

HİBRİT TABAKASI, ÖZELLİKLERİ VE HİBRİT TABAKASINDA GÖZLENEN MİKROSKOBİK OLUŞUMLAR

HYBRID LAYER, FEATURES OF HYBRID LAYER AND MICROSCOPIC FORMATIONS WHICH ARE OBSERVED IN THE HYBRID LAYER

*Nazmiye DÖNMEZ**,

Füsun ÖZER†

ÖZET

Günümüz dentin bağlayıcı sistemlerinin adezyon mekanizması büyük oranda hibrit tabakası oluşumu ile gerçekleşmektedir. Bu tabakanın fiziksel özelliklerinin demineralize dentinden daha iyi olduğu, mineralize dentinden ise daha kötü olduğu düşünülmektedir. Günümüzde kullanılan teknikler ile hibridizasyonun özelliklerini submikron seviyede detaylı bir şekilde elde etmek mümkündür. Bu derlemede dentin bağlayıcı sistemlerin adezyon mekanizması olan hibrit tabakasının oluşumu, özellikleri, ultramorfolojik yapısı hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır. Ayrıca son yıllarda SEM ve özellikle TEM ile hibrit tabakasında gözlenen mikroskobik oluşumlardan bahsedilmiştir.

Anahtar kelimeler: Hibrit tabakası, nanosızıntı, demineralize dentin

SUMMARY

The mechanism of adhesion for current dentin bonding agents greatly rely on hybrid layer formation. It is considered that physical characteristics of this layer are better than demineralized dentin but these are worse than mineralized dentin. Currently ultramorphologic characteristics of hybridization are possible to obtain detail with using several microscopic techniques. In this review, hybrid layer formation which is mechanism of adhesion for dentin bonding agents, characteristics, and ultramorphological structure of hybrid layer will be try to explain. In addition, it will be discussed about from microscopic formations which are observed in the hybrid layer with SEM or especially TEM.

Key words: Hybrid layer, nanoleakage, demineralized dentin

Makale Gönderiliş Tarihi : 18.04.2004

Yayına Kabul Tarihi: 23.05.2005

* Selçuk Üniversitesi Diş hekimliği Fakültesi Diş hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Dr.

† Selçuk Üniversitesi Diş hekimliği Fakültesi Diş hastalıkları ve Tedavisi Anabilim Dalı, Prof. Dr.

Hibrit tabakası

Günümüz adeziv restoratif materyallerinin temel bağlanma mekanizması hibrit tabakasının oluşumuna dayanmaktadır. Bu tabaka ilk kez 1982 yılında Nakabayashi ve arkadaşları¹⁹ tarafından tanımlanmış ve demineralize dentin bileşikleri ile polimerize edilmiş rezinin moleküler düzeydeki karışımı şeklinde ifade edilmiştir. Daha sonra birçok araştırmacı^{4,9,14,23,28,44} dentin bağlayıcı sistemlerin diş dokularıyla olan adezyonunu, smear tabakasının bir asit ve/veya asidik primer ile kaldırılarak dentinin yüzeyel demineralizasyonu sonucunda açığa çıkan kollajen fibrillerin, uygulanan primer ile ıslatılması ve daha sonra adeziv rezinin primerle birlikte kollajen ağı içerisinde polimerize olması sonucunda oluşan mikromekanik bir bağlanma tabakası şeklinde tanımlanmışlardır.

Hibrit tabaka¹⁹ ya da rezin interdiffüzyon bölgesi⁴⁴ ile ilgili olarak klinik^{6,12,46}, mekanik^{25,38}, morfolojik^{7,39} ve kimyasal^{8,47} alanlarda pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda birçok adeziv sistemle elde edilen hibrit tabakasının kalınlığının 1-5 µm arasında değiştiği bildirilmiştir^{19,48}. Tabakanın kalınlığı adeziv sistemlerin yapılarına göre değişiklikler gösterir. Örneğin self-etch sistemlerde 1µm'den daha az kalınlıkta olabilen bu tabaka, total-etch sistemlerde ise 5µm'ya kadar ulaşabilmektedir. Oluşmuş ince olan bu tabakanın mekanik özelliklerinin ölçümü zor olmasına rağmen Van Meerbeek ve ark hibrit tabakasının elastisite modülünü ölçmüşler ve bu değer 4,8-9,7 GPa arasında olduğunu bildirmişlerdir⁴⁶.

Hibrit tabakasının oluşumu

Demineralize edilen dentin matriksi içerisindeki kollajen fibrillerin açığa çıkması sonucunda, intertübüler dentinde oluşan diffüzyon yolu içerisinde, monomerin sızması ile hibrit tabakası oluşmaktadır. Monomerin sızması ve hibridizasyon için, demineralize olmuş mine ve dentinin geçirgenliğinin yüksek olması gerekir²¹.

Hibrit tabakası oluşumunda önemli olan, asit uygulamasını takiben mineral desteğini kaybeden kollajen fibril ağının süngersi özelliğini koruması yani demineralize edilmiş dentinin geçirgenliğini muhafaza etmesi ve büzülme için dentinin dehidrate olmamasıdır²⁰. Çünkü demineralize olmuş ve çözülmüş kollajen fibriller büzülür ve primerin etkin bir şekilde diffüzyonunu önleyebilir. Dentinin bu özelliği, primer ve adeziv ajanın uygulama aşamalarında rezin monomerlerinin sızmasına olanak tanır⁵¹.

Hibrit tabakasının özellikleri

"Hibrit tabakası, rezinin sızdığı mine, dentin veya sementte oluşabilir.

"Bu tabakanın kimyasal ve fiziksel özelliği, orjinal diş yapısından çok farklıdır²⁰. Çünkü, kısmen demineralize olmuş diş dokusu içerisine rezin sızıntısı gerçekleşmiştir.

"Hibrit tabakasının yapısı organikdir ve asitlere karşı dirençlidir.

"Ayrıca bu tabakanın sertliği normal dentine göre daha azdır fakat daha dayanıklıdır⁴⁵. Ancak fiziksel özelliklerinin demineralize dentinden daha iyi olduğu, mineralize dentinden ise daha kötü olduğu düşünülmektedir.

Hibrit tabakasının kalınlığını (1-5µm), genellikle dentinin demineralizasyon derinliğinin belirlediği kabul edilir^{2,43,44}. Literatürde bu tabakanın kalınlığında farklılıklar olabileceği bildirilmiştir³⁰. Bu farklılıklar iki sebeple meydana gelebilir:

1) Uygulanan spesifik asit jellere bağlı olarak demineralizasyon derinliği değişebilir.

2) Rezin-dentin ara yüzeyinden alınan kesitlerdeki hibrit tabakası, elektron mikroskopunda farklı olarak gözlemlenebilir. Şöyle ki, eğer kesit alma işlemi bağlanma ara yüzeyine dik yapılmazsa, kesme açısından dolayı hibrit tabakası daha kalın görülebilir³⁰.

Hibrit tabakasının kalınlığının bağlanma dayanıklılığı (durability) üzerine etkisi ise hala şüphelidir. Nakajima ve arkadaşları²² ile Perdigão ve arkadaşları³⁰ yaptıkları bir çalışmada, bağlanma kuvveti ile hibrit tabakasının kalınlığı arasında bir ilişki olmadığını bulmuşlardır. Hashimoto ve ark¹¹ hibrit tabakasının kalınlığını arttırmak için asit uygulama süresinin uzatılmasının, gerilme bağlanma kuvvetinin daha düşük olmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Geçmişte en sık karşılaşılan problemlerden birisi olan mikrosızıntı ve buna bağlı olarak sekonder çürüklerin gelişmesi, günümüzdeki adeziv sistemlerin bağlanma mekanizması olan hibrit tabakasının oluşumu ile önlenmiştir. Ayrıca ani streslere karşı dayanıklılığı sağlayan mikromekanik bağlanma ile daha uzun süreli restorasyonlar gerçekleştirilebilmektedir.

Hibrit tabakasının ultramorfolojik yapısı

Geleneksel olarak SEM ile gösterilen hibrit tabakasının ultramorfolojik yapısı Van Meerbeek ve arkadaşları⁴⁶ ve Inoue ve arkadaşları¹³ tarafından TEM ile 3 farklı tabaka olarak belirlenmiştir.

1. "Halı kılı" görüntüsü olarak adlandırılan birinci tip hibrit yapı adeziv rezinle kollajen fibrillerin gevşek bağlantısı sonucu ortaya çıkar (Resim 1). Bu görüntüye çoğunlukla asidik primerle dentin yüzeyi ovularak muamele edilirse rastlanılır^{29,46}. Inoue ve arkadaşları¹³ bu görüntü-



Resim 1. Halı kılı görüntüsü

nün pH yönünden kuvvetli olan self-etch ve total etch sistemler ile elde edilebilen karakteristik bir görüntü olduğunu bildirmişlerdir. Ancak Van Meerbeek ve arkadaşları⁵⁰ ile Dönmez⁵ pH yönünden hafif bir self-etch adeziv sistem olan Clearfil SE bond ile yaptıkları çalışmalar sonucunda bu görüntüye rastlamışlardır.

2. İkinci tip hibrit yapı “tübül duvarlarını kaplayan hibrit tabaka” adını alır¹³ ve tübül duvarlarının olduğu bölgeye hibrit tabakasının uzanması şeklinde tarif edilir. Bu hibrit yapı sayesinde resin uzantılarının halka şeklinde ayrılması sonucunda pulpa-dentin kompleksi mikrosızıntıya ve mikroorganizma geçişine karşı çok etkili bir biçimde örtülmüş olur. Bu durum özellikle de hibrit tabakasının en zayıf olduğu alt ve üst yüzeylerde kopma oluştuğunda etkili bir koruma oluşturmaktadır¹³. Resin uzantıları genellikle hibrit tabaka yüzeyinden koaptuklarından tübüller, örtülerini kaybetmemiş olurlar²⁹. Resin uzantılarının oluşumu tübül ağzında 5-10µm kadar ise çok iyi bir retansiyon ve örtme sağlayacağı düşünülmektedir¹³. Ancak resin uzantılarının uzunluğunun önem açısından ikinci sırada olduğu bilinmektedir¹³.

3. Üçüncü tip hibrit yapı ise tübüllerin lateral dallanmalarını örten çok ince hibrit tabakadır ve “lateral tübül hibridizasyonu” adını almaktadır¹³. Burada da santraldeki rezini kaplayan mikro hibrit tabakasını “mikro resin uzantıları” oluşturmaktadır.

Günümüzde kullanılan teknikler ile hibridizasyonun submikron seviyede özelliklerini detaylı bir şekilde elde et-

mek mümkündür. Yaygın olarak kullanılan SEM incelemelerinde µm genişlikteki hibrit tabakasını tanımlamak için çok sayıda teknik kullanılmıştır. Fakat elde edilen fotomikrografların yorumlanması zordur ve tartışmaya açıktır⁴⁹.

Son yıllarda yapılan mikroskobik çalışmalarda hibrit tabakası içerisinde pöröz bir yapı oluşumuna rastlanmıştır. “Nanosızıntı” (Nanoleakage) adı verilen bu oluşum ilk kez Sano ve ark³⁴ tarafından SEM incelemesinde iyon çapı 0,059 nm kadar küçük olan gümüş (Ag) iyonları kullanılarak gözlenmiştir. Daha sonra yapılan birçok çalışmada^{15,16,24,27,31} çeşitli bağlayıcı sistemler nanosızıntı açısından değerlendirilmiş ve bunun için en uygun solüsyonun %50’lik AgNO₃ (gümüş nitrat) olduğu kabul edilmiştir^{15,32,35}. Bu yöntemde dentin bağlayıcı sistem uygulandıktan sonra kompozit resin ile restore edilen dişlerin bağlantı ara yüzeyine 1mm mesafe kalacak şekilde, tüm diş yüzeyine iki kat tırnak cilası sürülür. Daha sonra dişler %50’lik AgNO₃ solüsyonu (pH=4.2) içerisinde ve karanlık bir ortamda 24 saat bekletilir, distile su³⁹ ile ya da akan su altında^{35,36} 5 dk yıkandıktan sonra Ag iyonunu metalik gümüş’e indirgemek için, fotoğraf oluşturma solüsyonunda floresan ışığında 8 saat bekletilir, eğer SEM ile incelenecekse akan su altında 5 dk yıkanır^{35,36,41}. Ancak bu geleneksel teknik kullanılarak yapılan çalışmaların sonuçları birbiriyle uyumlu olmasına rağmen iki konu üzerinde biraz daha düşünmek gerektiği savunulmaktadır. Başlangıçta 3.4-4.5 arasında pH’ya sahip olan % 50’lik asidik AgNO₃ solüsyonu, 24 saat bekleme periyodu sırasında restorasyon kenarlarında (özellikle kısmen demineralize olmuş dentinde) demineralizasyon başlatabilir. Böyle bir durumda da yanlış pozitif sonuçlar elde edilebilir. Diğer konu ise yalnız marjinleri açığa çıkarmak ve örnekleri izole etmek için yüzeye tırnak cilası uygulanması işlemidir. Dehidratasyon aşaması, çözücünün uzaklaşması ve tırnak cilasının adezyonunu sağlamak için gereklidir ve bu işlem yaklaşık 15 dk sürmektedir³. Restore edilmiş örneklerin resin-dentin ara yüzünde oluşan aralık genişliğinin 12 dk içerisinde değiştiği gözlenmiştir. Bu da dentinde hasara neden olup hatalı sonuç elde edilmesine neden olabilir⁴.

Asidik AgNO₃ solüsyonu kullanılarak mineral çözünmesinin hatalı olmasından kaçınmak için pH= 9.5 olan bazik karakterde amonyaklı AgNO₃ çözeltilisinin kullanıldığı “modifiye gümüş ile boyama tekniği” geliştirilmiştir²⁶. Bu tekniğin geleneksel teknikten farkı kullanılan solüsyonun farklı olmasıdır. Solüsyon hazırlanırken önce 25 gr AgNO₃ kristalinin 25 ml %28’lik amonyum hidroksit (NH₄OH) içerisinde çözünmesi sağlanır. Bu işlem siyah renkli Ag partiküllerinin çözelti içerisinde süspansiyon halde olmasını sağlar. Daha sonra siyah renkte olan solüsyonun rengi daha açık hale gelinceye kadar %28’lik

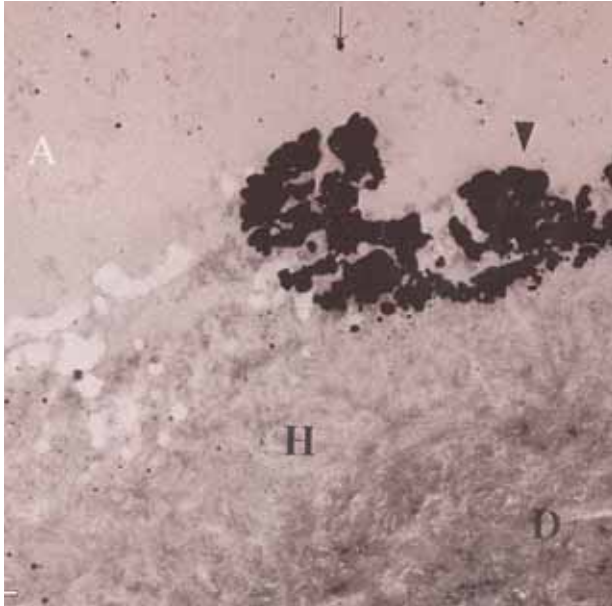
NH₄OH ile titre edilir. Elde edilen bu solüsyon 50 ml distile su ile dilüe edilir ve böylece pH=9.5 olan %50'lik amonyaklı AgNO₃ solüsyonu elde edilmiş olur. Örneklerin boyanması işlemi geleneksel teknikle aynı şekilde gerçekleştirilir.

Nanosızıntı

Hibrit tabakası içindeki mikroporöziteyi tanımlamak için kullanılan bir terimdir ve hibridizasyonun kalitesinin değerlendirilmesinde dikkate alınır⁴⁹. Hibrit tabakası ile rezin kompozit arasında marjinal aralık olmaksızın meydana gelen ve gümüş nitratin nüfuz etmesine izin veren sızıntı olarak tanımlanmıştır^{35,36}. Adeziv rezin içinde, hibrit tabakası içinde ya da kısmen /tamamen demineralize olmuş dentin içinde olabilir³⁷.

Nanosızıntının oluşma nedenleri arasında adeziv rezinin demineralize dentin içerisine diffüzyonunun tam olarak gerçekleşmemesi, etrafı rezin ile çevrili olmayan kollajenin ayrılması ya da polimerizasyon büzülmesi, primerdeki çözücünün tam olarak uzaklaştırılmaması, tam polimerize olmayan monomerlerin ortamdaki uzaklaşması, kollajen veya rezin polimerin hidrolize olması ya da bozulması ve kollajenin yetersiz ıslanması sayılabilir⁴⁰.

Adeziv rezin ile tamamen doldurulamayan ve submikron seviyesinde olan bu boşluklardan bakterilerin geçişi mümkün değildir. Fakat bakteriyel ürünler örn: asitler ve hidrolitik enzimler diş-restorasyon ara yüzüne nüfuz edebilirler. Bu sayede enzimler hibrit tabakasındaki kolla-



Resim 2. Spotted tip nanosızıntı (↓), Retiküler tip nanosızıntı (▼)
A: Adeziv rezin, H: Hibrit Tabaka, D: Dentin.

jen ya da rezini hidrolize edebilirler ve sonuçta da rezin-dentin bağlantısının devamlılığı tehlikeye girebilir.

Nanosızıntı tipleri

Ağsı yapıda olan (Retiküler) nanosızıntı: Hibrit tabakası içerisinde rezin infiltrasyonunun tam olmadığı bölgelerde rastlanan klasik nanosızıntıdır³⁶ (Resim 2³). Özellikle Ag depozitlerinin hibrit tabakası yüzeyine dik olarak biriktiği bu tip nanosızıntı “water-tree” oluşumlarının morfolojik bir kanıtıdır^{17,33}.

Benekli yapıda olan (Spotted) nanosızıntı: Resin tabakası içerisinde geçirgenliğin arttığı alanlarda, Ag iyonları ile hidrofilik rezin bileşenleri arasındaki etkileşim sonucunda gözlenir²⁶, (Resim 2). Tay ve arkadaşları⁴¹ tek basamaklı (single-step) ve self-etch adeziv sistemleri kullanılarak yaptıkları çalışmada hem geleneksel hem de modifiye Ag boyama tekniklerini kullanmışlar ve benekli tip nanosızıntının sadece modifiye teknik kullanıldığında, buna karşılık ağsı yapıda olan nanosızıntının her iki teknik kullanıldığında gözlendiğini bildirmişlerdir⁴¹.

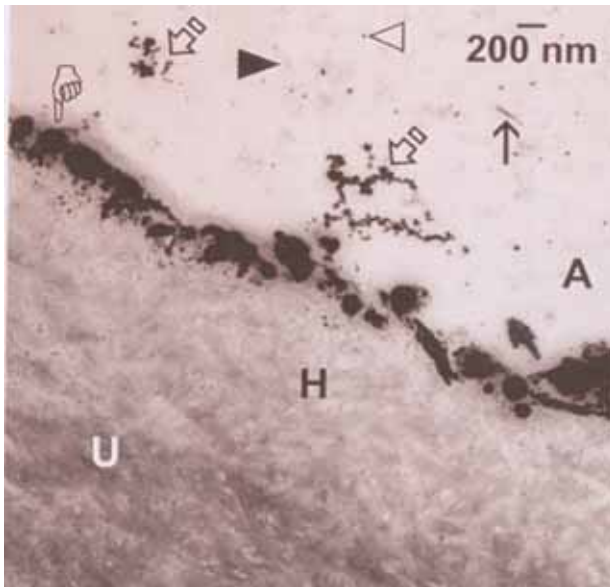
Self-etch adezivler kullanıldığında gözlenen ağsı yapıda olan (retiküler tip) nanosızıntı muhtemelen su ile yer değiştirmenin tam gerçekleşmediği alanları göstermektedir⁴¹ ve bu da bölgesel polimerizasyonun yeterli olmamasına neden olur. Modifiye teknik kullanımı sonunda gözlenen benekli yapıda olan (spotted tip) nanosızıntı ise muhtemelen adeziv ile hibrit tabakasındaki geçirgenliğin artmış olduğu bölgelerde ve bazik diamin Ag iyonları ile asidik/hidrofilik rezin bileşenleri arasındaki etkileşimden kaynaklanır.

Nanosızıntı ile ilgili olarak daha önce yapılan çalışmalarda^{27,32,35} genellikle hibrit tabakası içerisinde rezin infiltrasyonunun tam olmadığı alanlar ile ilgili olduğu bulunmuştur. Demineralize dentine tam yerleşmemiş rezin infiltrasyonu dentinal ve oral sıvılar ile bakteriyel ürünlerin nüfuz etmesine izin verebilir. Böylece ya adeziv rezinin ya da hibrit tabakası içerisindeki kollajen fibrillerin hidrolitik bozulması ile sonuçlanabilir. Buna bağlı olarak da rezin-dentin bağlantısının uzun süreli devamlılığı tehlikeye girebilir¹⁰.

Günümüzde mikroskopik olarak hibrit tabakası incelemelerinde, örneklere daha az zarar vererek istenmeyen görüntüleri en aza indirmek ve daha yüksek büyütmede görüntü elde etmek, ayrıca SEM’de gözden kaçan pek çok mikroskopik yapıyı incelemek bugün TEM ile mümkündür. Tay ve arkadaşları⁴¹ ve Mohsen ve arkadaşları¹⁸ TEM ile daha detaylı yaptıkları incelemelerde “water tree” adı verilen mikroskopik oluşumlara rastlamışlardır ve

TEM’de gözlemedikleri bu alanların adeziv-dentin ara yüzüne tutunmuş su kitleleri olduğunu iddia etmişlerdir. Bu su kitlelerinin oluşumunu ise polimerizasyon sırasında oluşan ısıya veya asitleme işlemleri sırasındaki ozmotik sıvı hareketine bağlamışlardır. Ayrıca hibrit tabakası yüzeyinde görülen nanosızıntı veya “water-tree” oluşumlarının sebebinin sadece yetersiz monomer infiltrasyonu olamayacağını, self-etch adezivlerde gözlenen horizontal/oblik gümüş yığılımlarının aynı zamanda bu bölgede tutunan su nedeniyle de olabileceğini belirtmişlerdir.

“Water-tree” oluşumları olarak tanımlanan su açısın-dan zengin bu alanlar (Resim 3), adezivin mekanik özelliklerinin hızla bozulmasına sebep olarak hibrit tabakası yüzeyinde adeziv başarısızlıkla sonuçlanabilir. Nitekim Sano tarafından yapılan bir çalışmada³⁷ rezin-dentin bağlantısının bozulma sebebi, hibrit tabakası içerisindeki kolajen fibrillerinin bozulmasından ziyade rezinin suda erimesi olarak iddia edilmiştir. Tay ve arkadaşları⁴¹ SEM’de nanosızıntı olarak belirlenen bazı oluşumların aslında suyun tutunmasına bağlı “water-tree” adı verilen morfolojik oluşumlar olabileceği hipotezi ile başlattıkları bir çalışmada sonuç olarak tüm bu mikroskopik defektlerin sebebinin su birikintilerine bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca bu defektlerin fonksiyonel kuvvetler altında veya uzun zaman durağan kaldığında sonuçlarının minimal olacağını, ancak kendi kendine yayılım gösterdiği takdirde veya ortama daha fazla su girdiğinde klinik belirtilerin daha da şiddetlenebileceğini iddia etmişlerdir.



Resim 3. “Water-tree” oluşumları (↑).

‡ Resim 1, 2 ve 3 Dr. Nazmiye Dönmez’in tez çalışmasından alınmıştır.

Her ne kadar nanosızıntı^{24,31} ve water-tree oluşumlarının⁴² bağlanma dayanımı üzerine etkisinin olup olmadığı kanıtlanmamışsa da dentin ile restoratif materyaller arasındaki bağlantının uzun süreli dayanımı için mikroskopik olarak gözlenen bu oluşumların önemli olabileceğini düşünüyoruz. Ancak adeziv diş hekimliğindeki hızlı gelişmeler sayesinde diş dokuları ile sağlanan bağlantının daha da iyi olacağını ümit ediyoruz.

KAYNAKLAR

1. Agee KL, Pashley EL, Itthagarun A, Sano H, Tay FR, Pashley DH. Sub-micron hiati in acid etched dentin are iatrogenic artifacts of desiccation. Dent Mater 19:60-68, 2003.
2. Armstrong SR, Vargas MA, Laffoon J, Kırchner HL, Pashley DH. Hydrolytic degradation of the dentin – resin composite bonded joint. (IADR abstract no: 2476) J Dent Res 79 :(special Issue) 453, 2000.
3. Chan MFWY, Glyn-Jones JC. Marginal sealing ability of four restorative materials placed in root surfaces. Eur J Prosthodont Restor Dent 2:23-28, 1993.
4. Chappell RP, Eick JD, Mixson JM, Theisen FC. Shear bond strength and scanning electron microscopic observation of four dentinal adhesives. Quintessence Int 21:303-310, 1990.
5. Dönmez N. Resin-dentin bağlanma dayanımında ve hibrit tabakada zamana bağlı oluşabilecek değişikliklerin in vivo/in vitro incelenmesi (SEM,TEM ve Microtensile bond çalışması) Doktora tezi, Konya, 2003.
6. Duke ES, Robbins CW, Schwartz RS, Summitt JB, Conn LJ. Clinical and interfacial laboratory evaluation of a bonding agent in cervical abrasions. Am J Dent 7:307-311, 1994.
7. Eick JD, Robinson SJ, Chappell RP, Cobb CM and Spencer P. The dentinal surface:Its influence on dentinal adhesion. Part III, Quintessence Int 24: 571-582,1993.
8. Eick JD, Miller RG, Robinson SJ, Bowles CQ, Gutshall PL and Chappell CC. Quantitative analysis of the dentin adhesive interface by Auger spektroskopisi. J Dent Res 75:1027-1033, 1996.
9. Erickson RL. Surface interactions of dentin adhesive materials. Oper Dent 5:81-94, 1992.
10. Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H. In vivo degradation of resin-dentin bonds in human over 3 years. J Dent Res 79:1385-1391,2000a.
11. Hashimoto M, Ohno H, Endo K, Kaga M, Sano H, Oguchi H. The effect of hybrid layer thickness on bond strength: demineralized dentin zone of the hybrid layer. Dent Mater 16: 406-411, 2000b.
12. Heymann HO, Sturdevant JR, Bayne S, Wilder AD, Sluder TB, Brunson WD. Examining tooth flexure effects on cervical restorations: A two –year clinical study. JADA 122: 41-47,1991.
13. Inoue S, Van Meerbeek B, Vargas M, Yoshida Y, Lambrechts P, Vanherle G. Adhesion mechanism of self-etching adhesives, In “Advanced Adhesive Dentistry 3rd International Kuraray symposium” Ed. by Tagami J, Tolledano M, Prati C, 130-148, Cirimido, Italy, 1999.
14. Jacobsen T, Finger WJ. Morphology of coupling sites between bonding agents and dentine in vivo and in vitro. J Dent 21 (3): 150-157, 1993.
15. Li HP, Burrow MF, Tyas MJ. Nanoleakage patterns of four dentin bonding

- systems. Dent Mater 16:48-56,2000.
16. Li HP, Burrow MF, Tyas MJ. Nanoleakage of cervical restorations of four bonding systems. J Adhes Dent 2:57-65, 2002.
 17. Miyashita T. Deterioration of water-immersed polyethylene coating wire by treeing. Proceedings of the 1969 IEEE-NEMA electrical Insulation Conference, Boston, September, pp. 131-135, 1969.
 18. Mohsen NM, Craig RG, Filisko FE. The effects of moisture on the dielectric relaxation of urethane dimethacrylate polymer and composites. J Oral Rehabil 28: 376-392, 2001.
 19. Nakabayashi N. Resin reinforced dentin due to infiltration of monomers into the dentin at the adhesive interface. J Jpn Dent Mater 1:78 81,1982.
 20. Nakabayashi N and Pashley DH. Evaluation of dentin-resin bonding In "Hybridization of dental hard tissues" 1-20, Quintessence Publishing Co, Ltd, Tokyo, 1998a.
 21. Nakabayashi N and Pashley DH. Properties of dentin In "Hybridization of dental hard tissues" 21-35, Quintessence Publishing Co, Ltd, Tokyo,1998b.
 22. Nakajima M, Ogata M, Okuda M, Tagami J, Sano H, Pashley DH. Bonding to caries-affected dentin using self-etching primers. Am J Dent 12: 309-314, 1999.
 23. O'Brian W. Dental materials properties and selection, Quintessence Publishing Co Chicago, 1989.
 24. Okuda M, Pereira PN, Nakajima M, Tagami J. Relationship between nanoleakage and long-term durability of dentin bonds. Oper Dent 26: 482-490, 2001.
 25. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M and Carvalho RM. Adhesion testing of dentin bonding agents: A review. Dent Mater 11:117-125, 1995.
 26. Pashley EL, Agee KA, Pashley DH, Tay FR. Effects of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive on dentine bonding. J Dent 30(2-3):83-90,2002.
 27. Paul SJ, Welter DA, Ghazi M, Pashley DH. Nanoleakage at the dentin adhesive interface vs. microtensile bond strength. Oper Dent 24:181-188, 1999.
 28. Perdigão J, Swift EJ, Denehy GE, Wefel JS, Donly KJ. In vitro bond strength and SEM evaluation of dentin bonding systems to different dentin substrates. J Dent Res 73:44-55, 1994.
 29. Perdigão J. An ultra-morphological study of human dentine exposed to adhesive systems, doctoral thesis, KUL, Van der Poorten, Leuven, 1995.
 30. Perdigão J, May KN, Wilder AD, Lopes M. The effect of depth of dentin demineralization on bond strengths and morphology of the hybrid layer. Oper Dent 25: 186-194,2000.
 31. Pereira PN, Okuda M, Nakajima M, Sano H, Tagami J, Pashley DH. Relationship between bond strength and nanoleakage: evaluation of a new assessment method. Am J Dent 14:100-104,2001.
 32. Pioch T, Staehle HJ, Duschner H, Garcia-Godoy F. Nanoleakage at the composite-dentin interface: a review. Am J Dent 14:252-258, 2001.
 33. Raharimalala V, Poggi Y, Filippini JC. Influence of polymer morphology on water treeing. IEEE Trans Dielect Elect Insul 1: 1094-1103,1994.
 34. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho RM, Pashley DH. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength-Evaluation of micro-tensile bond test. Dent Mater 10: 236-240, 1994.
 35. Sano H, Shono T, Takatsu T, Ciucchi B, Horner JA, Matthews WG, Pashley DH. Nanoleakage: Leakage within the hybrid layer. Oper Dent 20: 18-25, 1995a.
 36. Sano H, Yoshiyama M, Ebisu S, Burrow MF, Takatsu T, Ciucchi B. Comparative SEM and TEM observations of nanoleakage within the hybrid layer. Oper Dent 20:160-167, 1995b.
 37. Sano H, Pereira PNR, Yoshikawa T, Morigami M, Tagami J, Pashley DH. Long term durability of dentin bonds made with a self-etching primer, in vivo. J Dent Res 78: 906-911, 1999.
 38. Swift EJ, Perdigão J, Heymann HO. Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art. Quintessence Int 26:95-110, 1995.
 39. Tay FR, Gwinnett AJ, Pang KM, Wei SHY. Structural evidence of a sealed tissue interface with a total etch wet-bonding technique in vivo. J Dent Res 73:629-636,1994.
 40. Tay FR, Gwinnett AJ, Pang KM, Wei SHY. Variability in microleakage observed in a total-etch wet bonding technique under different handling conditions, (abstract) J Dent Res 74 (5): 1168-1178, 1995.
 41. Tay FR, Pashley DH, Yoshiyama M. Two modes of Nanoleakage expression in single-step adhesives. J Dent Res 81(7):472-476, 2002.
 42. Tay FR, Pashley DH. Water treeing-a potential mechanism for degradation of dentin adhesives. Am J Dent 16 (1):6-12, 2003.
 43. Uno S & Finger WJ. Effects of acidic conditioners on dentine demineralization and dimension of hybrid layers. J Dent 24(3): 211-216, 1996.
 44. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. J Dent Res 71(8): 1530-1540, 1992a.
 45. Van Meerbeek B, Lambrechts P, Inokoshi S, Braem M, Vanherle G. Factors affecting adhesion to mineralized tissues. Oper Dent 5:111-124,1992b.
 46. Van Meerbeek B, Dhem A, Goret- Nicaise M, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Comparative SEM and TEM examination of the ultra structure of the resin-dentin interdiffusion zone. J Dent Res 72: 495-501, 1993a.
 47. Van Meerbeek B, Mohrbacher H, Celis JP, Roos JR, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Chemical characterization of the resin-dentin interface by micro-Raman spectroscopy. J Dent Res 72:1423-1428, 1993b.
 48. Van Meerbeek B, Conn LJ Jr, Duke ES, Eick JD, Robinson SJ, Guerrero D. Correlative transmission electron microscopy examination of nondemineralized and demineralized resin-dentin interfaces formed by two dentin adhesive systems. J Dent Res 75(3):879-88, 1996.
 49. Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S, Yoshida Y, Perdigão J, Lambrechts P, Vanherle G. Microscopy investigations. Techniques, results, limitations. Am J Dent 13:3D-18D.2000.
 50. Van Meerbeek B, De Munk J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, Van Landuyt K, Lambrechts P, Vanherle G. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. Oper Dent 28(3): 215-235, 2003.
 51. Yalug S. Dentin adeziv sistemlerinin gelişimi, kullanımı ve sınıflandırılması. GÜ Dişhek Fak Derg 16(3): 41-49,1999.

Yazışma adresi

Dr. Nazmiye DÖNMEZ

Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Diş Hastalıkları ve Tedavisi AD. 42080-Konya
Tel:(332) 223 12 43 GSM: 0 532 780 39 36
Faks: (332) 241 00 65
E-posta: nazmiyedonmez@hotmail.com