

DIŞ HEKİMLİĞİNDE ADEZİV SİSTEMLER ADHESIVE SYSTEMS IN DENTISTRY

İbrahim Halil AVCILAR¹ , Şeymus BAKIR¹ 

¹ Dicle Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Diyarbakır, Türkiye

ÖZET

Geçmişten günümüze kadar araştırmacılar restoratif materyallerin dişe adezyonu konusunda yeni yöntemler geliştirmeyi amaçlamışlardır. Adeziv diş hekimliğindeki gelişmelerle birlikte, estetiğe verilen önemin giderek artması korumak için genişletmek kavramının, yerini minimal invaziv diş hekimliğine bırakmasını sağlamıştır. Restorasyonların başarısı için, diş hekimlerinin adeziv sistemlerdeki gelişmeleri takip etmeleri ve uygun materyalleri tercih etmeleri gerekmektedir. Bu sistemler diş sert dokuları ile restoratif materyal arasında hibrit tabaka oluşturarak bağlanmayı gerçekleştirmektedir. Son yıllarda, hibrit tabakanın bozulmasını engellemek ve kollajen matriksi stabilize etmek amacıyla MMP inhibitörleri, antibakteriyel ajanlar, wet bonding ve hibrit tabakanın remineralizasyonu gibi yöntemler geliştirilmiştir. Bu derleme; adeziv sistemlerin geçmişten günümüze kadar tarihsel gelişimi ve klinik uygulama aşamalarına göre sınıflandırılmasını içermektedir

Anahtar Kelimeler: Adezyon, adeziv sistemler, hibrit tabaka

Geliş: 18.03.2023

Kabul: 05.04.2023

Yayın: 30.04.2023

ABSTRACT

From the past to the present, researchers have aimed to develop new methods for the adhesion of restorative materials to the tooth. With the increasing importance given to aesthetics, the concept of extension for prevention has turned into minimally invasive dentistry with the advances in adhesive dentistry. For the success of restorations, dentists should follow the developments in adhesive systems and choose appropriate materials. These systems create the bonding between dental hard tissues and restorative material by forming a hybrid layer. In recent years, methods such as MMP inhibitors, antibacterial agents, wet bonding and remineralization of the hybrid layer have been developed in order to prevent the degradation of the hybrid layer and stabilize the collagen matrix. This review includes the historical development of adhesive systems from past to present and classification according to clinical application stages.

Keywords: Adhesion, adhesive systems, hybrid layer

Received: 18.03.2023

Accepted: 05.04.2023

Published: 30.04.2023

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
İbrahim Halil AVCILAR
dtibrahimavclr@gmail.com

Atıf/Citation: Avcılar IH, Bakır S. Diş hekimliğinde adeziv sistemler. Dicle Dent J.2023;24(1): 28-36.



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Adezyon, iki farklı yüzeyin fiziksel ve kimyasal bağlanma ile bir arada tutulduğu durum olarak tanımlanır. Restoratif uygulamalarda adezyon iki farklı yüzeyden oluşan mineralize diş yapıları ve dolgu maddeleri arasında gerçekleşmektedir (1, 2). Dişin organik yapısına bağlanma, temel olarak, diş dokusunun inorganik yapısı ve rezin monomelerin yer değiştirmesi ile meydana gelmektedir (3).

Adeziv sistemler rezin esaslı materyallerin diş adaptasyonunda oldukça önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle üreticiler iyi bir adaptasyon için ideal adeziv sistemi ve adeziv tekniği bulmaya çalışmaktadır (4). Araştırmacılar, kompozit rezin ve adeziv sistemlerdeki gelişmelere paralel olarak inorganik yapılar olan restoratif malzemelerin diş organik yapılarına ve hali hazırda dişin üzerinde bulunan eski restorasyonlar gibi mevcut inorganik yapılara daha iyi bağlanması üzerine yoğunlaşmışlardır.

Adezyon tipleri;

Diş hekimliğinde mekanik, kimyasal ve fiziksel kuvvetlere bağlı olarak gelişen üç tip adezyondan bahsedilir.

1.Mikromekanik adezyon: Pürüzlü ve/veya pürüzlendirilmiş bir yüzeye viskozitesi düşük bir materyalin nüfuz etmesi sonucu oluşan kitlenme şeklindeki adezyon tipidir. Bu tip adezyon ile güçlü bir bağlanma dayanımı elde edilir.

2.Kimyasal adezyon: Bu adezyon tipinde kovalent, iyonik ve metalik bağların oluşumu söz konusudur. Kimyasal adezyon, yapıları farklı olan yüzeylerin atomları arasındaki sınırlı ve zayıf bağlardır.

3.Fiziksel kuvvetler ile oluşan adezyon: Esas olarak Van der Waals kuvvetlerinden, az miktarda da hidrojen bağlarından kaynaklanan zayıf bir adezyon türüdür (5).

Diş dokuları ve kompozit rezinler arasında bağlanma; mekanik (rezin tag oluşumu), adsorpsiyon (dişin organik ve inorganik yapılarına kimyasal bağlanma) ve difüzyon (diş yüzeyine, rezin monomerlerin bağlanabileceği maddelerin çökmesi) adezyon tiplerinin bir arada görülmesi ile oluşmaktadır.

Mineye Adezyon

Mineye adezyon, ilk defa Buonocore tarafından ortaya atılmış ve mine yüzeyinin asitle pürüzlendirilmesinin mineye bağlanmayı arttırdığı bildirilmiştir.

Mineye adezyon, asitle pürüzlendirilen mine yüzeyine düşük viskoziteli bağlayıcı ajanın uygulanması sonucu oluşan mikromekanik kilitleme ile gerçekleşir (6). Minenin asitle pürüzlendirilmesi ile derinliği 5 ila 50 mikrometre arasında değişen pürüzlü mine yüzeyinin oluşmasının bağlanma yüzey alanının, minenin yüzey enerjisinin ve dolayısıyla ıslanabilirliğinin artmasına neden olduğu bildirilmiştir (7).

Asit uygulamasından sonra, mine yüzeyinin 5-10 saniye yıkanması tavsiye edilir. Böylece mine yüzeyinden asit ve asit uygulaması sonucu çözünen diş doku(mine) artıkları uzaklaştırılmış olur. Daha sonra, mine yüzeyine düşük viskoziteli bir bağlayıcı ajan uygulanır. Bağlayıcı ajanın pürüzlü yüzeye penetre olması ile rezin çubuklar oluşur bu da mikromekanik kilitlemenin gerçekleşmesini sağlar (8).

Dentine Adezyon

Dentinin yapısı karmaşık olduğu için dentine adezyon mineye göre daha zor olmaktadır. Mine daha homojen özellikte olup ana içeriğini hidroksiapatit kristalleri oluşturmaktayken, dentin dokusu hidroksiapatit kristallerinin yanı sıra kollajen fibriller ve fosforin, osteokalsin, osteopontin, osteonektin gibi biyolojik moleküller içeren ekstrasellüler matriksden oluşmaktadır. Ayrıca dentin tübülleri içinde bulunan dentin sıvısı, dentin yüzeyinin devamlı nemli ve hidrofilik bir yapıya sahip olmasına neden olup bağlanmayı zorlaştıran bir diğer etken olmaktadır (6).

Bunlara ilaveten, diş dokularının preparasyonu ile dentin yüzeyinde oluşan smear tabakasının da dentine bağlanmada önemli rolü bulunmaktadır. Bazı otoriterler bu tabakanın kavite yüzeyinde muhafaza edilmesini savunurlar. Bazı otoriterler ise smear tabakasının mikroorganizma içerdiği ve rezin monomerlerin dentine penetre olmasını zorlaştırdığını ileri sürerek bu tabakanın kaldırılması veya modifiye edilmesi gerektiğini bildirirler (9).

Tüm bu değişkenler göz önüne alınarak dentine adezyonda farklı stratejiler geliştirilmiştir. Dentine uygulanan adezyon ilk olarak 1982'de Nakabayashi tarafından tanımlanmıştır. Nakabayashi, kollajen lifleri ve dentin tübülleri açığa çıkarmak için dentin yüzeyine asit uygulanması ile oluşan demineralize yüzeye hidrofilik bir rezin materyalin penetre olmasının dentine bağlanmayı arttırdığını bildirmiştir (10).

Dentine adezyon, hibrit tabakası ve rezin çubuklarının oluşumu ile mikromekanik olarak gerçekleşir. Bağlayıcı ajanın polimerize edilmesi ile hibrit tabakası stabil bir yapı oluşturur. Hibrit tabakanın, bağlanma yüzeyindeki sürekliliği ve bütünlüğü, kalınlığından daha önemlidir. Hibrit tabakadaki herhangi bir boşluk, sızdırmazlığı bozacak ve nihayetinde adezyon kalitesini düşürecektir (11).

Dentin bonding sistemler için yapılan çok çeşitli sınıflamalar vardır. En çok kullanılan sınıflamalar; üretim tarihlerine göre yapılan sınıflamalar ve klinik uygulama şekillerine göre yapılan sınıflamalardır.

Üretim tarihlerine göre;

1. Nesil Bonding Sistemler: 1962 yılında üretilen NPG-GMA kökenli adezivler hidroksiapatit kristallerine iyonik, kollajene ise kovalent bağlarla tutunurlar. Hidrofobik oldukları için bağlanma dayanıklılıkları (1-3 MPa) oldukça düşüktür (3).

2. Nesil Bonding Sistemler: Yapılarına HEMA eklenerek bağlanma gücü 3 MPa'ya yükseltelen bu neslin ilk örneği 1978 yılında piyasaya sürülmüştür (12). Smear tabakasının kalsiyumu ile iyonik bağlar oluşturmaktadırlar. Smear tabakasının altındaki dentine zayıf bağlanması yüzünden bu sistemlerin dentine bağlantısı sınırlı olmuştur (12, 13).

3. Nesil Bonding Sistemler: 1979 yılında tanıtılan bu nesil ise smear tabakasını kaldırmayı veya modifiye etmeyi sağlayan düzenleyiciler içermektedir. Bağlanma dayanımı 18 MPa'ya kadar ulaşmasına rağmen yeterli kabul edilmemiştir (12).

4. Nesil Bonding Sistemler: 1984 yılında piyasaya sürülen bu nesilde smear tabakası fosforik asitle yıkanarak uzaklaştırılır. Bu teknik ile hem mine hem de dentin fosforik asit ile pürüzlendirilerek yıkanıp hafifçe kurutulmaktadır. Günümüzde altın standart olarak kabul gören bu adeziv sistemler, asitle pürüzlendirme, primer bağlayıcı ajan uygulaması şeklinde üç aşamada uygulanır. Bu adeziv sistemlerin gelişimi ile "total etch" kavramı gündeme gelmiştir (14). Kollajen yıkımını önlemek amacıyla yüzeylerin nemli kalması önemlidir. Bu grubu öncekilerden ayıran en önemli özellik, dentine bağlanmalarının neredeyse mineye bağlanma kadar güçlü olması ve nemli dentine de güçlü bağlanabilmeleridir (12). Bu adeziv sistemlerin ortalama bağlanma dayanımının 18-30 MPa olduğu raporlanmıştır (14). Ayrıca metal ve porselen yüzeylere de bağlanabilme özellikleri vardır (15).

5. Nesil Bonding Sistemler: Üç aşamalı adeziv sistemlerin kullanılmalarının teknik hassasiyet gerektirmesi uygulama aşaması azaltılan 5. nesil adezivlerin gelişimine neden olmuştur. Bu adeziv sistemlerde primer ve bağlayıcı ajan aynı şişede birleştirilmiştir. Bazı çalışmalarda 4. nesil adezivlere kıyasla daha düşük bağlanma dayanımı elde edildiği raporlanmıştır. Ancak yapılan çalışmalarda bağlanma dayanım değerlerinin minimum bağlanma dayanımı olarak kabul edilebilecek değerin (20 MPa) üstünde olduğu gösterilmiştir (16).

6. Nesil Bonding Sistemler: 2000'li yılların başında geliştirilen ve smear tabakasını tamamen kaldırmadan sadece çözmeyi hedefleyen bu sistemde; asitle pürüzlendirme, yıkama ve kurutma işlemleri elimine edilmiştir. Sistem asidik primer ve adeziv rezin uygulamasını içermektedir (17). 6. nesil adeziv sistemlerinin bağlanma dayanımlarının dentin için yeterli olduğu, minede ise daha zayıf bağlanmanın elde edildiği bildirilmiştir (14).

7. Nesil Bonding Sistemler: 2000'li yılların sonlarında geliştirilen 7. nesil adezivler yine smear tabakasını çözmeyi hedefleyerek ve teknik hassasiyeti azaltmayı amaçlayarak geliştirilmiştir. Asidik monomer, primer ve bonding ajan tek şişede birleştirilerek "All in One" sistemler olarak piyasaya sürülmüştür. Bundan dolayı teknik hassasiyet ve izolasyon için gerekli süre azaltılmıştır (17, 18).

Son yıllarda "All in One" sistemlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla sunulan "Universal" veya "Multimode" olarak adlandırılan ürünler de yedinci nesil adezivler olarak sınıflandırılmaktadır (19). 7. nesil adeziv sistemlerin piyasadaki en düşük bağlanma dayanımına sahip adeziv sistemler olduğu kanıtlanmıştır (14).

8. Nesil Bonding Sistemler: 2010 yılında Voco (Almanya) firması tarafından üretilen, self-etching adeziv sistemlerdir. İçeriklerin nano doldurucular (ortalama 12nm boyutunda) ilave edilmiştir. Nano doldurucuların monomerlerin penetrasyonunu ve hibrit tabakanın kalınlığının artmasına, mekanik özelliklerin gelişmesine katkı sağladığı raporlanmıştır (20).

Klinik Uygulama prosedürlerine göre;

Asitle pürüzlendirme aşamasının ayrı olup olmaması üzerine kurulan iki ana adeziv sistem mevcuttur: Etch&rinse ve self-etching adeziv sistemleri.

Bunlar ise kendi aralarında işlem basamaklarına göre sınıflandırılmaktadır (Tablo1).

- a. Etch&rinse adezivler
- Üç Aşamalı (4. Jenerasyon)
 - İki Aşamalı (5. Jenerasyon)

- b. Self-etch adezivler
- İki Aşamalı (6. Jenerasyon)
 - Tek Aşamalı (7. Jenerasyon)
- c. Cam iyonomer adezivler (21)

Tablo 1: Adeziv sistemlerin diş dokularına bağlanmasındaki güncel stratejiler

Etch&Rinse Sistemler		Self Etch Sistemler	
Üç Aşamalı Etch&Rinse (4. Jenerasyon)	İki Aşamalı Etch&Rinse (5. Jenerasyon)	İki Aşamalı Self Etch (6. Jenerasyon)	Tek Aşamalı Self Etch (7. Jenerasyon)
<p>1- Asit Mine asitlenir ve 15 sn beklenir. Sonrasında dentin asitlenir ve 15 sn beklenir. Mine ve dentin 15 sn yıkanır. Dentin nemli kalacak şekilde 3-5 sn kurutulur.</p> <p>2- Primer Asitlenmiş mine ve dentin yüzeyine 15 sn uygulanır. Hafif hava ile 3-5 sn seyreltilir.</p> <p>3- Bond Primer uygulanmış mine ve dentin yüzeyine 15 sn uygulanır. 3-5 sn hafif hava ile seyreltilir. 10 sn ışıkla polimerize edilir.</p>	<p>1- Asit Mine asitlenir ve 15 sn beklenir. Sonrasında dentin asitlenir ve 15 sn beklenir. Mine ve dentin 15 sn yıkanır. Dentin nemli kalacak şekilde 3-5 sn kurutulur.</p> <p>2- Primer ve bond Asitlenmiş mine ve dentin yüzeyine 15 sn uygulanır. Hafif hava ile 3-5 sn seyreltilir. 10 sn ışıkla polimerize edilir.</p>	<p>1- Asidik primer Mine ve dentin yüzeyine 20 sn uygulanır. Hafif hava ile 3-5 sn seyreltilir.</p> <p>2- Bond Mine ve dentin yüzeyine 20 sn uygulanır. Hafif hava ile 3-5 sn seyreltilir. 10 sn ışıkla polimerize edilir.</p>	<p>1- Asit, primer ve bond Mine ve dentin yüzeyine 15 sn uygulanır. Hava ile 3-5 sn kurutulur. 10 sn ışıkla polimerize edilir.</p>

ETCH & RINSE SİSTEMLER

Etch & rinse adeziv sistemler, smear tabakasını ortadan kaldıran adeziv sistemlerdir. %30-40 konsantrasyonda fosforik asit, dentin dokusunu birkaç mikrometre derinliğe kadar demineralize ederek kollajenden zengin hidroksiapatit yapı açığa çıkarmaktadır. Böylece, hidrofilik monomerlerin infiltre olduğu kollajen lifler açığa çıkmış olmaktadır (22).

Nakabayashi ve ark., ilk kez asitle pürüzlendirilen dentinde oluşmuş gerçek bir hibrit tabakadan bahsetmiştir. Bu tabaka, hidroksiapatit yapının demineralize olması ile açığa çıkmıştır. Kollajen ve rezin yapılarının bir araya gelmesi ile meydana gelmektedir. Resin yapısı; dentine infiltre, kollajen fibriller tarafından desteklenmektedir (22,23).

Açığa çıkan kollajen fibriller, dentinin aşırı kurutulması sonrasında kollapsa uğrar ve bağlanma dayanımı azalır. Bunun önüne geçmek için hafif nemli demineralize dentin yüzeyi bırakılmalıdır (24). Ancak, dentin yüzeyinin nem kontrolünü sağlamak ve kollajen fibrillerin yapısını korumak teknik hassasiyet gerektirmektedir (23).

Fazla nem içeren yüzeye adeziv uygulandığında, rezin monomerler, hibrit yapı içerisinde yer alan, kollajen fibriller arasındaki su ve dentin sıvısı ile dolu boşluklara infiltre olmaktadır. Hibrit tabakada yer alan sudan zengin rezinin doldurduğu bu boşluklar, kollajenin yıkıma uğradığı bölgelerdir. Bu bölgeler rezin dentin bağlantısını bozarak, post-operatif hassasiyete, sudan zengin ortam oluşumuna, endojenöz kollajen enzimlerinin fonksiyonuna ve hidrolize neden olmaktadır. Yetersiz rezin infiltrasyonu, özellikle materyalin yaşlanması sonrasında hibrit tabakayı savunmasız bırakmaktadır (25).

SELF ETCH ADEZİV SİSTEMLER

Etch&Rinse adeziv sistemler ile ilgili devam eden problemler self-etch adeziv sistemlerin gelişmesine neden olmuştur. Smear tabakasının dentin ve pulpa dokusunu irritasyonlara karşı koruduğu görüşünden hareketle smear tabakasını içeren bir hibrit tabakanın elde edilmesi amaçlanmıştır. Asitleme ve yıkama işlemleri elimine edilerek asidik monomer ile mine ve dentini eş zamanlı demineralize etmesi söz konusudur (26).

Ayrı bir asit ile pürüzlendirme aşaması içermediği için basitleştirilmiş bir adeziv sistemdir (22, 27). Asitle pürüzlendirme aşamasının olmaması hem uygulama kolaylığı hem de kavitenin yıkanması ve kurutulması esnasında kan ve tükürük ile tekrar kontamine olma ihtimalini azaltmaktadır. Ayrıca, smear tabakasını çözdüğü için dentin tübülleri daha az açığa çıkmaktadır ve tübüller içinde yer alan sıvı akışı daha az görülmektedir. Bu nedenle, post-operatif hassasiyetin daha az olduğu bildirilmiştir (28).

Tüm self-etching adeziv sistemler aynı bağlanma mekanizmasına sahiptir ancak asidik monomer kompozisyonu, su içeriği ve asidite açısından farklılık göstermektedir. Bu nedenle, pH'larına göre sınıflandırılmaktadır: Hafif ($pH > 2$), orta ($1 < pH < 2$) ve güçlü ($pH < 1$). Adezivin asiditesi, mine ve dentine bağlanması üzerinde etkilidir. Orta self-etching adeziv sistemler, fonksiyonel monomerlerin (10- MDP)

karboksil veya fosfat grupları ve hidroksiapatit kristalleri arasında kimyasal bağlantı sağlamaktadır (29, 30).

İki Aşamalı Self Etch Adeziv Sistemler

Birinci aşamayı asidik monomer ilave edilmiş hidrofilik primer solüsyonu, ikinci aşamayı ise hidrofobik bonding ajan uygulaması oluşturmaktadır. Asidik primer uygulanmış yüzeye bonding ajan uygulandıktan sonra her iki tabaka birlikte ışıkla polimerize edilir. Bu sistemlere eklenen 4-methacryloyloxyethyl trimellitic anhydride (4-META), 2-methacryloyloxyethyl phenyl hydrogen phosphate (Phenyl-P) ve 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MDP) gibi fonksiyonel asidik monomerlerle açığa çıkan hidroksiapatit kristalleri ve içerdikleri kalsiyum arasında elektrostatik etkileşim olmaktadır (27,31). 'Adezyon-Dekalsifikasyon' konsepti adı verilen bu etkileşime göre kalsiyum monomer kompleksinin stabilitesine bağlı olarak bu iyonik bağlanma ya diş sert dokularını demineralize etmektedir ya da kalsiyum ile kimyasal bağlanmaktadır. Böylece hibrit tabaka ile pürüzlendirilen yüzey arası boşluk minimize edilmektedir (32, 33).

Tek Aşamalı Self Etch Adeziv Sistemler (All-in-one)

Bu sistem klinik olarak asidik monomer, primer ve adeziv rezinin bir arada bulunduğu, tek aşamada uygulanan sistemlerdir. Smear tabakasını çözebilmek ve dentini demineralize edebilmek için hidrofilik asidik monomer konsantrasyonu artmıştır. Ayrıca bu monomerlerin iyonizasyonunu sağlamak için fazla miktarda su içermektedir (34). Yarı geçirgen bir hibrit tabaka mevcuttur. Ancak, bu durum rezin-dentin ara yüzeyini tehlikeye sokmaktadır (35). Su geçişine izin vererek su kabarcıkları oluşturmaktadır. Bu kabarcıklar, kurutma işlemi esnasında, adeziv tabaka içerisinde kalan, yeterince buharlaşmamış suyun kanıtıdır ve "su ağacı" denilen görüntüyü oluşturmaktadır. Resin-dentin bağlantısında ve restorasyonda hidrolitik degradasyona neden olmaktadır (27).

All-in-one sistemlerde, kavitenin yıkanması ve kurutulması işlemleri olmadığı için, kontaminasyon riski azdır. Aşırı kurutma ve nemli kalma gibi uygulama riskleri azaltılmıştır (36). Substrat demineralizasyonu ve adeziv infiltrasyonu eş zamanlı olduğu için post-operatif hassasiyet azdır (23).

Üniversal Adezivler

Son yıllarda, universal veya multi-mode sistemler olarak da bilinen yeni tek aşamalı self-etching adeziv sistemler piyasaya sürülmüştür. Tek aşamalı, self-etching adeziv sistemlerdir. Hekimlere, adeziv stratejisi ile seçim şansı tanımaktadır: Etch&Rinse, self-etching ve selektif etch tekniği ile uygulanabilmektedir. Bu yaklaşım ile minede etch&rinse tekniğinin sağladığı avantajları ve dentinde basitleştirilmiş self-etching tekniğinin apatit kristallerindeki ek kimyasal bağlanmasını birleştirmektedir (22,37,38).

Fujiwara ve diğ. 2 farklı universal adeziv, 2 farklı tek aşamalı self-etching adeziv ve 1 adet iki aşamalı self etching adeziv kullanarak yaptıkları bir çalışmada, adezivlerin çift kat uygulanmasının bağlanma performansına olan etkisini incelemişlerdir. Mine ve dentine 2 kat adeziv uygulanmasının tek adımlı self-etch ve universal adezivlerin bağlanma dayanıklılığını artırmada etkili olduğu görülmüştür. Bu nedenle çift kat adeziv uygulama tekniğinin tek aşamalı adezivlerin bağlanma dayanımını artırmak amacıyla kullanılabilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Universal adezivler geleneksel tek aşamalı self-etching adezivlere benzer içeriğe sahip hidroksiapatit içerisindeki kalsiyuma bağlanan karboksilat veya fosfat monomeri içermektedirler. Bu monomere ek olarak metakriololoksidesil dihidrojen fosfat (10-MDP), silan, poliakrilik asit gibi monomerler eklenmiştir. Yapılan çalışmalar, minenin selektif asitlenmesi ile Universal SE adezivlerin tek aşamalılarından daha iyi bağlanma (≈ 40 MPa) gösterdiğini ortaya çıkartmıştır. İçeriğindeki 10-MDP monomeri ile hem mine hem de dentinde mikromekanik bağlanmaya kimyasal bağlanma eşlik etmektedir (39,40,41).

Cam İyonomer Adeziv Sistemler

Cam iyonomer sistemler, yüzey hazırlama işlemleri gerektirmeyen, diş yapısına kimyasal olarak bağlanan materyallerdir. Adeziv sistemin uygulanması öncesi, yüzeye kısa süreli zayıf bir polialkenoik asit ile pürüzlendirme yapılması tavsiye edilmektedir (42,43). Asitleme işlemiyle birlikte 0,5 μ m derinlikte kollajenler açığa çıkartılmaktadır. Cam iyonomer bileşenlerinin oluşan boşluklara infiltre olmasıyla mikromekanik bağlanma sağlanmaktadır. Polialkenoik asidin karboksil grupları ile hidroksiapatit kristallerindeki kalsiyum iyonu arasında kimyasal bağlanma

sağlanmaktadır. Böylece diş yüzeyinde hem kimyasal hem mikro mekanik bağlanma elde edilmektedir (44,45).

ADEZİV SİSTEMLERDE GÜNCEL YENİLİKLER

Uygulanan yöntemden bağımsız olarak dentine bağlanma, rezin monomerlerin demineralize kollajen fibrillere infiltrasyonu ile meydana gelen hibrit tabakaya dayanmaktadır. Adeziv prosedürlerin amacı, stabil bir adeziv-dentin arayüzü oluşturmaktır. Ancak, dental materyallerdeki gelişmelerden bağımsız olarak, heterojen dentin yapısında oluşturulan hibrit tabaka zamanla yıkıma uğramaktadır. Bu durum mikrosızıntı, marjinal bozulma ve renkleşme, sekonder çürük ve en nihayetinde kompozit materyalin kaybına neden olmaktadır. Bağlantı arayüzündeki bu yaşlanmanın yavaşlatılması ve bağlanma dayanımının artırılması amacıyla yeni yöntemler için çalışmalar yapılmaktadır (46).

1. Kollajen Degradasyonunu Önlemeye Yönelik

Yöntemler: Demineralize olmuş dentin kollajen matriksi, rezin-dentin bağlanma işlemleri sırasında rezin infiltrasyonu için iskelet görevi görmek ve dentindeki bağlanmanın en önemli bileşeni olan hibrit tabakayı oluşturmaktadır. Bu nedenle kollajen degradasyonunun, adeziv restorasyonlardaki başarısızlığın ana nedenlerinden biri olduğu düşünülmektedir (47).

Matriks metalloproteinazlar (MMP) ve sistein katepsinler kollajen yıkımına neden olan proteolitik enzimlerdir. Matriks metalloproteinazlar, ekstrasellüler matriks ile bazal membran bileşenlerini parçalama yeteneğine sahip olan ve aktif bölgesinde çinko içeren, kalsiyum bağımlı homolog bir enzim ailesidir. MMP'ler, normal şartlarda mineralize dentin matriksine tutunur vaziyette olan inaktif enzimlerdir. Ancak, adeziv prosedürlerde uygulanan asitler veya karyojenik bakteriler tarafından salınan zayıf asitlerle yeniden aktif hale gelmeleri, demineralize dentinin organik matriksinin bu enzimler tarafından hidroliz edilmesine yol açmaktadır (48).

Yapılan çalışmalarda hibrit tabakanın degradasyon sürecinin yavaşlatılması amacıyla MMP inhibitörlerinin kullanılabilirliği belirtilmektedir. Klorheksidin, edta, tetrasiklin, galardin, karbodi amid, çinko oksit, proantosiyandinler (PA), epigallokateşin-3-Gallat (EGCG), benzalkonyum klorür (BAC) bağlantı stabilitesi üzerinde pozitif etkiler gösteren başlıca MMP inhibitörleridir (49).

2. Antibakteriyel etkili ajanlar: Diş hekimliğinde, rezin siman ve dental adezivlere eklenen bu ajanların, yüksek antimikrobiyal aktivite ve gelişmiş mekanik özellikler sağladığı raporlanmıştır. Çeşitli adeziv sistemlerin bileşimine eklenen bu tür antimikrobiyal maddeler, bakır nanopartiküller kuaterner amonyum tuzları, klorheksidin, hesperidin ve doksisiklin dir (50). Yapılan çalışmalarda bakır nanopartiküllerin adeziv arayüzün bozulması durumunda bakteriyel invazyonu ve bunun sonucunda oluşabilecek çürük lezyonların gelişimini önleyebileceği veya geciktirebileceği tespit edilmiştir (51).

Kuaterner amonyum tuzları, etki mekanizmalarını pozitif yüklü molekül yapısıyla bakterinin negatif yüklü hücre duvarına yaklaştığında hücre zarının elektrostatik dengesindeki değişiklik ile sitoliz gerçekleştirerek gösterir. Ayrıca, KAT'ın bakterilerin diş dokusuna yapışmasını, büyümesini ve biyofilm oluşumunu etkilediği iddia edilmiştir (50).

Klorheksidin, katyonik bir bisbiguaniddir ve adeziv ile dentin arasındaki bağın ömrünü uzatarak MMP'lerin kollajenolitik aktivitesini inhibe edebilir. Klorheksidin bir MMP molekülüne yaklaştığında, yapısını değiştirir ve ardından kollajen ile etkileşimini engeller (52).

Hesperidin, narenciye ekstraktından elde edilen, antimikrobiyal ve remineralize edici özelliklere sahip bir flavonoid glikozittir. Yapılan bir çalışmada %0.5 hesperidin içeren bir adeziv materyalin adeziv özelliklerinde zararlı etkiler olmaksızın Streptococcus mutans'a karşı umut verici bir antibakteriyel etki sağlayabileceği bildirilmiştir (53).

Doksisiklin, bakteri ve bazı parazitlerin neden olduğu enfeksiyonların tedavisinde kullanılan geniş spektrumlu tetrasiklin sınıfı bir antibiyotiktir. Şelasyon yoluyla çinko ve kalsiyum iyonlarını bağlayarak metalloproteinazların aktivitesini inhibe etme yeteneğine sahiptir. Deneysel bir çalışmada, doksisiklin içeren bir adezivin, metalloproteinazların aktivitesini ve çürük oluşumunu inhibe eden sürekli bir doksisiklin salınımı olduğu gösterilmiştir (54).

3. Remineralizasyon Fonksiyonlu Adezivler: Hibrit tabakanın korunmasına yönelik en yeni teorilerden olan biyomimetrik remineralizasyon kavramı, çürükten etkilenmiş veya fosforik asitle demineralize edilmiş olan dentin dokusu içindeki kollajen fibrillerin etrafında, remineralizasyon meydana gelmesinin indüklenmesini amaçlamaktadır.

Demineralize olmuş dentin dokusunun remineralizasyonu, minenin remineralizasyonuna göre daha zor bir süreçtir. Çünkü demineralize olmuş minede artık mineral kristalleri mevcut olabilirken, dentinde genellikle bu durum söz konusu olmamaktadır. Oysa demineralizasyon sonrasında ortamda sağlam kalan hidroksiapatit kristal çekirdekleri, kalsiyum ve fosfat çökmesini sağlayarak denatüre olmamış kollajenlerin remineralize olmasını sağlayabilmektedirler (55).

Biomimetik remineralizasyonda mineralizasyon sürecinin stimüle edilmesi için poliakrilik asit, polivinil fosfonik asit, sodyum trimetafosfat ve fosforile kitosan gibi non-kollajen protein analogları kullanılmaktadır. Biyoaktif cam (BAG), kalsiyum fosfat (CaP), kalsiyum silikat ve hidroksiapatit gibi materyallerin ise hidroksiapatit kristal çekirdeklerinden yoksun aşırı demineralize dentin bölgelerinde çekirdek görevi görebileceği veya kalsiyum ve fosfat kaynağı olarak kısmi demineralize olmuş dentin bölgelerinde kalan hidroksiapatit kristallerinin epitaksiyal büyümesine yardımcı olup biomimetik remineralizasyona yardım edebilecekleri belirtilmektedir (56).

Adeziv materyallere eklenen hidroksiapatit kristalleri ile kollajen ağındaki COOH, OH, NH₂ ve hidroksiapatit komponentlerinin OH grubu arasında hidrojen bağı yoluyla remineralizasyon meydana gelebileceği ve rezin-dentin arayüzünde de dentin remineralizasyonunun sağlanabileceği öne sürülmektedir (55).

Biyoaktif cam, 1969 yılında Hench tarafından geliştirilmiş, esas olarak silikon, kalsiyum, sodyum, fosfor ve oksijenden oluşan ve gün geçtikçe popülerlik kazanan bir biyoseramik türüdür. Diş dokusu ile kimyasal bağlantı yaparak, dentin-adeziv arayüzünde remineralizasyon sağlayan ve bakteri girişini engelleyen bir kalsiyum fosfat tabakası oluşturduğu belirtilmektedir. Çinko, gümüş, silika, niyobyum, florür ve bakır gibi spesifik ve terapötik iyonlarla katkı yapılarak BAG'ın biyoaktivitesinin güçlendirilebileceği bildirilmektedir (57).

4. Hibrit Tabaka İçindeki Bağlanmamış/Artık Suyun Uzaklaştırılması (Etanol Wet Bonding): Basitleştirilmiş sistemlerde su ile birlikte tek şişede bulunan hidrofobik dimetakrilatlar, yüksek oranda güçlü ve çapraz bağlanmış reçine polimerleri oluşturan ve suda çözünürlükleri oldukça düşük olan materyallerdir. Bu nedenle tek şişe sistemlerde organik

çözücü, hidrofilik ve hidrofobik monomerler arasında faz ayrımı meydana gelebilmekte, ortamda kalan artık su nedeniyle dentine olan monomer infiltrasyonu engellenebilmektedir. Pashley ve ark. bu durumun önlenmesi için wet-bonding tekniğini modifiye ederek, etanol wet bonding tekniğini geliştirmişlerdir(23). Böylece dentine uygulanan etanolün yüksek buharlaşma kabiliyetiyle ortamdaki artık suyun daha kolay uzaklaştırılabileceğini belirtmişlerdir(58). Bu yaklaşımla rezin-dentin arayüzünde artık su varlığını azaltmakta, hidrolitik degradasyon süreci yavaşlatılmaktadır (58-60).

SONUÇ

Geçmişten günümüze kadar pek çok gelişme gösteren adeziv sistemlerin her biri diğerine göre avantaj ve dezavantaja sahiptir. Adeziv-dentin bağlanma dayanıklılığı ile ilgili sorunların ve sorunlara karşı geliştirilen yeni stratejilerin hekimler tarafından takip edilip uygulanması, uzun ömürlü tedavilerin yapılabilmesi için oldukça önemlidir. Geçmişten günümüze gelişmekte olan adeziv sistemler, 8. Jenerasyona kadar geliştirilmiş, uygulanma prosedürleri giderek basitleştirilmiştir. Başarılı bağlanma değerlerinin elde edildiği modern adeziv sistemlerde adeziv-dentin arayüzünde zamanla gelişen yaşlanma süreci, mikrosızıntı, kenar renklemesi, adaptasyon bozuklukları, sekonder çürük, postoperatif hassasiyet ve pulpa iltihapları gibi sorunlara yol açmakta, kompozit restorasyonların klinik ömrünü kısaltmaktadır. Bu durumun önlenmesi ve daha stabil bağlantı elde edilebilmesi amacıyla yeni araştırmalar yapılmaktadır. Ortaya koyulan yöntemlerin etkinliğinin kanıtlanması için daha fazla sayıda in vitro ve in vivo çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

1. Eligüzeloğlu E. Son dönem geliştirilen adeziv sistemler. OMÜ Diş Hek Fak Derg. 2009;10(1):22-9.
2. Çınar Ç. Çocuk diş hekimliğinde adeziv sistemlerin tarihsel gelişimi ve sınıflandırılması. Türkiye Klinikleri J Dental Sci-Special Topics. 2011;2:1-7.
3. Dayangaç GB. Kompozit restorasyonlar. 1. Baskı. Ankara. Quintessence Yayıncılık; 2011.
4. Frankenberger R, Perdigo J, Rosa BT, et al. No-bottle vs multi-bottle dentin adhesives-a microtensile bond strength and morphological study. Dent Mater. 2002;17(5):373-80.
5. Kazak M, Dönmez N. Development of dentin bonding systems from past to present. Bezmialem Sci. 2019;7(4):322-30.

6. Cardoso MV., et al. Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry. Aust Dent J. 2011;56(1):31-44.
7. Hanning M, Reinhardt K-J, Bott B. Self-etching primer vs. phosphoric acid: An alternative concept for composite-to-enamel bonding, Oper Dent. 1999;24(5):172-80.
8. Garg N, Garg A. Textbook of operative dentistry. Boydell Brewer Ltd. 2010.
9. Von F., Anthony J. Adhesion and cohesion. Inter J Dent. 2012;1-8.
10. Tezvergil A., et al. Effect of phosphoric acid on the degradation of human dentin matrix. J Dent Res. 2013;92(1):87-91.
11. Bhagwat S, Heredia A, Mandke L. The smear layer revisited. Indian J Med Res Pharm Sci. 2016; 3(1):54-65.
12. Carvalho RM, Manso AP, Geraldini S, et al. Durability of bonds and clinical success of adhesive restorations. Dent Mater. 2012;28(1):72-86.
13. Kugel G, Ferrari M. The science of bonding: from first to sixth generation. J Am Dent Assoc. 2000;131(1):20-5.
14. Sebold Maicon et al. Chronological history and current advancements of dental adhesive systems development: a narrative review. J Adhes Sci Techn. 2021;35(18):1941-67.
15. Imai H, Koizumi H, Shimoe S, et al. Effect of thione primers on adhesive bonding between an indirect composite material and Ag-Pd-Cu-Au alloy. Dent Mater J. 2014;33(5):681-8.
16. Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De Munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P, et al. Technique-sensitivity of contemporary adhesives. Dent Mater J. 2005; 24(1):1-13.
17. Tyas MJ, Burrow MF. Adhesive restorative materials: a review. Aust Dent J 2004;49(3):112-21.
18. Abraham S, et al. Effect of grape seed extracts on bond strength of bleached enamel using fifth and seventh generation bonding agents. J Int Oral Health 2013;5(6):101-7.
19. Hanabusa M, Mine A, Kuboki T, et al. Bonding effectiveness of a new multi-mode adhesive to enamel and dentine. J Dent 2012;40(6):475-84.
20. Dionysopoulos, Dimitrios, Gerasimidou, Papadopoulos, Constantinos. Current modifications of dental adhesive systems for composite resin restorations: a review in literature. J Adhes Sci Techn. 2022;36(5):453-68.
21. Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S, et al. Adhesives and cements to promote preservation dentistry. Oper Dent 2001:119-44.
22. Rosa WL, Piva E, Silva AF. Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. J Dent. 2015;43(7):765-76.
23. Pashley DH, Tay FR, Breschi L, et al. State of the art etch-and-rinse adhesives. Dent Mater. 2011;27(1):1-16.
24. Kanca J, 3rd. Improving bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. J Am Dent Assoc. 1992;123(9):35-43.
25. Chen C, Niu LN, Xie H, et al. Bonding of universal adhesives to dentine-old wine in new bottles, J Dent. 2015;43(5):525-36.
26. Hamouda IM, Samra NR, Badawi MF. Microtensile bond

- strength of etch and rinse versus self-etch adhesive systems. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2011;4(3):461-6.
27. Giannini M, Makishi P, Ayres AP, et al. Self-etch adhesive systems: a literature review. *Braz Dent J.* 2015;26(1):3-10.
 28. Masarwa N, Mohamed A, Abou-Rabii I, et al. Longevity of self-etch dentin bonding adhesives compared to etch-and-rinse dentin bonding adhesives: A Systematic Review. *J Evid Based Dent Pract.* 2016;16(2):96-106.
 29. Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, et al. Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *J Dent Res.* 2004;83(6):454-8.
 30. Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R. Buonocore memorial lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Oper Dent.* 2004;29(5):481-508.
 31. Hayakawa T, Kikutake-Sugiyama K, Nemoto K. Efficacy of water-soluble photoinitiator on the adhesion of composite resin to bovine teeth in all-in-one bonding system. *Dent Mater J.* 2005;24(2):213-8.
 32. Wagner A, Wendler M, Petschelt A, et al. Bonding performance of universal adhesives in different etching modes. *J Dent.* 2014;42(7):800-7.
 33. Dieng-Sarr F, Sharrock P, et al. Modifications of the organic and mineral fractions of dental tissues following conditioning by selfetching adhesives. *J Dent* 2011;39(2):141-7.
 34. Sakano W, Nakajima M, et al. Polymerization behavior within adhesive layer of one- and two-step self-etch adhesives: a micro-Raman spectroscopic study. *Dent Mater J.* 2013;32(6):992-8.
 35. Ebrahimi SF, Shadman N, Abrishami A. Effect of ferric sulfate contamination on the bonding effectiveness of etch-and-rinse and self-etch adhesives to superficial dentin. *J Conserv Dent.* 2013;16(2):126-30.
 36. Tay FR, Gwinnett AJ, et al. Resin permeation into acid-conditioned, moist, and dry dentin: a paradigm using water-free adhesive primers. *J Dent Res.* 1996;75(4):1034-44.
 37. Marchesi G, Frassetto A, et al. Adhesive performance of a multi-mode adhesive system: 1-year in vitro study. *J Dent.* 2014;42(5):603-12.
 38. Cura M, et al. Effect of surface treatment and aging on bond strength of composite resin onlays. *J Prosthet Dent.* 2016;116(3):389-96.
 39. Van Meerbeek B, De Munck J, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent.* 2003;28(3):215-35.
 40. Perdigão J, Swift EJ. Universal Adhesives. *J Esthet Restor Dent* 2015;27(6):331-4.
 41. Zhang ZY, Tian FC, Niu LN, et al. Defying ageing: An expectation for dentine bonding with universal adhesives. *J Dent.* 2016;45:43-52.
 42. Peumans M, Kanumilli P, et al. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dent Mater.* 2005;21(9):864-81.
 43. Silva e Souza MH, Jr Carneiro KG, et al. Adhesive systems: important aspects related to their composition and clinical use. *J Appl Oral Sci.* 2010;18(3):207-14.
 44. Inoue S, Van Meerbeek B, Abe Y, et al. Effect of remaining dentin thickness and the use of conditioner on micro-tensile bond strength of a glass-ionomer adhesive. *Dent Mater.* 2001;17(5): 445-55.
 45. Tüfek, Ayna B. Diş hekimliğinde adeziv sistemler. *J Dent Fac Ataturk Univ.* 2019;29(2):340-9.
 46. Breschi, Lorenzo, et al. Dentin bonding systems: from dentin collagen structure to bond preservation and clinical applications. *Dent Mater.* 2018;34(1):78-96.
 47. Zhou, Wen, et al. Modifying adhesive materials to improve the longevity of resinous restorations. *Int J Mol Sci.* 2019;20(3):723.
 48. Tekçe N., Matriks Metaloproteinaz (MMPs) enzimlerinin adezivlerin bağlanma etkinliği üzerindeki rolü. *J Dent Fac Ataturk Univ.* 2014;24(2):326-35.
 49. Anshida V., P., et al. Extracellular matrix degradation by host matrix metalloproteinases in restorative dentistry and endodontics: An overview. *J Oral Maxillofac Pathol.* 2020;24(2):352-6.
 50. Li F, Chai ZG, Sun MN, et al. Anti-biofilm effect of dental adhesive with cationic monomer. *J Dent Res.* 2009;88(4):372-76.
 51. Gutierrez, Mario F., et al. The role of copper nanoparticles in an etch-and-rinse adhesive on antimicrobial activity, mechanical properties and the durability of resin-dentine interfaces. *J. Dent.* 2017;61:12-20.
 52. Liu Y, Tjaderhane L, Breschi L, et al. Limitations in bonding to dentin and experimental strategies to prevent bond degradation. *J Dent Res.* 2011;90(8):953-68.
 53. Islam S, Hiraishi N, Nassar M, et al. Effect of natural cross-linkers incorporation in a self-etching primer on dentine bond strength. *J Dent.* 2012;40(12):1052-9.
 54. Feitosa SA, Palasuk J, Kamocki K et al. Doxycycline-encapsulated nanotube-modified dentin adhesives. *J Dent Res.* 2014;93(12):1270-6.
 55. Shojai, Mehdi, et al. Hydroxyapatite nanorods as novel fillers for improving the properties of dental adhesives: Synthesis and application. *Dent Mater.* 2010;26(5):471-82.
 56. Kavcirk F, Küçükylmaz E. The effect of different ratios of nano-sized hydroxyapatite fillers on the micro-tensile bond strength of an adhesive resin. *Micros Res Tech.* 2019;82(5):538-43.
 57. Carneiro K, et al. Bioactivity and properties of an adhesive system functionalized with an experimental niobium-based glass. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2018;78:188-95.
 58. Ayar MK. A review of ethanol wet-bonding: Principles and techniques. *Eur J Dent.* 2016;10(1):155-9.
 59. Silsupur DT., Bakir EP., Bakir S. Evaluation of antibacterial and non-antibacterial adhesives in terms of cytotoxicity in cell culture medium. *Biomed Res.* 2020;31(5):138-47.
 60. Yıldırım ZS., Bakır S, Bakır, EP, Foto E. Qualitative and quantitative evaluation of cytotoxicity of five different one-step self-etching adhesives. *Oral Health Prev Dent.* 2018;16(6): 525-32.