

DİŞ HEKİMLİĞİNDE SİLAN UYGULAMALARI

SILANE APPLICATIONS IN DENTISTRY

Yrd. Doç. Dr. Güler YILDIRIM * Doç. Dr. İsmail Hakkı UZUN*

Makale Kodu/Article code: 2417

Makale Gönderilme tarihi: 08.10.2015

Kabul Tarihi: 11.12.2015

ÖZ

Başarılı bir rezin-seramik bağlantısı, kimyasal bağlanma ve rezin-seramik birleşim yüzeyindeki mikromekanik retansiyon ile sağlanmaktadır. Silanlar, silika bazlı seramikler ile rezin kompozitler arasında güçlü bir bağlantı sağlarken, silika bazlı olmayan dental restoratif materyallerle güçlü bağlantı sağlamazlar. Silika bazlı olmayan dental materyallerin bağlantı gücünü arttırmak için birçok yüzey hazırlama metodu kullanılmaktadır. Bu derlemede silanın bağlantı mekanizması ve dental restoratif materyaller ile rezin simanlar arasındaki adezyonu anlatılmaktadır. Ayrıca, günümüzde kullanılan ve yeni geliştirilen yüzey hazırlama metodlarının kimyasal ve mikromekanik bağlanmadaki rolleri tartışılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Silan, adezyon, rezin.

ABSTRACT

A successful resin-ceramic bonding occurs via chemical bonding and micromechanical retention between resin and ceramic surfaces. Silanes, while providing a strong bonding between composite resins and silica based ceramics, could not perform as well with non-silica based dental restorative materials. Several surface conditioning methods are used to increase the bonding capacity of non-silica-based dental materials. This overview will focus on silane bonding mechanism and the adhesion of resin composites to dental restorative material. Furthermore, the roles of the currently used and newly developed surface conditioning methods on chemical and micromechanical bonding are discussed.

Keywords: Silane, adhesion, resin.

GİRİŞ

Endüstri, tıp ve diş hekimliğinde birçok uygulamada, spesifik teknik amaçlar için yapısal farklılık gösteren organik ve inorganik materyaller arasında bağlantı sağlanması gerekmektedir. Bu materyallerin kimyasal bağlanmalarında farklılıklar olduğu için, ara yüzleri arasında zayıf bağlantılar gerçekleşmektedir. Bu problem kaplama ajanlarıyla çözülmeye çalışılmaktadır.

Diş hekimliğinde, rezin simanların bazı dental restoratif materyallere bağlantısını attırmak için silan kaplama ajanları kullanılmaktadır. Silanlar, porselen gibi silika bazlı materyaller ile bağlantı sağlamada çok etkilidir. Ancak zirkonyum, metal ve metal alaşımları gibi silika bazlı olmayan restoratif materyallerle güçlü bağlantı sağlayamaz. Zirkonyum, metal seramik restorasyonlarla karşılaştırıldığında estetik olması nedeniyle popüler hale gelmiştir. Zirkonyum ortodontik braket

-lerde, endodontik postlarda, abutmentlerde, tek kronlar ve köprülerde kullanılmaktadır.¹ Ancak yeterli bağlantı sağlanabilmesi klinik kullanım için önemli faktörlerden biridir. Bu bağlantı problemi çözebilmek için yüzey hazırlama işlemlerine odaklanılmıştır. Günümüzde genellikle kullanılan yöntem tribokimyasal silika kaplama yöntemidir. Silika bazlı olmayan materyallerin silika kaplanması ve silan kaplama ajanlarının uygulanması ile kuvvetli bir bağlantı oluşturulması sağlanmaktadır. Bu silika kaplama işlemi ayrıca mikromekanik retansiyonun artmasını sağlar.

Silanlar, genellikle seramik restorasyonların bağlantısında, seramik restorasyonların rezin kompozitlerle tamirinde, cam fiber ile güçlendirilen rezin kompozitlerde, cam doldurucu rezin simanlarda ve silika kaplanmış metal ile metal alaşımların rezin simanlarla dayanıklı bir bağlantı oluşturması amacıyla kullanılırlar. Ayrıca silanlar toksik değildirler.²

*İnönü Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi AD.



PRE-AKTİF SİLANLAR

Seramik primerleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır:³

1. Unhidrolize tek şişe likit silan primeri,
2. Prehidrolize tek şişe likit silan primeri,
3. 2 veya 3 şişe likit primer, silan kaplama ajanı ve asit aktivatörün ayrı bulunduğu.

Klinikte genellikle kullanılan silan primeri 3-metakriloksiprolitrimetoksisilan (MPS)'dir (Tablo 1).

Silanlar, su yada etanol içeren çözücüde prehidrolize olarak bulunurlar. Prehidrolize silan primeri, unhidrolize silan primerlerinden daha yüksek bağlantı gücüne sahiptir.³ Tek şişe prehidrolize silan içerikleri genellikle %1-5 oranındadır ve raf ömürleri kısadır. Zamanla bulanık bir görüntü oluşur. Günümüzde iki solüsyondan oluşan silan sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerde bir şişede etanol ile unhidrolize silan diğer şişede asetik asit solusyonu bulunur.⁴ Kullanmadan önce iki solüsyon düşük Ph'da, silan hidroliz olacak şekilde karıştırılır. Bu sistemler, tek şişe sistemlerle karşılaştırıldığında silanın raf ömrünün uzun olmasını sağlar. Örneğin; Silicoup A ve B (Heraeus Kulzer) (Tablo 1)⁵

SİLAN KAPLAMA AJANLARININ KİMYASAL YAPISI

1. Fonksiyonel Silanlar

Organofonksiyonel silanlar, çeşitli organik ve inorganik materyallerle reaksiyona giren ve bağlanan iki farklı reaktif fonksiyonel grup içerirler (Şekil 1). Bu yüzden onlara farklı materyaller arasındaki bağlantıyı arttıran adezyon düzenleyiciler de denmektedir. Hidroliz olabilen fonksiyonel gruplar inorganik substratların yüzey hidroksil gruplarıyla reaksiyona girer. Organik fonksiyonel grup, rezinin fonksiyonel grubuyla reaksiyona girer. Silanların organofonksiyonel grupları ile dental resin kompozitlerin farklı fonksiyonel grupları reaksiyona girebilir. Örneğin, epoksi resinler ile amino ya da epoksi silanlar, vinil ya da akrilat resinler ile vinil ya da metakrilat silanlar vs.⁵

2. Non-Fonksiyonel Silanlar

Non-fonksiyonel silanlar, sadece reaktif alkoks (-OR) fonksiyonel grupları içerir. Hidrolizinden sonra silanol grupları ile inorganik substratın yüzey hidroksil grupları reaksiyona girer. Bir bis-fonksiyonel silan, her biri hidroliz olabilen üç alkoks grup içeren iki silikon atomuna sahiptir. Bunlar çapraz bağlı ya da dipodal silan olarak da adlandırılırlar.

Fonksiyonel silanlar ile çapraz bağlı silanların kombinasyonu, bağlanmayı ve resin kompozit ile

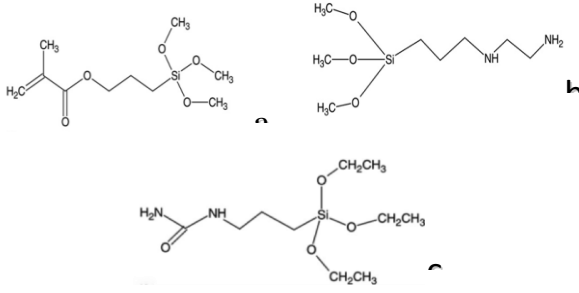
zirkonyum arasındaki siloksan tabakanın hidrolitik stabilitesini artırır.⁶ Çapraz bağlı silanın amacı silan molekülleri arasında oldukça geniş bağlantı kurarak üç boyutlu siloksan yapısı oluşturmak ve fonksiyonel silanlar arasında bağlantı kurmaktır. Böylece, rijit siloksan yapısı oluşur ve sonucunda çapraz bağlı yapıyı kırmak için daha fazla enerji gerekir. Ayrıca su moleküllerinin interfasyal tabakaya penetrasyonu, çapraz bağlı siloksan yapısı arttıkça zorlaşır.

Çapraz bağlı silanlar; bis-1,2-(trietoksisilil) etan (BTSE), bis-1,2-(trikloroksisilil) etan (BISET), bis-1,6-(trietoksisilil) heksan (BISHEX) ve bis-1,8-(trietoksisilil) oktan (BISOCT)'dir (Şekil 2).⁷⁻⁹

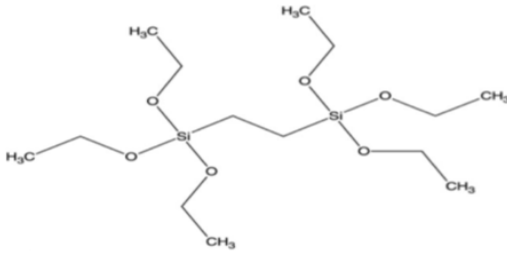
Tablo 1. Diş hekimliğinde kullanılan silan örnekleri

Ticari adı	Üretici firma	Silan oranı(%)	pH	Çözücü oranı(%)	Endikasyonu
Bisco Porselen Primeri	Bisco, Shaumburg II, USA	A silan >1	5.9	alkol>45 aseton>45	Porselen, kompozit
Bisco Bis Silan	Bisco, Shaumburg II, USA	A silan 1-10	4	alkol>30-95	Porselen, kompozit
Cimara Silan Kaplama Ajanı	VOCO, Cuxhaven, Germany	Silan N/A	5.5	Propanol 50-100	Seramik ve metallerin tamiri
Clearfil Seramik Primeri	Kuraray, Osaka, Japan	MPS, <5, MDP N/A	3	Etanol>80	Porselen, seramik, rezin bazlı materyaller
Clearfil Porselen Bond Aktivatör	Kuraray, Osaka, Japan	MPS 40-60	2.3	Hidrofbik aromatik dimetakrilat	Porselen
ESPE Sil	ESPE Dental, Seefeld, Germany	MPS, <3	4.5	Etanol, >97 Metil etil keton <2	Metal, seramik, kompozit
ESPE RelyX Ceramik Primer	3M ESPE, St. Paul, MN, USA	MPS, <2	4.6	Etanol, 70-80 Su, 20-30	Seramik, porselen, metal
Monobond-S	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	MPS, <2.5	4	Etanol, 50-100	Porselen, kompozit
Ultradent Silan	Ultradent Products, South Jordan, UT, USA	MPS, 5-15	5.3	Propanol, 92	Porselen, resin kaplama ajanı, kron, köprü
VITA Zahnfabrik	VITA SIL, Bad Säckingen, Germany	MPS, <2.5	N/A	Etanol, <52	Kron, köprü
Silicoup A ve B (iki şişe sistem)	Heraeus Kulzer, Hanau, Germany	N/A, MPS (Silicoup B)	N/A	Etanol, 25-50 Etilasetat, 25-50 Asetik asit, 5-10	N/A





Şekil 1: Fonksiyonel silanlar: a) 3- metakriloloksipropiltrimetoksisilan, b) N-[3-(trimetoksisilil)propil]etilendiamin, c) [3-(trietoksisilil)propil]üre.



Şekil 2: Bis-1,2-(trietoksisilil) etan (BTSE)

DENTAL MATERYALLERDE YÜZEY HAZIRLAMA METODLARI

Dental materyallerde yüzey hazırlama metodları, yüzey pürüzlülüğünü artırır dolayısıyla yüzey enerjisini artırır. Yüzey işlemleri mikroporlar oluşturarak silan ve rezin simanın infiltrasyonunu artırır.¹⁰ Yüzey enerjisinin artması bağlanma için ıslanabilirliği artırır.

1. Kumlama

Alüminyum oksit veya alümina ile kumlama işlemi yüksek dirençli seramik materyallerin yüzey işlemlerinde oldukça fazla tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde 30-250 µm boyutlarında alüminyum oksit partikülleri kullanılarak, mikromekanik kilitleme için gerekli olan yüzey pürüzlülüğü ve düzensiz yüzey yapı oluşturulur.¹¹ Kumlama esnasında bazı alümina partikülleri yüzeye gömülür. Substrat yüzeyinde alümina kaplı tabaka oluşur. Kumlama basıncı arttıkça, alümina gömülmesi artar. Silanizasyondan sonra =Al-O-Si≡ bağlantısı oluşur. Bu bağlantı hidrolitik olarak stabil değildir.

2. Pirokimyasal Silika Kaplama

Pirokimyasal, yüksek ısıyla meydana gelen kimyasal değişiklik demektir. Pirokimyasal ve termal olarak silika kaplama yapıldığında substrat yüzeyinde

dayanıklı ≡Si-O-Si≡ kovalent bağları oluşur.¹³ Termal silika kaplama sistemi önceden beri dental laboratuvarlarda kullanılmaktadır. Örneğin; Silicoater Classical, Silicoater MD ve Siloc (Heraeus-Kulzer, Wehrheim, Germany). Bu metodla silan kaplama; soy olmayan metal alaşımlara, soy metal alaşımlara ve dental porselenlere uygulanabilir.⁶

Silicoater® sistemi, kumlanan substratın alevden geçirildiği karoselden oluşur. Tetraetoksisilan [Si(OC₂H₅)₄] içeren silan solüsyonu aleve enjekte edilir ve bir seri pirokimyasal reaksiyon meydana gelir. Reaksiyon için sıcaklık 150-200°C'dir. Son derece reaktif silan ara ürünü, Si(OH)_m-C- (m=1,2,3) substrat yüzeyine ulaştığı zaman, substrat yüzeyine gömülür.⁶ Oda sıcaklığında soğutulduktan sonra, silika tabakasının üzerine silan kaplama ajanı uygulanır ve reaksiyon için 5 dk. beklenir. Sonra yüzeye opak uygulanır ve ışınlanır. Son olarak rezin veneer tamamlanır.¹²

3. Tribokimyasal Silika Kaplama

Tribokimyasal yöntem mekanik enerji kullanılarak kimyasal bağ oluşturmak anlamına gelir. Bu yöntemle laboratuvar (Rocatec, 3M/ESPE, Almanya) veya klinikte (Cojet, 3M/ESPE, Almanya) simantasyon öncesinde restorasyon iç yüzü pürüzlendirilir. Restorasyonun iç yüzü, Cojet sisteminde ortalama partikül büyüklüğü 30 µm olan silika ile modifiye Al₂O₃ partikülleri, Rocatec sisteminde ise öncelikle 110 µm Al₂O₃ partikülleriyle daha sonra 30 µm silika kaplı Al₂O₃ partikülleriyle 280 kPa (2,8 bar) basınçla ve 10 mm uzaklıktan, 15sn. boyunca pürüzlendirme yapılır. Partiküllerin çarpmasıyla oluşan yüksek ısı enerjisi yüzeyde 15 µm derinliğine kadar çukurlar oluşturur. Pürüzlendirme sonrasındaki diğer aşama silanizasyondur. Amaç rezin ile bağlanacak yeterli serbest hidroksil grubu içeren ince bir silika tabakası oluşturmaktır.¹³⁻¹⁵

4. Seramik Materyallere Kimyasal Muamele

Ortamın ısı ve nem, birçok seramik ve metal yüzeyindeki oksit tabakasını hidroksil gruplarına dönüştürür. Böylece asit ya da baz uygulamasından sonra hidroksil gruplarının densitesi artar. Silika kaplı substrat yüzeyi ile silan molekülleri arasındaki bağlantı artar. Bu da rezin siman ile silikatize ve silanize substrat arasındaki adezyonu güçlendirir.¹⁶

Hidroflorik asit (HF) veya amonyum biflorid ile asitleme yapılması uygun pürüzlü yüzeyin oluşmasını sağlar. % 2.5-10 oranında HF asit ile 2-3 dk. muamele başarılı sonuçlar göstermektedir.¹³

Diğer yandan dayanıklı rezin-seramik bağlantısı

HF dağlama yapılmadan silanizasyonla gerçekleştirilebilir.¹⁷ HF'nin zararlı ve oldukça koroziv olması önemli bir konudur. HF ile dağlama yapılmaması durumunda, artanın imha edilmesi gerekmeyecek ve herhangi bir kaza oluşumu engellenmiş olacaktır.

5. Selektif İnfiltrasyonla Dađlama(SIE)

Zirkonyum alt yapı öncelikle özel ısı protokolüne maruz bırakılır. 750°C 'de iki dakika, 650°C 'de bir dakika ve tekrar 750°C 'de bir dakika bekletilir ve oda sıcaklığına soğutulur. Bu yöntemle gren sınırlarında stres oluşturulur ve diğer materyallerin bu alanlara infiltrasyonu kolaylaştırılır. Selektif infiltrasyonla dağlama ile de yüzey inorganik oksitler içeren düşük erime noktasındaki infiltrasyon cam tozuyla kaplanır. Yüzeyde ka lan artık infiltrasyon ajanının uzaklaştırılması için HF solüsyonunda ultrasonik temizleme yapılır.^{18, 19}

SIE yöntemi zirkonyum yüzeyindeki bağlanma için mevcut olan yüzey alanını arttırarak nano-mekanik retansiyonu sağlar.¹ Casucci ve ark.²⁰ AFM çalışmalarıyla da bu sonucu doğrulamışlardır. Zirkonyum yüzeyine SIE uygulamasının air abrazyon ve HF ile asitleme yapılmasından daha fazla pürüzlendirdiği görülmektedir.

6. Diğer Yüzey Hazırlama Metodları

Son zamanlarda yeni yüzey hazırlama metodları geliştirilmiştir:

- 1.Zirkonyum ve porselen yüzeyine lazer uygulama²¹
- 2.Zirkonyum seramiklere nano yapılı alumina kaplama²²
- 3.İnternal kaplama tekniđi²³
- 4.Klorsilan²⁴ ve sülfürhekzaflorid²⁵ ile kimyasal buhar kaplama

Lazer uygulamasında yüzeyler Nd:YAG lazer ve ER:YAG lazer ile kullanılır. Sonra silan kaplama ajanı uygulanır ve rezin siman bağlantısı gerçekleştirilir.

Zirkonyum seramiklerin nano yapılı alüminyum kaplamasında ise alüminyum nitrit hidrolizi sonucu zirkonyum yüzeyinde boehmit (γ -AlOOH) oluşur.²² Bir seri sıcak uygulaması sonucu boehmit bir seri faz değişikliğine uğrayarak α - dönüşür. Zirkonyum yüzeyi kesintili nano-yapılı alüminia ile kaplanmış olur. Alüminia kaplama, air-abrazyon uygulama ile karşılaştırıldığında daha fazla bağlanma gücüne sahiptir. Bu yüksek bağlanma mikromekanik bağlanma ile açıklanmaktadır.

İnternal kaplama tekniğinde ise²³, zirkonyum numunelere alüminia partikülleri ile air abrazyon yapılır ve silika bazlı veneer materyali uygulanır. Sonra nu-

muneler vakum altında 900°C'de ısıtılır.

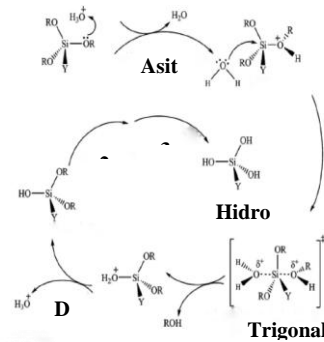
Kimyasal buhar kaplama metodunda ise; zirkonyum numuneler vakum kabininde sıkıca tutturulur ve tetraklorosilan ile su karışımından oluşan buhara maruz bırakılır. Silika kaplı tabakanın kalınlığı birikme zamanına göre kontrol edilir.²⁴ Bu metod ile elde edilen bağlantı diğer yüzey uygulamalarına göre daha etkilidir, ancak toksik ve tehlikeli bir prosedür gerektirmektedir. Ayrıca bağlantı dayanımları suda bekletilerek yaşlandırma ve termalsiklus yapılarak değerlendirilmelidir.

SİLANİZASYON

Silanlar organik ve inorganik materyaller arasında köprü görevi görürler. Fonksiyonel silan kaplama ajanının genel formülü $Y-(CH_2)_m-Si-(OR)_3$ 'dir. Y organik matriks ile reaksiyona giren organofonksiyonel gruptur. $-(CH_2)_m-$ bağlayıcı grup ve OR ise alkoksi gruptur. Fonksiyonel silan kaplama ajanları bağlantıdan önce hidrolizle ($\equiv SiOR \rightarrow \equiv SiOH$) aktive olur.

Birinci hidroliz basamağı silanın silanole dönüşmesidir, hızlı ve geri dönüşü olan tepkime yaklaşık pH 4' de gerçekleşir. Silikonda bimoleküler nükleofilik yer değiştirme (SN_2) reaksiyonu gerçekleşir.²⁶ Merkezi silikon atomu 5-trigonal bipirimidil durumuna geçer. Daha sonra nükleofil ile silikon atomu arasında yeni bir bağ oluşur. Silikon atomu ve alkol grubu ayrılır. Böylece konfigürasyon ters çevrilmiş olur (Şekil 3).²⁷

Asidik şartlar altında oluşan hidroliz ürünleri, küçük boyutlu dimer molekülleri, düşük molekül ağırlıklı oligomerlerdir.²⁸ Silanın hidroliz oranı silanın yapısındaki alkoksi gruplarının sterik ve indüktif etkilerine bağlıdır, ancak sterik etki daha dominanttır.²⁶



Şekil 3. Silanın asidik ortamda hidroliz mekanizması

Propoksi grubun sterik etkisi metoksi gruptan daha fazladır. Bu da merkezi silikon atomuna nükleofil

atağında sterik itmeyi artırır. Böylece dönüşüm için gerekli aktivasyon enerjisi artar ve hidroliz oranı azalır. Bu durum, ticari dental üreticilerinin neden metoksi, etoksi gibi küçük boyutlu alkoksi gruplarını tercih ettiğini açıklayabilir. Hidrolizden sonra, sıcaklık, çözücü solüsyon ve pH'a bağlı olarak silanol molekülleri arasında self-kondansasyon ile- (O- Si- O)*n*- siloksan oligomerleri oluşur.

Silan solüsyonu ön işlem yapılmış substrat yüzeyine uygulandığında, serbest silanol grupları ile inorganik substrat yüzeyindeki hidroksil grupları arasında hidrojen bağı oluşur. Sonra, silanol ile HO- (substrat)- arasında -Si-O-(substrat)- bağlantısı oluşur.

DİŞ HEKİMLİĞİNDE SİLANIN KULLANIM ALANLARI

1. Seramik Restorasyonlar ve Tamirleri

Yttrium parsiyel stabilize tetragonal zirkonyum polikristali (YTZP), feldspatik, cam infiltre alumina ve lösitle güçlendirilmiş seramikler gibi çeşitli materyaller estetik özellikleri nedeniyle dental restorasyonlarda kullanılmaktadırlar. Seramik tiplerine göre simantasyon öncesi yüzey hazırlama prosedürleri Tablo 2'deki gibidir.²⁹

Tablo 2. Seramik tiplerine göre simantasyon öncesi yüzey hazırlama prosedürleri

SERAMİK	DOLDURUCU ÇERİĞİ	YÜZEY HAZIRLAMA
Cam ağırlıklı	Alüminyum oksit	%10 Hidroflorik (HF) asit 1 dk. uygulaması, yıkama ve kurutma; 1 dk. silan uygulaması, yıkama ve kurutma
Cam ile güçlendirilmiş	Lösit	%5 HF asit 1 dk. uygulaması, yıkama ve kurutma; 1 dk. silan uygulaması, yıkama ve kurutma
	Lityum disilikat	%5 HF asit 20 sn. uygulaması, yıkama ve kurutma; 1 dk. silan uygulaması, yıkama ve kurutma
	Cam infiltre alumina	Tribokimyasal silika kaplama veya alüminyum oksit ile pürüzlendirme, MDP içerikli adezyon sağlayıcı ajan uygulaması ve kurutma
Polikristalin	Alüminyum oksit	Alüminyum oksit ile pürüzlendirme yapıp, MDP içerikli adezyon sağlayıcı ajan uygulaması ve kurutma
	Zirkonyum oksit	50 µm boyutunda alüminyum oksit tozu ile pürüzlendirme yapıp, MDP içerikli adezyon sağlayıcı ajan uygulaması ve kurutma

MDP: 10-metakriloksidedik dihidrojenfosfat

Restoratif diş hekimliğinde dental seramiklerin kırılması önemli problemlerdendir. Materyaldeki mikro-defektler, kusurlu dizayn, çiğneme, parafonksiyonel ve

tekrarlayan dinamik intraoral okluzal kuvvetler gibi nedenlerle dental seramiklerde kırılmalar oluşur.³⁰ Tam seramik kron ve köprülerin yeniden yapılmasına kıyasla tamir edilmeleri daha ekonomiktir ve zaman kaybını engeller. Seramik restorasyonların tamirinde seramik yüzeyine 3 yüzey işlemi yapılır:

- Elmas frezle pürüzlendirme,
- Kumlama,
- Hidroflorik asitle asitleme

Rezin kompozitler, silan kaplama ajanlarının organofonksiyonel grupları ile reaksiyona giren karbon çift bağları gibi reaktif fonksiyonel gruplar içerirler. Resin kompozitlerin içindeki başlatıcı bileşenler yüksek enerji ve reaktif serbest radikaller içinde dağılırlar. Bu bileşenler 400-500 nm mavi görünür ışık uygulamasıyla, resin monomeri içindeki >C=C< bağları ile reaksiyona girer ya da silan molekülünde yeni serbest radikal yüzeyleri oluşur. Ek olarak resin kompozit monomerleri ile silan molekülleri arasındaki bu serbest radikaller -C-C- sigma bağlarını oluşturur. Bu da resin kompozit ile substrat yüzeyinde bağlantı oluşumunu sağlar.

2. Cam Fiberle Güçlendirilmiş Kompozitler

Cam fiberlerin; hareketli protezler, periodontal splintler, sabit protezler ve retansiyon splintleri gibi çeşitli uygulama alanları vardır.³¹ Silanize cam fiberler protezlerin akrilik resin kısmına gömülürler. Fiberle güçlendirilmiş kompozit akrilik resinlerin çekme ve basma kuvvetlerine karşı dayanıklılığı fiberle güçlendirilmeyen kompozit akrilik resinlerden fazladır.³²⁻³⁴ Ayrıca cam fiberlerin, resin kompozite ilave edilmeden önce silan kaplama ajanlarıyla silanize edilmeleri adezyonu artırır.³⁵⁻³⁷

İstatistiksel analizlere göre farklı silan uygulamaları adezyonda önemli farklılıklara neden olabilmektedir.³⁶ Hidroksiapatit (HA) ile güçlendirilmiş polimetilmetakrilat (PMMA)'ın yapısına 3-(trimetoksisilil) propilmetakrilat ilave edilmesi kimyasal bağlanma dayanımını artırarak mekanik özelliklerini geliştirmiştir. Ayrıca HA ile PMMA arasındaki mekanik bağlantının artması sağlanmıştır.³⁸

3. Resin Kompozitlerde Doldurucu Materyali Olarak

Modern dental kompozitlerin organik matrislerinde; monomer, serbest radikal başlatıcı, doldurucu materyaller (silika, lityum alüminyum silikat, hidraksiapatit, boron silikat gibi) ve organik matris ile dol-



durucular arasındaki bağlantıyı arttıran silika kaplama ajanları içerirler.³⁹ Resinin mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için doldurucular eklenir. Doldurucular polimerizasyon sırasında ve sonrasında oluşan büzülme azaltır ve estetik görüntü ile radyoopasiteyi artırır.⁴⁰

4. Titanyum, Soy ve Soy Olmayan Metal Alaşımlar

Birçok çalışma, silan kaplama ajanlarının rezin kompozitler ile titanyum, soy ve soy olmayan metal alaşımlar ve çelik arasındaki bağlantıyı arttırdığını göstermektedir.⁴¹⁻⁴⁴ Yanagida ve ark.⁴² silan kaplama ajanlarının materyale yüzey işlemi yapılmadan ve silika kaplı yüzey oluşturulmadan bağlanmaya etkilerinin olmadığını belirtmişlerdir. Alternatif olarak silan kaplama ajanlarının etkisini arttırmak için primer kullanılabilir.⁴⁵ Metal ya da alaşım primerleri, soy olmayan metal alaşımları için fosfat, soy metal alaşımlar için tion ve tioldür.⁴⁶

5. Dentine Bağlanma

Dentin ve dental restoratif materyaller arasındaki bağlanma gücüne silan kaplama ajanlarının etkisini gösteren çok az çalışma mevcuttur. Graiff ve ark.⁴⁷ çalışmalarında, seramik yüzeyleri 110 µm boyutlarındaki alüminyum oksit partikülleri kullanarak pürüzlendirip, hidroflorik asit ile asitlemişlerdir. Daha sonra, bazı örnekler dual-polimerize yapıştırma simanı ile simante edilmiş, bazı numuneler ise silan kaplama ajanı uygulanıp dual-polimerize yapıştırma simanı ile simante edilmiştir. Silan kaplama ajanı uygulananlarda bağlanma gücünün arttığı görülmüştür.

KAPLAMA AJANLARININ GELECEĞİ

Günümüzde adezyon için silan kaplama ajanlarından başka kaplama ajanları da kullanılmaktadır, örneğin fosfat ester (MDP). Ayrıca self adeziv simanlar, adeziv primerler (tion ve tiol) ve karboksilik asit primerleri (4-META VE MAC-10) kullanılır.⁴⁸ Fosfat ester silika bazlı olmayan seramiklerin yüzey hidroksil gruplarına direk bağlanırlar.⁴⁹ Tion ve tiol primerlerinin ise farklı restoratif materyallere farklı bağlanma mekanizmaları vardır. Bu ajanlardaki sülfür atomları ile soy metaller/soy metal alaşımları arasında koordinatif bağlanma yönelimi olur.⁵⁰

Silan kaplama ajanları yaklaşık 50 yıldır diş hekimliğinde kullanılmaktadır. Resin kompozitler ile silika kaplı restoratif materyallere silan uygulamasında karşımıza çıkan en önemli problem in-vivo ve in-vitro şartlarda zamana bağlı bağlantı gücünün azalması-

dır.^{51,52} Bu problemi çözmek için iki yaklaşım mevcuttur.

- a) Restoratif materyallere yeni yüzey uygulama yaklaşımlarının geliştirilmesi,
- b) Yeni silan monomerlerinin keşfedilmesi ya da iki yaklaşımın kombinasyonu.

SONUÇ

Aslında diş hekimliğindeki bütün uygulamalar benzer olmayan iki materyalin birleştirilmesine dayanmaktadır. Silan kaplama ajanları dayanıklı bağlantı oluşturmak ve klinik gereksinimleri gidermek için kritik rol oynamaktadır. Günümüzde yüzey hazırlama ile silan uygulama standart laboratuvar protokolü haline gelmiştir. Fakat siloksan bağlantıdaki hidrolitik stabilite konusunda endişeler devam etmektedir. Silanlar biyomateryal biliminde önemli gelişmeler sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R. Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: where are we now? Dent Mater 2011;27:71-82.
2. Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. Dent Mater 2012;28:467-77.
3. Eliades G, Watts DC, Eliades T. Dental Hard Tissues and Bonding: Interfacial Phenomena and Related Properties. Germany: 2005. p. 163-4.
4. Alex G. Preparing porcelain surfaces for optimal bonding. Compend Contin Educ Dent 2008;29:324-35.
5. Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. Int J Prosthodont 2004;17:155-64.
6. Matinlinna JP, Vallittu PK. Bonding of resin composites to etchable ceramic surfaces an insight review of the chemical aspects on surface conditioning. J Oral Rehabil 2007;34:622-30.
7. Matinlinna JP, Lassila LV, Vallittu PK. The effect of three silane coupling agents and their blends with a cross-linker silane on bonding a bis-GMA resin to silicized titanium (a novel silane system). J Dent 2006;34:740-6.
8. Kurata S, Yamazaki N. Effect of silane coupling agents with a bisfunctional hydrolyzable group.



- Dent Mater J 1993;12:127-35.
9. Matinlinna JP, Vallittu PK, Lassila LV. Effects of Different Silane Coupling Agent Monomers on Flexural Strength of an Experimental Filled Resin Composite. *J Adhes Sci and Technol* 2011;25:179-92.
 10. Mittal KL. Silanes and other coupling agents. Vol 4. Netherlands: 2007: 199-219.
 11. Asar NV, Çakırbay M. Zirkonya rezin siman bağlantısını güçlendirmede kullanılan yüzey işlemleri. *Acta Odontol Turc* 2013;30:162-8.
 12. Kolodney H, Puckett AD, Brown K. Shear strength of laboratory-processed composite resins bonded to a silane-coated nickel-chromium-beryllium alloy. *J Prosthet Dent* 1992;67:419-22.
 13. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003;89:268-74.
 14. Raigrodski AJ. Contemporary all-ceramic fixed partial dentures: a review. *Dent Clin North Am* 2004;48: 531-44.
 15. Manso AP, Silva NR, Bonfante EA, Pegoraro TA, Dias RA, Carvalho RM. Cements and adhesives for all-ceramic restorations. *Dent Clin North Am* 2011;55:311-32.
 16. Lung CYK, Matinlinna JP. Resin Bonding to Silicized Zirconia with Two Isocyanatosilanes and a Cross-linking Silane. Part II: Mechanistic Approach. *Silicon* 2010;2:163-9.
 17. Hooshmand T, Van Noort R, Keshvad A. Bond durability of the resin-bonded and silane treated ceramic surface. *Dent Mater* 2002;18:179-88.
 18. Aboushelib MN, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Selective infiltration-etching technique for a strong and durable bond of resin cements to zirconia-based materials. *J Prosthet Dent* 2007;98:379-88.
 19. Aksoy İ, Varol S, Özkan Y. Zirkonyum Restorasyonların Simantasyonu. *Atatürk Üniv. Diş Hek. Fak. Derg.* 2012;6:124-31.
 20. Casucci A, Osorio E, Osorio R, Monticelli F, Toledano M, Mazzitelli C, Ferrari M. Influence of different surface treatments on surface zirconia frameworks. *J Dent* 2009;37:891-7.
 21. Spohr AM, Borges GA, Junior LH, Mota EG, Oshima HM. Surface modification of In-Ceram Zirconia ceramic by Nd:YAG laser, Rocotec system, or aluminum oxide sandblasting and its bond strength to a resin cement. *Photomed Laser Surg* 2008;26:203-8.
 22. Jevnikar P, Krnel K, Kocjan A, Funduk N, Kosmac T. The effect of nano-structured alumina coating on resin-bond strength to zirconia ceramics. *Dent Mater* 2010;26:688-96.
 23. Kitayama S, Nikaido T, Ikeda M, Alireza S, Miura H, Tagami J. Internal coating of zirconia restoration with silica-based ceramic improves bonding of resin cement to dental zirconia ceramic. *Biomed Mater Eng* 2010;20:77-87.
 24. Piascik JR, Swift EJ, Thompson JY, Grego S, Stoner BR. Surface modification for enhanced silanation of zirconia ceramics. *Dent Mater* 2009;25:1116-21.
 25. Piascik JR, Wolter SD, Stoner BR. Development of a novel surface modification for improved bonding to zirconia. *Dent Mater* 2011;27:e99-105.
 26. Chambers RC, Jones WE, Haruvy Y, Webber SE, Fox MA. Influence of Steric Effects on the Kinetics of Ethyltrimethoxysilane Hydrolysis in a Fast Sol-Gel System. *Chem Mater* 1993;5:1481-6.
 27. Bento AP, Bickelhaupt FM. Nucleophilic substitution at silicon via a central reaction barrier. *J Org Chem* 2007;72:2201-7.
 28. Salon MCB, Bayle PA, Abdelmouleh M, Boufi S, Belgacem MN. Kinetics of hydrolysis and self condensation reactions of silanes by NMR spectroscopy. *Colloids Surf A* 2008;312:83-91.
 29. Vargas MA, Bergeron C, Diaz-Arnold A. Cementing all-ceramic restorations: recommendations for success. *J Am Dent Assoc* 2011;142 Suppl 2:20S-4S.
 30. Ozcan M. Fracture reasons in ceramic-fused-to-metal restorations. *J Oral Rehabil* 2003;30:265-9.
 31. Kargul B, Caglar E, Kabalay U. Glass fiber-reinforced composite resin as fixed space maintainers in children: 12-month clinical follow-up. *J Dent Child (Chic)* 2005;72:109-12.
 32. Vallittu PK, Vojtkova H, Lassila VP. Impact strength of denture polymethyl methacrylate reinforced with continuous glass fibers or metal wire. *Acta Odontol Scand* 1995;53:392-6.
 33. Tsue F, Takahashi Y, Shimizu H. Reinforcing effect of glass-fiber-reinforced composite on flexural strength at the proportional limit of denture base resin. *Acta Odontol Scand* 2007;65:141-8.
 34. Kim SH, Watts DC. The effect of reinforcement with woven E-glass fibers on the impact strength of complete dentures fabricated with high-impact acrylic resin. *J Prosthet Dent* 2004;91:274-80.



35. McDonough WG, Antonucci JM, Dunkers JP. Interfacial shear strengths of dental resin-glass fibers by the microbond test. *Dent Mater* 2001;17:492-8.
36. Debnath S, Wunder SL, McCool JI, Baran GR. Silane treatment effects on glass/resin interfacial shear strengths. *Dent Mater* 2003;19:441-8.
37. Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Balleri B, Bertilli E, Ferrari M. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. *Dent Mater* 2005;21:437-44.
38. Tham WL, Chow WS, Ishak ZAM. The Effect of 3-(Trimethoxysilyl) Propyl Methacrylate on the Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of Poly(methyl methacrylate)/Hydroxyapatite Composites. *J Appl Polym Sci* 2010;118:218-28.
39. Ferracane JL. Resin composite-state of the art. *Dent Mater* 2011;27:29-38.
40. Hervas-Garcia A, Martinez-Lozano MA, Cabanes-Vila J, Barjau-Escribano A, Fos-Galve P. Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2006;11:215-20.
41. Almeida-Junior AA FR, Haneda IG, Abi-Rached FO, Adabo GL. Effect of surface treatment on the bond strength of a resin cement to commercially pure titanium. *Braz Dent J* 2010;21:111-6.
42. Yanagida H, Tanoue N, Ide T, Matsumura H. Evaluation of two dual-functional primers and a tribochemical surface modification system applied to the bonding of an indirect composite resin to metals. *Odontology* 2009;97:103-8.
43. Nergiz I, Schmage P, Herrmann W, Ozcan M. Effect of alloy type and surface conditioning on roughness and bond strength of metal brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:42-50.
44. Kern M, Thompson VP. Durability of resin bonds to a cobalt-chromium alloy. *J Dent* 1995;23:47-54.
45. Di Francescantonio M, de Oliveira MT, Garcia RN, Romanini JC, da Silva NR, Giannini M. Bond strength of resin cements to Co-Cr and Ni-Cr metal alloys using adhesive primers. *J Prosthodont* 2010;19:125-9.
46. Shimoe S, Tanoue N, Yanagida H, Atsuta M, Koizumi H, Matsumura H. Comparative strength of metal-ceramic and metal-composite bonds after extended thermocycling. *J Oral Rehabil* 2004;31:689-94.
47. Graiff L PC, Vigolo P, Mason PN. Shear bond strength between feldspathic CAD/CAM ceramic and human dentine for two adhesive cements. *J Prosthodont* 2008;17: 294-9.
48. May LG, Passos SP, Capelli DB, Ozcan M, Bottino MA, Valandro LF. Effect of silica coating combined to a MDP-based primer on the resin bond to Y-TZP ceramic. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2010;95:69-74.
49. Tanaka R, Fujishima A, Shibata Y, Manabe A, Miyazaki T. Cooperation of phosphate monomer and silica modification on zirconia. *J Dent Res* 2008;87:666-70.
50. Nath S, Ghosh SK, Kundu S, Praharaj S, Panigrahi S, Pal T. Is gold really softer than silver? HSAB principle revisited. *J Nanopart Res* 2006;8:111-6.
51. Luthy H, Loeffel O, Hammerle CH. Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater* 2006;22:195-200.
52. Senyilmaz DP, Palin WM, Shortall AC, Burke FJ. The effect of surface preparation and luting agent on bond strength to a zirconium-based ceramic. *Oper Dent* 2007;32:623-30.

Yazışma Adresi

Uzm. Dt. Güler YILDIRIM
İnönü Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, 44280
Malatya, Türkiye
Fax: +90 422 341 11 07
Telefon: +90 422 341 11 20
GSM: 0530 248 60 57
E-mail: guler_yldrm@hotmail.com

