

Kompozit Materyallerdeki Gelişmeler

Advancements In Composite Materials In Dentistry

ÖZ

Giriş: Kompozit rezinler, modern diş hekimliğinde sıklıkla kullanılan restoratif malzemelerden biri olarak geniş bir uygulama alanına sahiptir. İlk olarak 1960'larda klinik kullanıma giren kompozitler, zaman içinde çeşitli sınıflandırmalara ayrılarak estetik, dayanıklılık ve biyouyumluluk gibi farklı ihtiyaçlara göre geliştirilmiştir. Günümüzde partikül boyutu, viskozite ve polimerizasyon yöntemine göre farklı türleri bulunan bu malzemeler, çeşitli klinik ihtiyaçları karşılayacak şekilde özelleştirilmiştir. Kompozit rezinlerin gelişim süreci, yeni antibakteriyel özelliklerin, kendini onarma kapasitesinin ve çürük önleyici etkilerin eklenmesiyle sürekli olarak devam etmektedir. Bu derlemede, kompozit rezinlerin gelişimi, çeşitleri ve sınıflandırmaları detaylı şekilde ele alınmıştır. Kompozitler; partikül boyutları, viskozite özellikleri ve polimerizasyon yöntemlerine göre kategorize edilecek tepilebilir, akışkan ve bulk-fill gibi farklı türlerinin klinik avantajları incelenmiştir. Ayrıca, giomer ve ormocer gibi fonksiyonel özelliklere sahip kompozit türlerinin antibakteriyel etkileri, kendini onarma kabiliyeti ve çürük önleme özellikleri üzerinde durulmuştur. Antimikrobiyal ajanların eklenmesi, remineralizasyon ve düşük polimerizasyon büzülmesi gibi yenilikçi özelliklerin kompozitlerin performansını nasıl artırdığı vurgulanmıştır.

Sonuç: Son olarak, teknolojik ilerlemelerle kompozitlerin biyoaktif hale getirilerek ağız sağlığını desteklemesi ve restorasyonların ömrünü uzatması gibi gelişmelerin gelecekteki potansiyel katkılarına da yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyouyumlu Materyaller, Dental Materyaller, Kompozit Rezinler

ABSTRACT

Objective: Composite resins are widely used restorative materials in modern dentistry, offering a broad range of applications. First introduced for clinical use in the 1960s, composites have been developed over time to meet varying needs such as aesthetics, durability, and biocompatibility through various classifications. Today, these materials come in different types according to particle size, viscosity, and polymerization method, tailored to meet various clinical requirements. The development of composite resins is ongoing, with the addition of new antibacterial properties, self-healing capacity, and caries-preventive effects. This review examines the development, types, and classification of composite resins in detail. Composites are categorized based on particle sizes, viscosity characteristics, and polymerization methods, exploring the clinical advantages of different types, including conventional, flowable, and bulk-fill composites. Furthermore, functional composite types with antibacterial effects, such as giomers and ormocers, are discussed regarding their self-healing capacity and caries-preventive properties. Innovative features, such as the addition of antimicrobial agents, remineralization, and low polymerization shrinkage, are highlighted for their enhancement of composite performance.

Conclusion: Finally, the potential contributions of technological advancements are explored, focusing on the bioactive transformation of composites to support oral health and extend the longevity of restorations in the future.

Key Words: Biocompatible Materials, Dental Materials, Composite Resins.

Berna YILMAZ¹

ORCID: 0009-0002-8738-0706

Sibel EMİROĞLU¹

ORCID: 0009-0001-6061-1060

¹İstanbul Kent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Pedodonti A.D.
İstanbul, Türkiye



Geliş tarihi / Received: 14.11.2024

Kabul tarihi / Accepted: 07.01.2025

İletişim Adresi /Corresponding Address:

Berna YILMAZ

İstanbul Kent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,

Pedodonti A.D.

İstanbul, Türkiye

E-posta/e-mail:bernayilmaz121@gmail.com

Kompozitler, yaklaşık 50 yıldır klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan en popüler dolgu malzemelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu malzemelerin gelişimi ve evrimi, temel olarak akrilat kökenlidir ve kompozitler ilk olarak 1962'de Dr. Rafael Bowen'in bisfenol-A diglisidil metakrilat (Bis-GMA, Bowen rezini) monomerini bulmasıyla diş hekimliği alanına girmiştir. Bu gelişme, kompozit rezinlere doldurucu partiküllerin eklenmesi ve adeziv sistemlerle mine ve dentine daha iyi bağlanma sağlanmasıyla birlikte, kompozitlerin kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır (1-5). Rezin kompozitler, organik matriks içinde çeşitli tipte ve boyutta inorganik dolduruculardan (dağılan faz) ve ara fazdan (bağlayıcı faz) oluşmaktadır (6,7). Organik matriks, kompozitin aktif olan bileşenidir ve başlatıcı-aktivatör sistemi, polimerizasyon inhibitörleri, ultraviyole stabilizatörleri, kıvam azaltıcılar, katalizörler ve renk pigmentleri bileşenlerini içermektedir (7,8).

Kompozit malzemeler, formülasyonlarında, özelliklerinde ve estetiklerinde sürekli olarak iyileştirmeler yapılarak diş hekimliği alanında giderek daha popüler hale gelmektedir (9,10). Bununla birlikte, kompozitlerin uzun vadeli performansını artırmak için antibakteriyel ve kendini onaran malzemelerin geliştirilmesi gerektiği bildirilmiştir. Bu nedenle, kompozitlerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için ileri stratejilere ihtiyaç bulunmaktadır (11-15).

Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

Kompozit Rezinlerin İnorganik Doldurucu Partikül Büyüklükleri ve Şekillerine Göre Sınıflandırılması

En yaygın sınıflandırma sistemlerinden biri inorganik doldurucu partikül boyutu, şekli ve dağılımını dikkate almaktadır (16). Lutz ve Phillips 1983 yılında makrofil, mikrofil, hibrit ve modern hibrit kompoziti tanıtmışlar (1) ve Bayne ve ark. 1994 yılında nanofil kompozitleri alt bölümler olarak eklemişlerdir (17). Teknoloji ilerledikçe partikül boyutu önemli ölçüde azaltılmış malzemeler tanıtılmış ve hibrit kompozitler olarak adlandırılmıştır (9). Hibrit kompozitler başlangıçta posterior restorasyonlar için en iyi malzemeler olarak kabul edilmiştir ancak günümüzde anterior estetik restorasyonlar için de çok kullanışlı olarak tanımlanmaktadır (18). Son olarak, nanoteknolojinin yardımıyla, ~10 ila 100 nm arasında partikül boyutlarına sahip nanoboyutlu doldurucuları içeren kompozitler tanıtılmıştır (14,19).

Kompozit Rezinlerin Viskozitelerine Göre Sınıflandırılması

Kondanse Olabilen (Packable) Kompozitler

1990'ların sonlarında tanıtılan bu malzemeler, yoğunluğu ve manipülasyonu ile amalgama benzer özelliklere sahiptir (20). Hibrit kompozitlere kıyasla daha fazla inorganik partikül içerirler ve bu partikül dağılımları daha yoğundur, dolayısıyla viskoziteleri daha yüksektir. Bu nedenle, bu tür kompozit rezinlerin özellikle posterior bölgelerde kullanımı önerilmektedir (4).

Akışkan (Flowable) Kompozitler

Günümüzde, akışkan ve geleneksel kompozitlerin avantajlarını birleştirmek amacıyla, \geq % 70 hacimle dolu akışkan kompozitler geleneksel tepilebilir kompozitler için bir alternatif olarak hem anterior hem de posterior restorasyonlar için tanıtılmıştır (16). Korkut ve ark. (2020), yüksek viskoziteli iki akışkan kompozit (G-aenial Injectable, Estelite Super Low Flow), yüksek viskoziteli bir bulk-fill kompozit (Filtek Bulk-Fill), düşük viskoziteli akışkan kompozit (Filtek Ultimate Flowable) ve tepilebilir bir kompozit (Filtek Ultimate) kullanarak, farklı viskozitelerdeki rezin esaslı kompozit malzemelerin çeşitli renklendirici çözeltilere batırıldığında renk stabilitesini değerlendirmeyi amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Kırmızı şarapta bekletilen örneklerin en yüksek düzeyde renk değişimine uğradığını ve bunu kahve, çay ve kolanın takip ettiğini belirtmişlerdir. Yüksek viskoziteli akışkan kompozit malzemelerin renk stabilitesinin tepilebilir kompozitle benzer olduğunu bildirmişlerdir (21). Türk ve ark. (2023), bir nanohibrit tepilebilir (G-aenial Posterior) ve akışkan kompozit (G-aenial Universal Injectable), bir nanofil tepilebilir (Filtek One Bulk-Fill Restorative) ve akışkan kompozit (Filtek Ultimate Flow), bir submikron dolduruculu tepilebilir (Estelite Posterior Quick) ve akışkan kompozit (Estelite Bulk-Fill Flow) kullanarak aşınma hacim kaybı ve derinliğini karşılaştırmalı olarak değerlendiren bir çalışma yapmışlardır. Aşınma hacim kaybı ve derinliğinin, midede diğer tüm kompozit gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha düşük olduğunu, nanofil kompozitlerin aşınma hacim kaybı ve derinliğinin, diğer kompozit tiplerine göre anlamlı derecede daha yüksek olduğunu, nanohibrit ve submikron dolduruculu kompozit grupları arasında her iki parametre açısından anlamlı bir fark bulunmadığını bildirmişlerdir. Görünür viskozite açısından, geleneksel kompozitlerin aşınma hacim kaybı ve derinliğinin, akışkan kompozitlerden anlamlı derecede daha düşük olduğunu da bildirmişlerdir (22).

Kompozit Rezinlerin Polimerizasyon Şekillerine Göre Sınıflandırılması

Kimyasal Yolla (Self-Cured) Polimerize Olan Kompozit Rezinler

Bu kompozitlere “otopolimerizan kompozitler” de denir (9). Sınırlı çalışma süresine sahip olup içerdikleri üçüncül aminler nedeniyle uzun vadeli kullanımdan sonra sarıya veya turuncuya dönme eğilimindedirler. Bu renk değişiklikleri, malzemenin renk stabilitesindeki zayıflıkla ilişkilidir (8). Bu nedenlerden dolayı, birçok otopolimerizan kompozit artık doğrudan restorasyonlar yerine, rezin bazlı yapııştırma simanları veya kor materyalleri olarak tercih edilmektedir (8,9).

Işık ile Polimerize Olan (Light-Cured) Kompozit Rezinler

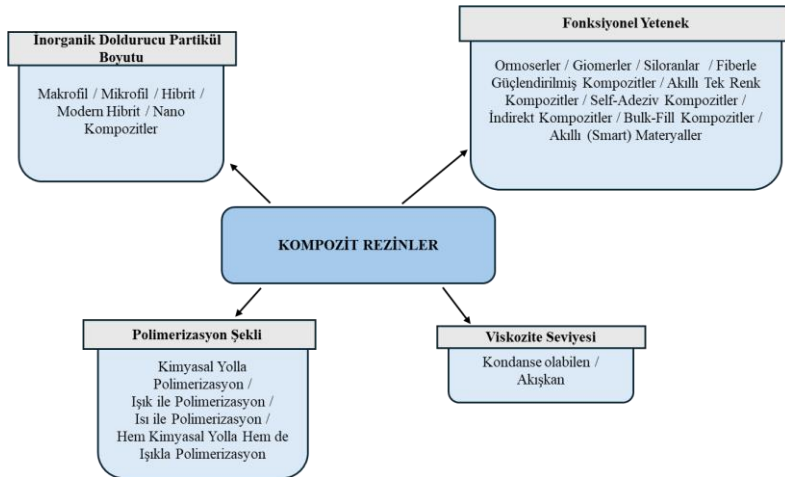
Işıkla polimerize olan kompozit rezinler için çeşitli ışık kaynakları bulunmaktadır. Bunlar arasında halojen ışık kaynakları, lazer ışık kaynakları, plazma ark ışık kaynakları ve (LED) ışık kaynakları yer almaktadır. En yaygın olarak kullanılanları ise halojen ve LED ışık kaynaklarıdır (2,23).

Isı ile Polimerize Olan Kompozit Rezinler

Polimerizasyonu ısı ile gerçekleşen kompozit rezinler, artık monomer miktarının azaltılmasına katkıda bulunabilen ısı içeren ağız dışı kütleme yöntemiyle polimerize edilmektedirler. Bu monomer miktarındaki azaltma, kompozit rezinin mekanik özelliklerinde gelişmelere yol açmaktadır (9).

Hem Kimyasal Yolla Hem de Işıkla Polimerize Olan (Dual-Cured) Kompozit Rezinler

Bu kompozitlerde polimerizasyon reaksiyonu görünür ışığa maruz bırakılarak başlatılmakta ancak ışığın yokluğunda zamanla yavaş yavaş devam eden bir reaksiyon meydana gelmektedir. Bu kompozit rezinler endodontik postların simantasyonunda ve kor materyali olarak yaygın kullanılmaktadır (Şekil 1) (8,9).



Şekil 1. Kompozit rezinlerin sınıflandırılması.

Fonksiyonel Yeteneklerine Göre Kompozitler Ormoserler

1998 yılında piyasaya sürülen ormoserler, organik modifiye seramiklerin isimlendirilmesinde ilk hecelerinin birleşimiyle oluşmuşlardır (4). Ormoserlerin düşük polimerizasyon büzülmesi, yüksek aşınma direnci, biyoyumlu özellikler taşıması, çürüklerle mücadelede koruyucu olması ve doğal diş yapısına benzer bir termal genişleme katsayısına sahip olması avantajlarından (24,25). Abreu ve ark. (2022), daimi posterior dişlerde, bulk-fill ve ormoser kompozitlerin klinik sağkalımlarını, geleneksel nanofil ve nanohibrit rezinlerle karşılaştırdıkları bir meta analiz çalışması yapmışlardır. Ortalama takip süresinin 40 ay olduğu bu çalışmada, 11 randomize klinik çalışma incelenmiştir. Toplam 812 restorasyon değerlendirilmiş ve 58 başarısız restorasyon analiz edilmiştir. 253 bulk-fill restorasyondan 18'i (% 7.11), 173 ormoser restorasyondan 21'i (% 12.3) ve 386 kontrol grubundan 20'si (% 5.18) (nanofil veya nanohibrit kompozitler) başarısız olmuştur. Meta-analizde, bulk-fill ve kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını, ormoser ve kontrol grubu karşılaştırıldığında kontrol grubunun daha iyi klinik sağkalım gösterdiğini bildirmişlerdir (26). Rensburg ve ark. (2023), bir ormoseri (Admira Fusion), birinci nesil ormoser bazlı kompozit (Admira) ve nanokompozit (Filtek Z350 XT) ile yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve mikrosızıntı açısından karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü ve mikrosızıntı açısından anlamlı bir farklılık kaydedilmediğini ve nanokompozitin ormoser malzemelerden anlamlı derecede daha sert olduğunu bildirmişlerdir (27).

Giomerler

Giomerler, kompozit malzemelerin estetik, cilalanabilirlik ve biyoyumluluk özelliklerini cam iyonomerlerin flor salınımı ve yeniden yüklenebilme yetenekleri ile birleştiren yeni bir hibrid malzemedir (28). Bu materyaller, asitlere dayanıklı bir film oluşturarak bakteri adezyonunu engelleyerek dental plak oluşumuna karşı direnç göstermektedirler (29). Bu özellikler, giomerleri kök çürükleri, çürüksüz servikal lezyonlar, sınıf V restorasyonlar ve süt dişi restorasyonları gibi klinik kullanımlar için tercih edilen bir seçenek haline gelmektedir (30,31). Neto ve ark. (2022), yaptığı bir meta analiz çalışmasında giomer restoratif kompozitleri, rezin modifiye cam iyonomer siman ile kıyaslandığında marjinal adaptasyon ve daha iyi yüzey pürüzlülüğü açısından benzer özellikler göstermiştir. Beautiful II, Beautiful Flowable Plus ile karşılaştırıldığında, marjinal adaptasyon ve anatomik form açısından Beautiful

Flowable Plus F00 ile benzer bir özellikler göstermiş, ancak marjinal renklenme ve yüzey pürüzlülüğü açısından dahakötü bir sonuç elde edilmiştir (32).

Siloranlar

Siloran, oksiran ve silan moleküllerinin reaksiyonundan elde edilmiştir ve adı da bu iki bileşenden gelmektedir (24). Bu kompozitler, geleneksel kompozitlere alternatif olarak, biyouyumlu olmaları, mekanik özelliklerinin iyi olması, polimerizasyon derinlikleri ve polimerizasyon büzülmelerinin düşük olması nedeniyle piyasaya sunulmuştur (33,34). Schmidt ve ark. (2015), düşük büzülme özellikli bir siloran bazlı kompozitin (Filtek Silorane) klinik performansını, metakrilat bazlı bir kompozit (Ceram•X) ile karşılaştırarak inceledikleri bir çalışma yapmışlar ve her iki malzemenin restorasyonlarının da 5 yıl sonra klinik olarak kabul edilebilir olduğunu rapor etmişlerdir. Metakrilat bazlı kompozite kıyasla siloran bazlı kompozitin herhangi bir avantajının bulunmadığını ve buna bağlı olarak Filtek Silorane'nin düşük büzülmesinin sınıf II kaviteelerde klinik başarı için belirleyici bir faktör olmayabileceğini bildirmişlerdir (35). Yantcheva ve ark. (2021), yaptıkları bir çalışmada marjinal uyum ve mikrosızıntı incelenmiş ve F.Ultimate, F.Silorane ve Sonicfill kompozitleri karşılaştırılmıştır. F.Ultimate ve F.Silorane salin içinde 10 ay beklettikten sonra, sınıf II kaviteelerde tamamen dentinde yer alan diş eti kenarına marjinal uyum ve daha az mikrosızıntı ile SonicFill'den istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiklerini bildirmişlerdir (36). Bu materyaller, kendi adeziv sistemleriyle uygulanmalarının gerekmesi, sınırlı renk seçeneklerine sahip olmaları, ve klinik kullanım alanlarının genellikle Sınıf I ve II kaviteeleri, yani arka grup dişlerle sınırlı olması gibi nedenlerle yaygın olarak kullanılmamaktadır (37,38).

Fiberle Güçlendirilmiş Kompozitler

Fiberle güçlendirilmiş kompozit rezinler, farklı özelliklere sahip fiberlerin kompozit yapıya eklenmesiyle oluşturulan malzemelere denilmektedir (37).

Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin kırılma dayanımları, diğer kompozit rezinlere kıyasla daha yüksek değerler sergilemektedir. Ayrıca polimerizasyon büzülme streslerini kontrol altına alarak mikrosızıntıyı azaltmaktadırlar (39,40). Fiberle güçlendirilmiş kompozitler, özellikle posterior bölgede, yüksek çiğneme kuvvetlerine maruz kalan alanlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır (41). Ayrıca, splint uygulamalarında ve geniş madde kaybı olan kanal tedavili dişlerin restorasyonunda da kullanılmaktadır (38).

Son yıllarda piyasaya sürülen EverX Posterior, % 7.2 hacimce kısa fiberler içeren ve tek tabaka halinde kolayca yerleştirilebilen ve dentin yerine geçen materyal olarak geliştirilmiştir. Ancak geleneksel bir kompozit ile üzeri

örtülmelidir (40,42). Jafarnia ve ark. (2021), kısa fiber takviyeli bir rezin kompozit olan EverX Posterior'un fiziksel ve mekanik özelliklerini değerlendirmek ve büyük posterior restorasyonlar için tasarlanmış Filtek Bulk-fill ve Beautifil-Bulk ile karşılaştırmak için bir çalışma yapmışlardır. EverX-Posterior'un eğilme mukavemeti diğer iki rezin kompozit ile karşılaştırılabilir seviyede olduğunu ve daha yüksek bir eğilme modülü gösterdiğini bildirmişlerdir. EverX-Posterior, cilalama sonrasında en yüksek yüzey pürüzlülüğü gösterirken, bu çalışmada kullanılan tüm kompozitler arasında en düşük hacimsel büzülme oranına sahip olduğunu ve ayrıca EverX-Posterior'un polimerizasyon derinliğinin 4.24 mm olduğunu (üç grup arasında en yüksek derinlik) bildirmişlerdir (43).

Rajaraman ve ark. (2022), fiberle güçlendirilmiş bir kompozit olan EverX Posterior ve alkazit bir materyal olan Cention N olmak üzere iki gelişmiş restoratif materyalin kırılma direncini değerlendirmek ve karşılaştırmak için yaptıkları çalışmada EverX Posterior ile restore edilen dişler, Cention N ile restore edilenlere göre kırılmalara karşı daha yüksek ortalama kırılma direnci göstermiştir. EverX Posterior ile restore edilen dişler, sağlam dişlere göre ortalama kırılma direnci açısından anlamlı bir fark göstermezken, Cention N ile restore edilen dişlerde anlamlı bir fark gözlemlendiğini bildirmişlerdir (44).

Akıllı Tek Renk Kompozitler

VITA Classical (VITA Kuzey Amerika, Yorba Linda, CA) skalasındaki 16 renk tonunu tek bir renk ile karşılayabilen, ekstra renk pigmenti veya boya içermeyen tek renkli restoratif materyallerdir. Yarı saydam alanlarda maskeleyici formu olan daha opak tek renk kompozit formu tercih edilmektedir (45).

Klinisyenin renk seçimi yapmak zorunda kalmaması, kolay uygulanabilmesi, cilalanabilme kapasitesinin iyi olması ve tatmin edici sonuçlar vermesi tek renk kompozitlerin avantajları arasındadır. Buna karşın, uzun süreli renk stabilitesi konusunda bazı şüpheler bulunmaktadır (46). Aydın ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada tek renk ve çoklu renk sistemine sahip kompozitlerin yüzey pürüzlülüğünü ve renk değişimini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülük değerleri arasında başlangıçta istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadığını ve tek renkli kompozitlerin, renk seçimini basitleştirmesine rağmen 1 ay sonra çoklu renk sistemine sahip olanlardan daha fazla renk değişimi gösterdiğini bildirmişlerdir (47).

Self-Adeziv (Kendi Bağlanabilen) Kompozit Reziner

Self-adeziv kompozitler, 2009 yılından itibaren kullanılan düşük viskoziteye sahip materyallerdir (37). Bu kompozitler, genellikle küçük sınıf I kavite ve çürüksüz servikal lezyonların restorasyonunda tercih edilmektedirler (48). Çalışmalar, self adeziv kompozitlerin diş dokularına tutunma yeteneklerinin, geleneksel kompozit rezinlerden daha az olduğu konusunda fikir birliği sağlamaktadır (49,50). Çeşitli araştırmalarda, kompozit uygulanmadan önce dentin yüzeyinin hazırlanması ve pürüzlendirilmesi önerilmiş ve bu prosedürün bağlanma değerlerini belirgin şekilde artırdığı gösterilmiştir (48,51). Rezinerle karşılaştırıldığında; yüzey düzgünlüğü ve parlaklığı, genleşme ve su emilimi açısından da başarılı sonuçlar elde edilememiştir (52,53). Bu simanların adeziv etkileri uzun dönem klinik çalışmalarla henüz doğrulanmadığından bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (19).

İndirekt Kompozit Reziner

İndirekt kompozit rezin restorasyonlar, seramik ve metal destekli indirekt restorasyonlara alternatif olarak değerlendirilmektedir. Direkt restorasyonlara kıyasla, polimerizasyon dereceleri daha yüksek, aşınmaya karşı daha dirençli ve mekanik özellikleri de daha güçlüdür (54). İndirekt kompozit restorasyonlar, ağız dışında polimerize edilmesinden dolayı daha iyi marjinal bütünlük sağlar ve bu da sızdırmazlık elde edilmesine yardımcı olur. Restorasyonlarda şekil, form, oklüzal kapanış ilişkileri, bitirme ve cila işlemleri daha ideal bir şekilde gerçekleştirilmektedir (54). İndirekt kompozit rezin materyaller, genellikle hibrit kompozitler ve yüksek oranda cam doldurucular içerir. Bu kompozit reziner, doğal diş yapısına benzer bir elastikiyete sahip olduklarından, fonksiyon sırasındaki kırılma riskini azaltmaktadırlar (55). İndirekt kompozit restorasyonlar ile rezin siman arasındaki adezyonun zayıf olması ve zaman alması gibi dezavantajlar bulunmaktadır. Bu teknik, preperasyonu, ölçü alımını ve yapıştırmayı gerçekleştirirken daha fazla teknik hassasiyet gerektirmektedir (8).

Bulk-Fill Kompozitler

Bulk-fill kompozitlerin gelişmiş translüsent yapısı ve geleneksel kompozitlerden daha yüksek bir polimerizasyon derecesine sahip olmaları kaviteye daha kalın (4-5 mm) kütleler halinde yerleştirilmesine olanak tanır (56). Bulk-fill kompozitlerin kullanılması restorasyon sürecinde zaman tasarrufu sağlamanın yanı sıra, tabakalama tekniğine bağlı olarak oluşabilecek kontaminasyon ve boşluk riskini ortadan kaldırarak daha homojen restorasyonlar elde edilmesine olanak tanır (57).

Yeni geliştirilmiş bulk-fill kompozit rezinerin, polimerizasyon büzülmesi daha azdır ve bu özellikleri, kavite duvarlarında daha düşük polimerizasyon büzülme stresi oluşturmaktadır (58). Bulk-fill kompozit reziner, yoğunluklarına ve polimerizasyon yöntemlerine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır (59). Yoğunluklarına göre, düşük ve yüksek viskoziteli olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Polimerizasyon yöntemlerine göre ise kimyasal, ışık ve dual-cure polimerize olan bulk-filler olmak üzere üç grupta yer alırlar. Düşük viskoziteli olanlar ayrıca akışkan bulk-fill kompozit reziner olarak da adlandırılmaktadır (60). Düşük viskoziteli bulk-fill kompozitler, daha az doldurucu içeriğine sahiptirler ve genellikle liner olarak veya minimal restorasyonlarda kullanılmaktadır (61). Azaltılmış doldurucu yükü ve bileşimi nedeniyle mekanik özellikleri sınırlıdır. Bu nedenle, geleneksel bir kompozit veya yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit ile karşılaştırıldığında, 2 mm'lik bir kaplama tabakasına ihtiyaç duymaktadır (62). Yüksek viskoziteli bulk-fill kompozitler, daha yüksek oranda inorganik doldurucuya sahiptirler. Bu yüksek doldurucu oranı, mekanik özelliklerin daha iyi olmasını sağlamakta ve yüzey aşınma direncini arttırmaktadır. Yüksek viskoziteli bulk-fill kompozitlerle, herhangi bir geleneksel rezin kompozitiyle örtülmeden kavite tamamen doldurulabilmekte ve restorasyon tamamlanmaktadır (63,64). Diğer yüksek viskoziteli kompozitlerden farklı olarak, Sonic Fill 2 kompoziti, özel tasarlanmış bir el aleti ve sonik titreşim kullanarak yüksek viskoziteden düşük viskoziteli kompozite dönüşmektedir. Bu özellik sayesinde, kompozit daha akıcı bir kıvama gelmekte ve kaviteye daha kolay uygulanmaktadır (60). Piyasada, Parkell (ABD) tarafından üretilen HyperFil ve Coltene (İsviçre) tarafından üretilen Fill Up olmak üzere iki adet dual-cure polimerize olan bulk-fill kompozit bulunmaktadır (60). Kumar ve ark. (2022), oklüzal ve gingival duvarlardaki mikrosızıntıyı incelemek için x-tra fil, Tetric Power Fill, SDR Flow Plus, Power Flow kullanarak yaptıkları bir çalışmada dört grup arasında hem oklüzal hem de dişeti kenarlarında mikrosızıntıda istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını belirtmişlerdir. Üç rezin kompozit materyalde de mikrosızıntı olduğunu, dört materyalin de dişeti kenarlarında oklüzal kenara kıyasla daha fazla mikrosızıntı gösterdiğini ve Tetric Power Fill dişeti kenarında en az mikrosızıntıya sebep olduğunu bildirmişlerdir (65). Sengupta ve ark. (2023), yaptığı sistematik bir derlemede; tabakalı teknikler kullanılarak yapılan direkt kompozit rezin restorasyonların, daimi dişlerde bulk tekniği kullanılarak yapılanlarla klinik olarak aynı performansı sergilediği,

yerleştirme teknikleri, retansiyon, tekrarlayan/ikincil çürük, marjinal renklenme/leke, marjinal adaptasyon/bütünlük, kırık, postoperatif hassasiyet, yüzey dokusu/pürüzlülük, renk eşleme ve anatomik form açısından anlamlı farklılıklar göstermediği, bulk tekniğini tabakalı dolgu yöntemine iyi bir alternatif tedavi seçeneği sunduğu, restorasyon süresini azalttığı ve uygulayıcı hatalarını azaltma imkanı sağladığı bildirilmiştir (66).

Akıllı (Smart) Materyaller

Günümüzde, ideal bir materyale ulaşma amacıyla tüm gereksinimleri karşılayacak tek bir malzeme henüz mevcut olmamakla birlikte, çalışmalar bu yönde devam etmektedir. Bu amaçla geliştirilen malzemeler, kalan diş yapısını mümkün olduğunca başarılı bir şekilde desteklemeyi hedefler ve genellikle "akıllı" veya "smart" olarak adlandırılırlar. Bu materyaller, sıcaklık, nem, pH, stres gibi çeşitli etkenlerle etkileşime girerek özelliklerini değiştirebilme yeteneğine sahiptirler (67).

Biyoaktif Kompozit Reziner

Dental restoratif materyallerin biyoaktif özelliklere sahip olma konsepti, adeziv diş hekimliği kavramlarının ve florürün ikincil veya tekrarlayan çürümeyi önleme yeteneğinin anlaşılmasının birleştirilmesinden doğmuştur (68,69). Bu materyaller, inorganik fosfat çözültisi varlığında apatite bağlanma yeteneğini geliştiren bir katmanın geliştirilmesine dayanmaktadır (68). Kompozit rezinin içine silanize edilmemiş biyoaktif cam doldurucular eklenerek biyoaktivite sağlanmaktadır (70). Bu biyoaktif materyaller ayrıca azaltılmış polimerizasyon büzülmesi, remineralizasyon yeteneği, hidrofilitik induksiyonu ve dentinle sıkı temas gibi birçok avantaj sunmaktadır. Ayrıca, katmanlar arasında minimal boşluk oluşumuna izin vermekte ve kompozit rezinlerden daha az teknik hassasiyet gerektirmektedir (68,70–72). Alrahlah'ın çalışmasında (2018), rezin bazlı 5 farklı restoratif materyalin diametral gerilme dayanımı, bükülme dayanımı ve yüzey mikrosertliği incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, biyoaktif restoratif materyalin cam iyonomer simandan anlamlı derecede daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Bükülme dayanımı ve diametrik gerilme dayanımı ise kompozitlerle benzer düzeyde bulunmuştur (72). Tohidkhah ve ark, (2022), Activa™ Bioactive-Restorative materyalinin mine ve dentin marjinal mikrosızıntısını ve dentin mikrogerilme bağlanma mukavemetini (μ TBS), geleneksel restoratif materyallerle karşılaştırmalı olarak değerlendiren bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda bağlayıcı ajan içermeyen Activa Bioactive, dentin üzerinde belirgin şekilde daha düşük mikro-tensil bağlanma mukavemeti (μ TBS) ve mine ile dentin kenarlarında daha yüksek mikrosızıntı göstermiş ve Activa Bioactive'in adeziv rezin

ile birlikte kullanılması, diğer restoratif materyallerle karşılaştırılabilir bir dentin bağlanma mukavemeti ve kenar bölgesinde sızdırmazlık sağladığı belirtilmiştir (73).

Self-Healing (Kendini Onarabilen) Kompozit Reziner

Kendi kendini tamir edebilen kompozitlerde temel fikir, herhangi bir dış müdahaleye gerek kalmadan mikro çatlakların otomatik olarak onarılması ve dental restorasyonların ömrünün uzatılmasıdır. Henüz rutin klinik uygulama aşamasına geçilmemiş olsa da klinik olarak test edilmiş, biyoyumlu ve kolay uygulanabilir materyallerden üretilen bu tür kompozitler üzerine çalışmalar mevcuttur (37).

Kendi kendini onaran malzemeler üç ana tipe ayrılabilir: mikrokapsül tabanlı yapılar, vasküler yapılar ve içsel yapılar. Mikrokapsül tabanlı yapılar, matriks malzemesinde iyileştirici bir ajan içeren mikrokapsülleri içerir, bu kapsüller aynı zamanda takviye görevi görmektedir. Vasküler yapılar ise içi boş lifler, kılcak tüpler veya kanallar gibi yapılar aracılığıyla matriks malzemesi içinde iyileşme ortamını taşır. İçsel yapılar ise otomatik bir iyileşme sistemine sahip değildir; iyileşme işlemi dışarıdan gelen destekle gerçekleşmektedir (74).

Wu ve ark. (2015), antibakteriyel fonksiyon için dimetilaminoheksadesil metakrilat (DMAHDM) ve remineralizasyon için amorf kalsiyum fosfat (NACP) nanopartikülleri içeren, çatlakları iyileştirmek için kendi kendini onaran bir kompozit geliştirmişlerdir. Kompozit içerisine % 7.5'e kadar mikrokapsül eklenmesinin mekanik özellikleri olumsuz etkilemediğini bildirmişlerdir. Kendi kendini onaran DMAHDM-NACP kompoziti, DMAHDM içermeyen kontrol kompoziti ile karşılaştırıldığında, biyofilm canlılığını ve laktik asit üretimini inhibe ederek ve koloni oluşturan birimleri 3-4 kat azaltarak güçlü bir antibakteriyel etki gösterdiğini de bildirmişlerdir (75). Bu alanda klinik uygulama aşamasına geçilebilmesi için ilave klinik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (76).

Remineralizasyon Yeteneğine Sahip Kompozit Reziner

Dental kompozit rezinler içinde kalsiyum fosfat (CaP) doldurucu bulunduran materyallerin remineralizasyon yetenekleri vardır. Bu kompozitler, in vitro olarak, süpersatürasyon seviyelerinde kalsiyum (Ca) ve fosfat (P) iyonları salgılayarak diş lezyonlarını remineralize ettikleri gösterilmiştir (77).

Ancak, son zamanlarda, yaklaşık 100 nm büyüklüğündeki CaP nanoparçacıkları farklı tekniklerle rezinlere eklenmiştir. Elde edilen CaP

nanokompozit, daha iyi mekanik özelliklere sahipken, geleneksel CaP içeren kompozitlere benzer şekilde kalsiyum ve fosfat salgılamaktadır (78,79).

Cheng ve ark. (2012) yaptığı çalışmada, Ag nanopartiküllerin antibakteriyel özelliklerinden ve amorf kalsiyum fosfat nanopartiküllerinin (NACP) remineralizasyon etkisinden faydalanmak için bu iki farklı nanopartikülü birleştirmişlerdir. Oluşturulan deneysel kompozit, istenen antibakteriyel ve remineralizasyon özelliklerini sağlamak için, kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden elde edilmiştir. Ag nanopartikül içeren NACP nanokompozitinin bükülme dayanımı ve elastik modülünün, geleneksel bir dental kompozit ile karşılaştırılabilir seviyede olduğu rapor edilmiştir (80).

Antimikrobiyal Özelliğe Sahip Kompozit Reziner

Dental kompozit rezinler, yeterli mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen, bakteri adezyonuna ve plak birikimine izin veren bir yüzeyle sahip olmaları, en önemli dezavantajlarından biridir. Bu nedenle, dental kompozit rezinlerin etkili ve uzun süreli antimikrobiyal özellikler sergilemeleri, klinik uygulamalar için önemli bir gerekliliktir (81,82). Antimikrobiyal özelliklerin kompozit rezinlerde geliştirilmesi için antimikrobiyal ajanların doldurucuya eklenmesi ve rezin matrikse eklenmesi olarak iki temel yaklaşım vardır (82).

Doldurucuya eklenenler esas olarak işlevsel doldurucu yüzeylerine antimikrobiyal ajanların eklenmesini içermektedir. Bu antimikrobiyal bileşenler genellikle hızlı bir şekilde salınım gösterirler, bu nedenle antimikrobiyal etkinlikleri hızla azalmaktadır (82).

Rezin matrikse eklenen tip, kompozit rezinlerin uzun dönem antimikrobiyal özelliklerini koruyarak, kovalent bağlanma yoluyla salınan antimikrobiyal bileşenleri en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Dental kompozit rezinlerin organik matriksine, 12-metakriloloksidodecyl-piridinyum bromid (MDPB), 2-metakriloloksietil fosforilkolin (MPC), kuarterner amonyum metakrilatlar (QAMs) gibi bileşenler eklenerek antimikrobiyal etki sağlanmaya çalışılmaktadır. Ancak, bunlardan bir kısmı henüz klinik uygulama aşamasına geçmemiştir (82).

Alkazitler

Alkazitler, çapraz bağlı polimer yapısı sayesinde üst düzey bükülme direnci sunan, diş rengiyle uyumlu yeni bir restoratif malzemedir (76). Alkazit örneği olarak, Cention N, toz ve sıvı formdaki bileşenleriyle kendiliğinden sertleşen veya ışıkla sertleşen seçeneklere sahip olan UDMA temelli bir restoratif malzemedir. İçerdiği alkali cam partikülleri, asidik saldırılar sırasında içerisindeki florür, kalsiyum ve hidroksil iyonlarını salarak ortamın pH değerini nötralize edici bir etki

sağlamaktadır. Bu şekilde demineralizasyonu önleyerek, remineralizasyon için temel oluşturmaktadır (76). Kaur ve ark. (2019), Cention N ile yüksek dayanıklı bir posterior cam iyonomeri olan GC IX'un basınç dayanımını değerlendirdikleri bir çalışmada, Cention N'nin basınç dayanımının, GC IX'ten daha yüksek olduğunu ve bu bulgulara dayanarak, Cention N'nin posterior restorasyonlar için önemli bir alternatif olabileceği belirtmişlerdir (83). Kini ve ark. (2019), Cention N materyalini adeziv kullanarak ve kullanmadan, 34 adet çekilmiş üst çene premolar dişte sınıf I kaviterler açarak değerlendirdikleri çalışmada, cam iyonomer ve kompozit restorasyonlarla karşılaştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, adeziv uygulanarak kullanılan Cention N materyalinin diğer materyallere göre daha az mikrosızıntı gösterdiğini belirtmişlerdir (84). Fousiya ve ark. (2022), yaptıkları bir çalışmada ise otopolimerize ve dual-cure olan Cention N'nin basınç dayanımı ve eğilme kuvveti karşılaştırılmıştır. Otopolimerize Cention N ile dual-cure Cention N'nin basınç dayanımı ve bükülme dayanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir (85). Cention N ile ilgili çok sayıda deneysel çalışma olmasına rağmen klinik kullanımı oldukça yenidir (76).

SONUÇ

Teknolojinin ilerlemesiyle kompozit rezinlerde geçmişten günümüze önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Günümüzdeki restoratif materyaller nispeten kaybedilen diş dokularının yerine geçerken, gelecekteki restoratif materyallerin aynı zamanda biyoaktif olması, çürük riskini azaltmaya, restorasyon ömrünü uzatmaya ve insanlığın ağız sağlığı ve yaşam kalitesini arttırmaya katkıda bulunması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Lutz F, Phillips RW. A classification and evaluation of composite resin systems. *J Prosthet Dent.* 1983;50(4):480-8.
2. Hervás García A, Angel M, Lozano M, Cabanes Vila J, Escribano AB, Galve PF, et al. Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2006;11(2):215-20.
3. Stein PS, Sullivan J, Haubenreich JE, Osborne PB. Composite Resin in Medicine and Dentistry. *J Long Term Eff Med Implants.* 2005;15(6):641-54.

4. Dayangaç B. Kompozit Restorasyonlar. 1st ed. İstanbul: Quintessence Yayıncılık; 2011;s.81-96.
5. Makvandi P, Jamaledin R, Jabbari M, Nikfarjam N, Borzacchiello A. Antibacterial quaternary ammonium compounds in dental materials: A systematic review. *Dent Mater.* 2018;34(6):851–67.
6. Moszner N, Salz U. New developments of polymer dental composites. *Prog Polym Sci.* 2001;26(4):535–76.
7. MH Chen. Update on Dental Nanocomposites. *J Dent Res.* 2010;89(6):549–60.
8. Ritter AV, Boushell LW, Walter R. *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry.* 7th ed. St. Louis: Elsevier; 2018, p.189-210.
9. Zhou X, Huang X, Li M, Peng X, Wang S, Zhou X, et al. Development and status of resin composite as dental restorative materials. *J Appl Polym Sci.* 2019;136(44):4-9.
10. Samuel SP, Li S, Mukherjee I, Guo Y, Patel AC, Baran G, et al. Mechanical properties of experimental dental composites containing a combination of mesoporous and nonporous spherical silica as fillers. *Dent Mater.* 2009;25(3):296–301.
11. Gladys S, Van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Comparative Physico-mechanical Characterization of New Hybrid Restorative Materials with Conventional Glass-ionomer and Resin Composite Restorative Materials. *J Dent Res.* 1997;76(4):883–94.
12. Stansbury JW. Curing Dental Resins and Composites by Photopolymerization. *J Esthet Dent.* 2000;12(6):300–8.
13. Zhang F, Xia Y, Xu L, Gu N. Surface modification and microstructure of single-walled carbon nanotubes for dental resin-based composites. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2008;86(1):90–7.
14. Randolph LD, Palin WM, Bebelman S, Devaux J, Gallez B, Leloup G, et al. Ultra-fast light-curing resin composite with increased conversion and reduced monomer elution. *Dent Mater.* 2014;30(5):594–604.
15. Sevkusic M, Schuster L, Rothmund L, Dettinger K, Maier M, Hickel R, et al. The elution and breakdown behavior of constituents from various light-cured composites. *Dent Mater.* 2014;30(6):619–31.
16. Korkut B, Tarçın B, Atalı PY, Özcan M. Introduction of a New Classification for Resin Composites with Enhanced Color Adjustment Potential. *Curr Oral Health Rep.* 2023;10(4):223–32.
17. Bayne SC, Heymann HO, Swift EJ. Update on dental composite restorations. *J Am Dent Assoc.* 1994;125(6):687–701.
18. Heintze SD, Rousson V, Hickel R. Clinical effectiveness of direct anterior restorations—A meta-analysis. *Dent Mater.* 2015;31(5):481–95.
19. Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dent Mater.* 2011;27(1):29–38.
20. Cobb DS, Macgregor KM, Vargas MA, Denehy GE. The physical properties of packable and conventional posterior resin-based composites: A comparison. *J Am Dent Assoc.* 2000;131(11):1610–5.
21. Korkut B, Hacıalı C. Color Stability of Flowable Composites in Different Viscosities. *Clin Exp Health Sc.* 2020;10(4):454–61.
22. Turk S, Erden Kayalidere E, Celik EU, Yasa B. In vitro wear resistance of conventional and flowable composites containing various filler types after thermomechanical loading. *J Esthet Restor Dent.* 2024;36(4):643–51.
23. Puckett AD, Fitchie JG, Kirk PC, Gamblin J. Direct Composite Restorative Materials. *Dent Clin North Am.* 2007;51(3):659–75.
24. Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. *Aust Dent J.* 2011;56(Suppl. 1):59–66.
25. Ajlouni R, Bishara SE, Soliman MM, Oonsombat C, Laffoon JF, Warren J. The Use of Ormocer as an Alternative Material for Bonding Orthodontic Brackets. *Angle Orthod.* 2005;75(1):106–8.
26. Abreu NM, Sousa FB, Dantas RV, Leite PK, Batista AU, Montenegro RV. Longevity of bulk fill and ormocer composites in permanent posterior teeth: Systematic review and meta-analysis. *Am J Dent.* 2022;35(2):89–96.
27. Jansen van Rensburg K, Kritzing D, Arnold S, Buchanan GD. In vitro comparison of the physical and mechanical properties of an ormocer with an ormocer-based composite and a nanocomposite restorative material. *Clin Exp Dent Res.* 2023;9(5):820–31.
28. Xu X, Burgess JO. Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-releasing materials. *Biomaterials.* 2003;24(14):2451–61.

29. Saku S, Kotake H, Scougall-Vilchis RJ, Ohashi S, Hotta M, Horiuchi S, et al. Antibacterial activity of composite resin with glass-ionomer filler particles. *Dent Mater J*. 2010;29(2):193–8.
30. Dhull KS, Nandlal B. Effect of low-concentration daily topical fluoride application on fluoride release of giomer and compomer: An in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2011;29(1):39–45.
31. Kimyai S, Savadi-Oskoe S, Ajami AA, Sadr A, Asdagh S. Effect of Three Prophylaxis Methods on Surface Roughness of Giomer. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2011;16(1):110–4.
32. Neto CCL, das Neves AM, Arantes DC, Sa TCM, Yamauti M, de Magalhães CS, et al. Evaluation of the clinical performance of GIOMERs and comparison with other conventional restorative materials in permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Evid Based Dent*. 2022;1–10.
33. Gökçe YDDK, Özel EMD. Kompozit Restorasyonlarda Son Gelişmeler. *Ata Diş Hek Fak Derg*. 2005;2005(3):52–60.
34. Camilotti V, Mendonça MJ, Dobrovolski M, Detogni AC, Ambrosano GMB, De Goes MF. Impact of dietary acids on the surface roughness and morphology of composite resins. *J Oral Sci*. 2021;63(1):18–21.
35. Schmidt M, Dige I, Kirkevang LL, Vaeth M, Hørsted-Bindslev P. Five-year evaluation of a low-shrinkage Silorane resin composite material: A randomized clinical trial. *Clin Oral Investig*. 2015;19(2):245–51.
36. Yantcheva SM. Marginal adaptation and micropermeability of class ii cavities restored with three different types of resin composites—a comparative ten-month in vitro study. *Polymers (Basel)*. 2021;13(10):1660–6.
37. Çelik Ç. Güncel Kompozit Rezin Sistemler. *Turkiye Klinikleri J Restor Dent-Special Topics*. 2017;3(3):128–37.
38. Sakaguchi RL, Powers JM. *Craig's Restorative Dental Materials*. 13th ed. St. Louis: Elsevier; 2012.
39. Quinn GD. *NIST Recommended Practice Guide: Fractography of Ceramics and Glasses*. 3rd ed. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology; 2020, 1-21.
40. Garoushi SK, Hatem M, Lassila LVJ, Vallittu PK. The effect of short fiber composite base on microleakage and load-bearing capacity of posterior restorations. *Acta Biomater Odontol Scand*. 2015;1(1):6–12.
41. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LVJ. Direct restoration of severely damaged incisors using short fiber-reinforced composite resin. *J Dent*. 2007;35(9):731–6.
42. Lassila L, Garoushi S, Vallittu PK, Säilynoja E. Mechanical properties of fiber reinforced restorative composite with two distinguished fiber length distribution. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2016;60:331–8.
43. Jafarnia S, Valanezhad A, Shahabi S, Abe S, Watanabe I. Physical and mechanical characteristics of short fiber-reinforced resin composite in comparison with bulk-fill composites. *J Oral Sci*. 2021;63(2):148–51.
44. Rajaraman G, Senthil Eagappan AR, Bhavani S, Vijayaraghavan R, Harishma S, Jeyapreetha P. Comparative evaluation of fracture resistance of fiber-reinforced composite and alkasite restoration in class I cavity. *Contemp Clin Dent*. 2022;13(1):56–60.
45. Eliezer R, Devendra C, Ravi N, Tangutoori T, Yesh S. Omnichroma: One Composite to Rule Them All. *Int J Med Sci*. 2020;7(6):6–8.
46. Ahmed MA, Jouhar R, Khurshid Z. Smart Monochromatic Composite: A Literature Review. *Int J Dent*. 2022;2022:2445394.
47. Aydın N, Karaoğlanoğlu S, Oktat EA, Ersöz B. Investigation of Single Shade Composite Resin Surface Roughness and Color Stability. *Ata Diş Hek Fak Derg*. 2021;31(2):207–14.
48. Altunsoy M, Botsali MS, Sari T, Onat H. Effect of different surface treatments on the microtensile bond strength of two self-adhesive flowable composites. *Lasers Med Sci*. 2015;30(6):1667–73.
49. Poitevin A, De Munck J, Van Ende A, Suyama Y, Mine A, Peumans M, et al. Bonding effectiveness of self-adhesive composites to dentin and enamel. *Dent Mater*. 2013;29(2):221–30.
50. Sachdeva P, Goswami M, Singh D. Comparative evaluation of shear bond strength and nanoleakage of conventional and self-adhering flowable composites to primary teeth dentin. *Contemp Clin Dent*. 2016;7(3):326.
51. Yazici AR, Agarwal I, Campillo-Funollet M, Munoz-Viveros C, Antonson SA, Antonson DE, et al. Effect of laser preparation on bond strength of a self-adhesive flowable resin. *Lasers Med Sci*. 2013;28(1):343–7.

- 52.** Veiga Malavasi C, Maria Macedo E, da Costa Souza K, Ferreira Rego G, Felipe Jochims Schneider L, Maria Cavalcante L, et al. Surface Texture and Optical Properties of Self-Adhering Composite Materials after Toothbrush Abrasion. *J Contemp Dent Pract.* 2015;16(10):775–82.
- 53.** Wei YJ, Silikas N, Zhang ZT, Watts DC. Hygroscopic dimensional changes of self-adhering and new resin-matrix composites during water sorption/desorption cycles. *Dent Mater.* 2011;27(3):259–66.
- 54.** el-Mowafy O. Management of Extensive Carious Lesions in Permanent Molars of a Child with Nonmetallic Bonded Restorations. *J Can Dent Assoc.* 2000;66(6):302–7.
- 55.** Devrimci EE. Geniş Madde Kayıplı Vital Dişlerde Direkt, İndirekt ve CAD/CAM Restorasyonların Klinik Başarısının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi [Doktora Tezi]. [İzmir]: Ege Üniversitesi; 2018.
- 56.** Garcia D, Yaman P, Dennison J, Neiva GF. Polymerization Shrinkage and Depth of Cure of Bulk Fill Flowable Composite Resins. *Oper Dent.* 2014;39(4):441–8.
- 57.** Par M, Gamulin O, Marovic D, Klaric E, Tarle Z. Raman Spectroscopic Assessment of Degree of Conversion of Bulk-Fill Resin Composites – Changes at 24 Hours Post Cure. *Oper Dent.* 2015;40(3):E92–101.
- 58.** El-Safty S, Silikas N, Watts DC. Creep deformation of restorative resin-composites intended for bulk-fill placement. *Dent Mater.* 2012;28(8):928–35.
- 59.** Aydın N, Karaoğlanoğlu S, Oktay EA, Toksoy Topçu F, Demir F. Diş Hekimliğinde Bulk Fill Kompozit Rezinler. *Selcuk Dent J.* 2019;6(2):229–38.
- 60.** Chesterman J, Jowett A, Gallacher A, Nixon P. Bulk-fill resin-based composite restorative materials: a review. *Br Dent J.* 2017;222(5):337–44.
- 61.** Shimokawa CAK, Giannini M, André CB, Sahadi BO, Faraoni JJ, Palma-Dibb RG, et al. In Vitro Evaluation of Surface Properties and Wear Resistance of Conventional and Bulk-fill Resin-based Composites After Brushing With a Dentifrice. *Oper Dent.* 2019;44(6):637–47.
- 62.** Heck K, Manhart J, Hickel R, Diegritz C. Clinical evaluation of the bulk fill composite QuiXfil in molar class I and II cavities: 10-year results of a RCT. *Dent Mater.* 2018;34(6):e138–47.
- 63.** Van Ende A, De Munck J, Lise DP, Van Meerbeek B. Bulk-Fill Composites: A Review of the Current Literature. *J Adhes Dent.* 2017;19(2):95–110.
- 64.** Sabbagh J, McConnell RJ, McConnell MC. Posterior composites: Update on cavities and filling techniques. *J Dent.* 2017;57:86–90.
- 65.** Amit Kumar G, Shahina P, Manoj Kumar A, Lalit L, Shahina Professor P. Comparative Evaluation of Microleakage of Bulk Fill Packable Resin Composite Restorations and Bulk Fill Flowable Resin Composite Restoration in Class V Cavity Preparation-An in Vitro Study. *National Research Denticon.* 2022;11(1):1–10.
- 66.** Sengupta A, Naka O, Mehta SB, Banerji S. The clinical performance of bulk-fill versus the incremental layered application of direct resin composite restorations: a systematic review. *Evid Based Dent.* 2023;24(3):143.
- 67.** McCabe JF, Yan Z, Al Naimi OT, Mahmoud G, Rolland SL. Smart materials in dentistry. *Aust Dent J.* 2011;56 (Suppl. 1):3–10.
- 68.** Jefferies SR. Bioactive and Biomimetic Restorative Materials: A Comprehensive Review. Part I. *J Esthet Restor Dent.* 2014;26(1):14–26.
- 69.** Francisconi LF, Scaffa PMC, de Barros VR dos SP, Coutinho M, Francisconi PAS. Glass Ionomer Cements And Their Role In The Restoration of Non-Carious Cervical Lesions. *J Appl Oral Sci.* 2009;17(5):364.
- 70.** Khvostenko D, Hilton TJ, Ferracane JL, Mitchell JC, Kruzic JJ. Bioactive glass fillers reduce bacterial penetration into marginal gaps for composite restorations. *Dent Mater.* 2016;32(1):73–81.
- 71.** Amaireh AI, Al-Jundi SH, Alshraideh HA. In vitro evaluation of microleakage in primary teeth restored with three adhesive materials: ACTIVA™, composite resin, and resin-modified glass ionomer. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2019;20(4):359–67.
- 72.** Alrahlah A. Diametral Tensile Strength, Flexural Strength, and Surface Microhardness of Bioactive Bulk Fill Restorative. *J Contemp Dent Pract.* 2018;19(1):13–9.
- 73.** Tohidkhah S, Kermanshah H, Ahmadi E, Jalalian B, Ranjbar Omrani L. Marginal microleakage and modified microtensile bond strength of Activa Bioactive, in comparison with conventional restorative materials. *Clin Exp Dent Res.* 2022;8(1):329–35.

- 74.** Je PC, Th Sultan M, Pon Selvan C, Irulappasamy S, Mustapha F, Azriff Basri A, et al. Manufacturing challenges in self-healing technology for polymer composites-a review. *J Mater Res Technol.* 2020;9(9):7370–9.
- 75.** Wu J, Weir MD, Melo MAS, Xu HHK. Development of novel self-healing and antibacterial dental composite containing calcium phosphate nanoparticles. *J Dent.* 2015;43(3):317–26.
- 76.** Özmen B. Yeni bir restoratif materyal Cention N. *Neu Dent J.* 2021;3(2):84–90.
- 77.** Skrtic D, Antonucci JM, Eanes ED. Effect of the monomer and filler systems on the remineralizing potential of bioactive dental composites based on amorphous calcium phosphate. *Polym Adv Technol.* 2001;12(6):369–79.
- 78.** Xu H, Moreau, JL. Dental glass-reinforced composite for caries inhibition: Calcium phosphate ion release and mechanical properties. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2010;92(2):332.
- 79.** Chiari MDS, Rodrigues MC, Xavier TA, De Souza EMN, Arana-Chavez Ve, Braga RR. Mechanical properties and ion release from bioactive restorative composites containing glass fillers and calcium phosphate nano-structured particles. *Dent Mater.* 2015;31(6):726–33.
- 80.** Cheng L, Weir MD, Xu HHK, Antonucci JM, Kraigsley AM, Lin NJ, et al. Antibacterial amorphous calcium phosphate nanocomposites with a quaternary ammonium dimethacrylate and silver nanoparticles. *Dent Mater.* 2012;28(5):561–72.
- 81.** Boaro LCC, Campos LM, Varca GHC, dos Santos TMR, Marques PA, Sugii MM, et al. Antibacterial resin-based composite containing chlorhexidine for dental applications. *Dent Mater.* 2019;35(6):909–18.
- 82.** Xue J, Wang J, Feng D, Huang H, Wang M. Application of Antimicrobial Polymers in the Development of Dental Resin Composite. *Molecules.* 2020;25(20):4738.
- 83.** Kaur M, Singh Mann N, Jhamb A, Batra D. A comparative evaluation of compressive strength of Cention N with glass Ionomer cement: An in-vitro study. *Int J Appl Dent Sci.* 2019;5(1):05–9.
- 84.** Kini A, Shetty S, Bhat R, Shetty P. Microleakage Evaluation of an Alkaside Restorative Material: An In Vitro Dye Penetration Study. *J Contemp Dent Pract.* 2019;20(11):1315–8.
- 85.** Fousiya K, Balagopal VR, Suresh KJ, Kumaran P, Xavier AM, Menon MM. Comparative Evaluation of Compressive Strength and Flexural Strength of Self-cured Cention N with Dual-cured Cention N: An In Vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2022;15(2):210–4.

9.