

Dentin Bağlayıcı Ajanlarda Güncel Gelişmeler

Current Advances Dentin Bonding Agents

ÖZ

Giriş: Adezyon, restoratif diş hekimliğinde kritik bir süreç olup, mineralize diş dokuları ile restoratif materyaller arasında sağlam bir bağlantı oluşturmaktadır. Dentin bonding ajanları ise bu bağlanmayı artıran ince rezin tabakalar olarak tanımlanmaktadır. Klinik uygulamalarda, tedavi süresini azaltmak, uygulama kolaylığı sağlamak ve restorasyon dayanıklılığını artırmak amacıyla farklı jenerasyon bonding ajanları geliştirilmiştir. Bu adeziv sistemler, restoratif tedavilerde daha etkili sonuçlar sağlamakta ve diş dokusunu koruma hedefiyle geliştirilmeye devam etmektedir.

Sonuç: Bu derlemede, adezyonun tanımı ve önemi ile dentin bonding sistemlerin tarihçesi, sınıflandırmaları, karşılaştırmaları, güncel bonding sistemlerin gelişimi ve çalışma mekanizmaları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca klinik vakalarda kullanılan güncel bonding ajanlarının farklı parametrelerle karşılaştırmalarının değerlendirildiği çalışmalara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adezyon, Dentin Bağlayıcı Ajanlar, Restoratif Materyaller.

ABSTRACT

Objective: Adhesion is a critical process in restorative dentistry, establishing a strong bond between mineralized tooth tissues and restorative materials. Dentin bonding agents are defined as thin resin layers that enhance this bonding. In clinical practice, various generations of bonding agents have been developed to reduce treatment time, facilitate application, and improve restoration durability. These adhesive systems yield more effective outcomes in restorative treatments and continue to be refined with the goal of preserving tooth tissue.

Conclusion: This review examines the definition and importance of adhesion, along with the history, classifications, and comparisons of dentin bonding systems, the evolution and working mechanisms of current bonding systems, and studies evaluating different parameters of contemporary bonding agents used in clinical cases.

Key Words: Adhesion, Dental Bonding Agents, Restorative Materials.

Nezahat Nurefşan EVLİ¹

ORCID: 0009-0004-1260-6162

Simin KOCAAYDIN¹

ORCID: 0000-0003-2577-7513

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



Geliş tarihi / Received: 11.11.2024

Kabul tarihi / Accepted: 13.01.2025

İletişim Adresi /Corresponding Address:

Nezahat Nurefşan EVLİ

İstanbul Kent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,

Pedodonti A.D.

İstanbul, Türkiye

E-posta/e-mail:nurefsan.evli@hotmail.com

Adezyon, farklı yüzeylerin fiziksel veya kimyasal metotlar kullanılarak bir araya getirilme sürecini ifade etmektedir. Adezyon restoratif tedavilerde, mineralize diş dokuları ile restoratif materyaller arasında kritik bir rol oynamaktadır (1). “Adeziv” adı verilen özel bir tabaka kullanılarak iki materyal arasındaki bağlanma ve etkileşim artırılmaktadır. Bu tabaka aracılığıyla mine veya dentin ile restoratif materyal arasında bir tıkaç oluşturulmaktadır. Tıkaç oluşumu, mikrosızıntıya karşı direncin artmasına, postoperatif hassasiyetin azalmasına, marjinal renklemenin ve sekonder çürük gelişim risklerinin azaltılmasında önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (2,3).

Dentin bonding ajanı, “dentin ile kompozit rezin matrisi arasına uygulanan ince rezin bir tabaka” olarak tanımlanmaktadır (3). Adeziv diş hekimliği, 1955'te Buonocore'un asitle pürüzlendirme prosedürünü bulmasıyla başlamıştır (4). Her nesil, süreçte yer alan şişe sayısını azaltmayı, işlem adımlarının sayısını en aza indirmeyi, daha hızlı uygulama teknikleri sağlamayı ve daha güçlü bağlanmayı kolaylaştıracak sistemleri hedeflemiştir (5).

Dentin Bonding Ajanların Sınıflandırılması Ve Güncel Gelişmeler

Dentin bonding ajanlarının günümüze kadar sayısız sınıflandırması olmuştur. Bunlardan bazıları nesil, klinik adımların sayısı ve modern adeziv stratejilerine dayanmaktadır (3). Nesil sınıflandırması dental bondinglerin ne zaman ve hangi sırayla geliştirildiğini ifade etmektedir.(5) Dördüncü nesil bondingler, smear tabakasını tamamen ortadan kaldırmayı ilk başaran ajanlar olarak kabul edilmiştir (6). Bu nesilde, üç ana bileşen (asit, primer, bonding) genellikle ayrı şişelerde bulunmakta ve sırasıyla uygulanmaktadır (7). Beşinci nesil adeziv sistemlerin gelişimiyle klinik süreçlerdeki adımlar azaltılmış ve işlem süresi kısaltılmıştır. Bu sistemler, "tek adımlı" veya "tek şişe" olarak adlandırılan uygulama metodlarına dayanmaktadır (5,8). Altıncı nesil adeziv sistemler aynı zamanda “self-etch adezivler” olarak da bilinmektedir. Bu adeziv sistemler tek çözelti kullanarak asitleme adımını ortadan kaldırmayı ve diğer adımlardan birine dahil etmeyi amaçlamaktadır (9). Yedinci nesil adeziv sistemler, 1999'un sonlarında geliştirilmiş, “All-in-one” adeziv sistemler ise 2002 yıllarında ortaya çıkmıştır (10). Bu sistemler, adezyon için gerekli tüm bileşenleri tek bir şişe içerisinde barındırarak adezyon protokollerini önemli ölçüde basitleştirmiştir (11,12). 2010 yılında, Voco America, nano boyutlu dolgu maddeleri içeren ve sekizinci nesil bir adeziv ajanı olan Voco Futurabond DC'yi tanıtmıştır (13). Bu yeni ajanın içerisine dahil edilen

nano-dolgu maddeleri, rezin monomerlerin miktarını artırarak hibrit tabakanın kalınlığını iyileştirmiştir. Bu gelişme, adeziv sistemin mekanik gücünü arttırmıştır (14,15). Nano dolgu maddeleri, mine ve dentin arasındaki bağlanma kuvvetini iyileştirirken, stresi absorbe etme kapasitesini artırarak ürünün raf ömrünü uzatmaktadır (5). Self-etch özelliğine sahip olan bu sekizinci nesil ajanlar, asidik hidrofilik monomerler içermekte olup, tükürük veya nem ile kontamine olmuş mine üzerinde kolaylıkla kullanılabilir (3).

Modern Adeziv Sistemlerin Mekanizmaları

Etch-and-Rinse Adeziv Sistemler

Üç aşamalı ve iki aşamalı olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Üç aşamalı sistem, fosforik asitle diş dokusunun pürüzlendirilmesi, hidrofilik bir primerin uygulanması ve ardından adeziv rezinin uygulanması basamaklarını içermektedir. İki aşamalı sistem ise fosforik asitle pürüzlendirme ve yıkama sonrası, primer ve adeziv rezin bir arada uygulanmaktadır (16). İki aşamalı total-etch sistemlerin, üç aşamalı sistemlere göre klinik olarak daha az başarılı olduğu ve yüksek teknik hassasiyet gerektirdiği belirtilmektedir (17). Bu sistemlerde, demineralize kollajenin infiltre edilmesi ve solventin uzaklaştırılmasında zorluklar yaşandığı ifade edilmektedir (17).

Etch-and-rinse sistemin bağlantı mekanizması mikromekaniktir ve hibrit tabakanın oluşumuna dayanmaktadır (18). Aynı zamanda bu teknik hassasiyet gerektiren işlemler içermektedir. Aşırı kurutma sonucu demineralize kolajen lifler çöker ve monomer difüzyonunda azalma meydana gelmektedir. Bu da uygun bir hibrit tabaka oluşumunu engellemektedir (3). Aşırı ıslak veya kuru koşullar adezivin uygulanmasını zorlaştırmakta ve rezin-dentin ara yüzünde sorunlara neden olabilmektedir. Bu sorunlar hibrit tabakanın erken bozulmasına yol açabilmektedir (19). Bu olumsuzluklara rağmen, etch-and-rinse adeziv sistemleri, mine ve dentine sağladıkları güçlü bağlanma yetenekleri sayesinde restorasyonlarda hala önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle mine yüzeyinde asitle pürüzlendirme işlemi, mikro ve makro gözenekler oluşturarak rezinlerin kolayca nüfuz etmesini ve polimerizasyon sonrası güçlü bir mikromekanik tutunma sağlamasını mümkün kılmaktadır (20). Dentine bağlanma daha zorlu bir süreç olsa da üç aşamalı sistemler, primer ve adeziv rezinin ayrı ayrı uygulanmasıyla dentin yüzeyini daha etkili bir şekilde hazırlamakta ve derin monomer infiltrasyonuna olanak tanımaktadır. Bu özellikler, restorasyonların uzun vadeli dayanıklılığı

ve klinik başarısı açısından kritik öneme sahiptir. Günümüzde, kullanımı daha basit olan self-etch materyallerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir (3).

Self-Etch Sistemler

Self-etch sistemler, etch-and-rinse tekniğinin nem hassasiyetini kontrol altına almak amacıyla ortaya çıkmıştır. Ayrıca, adeziv uygulamanın klinik işlemlerini basitleştirerek klinik süreyi azaltmak için geliştirilmiştir (21). Self-etch sistemler, asidik monomerler içerdikleri için ayrıca bir asitle aşındırma adımı gerektirmemektedir (22). Bu monomerler diş yüzeyini aynı anda hem asitle aşındırmakta hem de primer aşamasını uygulamaktadır. Bu sistemler 'smear tabakasını' değiştirebilmekte ve ince bir hibrit tabaka oluşturmaktadır (23). Self-etch adeziv sistemlerinin smear tabakası üzerindeki etkisi daha az olmaktadır. Bu dentin tübüllerinin daha az açığa çıkarılmasına ve etch-and-rinse sistemlerine kıyasla daha az dentin sıvı akışına yol açmaktadır. Böylece post-operatif hassasiyetin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Ancak, self-etch adezivlerin daha az asidik olması, etch-and-rinse adeziv sistemlerine göre daha düşük mine aşındırma kapasitesi gibi bir dezavantajı da beraberinde getirmektedir (24). Self-etch sistemler klinik uygulama adımlarının sayısına göre sınıflandırılmaktadır. İki adımlı self-etch sistemlerin ilk adımı asidik monomerden oluşmuş hidrofilik bir primer solüsyon içerirken, ikinci adım hidrofobik bağlayıcı bir ajan içermektedir (25). Tek aşamalı self-etch adezivlerin aşırı hidrofilik yapısı nedeniyle su, substrattan adeziv tabakaya doğru hareket etmektedir. Bu durum adezivin yarı geçirgen bir membran gibi davranmasına neden olmaktadır. Bu süreç, adeziv tabaka ile kompozit arasında küçük su damlacıklarının oluşmasına sebep olmaktadır. Aynı zamanda, bağ kuvvetinde azalmaya, rezinin hidrolizi ile diş-rezin bağının zamanla bozulmasına yol açmaktadır (26). Dentin ve mineye self-etch adezivlerin uygulanmasının dezavantajlarından biri fosforik asit kadar mineyi aşındıramamalarıdır. Düşük asit seviyeleri nedeniyle, bu durum servikal restorasyonların mine kenarlarında görülen marjinal renk değişikliklerinin artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle self-etch adezivlerin bozulması, asidik bileşenlerinin adeziv tabakasının su çekme eğilimini ve esnekliğini artırmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, adezivin daha fazla su emmesine ve daha yumuşak hale gelmesine yol açmaktadır (27). Dentine yeterli adezyon etch-and-rinse veya self-etch adezivler ile tamamen sağlanabilmektedir. Ancak, minede fosforik asit kullanılan etch-and-rinse yaklaşımı daha çok tercih edilmektedir (28,29).

Universal Adeziv Sistemler

Tek adımlı self-etch adezivlerin eksikliklerini gidermek amacıyla universal adezivler geliştirilmiştir. Universal adezivler, self-etch ve etch-and-rinse protokollerini destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemler, asidik fonksiyonel monomer (örneğin, 10-metakriloksidekil dihidrojen fosfat (10-MDP), gliserol fosfat dimetakrilat (GPDM)), hidrofilik (2-hidroksietil metakrilat (HEMA)) ve hidrofobik monomer (bisfenol A-glisidil metakrilat (Bis-GMA)) ile çözücü (su, etanol, aseton) içermektedir.(30) Bu fonksiyonel gruplar, hidroksiapatitteki kalsiyum iyonlarıyla bağlanarak dentine etkili bir kimyasal bağ sağlamakta ve bu sayede stabil bir bağlanma bölgesi oluşmaktadır (31,32). 10-MDP, universal adezivlerde kullanılan ilk fonksiyonel monomer olup, demineralizasyon ve bağlanma süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Uzun karbon zinciri sayesinde hidrolitik degradasyona karşı direnç gösterebilmekte ve hidroksiapatit kalsiyumu ile iyonik bağlar kurarak stabil MDP-Ca tuzlarını oluşturabilmektedir. Bu tuzlar, adeziv ara yüzde birikerek dentine uzun süreli bağlanmayı sağlayan bir nanotabaka meydana getirmektedir. Hidrofobik metakrilat ve hidrofilik fosfat grupları, MDP'nin hem restoratif materyallere hem de diş dokularına bağlanmasını mümkün kılmaktadır. Diğer monomerler, 10-MDP'ye kıyasla daha düşük bağlanma dayanımı ve hidrolitik direnç sergilemektedir (32). Universal adezivler, hem self-etch adezivler olarak dentin yüzeylerine hem de etch-and-rinse adezivler olarak mine yüzeylerine uygulanabilmektedir. Bu çift fonksiyonellik, genellikle "seçici mine pürüzlendirmesi (selective etch)" adı verilen teknikle sağlanmaktadır. Bu özellikleri sayesinde universal adezivler "multi-mode" veya "çok amaçlı" adezivler olarak da anılmaktadır (33,34). Universal adezivler klinik uygulamada yaygın olarak kullanılmasına rağmen, dentin üzerinde en iyi adeziv performansı elde etmek için hangi uygulama tekniğinin seçileceği konusunda zorluk yaşanmaktadır. Zorlu erişim, sınırlı zaman veya çocuk hastalarda düşük hasta uyumu gibi durumlarla karşılaşıldığında self-etch tercih edilebilmektedir (3).

Güncel Dentin Bonding Ajanların Karşılaştırma Kriterleri

Adeziv diş hekimliğinde birçok ilerleme kaydedilmesine rağmen, restorasyonların uygulanması sırasında adezyon ara yüzü önemli bir zorluk meydana getirmektedir. Dikkate alınması gereken faktörler arasında, oral ortamdaki nem, çiğneme stresleri, sıcaklık ve pH değişiklikleri ile

diyet ve çiğneme alışkanlıkları gibi kimyasal ve mekanik zorluklar bulunmaktadır (35). Adeziv uygulamalar sırasında yapılan bazı hatalar olumsuz durumlara neden olabilmektedir. Dentine uygulanan asit sonrası yıkanan dentinin aşırı kurutulması kollajenlerin çökme riskini artırmaktadır (36). Ayrıca dentinin aşırı asitlenmesi zayıf bağlantıya neden olabilmektedir. Hibrid tabakanın tabanında zayıf infiltrasyon gösteren alanlar, mikrosızıntıya, kollajen hidrolizine ve zamanla arayüzün bozulmasına sebep olduğu bildirilmektedir (3).

Bağlanma Dayanım Kuvveti

Bağlanma kuvveti, bonding ajanın restoratif materyal ve diş dokusuna olan mekanik ve kimyasal adezyon yeteneğini değerlendirmek için kullanılan temel bir kriterdir (37).

Ganesh ve ark. (2020), yaptığı bir in-vitro çalışmada, 64 adet çürüksüz premolar dişlere class V kavite hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler randomize dört deney grubuna ayrılmış ve her bir gruba farklı nesillerdeki bonding ajanları uygulanmıştır. Sekinci nesil G-Premio Bond, beşinci nesil Adper Single Bond 2, altıncı nesil Clearfil SE ve yedinci nesil Single Bond Universal makaslama bağlantı kuvveti açısından karşılaştırılmıştır. Sekizinci nesil G-Premio Bond, diğer nesillere göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha üstün makaslama bağlantı kuvveti sergilemiştir. Bu üstün performansın, G-Premio Bond'un yapısında bulunan ve dentin tübüllerine daha iyi penetrasyon sağlayan hidrofilitik ve hidrofil olmayan monomerlerin dengeli kombinasyonundan kaynaklandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, G-Premio Bond'un primer kullanımı gerektirmeden self-etch uygulaması ile uyumlu olduğunu, uzun süreli estetik ve aşınma direnci sunduğunu ve hipersensitif dişler için ideal bir seçenek olduğu bildirilmiştir (35).

Hardan ve ark. (39) yaptığı sistematik inceleme ve meta-analizde, universal adezivlerin bağlanma dayanımını artırmak için mevcut alternatif teknikler uygulanmış ve ek bir strateji olup olmadığı araştırılmıştır. Bu çalışmada dentine bağlanma dayanımını artırmak için adezivin aktif şekilde uygulanması ve adezivdeki solventin 10 saniyeden daha uzun süre hava spreyi ile uzaklaştırılması önerilmiştir. Ayrıca, 40 saniyeye kadar uzatılmış polimerizasyon süresi, üç saniye seçici dentin pürüzlendirmesi, adeziv uygulama süresini 2 kat artırma, ekstra rezin katmanı, MMP inhibitörlerinin (klorheksidin, 1-etil-3(3-dimetilaminopropil) karbodiimid, yeşil çay özü, galardin, tetrasiklin, etilendiamintetraasetik asit (EDTA) ve kuaterner amonyum tuzları) adezivi uygulamadan önce kullanılması, etanol ile ıslak bağlama yöntemi (etanol-wet bonding) ve birden fazla katman uygulanması (iki katman ve daha fazlası) önerilmiştir. Nemli bağlanma tekniğinin (wet-bonding), dentin yüzeyi tamamen kurutulmadan, nemli durumda bırakılan bir uygulama olduğu

bildirilmiştir (38). Diğer yandan, uygulama süresinin kısaltılması ve dentin hassasiyet gidericilerin universal adezivlerin dentin bağlanma gücünü olumsuz etkilediği bildirilmiştir (39). Akram ve ark. (40) çalışmada, klorheksidin yüklü mezoporlu silika nanopartiküllerinin (CHX-loaded/MSN) pH duyarlı bir sistem olarak geliştirilip dentin adezivlerine uygulanmasının antimikrobiyal etkinlik ve bağ dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, CHX'nin yavaş salınımını sağlayan ve dentin-kollajen arayüzünün bozulmasını önleyen nanopartikül sistemleri tasarlanmıştır. Sonuçlar, bu sistemlerin biyofilm oluşumunu ve dentin proteazlarının aktivitesini (örneğin, MMP'ler) baskılayarak hibrit tabakanın dayanıklılığını artırdığını göstermiştir. pH'ya duyarlı bu nanopartiküllerin restoratif diş hekimliğinde bağ dayanımını artırarak daha uzun ömürlü restorasyonlar için etkili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, bu sistemlerin sitotoksitesinin düşük olduğu ve uzun süreli antibakteriyel etkinlik sağladığı vurgulanmıştır (40). Akram ve ark. (40) yaptığı çalışmada, nano-gümüş (nAg) ile modifiye edilmiş indirgenmiş grafen oksit (RGO) ve grafen nanoplateletler (GNP) dentin bağlayıcı ajanlarda kullanılarak rezin-dentin arasındaki mekanik ve biyolojik özellikler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. GNP/nAg modifiye ajanlar, Streptococcus mutans biyofilm oluşumunu belirgin şekilde inhibe ederken düşük sitotoksitesite profili sergilemiştir. GNP/nAg grupları, düzenli ve homojen hibrit katmanlar oluşturarak daha güçlü rezin-dentin bağlantısı sağlamış ve en düşük nanoleakage ile en yüksek mikro-gerilme bağ dayanımı ve elastisite modülü değerlerini göstermiştir. Grafen bazlı nanopartiküllerin antimikrobiyal ve mekanik özellikleri desteklenmiş olup, daha fazla klinik araştırma gerekliliği vurgulanmıştır (41).

Brkanovic ve ark. (42) yaptığı bir laboratuvar çalışmada farklı universal adeziv ajanların dentin bağlanma gücü üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. G2-Bond Universal, Clearfil Self-etch Bond ve Scotchbond Universal Plus olmak üzere üç farklı adeziv ajanın dentin bağlanma gücü değerlendirilmiştir. Üç adeziv arasında, Scotchbond Universal Plus en düşük bağlanma gücü değerine sahipken, G2-Bond Universal'ın diğer adezivlere kıyasla dentine kesme bağlanma gücü açısından belirgin bir farkının olduğu bildirilmiştir. G2-Bond Universal'ın üstün performansının, HEMA içermemesi nedeniyle hibrit tabakanın stabilitesini artırmasına bağlanmıştır. HEMA'nın varlığı, adeziv tabakasının uzun vadede hidrolize uğrama riskini artırabilirken, HEMA içermeyen G2-Bond Universal, daha dayanıklı bir bağlanma ve daha düşük

mikrosızıntı sağladığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, özellikle self-etch uygulandığında, HEMA içermeyen universal adeziv G2-Bond Universal'ın klinik uygulamalar için en etkili universal adeziv olduğu bildirilmiştir (43).

Mikrosızıntı

Mikrosızıntı, restorasyon materyali ile diş dokusu arasındaki aralıktan bakteriler, ağız sıvıları, moleküller ve iyonların geçişine yol açan istenmeyen bir durum olarak tanımlanmaktadır (43). Dentin bonding ajanlarının en önemli karşılaştırma kriterlerinden biri, restoratif materyal ve diş dokusu arasındaki bağın mikrosızıntıya karşı direnci olmaktadır. Mikrosızıntı testleri, bonding ajanlarının sızdırmazlık kabiliyetini değerlendirmek için kullanılmaktadır (44). Fathpour ve ark. (45) yaptıkları randomize kontrollü bir çalışmada servikal restorasyonlarda universal adezivler ile sekizinci nesil iki adımlı self-etch adezivler mikrosızıntı açısından karşılaştırılmıştır. Bu in-vitro deneysel çalışmada çürüksüz 70 adet premolar diş randomize beş gruba ayrılmıştır (G-Premio Bond/self-etch tekniği, G-Premio Bond/total etch tekniği, G-Premio Bond/seçici pürüzlendirme tekniği, Clearfil SE Bond/self-etch tekniği, Clearfil SE Bond/seçici pürüzlendirme tekniği.).(45) Clearfil SE Bond/self-etch tekniği grubu, mine kenarlarında en yüksek mikrosızıntıya sahipken; G-Premio Bond'un her iki grubu da en düşük mine mikrosızıntı oranına sahip olduğu bildirilmiştir. Clearfil SE Bond/self-etch grubu, dentin kenarlarında en yüksek mikrosızıntıyı gösterirken; G-Premio Bond/seçici pürüzlendirme tekniği grubunun en az mikrosızıntı gösterdiği bildirilmiştir (45). Akram ve ark. (46), pH duyarlı klorheksidin yüklü mezoporoz silika nanopartikülleriyle modifiye edilmiş bir deneysel dentin adezivini değerlendirmiştir. Çalışma, nanopartikül modifikasyonunun dentin bağlanma gücünü artırdığını, hibrit tabaka stabilitesini iyileştirdiğini ve mikrosızıntıyı azalttığını göstermiştir. Bu başarı, nanopartiküllerin homojen dağılım sağlaması, geniş yüzey alanlarıyla bağlanmayı güçlendirmesi ve klorheksidinin antimikrobiyal etkisiyle ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak, modifiye adezivin hem bağlanma gücü hem de uzun süreli klinik başarı açısından etkili olduğu belirtilmiştir (46). Sengar ve ark. (47) yaptığı randomize kontrollü bir in-vitro çalışmada, 27 adet çürüksüz dişe class V kavitelem açılarak mikrosızıntı açısından karşılaştırılmıştır. Kavitelem, etch-and-rinse adeziv sistemi (Adper Single Bond 2/ Beşinci Nesil Ajan), self-etch adeziv sistemi (G-Bond/ yedinci nesil ajan) ve self-etch akışkan kompozit rezin (Constic) kullanılarak restorasyon yapılmıştır (47). Constic, içerisinde bonding ajanını da barındıran akışkan kompozit bir materyaldir.

Self-etch adeziv sistemi (G-Bond) ile etch-and-rinse adeziv sistemi (Adper Single Bond 2) arasında mikrosızıntı farkı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Self-etch akışkan kompozitin (Constic), diğer adeziv sistemlere kıyasla en yüksek mikrosızıntı miktarına sahip olduğu bildirilmiştir.(47) Bu çalışmanın sonucunda,tüm adeziv sistemler mikrosızıntı riski taşıdığı; ancak total-etch adeziv sistemin (Adper Single Bond 2) en az mikrosızıntı değerini gösterdiği bildirilmiştir. Adper Single Bond 2'nin daha düşük mikrosızıntı göstermesinin nedeni, mine ve dentin üzerinde güçlü mekanik ve kimyasal bağlanma sağlayarak hibrit tabaka oluşumunu optimize etmesi olduğu bildirilmiştir. Buna karşın, Constic'in yetersiz pürüzlendirme ve bonding ajanının homojen bir şekilde dağılamaması nedeniyle daha yüksek mikrosızıntıya neden olduğu belirtilmiştir (47). Singh ve ark. (48) yaptığı deneysel bir in-vitro çalışmada, 45 adet premolar dişte açılan sınıf V kavitelem, total-etch, universal ve sekizinci nesil sistemler ile restore edilerek mikrosızıntı açısından karşılaştırılmıştır. Örnekler üç gruba ayrılmış ve sırasıyla total-etch beşinci nesil (Tetric N-Bond), universal self-etch yedinci nesil (Prime & Bond Universal) ve sekizinci nesil (Futura Bond DC) adeziv sistemleri kullanılmıştır.(48) Sekizinci nesil adezivlerin mikrosızıntı açısından total-etch ve universal adeziv sistemlerine kıyasla daha iyi sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir (48). Bu adeziv ajanların, mikrosızıntıyı azaltmada daha etkili olduğu ve restorasyonların marjinal bütünlüğünü sağladığı bildirilmiştir (48).

Rocha ve ark. (49) yaptığı çalışmada, Brezilya kırmızı propolisinin dentin adezivlerinin geçirgenliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Adezivlere propolis eklenmesinin hibrit tabaka üzerinden su geçişini önemli ölçüde azalttığı ve dentin sızdırmazlığını iyileştirdiği bildirilmiştir. Propolis içeren adezivler, konsantrasyona bağlı olarak etkili sonuçlar vermiş ve 500 µg/mL en yüksek etkinliği sağlamıştır. Bu etkiler, propolisin içeriğindeki polifenoller ve flavonoidlerin antimikrobiyal özellikleri ile hibrit tabaka stabilitesini artırıcı etkisine bağlanmıştır. Özellikle, propolisin hibrit tabaka içindeki kollajen fibrillerini stabilize ederek demineralizasyonu azalttığı ve mikrosızıntıyı önlediği vurgulanmıştır. Deneysel adezivler (iki aşamalı "etch-and-rinse" metakrilat bazlı adeziv) propolisten olumlu etkilenirken, Single Bond daha üstün performans göstermiştir. Bu durum, Single Bond'un daha gelişmiş bileşimine bağlanmıştır. Bu bulgular, propolisin dental uygulamalarda adeziv performansını artıran bir biyoaktif bileşen olduğunu göstermiştir (49).

Nem Toleransı

Klinik uygulamalarda, tükürük ve kanın çalışma alanını kontamine etmesi durumunda etkili bir nem kontrolü sağlamak büyük bir zorluk oluşturmaktadır. Tükürük proteinleri ve nemin varlığı, restorasyonların bağlanma dayanımını ciddi oranda azaltarak uzun dönem başarıyı olumsuz etkileyebilmektedir (50). Sugimura ve ark. (51) yaptığı randomize klinik bir çalışmada universal adezivlerin etch-and-rinse yöntemine göre nemli yüzeyde bağlanma dayanımı değerlendirilmiştir. All-Bond Universal, G-Premio Bond, Prime&Bond Active ve Scotchbond Universal Adhesive değerlendirilmiştir. Etch-and-rinse yöntemiyle uygulanan universal adezivlerin dentine olan bağlanma dayanıklılığı, mineye olan bağlanma dayanıklılığından farklı olarak yüzey neminden etkilenmiştir. Özellikle, All-Bond Universal ve G-Premio Bond'un dentine bağlanma dayanıklılığı, yüzey nemine duyarlı bulunurken, Prime&Bond Active ve Scotchbond Universal Adhesive'in bu duruma daha az duyarlı olduğu belirtilmiştir. Bu farklılık, bazı universal adezivlerdeki katkı maddelerinin bağlanma stabilitesini artırma ve su miktarını düzenleme özelliklerine bağlanmıştır. Etch-and-rinse yöntemi kullanıldığında, dentin yüzeyindeki nemin universal adezivlerin bağlanma performansını doğrudan etkilediği ve uygun nem seviyesinin restorasyon başarısı için kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanmıştır (51).

Jitumori ve ark. (52) yaptığı bir in-vitro çalışmada, farklı adeziv stratejiler kullanılarak, kök dentininde fiber postların bağlanmasına nemin etkisi değerlendirilmiştir. Toplam 72 adet endodontik tedavi görmüş diş altı gruba ayrılmıştır. Bunlar, dentin yüzeyinin nemine ve adeziv sistemlere göre şu şekildedir: a) etch-and-rinse/nemli, b) etch-and-rinse/kuru, c) self-etch/nemli, d) self-etch/kuru, e) self-adhesive/nemli ve f) self-adhesive/kuru. Rezin materyalinin Push-out testi ile bağlanma dayanımı, SEM ile nanosızıntı ve Vickers testi ile mikrosertliği değerlendirilmiştir. Push-out testi sonuçlarına göre, etch-and-rinse grubunda bağlanma dayanımının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, kuru dentin, arayüzde daha düşük mikrosızıntı göstermiştir. Mikrosertlik değerlendirmesinde ise, self-adhesive stratejisi kuru dentin üzerinde istatistiksel olarak en yüksek değerleri göstermiştir. Etch-and-rinse stratejisinin bağlanma dayanımı açısından üstün olduğu, ancak nem kontrolü sağlanamadığında self-adhesive stratejilerin kuru dentin üzerinde daha uygun bir alternatif olabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, nemin bağlanma dayanımına olan etkisinin, farklı adeziv sistemler arasında belirgin farklılıklar gösterdiği vurgulanmıştır (52).

Mohan ve ark.'nın 2023 yılında yaptığı bir in-vitro çalışma yedinci ve sekizinci nesil adeziv sistemlerin tükürük kontaminasyonunun kesme bağlanma dayanıklılığına etkisini karşılaştırmayı amaçlamıştır. Toplam 66 adet premolar diş, yedinci ve sekizinci nesil adeziv sistemler kullanılarak iki ana gruba ayrılmış ve her

bir grup üç alt gruba (kontrol, tükürükle kontamine ve tükürük kontaminasyonundan sonra adezivin yeniden uygulanması) bölünmüştür. Sekizinci nesil adeziv sistemlerin, tükürük kontaminasyonuna karşı daha dirençli olduğunu ve kontaminasyondan sonra adezivin yeniden uygulanmasının kesme bağlanma dayanıklılığının kontrol gruplarına yakın seviyelere getirebildiği bildirilmiştir. Sekizinci nesil adezivlerin, kimyasal yapılarındaki hidrofilik ve hidrofobik monomer dengesi sayesinde tükürük varlığında daha stabil bağlar oluşturduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak, sekizinci nesil adezivler, yedinci nesil adezivlere kıyasla tükürük kontaminasyonu varlığında ve yokluğunda daha yüksek kesme bağlanma dayanıklılığı değerleri gösterdiği belirtilmiştir (50).

Dentin Bağlayıcı Ajanlarda Yenilikçi Yaklaşımlar: Antimikrobiyal, Anti-Enzimatik ve Biyoaktif Sistemlerin Klinik Potansiyelleri

Dentin bağlayıcı ajanlar, bağ stabilitesini artırmak, çürük oluşumunu engellemek ve biyolojik uyumluluğu sağlamak için sürekli yeniliklerle geliştirilmektedir. Son yıllarda antimikrobiyal, anti-enzimatik ve biyoaktif özelliklere sahip yeni nesil sistemler, bağlayıcı ajanlarda önemli ilerlemeler sağlamıştır (53). Yousaf ve ark. (54) çalışmasında, self-etch (AdheSE One) ve etch-and-rinse (Eco-Etch) adeziv sistemler, postoperatif hassasiyet açısından karşılaştırılmıştır. Self-etch sistem, 24 saat sonrasında soğuk uyarana karşı daha düşük hassasiyet sağlarken, bir hafta sonunda gruplar arasında fark gözlenmemiştir. Self-etch sistemin daha iyi sonuç vermesi, dentin tübüllerini kısmen kapatarak sıvı hareketini sınırlaması ve hidrofilik-hidrofobik monomer dengesiyle daha stabil hibrit tabaka oluşturmaya bağlanmıştır. Buna karşın, etch-and-rinse sistemlerde nem kontrolünün zorluğu ve dentin tübüllerinin tamamen açığa çıkması, hassasiyetin artmasına ve mikrosızıntı riskinin yükselmesine neden olmuştur. Sonuç olarak, self-etch sistemlerin erken dönemde hassasiyeti azaltmada daha avantajlı olduğu, ancak etch-and-rinse sistemlerin mine bağlanmasında daha güçlü performans gösterebileceği belirtilmiştir. Adeziv sistem seçiminde yüzey hazırlığı ve nem kontrolünün önemi vurgulanmıştır (54). Koohpeima ve ark. (55), nano-gümüş (NAg) partiküllerinin farklı adeziv protokolleriyle dentin üzerine uygulandığında kompozit makaslama bağ kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, NAg partikülleri hem etch-and-rinse hem de self-etch adeziv sistemlerle kullanılmıştır. Sonuçlar, NAg ön işleminin her iki sistemde de bağ kuvvetini artırdığını ve en iyi sonucun Adper Single Bond ile asitle aşındırma

öncesinde elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, NAg'nin antibakteriyel etkilerinin bağ dayanımına olumsuz bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Nano-gümüş içeren adeziv sistemlerin restoratif diş hekimliğinde antibakteriyel koruma ve artırılmış bağ stabilitesi için etkili bir yaklaşım olduğu tespit edilmiştir (55). Dutra-Correa ve ark. (53), düşük konsantrasyonlarda (50-250 ppm) nano-gümüş (NAg) içeren bir dental adezivin antibakteriyel etkilerini, sitotoksitesini ve mikro-gerilme bağ dayanımını (μ TBS) değerlendirmiştir. Çalışmada, NAg içeren adezivlerin Streptococcus mutans biyofilm oluşumunu anlamlı şekilde azalttığı ve özellikle 250 ppm konsantrasyonunda en yüksek antibakteriyel etkinliği sergilediği belirtilmiştir. Ayrıca, NAg içeren adezivlerin kontrol grubu olan Scotchbond Multi-Purpose ile benzer μ TBS değerleri sağladığı ve sitotoksitede artışa neden olmadığı tespit edilmiştir. NAg'nin diş-adeziv arayüzünü bakterilere karşı koruyarak dental restorasyonların uzun ömürlülüğünü artırdığı belirtilmiştir (53). Younus ve ark.'nın (56) yaptığı randomize kontrollü bir çalışmada orta ve şiddetli dentin hipersensitivite ağrısı olan hastalarda, dentin hassasiyet gidericiler ile self-etch adezivin etkinliği karşılaştırılmıştır. Dentin hassasiyeti olan toplam 254 hasta, Grup A (Single Bond Universal Agent) ve Grup B (Seal & Protect Agent) olarak randomize iki gruba ayrılmıştır. Grup A'daki hastaların % 86,6'sı dentin hassasiyetinde iyileşme gözlemlenirken, Grup B'deki hastaların sadece % 67,7'si hassasiyette azalma bildirmiştir. Self-etch adezivin üstün performansı, dentin tübüllerini etkin şekilde kapatarak sıvı hareketini azaltması ve güçlü hibrit tabaka oluşturmaya bağlanmıştır. Sonuç olarak, self-etch adeziv uygulamasının ardından bir dakika sonra dentin hassasiyeti önemli ölçüde azalmakta ve bir ay süreyle hassasiyet giderici ajanlara kıyasla daha etkili olduğu bildirilmiştir (56). Park ve ark. (58) yaptığı çalışmada, postoperatif hassasiyeti azaltmak için CPNE7-DP'yi All-Bond Universal (ABU) adezivine entegre ederek ABU/CPNE7-DP adlı materyali geliştirmiştir. CPNE7-DP, dentin hassasiyetlerinin tedavisinde kullanılan bioaktif bir terapötik ajan olarak tanıtılmıştır (57). Bu materyal, pulpa tarafında tübüler dentin üretimini teşvik etmekte ve dentin tübüllerini tıkayarak dentin hassasiyetini tedavi ettiği gözlenmiştir (57). ABU/CPNE7-DP, dentin tübüllerine nüfuz edebilmekte, in-vitro odontoblast farklılaşmasını teşvik etmekte ve bağlanma performansını etkilemeden in-vivo tübüler yapıda üçüncül dentin üretebilmektedir. Bu çalışmada, ABU/CPNE7-DP'nin post-operatif hassasiyeti azaltmada yenilikçi bir biyoaktif adeziv olduğu sonucu bildirilmiştir (58).

Alghauli ve ark. (59) tarafından yapılan sistematik inceleme ve meta-analizde, self-adeziv rezin simanların (SA) total-etch (TE), selektif asitleme (Sle) ve self-etch

(SE) protokolleriyle karşılaştırıldığında, postoperatif hassasiyet açısından anlamlı bir fark olmadığı, ancak debonding ve sağkalım oranları bakımından Sle ve SE'nin daha üstün olduğu belirtilmiştir. SA'nın daha düşük performansı, mine yüzeyinde yetersiz pürüzlendirme ve hibrit tabaka oluşumunun sınırlı olmasıyla açıklanmıştır. TE protokolü, mine üzerinde güçlü bir mikromekanik bağ oluştururken, Sle protokolü dengeli bağlanma sağladığı için daha yüksek sağkalım oranları gösterdiği bildirilmiştir. SE protokolü, dentin tübüllerine yeterince nüfuz ederek sıvı hareketini sınırladığı ve postoperatif hassasiyeti azalttığı; ancak mine bağlanmasında daha sınırlı kaldığı belirtilmiştir. Çalışmada, yüzey hazırlığının ve bağlanma mekanizmasının restorasyon başarısında belirleyici olduğu vurgulanmıştır. SA'nın uygulama kolaylığına rağmen özellikle mine bağlanmasında daha düşük performans gösterdiği tespit edilmiştir (59).

SONUÇ

Estetik beklentilerin artması ve tedavi sürelerinin kısalması, restoratif materyallerin geliştirilmesini öncelikli hale getirmiştir. Asit uygulamasının ortaya çıkmasıyla restorasyonların kalitesini artırmak için çeşitli dentin bonding materyalleri geliştirilmiştir. Güncel dentin bonding ajanlarının geliştirilmesinde süreci basitleştirmeyi amaçlayan ilerlemeler kaydedilmiştir. Stabiliteleri ve bağlanma dayanımı performansları ile ilişkili klinik sonuçlar iyileştirilmeye çalışılmıştır. Postoperatif hassasiyeti azaltma, marjinal sızdırmazlığı iyileştirme ve mikrosızıntıyı azaltmaya yönelik çalışmalar devam etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Eligüzeloğlu E. Son dönem geliştirilen adeziv sistemler. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2009;10(1):22-29.
2. Arhun N. Adezyon ve adeziv sistemler. Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Dergisi – Restoratif Diş Hekimliği Özel Konuları 2017;3(3):113-127.
3. Sofan E, Sofan A, Palaia G, Tenore G, Romeo U, Migliau G. Classification review of dental adhesive systems: From the IV generation to the universal type. Ann Stomatol. 2017;8:1-9.
4. Buonocore M. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res. 1955;34:849-853.

5. Joseph P, Yadav C, Satheesh K, Rahna R. Comparative evaluation of the bonding efficacy of sixth, seventh and eighth generation bonding agents: An in vitro study. *Int Res J Pharm.* 2013;4(9):143-147.
6. Kugel G, Ferrari M. The science of bonding: From first to sixth generation. *J Am Dent Assoc.* 2000;131:20-25.
7. Kanca J. A method for bonding to tooth structure using phosphoric acid as a dentin-enamel conditioner. *Quintessence Int.* 1991;22:285-290.
8. De Munck J, Van Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, et al. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: Methods and results. *J Dent Res.* 2005;84(2):118-132.
9. Pashly EL, Agee K, Pashly DH, Tay F. Effect of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive on dentine bonding. *J Dent.* 2002;30:83-90.
10. Abraham S, Ghonmode WN, Saujanya KP, Jaju N, Tambe VH, Yawalikar PP. Effect of grape seed extracts on bond strength of bleached enamel using fifth and seventh generation bonding agents. *J Int Oral Health.* 2013;5:101-107.
11. Alex G. Adhesive considerations in the placement of direct composite restorations. *Compend Contin Educ Dent.* 2008;29(1):20-25.
12. Mözner N, Salz U, Zimmermann J. Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: A systematic review. *Dent Mater.* 2005;21:895-910.
13. Pashley DH, Tay FR. Aggressiveness of contemporary self-etching adhesives. Part II: Etching effects on unground enamel. *Dent Mater.* 2001;17(5):430-444.
14. Başaran G, Ozer T, Devecioğlu Kama J. Comparison of a recently developed nanofiller self-etching primer adhesive with other self-etching primers and conventional acid etching. *Eur J Orthod.* 2009;31(3):271-275.
15. Kasraei SH, Atai M, Khamverdi Z, Khalegh Nejad S. Effect of nanofiller addition to an experimental dentin adhesive on microtensile bond strength to human dentin. *J Dent (Tehran).* 2009;6(2):91-96.
16. Gordan VV, Vargas MA, Cobb DS, Denehey GE. Evaluation of adhesive systems using acidic primers. *Am J Dent.* 1997;10:219-223.
17. Oğuzcan MŞ. Comparison of total etch systems and self etch systems. *J Agent.* 2016;8:16-22.
18. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano D, et al. Dental adhesion review: Aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater.* 2008;24:90-101.
19. Hashimoto M, Tay FR, Svizero NR, Gee AJ, Feilzer AJ, Sano H, et al. The effects of common errors on sealing ability of total-etch adhesives. *Dent Mater.* 2006;22:560-568.
20. Van Meerbeek B, De Munck J, Mattar D, Van Landuyt K, Lambrechts P. Microtensile bond strengths of an etch-and-rinse and self-etch adhesive to enamel and dentin as a function of surface treatment. *Oper Dent.* 2003;28(5):647-660.
21. Sundfeld RH, Valentino TA, Alexandre RS, Briso ALF, Sundfeld M. Hybrid layer thickness and resin tag length of a self-etching adhesive bonded to sound dentin. *J Dent.* 2005;33:675-681.
22. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt KL, Poitevin A, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Eight-year clinical evaluation of a two-step self-etch adhesive with and without selective enamel etching. *Dent Mater.* 2010;26:1176-1184.
23. Reis A, Grandi V, Carlotto L, Bortoli G, Patzlaff R, Accorinte MLR, et al. Effect of smear layer thickness and acidity of self-etching solutions on early and long-term bond strength to dentin. *J Dent.* 2005;33:549-559.
24. Hashimoto M, Ito S, Tay FR, et al. Fluid movement across the resin-dentin interface during and after bonding. *J Dent Res.* 2004;83:843-848.
25. Giannini M, Makishi P, Ayres AP, Vermelho PM, Fronza BM, Nikaido T, et al. Self-etch adhesive systems: A literature review. *Braz Dent J.* 2015;26:3-10
26. Van Landuyt KL, Snauwaert J, Peumans M, De Munck J, Lambrechts P, Van Meerbeek B. The role of HEMA in one-step self-etch adhesives. *Dent Mater.* 2008;24:1412-1419.
27. Van Landuyt KL, De Munck J, Mine A, Cardoso MV, Peumans M, Van Meerbeek B. Filler debonding and subhybrid layer failures in self-etch adhesives. *J Dent Res.* 2010;89(10):1045-1050.
28. Erickson RL, Barkmeier WW, Kimmes NS. Bond strength of self-etch adhesives to pre-etched enamel. *Dent Mater.* 2009;25:1187-1194.

- 29.** Rotta M, Bresciani P, Moura SK, Grande RH, Hilgert LA, Baratieri LN, et al. Effects of phosphoric acid pretreatment and substitution of bonding resin on bonding effectiveness of self-etching systems to enamel. *J Adhes Dent.* 2007;9:537-545.
- 30.** Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials.* 2007;28(26):3757-3775.
- 31.** Cardoso MV, de Almeida Neves A, Mine A, Coutinho E, Van Landuyt K, De Munck J, et al. Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry. *Aust Dent J.* 2011;56(Suppl 1):31-44.
- 32.** Yoshida Y, Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Torii Y, Ogawa T, et al. Self-assembled nano-layering at the adhesive interface. *J Dent Res.* 2012;91(4):376-381.
- 33.** Hanabusa M, Mine A, Kuboki T, Momoi Y, Van Ende A, Van Meerbeek B, et al. Bonding effectiveness of a new multi-mode adhesive to enamel and dentin. *J Dent.* 2012;40(6):475-484.
- 34.** Perdigao J, Sezinando A, Monteiro PC. Laboratory bonding ability of a multi-purpose dentin adhesive. *Am J Dent.* 2012;25(3):153-158.
- 35.** Sri Ganesh A. Comparative evaluation of shear bond strength between fifth, sixth, seventh, and eighth generation bonding agents: An in vitro study. *Indian J Dent Res.* 2020;31(5):752-757.
- 36.** Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility, and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials.* 2003;24:655-665.
- 37.** Breschi L, Maravic T, Cunha SR, Comba A, Cadenaro M, Tjäderhane L, et al. Dentin bonding systems: From dentin collagen structure to bond preservation and clinical applications. *Dent Mater.* 2018;34(1):90-101.
- 38.** Tay FR, Gwinnett JA, Wei SH. Micro-morphological spectrum from overdrying to overwetting acid-conditioned dentin in water-free acetone-based, single-bottle primer/adhesives. *Dent Mater.* 1996;12(4):236-244.
- 39.** Hardan L, Bourgi R, Kharouf N, Mancino D, Zarow M, Jakubowicz N, et al. Bond strength of universal adhesives to dentin: A systematic review and meta-analysis. *Polymers.* 2021;13(3):1-35.
- 40.** Akram Z, Daood U, Aati S, Ngo H, Fawzy AS. Formulation of pH-sensitive chlorhexidine-loaded mesoporous silica nanoparticles modified experimental dentin adhesive. *Mater Sci Eng C.* 2021;122:111894.
- 41.** Akram Z, Aati S, Clode P, Saunders M, Ngo H, Fawzy AS. Formulation of nano-graphene doped with nano silver modified dentin bonding agents with enhanced interfacial stability and antibiofilm properties. *Dent Mater.* 2022;38(2):347-362.
- 42.** Brkanović S, Sever EK, Vukelja J, Ivica A, Miletić I, Krmek SJ. Comparison of different universal adhesive systems on dentin bond strength. *Materials.* 2023;16(4):1-15.
- 43.** Taylor MJ, Lynch E. Microleakage. *J Dent.* 1992;20(1):3-10.
- 44.** Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, et al. Buonocore memorial lecture: Adhesion to enamel and dentin—current status and future challenges. *Oper Dent.* 2003;28(3):215-235.
- 45.** Fathpour K, Bazazzade A, Mirmohammadi H. A comparative study of cervical composite restorations microleakage using dental universal bonding and two-step self-etch adhesive. *J Contemp Dent Pract.* 2021;22(9):1035-1040.
- 46.** Akram Z, Daood U, Aati S, Ngo H, Fawzy AS. Formulation of pH-sensitive chlorhexidine-loaded mesoporous silica nanoparticles modified experimental dentin adhesive. *Mater Sci Eng C.* 2021;122:111894.
- 47.** Sengar EV, Mulay S, Beri L, Gupta A, Almohareb T, Binalrimal S, et al. Comparative evaluation of microleakage of flowable composite resin using etch-and-rinse, self-etch adhesive systems, and self-adhesive flowable composite resin in class V cavities: Confocal laser microscopic study. *Materials.* 2022;15(14):1-13.
- 48.** Singh S, Bhadauria US, Sharma A, Verma Mathur R. Comparative evaluation of microleakage with total-etch, universal (self-etch mode), and nano adhesive systems in class V composite restorations: An in-vitro study. *Cureus.* 2023;15(10):1-12.
- 49.** da Rocha LS, de Oliveira DF, de Lima CLV, do Nascimento TG, de Freitas JD, de Freitas JMD, et al. Effect of propolis added to single-bottle adhesives on water permeation through the hybrid layer. *Eur J Oral Sci.* 2024;132(6):1-10.

- 50.** Mohan MC, Geetha P, Soman D, Kunjusankaran RN, Kurup NB, Venugopal K. The effect of salivary contamination on the shear bond strength of seventh- and eighth-generation adhesive systems. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2023;16(Suppl 1):S63-S66.
- 51.** Sugimura R, Tsujimoto A, Hosoya Y, Fischer NG, Barkmeier WW, Takamizawa T, et al. Surface moisture influence on etch-and-rinse universal adhesive bonding. *Am J Dent.* 2019;32(1):33-38.
- 52.** Jitumori RT, Rodrigues RC, Reis A, Gomes JC, Gomes GM. Effect of dentin moisture on the adhesive properties of luting fiber posts using adhesive strategies. *Braz Oral Res.* 2023;37:1-11.
- 53.** Dutra-Correa M, Leite AABV, de Cara SPHM, Diniz IMA, Marques MM, Suffredini IB, et al. Antibacterial effects and cytotoxicity of an adhesive containing low concentration of silver nanoparticles. *J Dent.* 2018;77:66-71.
- 54.** Yousaf A, Aman N, Manzoor MA, Shah JA, Dilrasheed. Postoperative sensitivity of self-etch versus total-etch adhesive. *J Coll Physicians Surg Pak.* 2014;24(6):383-386.
- 55.** Koohpeima F, Mokhtari MJ, Khalafi S. The effect of silver nanoparticles on composite shear bond strength to dentin with different adhesion protocols. *J Appl Oral Sci.* 2017;25(4):367-373.
- 56.** Younus MZ. Comparison between effectiveness of dentine desensitizer and one-bottle self-etch adhesive on dentine hypersensitivity. *Technol Health Care.* 2021;29(6):1153-1159.
- 57.** Gug HR, Park YH, Park SJ, Jang JY, Lee JH, Lee DS, et al. Novel strategy for dental caries by physiologic dentin regeneration with CPNE7 peptide. *Arch Oral Biol.* 2022;143:105531.
- 58.** Park EH, Na YK, Gug H, Lee DS, Park JC, Park SH, et al. Development of a new universal adhesive containing CPNE7-derived peptide and its potential role in reducing postoperative sensitivity. *Dent Mater J.* 2023;42(4):501-508.
- 59.** Alghauli MA, Alqutaibi AY, Wille S, Kern M. Clinical reliability of self-adhesive luting resins compared to other adhesive procedures: A systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2023;129:104394.