önleyici (örn. çürük önleme, plak kontrolü) hem de tedavi edici (örn. rejenerasyon, restoratif modifikasyon) alanlarda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu özellikleri kitosanı, geleceğin dental biyomalzemelerinde vazgeçilmez bir bileşen adayı kılmaktadır(Qu et al., 2023).

3.2. Alginat

Alginat, esasında kahverengi deniz alglerinden (örn. *Laminaria* türleri) elde edilen doğal anyonik bir polisakkarittir. Kimyasal olarak β -D-mannuronik asit ve α -L-guluronik asit monomerlerinin oluşturduğu bir kopolimerdir. Alginatın en önemli özelliği, su içinde çözündüğünde ve kalsiyum gibi multivalan katyonlarla karşılaştığında hızla iyonik çapraz bağlanma sonucu jel oluşturmasıdır(M. M. Rahman et al., 2024). Bu kabiliyeti sayesinde alginat, uzun yıllardır diş hekimliğinde ölçü maddesi olarak kullanılmaktadır. Toz haldeki sodyum alginat, su ve kalsiyum sülfat içeren karışımda kalsiyum alginata dönüşerek hızlıca elastik bir jel (ölçü) halini alır(Hamrun

et al., 2022). Alginat ölçüler, diş hekimliğinde protetik ölçü alma açısından en yaygın kullanılan malzemelerdendir.

Alginatın kullanım alanları ölçü ile sınırlı kalmamıştır. Biyotıp alanında alginat, hücre veya ilaç taşıyan hidrojeller ve mikrokapsüller oluşturmak için sıkça başvurulan bir polimerdir. Diş hekimliği uygulamalarında da alginat esaslı hidrojel ve iskele yapılar, özellikle doku mühendisliği ve ilaç salım sistemleri için araştırılmaktadır (Sahoo & Biswal, 2021). Örneğin dental kök kanal tedavisi sonrası kök kanal boşluğuna hücre yerleştirmek amacıyla alginat mikrokapsüller kullanılarak kök dentininde rejenerasyon sağlanmaya çalışıldığı bildirilmiştir. Yine, dental pulpa kök hücrelerinin alginat-jelatin mikrokapsüller içinde üç boyutlu kültürü ile kemik/dentin dokusu benzeri oluşumların teşvik edildiği çalışmalar mevcuttur (Alipour et al., 2021). Alginat mikrokapsüller, hücrelere uygun bir mikroçevre sağlayarak pulpa veya kemik gibi dokuların onarımında rol alabilir.

Alginat aynı zamanda yaraların örtülmesi ve ilaç taşıma amacıyla da değerlidir. Kalsiyum alginat köpük veya sargıların, tıbbi alanda kronik yara pansumanlarında kullanıldığı bilinmektedir; benzer şekilde ağız içi cerrahi yaralarında da nemli bir iyileşme ortamı sağlamak üzere alginat bazlı örtüler test edilmektedir. Özellikle, çekim yaraları veya periodontal cerrahi sonrası alginat içeren gargaralar ya da jeller, kanamayı kontrol altına alma ve epitelizeasyonu hızlandırma potansiyeline sahiptir (Hampton, 2004; Matthew, Browne, Frame, & Millar, 1994).

Diş hekimliğinde doğal bir polisakkarit olan alginatın avantajları; biyouyumluluğu, düşük maliyeti ve kolay uygulanabilirliği olarak özetlenebilir. Nitekim literatürde alginatın ilaç taşıma, doku iskeleleri ve dental ölçü maddesi gibi pek çok alanda yaygın kullanıldığı belirtilmektedir. Gelecekte

alginatın kimyasal modifikasyonları ile dental doku iyileşmesini hızlandıran veya antimikrobiyal özellik gösteren özel hidrojel formları geliştirilebilir.

3.3. Hyaluronik Asit

Hyaluronik asit (HA), omurgalı canlıların bağ dokularında (örneğin sinoviyal sıvı, deri, vitreus) bulunan doğal bir glikozaminoglikandır. Kimyasal olarak tekrar eden D-glukuronik asit ve N-asetil-D-glukozamin disakkarit ünitelerinden oluşur. Vücutta özellikle eklem sıvılarında ve ekstrasellüler matrikste yüksek konsantrasyonda bulunan HA, su tutucu ve viskoelastik özellikleri sayesinde doku hidrasyonu ve lubrikasyonunda kritik rol oynar. Diş hekimliğinde hyaluronik asit son yıllarda periodontal tedaviler ve cerrahi uygulamalar başta olmak üzere pek çok alanda popülerlik kazanmıştır(Gupta, Lall, Srivastava, & Sinha, 2019).

Periodontoloji alanında, periodontitis tedavisinde kök yüzeyi düzleştirme (küretaj) işlemine ek olarak topikal hyaluronik asit jellerinin uygulanmasının tedavi sonuçlarını iyileştirdiği gösterilmiştir(Malcangi et al., 2025). HA'nın anti-enflamatuvar ve yara iyileştirici etkileri sayesinde periodontal ceplerde bağ dokusu iyileşmesini hızlandığı, klinik ataçman seviyelerini artırdığı ve cep derinliklerini geleneksel tedaviye kıyasla daha fazla azalttığı çeşitli klinik çalışmalarda bildirilmiştir(Brignardello-Petersen, 2020; Pilloni et al., 2021). HA uygulamasının periodontal cerrahi sonrasında doku iyileşmesini hızlandığı ve operasyon sonrası rahatsızlıkları azalttığı belirtilmektedir(Bhati et al., 2022).

Hyaluronik asit aynı zamanda oral cerrahi ve implantoloji alanlarında da yardımcı bir ajan olarak kullanılmıştır. Diş çekimi sonrasında sokete uygulanan HA jelinin, çekim yarasının daha hızlı epitelleşmesine ve kemik dolumuna katkı sağladığı rapor edilmiştir. Diyabetik veya riskli

hastalarda bile, HA takviyesinin erken dönem iyileşme kalitesini artırabildiğine dair bulgular vardır. Ayrıca, yumuşak doku greftleri veya frenektomi gibi küçük cerrahi işlemler sonrasında HA içeren jel ve spreylere kullanımı, ödem ve ağrıyı azaltarak hastaların konforunu yükseltebilir. HA'nın bir diğer potansiyel uygulaması da TMJ (temporomandibular eklem) rahatsızlıkları tedavisidir. Eklem içine yapılan viskoz takviye enjeksiyonlarında HA kullanımı denenmiş, ancak bu alandaki sonuçlar karışıktır; bazı çalışmalarda ağrı ve fonksiyonda iyileşme görülürken bazılarında plasebo veya steroid enjeksiyonlarından fark gözlenmemiştir. Bu nedenle, TMJ uygulamalarında HA'nın yeri hala netleşmemiştir(Malcangi et al., 2025).

Özetle, hyaluronik asit diş hekimliğinde özellikle periodontal ve oral cerrahi yara iyileşmesini destekleyen, doku dostu bir polisakkarit olarak ön plana çıkmaktadır. Biyouyumluluğu çok yüksek olduğundan, yan etki riski düşüktür ve diğer tedavilere destekleyici bir ajan olarak güvenle kullanılabilir. Günümüzde piyasada periodontal jeller, ağız gargaraları ve topikal ağız spreylere şeklinde çeşitli HA ürünleri mevcuttur ve bunlar klinisyenler tarafından tamamlayıcı tedavi olarak tercih edilmektedir.

3.4. Fukoidan

Fukoidan, kahverengi deniz yosunlarının (özellikle *Fucus vesiculosus*, *Undaria pinnatifida* gibi türlerin) hücre duvarlarından izole edilen, sülfat grupları içeren kompleks bir polisakkarittir. Yapısında ağırlıklı olarak L-fukoz ve sülfat esterleri bulunur. Sülfatlı polisakkarit yapısı fukoidana belirgin biyolojik aktiviteler kazandırır: bunlar arasında antienflamatuvar, antioksidan, antiviral ve antikoagülan etkiler çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur. Son dönemde,

fukoidan'ın diş hekimliği alanındaki terapötik potansiyeli de araştırma konusu olmuştur(Hudiyati et al., 2024).

Fukoidan, özellikle oral hastalıkların önlenmesi ve tedavisi bağlamında çok yönlü etkiler sergileyebilir. Örneğin fukoidan'ın deneysel olarak diş çürüğü oluşturan bakterilere karşı antibakteriyel ve biyofilmi engelleyici etkileri rapor edilmiştir. Polisakkaritlerin plak biyofilmine etkisi incelenmiş ve sadece *Fucus vesiculosus* kaynaklı fukoidanın, *S. mutans* ve *S. sobrinus* gibi çürük yapıcı bakterilerin biofilm oluşumunu engellediği gözlenmiştir. Fukoidan konsantrasyonları 500 µg/mL ve üzeri seviyesinde bu bakterilerin büyümesini baskılamış, ayrıca *Candida albicans* gibi funguslara karşı da aktivite göstermiştir. Bu bulgular, fukoidan'ın ağızda plak oluşumunu engelleme ve karyojenik mikroorganizmalara karşı koruyucu bir etki sağlayabileceğini düşündürmektedir(Hudiyati et al., 2024).

Diş pulpası koruması ve rejenerasyonu da fukoidan araştırmalarının bir diğer odak noktasıdır. Derin çürüklerde veya pulpa maruziyetinde kullanılan doğrudan pulpa kaplama materyallerine fukoidan eklenmesinin, bu materyallerin performansını artırabileceği bildirilmiştir(Hudiyati et al., 2024). Özellikle mineral trioksit agregatına (MTA) düşük oranda (%5-10) fukoidan ilavesinin, MTA'nın sertleşme süresini kısalttığı, hücre göçünü ve alkalin fosfataz aktivitesini artırdığı gösterilmiştir. Bu sayede fukoidan ilaveli MTA, pulpal canlılığın korunmasında ve tamir dentini oluşumunda standart kaplama maddelerine faydalı bir destek sunabilir(M. Kim et al., 2022).

Fukoidan'ın kemik rejenerasyonu ve periodontal iyileşme alanlarında da potansiyeli bulunmaktadır. Periodontal defektlerin tedavisinde, kitosan ile birlikte fukoidan içeren enjekte edilebilir hidrojel uygulamasının 3-6 aylık klinik takipte cep derinliklerini azalttığı ve ataçman seviyelerini artırdığı gösterilmiştir(Eshwar et al., 2023). Ayrıca, fukoidan'ın kalsiyum fosfat seramikler veya

diğer polimerlerle kombine edilmesi, osteojenik farklılaşmayı teşvik edebilmektedir. Örneğin, fukoidan ilavesinin kemik hücrelerinde osteokalcin üretimini artırarak kemik oluşumunu hızlandırdığı belirlenmiştir(Kwack, Ji, Park, & Heo, 2022).

Son olarak, fukoidan'ın oral kanser ve mukozal lezyonlar üzerinde de incelendiğini belirtmek gerekir. Anti-anjiyogenik ve anti-tümör özellikleri sayesinde, ağız kanseri hücre hatlarında fukoidan'ın büyümeyi engelleyici etkileri saptanmıştır. Ayrıca, oral mukozit veya liken planus gibi kronik inflamatuvar durumlarda, fukoidan içeren gargaraların veya jellerin iyileşmeyi hızlandırabileceği ve semptomları azaltabileceği ileri sürülmektedir(Hudiyati et al., 2024). Halen bu konularda klinik kanıtlar sınırlı olsa da, fukoidan'ın çok yönlü biyolojik etkileri diş hekimliği pratiğinde farklı amaçlarla kullanılabileceğine işaret etmektedir.

3.5. Dekstran

Dekstran, glukoz monomerlerinden α -1,6 glikozidik bağlarla oluşan ve dallanmalar içerebilen bir polisakkarittir. Genellikle *Leuconostoc* türü laktik asit bakterileri tarafından sakarozdan sentezlenir(Lanvers, Broeker, & Schmid, 2025). Tarihsel olarak dekstran, tıbbi alanda plazma genişletici olarak kullanılmış ve farmasötik bir eksipiyen olarak yer edinmiştir. Diş hekimliği açısından ise dekstran, iki farklı bağlamda önem taşır: oral mikrobiyoloji ve biyomalzeme uygulamaları.

Oral mikrobiyolojide dekstran, diş plağının ana bileşenlerinden biri olarak karşımıza çıkar. *Streptococcus mutans* gibi karyojenik bakteriler, diyetteki sakkarozu fermentasyonla laktik aside dönüştürürken aynı zamanda dekstran tipi ekstraselüler polisakkaritler sentezlerler. Bu yapışkan glukanlar, bakteri kolonilerinin diş yüzeyine tutunmasını ve plağın olgunlaşmasını sağlar. Dolayısıyla dekstran, bir yandan çürük patogenezinde rol alan bir polisakkarittir. Laboratuvar ortamında

elde edilen dekstran, plak oluşumunu önlemek amacıyla bir inhibitör olarak da incelenmiştir. Yüksek molekül ağırlıklı dekstranların varlığında *Streptococcus mutans* hücrelerinin aglütinasyona uğradığı ve plağa tutunma kapasitelerinin azaldığı gösterilmiştir. Bu nedenle, dekstran ya da dekstran türevleri, anti-plak stratejilerde rekabetçi inhibitörler olarak araştırılmıştır(Gibbons & Fitzgerald, 1969).

Biyomalzeme uygulamalarında dekstran, özellikle hidrojel ve mikroparçacık formunda karşımıza çıkar. Doğal haliyle suda çözünebilen ve viskoz çözeltiler oluşturan dekstran, kimyasal modifikasyonlarla çapraz bağlanabilir ve böylece yavaş bozulan hidrojeller elde edilebilir. Dekstran bazlı hidrojeller, kontrollü ilaç salımı ve doku mühendisliği iskeleleri için yoğun şekilde incelenmiştir. Örneğin, bazı çalışmalar dekstran polimerlerinin biyobozunur implant kaplamaları ya da kemik grefti taşıyıcıları olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Dekstranın in situ jelleşebilen türevleri geliştirilmiş; uygun koşullarda sıvı halde enjekte edilip dokuda jelleşerek hücre veya ilaç taşıyan yapılar oluşturmaları sağlanmıştır(Sun & Mao, 2012). Ayrıca, kemik doku mühendisliğinde dekstran kullanılan çeşitli iskele sistemlerinin, prelinik çalışmalarda başarılı sonuçlar verdiği rapor edilmiştir. Bu tür iskeleler, kemik rejenerasyonunu desteklemek üzere fonksiyonelleştirilmiş, çapraz bağlı dekstran türevlerini içermektedir(Ahmed Omar, Amédée, Letourneur, Fricain, & Fenelon, 2022).

3.6. Selüloz Türevleri

Selüloz, doğada en bol bulunan biyopolimer olup bitkilerin hücre duvarlarının ana yapı taşıdır. Glukoz monomerlerinin β -1,4 bağlarıyla lineer şekilde polimerleşmesi sonucu oluşur ve insan vücudu tarafından sindirilemez. Doğal selüloz suda çözünmediği ve insan enzimlerine dirençli olduğu için diş hekimliği materyallerinde doğrudan kullanımı

kısıtlıdır(Aziz et al., 2022). Ancak selülozun kimyasal modifikasyonu ile elde edilen türevleri ve selülozun bakteriyel kaynaklı biçimleri (bakteriyel nanoselüloz gibi) diş hekimliğinde oldukça ilgi çekmektedir.

Karboksimetil selüloz (KMS), hidroksietil selüloz (HES), metil selüloz gibi selüloz türevleri, suyu seven (hidrofilik) ve jel oluşturabilen özellikleriyle pek çok ağız bakım ürünü ve farmasötik formülasyonda yer alır(Vranic, Lacevic, Mehmedagic, & Uzunovic, 2004). Özellikle KMS (selüloz gam olarak da bilinir), diş macunlarında kıvam artırıcı olarak yaygın kullanımdadır. KMS, diş macununun homojen ve stabil kalmasını sağlar, ayrışmasını engeller. Benzer şekilde, ağız içi gargaralar veya topikal jeller de uygun viskozite kazandırmak için selüloz türevleri içerir. Örneğin, aft tedavisinde kullanılan bazı oral jellerin yapışkan bazında KMS ve pektin kombinasyonu bulunmaktadır; bu baz, ilacın lezyon üzerinde daha uzun süre kalmasına yardımcı olur(M. S. Rahman et al., 2021).

Bakteriyel selüloz (BS), *Acetobacter xylinum* gibi bakteriler tarafından üretilen, yüksek saflıkta ve yüksek mekanik mukavemete sahip bir selüloz formudur. Bakteriyel nanofibrillerin üç boyutlu ağ yapısı, BS'ye oldukça yüksek su tutma kapasitesi ve esneklik kazandırır. Diş hekimliği alanında BS son yıllarda dikkate değer bir biyomateryal haline gelmiştir. Yapılan çalışmalar, bakteriyel selüloz membranların diş pulpası rejenerasyonu, periodontal doku rejenerasyonu ve oral yara örtüsü olarak kullanılma potansiyelini vurgulamaktadır. Örneğin, kök kanal tedavisinde kanalları kurutmak ve dezenfekte etmek için BS bazlı emici şeritler test edilmiş; bu şeritlerin tam sterilizasyon sağlama ve kanalları geleneksel kağıt konilere göre daha iyi kurutma özelliği olduğu belirtilmiştir. Yine, periodontal cep içi uygulamalarda BS'den üretilen nanofiber zarların, doku dostu bir bariyer olarak rejenerasyonu destekleyebileceği öne

sürülmüştür(Cañas-Gutiérrez, Osorio, Molina-Ramírez, Arboleda-Toro, & Castro-Herazo, 2020).

Selüloz türevleri ayrıca restoratif malzemelerin güçlendirilmesi amacıyla da araştırılmaktadır. Nano-boyutlu selüloz kristalleri veya nanolifleri, kompozit reçine formülasyonlarına eklendiğinde, elde edilen malzemenin mekanik direnç ve elastikiyet modülünü arttırabildiği rapor edilmiştir. Örneğin, bir çalışmada az miktarda (%2) nanoselüloz ilavesinin akıcı kompozitin basınç dayanımını %70'ten fazla artırdığı belirtilmiştir. Bu tür nanokompozitler henüz araştırma aşamasında olsa da, geleceğin restoratif materyallerinde selüloz bazlı nano-dolgu maddelerinin yer alabileceğini göstermektedir(Mohammadzadeh et al., 2024).

Özetlemek gerekirse, selüloz ve türevleri diş hekimliğinde çok yönlü yardımcı malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Formülasyon biliminden doku mühendisliğine kadar geniş bir yelpazede kullanımları söz konusudur. Doğal selülozun dayanıklılığı ile modifiye türevlerin çözünürlük ve yapışkanlık özelliklerini birleştiren bu malzemeler, hem endüstriyel ürünlerde (diş macunu, gargara, protez yapıştırıcı vb.) hem de klinik uygulamalarda (rejeneratif tedaviler, ilaç salım filmleri, yara örtüleri) önem taşımaktadır.

4. DİŞ HEKİMLİĞİNDEKİ UYGULAMALARI

Polisakkaritler, diş hekimliğinin farklı disiplinlerinde çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Restoratif tedavilerden periodontal rejenerasyona, ilaç salımından implant yüzeyi modifikasyonuna kadar pek çok alanda polisakkarit bazlı malzemelerin kullanımı araştırılmaktadır. Polisakkaritler diş çürüğüyle mücadele eden endodontik tedavilere, periodontal doku yenilenmesinden protetik ölçü malzemelerine kadar geniş bir yelpazede rol oynayabilir. Aşağıda, bu uygulamalar alt başlıklar halinde

incelenmiş ve her birinde polisakkaritlerin spesifik katkıları ele alınmıştır.

4.1. Restoratif Materyaller

Restoratif diş hekimliğinde kullanılan dolgu ve yapıştırıcı materyaller, genellikle polimer esaslı kompozitler veya cam iyonomer simanlar gibi malzemelerdir. Polisakkaritler, bu materyallerin hem mekanik hem biyolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla katkı olarak eklenebilmektedir. Örneğin, yukarıda değinildiği gibi kitosan ilavesiyle zenginleştirilmiş cam iyonomer simanlar geliştirilmiştir. Kitosan, cam iyonomerde antibakteriyel bir etki sağlayarak dolgu kenarlarında bakteri üremesini azaltır ve sekonder çürük riskini düşürür(Mishra et al., 2017). Aynı zamanda uygun oranda eklendiğinde cam iyonomerin basınç ve eğilme dayanımlarında iyileşme sağlayabildiği de gösterilmiştir. Benzer şekilde gümüş nanoparçacık kaplı kitosan kombinasyonları, restoratif simanlara eklenerek sinerjik bir antimikrobiyal etki elde edilmeye çalışılmaktadır(Hussein & Kareem, 2024).

Kompozit rezinlerde de polisakkarit katkı çalışmaları mevcuttur. Özellikle nanopartikül boyutlu selüloz kristalleri, kompozitlerin matrisine eklendiğinde dolgunun mekanik dayanıklılığını artırdığı ve polimerizasyon büzülmesini azaltabildiği rapor edilmiştir. Nanoselüloz, yüksek modüllü ve biyoaktif bir dolgu maddesi olarak kompozit reçinelerdeki geleneksel silika partiküllerine alternatif olabilir. Ayrıca nanoporoze yapısı sayesinde florür gibi iyonları taşıyarak remineralizasyon yeteneği kazandırma potansiyeli de vardır. Bununla birlikte, nanopolimer katkılarının klinik uygulamaya geçebilmesi için öncelikle malzemenin viskozite, estetik, işlenebilirlik gibi yönlerden optimize edilmesi gerekir(Candan et al., 2022; H. Kim et al., 2024).

Adezyon sistemleri (bonding ajanlar) için de polisakkaritler gündeme gelmektedir. Düşük oranda kitosan nanoparçacık eklenerek adeziv rezinin bağlanma performansının arttırılması ve antibakteriyal bir özelliğe sahip olması sağlanmıştır. Bu tip bir adeziv, dentin tübülleriindeki bakteri kalıntılarını nötralize ederek pulpa irritasyonunu azaltabilir ve bağlanma sınırında çürük gelişme riskini düşürebilir(El-Din, El-Banna, & Hussein, 2023; Qu et al., 2023).

Protetik restorasyonlarda kullanılan bazı materyaller de polisakkaritlerden yararlanır. En bilinen örnek, alginat ölçü maddeleridir ki bunlar direkt olarak alglerden elde edilen bir polisakkaritin dental uygulamasıdır. Ayrıca, akrilik protez baz rezinlerine selüloz veya kitosan türevleri ekleyerek antifungal özellik kazandırma üzerine araştırmalar bulunmaktadır (örn. *Candida albicans* yapışmasını engellemek için).(Gondim et al., 2018)

Özetle, restoratif alanda polisakkaritlerin rolü iki yönlüdür: Birincisi, var olan restoratif materyallerin modifiye edilerek biyofonksiyonel hale getirilmesi (antibakteriyel, remineralize edici, vb.), ikincisi ise tamamen yeni biyobozunur restoratif malzemelerin geliştirilmesidir. Henüz klinikte tam biyobozunur dolgu malzemeleri kullanıma girmemiş olsa da, araştırmalar örneğin kalsiyum-fosfat ve polisakkarit bazlı geçici dolgular veya rejeneratif dolgular üzerinde yoğunlaşmaktadır. Polisakkaritlerin uyumlu ve çok yönlü doğası, onları restoratif materyal inovasyonlarının vazgeçilmez bir parçası yapmaktadır.

4.2. Doku Mühendisliği

Doku mühendisliği, hasarlı veya kayıp dokuların yenilenmesi amacıyla hücre, biyomalzeme ve biyolojik moleküllerin bir araya getirildiği multidisipliner bir alandır. Polisakkaritler, doku mühendisliğinde iskele malzemesi olarak sıkça tercih edilmektedir çünkü doğada hücre dışı matriksin bazı

fonksiyonlarını taklit edebilecek özelliklere sahiptirler. Diş hekimliğinde doku mühendisliği yaklaşımları özellikle dental pulpa, periodontal ligament, kemik ve mukoza dokularının rejenerasyonuna odaklanır.

Polisakkarit bazlı hidrojel ve gözenekli yapılar, canlı hücrelerin yapışıp çoğalabileceği ve farklılaşabileceği yapay bir mikroçevre sunar. Örneğin, dental pulpa rejenerasyonu için kitosan/alginat hidrojelinde dental kök hücrelerin üç boyutlu kültürü üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu hidrojel, pulpa boşluğuna enjekte edilebilir ve içerisine yüklenen büyüme faktörleri ile birlikte kök kanalında yeni dentin/pulpa kompleksinin oluşumunu teşvik edebilir(Tang et al., 2020). Periodontal doku mühendisliği alanında ise GTR membranları önemli yer tutar. Kollajen esaslı mevcut membranlara alternatif olarak, bakteriyel selüloz membranlar veya kitosan/PGA (polyglycolic acid) karmaları gibi polisakkarit ağırlıklı membranlar geliştirilmektedir. Bu membranlar, kök yüzeyini çevre dokulardan izolasyon sağlayarak periodontal ligament ve kemik hücrelerinin yenilenmesi için rehberlik eder(Amin et al., 2022; Bokhari et al., 2023).

Kemik mühendisliğinde fukoidan ve dekstran gibi polisakkaritlerin kalsiyum-fosfat seramiklerle kombinasyonu, osteojenik farklılaşmayı artırmak için incelenmiştir(Hudiyati et al., 2024). Örneğin, fukoidan katkılı β -TCP/kolajen iskelelerde mezenkimal kök hücrelerin kemik oluşturma potansiyelinin yükseldiği görülmüştür. Pullulan-dekstran bazlı kemik yamaları da hayvan modellerinde kemik onarımını hızlandırma başarısı göstermiştir. Bu iskelelerde polisakkaritlerin çapraz bağlanma derecesi, gözeneklilik ve bozunma hızı gibi parametreler hücre cevabını etkilemektedir(Ahmed Omar et al., 2022).

Ağız mukozası gibi yumuşak dokular için de polisakkaritlerden yararlanılır. Hyaluronik asit bazlı iskeleler

veya membranlar, örneğin damak mukozasındaki defektlerin iyileşmesinde kullanılabilir(Nabiyi, Jenabian, Kazemi, Moghadamnia, & Seyedmajidi, 2024). HA'nın hücre migrasyonunu ve anjiyogenezi destekleyici rolü, yumuşak doku mühendisliği için avantajdır. Yine, biyobozunur dikiş materyalleri de doku mühendisliğine yakın konulardan biridir; bu dikişler hem yara iyileşmesini hızlandırmak hem de enfeksiyonu önlemek üzere tasarlanmaktadır(Zhu et al., 2024).

Doku mühendisliği uygulamalarında polisakkaritlerin temel avantajları; hücre dostu olmaları, bozunma ürünlerinin genelde toksik olmaması ve pek çok biyolojik aktif grup taşıyabilmeleridir. Zorluklar ise mekanik dayanım düşüklüğü ve istenen süre boyunca yapıyı koruma gerekliliğidir. Bu nedenle çoğu zaman polisakkaritler, sentetik polimerler veya seramiklerle kombine edilerek hibrit iskeleler oluşturulur.

Sonuç olarak, diş hekimliğinde doku mühendisliği perspektifinden polisakkaritler, rejeneratif tedavilerin kilit bileşenleri olarak görülmektedir. Pulpadan kemiğe pek çok dokunun kendi kendini tamir gücünü, uygun biyomalzemeler desteğiyle artırmak mümkündür ve polisakkaritler bu amaçla elimizdeki en güçlü araçlardır.

4.3. İlaç Taşıma Sistemleri

Ağız boşluğunda ve diş dokularında lokal tedavi gerektiren durumlarda, ilacın hedef bölgeye etkin şekilde ulaştırılması ve yeterli süre tutundurulması büyük önem taşır. Polisakkaritler, kontrollü ilaç salım sistemleri tasarımında sıkça kullanılan polimerlerdir. Özellikle ağız ortamında sürekli tükürük akışı ve yutma refleksi nedeniyle uygulanan ilaçların hızla uzaklaşması sorunu, uygun bir taşıyıcı sistemle aşılabılır.

Kitosan bu alandaki en popüler örneklerden biridir. Kitosan nanopartikülleri veya mikropartikülleri içine klorheksidin, antibiyotik, florür, kortikosteroid gibi ajanlar

yüklenerek bunların diş yüzeyine veya periodontal ceplere yavaş salınımlı şekilde verilmesi amaçlanır. Örneğin, periodontitis tedavisinde kitosan nanopartikül taşıyıcı sistemine entegre edilen metronidazol veya doksisisiklin gibi antibiyotikler, cebin içine uygulandığında günlerce salınarak sürekli bir antibakteriyel etki sağlayabilir. Kitosanın mukozal yapışma özelliği de bu parçacıkların hedef bölgede daha uzun süre tutunmasına yardımcı olur(Qu et al., 2023).

Hyaluronik asit bazlı hidrojel sistemler de ilaç taşıyıcı olarak incelenmiştir. Örneğin, ağız kuruluğu yaşayan hastalarda, hyaluronik asit içeren sprey veya jeller hem nemlendirici etki yaparken hem de içine katılan ilaçları yavaş salabilir(Kweon & Han, 2023). Alginat ve pektin gibi polisakkaritler, oral tablet ve film formülasyonlarında kontrollü salım matrisleri olarak da iş görür(Manna et al., 2026).

Nanopartikül boyutunda taşıyıcılarda ise polisakkarit kaplamalar, biyouyumluluk ve hedeflenebilirlik açısından avantaj sunar. Örneğin, kalsiyum florür nanopartikülleri etrafı dekstran veya kitosan ile kaplanarak, diş minesine yüksek afinite gösteren ve kontrollü florı salan akıllı partiküllere dönüştürülebilir. Bu sayede, florür iyonları asit atağı esnasında ortama yavaşça salınarak mine yüzeyinde sürekli bir koruyucu bariyer oluşturabilir(Qu et al., 2023).

Bütün bu örnekler göstermektedir ki, polisakkaritler esnek kimyasal yapıları sayesinde istenen formda (jel, film, nanoparçacık, lif vb.) üretilmekte ve pek çok ilacın lokal uygulanmasında etkin rol oynamaktadırlar. Diş hekimliğinde özellikle lokal antimikrobiyal tedaviler, duyarlılık giderici ajanlar, antiinflamatuvar uygulamalar ve rejeneratif büyüme faktörleri için bu tip kontrollü salım sistemleri geliştirilmesi, hem etkinliği artırmakta hem de sistemik yan etki riskini azaltmaktadır.

5. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Polisakkaritlerin diş hekimliğinde kullanımı giderek artmakta ve bu eğilimin gelecekte daha da güçlenmesi beklenmektedir. Akıllı biyomalzeme yaklaşımının gelişmesiyle birlikte, polisakkarit esaslı materyallerin çevresel koşullara yanıt verebilen, fonksiyonel sistemlere dönüştürülmesi önemli bir hedef hâline gelmiştir.

Rejeneratif diş hekimliği ve üç boyutlu biyobaskı teknolojilerinde polisakkaritlerin temel yapı taşlarından biri olması öngörülmektedir. Özellikle hastaya özel doku iskelelerinin hücrelerle birlikte tasarlanabilmesi, kişiselleştirilmiş doku onarım yaklaşımlarını mümkün kılabilir.

Nanoteknoloji ile entegre edilen polisakkarit sistemleri de geleceğe yönelik önemli fırsatlar sunmaktadır. Hedefe yönelik tedavi yaklaşımlarında polisakkarit kaplı nano-taşıyıcıların, ilaçların istenilen bölgeye kontrollü şekilde ulaştırılmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde, diş dokularında erken hasar bölgelerini tanıyıp koruyucu ajanları salabilen akıllı sistemlerin geliştirilmesi de olasıdır. Bu tür uygulamalarda polisakkaritler, hem biyouyumlu bir kaplama hem de fonksiyonel bir taşıyıcı olarak öne çıkmaktadır.

Polimer kimyasındaki ilerlemelerle birlikte, doğal polisakkaritlerin yerini alabilecek sentetik veya yarı sentetik benzerlerinin geliştirilmesi de gündemdedir. Bu tür yapılar, daha kontrollü özellikler sunarak malzeme standardizasyonu ve raf ömrü gibi avantajlar sağlayabilir.

Gelecekte çok işlevli biyomalzemelerin ön plana çıkması beklenmektedir. Tek bir sistemin aynı anda antibakteriyel, koruyucu ve rejeneratif özellikler taşıması, daha etkili ve biyolojik açıdan uyumlu tedavi yaklaşımlarının önünü açabilir. Bu tür yenilikçi konseptlerin hayata geçirilmesi, farklı disiplinlerin ortak çalışmalarıyla mümkün olacaktır.

Klinik uygulamalar açısından bakıldığında, araştırma aşamasındaki birçok polisakkarit bazlı yaklaşımın zamanla klinik çalışmalara ve ticari ürünlere dönüşmesi beklenmektedir. Bu gelişmeler, diş hekimliğinde daha biyouyumlu, hasta dostu ve çevreyle uyumlu materyallerin kullanımını artıracaktır.

Sonuç olarak, polisakkaritler diş hekimliğinin geleceğinde önemli bir yere sahip olmaya adaydır. Doğal kökenli ve çevreyle uyumlu olmaları, onları modern biyomalzeme anlayışıyla örtüştürmektedir. Bu potansiyelin doğru şekilde değerlendirilmesi, daha güvenli, etkili ve minimal invaziv diş tedavilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Aguilar, A., Zein, N., Harmouch, E., Hafdi, B., Bornert, F., Offner, D., . . . Benkirane-Jessel, N. (2019). Application of chitosan in bone and dental engineering. *Molecules*, 24(16), 3009.
- Ahmed Omar, N., Amédée, J., Letourneur, D., Fricain, J.-C., & Fenelon, M. (2022). Recent advances of pullulan and/or dextran-based materials for bone tissue engineering strategies in preclinical studies: a systematic review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 889481.
- Alipour, M., Firouzi, N., Aghazadeh, Z., Samiei, M., Montazersaheb, S., Khoshfetrat, A. B., & Aghazadeh, M. (2021). The osteogenic differentiation of human dental pulp stem cells in alginate-gelatin/Nano-hydroxyapatite microcapsules. *BMC biotechnology*, 21, 1-12.
- Alsahhi, A. (2024). Applications of selected polysaccharides and proteins in dentistry: A review. *Int J Biol Macromol*, 260(Pt 1), 129215. doi:10.1016/j.ijbiomac.2024.129215
- Amin, N., Siddiqui, U., Muhammad, N., Liaqat, S., Khan, M. A., & Rahim, A. (2022). Advancement of guided tissue regeneration (GTR) membranes for dental applications. *Mater Res Found*, 123, 155-174.
- Aziz, T., Farid, A., Haq, F., Kiran, M., Ullah, A., Zhang, K., . . . Ullah, R. (2022). A review on the modification of cellulose and its applications. *Polymers*, 14(15), 3206.
- Benalaya, I., Alves, G., Lopes, J., & Silva, L. R. (2024). A review of natural polysaccharides: sources, characteristics, properties, food, and pharmaceutical applications. *International journal of molecular sciences*, 25(2), 1322.

- Bhati, A., Fageeh, H., Ibraheem, W., Fageeh, H., Chopra, H., & Panda, S. (2022). Role of hyaluronic acid in periodontal therapy. *Biomedical reports*, 17(5), 91.
- Bokhari, N., Fatima, T., Nosheen, S., Iqbal, F., Moeen, F., & Sharif, F. (2023). Bioactive bacterial cellulose–chitosan composite scaffolds for prospective periodontal tissue regeneration. *Journal of Materials Research*, 38(7), 1952-1962.
- Brignardello-Petersen, R. (2020). Hyaluronic acid may result in benefits in clinical attachment levels and probing depth in patients undergoing periodontal treatment in the short term. *The Journal of the American Dental Association*, 151(2), e10.
- Cañas-Gutiérrez, A., Osorio, M., Molina-Ramírez, C., Arboleda-Toro, D., & Castro-Herazo, C. (2020). Bacterial cellulose: a biomaterial with high potential in dental and oral applications. *Cellulose*, 27(17), 9737-9754.
- Candan, Z., Tozluoglu, A., Gonultas, O., Yildirim, M., Fidan, H., Alma, M. H., & Salan, T. (2022). Nanocellulose: Sustainable biomaterial for developing novel adhesives and composites. In *Industrial applications of nanocellulose and its nanocomposites* (pp. 49-137): Elsevier.
- El-Din, Y. E., El-Banna, A., & Hussein, T. S. (2023). Bonding of chitosan and nanochitosan modified universal adhesive to dentin. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 125, 103432.
- Eshwar, S., Konuganti, K., Manvi, S., Bharadwaj, A. N., Sajjan, S., Boregowda, S. S., & Jain, V. (2023). Evaluation of osteogenic potential of fucoidan containing chitosan

- hydrogel in the treatment of periodontal intra-bony defects—a randomized clinical trial. *Gels*, 9(7), 573.
- Gibbons, R., & Fitzgerald, R. (1969). Dextran-induced agglutination of *Streptococcus mutans*, and its potential role in the formation of microbial dental plaques. *Journal of Bacteriology*, 98(2), 341-346.
- 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.
- Gupta, R. C., Lall, R., Srivastava, A., & Sinha, A. (2019). Hyaluronic acid: molecular mechanisms and therapeutic trajectory. *Frontiers in veterinary science*, 6, 458280.
- Hampton, S. (2004). The role of alginate dressings in wound healing. *Diabet Foot*, 7(4), 162-167.
- Hamrun, N., Talib, B., Ruslin, M., Pangeran, H., Hatta, M., Marlina, E., . . . Ou, K.-L. (2022). A promising potential of brown algae *Sargassum polycystum* as irreversible hydrocolloid impression material. *Marine drugs*, 20(1), 55.
- Hudiyati, M., Sunarintyas, S., Ardhani, R., & Isnansetyo, A. (2024). Therapeutic potential of fucoidan in dentistry: A review. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 13(2), 188-198.
- Hussein, R. M., & Kareem, F. A. (2024). Synergistic antibacterial effect of chitosan/silver nanoparticles modified glass ionomer cement (an in vitro study). *Oxford Open Materials Science*, 4(1), itae013.
- Kim, H., Dutta, S. D., Randhawa, A., Patil, T. V., Ganguly, K., Acharya, R., . . . Lim, K.-T. (2024). Recent advances and

- biomedical application of 3D printed nanocellulose-based adhesive hydrogels: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264, 130732.
- Kim, M., Hayashi, M., Yu, B., Lee, T. K., Kim, R. H., & Jo, D.-W. (2022). Effects of Fucoïdan Powder Combined with Mineral Trioxide Aggregate as a Direct Pulp-Capping Material. *Polymers*, 14(12), 2315.
- Kwack, K. H., Ji, J. Y., Park, B., & Heo, J. S. (2022). Fucoïdan (Undaria pinnatifida)/polydopamine composite-modified surface promotes osteogenic potential of periodontal ligament stem cells. *Marine drugs*, 20(3), 181.
- Kweon, D.-K., & Han, J.-A. (2023). Development of hyaluronic acid-based edible film for alleviating dry mouth. *Food Science and Human Wellness*, 12(2), 371-377.
- Lanvers, P., Broeker, J., & Schmid, J. (2025). Clinical-type dextran: A review on process and enzyme engineering strategies to control molecular weight distribution. *Carbohydrate polymers*, 123783.
- Malcangi, G., Inchingolo, A. D., Trilli, I., Ferrante, L., Casamassima, L., Nardelli, P., . . . Dipalma, G. (2025). Recent Use of Hyaluronic Acid in Dental Medicine. *Materials (Basel)*, 18(8). doi:10.3390/ma18081863
- Manna, S., Nath, N. C., Sarkar, P., Karmakar, S., Gupta, P., Jana, S., . . . Sen, O. (2026). Alginate-based target specific bioadhesive drug delivery systems: a review. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 75(2), 212-238.
- Marinho, E. (2025). Cellulose: A comprehensive review of its properties and applications. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 100283.

- Matthew, I., Browne, R., Frame, J., & Millar, B. (1994). Alginate fiber dressing for oral mucosal wounds. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*, 77(5), 456-460.
- Mishra, A., Pandey, R. K., & Manickam, N. (2017). Antibacterial effect and physical properties of chitosan and chlorhexidine-cetrimide-modified glass ionomer cements. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 35(1), 28-33.
- Mohammadzadeh, I., Eskandarizadeh, A., Yazdanpanah, M., Sheibani, G., Mahmoodi, M., Nekouei, A. H., . . . Sheibani, H. (2024). Effect of modified nanocellulose on improving mechanical properties of flowable dental composite resin. *Inorganic Chemistry Communications*, 161, 112124.
- Mohammed, A. S. A., Naveed, M., & Jost, N. (2021). Polysaccharides; classification, chemical properties, and future perspective applications in fields of pharmacology and biological medicine (a review of current applications and upcoming potentialities). *Journal of Polymers and the Environment*, 29(8), 2359-2371.
- Nabiyi, P., Jenabian, N., Kazemi, S., Moghadamnia, A. A., & Seyedmajidi, S. A. (2024). Effect of Hyaluronic Acid Mucoadhesives on Palatal Wound Healing and Postoperative Discomfort in Free Gingival Graft Surgery: A Clinical Trial. *Frontiers in Dentistry*, 21, 42.
- Paradowska-Stolarz, A., Wieckiewicz, M., Owczarek, A., & Wezgowiec, J. (2021). Natural polymers for the maintenance of oral health: review of recent advances and perspectives. *International journal of molecular sciences*, 22(19), 10337.

- Pilloni, A., Zeza, B., Kuis, D., Vrazic, D., Domic, T., Olszewska-Czyz, I., . . . Dermendzieva, Y. (2021). Treatment of residual periodontal pockets using a hyaluronic acid-based gel: a 12 month multicenter randomized triple-blinded clinical trial. *Antibiotics*, 10(8), 924.
- Qu, S., Ma, X., Yu, S., & Wang, R. (2023). Chitosan as a biomaterial for the prevention and treatment of dental caries: antibacterial effect, biomimetic mineralization, and drug delivery. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1234758.
- Rahman, M. M., Shahid, M. A., Hossain, M. T., Sheikh, M. S., Rahman, M. S., Uddin, N., . . . Hossain, I. (2024). Sources, extractions, and applications of alginate: a review. *Discover Applied Sciences*, 6(8), 443.
- Rahman, M. S., Hasan, M. S., Nitai, A. S., Nam, S., Karmakar, A. K., Ahsan, M. S., . . . Ahmed, M. B. (2021). Recent developments of carboxymethyl cellulose. *Polymers*, 13(8), 1345.
- Sahoo, D. R., & Biswal, T. (2021). Alginate and its application to tissue engineering. *SN Applied Sciences*, 3(1), 30.
- Sun, G., & Mao, J. J. (2012). Engineering dextran-based scaffolds for drug delivery and tissue repair. *Nanomedicine*, 7(11), 1771-1784.
- Tang, G., Tan, Z., Zeng, W., Wang, X., Shi, C., Liu, Y., . . . Ye, X. (2020). Recent advances of chitosan-based injectable hydrogels for bone and dental tissue regeneration. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 587658.
- Vranic, E., Lacevic, A., Mehmedagic, A., & Uzunovic, A. (2004). Formulation ingredients for toothpastes and

mouthwashes. *Bosnian journal of basic medical sciences*, 4(4), 51.

Yang, Z., Liu, W., Liu, H., Li, R., Chang, L., Kan, S., . . . Wang, D. (2022). The applications of polysaccharides in dentistry. *Front Bioeng Biotechnol*, 10, 970041. doi:10.3389/fbioe.2022.970041

Zhu, S., Dou, W., Zeng, X., Chen, X., Gao, Y., Liu, H., & Li, S. (2024). Recent advances in the degradability and applications of tissue adhesives based on biodegradable polymers. *International journal of molecular sciences*, 25(10), 5249.

DİŞ ÇÜRÜKLERİ VE SİSTEMİK HASTALIKLAR ARASINDAKİ İLİŞKİ: GÜNCEL BİR DEĞERLENDİRME

Musa ACARTÜRK¹

İsmail CİHANGİR²

Hatice Zehra BODUR GÜNEY³

1. GİRİŞ

Dünya genelindeki en yaygın hastalıklardan birisi ağız hastalıklarıdır. Ağız hastalıkları çok çeşitli olmakla birlikte, diş çürükleri, periodontal hastalıklar, ağız kanserleri ve diş kayıpları bunlar içerisinde en fazla rastlanılan durumlardandır. Diş çürükleri, bireylerin yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyen ve aynı zamanda sağlık alanında ülkelerin ekonomik yüklerinin artmasına neden olan kronik bir ağız hastalığıdır (Peres vd., 2019). Küresel Hastalık Yüğü 2021 verilerine göre, daimi dişlerdeki tedavi edilmemiş diş çürükleri dünya çapında en yaygın görülen sağlık sorunudur. Ayrıca, düşük ve orta gelire sahip çoğu ülkede ağız sağlığı problemlerinin önlenmesine ve tedavi edilmesine yönelik yeterli imkanın bulunmadığı da bildirilmiştir (WHO, Oral Health, 2025). Bu durum, diş çürüklerinin sadece lokal bir ağız sağlığı problemi olarak değil,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-7386-805X.

² Dr. Öğr. Üyesi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0002-7919-085X.

³ Dr. Öğr. Üyesi, Giresun Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0001-7416-3177.

global bir halk sağlığı problemi olarak da değerlendirilmesi gereken kronik ve yaygın bir hastalık olduğunu göstermektedir.

Diş çürüğü teorisi; çürük yapıcı mikroorganizmalar, bu mikroorganizmaların fermente edebileceği karbonhidratlar, çürüğün oluşabileceği dişler ve belirli bir zaman dilimi olmak üzere dört bileşenin bir araya gelmesi ile açıklanmaktadır (Chen vd., 2020). Ancak, güncel literatürde diş çürükleri sadece diş sert dokularını etkileyen lokalize bir durum değil, konak yanıtı, inflamasyon ve çevresel faktörler ile etkileşimde olan biyolojik bir süreç şeklinde ifade edilmektedir. Bu durum, ağız içerisindeki kronik enfeksiyonların ve inflamasyonların vücudun genel sistemik sağlığı üzerinde etkileri olabileceği yönündeki ifadeleri de desteklemektedir (Sabharwal vd., 2021).

Ağız hastalıkları ile sistemik hastalıklar arasındaki ilişkinin “ortak risk faktörleri yaklaşımı” ile açıklanabileceği literatürde belirtilmiştir. Bireylerin; beslenme alışkanlıkları, sosyoekonomik düzeyleri, stres durumları, kronik hastalıkları, sigara ve alkol kullanma durumları gibi çeşitli etkenler hem diş çürüklerinin oluşumuna hem de diyabet, obezite ve kardiyovasküler hastalıklar gibi farklı sistemik rahatsızlıkların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Sheiham ve Watt, 2000).

Güncel bir çalışmada, tip 2 diyabet hastalığında tükürük akış hızında, tükürüğün içeriğinde ve oral mikrobiyotada meydana gelen değişikliklerin diş çürüğü riskini artırabileceği ifade edilmektedir. Benzer şekilde, tip 2 diyabetten kaynaklanan kronik inflamasyonun hem kardiyovasküler hastalıkların hem de oral enfeksiyonların oluşmasında rol oynayabildiği bildirilmiştir. Her ne kadar, bu konuda periodontal hastalıklar incelenen en sık etken olsa da, artık sistemik sağlık ile diş çürükleri arasındaki etkileşim de incelenmeye başlanmıştır (Zhou vd., 2024).

Toplumun beslenme alışkanlıkları da bu ilişkide önemli rol oynamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü, serbest şeker tüketiminin

diş çürükleri açısından en yaygın risk etkeni olduğunu ve bu tüketimin bulaşıcı olmayan çeşitli hastalıklar açısından da ortak bir risk etmeni olduğunu bildirmiştir (WHO, Sugars and dental caries, 2025). Bu durum, diş çürüklerinin bazı sistemik hastalıklarla sadece biyolojik mekanizmalar üzerinden değil, aynı zamanda paylaşılan davranışsal ve metabolik risk etkenleriyle de ilişkili olabileceğini ortaya koymaktadır.

Bu veriler kapsamında, diş çürükleri ile sistemik hastalıklar arasındaki ilişkinin; biyolojik mekanizmalar, inflamatuvar süreçler ve ortak risk etkenleri üzerinden incelenmesi önem arz etmektedir. Bu bölüm, güncel literatür kapsamında diş çürükleri ile sistemik hastalıklar arasındaki ilişkileri teorik bir perspektifte incelemek ve ilgili konuya dair mevcut bilimsel birikimi ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. DİŞ ÇÜRÜKLERİNİN EPİDEMİYOLOJİK DAĞILIMI

Diş çürükleri, erişkin bireylerde görülen en yaygın kronik hastalıklar arasında bulunmaya devam etmektedir. Küresel Hastalık Yüğü 2017 sonuçlarına göre, kayıt altına alınmış olan yaklaşık 3,5 milyar civarındaki ağız sağlığı problemi vakasının, ortalama 2,3 milyar vakasını kalıcı dişlerdeki tedavi edilmemiş diş çürüklerinin oluşturduğu ve ağız sağlığı vakaları içerisinde en yüksek prevalansa sahip sağlık sorunu olarak yer aldığı raporlanmıştır. Bu rapor, diş çürüklerinin sadece çocukluk çağı sorunu olmadığını ve erişkin bireylerde de bir halk sağlığı problemi olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (GBD 2017 Oral Disorders Collaborators vd., 2020).

Erişkin bireylerdeki ağız sağlığı, genellikle DMFT (Decayed [çürük], Missing [eksik], Filled [restorasyonlu] Teeth [dişler]) indeksi üzerinden değerlendirilmektedir. Bu indekse ait sonuçlar, toplumlar arasında olduğu gibi yaş grupları arasında da

değişkenlik gösterebilmektedir. Şili’de yapılan bir çalışmada, 35-44 yaş aralığındaki bireylerde görülen diş çürüğü oranı kadınlarda ortalama %3,30 erkeklerde %3,44 olarak bildirilmiştir. Aynı çalışmada, 65-74 yaş aralığındaki grupta ise oranlar kadınlarda %1,88 erkeklerde %2,85 olarak bulunmuştur (Quinteros vd., 2014). Dünya üzerindeki 204 farklı bölgeden alınan veriler ile yapılmış başka bir Küresel Hastalık Yüğü çalışmasında ise, tedavi edilmemiş diş çürükleri vaka oranının 2019 yılında en yüksek görüldüğü grubun hem erkeklerde hem de kadınlarda 20 ile 24 yaş aralığındaki grup olduğu saptanmıştır (Qin vd., 2022).

Bireylerin; sosyoekonomik durumları, eğitim düzeyleri ve sağlık hizmetlerine erişebilme imkanları gibi etkenler de diş çürük prevalansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Özellikle, düşük ve orta gelirli ülkelerde hem sosyoekonomik eşitsizliklerin önlenmesi hem de tedavi masraflarının karşılanabilmesi için yeterli olarak ekonomik destek sağlanamaması, ağız hastalıkları oranının yüksek seviyelerde kalmasına neden olmaktadır. Sosyal olarak dışlanmış grupların, yoksul bireylerin ve yaşlıların bu durumdan en fazla etkilenen kişiler olduğu ve sağlık hizmetlerine erişim imkanlarının kısıtlı olduğu bildirilmiştir. Diş çürüklerinin yalnızca biyolojik bir süreç olmadığı, diğer sosyal etkenlerle de bağlantılı olduğu belirtilmektedir (Peres vd., 2019).

Diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar gibi çeşitli kronik rahatsızlıklar bireylerin ağız sağlığı üzerinde etkili olup, diş çürükleri, periodontal hastalıklar ve diş kayıpları oluşma riskini artırabilmektedir. Bununla birlikte, ağız sağlığının kötü olması da sistemik rahatsızlıklarının ilerlemesine neden olabilmektedir. Diyabetli bireylerde, kan şekeri seviyesi yükselir ve insülin fonksiyonu bozulur. Bu durum, kişinin tükürük bileşimini ve ağız mikrobiyomunu etkiler. Dolayısıyla, diş çürüğü oluşması için elverişli bir ortam meydana gelebilmektedir. Diyabetli hastalarda, özellikle kök çürüklerinin daha sık ortaya çıktığı bildirilmiştir. Bu durum, kronik sistemik hastalıkların oral çevreyi

etkileyebileceğini ve diş çürüğü riski üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir (Alkahtani ve Baysan 2025).

Yaşlanma ile beraber ortaya çıkan dişeti çekilmesi ve kök yüzeylerinin ağız boşluğuna açılması, hem erişkin hem de yaşlı nüfusta kök çürüğü oluşma ihtimalini artırmaktadır. Dünya genelinde yaşlı nüfusun giderek artması, kök çürükleri ve yaşlı bireylerin ağız bakımlarının sağlanması konularının ilerleyen dönem içerisinde daha da önem arz eden bir halk sağlığı gündemi haline gelebileceğini ortaya koymaktadır (Imazato vd., 2006).

Bu epidemiyolojik bulgular, diş çürüğü sıklığının; biyolojik, davranışsal ve sosyoekonomik etkenlerin birleşmesi neticesinde ortaya çıktığını belirtmektedir. Diş çürüklerinin sistemik hastalıklarla bağlantısı incelenirken, sadece patofizyolojik mekanizmaların değil, aynı zamanda toplum temelli risk etkenlerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Peres vd., 2019).

3. DIŞ ÇÜRÜĞÜNÜN BİYOPATOGENEZİ

Diş çürüğü, dental biyofilm tabakasında bulunan mikroorganizmaların karbonhidratları fermente etmesi sonucunda ortaya çıkan organik asit üretimi ile başlayan ve diş sert dokularının demineralizasyonuna neden olan dinamik bir süreçtir. Bu süreç, sadece mikrobiyal varlıkla değil, mikrobiyal kompozisyonun, konak faktörlerinin ve çevresel faktörlerin de etkileşimi sonucunda şekillenir. Güncel tanımlamalarda, diş çürüklerinin biyofilm ekolojisindeki dengenin bozulmasıyla ortaya çıktığı ve çok faktörlü bir hastalık olduğu kabul görmektedir (Pitts vd., 2017).

Ağız mikroflorasındaki dengesizlik durumu, ağız hastalıklarının ortaya çıkmasında yakından ilişkilidir. Bireyin şeker tüketimindeki artış, biyofilmde asidürik ve asidojenik

mikroorganizmaların çoğalmasına neden olurken, bu durum pH seviyesinin düşmesine ve mine yüzeyinde mineral kaybı oluşmasına neden olmaktadır. *Streptococcus mutans* ile *Lactobacillus* türleri düşük pH seviyelerine karşı adaptasyon yeteneğine sahip olmalarından dolayı, diş çürüğü oluşumunda önemli rol almaktadır. Mikrofloradaki dengesizlik, biyofilm bileşiminin sağlıklı halden patolojik hale geçmesine neden olmaktadır (Marsh, 2012).

Diş sert dokularında meydana gelen demineralizasyon ile remineralizasyon arasındaki denge, diş çürüğü oluşumunun temel belirleyicisidir. Tükürüğün; akış hızı, tamponlama kapasitesi ve içeriğindeki kalsiyum-fosfat oranları bu dengeyi ayarlayan başlıca faktörlerdir. Dişlerin maruz kaldığı asit ataklarının sıklığı ve sürenin uzunluğu remineralizasyon kapasitesinin yetersiz kalmasına ve diş sert dokularından mineral kaybının gerçekleşmesine yol açmaktadır. Bu biyokimyasal süreç, klinik açıdan bakıldığında dişlerde başlangıç lezyonundan derin kavitelelerin oluşumuna kadar süregelen geniş bir patolojik spektrum oluşturmaktadır (Pitts vd., 2017).

Diş çürüğü patogenezinde, konak yanıtı göz ardı edilemeyen bir etkidir. Tükürüğün temel bileşenlerinden immünoglobulinler (özellikle IgA) ve antimikrobiyal peptidler doğal savunma mekanizması şeklinde biyofilm içeriğini etkileyerek diş çürümesinin engellenmesinde etkili olmaktadır. Ayrıca, kronik sistemik hastalıklar tükürük akış hızında ve tükürük içeriğinde de bir takım değişikliklere neden olarak bu savunma mekanizmalarını olumsuz yönde etkileyebilmekte ve diş çürüğü oluşma riskinin artmasına yol açabilmektedir (Zhou vd., 2024; Alkahtani ve Baysan, 2025; Wu vd., 2020).

Diş çürüklerinin sadece yüzeyel bir demineralizasyon süreci olmadığı ve dentin seviyesinde meydana gelen inflamatuvar cevabın da bu patolojik süreç kapsamında olduğu

belirtilmiştir. Mikroorganizmalara ait ürünlerin dentin tübülleri yoluyla pulpal dokulara iletilmesi, sitokin salınımını başlatarak lokal inflamatuvar cevabın oluşmasına yol açabilmektedir. Bu süreç, diş çürüklerinin yalnızca sert dokudan mineral kaybı ile sınırlı olmadığını, aynı zamanda biyolojik bir mekanizma olduğunu ve muhtemel bir sistemik inflamatuvar yük ile etkileşime girebileceğini ortaya çıkarmaktadır (Pitts vd., 2017).

Bu biyopatogenetik kapsamda, diş çürüklerinin sadece mikrobiyal bir olaydan ibaret olmadığı, konak yanıtının, diyet alışkanlıklarının, tükürük fonksiyonunun ve çevresel etkenlerin birlikte rol oynadığı çok faktörlü ve karmaşık bir patoloji olduğu ortaya konulmaktadır. Dolayısıyla, diş çürüklerinin kronik sistemik hastalıklarla ilişkisi değerlendirilirken, bu çok faktörlü ve karmaşık yapının dikkate alınması gerekmektedir (Sheiham ve Watt, 2000; Zhou vd., 2024; Pitts vd., 2017).

4. ORAL ENFLAMASYON VE SİSTEMİK YAYILIM MEKANİZMALARI

Ağız boşluğu, yoğun mikrobiyal kolonizasyon içeren ve epitel dokunun devamlı olarak mekanik ve kimyasal streslere maruz kaldığı bir ortamdır. Oral enfeksiyonlar ve inflamatuvar mekanizmalar sadece lokal dokular ile sınırlı kalmayıp aynı zamanda sistemik dolaşıma da geçebilmektedir. Ağız kaynaklı inflamasyonların sistemik inflamatuvar yükü artırabileceği ve kronik sistemik rahatsızlıkların patogenezi olumsuz şekilde etkileyebileceği öne sürülmektedir (Rajasekaran vd., 2024).

Diş çürüğü hacmi büyüdükçe, bakteriyel metabolitler ve lipopolisakkaritler gibi bazı hücre duvarı bileşenleri dentindeki tübüller aracılığıyla pulpaya ulaşabilmektedir. Sonrasında, burada bir inflamatuvar cevabı tetiklemektedir. İnflamasyon sürecinde; interlökin-1 α (IL-1 α), interlökin-6 (IL-6), interlökin-8 (IL-8) ve tümör nekroz faktör-alfa (TNF- α) gibi proinflamatuvar

sitokinlerin üretilmesi indüklenmektedir. Bu sitokinler, lokal dokuda savunma yanıtı oluştururken, aynı zamanda vücudun sistemik dolaşımına da karışabilmektedir (Galler vd., 2021).

Sitokinlerin sistemik düzeydeki artışı, kronik düşük dereceli inflamasyon kavramı ile ilişkilendirilmektedir. Kronik düşük dereceli endojen inflamatuvar mekanizması sırasında, bu immün mediatörlerin salınmasının bazı davranışsal değişikliklerin gelişmesine katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Metabolik sendrom, Obezite ve tip 2 diyabet gibi metabolik bozukluklar; kronik düşük dereceli inflamasyonun mevcudiyeti ve sağlıklı davranışsal alışkanlıkların artmış sıklığı ile karakterize edilen klinik durumlara örnek olarak gösterilebilmektedir. Bu bozukluklarda, akut faz proteinlerinin ve proinflamatuvar sitokinlerin (örneğin C-reaktif protein, interlökin-6 ve tümör nekroz faktörü- α) devamlı ancak nispeten düşük seviyelerde artmış üretimi söz konusudur. Bu durum; yorgunluk, uyku bozuklukları, bilişsel performansta düşüş, depresif semptomlar ve ağrı gibi nöropsikolojik belirtilerin de ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Lasselin ve Capuron, 2014).

Oral enflamasyonun, olası sistemik yayılım mekanizmalarından bir tanesi de oral bakteriyemidir. Rutin günlük aktiviteler sırasında bile (örneğin; çiğneme veya diş fırçalama) ağız içerisindeki bakterilerin geçici olarak vücudun kan dolaşımına sistemine karışabildiği belirtilmiştir. Bu durum, sağlıklı kişilerde genellikle kısa süreli ve klinik açıdan önemsiz olsa da, kronik sistemik rahatsızlığı olan kişilerde sistemik inflamatuvar reaksiyonları artabilmesi potansiyeli taşımaktadır (Martins vd., 2024).

Ağız mikrobiyomu; diyet alışkanlıkları, yaşam tarzı, sigara ve alkol tüketimi gibi çeşitli durumlardan etkilenmektedir. Öte yandan, ağız mikrobiyomunun sistemik mikrobiyal denge üzerinde de etkili olabileceği bildirilmektedir. Deri, bağırsak ve

vajina gibi diğer vücut bölgelerinde de olduğu üzere, ağız mikrobiyomu sağlıklı bireylerde çevresiyle olumlu bir kommensal ilişki içerisinde gelişimini sürdürmektedir. Ağız boşluğundaki fırsatçı mikroorganizmaların zararlı patojenlere dönüştüğü ve sistemik dolaşıma geçerek kardiyovasküler hastalıklar, solunum yolu hastalıkları, romatoid artrit, inflamatuvar bağırsak hastalığı gibi kronik sistemik rahatsızlıklara yol açabildiği ifade edilmektedir. Bu durumun, immün yanıtı da uyurabileceği belirtilmektedir. Ağız sağlığının yalnızca lokal olarak değil, bütüncül bir yaklaşımla bağışıklık çerçevesinden değerlendirilmesi önem arz etmektedir (Rajasekaran vd., 2024).

5. DİYABET VE DİŞ ÇÜRÜKLERİ

Sistemik metabolik düzensizlikle karakterize tip 2 diyabet mellitus, insülin fonksiyonunun bozulmasına ve kan şekerinin yükselmesine neden olmaktadır. Diyabetli kişilerde, çeşitli ağız sağlığı sorunlarının ortaya çıktığı bildirilmektedir. Tükürük bileşimi ile ağız mikrobiyomunun olumsuz yönde etkilenmesiyle birlikte, ağız içerisindeki dokular da etkilenmektedir. Son yıllarda, bilhassa erişkin bireylerdeki tip 2 diyabet varlığı ile diş çürüklerinin yaygınlığı arasındaki ilişkinin araştırıldığı birçok çalışma literatüre eklenmiş olup, diyabetli bireylerin DMFT indeks değerlerinin diyabeti olmayan bireylere kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Alkahtani ve Baysan, 2025).

Küresel Hastalık Yüğü 2021 verilerine göre, dünya genelinde yaklaşık 529 milyon kişinin diyabetle yaşadığı ve yaşla birlikte diyabet prevalansının arttığı bildirilmiştir. Diyabet mellitusun, yaygın görülen bazı ağız komplikasyonları bulunmaktadır. Tükürük fonksiyon bozukluğu, tat bozuklukları, diş çürükleri, periodontal hastalıklar, ağız enfeksiyonlarına karşı artan duyarlılık ve yara iyileşmesinin zayıf olması gibi durumlar bunlardan bazılarıdır. Diyabetli bireylerde; tükürük

fonksiyonunun azalması, düşük pH ve tükürük içeriğinin değişmesi gibi etkenler koruyucu etki mekanizmalarını olumsuz yönde etkileyerek diş çürüğü riskinin artmasına yol açabilmektedir. Diyabetli kişilerde, asit üreten ve aside karşı dirençli olan bakterilerin prevalansı daha yüksek olup, bu durum diş çürüğü riskini artırabilmektedir (Zhou vd., 2024).

Diyabet mellitus; sitokin üretiminin, nötrofil aktivitesinin ve konakçı bağışıklık yanıtlarının bozulmasına sebebiyet vererek, konak savunma mekanizmalarını olumsuz şekilde etkileyebilmektedir. Bu durum, diyabetli bireylerin ağız enfeksiyonlarına yatkınlığını ve diş çürüklerinin ilerleme riskini de artırabilmektedir (Chung vd., 2024).

Bilhassa, kontrol altına alınmamış diyabet mellitus, ağız ve sistemik sağlığın ciddi bir şekilde etkilemesi potansiyeline sahiptir. Diyabet, periodontal dokulardaki ataşman kaybı ve dişeti çekilmesi ile ilişki bulunmuştur. Dolayısıyla, diş köklerinin ağız ortamına maruz kalabileceği ve kök çürüklerinin oluşma riskine katkıda bulunabileceği bildirilmiştir. Hayvan deneylerinde, diyabetin diş çürüklerini şiddetlendirdiği saptanmıştır. Bu konuda biyolojik olarak makul açıklamalar mevcut olsa da, diyabet ile kök çürükleri arasındaki ilişkiyi destekleyebilecek yeterli çalışmanın bulunmadığı da bildirilmektedir. Bununla birlikte, literatürdeki çalışmaların tamamen tutarlı olmadığı ve kök çürükleri ile diyabet arasındaki ilişkinin multifaktörlü (diyet alışkanlıkları, sosyoekonomik durum, aşırı diş fırçalama, vs.) yapıda olmasından dolayı dikkatli bir yorumlamanın yapılması gerekmektedir (Garton ve Ford, 2012).

Diyet alışkanlıkları, diyabet ile diş çürüğü arasındaki ilişkide rol oynayan değiştirilebilir bir etkidir. Diş çürükleri, biyofilmdeki mikrobiyal değişimler ile başlamakta ve tükürüğün akış hızı ile içeriği, flor maruziyeti, şeker tüketimi ve dişlerin temizliği gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Diyabetli

bireylerde diyet düzenlemeleri ve ara öğün alışkanlıklarının değiştirilmesi sonucunda ağız biyofilm ortamında değişiklikler meydana gelebilmektedir. Diyet ile alınan karbonhidrat, diş çürüğünün başlaması ve ilerlemesi için önemli bir risk faktörüdür. Diyet lifi alımının düşük düzeyde olması da diş çürüğü riskinin artmasında etkili olabilmektedir (Liang vd., 2024).

6. DİŞ ÇÜRÜKLERİ VE KARDİYOVASKÜLER HASTALIKLAR ARASINDAKİ İLİŞKİ

Dünya sağlık örgütü, aterosklerotik kardiyovasküler hastalıkların dünya çapında önde gelen ölüm nedeni olduğunu ve 2012 yılında yaklaşık 17,5 milyon ölüme neden olduğunu bildirmiştir. Kronik inflamasyon, kardiyovasküler hastalıkların patogeneğinde merkezi bir rol almaktadır. Bu kapsamda, ağız kaynaklı enfeksiyonların ve kronik sistemik inflamatuvar yüklerin vücudun genel sistemik inflamasyon riskini artırabileceği belirtilmektedir. Literatürde, periodontal hastalığı olan bireylerin kanlarındaki C-reaktif protein (CRP), tümör nekroz faktör, interlökin-1, 6 ve 8 gibi belirteçlerin daha yüksek düzeylerde olduğu bildirilmektedir. Bu durum, kardiyovasküler hastalıklar ile ağız hastalıkları arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır (Carrizales-Sepúlveda vd., 2018).

Diş çürükleri, periodontal hastalıklar kadar sık bir şekilde araştırılmış olmasa da, ilerlemiş diş çürüklerindeki bakteriyel yük artışı ile pulpal dokularda inflamasyon meydana gelebilmektedir. Bu durum, proinflamatuvar mediyatörlerin pulpa üzerinden sistemik dolaşıma karışmasına neden olabilmektedir. Tükürükteki interlökin-6 seviyesi, ağız içi inflamasyonun tespitinde önemli bir rol oynamaktadır. Tükürükteki C-reaktif protein (CRP) seviyesinin artması ağız içi lokal inflamasyona işaret ederken, kardiyovasküler hastalıklar da kandaki CRP seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır. Kardiyovasküler

hastalık riski ile ilişkili olan bu belirteçler üzerinde, ağız içi enfeksiyon odaklarının da etkili olabileceği öne sürülmektedir (AlShammari vd., 2024).

Ağız ve diş sağlığı durumunun iyi olmamasının, bireylerin kardiyovasküler sağlık durumlarını da olumsuz etkileyebileceği bildirilmiştir. İlerlemiş diş çürüklerinin orta yaştaki bireylerde, artan koroner kalp hastalığı riski ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Ghanbari vd., 2024). Ancak, bu durum çalışmaların çoğunda periodontal hastalık değişkeni temel alınarak değerlendirilmiş ve diş çürükleri ile olan ilişkisi ise daha sınırlı incelenmiştir. Mevcut veriler, diş çürüklerini doğrudan kardiyovasküler hastalıkların bir nedeni olarak göstermemekle birlikte, ortak risk faktörleri ve inflamatuvar yanıt üzerinden dolaylı olarak etkileyebileceğini belirtmektedir (Roberts vd., 2025).

Ayrıca, kardiyovasküler hastalıklar ile diş çürükleri arasında biyolojik, sosyodemografik faktör, karbonhidrat açısından zengin diyet ve obezite gibi çeşitli ortak davranışsal risk etmenleri bulunmaktadır. Bu durum, diş çürükleri ile kardiyovasküler hastalıklar arasındaki ilişkinin sadece biyolojik olarak değil, aynı zamanda paylaşılan ortak yaşam tarzı faktörleri üzerinden de ilişkili olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, mevcut kanıtlar diş çürükleri ile kardiyovasküler hastalıklar arasındaki bağlantıyı, ortak risk faktörleri ile ilişkisi düzeyinde değerlendirmektedir (Kelishadi vd., 2010).

7. DİŞ ÇÜRÜKLERİ İLE OBEZİTE VE METABOLİK SENDROM ARASINDAKİ İLİŞKİ

Obezite ve metabolik sendrom, son yıllarda dünya çapında artış gösteren ve kardiyovasküler hastalıklar açısından önemli risk faktörleri arasında bulunan metabolik bozukluklardır. Metabolik sendrom, insülin direncine ve kronik düşük dereceli

inflamasyona yol açmaktadır. Diş çürükleri ve metabolik sendrom arasındaki ortak özellikler ise, insülin direnci ve kronik düşük dereceli inflamasyondur. Diyetin rafine şekerden zengin olması metabolik sendrom ve obezite riskini artırmaktadır. Diş çürüklerine neden olan mikroorganizmalar, kronik bir inflamasyon oluştururken sitokin salınımını da indüklemektedir. Bu inflamatuvar hücre genişlemesinin öncelikle obeziteye ve sonrasında da metabolik sendroma neden olduğu bildirilmiştir. İnflamatuvar yükün artması ve zararlı beslenme alışkanlıkları, bireylerin obeziteye ve metabolik sendroma yakalanma riskleri üzerinde etkili olabilmektedir (Oluwadaisi vd., 2025).

Obez bireylerde, tip 2 diyabet ve kardiyovasküler hastalık riski yüksek olup, insülin direnci ve kronik inflamasyon gibi metabolik bozukluklar ortaya çıkabilmektedir. Bu inflamatuvar ortam, vücudun bağışıklık yanıtını ve tükürük içeriğini etkileyerek oral mikrobiyotada disbiyozu neden olmakta ve diş çürüğü riskini artırmaktadır. Yüksek şekerli ve yüksek kalorili diyetlerin hem obezite hem de diş çürüğü için ortak risk faktörü olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, obezitenin hem davranışsal hem de psikososyal etkenler aracılığıyla da diş çürüğü riski üzerinde dolaylı olarak etkili olabileceği belirtilmiştir (Yu vd., 2025).

Dünya Sağlık Örgütü, diyetle alınan serbest şekerlerin aşırı kilo, obezite ve diş çürüğü için önemli bir risk faktörü olduğunu bildirmiştir. 2022 yılında, 18 yaş ve üzerindeki 890 milyondan fazla kişinin obeziteyle birlikte yaşadığını raporlamıştır. Bireylerin enerji alımı ile enerji harcaması arasındaki dengesizliğin, fazla kiloya ve obeziteye neden olduğunu ve 2021 yılında yüksek vücut kitle indeksinden kaynaklı yaklaşık 3,7 milyon ölümün gerçekleştiğini bildirmiştir. Bu konuda, gıdalar içerisindeki şeker, yağ ve tuz oranlarının azaltılmasını, düzenli fiziksel aktivitelerin desteklenmesini, meyve, sebze ve kuruyemiş tüketiminin artırılmasını önermiştir. Serbest şeker tüketiminin sınırlandırılması hem obezite hem de

diş çürüğü riskinin azaltılmasına katkı sağlayabilir (WHO, Sugars and dental caries, 2025; WHO, Obesity and overweight, 2025).

Metabolik sendrom; insülin direnci, aterosklerotik dislipidemi, endotel disfonksiyonu, genetik yatkınlık, hiperkoagülasyon durumları, yüksek tansiyon ve kronik stres gibi çeşitli etkenlerle ilişkilendirilmiştir. Kronik düşük dereceli inflamasyonun, metabolik disfonksiyonla ilişkili olduğu ve insülin direnci ile metabolik sendroma neden olabileceği ileri sürülmüştür. Diş çürüklerinin de metabolik sendrom ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (CaO vd., 2017).

8. YAŞLANMA SÜRECİNDE POLİFARMASI, KSEROSTOMİ VE DİŞ ÇÜRÜĞÜ RİSKİ

Yaşlanma ile birlikte çoklu kronik hastalıkların bir arada bulunması, yaşlı bireylerdeki çoklu ilaç kullanımı (polifarmasi) durumunu yaygınlaştırmaktadır. Polifarmasi, özellikle yaşlı bireylerde yaygın bir durum olup, tükürüğün akış hızı, ağız mukozası, kemik metabolizması, periodontal hastalıklar, diş çürükleri ve ilaca bağlı çene osteonekrozu üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu durum, yaşlı bireylerdeki ağız hastalıklarının oluşma ve ilerleme riskini artırırken, ağız ve diş sağlığı tedavilerinin de zorlaşmasına sebebiyet vermektedir (Alshahrani vd., 2024). Yaş ilerlemesi ile birlikte dişetlerinde meydana gelen çekilmeler ve kök yüzeylerinin açığa çıkması yaşlı popülasyondaki kök çürüğü prevalansı riskinin artmasına yol açabilmektedir (Imazato vd., 2006).

Genellikle yaşlılıkta görülen polifarmasi ve sistemik hastalıkların birlikteliği, bireylerde kserostomiye veya ağız kuruluğuna neden olabilmektedir. Bu durum, tükürüğün; kayganlaştırma, tamponlama ve remineralizasyon özelliklerini olumsuz etkileyerek, kök çürüğünün ve diş aşınmasının meydana gelme riskini artırmaktadır (Al-Afandy vd., 2024). Tükürük akış

hızındaki ve bileşimindeki olumsuz değişimler, ağız mikrobiyotasının içeriğini değiştirebilmekte ve diş çürüğü riskinin artmasına neden olabilmektedir (Zhou vd., 2024).

Dünya genelinde, nüfusun yaşlanmasıyla birlikte kronik hastalıkların artması, sistemik ilaç kullanım sıklığını ve özellikle yaşlı bireylerde de çoklu ilaç kullanım sıklığını artırmıştır. Diyabet, kardiyovasküler hastalıklar ve otoimmün hastalıklar için kullanılan ilaçların, ağız sağlığı üzerinde de etkisi olabilmektedir. Bu etkilerden bazıları şu şekildedir: dişeti büyümesi, kanama komplikasyonları, kserostomi, mukoza ülserasyonları, tat değişiklikleri, enfeksiyonlara karşı artan duyarlılık ve çene osteonekrozu. Bu süreç, yaşlılardaki ağız ve diş sağlığı bakımını karmaşıktırmakta ve morbidite oranını artırmaktadır. Yaşlandıkça tükürük üretimi azalırken, sistemik ilaçların uzun süreli kullanımı kserostomi durumunu şiddetlendirebilmektedir. Şiddetli kserostomi ise, hem ağız enfeksiyonlarına hem de diş çürüklerine olan yatkınlığı artırabilmektedir (Kharat vd., 2025).

Diş çürüğü prevalansının, kök çürüklerinin ortaya çıkmasıyla birlikte çocuklardan yetişkin popülasyona doğru bir kayma eğilimi gösterdiği ve 70 yaş civarında ise üçüncü bir zirveye ulaştığı belirtilmiştir. Toplumda yaşam beklentisinin yükselmesi, bireylerin doğal dişlerini daha uzun süre ağızda koruma eğilimini artırmaktadır. Bu durum, büyümekte olan popülasyondaki tedavi edilmemiş diş çürüklerinin daha fazla artış göstermesine neden olabilmektedir. Yaşlı nüfusundaki; altta yatan tıbbi durumlar, fonksiyonel yetersizlikler ve bilişsel bozukluklar gibi faktörler tedavi süreçlerini zorlu hale getirmekte ve ülkelerin ekonomik yüklerini artırmaktadır (Chan vd., 2021).

Yaşlılık süreci, polifarmasi ve kserostomi gibi durumlar biyolojik, farmakolojik ve davranışsal faktörlerin bir araya gelmesiyle birlikte yaşlı popülasyonun diş çürüğü riskinin artmasında rol oynayabilmektedir. Bu değişkenlerin, kronik

sistemik hastalıklarla beraber değerlendirilmesi ve diş çürüklerinin sadece lokal bir patoloji olarak düşünülmemesi gerekmektedir (Imazato vd., 2006; Alshahrani vd., 2024).

9. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Diş çürükleri, yıllarca diş sert dokularını etkileyen lokal bir hastalık olarak değerlendirilmiş olsa da, güncel veriler bu yaklaşımın yetersiz olduğunu göstermektedir. Diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, obezite ve yaşlanma gibi sistemik durumların; kronik düşük dereceli inflamasyon, bağışıklık yanıtındaki değişimler, tükürük fonksiyonundaki farklılıklar ve beslenme alışkanlıkları gibi biyolojik ve davranışsal mekanizmalar aracılığıyla diş çürüğü riski üzerinde etkili olabileceği bildirilmektedir. Ortak risk faktörleri yaklaşımı; sosyoekonomik durum, sağlık davranışları, şeker tüketimi ve kronik inflamasyon gibi etkenler ile hem sistemik hastalıkların hem de diş çürüklerinin gelişiminde rol oynayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle, diş çürükleri ile sistemik hastalıklar arasındaki ilişkinin tek yönlü bir nedensellikten ziyade, çok faktörlü ve bütüncül bir perspektifle değerlendirilmesi gerektiği ve gelecekte yapılacak multidisipliner araştırmaların ise ağız sağlığı ile sistemik sağlık arasındaki etkileşimi daha net ortaya koyması gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Al-Afandy, L. M., Al-Anzi, S. S., Al-Omari, A. M., Al-Malawy, N. M., Al-Karbi, S. A., Awaji, L. M. A., et al. (2024). Navigating the Complexities of Geriatric Oral Health: an Integrated Approach to Managing Xerostomia, Root Caries, and Tooth Wear. *The Review of Diabetic Studies*, 20(S3), 416-437.
- Alkahtani, A., Baysan, A. (2025). Severity of Dental Caries and Saliva Properties in Diabetes Mellitus. *Dentistry Journal*, 13(12), 553.
- Alshahrani, N. M. N., Alshahrani, M. M. N., Alabdulkader, A. A., Almeshari, A. M., Alsubaie, R. A., Alharbi, F. R. M., et al. (2024). Impact Of Polypharmacy On Oral And Dental Health In Geriatric Patients: A Pharmacological Perspective. *The Review of Diabetic Studies*, 20(S7), 733-748.
- AlShammari, A., AlSaleh, S., AlKandari, A., AlSaqabi, S., AlJalahmah, D., AlSulimmani, W., et al. (2024). The association between dental caries and serum crp in the us adult population: Evidence from NHANES 2015–2018. *BMC public health*, 24(1), 2210.
- Cao, X., Wang, D., Zhou, J., Yuan, H., Chen, Z. (2017). Relationship between dental caries and metabolic syndrome among 13 998 middle-aged urban Chinese. *Journal of diabetes*, 9(4), 378-385.
- Carrizales-Sepúlveda, E. F., Ordaz-Farías, A., Vera-Pineda, R., Flores-Ramírez, R. (2018). Periodontal disease, systemic inflammation and the risk of cardiovascular disease. *Heart, Lung and Circulation*, 27(11), 1327-1334.
- Chan, A. K. Y., Tamrakar, M., Jiang, C. M., Lo, E. C. M., Leung, K. C. M., Chu, C. H. (2021). A systematic review on caries

- status of older adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20), 10662.
- Chen, X., Daliri, E. B. M., Kim, N., Kim, J. R., Yoo, D., Oh, D. H. (2020). Microbial etiology and prevention of dental caries: exploiting natural products to inhibit cariogenic biofilms. *Pathogens*, 9(7), 569.
- Chung, Y. L., Lee, J. J., Chien, H. H., Chang, M. C., Jeng, J. H. (2024). Interplay between diabetes mellitus and periodontal/pulpal-periapical diseases. *Journal of Dental Sciences*, 19(3), 1338-1347.
- Galler, K. M., Weber, M., Korkmaz, Y., Widbiller, M., Feuerer, M. (2021). Inflammatory response mechanisms of the dentine–pulp complex and the periapical tissues. *International journal of molecular sciences*, 22(3), 1480.
- Garton, B. J., Ford, P. J. (2012). Root caries and diabetes: risk assessing to improve oral and systemic health outcomes. *Australian dental journal*, 57(2), 114-122.
- GBD 2017 Oral Disorders Collaborators, Bernabe, E., Marcenes, W., Hernandez, C. R., Bailey, J., Abreu, L. G., et al. (2020). Global, regional, and national levels and trends in burden of oral conditions from 1990 to 2017: a systematic analysis for the global burden of disease 2017 study. *Journal of dental research*, 99(4), 362-373.
- Ghanbari, Z., Moradi, Y., Samiee, N., Moradpour, F. (2024). Dental caries prevalence in relation to the cardiovascular diseases: cross-sectional findings from the Iranian Kurdish population. *BMC Oral Health*, 24(1), 509.
- Imazato, S., Ikebe, K., Nokubi, T., Ebisu, S., Walls, A. W. G. (2006). Prevalence of root caries in a selected population

of older adults in Japan. *Journal of Oral Rehabilitation*, 33(2), 137-143.

- Kelishadi, R., Mortazavi, S., Hossein, T. R., Poursafa, P. (2010). Association of cardiometabolic risk factors and dental caries in a population-based sample of youths. *Diabetology & metabolic syndrome*, 2(1), 22.
- Kharat, A., Baidya, O. P., Choudhari, S. H., Shakeela, N. V., Nasim, R., Hathi, K., et al. (2025). Impact of Systemic Medications on Oral Health: A Cross-Sectional Study Among Geriatric Patients. *Cureus*, 17(7), e88964.
- Lasselin, J., Capuron, L. (2014). Chronic low-grade inflammation in metabolic disorders: relevance for behavioral symptoms. *Neuroimmunomodulation*, 21(2-3), 95-101.
- Liang, X., Lu, H., Lin, P., Huang, X. (2024). Association between dietary fiber to carbohydrate ratio and risk of dental caries in diabetic patients: An analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey 2015–2020. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1440306.
- Marsh, P. D. (2012). Contemporary perspective on plaque control. *British dental journal*, 212(12), 601-606.
- Martins, C. C., Lockhart, P. B., Firmino, R. T., Kilmartin, C., Cahill, T. J., Dayer, M., et al. (2024). Bacteremia following different oral procedures: systematic review and meta-analysis. *Oral diseases*, 30(3), 846-854.
- Oluwadaisi, A., Ogunlade, O., Owotade, F., Oyetola, E. O., Aborisade, A., Abiola, A. M. (2025). Caries experience, periodontal disease and salivary antioxidants as biomarkers of cardiometabolic syndrome among hospital attendees in a Nigerian suburban setting. *BMC Oral Health*, 25(1), 1118.

- Peres, M. A., Macpherson, L. M., Weyant, R. J., Daly, B., Venturelli, R., Mathur, M. R., et al. (2019). Oral diseases: a global public health challenge. *The Lancet*, 394(10194), 249-260.
- Pitts, N. B., Zero, D. T., Marsh, P. D., Ekstrand, K., Weintraub, J. A., Ramos-Gomez, F., et al. (2017). Dental caries. *Nature reviews Disease primers*, 3(1), 17030.
- Qin, X., Zi, H., Zeng, X. (2022). Changes in the global burden of untreated dental caries from 1990 to 2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease study. *Heliyon*, 8(9), e10714.
- Quinteros, M. E., Cáceres, D. D., Soto, A., Marino, R. J., Giacaman, R. A. (2014). Caries experience and use of dental services in rural and urban adults and older adults from central Chile. *International Dental Journal*, 64(5), 260-268.
- Rajasekaran, J. J., Krishnamurthy, H. K., Bosco, J., Jayaraman, V., Krishna, K., Wang, T., et al. (2024). Oral microbiome: a review of its impact on oral and systemic health. *Microorganisms*, 12(9), 1797.
- Roberts, C., Baxter, D. J., Napierala, D., Bezamat, M. (2025). Higher dental caries rates and increased cardiovascular disease risk. *Frontiers in Oral Health*, 6, 1571148.
- Sabharwal, A., Stellrecht, E., Scannapieco, F. A. (2021). Associations between dental caries and systemic diseases: a scoping review. *BMC oral health*, 21(1), 472.
- Sheiham, A., Watt, R. G. (2000). The common risk factor approach: a rational basis for promoting oral health. *Community Dentistry and Oral Epidemiology: Commentary*, 28(6), 399-406.

- World Health Organization (WHO). Obesity and overweight. 8 December 2025. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> (Son erişim tarihi: 07.03.2026)
- World Health Organization (WHO). Oral Health. 17 March 2025. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/oral-health> (Son erişim tarihi: 01.03.2026)
- World Health Organization (WHO). Sugars and dental caries. 14 August 2025. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/sugars-and-dental-caries> (Son erişim tarihi: 03.03.2026)
- Wu, Z., Gong, Y., Wang, C., Lin, J., Zhao, J. (2020). Association between salivary s-IgA concentration and dental caries: an updated meta-analysis. *Bioscience Reports*, 40(12), BSR20203208.
- Yu, S. T., Hua, J. Y., Zeng, Y. H., Yu, S. Y., Zhang, Z. Y., Xiao, W. S., et al. (2025). Multimorbidity patterns of dental caries and obesity/overweight among adults: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 25(1), 1037.
- Zhou, G., Shu, X., Long, Y., Cao, Y., Wang, J., Liao, G., et al. (2024). Dental caries and salivary alterations in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*, 150, 105321.

RESTORATİF DİŞ HEKİMLİĞİNDE BİOAKTİF MATERYALLER: ETKİ MEKANİZMALARI VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Senem GÜNDÜZ¹

Ömer ÇELLİK²

1. GİRİŞ

Diş hekimliğinde restoratif materyallerin gelişimi incelendiğinde, geçmişte kullanılan restoratif materyallerin çoğunlukla pasif özellikte olduğu; biyolojik dokularla etkileşime girmeyen ve ‘biyolojik olarak inert’ kabul edilen maddelerden oluşmaktaydı. Bu dönemde materyallerden beklenen temel özellik kaybedilen diş dokusunun fonksiyon ve estetiğini geri kazandırmaktı. Bu yüzden biyolojik özellikler çoğu zaman ikinci planda kalmaktaydı(1). Malzeme alanındaki gelişmelerle birlikte bu yaklaşım giderek değişmiş olup sadece yapısal restorasyonu hedefleyen materyallerin yerini biyolojik süreçlere de katkı sağlayabilen yeni nesil akıllı materyaller almaya başlamıştır. Bu materyaller yalnızca kaybedilen dokunun yerine konmasını sağlamakla kalmayıp aynı zamanda dişin biyolojik çevresi ile etkileşime girerek iyileşme ve doku yenilenmesi süreçlerini destekleyebilmektedir (2).

Biyoaktif kavramı, kullanılan malzemenin biyolojik dokularla etkileşim kurabilmesi ve bu etkileşim sonucunda olumlu hücresel yanıtların ortaya çıkmasına katkıda bulunması ile

¹ Uzm. Dt., Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, ORCID: 0009-0005-1461-7890.

² Dr. Öğr. Üyesi, Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, ORCID: 0000-0003-3514-930X.

ilişkilidir. Biyoaktif materyaller klinik tedavilerin başarısını artırma potansiyeline sahip olmaları nedeniyle günümüzde diş hekimliği araştırmalarında ve klinik uygulamalarda giderek daha fazla ilgi görmektedir.(3).

Biyoaktif ürünlür zaman içerisinde içerik ve yapı bakımından gelişim göstermiştir ve günümüzde hem tıp hem de diş hekimliğinin farklı alanlarında kullanılmaktadır(4). Bu materyaller; kemik rejenerasyonu, implant yüzey kaplamaları, çürük sürecinde bakterisidal veya bakteriyostatik etkiler, kavite altlıkları, dentin hassasiyetinin giderilmesi, mine ve dentinin remineralizasyonu, dental adeziv sistemler, endodontik perforasyonların onarımı, pulpa örtüleme işlemleri, kök kanal dezenfeksiyonu ve endodontik kanal dolgu materyalleri gibi pek çok uygulamada yer bulmaktadır (5). Klinik etkinliği, büyük ölçüde biyolojik ortamla etkileşime girebilmelerini sağlayan çeşitli mekanizmalarla ilişkilidir. Özellikle iyon salınımı, apatite benzeri yapıların oluşumu, pH değişimlerinin düzenlenmesi ve antibakteriyel etki gibi mekanizmalar, biyoaktif materyallerin diş dokularının korunması ve onarımına katkıda bulunmasında önemli rol oynamaktadır(6). Bu nedenle biyoaktif materyallerin etki mekanizmalarının anlaşılması, klinik kullanım alanlarının değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

2. BİYOAKTİF MATERYALLERİN ETKİ MEKANİZMASI

2.1. İyon Salınımı

Biyoaktif diş materyallerinin temel özelliklerinden biri, biyolojik ortamla etkileşime girerek belirli bir biyolojik yanıt oluşturabilmeleridir. Bu etkileşim çoğunlukla mineralleşmiş bir yüzey tabakasının oluşması veya doğal remineralizasyon süreçlerini destekleyen iyonların salınımı ile gerçekleşmektedir (7). Bu nedenle iyon salınımı, biyoaktif materyallerin etki

mekanizmaları arasında en önemli süreçlerden biri olarak kabul edilmektedir(8).

Biyoaktif camlar, iyon salınımına dayalı etki mekanizmasının tipik örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu materyaller çoğunlukla SiO_2 , Na_2O , CaO ve P_2O_5 gibi oksit bileşenlerinden oluşan bir yapıya sahiptir. Sulu bir ortamla temas ettiklerinde kontrollü biçimde çözünerek çevreye çeşitli iyonlar bırakırlar. Bu süreç sırasında özellikle Ca^{2+} , PO_4^{3-} ve bazı durumlarda F^- iyonlarının açığa çıkması, ortamın kimyasal dengesinde değişikliklere yol açarak lokal pH değerinin yükselmesine neden olur(9). Ortamda meydana gelen bu iyonik zenginleşme, çevre sıvısının mineral iyonlar açısından aşırı doygun hale gelmesini sağlar ve materyal yüzeyinde hidroksiapatit (HAp) benzeri bir tabakanın oluşumunu destekler. Oluşan bu mineral tabaka, diş dokusu ile restoratif materyal arasındaki mikroskobik boşlukların kapanmasına katkıda bulunarak bakteriyel sızıntının azaltılmasına yardımcı olabilir (10).

2.2. pH-Duyarlı Sistemler

Diş çürüğü sürecinde bakterilerin metabolizması sonucu oluşan asidik ürünler, ağız ortamının pH değerinin düşmesine neden olur. Akıllı materyaller bu pH değişimini algılayacak şekilde tasarlanmıştır. Özellikle polimerik hidrojel yapılar veya terapötik maddeler içeren nano-rezervuar sistemler, asidik ortamda (yaklaşık $\text{pH} \leq 5,5$) şişerek ya da parçalanarak içerdikleri antimikrobiyal veya terapötik ajanları serbest bırakabilir. Böylece bu maddeler yalnızca çürük oluşumunun başladığı koşullarda salınarak hedefe yönelik bir etki oluşturur.

Bu sistemlerin performansı çoğunlukla farklı pH değerlerine sahip tampon çözeltiler kullanılarak yapılan in vitro çalışmalarla değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular, düşük pH koşullarında madde salınımının arttığını göstermektedir. Bu seçici salınım sayesinde gereksiz ilaç açığa çıkışı sınırlanır,

sitotoksosite riski azaltılır ve materyalin terapötik etkinliği daha uzun süre korunabilir(11).

2.3. Apatit Tabakası Oluşumu

Biyoaktif materyallerin diş dokularıyla etkileşiminde önemli mekanizmalardan biri, apatit benzeri bir mineral tabakasının oluşmasıdır. Bu süreç genellikle materyalden çevre ortama kalsiyum ve fosfat iyonlarının salınmasıyla başlar. Salınan iyonlar çevre sıvısının mineral iyonlar bakımından aşırı doygun hale gelmesine yol açarak materyal yüzeyinde amorf kalsiyum-fosfat oluşumunu tetikler. Zamanla bu öncül mineral faz kristalizasyon sürecine girerek hidroksiapatit benzeri daha kararlı bir yapıya dönüşür. Oluşan bu mineral tabaka, doğal diş dokusunun mineral fazına benzer özellikler gösterdiği için restoratif materyal ile mine veya dentin arasında kimyasal etkileşimi destekler ve remineralizasyon süreçlerine katkıda bulunur. Ayrıca dentin yüzeyinde oluşan apatit birikimi dentin tübüllerinin kısmen veya tamamen kapanmasına yardımcı olabilir ve böylece dentin geçirgenliğinin azalmasına katkı sağlayabilir. Bu nedenle apatite benzeri mineral oluşumu, biyoaktif materyallerin doku ile etkileşimini güçlendiren ve uzun dönem biyolojik uyumunu destekleyen temel mekanizmalardan biri olarak kabul edilir (12).

2.4. Kollajen Lifleri ile Etkileşim

Biyoaktif materyallerin etki mekanizmalarından biri de dentin matriksinde bulunan kollajen lifleriyle kurdukları etkileşimdir. Bu materyallerden salınan iyonların, kollajen fibrilleri arasında mineral birikimini destekleyebildiği ve bunun dentin yapısının bütünlüğünü güçlendirebileceği düşünülmektedir. Kollajen lifleri arasında gerçekleşen bu mineralizasyon süreci, dentin dokusunun mekanik dayanımının korunmasına katkıda bulunabilir. Ayrıca bazı araştırmalar, bu etkileşimin kollajen yıkımında rol oynayan matriks

metalloproteinazlar (MMP) gibi enzimlerin etkisini sınırlayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte kollajen ve mineral faz arasındaki bu ilişkinin uzun dönemde ne ölçüde stabil kaldığı ve restorasyonların dayanıklılığına nasıl katkı sağladığı konusu hâlâ araştırılmaya devam etmektedir(2).

2.5. Biyolojik ve Kimyasal Mekanizmalar

Bazı biyoaktif materyaller hem kimyasal hem de biyolojik etki gösteren mekanizmalarla çalışmaktadır. Özellikle kalsiyum hidroksit içeren materyaller bu duruma örnek olarak verilebilir. Bu materyaller dentin dokusu içerisinde bulunan bazı biyolojik sinyal moleküllerini uyarak tersiyer dentin oluşumunu tetikleyebilir. Aynı zamanda ortamda oluşturdukları kimyasal koşullar, özellikle yüksek pH ve kalsiyum iyonlarının varlığı, mineralizasyon sürecinin gerçekleşmesine uygun bir ortam sağlar. Bu nedenle söz konusu materyaller yalnızca biyolojik yanıt uyarmakla kalmaz, aynı zamanda mineral oluşumunu destekleyen bir kimyasal çevre de oluşturur(13). Bununla birlikte tersiyer dentin oluşumunda rol oynayan hücresel sinyal yolları ve bu süreçlerin biyoaktif materyaller tarafından nasıl etkilenebildiği konusu günümüzde araştırılmaya devam eden önemli bir çalışma alanıdır.

2.6. Antimikrobiyal Etkiler

Biyoaktif materyallerin önemli özelliklerinden biri de mikroorganizmalara karşı belirli düzeyde inhibe edici etki gösterebilmeleridir. Bu etki, bazı materyallerin yapısında bulunan antimikrobiyal ajanlardan ya da materyalden salınan iyonların bakteriyel büyümeyi baskılamasından kaynaklanabilir. Bu özellik, çürük oluşumunda rol oynayan bakterilerin çoğalmasını sınırlayarak ağız sağlığının korunmasına katkı sağlayabilir ve sekonder çürük gelişme riskini azaltabilir(14).

Bununla birlikte bu materyallerin antimikrobiyal etkinliğinin kapsamı, mikroorganizmaların zaman içinde direnç

geliştirme olasılığı ve ağız mikrobiyotası üzerindeki uzun dönem etkileri dikkatle değerlendirilmesi gereken konular arasında yer almaktadır(15). Tüm bu mekanizmalar birlikte ele alındığında, biyoaktif restoratif materyallerin yalnızca kaybedilen diş dokusunu yerine koymakla kalmayıp aynı zamanda doku iyileşmesini destekleyen ve hastalığın ilerlemesini sınırlayan bir rol üstlenebileceği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte bu mekanizmaların her birinin klinik başarıya ne ölçüde katkı sağladığı ve aralarındaki olası etkileşimler hâlen araştırılmaya devam etmektedir.

3. SINIFLANDIRMA

Diş hekimliğinde biyoaktif materyallerin etkileri, dokularla kurdukları etkileşimin türüne göre sınıflandırılabilir.

3.1. Kompozit Rezinler

Kompozit rezinlerde biyoaktivite, materyalin organik fazının antibakteriyel monomerlerle modifiye edilmesi veya yapısına biyoaktif doldurucular eklenmesiyle sağlanabilmektedir. Özellikle antibakteriyel özellik taşıyan monomerlerin rezin matrisine dahil edilmesi ya da biyoaktif partiküllerin eklenmesi sayesinde hem bakteriyel aktiviteyi sınırlayan hem de mineralizasyonu destekleyen sistemler geliştirilmektedir. Örneğin rezin yapısına biyoaktif cam partiküllerinin katılması, E. coli, S. aureus ve S. mutans gibi mikroorganizmaların çoğalmasını azaltabilmektedir. Bunun, materyalin bulunduğu ortamın pH'ını yükseltmesi ve silikat, kalsiyum, sodyum ile fosfat gibi iyonların salınmasıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ortamdaki bu değişim bakterilerin metabolik faaliyetlerini olumsuz etkileyerek büyümelerini baskılayabilmektedir(16) .

Adeziv arayüzde zamanla meydana gelebilecek bozulmayı sınırlamak amacıyla antibakteriyel özellik taşıyan bazı monomerler de kompozit rezin sistemlerine dahil edilmiştir. Kuaterner amonyum metakrilat içeren sistemler buna örnek olarak gösterilebilir. Bu grupta yer alan 12-metakriloksidodesilpiridinyum bromür (MDPB) gibi bileşenlerin hem antibakteriyel etki gösterdiği hem de kollajen yıkımında rol oynayan bazı enzimlerin aktivitesini baskılayabildiği bildirilmektedir. Bu sayede bakteriyel mikro sızıntının azalmasına ve sekonder çürük oluşumunun sınırlandırılmasına katkı sağlanabileceği belirtilmektedir (17).

Kompozit rezinlere eklenen biyoaktif cam veya benzeri doldurucular, dentin matriksindeki kollajen lifleri arasında mineral birikimini de teşvik edebilir. Özellikle çinko iyonlarının varlığı hücre çoğalması ve farklılaşma süreçlerini destekleyebilmekte, aynı zamanda kollajen yıkımında rol oynayan metalloproteinazların etkisini azaltabilmektedir (18) Bunun yanında amorf kalsiyum fosfat (ACP) içeren doldurucuların kullanımı, kalsiyum ve fosfat iyonlarının salınmasını sağlayarak hidroksiapatit oluşumuna zemin hazırlayabilir. Ortamda oluşan iyonik doygunluk, hidroksiapatit kristallerinin gelişimini kolaylaştırır ve böylece biyomimetik mineralizasyon süreci desteklenir. Bu durum, restoratif materyal ile diş dokusu arasındaki arayüzde oluşabilecek mikro boşlukların azalmasına da katkıda bulunabilir (19).

3.2. Cam İyonomer Simanlar

Cam iyonomer simanlar, diş hekimliğinde “akıllı materyaller” olarak tanımlanan ilk materyallerden biri olarak kabul edilmektedir. Bunun temel nedeni, çevre ortamla etkileşime girerek flor iyonu salabilme özellikleridir(20). Flor salınımı, dentin dokusunun korunmasına ve remineralizasyon süreçlerinin desteklenmesine katkıda bulunabilir. Özellikle asidik koşullarda

flor iyonlarının açığa çıkması, ortamın tamponlanmasına yardımcı olarak çürük oluşumuna yol açan asidik etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (21).

Cam iyonomer simanlarda flor salınımı genellikle materyalin çözünme ve jel oluşumu aşamalarında daha belirgindir. Bu süreçte alüminyum-florür ve hidrojen-florür iyonlarının ortama geçmesi söz konusu olabilir(22). Ancak materyalin sertleşme ve olgunlaşma aşamalarına ilerledikçe iyon salınım miktarının giderek azaldığı bildirilmektedir. Buna rağmen cam iyonomer simanların uzun süre düşük düzeyde flor salabilme özelliği, bu materyallerin koruyucu ve restoratif diş hekimliği uygulamalarında tercih edilmesine katkıda bulunmaktadır.

Cam iyonomer simanların yapısına biyoaktif ajanların, özellikle biyoaktif camların eklenmesi materyalin biyolojik özelliklerini geliştirebilir. Ancak bu tür katkıların miktarı arttıkça, doldurucu oranındaki değişime bağlı olarak bazı mekanik özelliklerde azalma görülebileceği bildirilmektedir(23).

Biyoaktif cam içeren cam iyonomer sistemlerinde salınan iyonların, asidik ortamda açığa çıkan dentin kollajen ağı üzerinde hidroksiapatit oluşumunu teşvik edebildiği belirtilmektedir. Bu mineral birikimi, dentin dokusunun remineralizasyon sürecine katkı sağlayarak mekanik özelliklerinin iyileşmesine yardımcı olabilir. Aynı zamanda oluşan iyonik çökelti dentin tübüllerinin kısmen veya tamamen kapanmasına yol açabilir. Bu durum dentin sıvı akışını azaltarak hidrodinamik mekanizmayı sınırlar ve böylece dentin hassasiyetinin azalmasına katkıda bulunur (24).

3.3. Seramik ve Seramik Tabanlı Materyaller

Seramik materyaller, biyouyumlulukları ve mekanik dayanımları nedeniyle diş hekimliğinde uzun süredir kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarla, bu materyallerin yalnızca yapısal destek sağlayan inert sistemler olmaktan çıkıp biyolojik yanıt oluşturabilen fonksiyonel

materyaller haline getirilmesine odaklanılmıştır(25). Bu amaçla seramikler, farklı kompozit yapılar ve yüzey modifikasyon teknikleri ile birleştirilerek hem mekanik dayanımı hem de biyolojik etkileşimi artıran sistemlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Metal-seramik kompozitler bu yaklaşıma örnek olarak gösterilebilir. Özellikle titanyum ile hidroksiapatit veya wollastonit gibi seramik fazların birlikte kullanıldığı sistemlerin hem mekanik dayanım hem de doku uyumu açısından olumlu sonuçlar verdiği bildirilmiştir(26).

Benzer şekilde biyobozunur metal sistemler üzerinde de çeşitli yüzey modifikasyonları yapılmaktadır. Örneğin magnezyum esaslı alaşımların fosfor iyon implantasyonu ile işlenmesi, korozyon direncini artırırken dokularla olan biyolojik etkileşimi de iyileştirebilmektedir (27).

3.4. Hidroksiapatit Öncüleri

Amorf kalsiyum fosfat (ACP), kalsiyum ve flor iyonlarının çökmesini destekleyerek hidroksiapatit oluşumuna zemin hazırlayan bir bileşik olarak bilinmektedir. Sulu ortamlarda yüksek çözünürlüğe sahip olması ve hızlı şekilde hidroksiapatite dönüşebilmesi nedeniyle, stabilitesini artırmak amacıyla kazein fosfopeptit (CPP) ile birlikte kullanılarak **CPP-ACP kompleksi** oluşturulmuştur. Bu kompleksin tükürük ve dental plak ortamında kalsiyum, fosfat ve flor iyonlarının doyumunu artırarak remineralizasyonu desteklediği ve çürük oluşumuna karşı koruyucu etki sağlayabildiği bildirilmektedir (28).

3.5. Silikat Esaslı Simanlar

Silikat esaslı simanlar, kalsiyum oksit (CaO), silisyum dioksit (SiO₂) ve kalsiyum aluminat gibi bileşenler içeren ve kökeni Portland çimentosuna dayanan hidrofilik materyallerdir. Bu grupta klinikte en yaygın kullanılan materyallerden biri

Mineral Trioksit Agregat (MTA)'dır. MTA'nın yüksek pH değeri sayesinde belirli bir antimikrobiyal etki gösterebildiği ve özellikle pulpa tedavilerinde dentin köprüsü oluşumunu destekleyebildiği bildirilmektedir(29).

Trikalsiyum silikat esaslı bir başka materyal olan Biodentine, MTA'ya kıyasla daha kısa sertleşme süresine sahip olması, daha yüksek basma ve eğilme dayanımı göstermesi ve daha düşük çözünürlük sergilemesi gibi avantajlarıyla dikkat çekmektedir. Ayrıca alkalın pH ortamının bakteriler üzerinde zararlı etki oluşturabileceği ve bunun protein yapılarının bozulması ile hücresel bileşenlerde meydana gelen hasarla ilişkili olabileceği ifade edilmektedir(30).

Kalsiyum silikat temelli bir diğer materyal olan Theracal®, hidrofilik rezin ile modifiye edilmiş bir yapıya sahiptir. Bu sayede nemli ortamda da reaksiyona girebilmekte ve zaman içerisinde kalsiyum ile hidroksil iyonlarının salınımı devam edebilmektedir (31). Bununla birlikte yapısındaki rezin bileşenlerin pulpa dokusunda inflamatuvar yanıt oluşturabileceği ve bu nedenle bazı diğer kalsiyum silikat esaslı materyallere kıyasla biyolojik etkisinin daha sınırlı olabileceği öne sürülmektedir (32).

4. SONUÇ

Biyoaktif materyallerin restoratif diş hekimliğinde kullanılmaya başlanması, tedavi yaklaşımlarında önemli bir değişime işaret etmektedir. Geleneksel materyaller çoğunlukla kaybedilen diş dokusunun mekanik olarak yerine konmasına odaklanırken, biyoaktif materyaller çevre dokularla etkileşime girerek iyileşme ve remineralizasyon süreçlerine de katkı sağlayabilmektedir. Bu nedenle günümüzde restoratif tedavilerde yalnızca dayanıklılık ve estetik değil, aynı zamanda biyolojik

uyum ve doku ile etkileşim de giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Son yıllarda nanoteknoloji uygulamaları ve kök hücre temelli araştırmaların biyoaktif materyallerle birlikte değerlendirilmesi, bu alanda yeni olanaklar ortaya koymuştur. Bununla birlikte bu materyallerin mekanik dayanımı, uzun dönem klinik performansı ve farklı klinik koşullardaki davranışı gibi konular hâlâ ayrıntılı şekilde araştırılmaya devam etmektedir. Bu nedenle mevcut çalışmalar umut verici sonuçlar ortaya koysa da, uzun süreli klinik araştırmaların yapılması bu materyallerin gerçek klinik değerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

Gelecekte biyoaktif materyallerin hem koruyucu hem de restoratif diş hekimliği uygulamalarında daha yaygın şekilde kullanılması beklenmektedir. Ayrıca yapay zekâ destekli materyal tasarımı ve üç boyutlu biyoyazdırma teknolojilerindeki gelişmelerin, kişiye özgü tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Bu gelişmeler doğrultusunda klinisyenlerin yeni materyaller ve teknolojiler konusunda güncel bilgileri takip etmeleri ve klinik uygulamalarda bilimsel kanıtlara dayalı kararlar vermeleri önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Mocquot C, Attik N, Pradelle-Plasse N, Grosogeat B, Colon P. Bioactivity assessment of bioactive glasses for dental applications: A critical review. *Dent Mater.* 2020;36(9):1116-1129.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.06.008>
2. Ladino L, Bernal A, Calderón D, Cortés D. Bioactive materials in restorative dentistry: A literature review. *SVOA Dentistry.* 2021.
3. Nicholson J, Sidhu S, Czarnecka B. Can glass polyalkenoate (glass-ionomer) dental cements be considered bioactive? A review. *Heliyon.* 2024;10:e25239.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25239>
4. Sanz JL, Rodríguez-Lozano FJ, Llena C, Sauro S, Forner L. Bioactivity of bioceramic materials used in the dentin-pulp complex therapy: A systematic review. *Materials (Basel).* 2019;12(7):1015.
<https://doi.org/10.3390/ma12071015>
5. Skallefold H, Rokaya D, Khurshid Z, Zafar MS. Bioactive glass applications in dentistry. *Int J Mol Sci.* 2019;20(23):5960. <https://doi.org/10.3390/ijms20235960>
6. Nie E, Yu J, Jiang R, Liu X, Li X, Islam R, et al. Effectiveness of direct pulp capping bioactive materials in dentin regeneration: A systematic review. *Materials (Basel).* 2021;14(22):6811. <https://doi.org/10.3390/ma14226811>
7. Jafari N, Habashi MS, Hashemi A, Shirazi R, Tanideh N, Tamadon A. Bioactive glass applications in various fields of dentistry. *Biomaterials Research.* 2022;26:74.
<https://doi.org/10.1186/s40824-022-00274-6>
8. Tuygunov N, Khairunnisa Z, Yahya NA, Aziz AA, Zakaria MN, Israilova NA, et al. Bioactivity and remineralization

- potential of modified glass ionomer cement: A systematic review of the impact of calcium and phosphate ion release. *Dent Mater J.* 2024;43(1):1-10. <https://doi.org/10.4012/dmj.2023-132>
9. Kaur G. Mechanical properties of bioactive glasses, ceramics, glass-ceramics and composites: State-of-the-art review and future challenges. *Mater Sci Eng C.* 2019;104:109895. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109895>
 10. Khoroushi M, Keshani F. A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dent Res J (Isfahan).* 2013;10(4):411-420.
 11. Montoya C, et al. Smart dental materials for antimicrobial applications. *Bioactive Materials.* 2023;24:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2022.12.002>
 12. Hench LL. The story of Bioglass®. *J Mater Sci Mater Med.* 2006;17:967-978. <https://doi.org/10.1007/s10856-006-0432-z>
 13. Darvell BW, Smith AJ. Inert to bioactive – a multidimensional spectrum. *Dent Mater.* 2022;38(1):2-6. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.11.002>
 14. Schmalz G, Hickel R, Price RB, Platt JA. Bioactivity of dental restorative materials: FDI policy statement. *Int Dent J.* 2023;73(1):21-27. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2022.11.012>
 15. Kenawy ER, Kamoun EA, Ghaly ZS, Shokr AbM, El Moslami SH, Abou-Elyazed AS. Copper and fluorine-MOFs loaded electrospun PVA/gelatin nanofibers for enhancing antimicrobial activity of topical wound dressings. *Mater Chem Phys.* 2025;332:130303. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.130303>

16. Vallittu PK, Boccaccini AR, Hupa L, Watts DC. Bioactive dental materials: Do they exist and what does bioactivity mean? *Dent Mater.* 2018;34(5):693-694. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.03.001>
17. Jefferies SR. Bioactive and biomimetic restorative materials: A comprehensive review. Part I. *J Esthet Restor Dent.* 2014;26(1):14-26. <https://doi.org/10.1111/jerd.12069>
18. Jefferies SR. Bioactive and biomimetic restorative materials: A comprehensive review. Part II. *J Esthet Restor Dent.* 2014;26(1):27-39. <https://doi.org/10.1111/jerd.12066>
19. Korkut E, Torlak E, Altunsoy M. Antimicrobial and mechanical properties of dental resin composite containing bioactive glass. *J Appl Biomater Funct Mater.* 2016;14(3):e296-e301. <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000271>
20. Nomoto R, Komoriyama M, McCabe JF, Hirano S. Effect of mixing method on the porosity of encapsulated glass ionomer cement. *Dent Mater.* 2004;20(10):972-978. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.11.012>
21. Tjäderhane L, Tezvergil-Mutluay A. Performance of adhesives and restorative materials after selective removal of carious lesions: Restorative materials with anticaries properties. *Dent Clin North Am.* 2019;63(4):715-729. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2019.06.006>
22. Padmawar N, Pawar N, Joshi S, Mopagar V, Pendyala G, Vadvadgi V. Biosmart dental materials: A new era in dentistry. *Int J Oral Health Med Res.* 2016;3(1):171-176.
23. Sauro S, Luzi A. Remineralización biomimética y biocompatibilidad de un sistema de curado por luz con microrrelleno bioactivo. *Gaceta Dental.* 2014;258:88-101.

24. Tarle Z, Par M. Bioactive dental composite materials. Medical Sciences. 2018;45(1):83-100. <https://doi.org/10.21857/mnlqgc02ky>
25. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics – a review. J Istanbul Univ Fac Dent. 2017;51(3 Suppl 1):S128-S137. <https://doi.org/10.17096/jiufd.63659>
26. Shanmuganantha L, Khan MUA, Sulong AB, Ramli MI, Baharudin A, Ariffin HM, et al. Characterization of titanium ceramic composite for bone implants applications. Ceram Int. 2022;48(16):22808-22819. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.04.140>
27. Asdi MH, Khan MUA, Shafique A, Hussain J, Bashir S, Awan S, Shah SA. Morphological, microstructural, mechanical, and electrochemical optimization of a novel Mg-2Ca-1Mn-1Sr alloy by P ion implantation for orthopedic implants. Mater Today Commun. 2023;37:107039. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107039>
28. Ameneiros O, Gamboa J, Soto A, Martinez A, Ruiz H. El uso de materiales bioactivos en la estomatología conservadora contemporánea: Biodentine®. Investigaciones Médicoquirúrgicas. 2020;11(3):1-14.
29. Dahiya M, Tomer V, Duhan S. Bioactive glass/glass ceramics for dental applications. In: Applications of Nanocomposite Materials in Dentistry. 2019:1-25. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813742-0.00001-8>
30. Chen L, Suh B, Yang J. Antibacterial dental restorative materials: A review. Am J Dent. 2018;31(Spec Iss B):6B-12B.

31. Jefferies SR, Fuller A, Boston D. Preliminary evidence that bioactive cements occlude artificial marginal gaps. J Esthet Restor Dent. 2015;27(3):155-166. <https://doi.org/10.1111/jerd.12133>
32. Giani A, Cédres C. Recent advances in direct pulp capping with bioactive materials. Actas Odontológicas. 2017;14(1):4-13. <https://doi.org/10.22235/ao.v14i1.1397>

BULK FİLL KOMPOZİTLER

Sevda CAN¹

Ömer ÇELLİK²

1. GİRİŞ

Son yıllarda kompozit rezinler; estetik olmaları, civa içermemeleri, yeterli mekanik özelliklere sahip olması, seramiklere göre daha uygun maliyetli olması nedeniyle ve gelişen adeziv teknolojisiyle kullanımı yaygınlaşan restoratif materyaller olmuştur. 2013 yılında gerçekleşen Minamata Kongresi ile dental amalgamın aşamalı olarak kaldırılması çağrısında bulunulması ve diş hekimliği fakültelerinin kompozit rezin tekniklerinin giderek daha fazla eğitim programlarına dahil etmesine paralel olarak posterior dişlerin restorasyonu için kompozit rezin kullanımı popülerleşmiştir. Bununla birlikte kompozit rezinler, diş hekimliği alanında kullanıldığından beri başarılı olmalarına rağmen zamanla kenar uyumsuzlukları, mikrosızıntı, derin ve geniş kavitelere polimerizasyon büzülmesi vb. olumsuz özellikler göstermiştir. Bu nedenle kompozitlerin monomer kimyası, doldurucu teknolojisi ve yapısı, fizikokimyasal özellikleri sürekli geliştirilmiş ve değiştirilmiştir (1,2).

Üretici firmalar kompozit rezinlerin posterior bölgede ve derin kavitelere polimerizasyon büzülmesini indirmek, tabakalama yönteminden kaynaklı problemlerin üstesinden

¹ Uzm. Dt., Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, ORCID: 0009-0005-0261-7201.

² Dr. Öğr. Üyesi, Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, ORCID: 0000-0003-3514-930x.

gelmek ve restorasyon sürecini hızlandırmak amacıyla kütleli olarak uygulanabilen ve düşük polimerizasyon büzülmesi gösteren bulk fill kompozitleri üretmişler. Bu kompozitlerin yapısında doldurucu miktar ve boyutunda değişiklikler yapılmış ve farklı foto başlatıcılar kullanılmıştır (3-5).

2. BULK FİLL KOMPOZİTLERİN YAPISI

Bulk fill kompozitler, geleneksel kompozit rezinler ile benzer kimyasal yapıdadır. Ancak derin kavitelere ışık penetrasyonunu kolaylaştıran düşük dolgu konsantrasyonlarının kullanılması, boyutu artmış dolgu partiküllerinin (>20µm) kullanılması, yarı saydam bir malzemenin geliştirilmesi ve daha verimli fotoaktivasyon sistemlerinin kullanılması ile geleneksel kompozitlerden ayrılmışlardır (6,7).

Aynı zamanda bulk fill kompozitler, konvansiyonel kompozitlerle benzer dolduruculara da sahiptir. Geleneksel kompozitlerde Bis-GMA'nın yüksek viskoziteye sahip olması doldurucu içeriğinin düşük kalmasına neden olmuş ve polimerizasyon büzülmesi ve aşınmayla sonuçlanmıştır. Bazı üreticiler bu dezavantajları ortadan kaldırmak için polimer matriks içerisindeki Bis-GMA (Bisfenol A diglisidil metakrilat)'yı kullanmaktan vazgeçmişler ve EBPDMA (Etoksile bisfenol A) dimetakrilatından oluşan bir organik matriks tercih etmişler. UDMA, TEGDMA ve EBPDMA'dan oluşan bu organik matriks, Bis-GMA'ya göre daha esnek bir polimer yapı oluşturmuş ve yapının daha az viskoz olmasını sağlamıştır. Ayrıca EBPDMA, Bis-GMA'ya göre daha az hidrofilik olduğu için ve su emerek bozulma riski taşımaması nedeni ile bulk fill kompozitlerde EBPDMA'nın kullanılması renk değişikliği riskini azaltmıştır. Buna örnek olarak SDR (Dentsply, New York City, ABD) ve Venüs Bulk Fill (Heraeus Kulzer, Hanau, Almanya) kompozit rezinlerin yapısında tamamen UDMA, TEGDMA ve

EBPDMA organik matriksi kullanılmıştır. Yüksek UDMA içerikli bu matriks tipi düşük viskozite sergilemekte, Bis-GMA ve TEGDMA'ya kıyasla yüksek su emilimi göstermektedir. Bu durumu kompanse etmek için yapı içerisine EBPDM gibi Bis-GMA'dan daha hidrofobik monomerler eklenmiştir (8,9).

Bulk fill kompozitlerde polimerizasyon büzülmesini elimine etmek için yapılan bir diğer değişiklik ise farklı fotobaşlatıcılar kullanmaktır. Çoğu bulk fill kompozitlerde geleneksel kompozitlerde olduğu gibi fotobaşlatıcı olarak kamforokinon ve ko-inisiyatör olarak bir tersiyer amin içermektedir. Ancak Tetric EvoCeram (Ivoclar Vivadent) bulk fill kompozitin yapısında ise "Ivocerin" adı verilen yüksek fotopolimerizasyon aktivitesine sahip fotobaşlatıcı kullanılmıştır. (10,11)

3. BULK FİLL KOMPOZİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

3.1. Düşük Viskoziteli Bulk Fill Kompozitler

Düşük viskoziteleri nedeniyle akışkan bulk fill kompozitler olarak da adlandırılırlar. Klinik kullanıma sunulan ilk akışkan bulk fill SDR (Dentsply)' dir. Bu materyaller daha az doldurucu oranına ve daha yüksek rezin içeriğine sahiptir. Doldurucu miktarının az olması, bu kompozitlerin aşınma dirençlerinin daha düşük olmasına neden olmakta ve artan translüsensi sebebiyle estetik açıdan bazı sınırlılıklar oluşturmaktadır. Aşınma direncinin düşük olması nedeniyle posterior da kaide materyali olarak tercih edilmekte ve üzerinin 2 mm kalınlığında konvansiyonel kompozitle kapatılması önerilmektedir. Akışkan bulk fill kompozitler, geleneksel kompozitlerde kullanılan tabakalama tekniğine olan gereksinimi azaltmasına rağmen kondansasyon gerektirmemesi sayesinde uygulama süresini kısaltır. Bunun yanı sıra metakrilat bazı

kompozitlerle uyumlu olmaları klinik kullanım alanlarını genişletir. Düşük viskozite özellikleri sayesinde kavite duvarlarına daha iyi adaptasyon gösterirler ve restorasyon ile diş arasında marjinal sızıntının azalmasını sağlarlar. Düşük viskoziteli bulk fill kompozitlere örnekler; SDR (Dentsply, ABD), Venus Bulk Fill (Heraeus Kulzer), X-tra base (VOCO), Filtek Bulk Fill (3M ESPE), Beautifil-Bulk Flowable (Shofu), Tetric EvoFlow Bulk Fill (Ivoclar Vivadent), Parkell LC base Bulk Fill (Parkell, ABD) (7,8,12,13).

3.2. Yüksek Viskoziteli Bulk Fill Kompozitler

Doldurucu miktarı arttırılmış bulk fill kompozitler olarak tanımlanmaktadır. Doldurucu oranındaki artış, bu materyallerin aşınma direnci ve yüzey sertliği özelliklerinin yüksek olmasına katkı sağlamıştır. Bu sayede posterior bölgede geleneksel kompozit ile kaplanmasına gerek kalmadan direk restoratif materyaller olarak kullanılabilirler. Yüksek viskoziteli bulk fill kompozitler; Tetric EvoCeram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent), X-tra fil (VOCO), QuiXfil (Dentsply), Filtek Bulk Fill Posterior Restorative (3M ESPE), Beautifil- Bulk Restorative (Shofu) ve everX Posterior (GC), Estelite Bulk Fill flow (Tokuyama, Japonya), Reveal HD Bulk (Bisco, U.S.A) olmak üzere çok sayıda örnek verilebilir. (5,11,14)

3.3. Sonik Aktivasyonla Uygulanan Bulk Fill Rezin Kompozitler

Sonic Fill 2 (Kerr) bulk fill kompozit, yüksek viskoziteli bulk fill kompozit rezin grubunda yer almakla birlikte sonik aktivasyon prensibiyle çalışan özel bir uygulama sayesinde düşük viskoziteli bir yapıya dönüşmektedir. Uygulama sırasında kompozit rezin özel olarak tasarlanmış bir aleti vasıtasıyla 1–5 şiddet aralığında iletilen sonik titreşimlere maruz bırakılmaktadır. Bu sonik titreşimler rezin materyalin viskozitesini geçici olarak yaklaşık %90 oranında azaltarak kompozitin kavite içerisinde

daha kolay bir şekilde yayılmasını ve kavite duvarlarına daha iyi adaptasyon göstermesini sağlamaktadır. Sonik enerjinin kesilmesiyle birlikte materyal tekrar yüksek viskozitesine dönmekte ve şekillendirilebilir bir kıvama gelmektedir. Değişebilir bu yapısı nedeniyle “değişken viskoziteli bulk fill kompozit rezin” olarak da adlandırılmaktadır. (15)

3.4. Polimerizasyonlarına Göre

Bulk fill kompozitler polimerizasyon mekanizmalarına göre kimyasal olarak sertleşenler, ışık ile sertleşenler ve dual cure sertleşenler olarak üç gruba ayrılır. Günümüzde en yaygın kullanılan bulk filler ışık ile polimerize olanlardır. Bu materyallerde üreticiler, farklı ışınlama süresi ve polimerizasyon derinliği önerir. Geleneksel kompozitlerde olduğu gibi 420-470 nm dalga boyunda ışıkla polimerizasyonları sağlanmaktadır. Dual cure bulk fill kompozitlerde polimerizasyon iki farklı mekanizmanın birlikte çalışmasıyla gerçekleşir. Reaksiyon ışık ile başlamakta ardından kimyasal sertleşme reaksiyonu ile devam etmektedir. Günümüzde piyasada dual cure bulk fill kompozitlere örnek olarak HyperFIL (Parkell, ABD) ve Fill Up (Coltene, İsviçre) gösterilebilir. (12,15–17)

3.5. Ön Isıtmalı Bulk Fill Kompozitler

Termoviskoz bir teknoloji kullanarak kompozitlerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemeden viskozitelerinin azalmasını ve akışkanlıklarının artmasını sağlamaktadır. Böylece kompozit materyalin kavitenin içerisine yerleştirilmesini ve uygulanmasını kolaylaştırmıştır. Aynı zamanda kompozit materyallerin 60°C'ye kadar ısıtılması 2 mm kalınlığa kadar olan alt ve üst tabakalarda monomer dönüşüm oranını arttırabildiği belirtilmiştir. Bu artış polimerizasyonun daha etkin gerçekleşmesine katkı sağlamakla gerekli ışın süresi ve miktarını azaltmaktadır. (15,18) Klinik uygulamalarda kompozit rezinlerin ön ısıtılması amacıyla Calset Heater (AdDent Inc., Danbury, CT,

ABD), ENA Heat (Micerium, Avegno GE, İtalya) ve Caps Warmer (Voco GmbH, Cuxhaven, Almanya) gibi cihazlar kullanılmaktadır. Bu sistemler genellikle 37–68 °C sıcaklık aralığında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Cihazın çalışma sıcaklığına ulaşması için ortalama 20 dakika kompozit materyalin hedef sıcaklığa ulaşması için yaklaşık 3 dakika süreye gerekmektedir. Bu doğrultuda Viscalor (Voco GmbH, Cuxhaven, Almanya) bulk fill materyali piyasaya sunulmuştur. (19)

3.6. ORMOSER Esaslı Bulk Fill Rezin Kompozitler

ORMOSER (organik olarak modifiye edilmiş seramik) materyaller, geleneksel metakrilat bazlı reçine sistemlerine alternatif olarak geliştirilen, organik olarak modifiye edilmiş seramik yapıya sahip bir malzeme sınıfını temsil eder. Bu gruba örnek olarak tamamen silikat bazlı ORMOCER teknolojisine dayanan Admira Fusion x-tra (Voco GmbH, Cuxhaven, Almanya), verilir. Yüksek inorganik doldurucu oranı materyalin mekanik dayanımını artırırken, hibrit yapısı düşük polimerizasyon büzülmesi ve daha düşük büzülme stresi elde edilmesini sağlar.(20)

3.7. Fiberle Güçlendirilmiş Bulk Fill Kompozitler

Son yıllarda kompozitlerin mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla çeşitli fiberler eklenmiştir. Bu doğrultuda EverX Posterior (GC Europe) bulk fill kompozit piyasaya tanıtılmıştır. Yaklaşık 1–2 mm uzunluğunda cam fiberler içermekte ve rezin matrisi Bis-GMA, TEGDMA ve PMMA'dan oluşan yarı iç içe geçmiş polimer ağı (semi-IPN) yapısına sahiptir. Ancak fiberin, neme duyarlılığı ve yüzey cilalanmasını zor olması nedeniyle bu materyalin genellikle kaide materyali olarak kullanılması ve üzerinin geleneksel bir kompozit ile örtülenmesi önerilmektedir.(21)

4. BULK FİLL KOMPOZİT MATERYALLERİN ÖZELLİKLERİ

4.1. Polimerizasyon Derecesi (DOC)

Polimerizasyon, kompozit materyallerdeki monomerlerin kimyasal reaksiyonlar yoluyla polimer zincirlerine dönüştürülmesi işlemidir. Kompozitlerin polimerizasyon derecesi, malzemenin saydamlık ve renk özelliklerine bağlı olarak değişebilirken, materyalin opaklığı arttıkça polimerizasyon derecesi azalmaktadır. Bununla birlikte, polimerizasyonun etkinliği sadece malzemenin özelliklerine değil, aynı zamanda kullanılan ışık kaynağının gücü, ışık yoğunluğu, uygulama süresi ve ışık kaynağı ile malzeme arasındaki mesafe gibi faktörlere de bağlıdır. (22) Dolgu kompozitlerinin verimli bir şekilde polimerizasyonunu sağlamak için üreticiler genellikle yüksek ışık yoğunluğuna sahip polimerizasyon cihazlarının kullanılmasını önermektedir. Ayrıca yeterli polimerizasyon için üreticilerin önerdiklerinden daha fazla ışınlama süreleri gerektiği belirtilmiştir. (23)Yapılan bir çalışmada ise ışık kaynağının kompozit yüzeyinden her 1 mm uzaklaşmasının ışık yoğunluğunda yaklaşık %10 oranında azalmaya neden olduğu bildirilmiştir.(24) Polimerizasyon derinliğini arttırmak amacıyla bulk fill kompozitlerde; doldurucu içeriği azaltılmış, doldurucu partiküllerin boyutu arttırılmış, doldurucu matriks ara yüzeyi azaltılmıştır, bazı ek fotobaşlatıcılar eklenmiştir. Kompozit rezinlerde doldurucu miktarının azaltılması ve doldurucu partikül boyutunun arttırılması, rezin matriks ile doldurucu arasındaki arayüzde meydana gelen ışık saçılımını azaltır. Bu durum, materyal tarafından emilen ışık miktarının artmasına ve dolayısıyla foto başlatıcı sisteminin daha etkili bir şekilde aktive olmasına yol açar.(12)

4.2. Polimerizasyon Büzülmesi

Kompozit rezinlerdeki teknolojik ilerlemelere rağmen, bu malzemelerin en önemli sınırlamalarından biri polimerizasyon sırasında meydana gelen hacimsel büzülmedir. Monomerlerin polimer zincirlerine dönüşümü sırasında kompozit malzemelerde yaklaşık %1,5-3 oranında hacimsel büzülme meydana gelebilir. Polimerizasyon büzülmesi, kavite boyutu, kavite konfigürasyon faktörü (C faktörü), uygulama tekniği, ışık kaynağı konumu, ışık yoğunluğu ve uygulama süresi, kavite alt tabaka malzemelerinin kullanımı ve kompozitin elastik modülü dahil olmak üzere birçok faktörden etkilenir. Bu değişkenler, restorasyon sırasında yaşanan büzülme stresi miktarını ve restorasyonun klinik başarısını doğrudan etkileyebilir. (25) Literatürdeki son çalışmalar, bulk fill dolgu kompozitlerinin bazı durumlarda polimerizasyon büzülmesi açısından geleneksel kompozitlere göre daha avantajlı özellikler sergileyebileceğini göstermektedir. (26) Yüksek doldurucu içeriğine sahip yüksek viskoziteli bulk fill kompozit rezinler, düşük viskoziteli bulk fill kompozitlere kıyasla daha düşük hacimsel büzülme gösterir. Bununla birlikte, bu malzemelerin elastik modülleri de daha yüksektir. (27)

Bazı bulk fill kompozitlerinde, polimerizasyon stresini azaltmak için doldurucu içeriğinde ve doldurucu tipinde çeşitli değişiklikler yapılmıştır. Örneğin, Tetric EvoCeram Bulk Fill kompozitinin formülasyonuna, geleneksel cam dolduruculara göre daha düşük elastikiyet modülüne sahip prepolimerize edilmiş doldurucular eklenmiştir. Bu doldurucuların mikroskopik ölçekte yay benzeri bir davranış sergilediği, polimerizasyon sırasında oluşan gerilimlerin bir kısmını absorbe ettiği ve böylece materyalde gelişen polimerizasyon geriliminin azalmasına katkıda bulunduğu bildirilmektedir. (28) EverX Posterior da ise yapısına eklenen farklı yönlerde polimerizasyon sırasında oluşan büzülmenin ve buna bağlı oluşan stresin azaltılması hedeflenmiştir. (29)

4.3. Marjinal Kenar Uyumu

Literatürde marjinal uyum konusunda farklı sonuçlar bildirilmiştir. Bazı çalışmalar geleneksel kompozitler ile bulk fill kompozitler arasında marjinal uyum açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını gösterirken, diğerleri bulk fill kompozitlerin daha iyi marjinal uyum sağladığını bildirmektedir.(30) Bununla birlikte, yüksek viskoziteli bulk fill kompozitlerin restorasyon kenarlarında daha geniş marjinal boşluklar oluşturabileceği de bildirilmiştir. Bu dezavantajı azaltmak için, yüksek viskoziteli bulk fill kompozitler uygulanmadan önce kavite tabanına düşük viskoziteli (akışkan) bir kompozit tabakası yerleştirilmesi önerilir. (31)

4.4. Biyouyumluluk

Bir materyalin biyouyumlu olması için hücreler üzerinde herhangi bir sitotoksositeye neden olmaması gerekir. Sitotoksisitenin oluşmasında etkili faktörler materyalin yapısı, monomer tipi, monomer oranı, doldurucu içeriği gibi etkenlerdir. (32)

Kompozit materyallerin günümüzde yaygın ve uzun süredir kullanılmalarına rağmen toksisiteyi hala düşündürücüdür. Bu materyallerin dezavantajları arasında yer alan yetersiz polimerizasyon; materyallerin fiziksel özelliklerini etkilediği gibi biyouyumluluğu da etkiler. Yetersiz polimerizasyon sonucu materyallerden salınan serbest rezin monomerler oral kavitede temas ettiği yumuşak dokularda ve pulpada sitotoksositeye neden olabilmektedir. (33)

Bulk fill kompozit rezinlerin kullanım özelliklerinden olan uygulama kalınlığının artmasıyla endişe yaratan konulardan biri yetersiz ışık penetrasyonu sonucu azalmış polimer dönüşümü ile meydana gelen artık monomer salınımı ve toksisite problemidir. Ayrıca organik rezin matriks içindeki foto başlatıcı, diğer katkı maddeleri ve inorganik dolduruculardan metal

iyonlarının salınımı nedeniyle de sitotoksikite oluşabilmektedir.
(2)

Literatürde bulk fill kompozitlerin sitotoksik etkileri ile ilgili yapılan çalışmalarda genelde hafif düzeyde sitotoksik oldukları gösterilmiştir. (34) bazı çalışmalarda bulk fill kompozitlerin 4mm kalınlığında kabul edilebilir hücre canlılığı sağladığı bildirilmişken bazı çalışmalarda ise bulk fill kompozitlerin kalınlığı arttıkça hücre canlılığının azaldığı söylenmiştir. (8,35,36). Ayrıca ACTIVA Bioactive gibi reaksiyona girmiş cam iyonomer içeren bazı bulk fill kompozitlerin kimyasal içeriği nedeniyle sitotoksik olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. (8,37-40)

5. SONUÇ

Bulk fill kompozit rezinler, daha kalın tabakalar halinde uygulanabilmeleri sayesinde işlem süresini kısaltmaları ve uygulama hassasiyetini azaltmaları nedeniyle restoratif diş hekimliğinde önemli bir alternatif haline gelmiştir. Artırılmış ışık penetrasyonu materyalin translusent yapısıyla sağlanmakta, ancak bu durum estetik açıdan ön bölge kullanımını sınırlayabilmektedir. Bu nedenle materyalin klinik performansının daha iyi anlaşılabilmesi için ileri düzey klinik ve laboratuvar çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Batmaz, S. G., Dündar, A., Barutçugil, Ç., & Yıldız, B. (2021). Bulk-fill kompozit rezinlerin iki farklı tabaka kalınlığında ve ışık gücünde polimerize edilmesinin kompozitin basma dayanımına etkisi. *European Journal of Research in Dentistry*, 5(1), 38–44.
2. Nezir, M., & Özcan, S. (2024). Bulk fill kompozit rezin restoratif materyaller. *Current Research in Dental Sciences*, 34(3), 224–229.
3. Cabadağ, Ö. G., Misilli, T., & Gönülo, N. (2021). Bulk-fill kompozit rezinlere güncel bakış. *Selçuk Dental Journal*, 8(3).
4. Bulut, H., & Gönülo, N. (2024). Yeni nesil bulk-fill rezin kompozitlerin su emilimi ve suda çözünürlük düzeylerinin incelenmesi: In vitro çalışma. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 30(3).
5. Silva, G., Marto, C. M., Amaro, I., Coelho, A., Sousa, J., & Ferreira, M. M., et al. (2023). Bulk-fill resins versus conventional resins: An umbrella review. *Polymers*, 15(12), 2613.
6. Cidreira Boaro, L. C., Pereira Lopes, D., de Souza, A. S. C., Nakano, E. L., Ayala Perez, M. D., & Pfeifer, C. S., et al. (2019). Clinical performance and chemical-physical properties of bulk-fill resin composite: A systematic review and meta-analysis. *Dental Materials*, 35(10), e249–e264.
7. Bucuta, S., & Ilie, N. (2014). Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk-fill versus conventional resin-based composites. *Clinical Oral Investigations*, 18, 1991–2000.

8. Aydın, N., Karaoğlanoğlu, S., Oktay, E. A., Toksoy Topçu, F., & Demir, F. (2019). Diş hekimliğinde bulk fill kompozit rezinler. *Selçuk Dental Journal*, 6(2), 229–238.
9. Sideridou, I., Tserki, V., & Papanastasiou, G. (2002). Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*, 23(8), 1819–1829.
10. Santini, A., Gallegos, I. T., & Felix, C. M. (2013). Photoinitiators in dentistry: A review. *Primary Dental Journal*, 2(4), 30–33.
11. Chesterman, J., Jowett, A., Gallacher, A., & Nixon, P. (2017). Bulk-fill resin-based composite restorative materials: A review. *British Dental Journal*, 222(5), 337–344.
12. Van Ende, A., De Munck, J., Lise, D. P., & Van Meerbeek, B. (2017). Bulk-fill composites: A review of the current literature. *Journal of Adhesive Dentistry*, 19(2), 95–109.
13. Karacan, A. O. (2019). APF jelinin farklı bulk-fill kompozit materyallerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
14. Osiewicz, M. A., et al. (2022). Wear of bulk-fill resin composites. *Dental Materials*, 38(3), 549–553.
15. Genaid, T. M. (2023). Clinical evaluation of thermo-viscous and sonic fill-activated bulk fill composite restorations. *American Journal of Dentistry*, 36(2), 81–85.
16. Yılmaz B, Emiroğlu S. Kompozit Materyallerdeki Gelişmeler. *J Int Dent Sci*. Mart 2025;11(1):11-21. .
17. Ludovicchetti, F. S., et al. (2022). Depth of cure, hardness, roughness and filler size of bulk-fill flowable, conventional flowable and high-strength universal

- injectable composites: An in vitro study. *Nanomaterials*, 12(12), 1951.
18. Karaaslan, G., Fidan, M., & Ayar, M. K. (2025). Effect of Caps Warmer and VisCalor dispenser preheating on the color stability and surface roughness of resin composites after coffee immersion: An in vitro study. *BMC Oral Health*, 25(1), 1110.
 19. Soares, B. M., et al. (2024). Marginal integrity and physicommechanical properties of thermoviscous and regular bulk-fill resin composites. *Clinical Oral Investigations*, 28(9).
 20. Elsharkawy, M. A., et al. (2024). Bulk-fill ormocer versus methacrylate-based resin composite restorative systems: The effect of flowable lining on two-year clinical performance in class II cavities. *European Journal of General Dentistry*, 13(3), 205–215.
 21. Maas, M. S., et al. (2017). Trends in restorative composites research: What is in the future? *Brazilian Oral Research*, 31, e55.
 22. Türkoğlu, Ö., & Bulut, A. C. (2019). Geçmişten günümüze polimerizasyon cihazları. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 29(4), 683–690.
 23. Tarle, Z., et al. (2015). Influence of irradiation time on subsurface degree of conversion and microhardness of high-viscosity bulk-fill resin composites. *Clinical Oral Investigations*, 19(4), 831–840.
 24. Rueggeberg, F. A., et al. (1993). Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *American Journal of Dentistry*, 6(2), 91–95.

25. Kaisarly, D., & Gezawi, M. E. (2016). Polymerization shrinkage assessment of dental resin composites: A literature review. *Odontology*, 104(3), 257–270.
26. Rosatto, C. M. P., et al. (2015). Mechanical properties, shrinkage stress, cuspal strain and fracture resistance of molars restored with bulk-fill composites and incremental filling technique. *Journal of Dentistry*, 43(12), 1519–1528.
27. Algamaiah, H., Silikas, N., & Watts, D. C. (2021). Polymerization shrinkage and shrinkage stress development in ultra-rapid photo-polymerized bulk-fill resin composites. *Dental Materials*, 37(4), 559–567.
28. Ivoclar Vivadent. (2011). Tetric EvoCeram Bulk Fill: The bulk composite without compromises (Scientific documentation). Schaan, Liechtenstein: Ivoclar Vivadent.
29. Miura, D., Ishida, Y., & Shinya, A. (2021). Polymerization shrinkage of short fiber reinforced dental composite using a confocal laser analysis. *Polymers*, 13(18), 3088.
30. Baltacıoğlu, İ. H., et al. (2024). Marginal adaptation of bulk-fill resin composites with different viscosities in class II restorations: A micro-CT evaluation. *BMC Oral Health*, 24(1), 228.
31. Agarwal, R. S., Hiremath, H., Agarwal, J., & Garg, A. (2015). Evaluation of cervical marginal and internal adaptation using newer bulk fill composites: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 18, 56–61.
32. Ertan, B., & Özkaya Atalayın, Ç. (2022). Biyouyumluluk kavramına restoratif diş tedavisi özelinde genel bir bakış. *İzmir Diş Hekimleri Odası Bilimsel Dergisi*, 2(1), 1.
33. Ivković, N., et al. (2013). The residual monomer in dental acrylic resin and its adverse effects. *Contemporary Materials*, 4(1), 84–91.

34. Junqueira, C., Mascarenhas, P., Avelar, M., Ribeiro, A. C., & Barahona, I. (2023). Biocompatibility of bulk-fill resins in vitro. *Clinical Oral Investigations*, 27(12), 7851–7858.
35. Gonçalves, F., Campos, L. M. D. P., Rodrigues-Júnior, E. C., Costa, F. V., Marques, P. A., Francci, C. E., & Boaro, L. C. C. (2018). A comparative study of bulk-fill composites: Degree of conversion, post-gel shrinkage and cytotoxicity. *Brazilian Oral Research*, 32, e17.
36. Tauböck, T. T., Marovic, D., Zeljezic, D., Steingruber, A. D., Attin, T., & Tarle, Z. (2017). Genotoxic potential of dental resin composites. *Dental Materials*, 33(7), 788–795.
37. Yıldırım, Z. S., Susgun, S., & Atasoy, S. (2023). Comparative cytotoxic evaluation of bulk-fill resin composites cured with a new-generation LED unit at different thicknesses. *Klinik Araştırmalar ve Deneysel Araştırmalar Dergisi*, 2(3), 144–152.
38. Demirel, G., Gur, G., Demirsoy, F. F., Altuntaş, E. G., Yenerilce, B., & Kılıçarslan, M. A. (2020). Cytotoxic effects of contemporary bulk-fill dental composites: A real-time cell analysis. *Dental Materials Journal*, 39(1), 101–110.
39. Toh, W. S., Yap, A. U., & Lim, S. Y. (2015). In vitro biocompatibility of contemporary bulk-fill composites. *Operative Dentistry*, 40(6), 644–652.
40. Yıldırım, Z. S., Eyiler, E., & Kürklü, Z. G. B. (2023). Effect of thickness on degree of conversion, monomer elution, depth of cure and cytotoxicity of bulk-fill resin composites. *Journal of Oral Science*, 65(2), 121–126.

RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ
ALANINDA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com