

ADEZİF SİSTEMLERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ADEZİF SİSTEM – DİŞ YÜZEYİ BAĞLANTISINDAKİ ROLÜ

The Role of the Composition of Adhesive Systems on Adhesive System-Tooth Surface Adhesion

Yeliz GÜVEN¹, Oya AKTÖREN¹

Makale Gönderilme Tarihi: 17/01/2013

Makale Kabul Tarihi: 24/05/2013

ÖZ

Adezif sistemler bağlanma stratejilerine göre asitle pürüzlendirme ve yıkama kendinden asitli ve cam iyonomer adezif sistemler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Tüm bu bağlanma mekanizmalarının birbirlerine göre avantajları olduğu gibi özellikle de uygulama kolaylığı olan sistemlerin kimyasal etkileşimleri nedeniyle bazı eksiklikleri söz konusu olabilmektedir. Adezif sistemlerin içerikleri, özellikleri ve bağlanma mekanizmaları ile ilgili güncel bilgilerin yanısıra diş dokularının bu materyaller ile olan ilişkileri de adezyon için en iyi sonuçların elde edilmesinde büyük öneme sahiptir. Bu derlemede piyasada bulunan farklı asitle pürüzlendirme ve yıkama kendinden asitli adezif sistemlerin tipleri ve içerikleri ile bu içeriğin fonksiyonlarına ve olası kimyasal etkileşimlere etkisi değerlendirilmiştir. Adezif materyallerin bağlanma sürecindeki rollerinin iyi anlaşılması gerek araştırmacıların gerek ise üreticilerin dental adezyonu geliştirici faaliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Anahtar kelimeler: *Adezif sistemler, adezyon, monomer, diş yüzeyi*

ABSTRACT

Adhesive systems have been recently classified as etch-and-rinse, self-etch and glass ionomer adhesive systems according to their adhesion strategies. Some advantages and deficiencies were noted for all of these adhesion approaches, mainly for the simplified ones due to some chemical associations and interactions. Keeping an updated knowledge of the composition, characteristics and mechanisms of adhesion of the currently available adhesive systems as well as knowing how the dental substrates interact with these materials are essential to achieve the best results in adhesion. This literature review article addresses the types and the main components of different etch-and-rinse and self-etch adhesive systems available in the market, and relates them to their function and possible chemical interactions. The understanding of the role of adhesive materials in the adhesion process has helped researchers and manufacturers developing and improving dental adhesion.

Keywords: *Adhesive systems, adhesion, monomer, tooth surface*

¹ İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti A.D.

Giriş

Çürük lezyonlarının etyolojisi, tanısı ve tedavisi ile ilgili bilgi düzeyinin bilimsel araştırmalar ile artması; yeni restoratif materyaller ve tekniklerin modern teknoloji ile birlikte geliştirilmesi diş hekimliği pratiğinde önemli ilerlemelerin kaydedilmesine neden olmuştur (1). Adezif diş hekimliğindeki önemli gelişmelere karşın dentine bağlanma ve açığa çıkan dentin yüzeylerinin tam olarak örtülmesi dentinin karmaşık yapısı nedeni ile sorun olmaya devam etmektedir (2, 3). Günümüzde kullanılan adezif sistemlerin kimyasal içeriklerinin ve bu kimyasal içeriğin fonksiyonlarını ve uygulama aşamalarını nasıl etkilediğinin bilinmesi, adezif sistemlerin mine ve dentin ile olan bağlantılarında büyük önem taşımaktadır. Adezif sistemlerin sınıflandırılmasında en çok klinik uygulama aşamalarını temel alan sınıflandırma kullanılmaktadır (4-7).

Etch&Rinse Adezif Sistemler

Etch&Rinse adezif sistemlerde ilk aşamayı daima asit ile pürüzlendirme ve sonrasında yıkama işlemi oluşturmaktadır (2, 6). Kimyasal içerikleri ve uygulama aşamaları farklılık göstermekle birlikte her iki grup etch&rinse adezif sistemde de (tek aşamalı ve iki aşamalı) bağlanma mekanizması aynı şekilde gerçekleşmektedir. Temel bağlanma mekanizması difüzyon esastır ve hibridizasyona ya da reçinenin mümkün olan en yüksek oranda kollajen ağı infiltrasyonuna bağlıdır. Kimyasal bağlanma ise monomerlerin fonksiyonel gruplarının hidroksiapatitten arınmış kollajene karşı zayıf afinite göstermeleri nedeni ile çok olası değildir (2, 7, 8).

Sistemin ilk aşamasını oluşturan fosforik asit uygulaması, ikinci aşamasını ise bağlanmayı arttırıcı monomerlerin (primer) uygu-

lanması oluşturmaktadır (2, 9). Primerler kimyasal olarak su, aseton, etanol gibi organik çözücülerde çözünen hidrofilik özellikteki fonksiyonel monomerlerin karışımından oluşturmaktadırlar. Primer solüsyonlarının içeriğinde çoğunlukla HEMA (2-hidroksimetil metakrilat) adlı monomer bulunmaktadır (7, 10, 11). HEMA'nın etch&rinse sistemlerde en çok tercih edilen monomer olmasının nedeni hidrofilik yapısı ve düşük monomer ağırlığından kaynaklanmaktadır. HEMA hidrofilik yapısı nedeni ile dentinin ıslanabilirliğini düzenlemekte ve asit uygulaması sonrası büzülmüş kollajen yapının yeniden genişlemesini sağlamaktadır (11). Ancak diğer yandan bu hidrofilik yapının suyu absorbe etme özelliği nedeni ile hem ışık ile polimerizasyon öncesi hem de polimerizasyon sonrasında dezavantaj oluşturabileceği belirtilmektedir. Polimerize olmamış hali ile suyu absorbe ettiğinde monomerin seyrelmesine ve buna bağlı olarak polimerizasyonun inhibe olmasına ve bağlanmanın bozulmasına neden olabileceği bildirilmektedir. Bu durum özellikle klinik uygulamalarda HEMA içeren adeziflerin polimerizasyonlarının geciktiği durumlarda göz önünde bulundurulmalıdır. HEMA polimerizasyon sonrasında da hidrofilik özelliklerini sürdürmektedir. Bu da hibrit tabaka içinde su kanallarının oluşması ile sonuçlanmaktadır. Hibrit tabaka içindeki su, polimerler arasındaki kovalent bağların kırılmasına yani hidrolize neden olarak reçine yapısının bozulmasına ve bağlanma kuvvetlerinin zamanla azalmasına yol açabilmektedir (12, 13). İki aşamalı etch&rinse sistemler üç aşamalıya göre daha yüksek oranda hidrofilik monomer içerdiklerinden polimerizasyon sonrası geçirgenlikleri de daha fazla olmakta, bu da hibrit tabaka içinde daha fazla su emilimine ve hidrolytik degradasyona neden olmaktadır. Ayrıca bu adeziflerde bulunan solvent daha zor

buharlaşmakta ve polimerizasyon sonrası adezif tabaka içinde hapsolmaktadır (14). Son dönemlerde HEMA gibi güçlü hidrofilik monomerlerin miktarı azaltılarak UDMA ve TEGDMA gibi monomerler ilave edildiği gözlenmektedir (13).

Adezif sistem primeri ile ilgili temel olarak iki yaklaşım sunulmuştur (2, 5, 15).

Kuru Bağlanma Tekniği: İlk yaklaşım kuru bağlanma (dry bonding) tekniği olarak ifade edilmektedir. Bu teknikte dentin asitleme sonrası hava spreyi ile kurutulmakta ve sonrasında su bazlı bir primer uygulanmaktadır. Su bazlı primer kurutma sonrası kollaps olmuş kollajen ağının yeniden açılmasını sağlamaktadır (2, 16). Kuru bağlanma tekniğinde reçinenin kollajen ağına yeterli derecede penetre olamaması nedeniyle bağlanma kuvvetlerinin azaldığı belirtilmektedir (16).

Nemli Bağlanma Tekniği: Bir diğer yaklaşım ise nemli bağlanma (wet bonding) tekniği olarak bilinmektedir. Bu teknikte kollajen ağının büzülmesini engellemek için dentin tam kurutulmadan nemli bırakılmakta ve sonrasında su ile yer değiştirme özelliğine sahip aseton ya da etanol esaslı bir primer kullanılmaktadır. Nemli dentin yüzeyine bu sistem uygulandığı zaman çözücüler kollajen fibriller arasındaki su ile yer değiştirerek HEMA gibi hidrofilik monomerlerin kollajen fibriller arasına girmesini sağlarlar. Daha sonrasında gerçekleştirilen hava ile kurutma işlemi ile bu çözücüler su ile birlikte uzaklaştırılmış olur. Sonuç olarak demineralize dentinde bu monomerlerin konsantrasyonu artar ve uygulanan bonding reçine bu monomerler ile kolayca birleşerek hibridizasyon oluşur. Ancak bu sistemde dentinin ne kadarının nemli bırakıldığında aseton esaslı primerin kollajen ağındaki suyun tamamı ile yer değiştirebileceğinin tam olarak be-

lirlenememesi klinik uygulamalarda standardizasyonu zorlaştırmaktadır (2, 17-20). Uygulama sırasında daha az teknik hassasiyet gösteren ve bağlanma etkinliği açısından fark oluşturmayan “kuru bağlanma” tekniğinin, standardizasyonu sağlamanın zor olduğu “nemli bağlanma” tekniğine tercih edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (16, 21, 22).

Yeni bir bağlanma stratejisi- Etanol nemli bağlanma tekniği: Günümüzde adezif sistem-dentin bağlantısının gelişiminde en büyük sorunun hem etch&rinse hem self-etch bağlanma yaklaşımlarında kollajen fibriller arasındaki suyun adezif sistem ile tamamen yer değiştirememesi ile ilgili olduğu belirtilmektedir (23). Kollajen fibriller arasında serbest olarak bulunan su asitleme ile uzaklaştırılsa bile fibriller arası boşlukta hidrojele dönüşecek olan yüksek oranda hidrate ve negatif yüklü proteoglikanlar bulunmaktadır. Hidrojellerin yapısındaki su uzaklaştırılmadığında “moleküler süzgeç” görevi görerek büyük moleküler yapıların (BisGMA gibi metakrilatların) geçişini engelleyip yalnızca HEMA gibi küçük moleküler yapıların hibrit tabakaya geçişine izin vermektedirler. HEMA çapraz bağ içermeyen linear bir polimer olduğundan hibrit tabakanın HEMA’dan zengin bölgeleri fonksiyon sırasında gerilmekte ve kollajen fibrillerin yorulma kaynaklı başarısızlıklarına neden olmaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmaların hiç birinde kaybolan apatit yapının tamamının reçine ile yer değiştirebildiğine ilişkin bir kanıt elde edilememiştir. Bu nedenle apatitten yoksun, reçinenin ise seyrek olduğu kollajen fibrillerin oluşturduğu hibrit tabakası hidrolitik bozulmalara uğramakta ve reçine dentin bağlantısının ömrünün azalmasına neden olmaktadır (24). Günümüzdeki hidrofilik özellikteki etch-and rinse adezif sistemlerin dentine bağlanması yapılarındaki

polar solventlerin suyu uzaklaştırması ve kollajen matriksinin büzülmesi ile gerçekleşmektedir (25). Solventin de daha sonradan buharlaşması ile matriks daha da büzülme-ktedir. Bu nedenle solvent içeriği ne kadar fazla ise büzülmenin de o kadar fazla oldu-ğu bildirilmektedir. Sudan doygun kollajen matrikse %100'lük alkol uygulandığında kollajen matriksinin aynı oranda büzüldü-ğü ancak BisGMA gibi hidrofobik reçine monomerlerinin faz seperasyonuna neden olmadığı görülmüştür. Su yerine etanol ile gerçekleştirilen nemli bağlanma tekniğin-de hidrofobik monomerlerin demineralize kollajen matriks içine girmesi ile daha uzun süreli bir bağlanma sağlanmaktadır (26, 27). Geleneksel nemli bağlanma tekniğinin (su ile nemli bağlanma) bir modifikasyonu olan etanol nemli bağlanma tekniğinde kavite hazırlığı, asit ile pürüzlendirme ve yıkama sonrası saf etil alkol uygulanmaktadır (28). Etanolün uygulanmasındaki amaç etanolün kollajen fibriller arasındaki ve dentin kanallarının üst kısımlarındaki su ile yer değiştirmesidir. Adezif sistemlerin içeriklerindeki monomerlerin çoğu suda çözünmez iken kollajen liflerin etrafında kalan etanolün bu monomerler için iyi bir çözücü olması monomerlerin kollajen lifler ile yakın temasta olmasını sağlamaktadır. Etanol ile nemli bağlanmada suda çözünmeyen hidrofobik monomerlerin etanolden doygun demine-ralize dentine infiltre olabilmesi de avantaj sağlamaktadır. Hidrofobik monomerler hid-rofilik monomerlere göre daha az oranda su absorbe ettiklerinden restorasyonlarda zamanla gerçekleşen bozulmaların daha az olacağı ifade edilmektedir (29-32). Etanol nemli bağlanma tekniğinin bu şekliyle klinik olarak uygulanabilirliğinin olmaması nedeni ile bir bağlanma tekniği olmaktan çok bir bağlanma felsefesi olduğu ve bu felsefenin de adezif sistemlerin adezif sistem-dentin

bağlantısının gelişmesindeki en önemli en-geli ortaya koyması nedeni ile adezif diş-hekimliğine önemli bir katkısının olduğu belirtilmektedir (33-35).

Self-etch Adezif Sistemler: Etch&rinse sistemlerden farklı olarak ayrı bir asit uygu-lama basamağı olmayan bu nedenle yıkama gerektirmeyen, içerdikleri asidik monomer ile dentini ve mineyi aynı anda asitle pürüz-lendirip primer uygulama işlemini gerçek-leştiren sistemlerdir (36, 37). Bu bağlanma yaklaşımı kullanıcı dostu olması (daha kısa uygulama süresi, daha az basamak), daha az teknik hassasiyet gerektirmesi yani uygula-ma sırasında hata riskinin azalması ve klinik olarak da güvenilir sonuçlar göstermesi ne-deniyle tercih edilmektedir. Self-etch adezif sistemlerin etch&rinse adezif sistemlere göre bir diğer avantajı işlem sonrası hassasiyetin yokluğu ya da azlığıdır (12, 14). Günümüzde tüm bu olumlu özelliklere karşın self-etch sistemlerin bağlanma etkinlikleri ve devam-lılıkları ile ilgili şüpheler devam etmekte ve sonuçların kullanılan farklı materyaller ile ilgili olabileceği bildirilmektedir.

Self-etch adezif sistemlerin sınıflan-dırılmaları: Self-etch adezifler uygulama aşamalarına göre primer ve adezif reçinenin ayrı ya da birlikte olmasına göre iki aşamalı ve bir aşamalı self-etch adezifler olarak sınıflandırılmaktadırlar (35). Self-etch adezif-ler ile oluşan hibrit tabakasının morfolojik özellikleri self-etch adezifdeki fonksiyonel monomerlerin diş yüzeyini demineralize edebilme yetenekleri ile ilişkilidir. Self-etch adezifler pH derecelerine göre ultra-hafif ($pH > 2,5$), hafif ($pH \geq 2$), orta ($pH \sim 1,5$) ve kuvvetli ($pH \leq 1$) self-etch adezifler olarak sınıflandırılmaktadırlar. Hibrit tabakanın ultra-hafif self-etch adezifler ile nanomet-re boyutlarında (nano interdifüzyon bölge),

hafif self-etch adezifler ile ortalama 1 µm, orta self-etch adezifler ile 1-2 µm arası ve kuvvetli self-etch adezifler ile birkaç µm derinliğinde oluştuğu belirtilmektedir. Tipik reçine uzantılarının yalnızca kuvvetli self-etch adezifler ile oluştuğu, hafif ve ultra-hafif self-etch adezifler ile oluşan reçine uzantılarının daha kısa ve az sayıda olduğu bildirilmektedir (2, 35).

Self-etch bir adezifin bağlanma performansının esas olarak adezif solüsyonundaki fonksiyonel monomere, bu monomerin yapısal özelliklerine ve hidroksiapatite afinitesine bağlı olduğu vurgulanmaktadır. Çeşitli self-etch sistemlerin yapısında bulunan 4-Metakriloksietil trimellitik asit (4-MET) gibi karboksilik asit esaslı monomerler ve phenyl-P ve 10-Metakriloiloksidil dihidrojen fosfat (10-MDP) gibi fosfat esaslı fonksiyonel monomerler çözünmeden kalan hidroksiapatit yapıdaki kalsiyuma kimyasal olarak bağlanma potansiyeline sahiptirler (2). Moleküllerin hidroksiapatit (HAp) esaslı dokular ile olan etkileşimleri AD-modeli (Adezyon-Dekalsifikasyon modeli) ile açıklanmaktadır. Bu modele göre tüm asitler başlangıçta kimyasal olarak HAp'taki kalsiyuma bağlanırlar (Faz 1). Bu ilk bağlanma fazında HAp'tan fosfat (H_3PO_4) ve hidroksil (OH^-) iyonları çözünür ve yüzey elektronötral olarak kalır. Eğer Ca ile monomer arasındaki iyonik bağ hidrolize karşı dayanıklı ise adezif reçinedeki monomerler ile polimerize olabilecek Ca-monomer tuzu oluşmaktadır (Faz 2, Seçenek 1). Oluşan iyonik bağ hidrolize karşı dayanıklı değil yani stabil bir bağ değil ise dekalsifikasyona yani diş yüzeyinden kalsiyum ve fosfat çözünmesine neden olmaktadır (Faz 2, Seçenek 2) (38-41). Self-etch adeziflerden bazılarında fonksiyonel bir monomer olarak bulunan 10-MDP ve cam iyonomerlerde bulunan fonksiyonel bir polimer olan polialkenoik asitler HAp'taki

kalsiyuma kimyasal olarak bağlandıklarında AD modeline (Faz 2, Seçenek 2) göre stabil kalsiyum fosfat/kalsiyum karboksilat tuzları oluşmakta ve çok yüzeyel bir dekalsifikasyon oluşmaktadır. Bu nedenle hafif self-etch adeziflerin ve cam iyonomerlerin mine ve dentin ile olan etkileşimleri çok yüzeyel olmakta ve HAp kristallerinin büyük oranda çözünmeden kalmasını sağlamaktadırlar. Bu durumun aksine fosforik asit ve maleik asit gibi moleküllerin ve self-etch adeziflerdeki phenyl-P ve HEMA-fosfat monomerlerinin HAp'taki kalsiyuma bağlanmaları (Faz 1) sonrası oluşan kalsiyum fosfat/karboksilat iyon bağları stabil olmamaları nedeniyle çözünmekte (Faz 2, Seçenek 2) ve yüzeyde dekalsifikasyon meydana gelmektedir. Self-etch adeziflerde kullanılan iki önemli fonksiyonel monomer olan 10-MDP ve phenyl-P tamamen farklı özellikler göstermektedir. Phenyl-P HAp'i asitlerken, 10-MDP HAp'a bağlanmaktadır. 4-MET monomeri ise iki monomer arasında özelliklere sahiptir (42, 43). Restorasyon-diş ara yüzeyinin TEM ile incelendiği bir çalışmada phenyl-P esaslı bir adezif olan Clearfil Liner Bond 2'nin 10-MDP esaslı Clearfil SE Bond'a göre daha kalın bir hibrit tabaka oluşturduğu gözlenmiştir. Clearfil SE Bond ile oluşan hibrit tabakada HAp gözlenirken Clearfil Liner Bond 2 ile oluşanda gözlenmemiştir. 24 saat sonra gerçekleştirilen XRD incelemelerinde başlangıçta görülen iyonik bağların gözlenmemesi Ca-phenyl-P bağının stabil olmadığını kanıtlamaktadır (41). Etch&rinse sistemlerden farklı olarak yıkama aşamasının olmaması asidik içeriğin hibrit tabaka içinde gömülü kalmasına ve zamanla bağlanmanın bozulmasına neden olmaktadır. 4-MET monomeri ise 10-MDP'den düşük phenyl-P'den ise yüksek kimyasal bağlanma potansiyeline sahiptir (44, 45). Bu monomerlerin HAp'a kimyasal bağlanma potansiyellerinin tek başına yeterli olmadığı,

oluşan iyonik bağların sulu ortamda çözünmeden kalabilme özelliklerinin de önemli olduğu belirtilmektedir. 10-MDP monomerinin 4-MET ve phenyl-P monomerlerine göre hidroksiapatit yapıdaki kalsiyum ile daha kuvvetli bir kimyasal bağlanma sağladığı ve oluşan Ca tuzunun düşük çözünme oranı nedeni ile sulu ortamlarda bozulmadan daha uzun süre kalabildiği bildirilmiştir (46, 47).

Sonuç

Diş hekimliğinde kullanılan materyaller ile ilgili araştırmaların temel hedeflerinden biri restoratif materyal ve doğal diş dokusu arasında tam bir bağlanmanın sağlanmasıdır. Bu doğrultuda diş sert dokularına bağlanma kuvvetinin artırılması ve adezyonun devamlılığının uzun süreler sağlanabilmesi için birçok etkeni değerlendirmek gerekmektedir. Bu etkenler diş yapısının ve içeriğinin heterojenliği, açığa çıkan dentin yüzeyinin hidrofilik özelliği, adezif materyalin fiziko-kimyasal özelliği ve mine-dentin ile olan etkileşimi olarak sayılabilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Perdigão J. Dentin bonding as a function of dentin structure. *Dent Clin North Am* 2002;46(2):277-301.
2. Van Landuyt K, De Munck J, Coutinho E, Peumans M, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding to dentin: smear layer and the process of hybridization. In: Eliades G, Watts DC, Eliades T, editors. *Dental hard tissues and bonding interfacial phenomena and related properties*. Berlin: Springer, 2005, p.89-122.
3. Van Meerbeek B, Inoue S, Perdigão J, Lambrechts P, Vanherle G. Enamel and dentin adhesion. In: Summitt JB, Robbins JW, Schwartz RS, editors. *Fundamentals of operative dentistry- a contemporary approach*. 2nd ed. Carol Stream, Ill.: Quintessence, 2001, p.178-235.
4. Swift EJ Jr, Perdigão J, Heymann HO. Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art, 1995. *Quintessence Int* 1995;26(2):95-110.
5. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, Van Landuyt K, Lambrechts P, Vanherle G. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 2003; 8(3):215-35.
6. Van Meerbeek B, Perdigão J, Lambrechts P, Vanherle G. The clinical performance of adhesives. *J Dent* 1998;26(1):1-20.
7. Perdigão J, Swift EJ Jr. Fundamental concepts of dental adhesion. In: Roberston TM, Heymann HO, Swift EJ, editors. *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry*. 4th ed. Mosby: St. Louis MO, 2002, p.234-62.
8. Pashley DH, Carvalho RM. Dentine permeability and dentine adhesion. *J Dent* 1997;25(5):355-72.
9. Nakabayashi N, Pashley DH. *Hybridization of dental hard tissues*. Chicago: Quintessence Publishing, 1998, p.1-17.
10. Swift EJ Jr. Dentin/enamel adhesives: review of the literature. *Pediatr Dent* 2002;24(5):456-61.
11. Nakabayashi N, Takarada K. Effect of HEMA on bonding to dentin. *Dent Mater* 1992;8(2):125-30.
12. Silva e Souza MH Jr, Carneiro KG, Lobato MF, Silva e Souza Pde A, de Góes MF. Adhesive systems: important aspects related to their composition and clinical use. *J Appl Oral Sci* 2010;18(3):207-14.
13. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, Coutinho E, Suzuki K, Lambrechts P,

- Van Meerbeek B. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007;28(26):3757-85.
14. Cardoso MV, de Almeida Neves A, Mine A, Coutinho E, Van Landuyt K, De Munck J, Van Meerbeek B. Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry. *Aust Dent J* 2011;56 Suppl 1:31-44.
 15. Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De Munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P, Yoshida Y, Inoue S, Suzuki K. Technique-sensitivity of contemporary adhesives. *Dent Mater J* 2005;24(1):1-13.
 16. Perdigão J, Lopes M. Dentin bonding-questions for the new millennium. *J Adhes Dent* 1999;1(3):191-209.
 17. 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):236-44.
 18. Jacobsen T, Söderholm KJ. Some effects of water on dentin bonding. *Dent Mater* 1995;11(2):132-6.
 19. Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A. Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation. *Oper Dent* 2000;25(4):324-30.
 20. Miyazaki M, Onose H, Moore BK. Effect of operator variability on dentin bond strength of two-step bonding systems. *Am J Dent* 2000;13(2):101-4.
 21. Schüpbach P, Lutz F, Guggenheim B. Human root caries: histopathology of arrested lesions. *Caries Res* 1992;26(3):153-64.
 22. Manhart J, Trumm C. Marginal adaptation of an etch-and-rinse adhesive with a new type of solvent in class II cavities after artificial aging. *Clin Oral Investig* 2010;14(6):699-705.
 23. Kim YK, Gu LS, Bryan TE, Kim JR, Chen L, Liu Y, Yoon JC, Breschi L, Pashley DH, Tay FR. Mineralisation of reconstituted collagen using poly-vinylphosphonic acid/polyacrylic acid templating matrix protein analogues in the presence of calcium, phosphate and hydroxyl ions. *Biomaterials* 2010;31(25):6618-27.
 24. Hashimoto M. A review--micromorphological evidence of degradation in resin-dentin bonds and potential preventional solutions. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2010;92(1):268-80.
 25. Pashley DH, Tay FR, Carvalho RM, Rueggeberg FA, Agee KA, Carrilho M, Donnelly A, García-Godoy F. From dry bonding to water-wet bonding to ethanol-wet bonding. A review of the interactions between dentin matrix and solvated resins using a macromodel of the hybrid layer. *Am J Dent* 2007;20(1):7-20.
 26. Hosaka K, Nishitani Y, Tagami J, Yoshiyama M, Brackett WW, Agee KA, Tay FR, Pashley DH. Durability of resin-dentin bonds to water- vs. ethanol-saturated dentin. *J Dent Res* 2009;88(2):146-51.
 27. Sadek FT, Braga RR, Muench A, Liu Y, Pashley DH, Tay FR. Ethanol wet-bonding challenges current anti-degradation strategy. *J Dent Res* 2010;89(12):1499-504.
 28. Sauro S, Watson TF, Mannocci F, Miyake K, Huffman BP, Tay FR, Pashley DH. Two-photon laser confocal microscopy of micropermeability of resin-dentin bonds made with water or ethanol wet bonding. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2009;90(1):327-37.
 29. Tjäderhane L, Nascimento FD, Breschi L, Mazzoni A, Tersariol IL, Geraldini S,

- Tezvergil-Mutluay A, Carrilho M, Carvalho RM, Tay FR, Pashley DH. Strategies to prevent hydrolytic degradation of the hybrid layer-A review. *Dent Mater* 2013;29(10):999-1011.
30. Pei D, Huang X, Huang C, Wang Y, Ouyang X, Zhang J. Ethanol-wet bonding may improve root dentine bonding performance of hydrophobic adhesive. *J Dent* 2012;40(5):433-41.
 31. Araújo JF, Barros TA, Braga EM, Loretto SC, Silva e Souza Pde A, Silva e Souza MH. One-year evaluation of a simplified ethanol-wet bonding technique: a randomized clinical trial. *Braz Dent J* 2013;24(3):267-72.
 32. Sauro S, Toledano M, Aguilera FS, Mannocci F, Pashley DH, Tay FR, Watson TF, Osorio R. Durability of resin-dentin bonds to water- vs. ethanol-saturated dentin. *J Dent Res* 2009;88(2):146-51.
 33. Sadek FT, Mazzoni A, Breschi L, Tay FR, Braga RR. Six-month evaluation of adhesives interface created by a hydrophobic adhesive to acid-etched ethanol-wet bonded dentine with simplified dehydration protocols. *J Dent* 2010;38(4):276-83.
 34. Liu Y, Tjäderhane L, Breschi L, Mazzoni A, Li N, Mao J, Pashley DH, Tay FR. Limitations in bonding to dentin and experimental strategies to prevent bond degradation. *J Dent Res* 2011;90(8):953-68.
 35. Pashley DH, Tay FR, Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho RM, Carrilho M, Tezvergil-Mutluay A. State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dent Mater* 2011;27(1):1-16.
 36. Perdigão J. New developments in dental adhesion. *Dent Clin North Am* 2007;51(2):333-57.
 37. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Five-year clinical effectiveness of a two-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent* 2007;9(1):7-10.
 38. Fu B, Sun X, Qian W, Shen Y, Chen R, Hannig M. Evidence of chemical bonding to hydroxyapatite by phosphoric acid esters. *Biomaterials* 2005;26(25):5104-10.
 39. Inoue S, Koshiro K, Yoshida Y, De Munck J, Nagakane K, Suzuki K, Sano H, Van Meerbeek B. Hydrolytic stability of self-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res* 2005;84(12):1160-4.
 40. Li F, Liu XY, Zhang L, Kang JJ, Chen JH. Ethanol-wet bonding technique may enhance the bonding performance of contemporary etch-and-rinse dental adhesives. *J Adhes Dent* 2012;14(2):113-20.
 41. Yoshihara K, Yoshida Y, Nagaoka N, Fukegawa D, Hayakawa S, Mine A, Nakamura M, Minagi S, Osaka A, Suzuki K, Van Meerbeek B. Nano-controlled molecular interaction at adhesive interfaces for hard tissue reconstruction. *Acta Biomater* 2010;6(9):3573-82.
 42. De Munck J, Shirai K, Yoshida Y, Inoue S, Van Landuyt K, Lambrechts P, Suzuki K, Shintani H, Van Meerbeek B. Effect of water storage on the bonding effectiveness of 6 adhesives to Class I cavity dentin. *Oper Dent* 2006;31(4):456-65.
 43. Imazato S, Kinomoto Y, Tarumi H, Ebisu S, Tay FR. Antibacterial activity and bonding characteristics of an adhesive resin containing antibacterial monomer MDPB. *Dent Mater* 2003;19(4):313-9.
 44. Krithikadatta J. Clinical effectiveness of contemporary dentin bonding agents. *J Conserv Dent* 2010;13(4):173-83.
 45. Kubo S, Yokota H, Yokota H, Hayashi Y. Two-year clinical evaluation of one-step

- self-etch systems in non-carious cervical lesions. *J Dent* 2009;37(2):149-55.
46. Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dent Mater* 2005;21(9):864-81.
47. Ritter AV, Swift EJ Jr, Heymann HO, Sturdevant JR, Wilder AD Jr. An eight-year clinical evaluation of filled and unfilled one-bottle dental adhesives. *J Am Dent Assoc* 2009;140(1):28-37.

Yazışma Adresi:**Yeliz GÜVEN**

İstanbul Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi

Pedodonti A.D

34093 Çapa-Fatih/İstanbul

Tel: 0212 414 20 20/30283

e-posta: yguven@istanbul.edu.tr