

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI**

**TAM SERAMİK RESTORASYONLARIN SİMENTASYONUNDA
GERÇEKLEŞTİRİLEN FARKLI SİLAN UYGULAMALARININ
BAĞLANTI DAYANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Dt. Çağrı TURNA

DOKTORA TEZİ

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Süha TÜRKASLAN**

Tez No: 94

2013- ISPARTA

KABUL VE ONAY SAYFASI

Sağlık Bilimleri Enstitü Müdürlüğüne;

Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi **Anabilim Dalı** Çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi : 28/ 11/ 2013

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Süha Türkaslan , Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi

Üye : Prof. Dr. Üstün Güldağ, Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi

Üye : Doç. Dr. Mustafa Zortuk, Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi

Üye : Prof. Dr. Ayşegül Öksüz, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Fiziko Kimya Ana Bilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Erdal Eroğlu, Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi

ONAY : Bu doktora tezi, Enstitü Yönetim Kurulu'nca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Nejdet Adanır
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Protetik diş hekimliğinin özellikle son 20 yıl içinde kullanılan restoratif materyaller yönünden çok büyük gelişme gösterdiği gözlenmektedir. Restoratif maddelerin yeni üretim teknolojileriyle daha dayanıklı duruma gelmesinin yanısıra protetik diş hekimliği uygulamalarına belli oranda girmiş ve bu oranın yakın gelecekte daha da artması beklenen bilgisayar destekli tasarlama ve üretim teknoloji sayesinde insan hatası olmaksızın üretilmiş maddeler yine insan hatası olmaksızın restorasyonlara dönüşebilmektedir. Bu durumda diş hekimine yardımcı laboratuvar teknisyenlerinin üretim makinelerini kullanmak gibi bazı küçük işlemleri haricinde restorasyonların başarısı neredeyse tamamen diş hekiminin uygulama yeteneklerine bağlı duruma gelmiş ve diş hekiminin sorumluluğu artmıştır. Restorasyonların simantasyonu diş hekimliğinin doğrudan kendisinin gerçekleştirdiği bir uygulamadır. Simantasyon yeni nesil restoratif madde ve üretim yöntemlerinde kusursuz tedavinin son aşamasını oluşturmaktadır. Bu nedenle bu maddelerde simantasyonun bazı yönlerinin incelenmesinin önemli olduğunu düşünmekteyim. Bu tez çalışmamızda simantasyon silan bağlayıcılar temelinde incelenmiştir.

Doktora eğitimim boyunca bana her zaman destek veren ve yardımcı olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Süha Türkaslan'a,

Anabilim Dalı Başkanımız Sayın Prof. Dr. Üstün Güldağ'a ve Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşegül Öksüz'e,

Deney örneklerimin hazırlanmasında Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Alpagut Kara'ya,

Deney örneklerinin hazırlanmasında Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü Teknikeri Sayın Seyfi Yamak'a, Eskişehir Güler Çok Amaçlı Diş Protez Laboratuvar'ı yetkilisi Sayın Saim Güler'e ve test örneklerinin tasarımı konusunda Selçuk Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı Teknikeri Sayın Ziya Solak'a,

Tüm öğrenim hayatım boyunca bana destek ve yardımcı olan aileme özellikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Diş Hekimliğinde Seramikler.....	4
2.1.1. Diş Hekimliği Seramiklerinin Sınıflandırılması	4
2.1.2. Diş Hekimliği Seramiklerinin Mikroyapı Temelinde Sınıflandırılması	5
2.1.3. Üretim Yöntemlerine Göre Diş Hekimliği Seramiklerinin Sınıflandırılması.....	12
2.2. Lityum Disilikat Cam Seramikler	15
2.2.1. IPS Empress 2	15
2.2.2. Yeni Nesil Lityum Disilikat Cam Seramiklerin Yapısı/Özellikleri, IPS e.max CAD, IPS e.max Press.....	17
2.2.2.1. Üretici Tarafından Üretimi.....	17
2.2.2.2. IPS e.max Restorasyonların Üretim Yöntemleri.....	18
2.2.2.3. Monolitik Restorasyon Anlayışı	19
2.2.2.4. Optik Özellikler.....	21
2.2.2.5. Mekanik Özellikler	22
2.2.2.6. IPS e.max Press ve IPS e.max CAD Seramiklerin Klinikte Kullanımı	23
2.2.2.7. IPS e.max CAD ve IPS e.max Press Restorasyonların Simantasyonu	24
2.3. Simantasyon	25
2.3.1. Silan Bağlayıcı Ajanlar	28
2.3.1.1. Diş Hekimliğinde Silanlar.....	30
2.3.1.2. Diş Hekimliğinde Adezyon Kavramı ve Silanlar.....	31
2.3.1.3. Silanlarla Sağlanan Bağın Devamlılığı.....	33
2.3.1.4. Diş Hekimliğinde Kullanılan Silanların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	34

2.3.1.5. Çok Amaçlı Primerler ve Fonksiyonel Monomerler.....	38
2.3.1.6. Silanların Tepkimeleri.....	41
2.3.1.7. Siloksan Film Tabakası.....	49
2.3.1.8. Silanlara Isı Uygulaması.....	50
2.3.1.9. Tek Şişe-Çok Şişeli Silan Sistemleri.....	53
2.3.1.9.1. Tek Şişeli Silan Sistemleri.....	53
2.3.1.9.2. Çok Şişeli Silan Sistemleri.....	55
2.3.2. Seramik-Rezin Arasında Bağlantı.....	56
2.3.2.1. HF Asit Uygulaması.....	57
2.3.2.2. Seramik Yüzeye Uygulanan HF Asit Dışındaki Asitler.....	61
2.3.2.3. Seramik Yüzeyin Yüksek Hızda Parçacık Püskürtülerek Aşındırılması.....	61
2.3.2.4. Fiziksel ve Kimyasal Temelli Yüzey İşlemleri Arasındaki İlişki.....	63
2.3.3. Rezin Simanlar ile Silanlar Arasındaki Kimyasal Etkileşim ve İlişki.....	65
2.3.3.1. 4-META İçeren Simanlar ile Silanlar Arasındaki Etkileşimi.....	68
2.3.4. Silanların Klinikte Kullanımları.....	69
2.3.4.1. Silanların Depolanması.....	69
2.3.4.2. Silanların Uygulanması.....	70
2.3.4.3. Silanların Ardından Bağlayıcı Ajan Uygulaması.....	71
2.3.5. Yeni Geliştirilmekte olan, Farklı Uygulamalarda Kullanılacak Özel Silanlar.....	74
2.4. Diş Hekimliğinde In-Vitro Testler.....	78
2.4.1. Makromakaslama Testi.....	81
2.4.2. Kırılma Modu/Başarısızlık Türü.....	83
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	84
3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller ve Cihazlar.....	84
3.2. Deney Örneklerin Elde Edilmesi.....	85
3.2.1. Tam Seramik Örneklerin Seçimi.....	85
3.2.2. Tam Seramik Örneklerin Hazırlanması.....	85
3.2.3. Tam Seramik Örneklerin Fırınlanması.....	87
3.2.4. Tam Seramik Plakaların Akrilik Rezin İçine Yerleştirilerek Test Örneklerin Hazırlanması.....	89
3.3. Çalışma Gruplarının Oluşturulması.....	92
3.4. Seramik Yüzeyinde Gerçekleştirilen İşlemler.....	94
3.4.1. Asit Uygulaması.....	94

3.4.1.1. HF Asit Uygulaması.....	94
3.4.1.2. Fosforik Asit Uygulaması	95
3.4.2. Silan Uygulaması.....	95
3.4.2.1. Silanların Kurutulması ve İnceltilmesi	98
3.4.3. Rezin Simanın Seramik Yüzeyine Uygulanması	101
3.4.4. Makaslama Bağlantı Kuvveti Testinin Gerçekleştirilmesi	105
3.4.5. Yüzey Başarısızlık Tiplerinin Belirlenmesi.....	106
3.5. İstatistiksel Değerlendirme.....	107
4. BULGULAR.....	108
4.1. Makaslama Bağ Dayanımı Test Bulguları	108
5. TARTIŞMA	117
6. SONUÇLAR	139
7. ÖNERİLER	140
ÖZET.....	141
ABSTRACT.....	142
KAYNAKLAR	143
ÖZGEÇMİŞ.....	154

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

HF asit	: Hidrofluorik Asit
FA asit	: Fosforik asit
MB	: Monobond Plus
GC	: GC Ceramic Primer
CC	: Clearfil Ceramic Primer
BS	: Bis Silane
OH	: Oda sıcaklığında hava ile kurutma
SH	: Sıcak hava ile kurutma
SHSS	: Sıcak hava ile kurutma + sıcak su ile yıkama
MPS	: 3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane
sn	: Saniye
dk	: Dakika
MDP	: 10-methacryloxydecylidihydrogen-phosphate

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1. Isı ve basınç ile şekillendirme yöntemi ile üretim yapan sistemler	14
Tablo 2. IPS e.max Press'in fiziksel ve kimyasal özellikleri	23
Tablo 3. IPS e.max CAD'in fiziksel ve kimyasal özellikleri	23
Tablo 4. Kullanılan maddeler	84
Tablo 5. Kullanılan cihazlar	85
Tablo 6. Çalışma grupları ve kodları	93
Tablo 7. Çalışma grupları	94
Tablo 8. Silanlar, içerikleri ve kullanım önerileri	95
Tablo 9. Silanların kurutulması ve inceltilmesi	99
Tablo 10. Bağ dayanım değerleri ortalamaları ve standart sapmaları	108
Tablo 11. Değişkenler arası etkileşim testleri	108
Tablo 12. Silan kurutma yöntemlerinin tek yönlü varyans analizi ile karşılaştırılması	109
Tablo 13. Fosforik asit uygulamasında değişkenler arasındaki karşılaştırma	110
Tablo 14. Fosforik asit uygulamasında silanların karşılaştırılması	110
Tablo 15. Hidrofluorik asit uygulamasında değişkenler arasındaki karşılaştırma ..	111
Tablo 16. HF asit- Clearfil Ceramic Primer için silan uygulamalarının karşılaştırılması	111
Tablo 17. HF asit- GC Ceramic Primer için silan uygulamalarının karşılaştırılması	112
Tablo 18. Fosforik asit uygulanan grupların ortalama bağ dayanımları	112
Tablo 19. Fosforik asit kullanılarak yüzey hazırlığı yapılan grupların bağlantı dayanımı değerleri	113
Tablo 20. Hidrofluorik asit uygulanan grupların ortalama bağ dayanımları	113
Tablo 21. HF asit kullanılarak yüzey hazırlığı yapılan grupların bağlantı dayanımı değerleri	114
Tablo 22. Çalışmada kullanılan 4 farklı silan bağlayıcı ajan için bağlantı dayanımı ortalamaları	114
Tablo 23. Yüzey kırılma modları	115
Tablo 24. Başarısızlık modlarının oranları	116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Silan molekülünün taşıdığı (alkoksi) grubu ve silika atomu sayısına göre silanların isimleri	36
Şekil 2. MPS ve suyun birleşmesiyle oluşan silsesquioxane'ların yapısı. Silsesquioxane'lar ile polimerlerin temel farkı –SiOH'nin kondensasyon derecesidir.	37
Şekil 3. MPS'nin yapısı	38
Şekil 4. MPS ve seramik yüzey arasındaki kimyasal etkileşimi gösteren şekil.....	42
Şekil 5. Silanın asidik ortamda hidroliz tepkimesi ile silanol oluşumu.....	43
Şekil 6. MPS'nin hidroliz tepkimesinin basitleştirilmiş çizimi	44
Şekil 7. Oksan bağları	47
Şekil 8. Oksan bağları ve siloksan bağları	47
Şekil 9. Fonksiyonel ve non-fonksiyonel organoalkoksisilanlar	77
Şekil 10. Çalışma grupları.....	94

RESİMLER DİZİNİ

Resim 1. IPS e.max CAD külçesi.....	85
Resim 2. Seramiklerin kesiminde kullanılan kesici.....	86
Resim 3. Seramiklerin kesimi.....	87
Resim 4. Seramiklerin fırınlanması program.....	88
Resim 5. Seramiklerin fırınlanması.....	88
Resim 6. Seramiklerin fırınlanması.....	89
Resim 7. Seramiklerin fırınlanması.....	89
Resim 8. Teflon kalıplar.....	90
Resim 9. Akrilik rezin ile örneklerin eldesi.....	90
Resim 10. Yüzey düzeltme işleminin gerçekleştirilmesi.....	91
Resim 11. Yüzeyleri düzeltilmiş örnekler.....	91
Resim 12. Monobond-Plus.....	96
Resim 13. Clearfil ceramic primer.....	97
Resim 14. Bis-Silane.....	97
Resim 15. GC Ceramic Primer.....	98
Resim 16. Seramiklerin sıcak etüv sterilizatöre yerleştirilmesi.....	99
Resim 17. Seramiklerin sıcak su banyosuna yerleştirilmesi.....	100
Resim 18. Seramikler 85°C derece sıcak su banyosunda.....	100
Resim 19. Teflon kalıbın ayrılması.....	102
Resim 20. Teflon kalıp ve metal bandı.....	102
Resim 21. Teflon kalıp bütün durumda.....	103
Resim 22. Rezin simanın uygulanması ve polimerizasyonu.....	103
Resim 23. Rezin siman polimerize durumda.....	104
Resim 24. Teflon kalıpların örneklerden uzaklaştırılması.....	104
Resim 25. Dual-kür rezin siman bağlanmış örnekler.....	105
Resim 26. Makaslama bağ dayanımı testinin gerçekleştirilmesi.....	106
Resim 27. Universal test cihazı.....	106

1. GİRİŞ

Günümüzde metal seramik sistemlerin potansiyel allerjik ve toksik etkileri, ağız içinde korozyon ve oksidasyona uğrama eğilimleri, metallerin ışık geçirmez ve opak yapıları nedeniyle estetik açıdan olumsuz bir görünüm oluşturmaları ağız-diş sağlığı konusunda bilinçlenmiş ve estetik beklentisi yükselmiş hastaları tam seramik restorasyonlara yönlendirmektedir. Tam seramikler farklı renklerde üretilebilen ve ışığı yarı geçirgen özelliklere sahip üstün estetik restoratif maddelerdir. Sabit protezlerde tam seramik materyallerin kullanımı üstün estetik özelliklerinin yanısıra; biyouyumlulukları, abrazyon ve aşınma dirençlerinin yüksek olması, kimyasal tepkimeye girmemeleri, ısı ve elektrik yalıtımı sağlamaları, dişeti cevabının üstün olması, kenar uyumlarının geleneksel metal seramik restorasyonlarla benzer olması nedeniyle giderek daha yaygın hale gelmiştir. Adeziv bağlantı sağlayan yapıştırma maddelerinin geliştirilmesi sayesinde diş dokularının daha fazla korunduğu tam seramik restorasyonlar günümüzde rutin şekilde uygulanmaktadır. (Blatz ve ark 2003).

Ancak tam seramik restorasyonların yapım ve uygulaması konusunda da bazı dikkat edilmesi gereken konular mevcuttur. Bunların başında uygun simantasyon tekniklerinin ve materyallerinin doğru kullanımı gelmektedir. Klinik başarının belki de en önemli aşamalarından birisi olan tam seramik restorasyonların simantasyonu konusunda daha fazla bilgiye gereksinim duyulmaktadır. Adeziv bağlantılı seramik restorasyonların simantasyon işlemleri zaman alan ve uzun sürede başarıyı kritik şekilde etkileyen yüksek teknik duyarlılık gerektiren uygulamalardır. Başarılı bir adezyonun elde edilmesi teknik ve madde yönünden çok yüksek duyarlılık gerektirebilmektedir. Bu duruma ek olarak rezin simanlar görece pahalıdır ve temizlenmeleri zor olabilmektedir. Resin simanlarla en iyi sonucun alınması için bir öğrenme süreci de gerekmektedir. Bütün bu zorluklar nedeniyle çalışmalar teknik duyarlılık isteyen basamaklarının azaltılması ve böylelikle klinik uygulamalarda oluşabilecek hataların önlenmesi yönünde yoğunlaşmıştır. Restorasyonlar ve diş dokuları arasında güçlü bir bağlantı gerçekleştirebilmek için materyal özelliklerinin yanı sıra klinikte uygulanan tekniklerin de iyi anlaşılması gereklidir. (Hill and Lott 2011, Ibarraa et al., 2007, Kiremitci ve Altıncı 2008) Adeziv simantasyonun teknik

duyarlılığını azaltmak için çeşitli yöntem ve maddeler önerilmiştir; self adeziv rezin simanların kullanımı, tek şişeli veya basitleştirilmiş adezivlerin kullanımı, restorasyon yüzeyinde mikromekanik tutuculuk sağlayan işlemlere bir alternatif olarak rezin simanlarda adeziv monomerlerin kullanımı, biyolojik zarara neden olabilen asitlerin kullanılmasının yerine daha basit ve güvenli yüzey işlemlerinin kullanımı ve fluor salınımı yapan rezin simanların kullanımı buna örnek olarak gösterilebilir. Bu yöntem ve maddeler sayesinde simantasyon işlemleri kolaylaşmış, teknik duyarlılık nedeniyle oluşacak hatalar en aza inmiştir. (Ibarraa et al., 2007, Ozan ve Meric 2010)

Adeziv simantasyon işleminde teknik duyarlılığı azaltmanın yanında simantasyon aşamalarının kanıta dayalı ve klinik olarak güvenilir şekilde ortaya konması için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda; farklı asitlerin uygulanması, asitlerin derişimi ve uygulama süresi, simantasyonda bağlayıcı ajan kullanımının etkisi, suda bekletme ve ısı banyolarının etkisi, siman uygulama ve uzaklaştırmasında basıncın ve ultrasonik temizlemenin etkisi ve silan uygulamasının etkisi gibi konular rezin simanlarla seramiklerin en iyi adezyonunun sağlanması için incelenmiş, restorasyon ile rezin simanlar ve diş dokuları arasında bağlantı dayanımının test edildiği çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. (Braga et al., 2010, De Munck et al., 2005, Pegoraro et al., 2007)

Protetik ve restoratif tedavilerde maddelerin diş dokularına bağlandığı yüzeyler en önemli bölgelerdir. Bu nedenle klinik başarının değerlendirilebilmesi, yeni maddelerin geliştirilebilmesi, diş dokularının tedaviye doğru şekilde hazırlanması, klinik uygulamada hataların giderilmesi ve gereksinimlerin belirlenebilmesi için bağlantı arayüzeyinin değişik yönlerden incelenmesi gereklidir. (Van Meerbeek et al., 2010) Bu şekildeki çalışmalar sayesinde estetik restorasyonların uygulamaları ve prognozları konusunda referans oluşturacak kanıta dayalı bilgiler elde edilecektir.

Restorasyonların adeziv simantasyonlarında tercih edilen rezin simanların restoratif maddeler ile kimyasal bağ yapabilmesi için restoratif madde yüzeyine bazı özel işlemlerin ve bileşiklerin uygulanması gerekmektedir. (Zortuk et al., 2010) Birbirine benzemeyen özellikteki inorganik substratlar ve organik polimerler

arasında kimyasal bağlanmayı ve adezyonu gerçekleştirmek için organofonksiyonel silan bağlayıcı ajanları kullanılmaktadır. (Rosen 1978) Silan uygulamaları adeziv simantasyonda önemli bir basamaktır ve adeziv bağlantıyı buna bağlı olarak da klinik başarıyı etkileyebilmektedir. Silanların bağlayıcılık özelliklerinin farklı etmenlerden etkilendiği ileri sürülmüştür. Bu etmenlerden silan çözeltisinin pH'sı, silanın kurutma sıcaklığı ve süresi, farklı silan bileşimleri ve sıcak suyun etkisi çok sayıda çalışmada incelenmiştir. (Antonucci et al., 2005, de Carvalho et al., 2011, Debnath et al., 2003, Della-Bona 2005, Hooshmand et al., 2002, Hooshmand et al., 2004., Li 2010, Matinlinna et al., 2006a, Meng et al., 2011, Monticelli et al., 2006a, Peumans et al., 2007, Roulet et al., 1995, Sakai et al., 2011, Shen et al., 2004., Vasconcellos et al., 2007)

Bu tez çalışmasında farklı kimyasal birleşime ve uygulama özelliklerine sahip silan bağlayıcı ajanların sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama işlemleri şeklinde farklı uygulamalarının ardından lityum disilikat seramik ile dual-kür rezin siman arasındaki makaslama bağ dayanımı kuvveti ve bağlantı arayüzündeki kırılma türü incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Diş Hekimliğinde Seramikler

Çağdaş tanıma göre seramikler; metalik ve metalik olmayan elementlerden oluşan bileşikler olarak tanımlanır. Bu bileşikler oksit, nitrit, karbid ve silikat yapısındadır. Dental seramikler, dokulara uyumları, doğal dişe benzer yarı şeffaflıkları, abrazyona ve baskı kuvvetine karşı dirençlerinin fazlalığı, kimyasal stabilite, estetik üstünlükleri ve fluorensans özellikleri nedeniyle dental restorasyonlarda sıklıkla tercih edilen materyallerdir. Seramikler üstün özelliklere sahip olmalarına rağmen diş hekimliği kliniğinde her durumda tam başarı ile kullanılabilecek özellikte evrensel bir seramik maddesi bulunmamaktadır. Bu nedenle klinikteki farklı uygulamalar için farklı özelliklerdeki seramikler kullanılmaktadır. Seramiklerin başarılı bir şekilde uygulanması hekimin; kullanılan maddeleri, bunların üretim yöntemlerini, simantasyon işlemlerini bilmesi ve bunları hastanın bireysel klinik durumu ile eşleştirebilme yetisine bağlıdır. (Conrad et al., 2007, McLaren and Whitemann 2010, Vargas et al., 2011) Hekim herhangi bir maddeyi veya yöntemi uygulamadan önce hastanın estetik ihtiyaçlarını gözönüne alan, uzun dönemde biyolojik temelli ve yapıların sağlığını koruyacak şekilde bir tedavi anlayışına sahip olmalıdır. (McLaren and Whitemann 2010)

2.1.1. Diş Hekimliği Seramiklerinin Sınıflandırılması

Diş hekimliğinde kullanılan restoratif seramikler farklı başlıklar altında sınıflandırılabilir. Seramikleri sınıflandırmada mikroyapıları, üretim yöntemleri ve klinik uygulamaları ölçüt olarak kullanılır. Seramiklerin sınıflandırılması önemlidir; örnek olarak aynı yapıdaki seramiklerin mikroyapı paternleri birbirine benzemektedir, mikroyapı ise seramiğe uygulanacak yüzey işlemini belirlemektedir. Bu nedenle seramik yüzeyine gerçekleştirilecek işlem seçiminde kullanılan seramik sistemin bileşimi gözönüne alınmalıdır. (Santos et al., 2009)

2.1.2. Diş Hekimliği Seramiklerinin Mikroyapı Temelinde Sınıflandırılması

Seramiklerin mikroyapı temelindeki sınıflandırmasında birleşimlerdeki cam ile kristalin oranı ölçüt olarak kullanılabilir. Diş hekimliği seramikleri kristal içermeyen cam yapısından sadece kristal içeren yapılara kadar farklı cam-kristal oranlarına sahiptirler. Diş hekimliği seramikleri mikroyapılarına göre küçük farklara sahip kategorilerde sınıflandırılmakla birlikte dört ana bileşim kategorisinde ve bunların altgruplarında sınıflandırılarak ele alınabilir. (Giordano and McLaren 2010, Kelly 2008, Vargas et al., 2011)

1-Cam temelli (silika temelli) sistemler

Camlar sadece bazı özel termodinamik şartlarda oluşan maddelerdir. Camların çoğu metal oksitlerin eriyik haldeki karışımlarına ‘*quenching*’ işlemi uygulanması ile üretilir. Cam temelli sistemler ana bileşen olarak silika veya kuartz olarak bilinen silikon dioksit içermektedir. Bu silika yapısı çeşitli miktarlarda alümina içerir ve alüminosilikat olarak adlandırılır. Alüminosilikatlar doğada potasyum ve sodyum atomlarını da içerirler ve bu yapıdaki maddeler feldspar olarak adlandırılır. Feldspar diş hekimliğinde kullanılmak amacıyla farklı yöntemlerle modifiye edilir.

Bu kategorideki maddeler eskiden hareketli protez dişlerinin yapılmasında kullanılmış olup günümüzde alümina temelli kor sistemleri ile metal destekli sistemlerde kaplayıcı seramik ve tam seramik restorasyonlarda porselen veneer şeklinde kullanılabilirler. Bu gruptaki sistemlerin üretim yöntemleri çeşitlidir; restorasyonlar toz-sıvı karışımı şeklindeki üretilebileceği gibi makine ile şekillendirilebilir çekirdeklerden de elde edilmektedir. Cam temelli sistemler cam fazdan oluştuklarından çeşitli asitlerle pürüzlendirilebilir ve rezin simanlarla yüksek adeziv bağlanma gerçekleştirirler. Bu seramiklerin kırılma peklığı azdır ve yüzey çatlaklarına karşı dirençleri düşüktür. Bu nedenle ön bölgede stresin az olduğu durumlarda kullanılırlar. Zayıf mekanik özelliklere sahip bu maddelerin kullanılması için özel klinik koşulların yerine getirilmesi gereklidir. (McLaren and Whitemann 2010)

2-Doldurucu içeren cam temelli sistemler

Ağız ortamında; ısı şokları, pH dalgalanmaları, çiğneme kuvvetleri, parafonksiyonlar gibi stres oluşturan durumlar yaşanmaktadır. Bu durumlar nedeniyle seramiğin iç bölgelerinde germe stresi ve mikroçatlaklar oluşabilmektedir. Bu duruma ek olarak seramiğin yüzeyindeki veya içindeki çatlak ve kusurlar üretim sonucunda kendiliğinden de oluşmuş olabilir. Gevrek bir madde olan seramik germe ve makaslama stresine maruz kaldığında plastik deformasyona uğramadığından gelen stres kusurların çevresine dağılmaz ve kusurların olduğu bölgelerde gerilim oluşur. Seramikler özellikle germe kuvvetine karşı duyarlıdırlar. Seramiklerin camsı fazı çok üstün şeffaflık göstermekle birlikte gevreklerdir. Camlara kristal bileşenin eklenmesi seramiğin optik ve mekanik özelliklerini geliştirir; kristal faz ışığın dağılmasını ve opaklığı sağlar, şeffaf camsı fazın dış sert dokularına renk uyumunu iyileştirir, seramiğin genel dayanımına katkıda bulunur. Kristal fazın kullanımı ve kristal parçacıklarının çatlak ilerlemesini durdurması sonucunda serpinik sertleştirme özelliği 'dispersion strengthening' elde edilir. (Giordano and McLaren 2010) Kristal fazın içindeki kristal miktarının fazla olması sayesinde seramik fırınlama sırasında daha stabil hale gelir. (Ho and Matinlinna 2011a) Cam faz içinde kristal fazın varlığı çeşitli şekillerde sağlanır; kristal faz cama eklenir ya da cam faz içinde kontrollü şekilde oluşturulur. Güçlendirme etkisi; kristalin türüne, boyutuna, hacmine, oranına ve cam matrisle arasındaki ısı genişleme katsayısı farkına bağlıdır. (Anusavice and Phillips 2003, Rosenstiel et al., 2006)

Bu kategorideki seramiklerin cam-kristal oranları ve kristal türleri çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Bu kategoride mikroyapı temelli üç altgrup bulunmaktadır. Bu kategorideki maddelerin cam bileşimi birinci kategorideki cam temelli sistemler ile temelde aynıdır. Bu grupta camdan farklı olarak cam matrisin içine farklı miktar ve türlerde kristaller ya eklenmiş ya da bunlar kristalizasyon ile oluşturulmuştur. Eklenen veya oluşturulan kristal türleri temel olarak lösit, lityum disilikat ve fluoroapatittir. Lösit kristali alüminosilikat camın potasyum oksit içeriğini artırmakla elde edilirken lityum disilikat kristalleri alüminosilikat cama lityum oksit ekleyerek oluşturulur.

1. altgrup: Düşük-orta seviyede lösit içeren feldspatik camlar

Bu altgrupta azdan orta miktara kadar lösit içeren feldspatik camlar bulunur. Bu altgruba ‘feldspatik porselen’ diye adlandırılan seramikler de dahildir. Feldspatik porselendeki lösit ile alüminosilikat camlarda oluşan lösitin kaynağı farklıdır; alüminosilikat camlara lösit eklenmemektedir, bu camlar ısıya tabi tutulduğunda kendi yapıları olan feldspardan lösit kristalleri oluşmaktadır, bu şekilde oluşan lösit kristalleri doldurucu olarak sayılmazlar. Feldspatik porselende cama lösit doldurucu olarak eklenmektedir, bu lösit kristalleri matris içinde lösit kristalleri olarak bulunmaktadır, ayrıca feldspatik porselenin kendi feldsparı da normal bir şekilde lösite dönüşmektedir. Lösit eklendiğinde seramiğin ısıl genleşme katsayısı artar, böylelikle seramik metal ve zirkonyum altyapıların üzerine uygulanabilir hale gelir, yüksek yarışeffaflık, dayanım, fluorosanslık ve opalesans özelliği gelişir. Eklenen lösitin miktarı kullanılan altyapıya ve bu altyapının ısıl genleşme katsayısına göre değişmektedir. Lösit eklenmiş seramikler genellikle toz-sıvı karışımı yöntemi kullanılarak üretilirler. Lösit kristallerinin boyutları yirmi ile birkaç yüz mikrometre arasındadır ve dağılımları rastgele şekildedir. Bu büyük parçacık boyutu ve parçacıkların rastgele dağılımı maddenin kırılma direncini azaltmakta, mineye karşı aşındırıcılık özelliğini ise artırmaktadır. Yeni nesil ürünlerde bu olumsuz özellikler azaltılmıştır. (Giordano and McLaren 2010)

Bu altgrupta bulunan seramikler kor sistemlerin kaplanması için idealdir, ayrıca diş dokularının biyolojik olarak korunması, estetik, optik özellik, biyoyum ve klinik ömür konularında çok başarılı olduklarından laminate veneer, seramik inley, onley ile tam kuronlar gibi restorasyonlarda da tercih edilen maddelerdir. (Blatz et al., 2004)

2. altgrup: Yüksek seviyede lösit (yaklaşık %50) içeren camlar, cam seramikler

Bu altgruptaki seramikler yüksek miktarda (yaklaşık %50) lösit içeren cam seramiklerdir. Camsı faz yine alüminosilikat cam temellidir ve türdeş bir yapı gösterir. Bu maddeler toz-sıvı karışımı, makine ile şekillendirilebilme ve yüksek basınçla kalıplanabilme yöntemleri ile kullanılabilirler. Bu tür seramiklerin en yaygın olanı IPS Empress’tir. Bu maddede cam matris içinde camın kontrollü

kristalizasyonu ile kristalin faz oluşturulur. (Höland et al., 2003) Bu şekilde elde edilen maddeler cam seramikler olarak adlandırılır. 1. altgrupta bulunan geleneksel feldspatik porselenler ise cam seramik olarak tanımlanmazlar.

Cam seramikler çatlak büyümesini durdurmaya yardımcı olan daha yüksek kristalin faz oranlarına bağlı olarak geleneksel feldspar temelli seramiklerden çok büyük farklılıklar gösterir. Bu kristaller sayesinde çatlak oluşumu azalır ve mekanik özellikler gelişir. Camsı faz ise parçacık ‘gren’ sınırlarını doldurur ve boşluksuz ‘pore-free’ bir yapının oluşmasını sağlar. Cam seramikler diş dokularına rezin simanlar aracılığıyla bağlantı kurup klinikte çok yüksek bağlantı devamlılığı sergilerler. (Ho and Matinlinna 2011a)

Bu altgruptaki cam seramikler inley, onley, veneer kuron ve tam kuron restorasyonlarda yüksek klinik başarı oranları ile kullanılmaktadır.

1. kategori ve 2. kategorideki ilk iki altgrupta bulunan seramiklerin kırılma dirençleri ve kırılma dayanımları kristalin türü, miktarı, dağılımı gibi etmenlerden daha çok restorasyonun üretim ve işleme yöntemlerinden etkilenir. Sinterleme ile üretilen seramik materyalinde simantasyon yüzeyinde mikroporoziteler oluşur ve bu boşluklardan başlayan çatlakların ilerlemesi sonucunda seramiğin direnci azalır. Makine ile şekillendirilen ya da basınçla kalıplandırılan sistemler toz-sıvı karışımı yöntemiyle kullanılan sistemlere göre daha türdeş mikroyapı ve daha az mikroporoziteye sahip olmaları nedeniyle daha yüksek kırılma direnci sunmaktadır.

3. altgrup: Lityum disilikat cam seramikler

Bu altgrupta alüminosilikat cama lityum oksit eklenmesi ile elde edilen bir cam seramik olan lityum disilikat cam seramik bulunmaktadır. Bu türdeki seramiğe IPS Empress 2, IPS e.max ve 3G OPC (Pentron) örnek gösterilebilir. Bu maddelerde lityum disilikat kristalleri iğne şeklindedir ve cam seramiğin hacim olarak yaklaşık üçte ikilik kısmı bu kristallerden meydana gelmiştir. Bu maddelerin bükülme dayanımları ve kırılma peklikleri görece yüksektir. Bu maddeler basınçla kalıplanabilir ya da makine ile şekillendirilerek üretilebilirler. Makine ile şekillendirilen ürün IPS e.max CAD adıyla kullanıma sunulmuştur. Bu maddeler yüksek kristalin içeriklerine rağmen kristallerinin görece düşük refraktif indeksleri nedeniyle çok yüksek yarışeffaflık gösterirler. Yüksek yarışeffaflıkları sayesinde bu

seramiklerle tam konturda restorasyonlar yapılabilir ya da en yüksek seviyede estetik için altyapı seramiği olarak kullanılırlar ve üstleri özel bir seramik ile kaplanabilir.

Lityum disilikatların üzerine estetik özellikleri daha da geliştirmek amacıyla kaplayıcı madde olarak apatit içeren cam seramik kullanılmaktadır. Lityum disilikat cam seramiklerin üzerinde kaplayıcı (vener) olarak kullanılan bu cam seramik lōsit yerine fluoroapatit kristali içeren alūminosilikat camdır. Üstyapı seramiğindeki fluoroapatit kristalleri ($Ca_5(PO_4)_3F$) yaklaşık 300 nm uzunluğunda, 100 nm çapında, iğne şeklinde kristallerdir (Höland et al., 2003). Fluoroapatit kristali; kaplayıcı seramiğin optik özelliklerini ve ısıl genleşme katsayısını geliştirir ve böylece kaplayıcı seramiğin lityum disilikat cam seramiklerle kullanılabilmesini sağlar. Camsı fazları nedeniyle hem lityum disilikat cam seramik hem de kaplayıcı seramik asitle pürüzlendirilebilir.

2. ve 3. altgrupları oluşturan cam seramikler polikristalin özellikte maddelerdir, uygun kimyasal bileşimdeki camlara kontrollü ısı uygulanmasına bağlı gerçekleşen kristalizasyon ile üretilirler. Preslenebilen bu seramiklerde kristaller geleneksel porselenlere göre daha türdeş bir şekilde dağılmıştır. Isı ve basıncın kullanılması sayesinde seramikte fırınlanma sırasında yaşanan büzülme miktarı önemli ölçüde azalır. (Drummond et al., 2000) Sonuç olarak cam seramikler fırınladıklarında silika temelli camlar ve feldspatik porselenlere göre daha az büzülürler. Cam seramik sistemler cam temelli seramiklere göre daha gelişmiş mekanik özelliklere sahip olduğundan görece daha yüksek risk faktörü olan durumlarda kullanılabilirler.

3-Cam doldurucu içeren kristalin temelli sistemler

Cam infiltre edilmiş, kısmi sinterlenmiş alūmina sistemleri (örn: In-Ceram) bu kategoridedir. (Conrad et al., 2007) Bu sistemde hacmin çok büyük miktarı sinterlenmiş kristalin matristen oluşmaktadır. Bu tür sistemler %85 oranında alūmina içeren boşluklu bir kor ve buna infiltre edilmiş lanthanum alūminosilikat ($LaAl_2O_3SiO_2$) cam içerirler. (Ho and Matinlinna 2011a) Bu seramikler camlardan ve cam-seramiklerden çok farklı yapıdadır. Cam seramiklerde kristaller arasında bir bağlantı mevcut değilken cam doldurucu içeren kristalin temelli seramiklerde

kristalin fazdaki parçacıklar birbirlerine bağlanmıştır. Bu seramiklerde kristalin faz; alümina, alümina-zirkonya ya da alümina-magnezya karışımından (spinel) oluşabilir.

Bu tür seramik sistemleri çok yüksek bükülme dayanımına sahiptir; tek üye olarak dental arkın her bölgesinde, kısa köprü altyapıları olarak ön bölgede kullanılabilirler. Alümina-zirkonya seramik sistemleri çok opak olduğundan sadece azı dişlerinde kullanılmalıdır. Alümina-magnezya (spinel) sistemleri daha yüksek yarışeffaflığa sahip olduklarından ön bölgede kullanılabilirken dayanımı zayıf olduğundan arka bölgede kullanılmamalıdır. (Ho and Matinlinna 2011a) Birinci azı dişlerine uygulanmış cam infiltre alümina (In-Ceram) seramik tek kuronların klinik ömür oranlarının metal destekli porselen kuronlar ile eşit olduğu bildirilmiştir. (Giordano and McLaren 2010)

Bu seramikler slip casting ya da presinterize blokların millenmesi yöntemleriyle üretilebilir. Alümina ya da spinell altyapılara bu şekillendirmenin ardından cam infiltre edilir. Bu seramik sistemlerinde cam fazın çok az olmasına bağlı olarak asitle pürüzlendirme uygulanması mikromekanik tutuculuğu artıracak şekilde kristalleri ortaya çıkarmamaktadır. Bu maddelerde yüzeyde silika içeriği çok az olduğu için seramikle silan arasında kararlı kimyasal etkileşim de gerçekleşmemektedir. (Santos et al., 2009)

4-Polikristalin seramik yapılar

Bu kategorideki seramiklerin elde edilmesi tek fazlı seramik kristallerinin hiçbir ek cam matris olmaksızın doğrudan sinterlenmesi yoluyla gerçekleştirilir. Sonuç olarak hava, cam gibi maddeleri içermeyen yoğun polikristalin yapılar elde edilir. Solid sinterlenmiş seramikler alüminöz oksit ya da zirkonya oksit altyapılar içermektedir. Kristaller düzgün şekilde dizildiğinden bu seramiklerde çatlak ilerlemesi çok zor gerçekleşir. Bu tür seramiklerin dayanımları ve kırılma peklikleri diş hekimliği seramikleri arasında en yüksek seviyededir.

Bu kategorideki seramikler üç üretim yöntemi ile kullanılırlar;

a) final altyapısının sinterlenmiş bloktan milleden elde edilmesi. Pahalıdır, uzun zaman ve emek ister.

b) optik olarak taranmış yalancı kökten elde edilen büyütülmüş bir yalancı kökün 'oversized die' üzerine alüminöz oksit ya da zirkonya oksitin kendi likiti ile karıştırılarak fırça yardımıyla uygulanması, fırınlanması, sinterlenmesi ve sonunda taranmış yalancı kök boyutlarına büzülmesi ile üretim.

c) Kısmi sinterlenmiş zirkonya oksit blokların büyütülmüş kopingler 'oversized coping' şeklinde makine ile şekillendirilmesi, fırınlanması, tam sinterlenmenin gerçekleşmesi ve büzülmesi ile yalancı köke uyumlanması.

Polikristalin katı seramiklerin hiçbiri asitlerle pürüzlendirilemez.

Bu şekilde seramiğin mikroyapısı temelinde yapılan sınıflamayla örtüşen klinik parametre sistematiği oluşturulabilir. 1. kategorideki maddeler 2. kategoridekilerden, 2. kategoridekiler ise 3. ve 4. kategorideki maddelerden daha fazla yarışeffaf özelliktedir. Yine aynı sıra ile 1. kategori 2. kategoriye, 2. kategori de 3. ve 4. kategoriye göre daha konservatif tedavi imkanı sunar, prepare edilmesi gereken diş dokusu miktarı daha azdır. Çağdaş diş hekimliği anlayışına göre tedavinin gereksinimlerini karşılayan daha konservatif olan kategorinin tercih edilmesi önerilmektedir. (McLaren and Whitemann 2010)

Seramik materyalleri arasında gerçekleştirilen seçimde öncelikle dişlerin üç boyutlu final konumları ve gülüş tasarımı değerlendirilmelidir. İkinci olarak dişlerde gerçekleştirilmesi istenen renk değişikliği miktarı restorasyon kalınlığını etkilemesi nedeniyle ele alınmalıdır. Cam temelli seramik sistemlerinde her bir renk 'shade' değişikliği arasında 0,2-0,3 mm seramik kalınlığına ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin A1'ten A3 rengine geçişte 0,6-0,9 mm kalınlığında bir seramiğe ihtiyaç vardır. Cam-seramik sistemlerde ise yine aynı kalınlığa ihtiyaç duyulmakla birlikte bu sistemler 0,8 mm'den daha ince şekillerde kullanılmamalıdır. Cam doldurucu içeren kristalin yapıdaki sistemler ve polikristalin katılarda kuronlar opaklıkları nedeniyle 1,2-1,5 mm kalınlıkta kaplayıcı seramiğe ihtiyaç duyarlar.

Bu temel gülüş tasarımından sonra sağlıklı diş sert dokusu değerlendirilir. Mine, dentin ya da restoratif maddenin varlığı, bunların miktarı, dentinin türü gibi konular tek tek dişler için ele alınmalıdır. Dişlerin bükülme riskleri tek tek değerlendirilmelidir. Dişte ya da mevcut restorasyonda mine çatlakları, aşınmalar, kırıklar, mikrosızıntı, dişeti çekilmesi, abfraksiyon defektleri, oklüzal travma

bükülme riski kapsamında değerlendirilir. Restorasyonun üzerine gelecek makaslama ve germe streslerinin miktarı ve riski de değerlendirilmelidir. Stresin kontrol edilebildiği durumlarda daha düşük dayanıma sahip seramikler kullanılabilir. Derin örtülü kapanış, kantilever kuvvet koluna sahip restorasyonlar stresin fazla olduğu durumlardır. Yüksek stres alanlarında yüksek dayanıma sahip kor sistemleri kullanılmalıdır.

Restorasyonun başarısında restorasyon ile dayanak yapı arasındaki adeziv bağlantının devamlılığı önemli bir ölçüttür. Kuvvetli bir adeziv bağlanmanın sağlanacağı durumlarda (örneğin bağlantı yüzeyinde sadece mine varlığında) daha az dayanıma sahip maddeler kullanılabilirken bağlanmanın tam olarak sağlanamayacağı durumlarda geleneksel simantasyon yöntemlerine imkan tanıyan 3. ve 4. kategorideki seramikler kullanılır. Metal seramik restorasyonlar ise özellikle bütün risk etmenlerinin yüksek olduğu durumlarda endikedir. (McLaren and Whitemann 2010)

2.1.3. Üretim Yöntemlerine Göre Diş Hekimliği Seramiklerinin Sınıflandırılması

Diş hekimliği seramik sistemlerini sınıflandırmada diğer bir ölçüt restorasyonların üretim yöntemleridir. Üretim yöntemlerini tanımlamak önemlidir; tekrarlanan fırınlamalar, yapı içerisindeki kalan hava boşluklarının miktarı ve boyutu, seramik toz parçacıklarının boyutsal dağılımı, fırınlanma türü gibi üretimle ilgili konular seramiklerin ısıl genleşme katsayısı, kimyasal çözünürlük, yarışeffaflık gibi optik, mekanik, fiziksel ve estetik özelliklerini etkileyebilmektedir. (Anusavice and Phillips 2003, Chen et al., 1998a, Pereira 2006)

Aynı kimyasal yapıdaki maddelerin farklı yöntemlerle üretilmesi sonucunda klinik davranışları değişebilmektedir. Seramiklerin üretim yöntemleri klinik başarıya doğrudan etkide bulunduğundan üretim yöntemlerinin sınıflandırılması önemlidir. Genel olarak seramik üretim yöntemleri üç sınıfa ayrılır;

1- Toz-sıvı karışımı / refrakter day yöntemi

2- Isı ile presleme yöntemi,

3- CAD/CAM yöntemi.

1-Toz-Sıvı karışımı yöntemi , Refrakter day yöntemi ile üretim

Porselen tozların deiyonize su ya da özel modelasyon sıvıları ile elle karıştırılması ve modelasyon yapılması şeklinde gerçekleştirilen üretim yöntemidir. Kendi özel likiti ile karıştırılan balçık kıvamındaki seramik die üzerinde fırça yardımıyla şekillendirilerek vakum altında fırınlanır. Seramik hamuru içindeki parçacıkların partikül seviyesinde birleşmesi (sinterleme) olayı gerçekleşir. Metal, alümina ve zirkonya kor yapıları üzerine uygulanan kaplayıcı porselenler bu yöntemle üretilirler. Toz-sıvı karışımı ile üretim yöntemi refrakter die ya da platinyum folyo üzerinde porselen veneerlerin üretilmesinde de kullanılabilir.

Slip-casting yöntemi kullanılarak refrakter die üzerinde üretim yöntemi de toz-sıvı karışımı yöntemi ile birlikte sınıflandırılabilir. ‘Slip’ seramik tozlarının suyun içinde türdeş bir dağılımı demektir. Bu yöntemle alümina ve bazı kısmi stabilize zirkonya kor yapılar (In-Ceram) üretilir.

2-Isı ile presleme yöntemi ile üretim

Bu yöntem monokromatik porselen ya da cam-seramik çekirdeklerin basınç altında ısıtılması, akışkanlıklarının artması ve geleneksel mum giderme yöntemi ile elde edilen kalıp boşluğunda şekillendirilmesini tanımlamaktadır. Isı uygulanarak vizköz akışı sağlanan bloklar çok yüksek bir dış basınçla şekillendirilir, sinterleme veya kristalizasyon yüksek bir sıcaklıkta fırınlama ile tamamlanır ve restorasyon üretilmiş olur. (Ho and Matinlinna 2011a) İnley, onley, ön bölge kuron ve veneerlerinde bu yöntemle üretilmiş cam seramiklerin kullanımı idealdir.

Bu üretim yöntemiyle dayanıklı altyapılar elde edilir ve bu altyapıların üzerine toz/sıvı karışımı yöntemi kullanılarak seramik kaplanabilir. Önceden sinterlenmiş ‘pre-sintered’ külçe şeklindeki polikromatik lösit veya lityum disilikat cam seramik blokların ısı ve basınçla şekillendirilmesi ile tam konturda restorasyonlar da yapılabilir. Isı ile presleme yönteminde basınçla kalıba gönderme sıcaklığında seramiğin vizkoz akmasına bağlı olarak en az seviyede porozite oluştuğu düşünülür ve bu sayede dayanım özelliği gelişir. Presleme ile en az seviyede diş preparasyonu gerçekleştirilerek 0,3 mm kalınlığında ince porselen veneerler üretilir (Ritter 2010).

Isı ve basınç ile şekillendirme yöntemi ile üretim yapan sistemlerden bazıları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Isı ve basınç ile şekillendirme yöntemi ile üretim yapan sistemler

Isı ve basınç ile şekillendirme yöntemi ile üretim yapan sistemler	
IPS Empress	IPS Empress 2
IPS e.max Press	Cergo Pressable Full Ceramic
CZR Press	HeraCeram’s Pressable Ceramics
Optimal Pressable Ceramic	DiamondCrown MPC Pressable Polyceramic
Press-i-Dent Pressable Ceramics	SNF Press Ceram
Authentic Pressable Ceramics	Cerpress II Pressable Ceramic
Finesse All-Ceramic Low-Fusing Porcelain-FAC	Cerpress SL

3-CAD/CAM ya da CAM ile üretim

CAD/CAM, restorasyonların bilgisayar desteği ile oluşturulan üç boyutlu tasarımlarının bilgisayar kontrollü otomatik makinelerde şekillendirilerek üretildiği sistemlerin genel adıdır. Bu sistemde üretici tarafından bir kalıp içine sıkıştırılarak tozlardan çekirdekler oluşturulur. Bu çekirdeklerin bilgisayar desteği ile şekillendirilmesi ve fırınlanması ile restorasyonlar elde edilir. Diş hekimliğinde CAD/CAM sistemleri teknik hataların en aza inmesi, çapraz kontaminasyon riskinin azalması ve çok kısa sürede yüksek kalitede fabrikasyon üretimin sağlanması olanaklarını sunar. (Liu 2005) Yapılarında herhangi bir hava boşluğu bulunmayan, türdeş, fabrikada standardize edilmiş tam seramik blokların yeni CAD/CAM üretim teknolojileriyle şekillendirilmesi sayesinde diş hekimliği seramiklerinde sinterleme bütülmesi gibi sınırlamalar aşılmış ve tam seramik maddelerin sabit protezlerde kullanımında büyük artış yaşanmıştır. (Shimakura et al., 2007, Kamada et al., 2007, Sakai et al., 2011)

CAD/CAM sistemleri genellikle polikristalin katılar olan alümina ya da zirkonya temelli sistemlerde kullanılmakla birlikte cam seramik ve cam doldurucu içeren kristalin temelli sistemlerde de kullanılabilir. (Kamada et al., 2007) Lityum metasilikat cam seramik bloklar Cerec2, Cerec3 gibi CAM birimlerinde, DCS Precimill gibi milleding ve Celay gibi kopya milling makinelerinde şekillendirilebilir,

son yöntem demode olmuştur ve kullanım dışıdır. (Apel et al., 2008) Cerec InLab, ölçü alımı ile elde edilen modeli ve mum modelasyonu tarayabilen, taranan modeller üzerinde bilgisayar ortamında altyapılar tasarlayabilen, tasarlanan altyapılara göre CAM ünitesine yerleştirilmiş seramik blokları aşındırabilen bir sistemdir. Cerec ağız içi kamera ile tarama imkanı sayesinde veriler teknisyene elektronik olarak aktarılır, teknisyen restorasyonu dijital olarak tasarlayarak mum modelasyon, revetmana alma-presleme gibi mekanik ve emek yoğun işlemler yapılmaksızın restorasyonlar otomatik bir şekilde hasta başında tek seansta tasarlanır, üretilir ve simante edilir. (Peumans et al., 2007, Culp and McLaren 2010, Ho and Matinlinna 2011a) CAD/CAM ile üretim yöntemi kullanılarak inley, onley, kuron ve veneerler tam konturda üretilir.

Bu üç üretim sisteminden başka döküm yöntemi ile üretilen seramikler de vardır. Dicor, Cera Pearl, Olympus Castable Ceramics, Cerestore bunlara örnek olarak verilebilir. Bu seramikler günümüzde pek kullanılmamaktadır.

Diş hekimliğinde kullanılan cam seramik ayrıca kullanım amacına göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflama restoratif dental uygulamalar ile medikal uygulamalar şeklindedir. Tıbbi uygulamalar; sert dokuların ve kemiğin yerine cam seramiklerin uygulanması, kemiğin tekrar oluşumu için cam seramiklerin kullanılması gibi uygulamaları içermektedir. (Höland et al., 2006)

2.2. Lityum Disilikat Cam Seramikler

2.2.1. IPS Empress 2

Metal destekli seramik restorasyonların altyapı kısmındaki metalin gingival bölgede görünümü olumsuz etkilemesi, restorasyonun yarışeffaflığının istenilen derecede olmaması, metal alerjisi, metalin korozyona uğrayabilmesi gibi nedenlerle son 20-30 yılda metal altyapısız restorasyonların geliştirilmesi hız kazanmıştır. (McLean 2001) Geleneksel feldspatik restorasyonlar ve lösit destekli seramikler estetik açıdan üstün özellikler göstermelerine rağmen karşıt çenedeki dişleri aşındırma, genel dayanımlarının az olması ve kırılma riski gibi olumsuzluk özelliklere sahiptir.

IPS Empress 2, 1998 yılında kullanıma sunulmuş multifazlı, temel olarak lityum disilikat kristalleri ve bunun yanında lityum ortofosfat kristalleri içeren bir cam seramik sistemidir. (Schweiger et al., 1999, Höland et al., 2000) IPS Empress 2 sistemi IPS Empress sistemine göre mekanik özellikler, adeziv performans, minenin ısıl özelliklerine daha yakın olma, karşıt çenedeki mineyi daha az aşındırma ve kimyasal stabilite konularında üstündür. (Ho and Matinlinna 2011a, Höland et al., 2000) IPS Empress 2 restorasyonların kenar uyumunun metal destekli seramiklerden daha üstün olduğu bildirilmiştir. (Nagai et al., 2005)

Cam seramik sistemlerde kristal fazların doğası, kristallerin büyüklüğü, şekli ve miktarı gibi etmenler mekanik özellikleri büyük ölçüde etkilemektedir. (Hooshmand et al., 2008) Lityum disilikat cam seramikte lityum disilikat kristalleri lösit cam seramiklerdeki lösit kristallerinden daha küçük olduğundan cam matris içinde daha yüksek hacim oranlarında bulunur; IPS Empress'te kristal oranı hacimce %40 iken IPS Empress 2'de bu oran %70 civarındadır. Hacimce daha az olan lösit kristalleri birbirleriyle kilitleme yapmamakta iken IPS Empress 2 sisteminde bulunan lityum disilikat kristalleri birbirleriyle yüksek derecede içiçe geçmiş çaprazlamalı bir yapı oluştururlar. Kristallerin bu şekildeki yönelimleri çatlağın uzamasını engelleme özelliklerini artırır; lityum disilikat cam seramiklerin kırılma pekliği lösit cam seramiğe göre anlamlı derecede yüksektir. Lityum disilikat cam seramiğin daha yüksek bükülme dayanımı ve kırılma pekliği sayesinde seramiğin adeziv bağlantı kuvveti artmakta, seramikteki koheziv başarısızlık azaltılmaktadır. (Blatz et al., 2002, Höland et al., 2000, Apel et al., 2008) Kırılma direncinin artmasında kristallerin büyüklüğünün, matris içinde rastgele doğrultularda yönelmiş şekilde türdeş dağılımlarının ve birbirlerinin içine geçer doğrultuda bulunmalarının kristallerin hacimce oranından ve seramiğin kimyasal bileşimine göre daha önemli bir etmen olduğu düşünülmektedir. (Della Bona et al., 2004, Drummond et al., 2000) Gelişmiş mekanik özellikleri sayesinde IPS Empress 2 seramikler önceki IPS Empress sisteminden farklı olarak distal destek dışın ikinci küçük azı dışından daha distalde olmaması kaydıyla üç üyeli köprü restorasyonlarında kullanılabilir. (Della Bona et al., 2004, Drummond et al., 2000)

Lityum disilikat cam seramikler ilk ürünlerinin (IPS Empress 2) estetik özellikleri ise mekanik özelliklerinin tersine cam temelli seramik, feldspatik porselen ve lösit cam seramiklere göre daha zayıftır. Bu nedenle bu ilk nesil lityum disilikat

cam seramikler sadece kor yapımında kullanılabilirler. (Ho and Matinlinna 2011a) IPS Empress 2 cam seramik kor materyalinin kaplayıcı maddesi sinterlenen dentin, insizal, transpa, effect ve impulse malzemeleri şeklinde fluoroapatit cam seramiktir. Kaplayıcı seramik IPS Eris adıyla piyasa sunulmuştur. (Höland et al., 2000)

2.2.2. Yeni Nesil Lityum Disilikat Cam Seramiklerin Yapısı/Özellikleri, IPS e.max CAD, IPS e.max Press

2005 yılında IPS Empress 2 sistemi üzerine geliştirilmiş IPS e.max sistemi restoratif diş hekimliği tam seramik maddeleri konusunda en güncel, konu ile ilgili teknolojideki en son gelişmelerin ve en yeni fikirlerin uygulandığı sistemlerden birisidir. Bu cam seramik $\text{SiO}_2\text{-Li}_2\text{O-K}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$ kimyasal sisteminden elde edilmektedir. Bu sistemde IPS e.max Press ve IPS e.max CAD şeklinde preslenen ve makine ile şekillendirilen lityum disilikat seramikler mevcuttur. IPS e.max'ın fiziksel özellikleri ve yarışeffaflığı IPS Empress 2'ye göre geliştirilmiştir. (Stappert et al., 2006)

2.2.2.1. Üretici Tarafından Üretimi

IPS e.max lityum disilikat kuartz, lityum dioksit, fosfor oksit, alümina, potasyum oksit ve diğer bileşenlerden oluşmaktadır. Lityum disilikat seramik çekirdekler cam teknolojisinin üretim yöntemleri kullanılarak oluşturulur. Çekirdek oluşturulurken eritme, soğutma, iki farklı kristalin birlikte nükleasyonu ve kristallerin büyümesi gibi teknikler uygulanır. IPS e.max sisteminin temel kristal fazı olan lityum disilikat kristalleri hacimsel kristalizasyon adı verilen bir mekanizma sonucu elde edilir. Hacimsel kristalizasyon sayesinde matris içinde türdeş şekilde dağılım gösteren kristal odakları oluşur.

Üretici tarafından basınçla döküm yöntemi kullanılarak üretilen IPS e.max CAD ve IPS e.max Press çekirdeklerinde boşluk ve pigment gibi kusurların oluşumu en aza indirilmiştir. Seramiklerin bu şekildeki üretim yöntemleri klinik performansları üzerinde çok büyük etkide bulunmaktadır. Blok şeklinde üretilmiş seramikler hava içermediklerinden, iç kusurları daha az olduğundan genellikle daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. (Ritter 2010, Tysowsky 2009) Bu maddelerde

üretim sırasında ısıl genleşme miktarı azdır, bu durum ısıl şoklara dirençli bir cam seramik elde edilmesini sağlamaktadır. (Tysowsky 2009)

2.2.2.2. IPS e.max Restorasyonların Üretim Yöntemleri

Restorasyonların üretim, IPS e.max Press blokların basınç ile preslenmesi veya IPS e.max CAD blokların CAD/CAM ile şekillendirilmesi ile gerçekleştirilir. Her iki ürün de bileşim olarak birbirine çok benzemekle birlikte makine ile şekillendirilen bloklara üretim sürecinde farklı ısıl işlem uygulanmaktadır. Bunun sonucunda IPS e.max CAD bloklar kısmi şekilde kristalize edilmiş durumda (blue, translucent state) markete sunulur. Kısmi şekilde kristalize edilmiş bloklarda lityum metasilikat (Li_2SiO_3) temel kristal fazdır. Lityum metasilikat kristali bu bloklarda hacimce %40 oranında bulunmaktadır. Blokların lityum metasilikat kristalleri şeklindeki kısmi kristalizasyonunun amacı makine ile şekillendirilirken şekillendirici aletlerin gereksiz yere aşınmasını önlemek, kolay ve hızlı bir şekilde freze edilmesini sağlamak, aynı zamanda bloklara frezleme işlemine dayanabilecekleri kadar direnç kazandırmak ve milled sırasında parçacık atması şeklinde kırılma (chipping) riskini azaltmaktır. (Höland et al., 2006, Ritter 2010, Tysowsky 2009) Kısmi kristalize fazda renklendirici iyonlar farklı bir oksidasyon gösterdikleri için bu fazda bloklar mavi renkte gözükürler.

Bu tür seramiklere istenilen şekil verildikten sonra 20-30 dakika arasında fırınlanma ile kristalizasyon tamamlanır, restorasyonların fiziksel özellikleri tamamlanır ve tam dayanımlarına ulaşırlar. Fırınlama sonucunda lityum metasilikat kristalleri tam kristalize durumları olan lityum disilikat kristallerine dönüşür. Sonuçta IPS e.max Press'in kristal yapısına ve mekanik özelliklerine benzer bir madde elde edilir. (Giordano 2006) Lityum disilikat cam seramikler kristal fazın bu dönüşümü sırasında % 0,2-0,3 oranında önemsiz sayılacak bir çizgisel büzümeye uğrar. Kristalizasyon tamamlandığında mikroyapı % 70 oranında ince grenli lityum disilikat kristalleri içerecek şekilde değişir. Bu kristaller 3-6 μm uzunluğunda, 0,5 μm kalınlığında, iğne şeklinde ve camsı matrise gömülmüş durumdadır. Lityum metasilikat lityum disilikata dönüştüğünde restorasyonun rengi de istenilen dış

rengine ve yarışeffaflığına dönüşür. (Ritter 2010, Scientific Documentation: IPS e.max Press, Research and Development Scientific Service; Ivoclar, 2005)

IPS e.max sistemi lityum disilikat cam seramikten başka zirkonyum oksit seramik altyapı seçeneği de sunmaktadır. IPS e.max ZirCAD, CAD/CAM yöntemi ile şekillendirilen altyapı seramiğidir. Bu seramiğin üzerine IPS e.max ZirPress, press-on yöntemi ile uygulanan fluoroapatit cam seramiktir. Press-on tekniği olarak adlandırılan sistemdeki seramik ile tam kontürde restorasyon yapılabilir ya da zirkonyum oksit altyapıların veya press-on üstyapının üzerine tabakalama yöntemi ile üstyapı seramiği (IPS e.max Ceram) uygulanabilir. (Scientific Documentation: IPS e.maxCAD, Ivoclar Vivadent September 2005)

2.2.2.3. Monolitik Restorasyon Anlayışı

Diş hekimliği seramik restorasyonlarında altyapı maddesinin mekanik özellikleri başarıyı tek başına belirlememektedir. Tek tek altyapı ve üstyapı maddelerinin yanında altyapı seramiği ile üstyapı seramiğin birlikteliği de restorasyonun klinik başarısını, mekanik özelliklerini ve klinik davranışını etkilemektedir. Kaplayıcı seramik yüzeyinden başlayan çatlakların meydana geldiği durumlarda kaplayıcı seramik tabakasının özellikleri önem kazanmakta ve restorasyonun bükülme dayanımı ve kırılma peklığı değerlerini etkilemektedir. (Conrad et al., 2007) Kaplayıcı seramiğin özellikleri ise altyapı seramiği ile arasındaki bağlantıdan etkilenmektedir. Tabakalama ve ardından sinterleme yöntemi ile üretimde yapıda bazı boşluklar var olabileceğinden bu yöntemlerle üretilen kaplayıcı seramiklerde her zaman tabaka ayrılması riski mevcuttur. İki tabakalı seramiklerde kaplayıcı seramiğin tabaka şeklinde ayrılması, kırılma ve küçük parçacıkların atması gibi başarısızlıklar görülebilir. (Özkurt 2008)

IPS e.max Press ve CAD sistemleri monolitik ve tabakalı restorasyon anlayışlarına farklı bir boyut katmıştır. Bu sistemlerde son restorasyon presleme ya da milleme yöntemi kullanılarak sadece kor kısmının üretilmesi ve bunun üzerinin tabakalama yöntemi ile kaplanması şeklinde üretilebileceği gibi blokların tam kontürde preslenmesi ya da millenmesi ile de elde edilebilir. (Drummond et al., 2000, Ritter 2010) Bu yeni sistemlerdeki monolitik, tek tabakalı uygulama

geleneksel monolitik, tek tabakalı uygulamadan amaç açısından farklıdır. Geleneksel tek tabakalı uygulamada hastanın estetik gereksinimleri öncelikle dikkate alınmakta ve restorasyonun yapı dayanıklılığına daha az önem verilmektedir. (Culp and McLaren 2010) Yeni nesil tek tabakalı uygulamada hastanın estetik gereksinimlerinin yanında yapının mekanik özellikleri de feda edilmemekte, hatta mekanik özellikler ön plana alınıp geliştirilmektedir. (Ritter 2010)

Monolitik bir yapı sayesinde monolitik dayanım özelliği elde edilir. Monolitik restorasyonlar geleneksel feldspatik seramiklerden yaklaşık beş kat daha dayanıklıdır. Bu maddelerin çok düşük kırılma oranları gösterdiği bildirilmiştir. Restorasyonun köşe-kenar dayanımı '*edge strength*' terimi ile 0,1 mm'nin birkaç katı kalınlıktaki restorasyon bölümlerinin dayanımı anlatılır. Monolitik restorasyonlar ince kenarlarda daha yüksek köşe-kenar dayanımı gösterir, daha ince bitirilebilir, çok ince boyutlarda bile ısı ile preslenerek şekillendirilebilir. Bu seramikler monolitik yöntemle üretildiklerinde yapı bütünlüğü çok yüksek seviyededir ve altyapı ile üstyapı ayrılması şeklindeki başarısızlıkların çok düşük oranda olduğu bildirilmiştir. (Ritter 2010) Monolitik tam kuron lityum disilikat seramik kuronlarda kırılma testleri sonucunda kırılmanın yüzeyden kıymık şeklinde ayrılmalar olarak değil, maddenin kendi içinde koheziv ayrılmalar görüldüğü bildirilmiştir. (Ritter 2010)

Monolitik cam seramik yapılar kaplayıcı seramik olmaksızın üstün estetik sunmaktadır. Monolitik yöntemde yüzey renklendirici maddeler kullanılarak sonul renk elde edilmektedir. Bu yöntemin dışında tam tabakalama ve kısmi tabakalama yöntemi de aynı altyapı üzerine uygulanabilmektedir. (Culp and McLaren 2010, Ritter 2010) Bu şekilde farklı üretim yöntemleri maddenin kullanımda çok işlevlilik '*multifonksiyonellik*' sağlamaktadır. Bu özellik aynı zamanda koruyucu yaklaşıma '*minimal invaziv*' daha uygundur. Bu uygulama yöntemleri sayesinde geleneksel seramik materyalde yaşanan mekanik ve estetik özellikleri arasında hassas bir dengenin kurulmasının ötesinde bu iki özelliğin birbirini desteklemesi söz konusu olmaktadır. Böylece monoblok üretim ile hastanın estetik gereksinimleri karşılanırken yapısal ihtiyaçlar da yerine getirilmektedir.

2.2.2.4. Optik Özellikler

IPS e.max sisteminde seramiklerin optik özellikleri büyük bir çeşitlilik göstermektedir. Yeni nesil lityum disilikat sistemlerin ışık geçirgenliği çok yüksek yarışeffaflık ile çok fazla opaklık arasında değişir. Seramiğin ışık geçirgenliğini camsı ve kristalin fazlarıyla mikroyapısı, parçacık büyüklüğü, parçacık yoğunluğu, ışığı kırma endeksi ve porozite gibi diğer özellikler de etkiler. (Giordano and McLaren 2010) Monoblok, tek tabakalı maddelerde renk pigmentleri türdeş bir şekilde dağılmıştır. Bu sayede renk kusurları en aza inmiştir. (Ritter 2010, Tysowsky 2009)

IPS e.max Press sisteminde bloklar 4 farklı yarışeffaflık derecesine sahiptir. Bunlar yüksek seviyede opaklık 'high opacity' (HO), orta seviyede opaklık 'medium opacity' (MO), düşük seviyede yarı şeffaflık 'low translucency' (LT) ve yüksek seviyede yarı şeffaflık 'high translucency' (HT) şeklindedir. Her bir yarışeffaflık derecesi için de farklı renklerde ve biri tek üye için küçük boyutta, diğeri üç üyeli restorasyonlar için büyük boyutta bloklar mevcuttur. Yarışeffaflıkları az olan bloklar altyapı maddesi olarak kullanılırken yarışeffaflığı fazla olan bloklar ile tam kontürde restorasyonlar yapılabilir. Yüksek seviyede opasiteye (HO) sahip çekirdeklerle dayanak diş yapısındaki renklenmeler maskelenebilir. MO çekirdekler tam tabakalama yöntemi ile kullanılabilir, LT çekirdekler tam kontürde restorasyon üretimi ve boyama-glaze yöntemiyle veya kısmi tabakalama yöntemiyle kullanılabilir. HT çekirdekler ise özellikle tam kontürde restorasyon üretimi ve bunun boyama-glazelenme yöntemi için uygundur. LT ve HT çekirdekler yarışeffaf özellikte olmaları sayesinde hekimin restorasyon kenarlarını istediği konumda yerleştirmesine imkan tanımaktadır. Bu durum özellikle parsiyel preparasyon yapılan inley, onley ve veneerler için istenen bir özelliktir. HO ve MO gibi opasitesi artırılmış çekirdeklerin kullanımında restorasyon kenarı hafif opaklık göstereceğinden dişeti hizasında ve dişeti altında konumlanmalı, kalın bir basamak oluşturulmalıdır. (Culp and McLaren 2010)

IPS e.max CAD sisteminde bloklar medium opacity (MO), low translucency (LT) ve high translucency (HT) şeklinde üç farklı yarışeffaflığa sahiptir. Farklı yarışeffaflıklar için farklı renk (shade) seçenekleri bulunmaktadır. Tek üyeli

restorasyonlar için HT ve LT yarışeffaflıklarındaki seramikler 2 ayrı boyuttur. Bunlar I 12 ve C 14 olarak isimlendirilir. Bunların yanında HT yarışeffaflığında köprü restorasyonlarında kullanılan CAD bloklar (B40) da mevcuttur. Bu HT B40 çekirdekleri CAD-On yöntemi ile kullanılmaktadır. CAD-On terimi IPS e.max sisteminde zirkonyum oksit (IPS e.max ZirCAD) ya da lityum dioksit (IPS e.max CAD) altyapıların CAD/CAM yöntemi ile elde edilmesi, bu seramiklerin üstyapısını oluşturacak IPS e.max CAD HT B40 blokların ise bilgisayar destekli millenmesi, son olarak da bu iki seramik arasında türdeş bir bağlantının özel bir cam seramik (IPS e.max CAD Crystall/Connect fusion glass-ceramic) kullanılarak sağlanmasını tanımlar. Bu sistem altyapı ve üstyapının aynı anda üretilmesi ve üretim işlemlerinin kısa sürmesi, üstyapı seramiğinin monolitik yüksek dayanım göstermesi ve estetiğın üstünlüğü gibi avantajlar sunmaktadır. Bu yöntemle arka bölgede doğal diş ya da implant destekli iki gövdeli dört üyeye kadar köprü restorasyonları üretilebilir.

2.2.2.5. Mekanik Özellikler

Yüksek dayanım ve kırılma peklığı özellikleri sayesinde IPS e.max sistemi restorasyonlar dental arkın her bölgesinde tek kuron endikasyonlarında kullanılabilir. IPS e.max Press ve IPS e.max CAD'in geliştirilmiş mekanik özellikleri sayesinde 0,8 mm kalınlıkta hazırlanan lityum disilikat altyapılar 400 ± 40 MPa kadar kırılma direnci göstermektedir. (Scientific Documentation: IPS e.max Press, Research and Development Scientific Service; Ivoclar, 2005) IPS e.max CAD'in tam seramik maddeleri arasında en yüksek dayanım ve devamlılığa sahip madde olduğu bildirilmiştir. (Ritter 2010)

IPS e.max'in fiziksel özellikleri ISO 6872 dental seramikler ve ISO 9693 metal-seramik dental restoratif sistemlerle uyumludur. Biyouyumluluk özellikler, kimyasal çözünürlük, in vitro sitotoksisite, duyarlılık ve irritasyon, radyoaktivite özellikleri olumludur. (Scientific Documentation: IPS e.max Press, Research and Development Scientific Service; Ivoclar, 2005)

Tablo 2. IPS e.max Press'in fiziksel ve kimyasal özellikleri

Isıl genişleme katsayısı (100-400°C) [$10^{-6}/K$]	10,2
Isıl genişleme katsayısı (100-500 °C) [$10^{-6}/K$]	10,5
Biaksiyel bükülme dayanımı [MPa]	360
Kırılma pekliği [$MPa m^{0,5}$]	2,25
Elastiklik katsayısı [GPa]	95
Vickers sertliği [MPa]	5800
Kimyasal çözünürlük [$\mu g/cm^2$]	40
Kristalizasyon derecesi [$^{\circ}C$]	840-850

Tablo 3. IPS e.max CAD'in fiziksel ve kimyasal özellikleri

Isıl genişleme katsayısı (100-400°C) [$10^{-6}/K$]	10,2
Isıl genişleme katsayısı (100-500 °C) [$10^{-6}/K$]	10,5
Biaksiyel bükülme dayanımı [MPa]	400
Kırılma pekliği [$MPa m^{0,5}$]	2,75
Elastiklik katsayısı [GPa]	95
Vickers sertliği [MPa]	5800
Kimyasal çözünürlük [$\mu g/cm^2$]	40
Basınçla kalıplama derecesi EP 600 [$^{\circ}C$]	915-920

2.2.2.6. IPS e.max Press ve IPS e.max CAD Seramiklerin Klinikte Kullanımı

IPS e.max Press seramikler; inley, onley, ince veneer, parsiyel kuron, tek kuron, ön bölgede üç üyeli köprü, küçük azalarda üç üyeli köprü, teleskobik primer kuron ve implant üstyapılarında kullanılabilir. (Ritter 2010, Vargas et al., 2011) IPS e.max CAD seramikler ise inley, onley, veneer, kısmi kuronlar, tek kuronlar, teleskobik primer kuronlar, üç üyeli köprüler ve implant üstyapılarında kullanılırlar.

Klinikte lityum disilikat restorasyonları kullanırken tam seramik restorasyonlarda dikkat edilmesi gereken preparasyon tasarımı, stresin yönetilmesi-yönlendirilmesi, simantasyon yöntemi gibi konuların yanında lityum disilikat altyapının minimum kalınlığına (0,8 mm) da dikkat edilmelidir. IPS e.max CAD ve Press altyapıların iç yüzeyleri kumlanmamalıdır. IPS e.max CAD köprü

altyapılarının iç yüzeylerinin kumlanması sonucunda yapının kırılma dayanımının anlamlı şekilde azaldığı bildirilmiştir. (Scientific Documentation: IPS e.maxCAD, Ivoclar Vivadent September 2005, Ritter 2010)

IPS e.max CAD ve Press seramiklerin klinik takip sonuçları genellikle olumludur. Klinik takiplerde sıklıkla karşılaşılan bir durum simantasyon sonrasında ağızda restorasyonun kenarlarında parçacık atması ya da kırılmadır. Bu durumlarda tam seramik restorasyonların tamiri zordur. Kaplanmış zirkonya sistemleri ile karşılaştırıldığında IPS e.max CAD lityum disilikat tam kuronların parçacık atması kırıkları ve kırılmada klinik performanslarının mükemmel olduğu bildirilmiştir.

2.2.2.7. IPS e.max CAD ve IPS e.max Press Restorasyonların Simantasyonu

Tam seramik restorasyonların dayanımı kullanılan seramik maddesi, altyapı-kaplayıcı seramik arasındaki bağlantı dayanımı, kuronun kalınlığı ve restorasyonun tasarımı, simantasyon yöntemleri ve destekleyici maddenin niteliklerine bağlıdır. (Conrad et al., 2007) Bu etmenlerden simantasyon tam seramik restorasyonların klinik başarısında büyük öneme sahiptir. (Kumbuloğlu et al., 2005)

IPS e.max'ın simantasyonunda genellikle adeziv simanlar tercih edilirken üretici firma rezin simanların yanısıra geleneksel simanların da kullanılabileceği belirtmiştir. Bununla birlikte IPS e.max CAD adeziv simanlarla bağlandığında geleneksel simanlara (örn: çinko fosfat siman) göre daha yüksek bağ değerleri ölçülmüştür. (Scientific Documentation: IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent September 2005) Pagniano ve ark. lityum disilikat seramiklerin adeziv simantasyonunun kırılma direncini %47,6 arttırdığını, Clelland ve ark. ise rezin siman-seramik arasındaki bağlantının rezin siman-dentin arasındaki bağlantıya oranla kırılma direnci üzerinde daha etkili bir faktör olduğunu bildirilmiştir. (Pagniano et al., 2005, Clelland et al., 2007)

2.3. Simantasyon

Mevcut diş hekimliği maddelerine klinikte yeni uygulama alanları eklenmesi ve yeni maddelerin geliştirilmesi sonucunda restoratif diş hekimliği devamlı bir değişim içindedir.

Estetik seramik restorasyonların endikasyonları seramiklerin mekanik özelliklerinin ve bağlayıcı sistemlerin gelişmesi sayesinde geçmişe göre çok çeşitlenmiş ve gelişmiştir. Restorasyonların klinik ömrü ve başarısı hasta ile hekime bağlı etmenlerden etkilenir. Hasta restorasyonun başarısını ağız bakımı, diyet ve fonksiyonel alışkanlıklarıyla etkilerken hekim ise diş preparasyonu, ölçü ve simantasyon ile restorasyonun başarısına etkide bulunur. (Vargas et al., 2011) Simantasyon indirekt restorasyonların tutuculuk, kenar uyumlarını ve uzun süre kullanılabilirliğini sağlayan önemli bir aşamadır. Bu aşama o kadar önemlidir ki adeziv bağlanmanın restorasyonun başarısı üzerindeki etkisinin kullanılan restoratif maddeye göre daha fazla olduğu yönünde genel bir kanı vardır. (Roulet et al., 1995, Vargas et al., 2011) Diş dokuları ile restorasyon arasında uygun bir simantasyon yöntemi seçilerek yapıştırma simanları yoluyla adezyon sağlandığında diş-restorasyon birleşimi bütünsel bir sistem gibi davranır, kırılma direnci ve tutuculuk artar, oklüzal kuvvetler türdeş şekilde dağıtılır, erken bağ ayrılmasına ya da mikrosızıntıya yol açabilecek stres yoğunlaşmaları ve çatlak oluşumu önlenir, restorasyon kenarlarında renk bozulması ve ikincil çürüklerin oluşmasının önüne geçilir ve sonuç olarak restorasyonun klinik ömrü artabilir (Eduardo et al., 2012, Ho and Matinlinna 2011b, Meng et al., 2008, Madina et al., 2010, Vasconcellos et al., 2007, Roulet et al., 1995, Ikemura et al., 2011b, de Carvalho et al., 2011, Li 2010, Blatz et al., 2003, Santos et al., 2009, Pereira 2006) Uygun simantasyon modunun seçiminde çeşitli etmenler etkilidir. Bunlar; restoratif maddenin özellikleri, kenar uyumu, restorasyonun türü, restorasyon yüzeyinin bağlantı için hazırlanma yöntemi, simanların özellikleri ile oklüzyon, nem kontrolü, dayanak yapının madde türü, restorasyon kenarının dişetine göre konumu, dayanağın mobilitesi, dişin konumu gibi çeşitli klinik etmenlerdir. (Edelhoff and Ozcan 2007) Yetersiz simantasyon restorasyon için çok zararlıdır; zayıf bir adezyon sonucunda restoratif maddede oluşan çatlak seramik-diş dokusu veya seramik-siman arayüzü boyunca kolaylıkla

ilerler, sonuçta restorasyon parçalar halinde yerinden çıkabilir. (Roulet et al., 1995) Tam seramik restorasyonlarda başarısızlığın en çok simantasyon ve restorasyonun iç yüzeyinden kaynaklandığı bildirilmiştir. (Nakamura et al., 2004, Santos et al., 2009) Başarılı bir simantasyon; seramik-rezin siman-dayanak madde arasında en yakın temasın elde edilmesi sayesinde dayanak görevindeki diş dokusu ile restorasyon arasındaki boşluğun bozulmaya karşı dayanıklı bir şekilde mühürlenmesini, güvenilir bir tutuculuğu ve yeterli optik özelliklerin elde edilmesini sağlar. (Edelhoff and Özcan 2007)

Diş hekimliğinde simantasyon uygulamaları adeziv ve adeziv olmayanlar olarak ikiye ayrılır. Adeziv simantasyon restoratif madde ile dayanak arasında bir bağlayıcı ajan kullanılması yoluyla adeziv kimyasal bağlanma ve mikromekanik kilitlenmenin birlikte gerçekleştiği uygulamalardır. Adeziv simantasyon neredeyse bütün endikasyonlarda kullanılabilirken özellikle tutucu bir forma sahip olmayan restorasyonlarda endikedir. Adeziv simantasyonda mine veya dentine adeziv sistemler uygulanır ve simantasyon rezin siman kullanımı ile gerçekleştirilir. (Vargas et al., 2011, Edelhoff and Özcan 2007)

Adeziv yapıştırma simanlarının bulununun yapılması ile tam seramik sabit protetik diş tedavisi olanakları çok gelişmiştir. Geçmişte tam seramik restorasyonların klinik başarısında en önemli engellerden birisi etkili bir simantasyonun gerçekleştirilememiş olmasıydı. Seramiklerin fırınlanması sonucundaki büzülmeleri nedeniyle tam seramiklerde siman kalınlığı 200 µm'ye kadar çıkıyor ve çinko fosfat veya cam iyonomer siman kullanıldığında bu büyük siman aralığının varlığı nedeniyle mekanik ve çözünme gibi özelliklerde sorunlar yaşanıyordu. Adeziv rezin simanların ön işlem uygulanmış yüzeylere üstün adezyon göstermeleri, sertliklerin fazla olması, düşük çözünürlükleri, üstün mekanik özellikleri ve iyi estetik özellikleriyle bu sorunların üstesinden gelinmesini sağlamıştır. (Pegoraro et al., 2007) Adeziv simantasyon sayesinde restorasyon ile restorasyonu destekleyen diş dokusu mekanik olarak tek bir parça oluşturacak şekilde birbirine bağlanmaktadır. Böylelikle çiğneme sırasında oluşan kuvvetler yapıya daha iyi dağılmakta ve restorasyonun kırılma riski azalmaktadır.

Seramiklerdeki gelişmeler sayesinde adeziv ya da adeziv olmayan simantasyonun klinikte anlamlı fark yaratmadığını bildiren çalışmalar bulunmaktadır. (Vargas et al., 2011) Buna karşılık tutucu alanın az ve yetersiz olduğu kısmi kuronlar, inleyler, onley ve porselen laminate veneerler gibi restorasyonlarda bağlantının rezinle gerçekleştirilmesi tam seramik restorasyonların güvenilir bir bağ kurmasını ve sistemin bütün parçalarının tek bir tümleşik yapı gibi davranmasını sağladığından bir zorunluluktur (Fabianelli et al., 2010, Spohr et al., 2003). Adeziv simantasyonda kullanılan rezin simanlar yarı şeffaf özellikteki cam seramik restoratif maddeleri ile kullanıldığında çok üstün estetik sonuç vermekte, aynı zamanda makrotutuculuk gereksinimini azaltmakta ya da ortadan kaldırmaktadır. Bu tür bir tedavi sayesinde sağlam diş dokusu büyük oranda korunmaktadır. (Edelhoff and Ozcan 2007) Klinik ve laboratuvar çalışmaları tam seramik restorasyonların rezin simanlarla adeziv bağlandığında geleneksel simanlarla yapıştırıldıklarından daha fazla kırılma peklığı gösterdiğini ve daha başarılı olduğunu bildirmektedir. (Blatz et al., 2004, Nakamura et al., 2004) Bütün bu durumlar nedeniyle tam seramik restorasyonların adeziv simantasyonu önerilmektedir.

Seramik ile rezin kompozit arasındaki bağlantının devamlılık özelliği rezin bağlı restorasyonların kullanımının çok artması ve porselen kırıklarının tamiri uygulaması nedeniyle büyük önem kazanmıştır. Diş hekimliği adeziv simantasyonları iki arayüz temel alınarak incelenir. Bu arayüzlerden birincisi diş dokusu-adeziv-rezin siman arayüzü iken ikincisi rezin siman-adeziv-seramik restorasyon arayüzüdür. (Pereira et al., 2010) Seramik ile diş yüzeyi arasında bağ kurulurken bu iki arayüzde en iyi bağ kuvvetinin sağlanması gerekmektedir. Bu iki arayüzdeki bağlantının özelliği restorasyonun en son bağ dayanımını belirlemektedir.

Tam seramik maddelerin adeziv simanlarla kullanılımlarında daha iyi bir adezyon için restorasyonların yüzeylerine bir takım işlemler yapılmalıdır. Seramik ile rezin arasında yüksek dayanım ve devamlılık gösteren bir bağın elde edilmesi için gerçekleştirilen yüzey işlemleri çok önemlidir. Adeziv bağlantı kurulacak madde yüzeyine bağlantı öncesinde gerçekleştirilen uygulamalar fiziksel (örn: kumlama, asitle pürüzlendirme), kimyasal (örn: primer uygulanması) ve çoğunlukla da bu ikisinin birleşimi (örn: silika biriktirme + silan uygulama) olarak sınıflandırılabilir. (Mair and Padipatvuthikul 2010, Shimakura et al., 2007, Lung and Matinlinna 2012,

Pegoraro et al., 2007, Alex 2008) Fiziksel hazırlık işlemlerinde amaç yüzeyde bağlantı gerçekleşecek alanı artırmak ve kimyasal tepkimeye etkin yüzeyi daha fazla ortaya çıkacak şekilde değiştirmektir. İndirekt restorasyonların adeziv simantasyon uygulamalarında yüzeyin fiziksel işlemlerle pürüzlendirmesi etkili olmasına rağmen rezin adezivlerle en iyi bağlanmanın sağlanması için yeterli değildir; adezyonun klinik başarısı için restorasyonların bağlantı kuracak olan iç yüzeylerine kimyasal bağın kurulmasını sağlayacak primer veya bağlayıcı ajanların uygulanması gerekmektedir. Kimyasal hazırlık işlemlerinde bağlantıyı artırmak için tipik olarak silan bağlayıcı ajanlar ve fonksiyonel monomerler kullanılmaktadır. (Shimakura et al., 2007, Pisani-Proenca et al., 2006, Pereira et al., 2010, Kern and Thompson 1994, Matinlinna and Valittu 2007, Matinlinna et al., 2004a)

2.3.1. Silan Bağlayıcı Ajanlar

Sanayide, tıp ve diş hekimliğindeki çoğu uygulamada birbirine benzemeyen inorganik maddelerle polimer yapısındaki organik maddeler özel işlemlerle birleştirilmesi gerekmektedir. Bu tür farklı özellikteki maddeler birbirleriyle kimyasal bağ kuracakları arayüzde doğaları gereğince çok zayıf hatta yok derecesinde etkileşim gösterirler. İşte bu durumlarda bağlayıcı ajan ‘coupling agent’ diye adlandırılan bileşikler kullanılır. (Lung and Matinlinna 2012)

Silanlar hem inorganik güçlendirici maddeleri ve hem de kompozit maddelerin rezin matrisleri ile tepkimeye girebilen bağlayıcı ajanlardır. (Novais et al., 2012) Silanlar bir ya da daha fazla silikon atomu içeren, tipik olarak doğrudan C-Si bağlarına sahip, silikon atomlarına reaktif organik köklerin ve hidrolize edilebilir ester gruplarının bağlı olduğu monomer şeklindeki sentetik inorganik-organik hibrit bileşenlerdir. Silanlar ortoesterleri anımsatırlar, bifonksiyonel ve iki yönlü tepkime ‘*dual reactivity*’ özelliklerine sahiptirler. (Matinlinna et al., 2004a)

Organosilanlar; $Y-(R_1R_2R_3)SiX_n$ ($n=1-3$) genel formülüne sahip, hidrolitik tepkime açısından etkin olan silikon temelli işlevsel grup (SiX_n) içeren özel organik silikon bileşen sınıfıdır. (R: su ile parçalanmayan ‘*nonhydrolyzable*’ organik substituent, Y: reaktif fonksiyonel grup, X: alkoksi grubu)

Organosilan moleküllerinin bir uçları inorganik madde (örn: seramik) yüzeyindeki –OH grupları ile üç boyutlu dallı yapıdaki siloksan (-Si-O-Si-) film bağı kurarken diğer uçları sahip oldukları –C=C grupları sayesinde organik rezin matrisin monomerleri ile çapraz kopolimerizasyon gerçekleştirmektedir. Bu şekilde bifonksiyonel özellikleri sayesinde silanlar birbirinden farklı inorganik ve organik matrisler arasında kimyasal köprü kurarak adezyonu sağlamaktadırlar (Rosen 1978, Matinlinna et al., 2004a, Mair and Padipatvuthikul 2010). Bir başka ifade ile silanlar hidrofobik rezin kompozitler ile hidrofilik silika kaplı yüzeyler arasında adezyonu sağlamaktadırlar. (Plueddemann 1970)

Silanlar ikili bağlayıcılık işlevlerini kimyasal tepkimeler yoluyla gerçekleştirirler; inorganik yüzeylerle olan bağlayıcılık için silanlar hidrolize edilmelidir, diğer bağlayıcılık fonksiyonu ise silan molekülü üzerindeki C=C bağı içeren metakrilat gruplarının rezin kompozit matrisin monomerleri ile kopolimerize olmasıyla gerçekleşir. (Ho and Matinlinna 2011b)

Organosilanlar inorganik ve organik maddeler ile tepkimeye girmelerinin yanısıra birbirleriyle veya diğer silanların oluşturduğu hibrit organik-inorganik yapılar ile tepkimeye girerler. (Antonucci et al., 2005) Her iki durumda da arayüzde dayanıklı kovalent bağ oluşur ve sonuçta adezyon ile yüzeylerarası bağın devamlılığı gelişir. (Witucki 1993)

Silanlar adezyonu geliştiren yüzey primer ajanları olarak da tanımlanabilir. Silanlarla gerçekleştirilen işleme yüzeyi hazırlama ‘conditioning’ ya da ‘priming’ denir. Silanlar işlevlerine ve substrat maddesine bağlı olarak primer (hazırlayıcı), coupling agent (bağlayıcı ajanlar) ya da ‘size’ (ahar, haşıl) olarak isimlendirilir. (Matinlinna et al., 2004a) Bir yüzeye silan uygulanmasına silanlama ‘*silanization*, *silanation*’ adı verilir.

Silanların onlarca çeşidi organik adezivler ile seramik veya metaller arasında bağlantıyı sağlamak amacıyla çeşitli sanayi dallarında 1940’lardan bu yana kullanılmaktadır. Silanlar sanayide çelik üretiminde korozyonun önlenmesi ve SiO₂ yüzey kaplayıcılarının elde edilmesi gibi farklı uygulamalarda kullanılırken alkoksi silanlar çeşitli sanayi dallarında boya, mürekkep, adezivler ve su uzaklaştırıcılar ‘repellents’ olarak kullanılmakta olup uygulandıkları maddelere sıcak, soğuk, nem ve

kimyasal etkilere karşı soyulma ve penetrasyon direnci kazandırır. Alkoksifonksiyonel silanlar adezyon geliştiriciler, çapraz bağlayıcılar ve hidrofoblar olarak kullanılırken inorganik yüzeyler ile polimerler şeklinde moleküller arasındaki adezyonu sağlamak için yüzey kaplanmasında kullanılırlar. (Witucki 1993, Monticelli et al., 2006a) Silanlanmış camlara ısı uygulaması cam sanayisinde en yüksek bağ kuvvetinin eldesi amacıyla gerçekleştirilen bir işlemdir.

2.3.1.1. Diş Hekimliğinde Silanlar

Silanlar seramik restorasyonlar ve bunların rezin kompozitlerle tamirinde, cam fiber destekli kompozitlerde, rezin kompozit içindeki camsı doldurucuların kaplanmasında, silika ile kaplanmış metal ve metal alaşımlarının rezin kompozitlerle simantasyonunda adezyon geliştiriciler olarak diş hekimliğinde uzun zamandır kullanılmaktadır. (Lung and Matinlinna 2012, Matinlinna and Valittu 2007, Matinlinna et al., 2004a) 1960'ların başında Vanderbilt ve Simkon plastik maddelerin silan bağlayıcı uygulanmış cam parçacıkları ile desteklendiği bildirmiştir. Bunun ardından Bowen 1963 yılında silan bağlayıcı kullanarak güçlendirilmiş kompozit rezinden restoratif bir madde geliştirmiştir. (Bowen and Rodriguez 1962) Paffenbarger ve ark. 1967 yılında porselen takım dişlerin akrilik rezine bağlantısında silan bağlayıcı ajan kullanılmasının sonuçlarını paylaşmıştır. Diş hekimliğine silanların adeziv bağlantıda kullanımı ilk kez 1977 yılında Eames ve ark tarafından önerilmiştir. (Eames et al., 1977) Bu ilk çalışmaların ardından çok sayıda araştırmacı farklı seramik bağlantı sistemlerinin silan bağlayıcılarla ilişkisini incelemiştir. Bu araştırmalara daha sonra ağız içinde kırılmış seramik restorasyonların tamiri de dahil edilmiştir. (Barghi et al., 2000, Lee and Im 2003)

Diş hekimliğinde rezin kompozitlerle zirkonya, feldspatik seramik, cam infiltre alümina ve lösitle güçlendirilmiş seramik, cam seramikler gibi çeşitli seramik maddeleri arasındaki adeziv bağlanmada silan bağlayıcı ajanlar kullanımı kararlı bağlanmanın kurulması için standart ve zorunlu bir uygulamadır. (Madina et al., 2010, Lung and Matinlinna 2012) Silan uygulanmadan gerçekleştirilen rezin-seramik bağlantılarının zayıf olduğu, kararlı özellik göstermediği, termal siklus ve suda bekletme gibi uygulamalar sonucunda büyük ölçüde zayıfladığı bilinmektedir. Bu

durum silan bağlayıcı ajanla elde edilmiş kimyasal adezyonun önemini açıkça göstermektedir. (Brentel et al., 2007, Nagai et al., 2005, Salvio et al., 2007)

Silanlar seramik yüzeyinde var olan ya da oluşturulan silika dioksit ile tepkimeye girerek bu maddelerin yüzeyini restoratif rezinlerle daha kolay kimyasal bağ kuracak şekilde değiştirmektedir. (Barghi et al., 2000) Bu yolla silan bağlayıcı ajanlar adeziv simantasyonda kararlı bağlantı sağlanmasında kritik rol oynarlar ve bağlantı değerini artırır. (Lung and Matinlinna 2012, Blatz et al., 2004) Silan uygulanmış seramikle rezin simanın bağı sayesinde restorasyona gelen stresler destek dokularında dağılmakta ve böylece seramik-adeziv arayüzü ile dentin-adeziv arayüzünde güvenilir bağlanma gerçekleşmektedir. (Hill 2007, Zortuk et al., 2010, Pereira et al., 2010)

Seramik restorasyonların giderek artan şekilde kullanılması sonucunda güvenilir seramik bağlantı sistemlerine daha şiddetli şekilde gereksinim duyulmaktadır. Bağlanmanın etkili olması seramik inleyler ve veneerler gibi restorasyonların prognozunu doğrudan etkileyeceğinden rezin kompozitlere en iyi bağlantı yönteminin belirlenmesi önemli bir konudur. Bu konuda silan uygulaması açıkça önem kazanmaktadır. Seramik-kompozit arasındaki bağ dayanımına kullanılan silanın kimyasal yapısı, silanın etkinleştirilmesinde kullanılan asitin derişimi, silanın markası, uygulama yöntemi, depolama süresi ve silanın kurutulma yöntemleri, silanla rezin siman arasındaki kimyasal uyum etki edebilmektedir. (Roulet et al., 1995, Antonucci et al., 2005, Pereira et al., 2010, Lung and Matinlinna 2012, Matsumura et al., 1997)

2.3.1.2. Diş Hekimliğinde Adezyon Kavramı ve Silanlar

Diş hekimliğinde iki maddenin fizikokimyasal olarak birleşmesini ifade eden adezyon kavramı çok büyük öneme sahiptir. (Uludamar 2007) Diş ile restoratif madde arasında iyi bir adezyonun ve kuvvetli bir bağı gerçekleşmesi diş restorasyonlarının başarısında çok önemli bir rol oynamaktadır. Seramik yüzeyi ile rezin siman arasındaki çok yakın arayüz teması kararlı ve bozulmaz bir bağ için önemli bir etmendir. (Meng et al., 2008, Santos et al., 2009)

Adezyon birbiriyle sıkı temasa getirilen iki cismin yapışmasına neden olan kuvvettir. Bir maddenin molekülleri diğerinin moleküllerine çekilir ve bağlantı kurulur. Adeziv bağlanma; adherent ‘yapışılan’ ve adeziv ‘yapışan’ madde arasındaki yüzey enerjisi ve ıslanabilirliğe bağlıdır. Bir sıvının yüzeyi tamamen ıslatabilmesi ve yüzeyin her bölgesinde dengeli bir şekilde yayılması için adezivin düşük vizkoziteye sahip olması ve yüzey geriliminin de yüzeyin kritik yüzey geriliminden daha düşük olması gerekmektedir. (Ho and Matinlinna 2011b, Della-Bona 2005) Diş hekimliği seramikleri ile kompozit arasındaki adezyon temelde seramik substrat ile adeziv arasındaki fiziksel etkileşimin bir sonucudur. Bu yönden adezyon olayının fiziksel temelinde maddenin yüzey topografyasında gerçekleştirilen değişiklikler bulunmaktadır. (Della-Bona 2005) Seramik yüzeyindeki topografik değişiklikler seramiğin yüzey alanını, yüzey enerjisini, ıslanma kapasitesini ve seramik ile kompozit arasındaki adezyon potansiyelini değiştirmektedir. Substratın topografisi yüzey enerjisi ile tanımlanabilir. Toplam yüzey enerjisinin ve ıslanabilirliğin göstergesi olarak temas açısı değeri ele alınır. (Pereira 2006)

Silan bağlayıcı ajanlar iki yönlü işlev ‘*bifonksiyonel*’ özellikleri sayesinde yüzeyin rezinlerle ıslanabilirliği ve temasını artırmakta, seramiğin yüzey enerjisi ve rezin simanın seramik yüzeyini nemlendirmesini ‘*damping*’ artırarak ıslak fiziksel adezyonu geliştirmekte, yüzeyi kimyasal olarak tepkimeye daha yatkın hale getirerek seramik yüzey ile rezin arasındaki kimyasal adezyonunu artırmaktadır. (Della-Bona 2005, Ho and Matinlinna 2011b, Blatz et al., 2003) Silan kaplanmış yüzey hidrofobik ve adeziv rezinlere karşı organofilik özellik kazanmaktadır, bu özellikler sayesinde rezinin seramik yüzeyinde oluşturulan mikroskobik boşluklara ve pürüzlü yüzeylerdeki düzensizliklere daha iyi temas etmesi ve infiltre olması beklenmektedir. (Madina et al., 2010, Ho and Matinlinna 2011b, Addison and Fleming 2004) Silan uygulamasının hem kimyasal hem de fiziksel adezyonu geliştirmesine karşın sadece silan ile kimyasal temelli olarak hazırlanmış seramik yüzeyde yüksek temas açısı değeri bildirilmiştir. Bu nedenle adezyon sürecinin sadece yüzey enerjisinin değiştiği kimyasal temelli bir olay olmadığı, sadece silanlama ile yani yüzey topografyasını değiştirmeden yüzey enerjisinde istenilen artışın elde edilemeyeceği, sadece kimyasal temelli bir etkinin istenilen sonucu vermediği ancak fiziksel ve kimyasal işlemler birlikte uygulandığında seramik yüzeylerin toplam yüzey alanı ve yüzey

enerjisi arttığı için böylece adezyon için gereken fiziksel-kimyasal etkileşimin gerçekleştiği ileri sürülmüştür. (Della-Bona 2005) Sonuç olarak seramik ya da metal yüzeyine silan uygulanmasının temel nedeni silanların rezin ile seramik yüzey arasındaki adezyonu artırmasıdır (Mair and Padipatvuthikul 2010).

Seramiğe farklı yüzey hazırlama yöntemleri ile birlikte silan bağlayıcı ajan uygulandığında kimyasal kovalent bağlanma ve hidrojen bağının kurulması gerçekleşmekte ve bu sayede silika temelli seramikler ile rezin arasında yeterli bir bağlantı kurulmaktadır (Ikemura et al., 2011b).

2.3.1.3. Silanlarla Sağlanan Bağın Devamlılığı

Seramik ve metallerin rezin kompozitlerle kurduğu bağın ağız ortamında uzun süre kararlı özellik göstermesi istenmektedir. Simante edilmiş restorasyonlar ve bunların seramik-siman-adeziv-diş arayüzleri ağız ortamında pH değişikliklerine ve ıslak bir çevreye maruz kalır. Nemli ortamda bulunma sonucunda bağlantı arayüzünde stres ve çatlak oluşmaktadır (Matinlinna et al., 2004a). Silan uygulaması sayesinde seramik yüzey ile rezin siman arasında devamlılık gösteren bağın sağlandığı, arayüzdeki sızıntının en aza indiği belirtilmesine (Salvio et al., 2007, Akova et al., 2007, Meng et al., 2008, Kato et al., 1996, Hooshmand et al., 2002, Nagai et al., 2005, Spohr et al., 2003, Blatz et al., 2003) karşın silanlarla gerçekleştirilen adeziv bağın hidrolitik stabilitesi konusunda çekinceler ileri sürülmüştür. (Lung and Matinlinna 2012, Pereira et al., 2010)

Silan ile rezin polimer matris arasında kurulan C-C kovalent bağları su ile parçalayıcı ataklara karşı çok dayanıklı olmakla birlikte silan ile mineral arasında kurulan oksan bağı kovalent bağı olduğu için önemli bir iyonik karaktere de sahiptir ve bu nedenle hidrolize duyarlıdır. (Antonucci et al., 2005) Rezinlerde su emme 'sorption' ve suyu geçirme yaşandığından seramik ile rezin bağlantı arayüzünde nemli bir ortam oluşabilmektedir. Seramik yüzeyine adsorbe olmuş siloksan tabakasının ve siloksan bağının su ile parçalanmaya kararlı karşı koyuşunun 'hidrolitik stabilite' sulu ortam içinde siloksan bağının hidrolizine bağlı olarak uzun süre zarfında bozulduğu düşünülmektedir. (Salvio et al., 2007, Meng et al., 2008, Barghi 2000, Matinlinna et al., 2004, Nihei et al., 2002, Matinlinna et al., 2005b,

Passos et al., 2008., Shahverdi et al., 1998, Li 2010, Aida et al., 2008, Nogami et al., 2004, Liu et al., 2011, Della-Bona 2005, Brentel et al., 2007, Foxton et al., 2002) Si-O bağlarının su emilimi sonrasındaki hidrolizi silan geçirgenliği şeklinde tanımlanır. (Spohr et al., 2003)

Siloksan bağının (Si-O-Si) nemli ortam içindeki dayanımı ve hidrolitik bozulma silanla gerçekleşen bağın devamlılığı ve kararlılığı için önemli bir konudur. Hidrolitik degradasyon olayı restorasyonun klinik performansını olumsuz olarak etkileyebilir, seramik yüzeyin en dış katmanında bağ ayrılması ‘debonding’ olayı daha kuvvetli şekilde gelişebilir ve sonuç olarak restorasyon başarısız olabilir. (Roulet et al., 1995)

2.3.1.4. Dış Hekimliğinde Kullanılan Silanların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Silan bağlayıcı ajanları asitleştirilmiş su-alkol ya da aseton çözeltisi içinde üç tane, kimyasal olarak labil, hidrolize edilebilen alkoksi grubundan ve organik matris ile kopolimerize olabilen organofonksiyonel grup karışımından oluşan hibrit inorganik-organo-fonksiyonel trialkoksisilan monomerleridir. (Papacchini et al., 2007)

Dış hekimliğinde kullanılan alkoksisilanların genel formülü;

$Y-(R_1R_2R_3) SiX_n$ (n=1-3) şeklindedir.

R: (R₁, R₂,R₃) grupları alkil, aromatik, organofonksiyonel ya da bu grupların birleşiminden oluşabilen suya dayanıklı organik substituentlerdir, bunlar aynı ya da farklı olabilirler, içlerinden en az bir tanesinin reaktif fonksiyonel grup ‘Y’ olması gerekmektedir. (Antonucci et al., 2005) ‘R’ organik fonksiyonel kısımları (örn: vinil, allil, amino, isosianato) organik matris ve yüzey kaplama polimerleri ile birlikte tepkimeye ‘co-reaction’ girebilirler. Örnek olarak metakrilat ya da epoksi -oxiran-grupları metakrilik ya da epoksi monomerler ile kopolimerleşir. (Matinlinna et al., 2004a, Klemper et al., 1994)

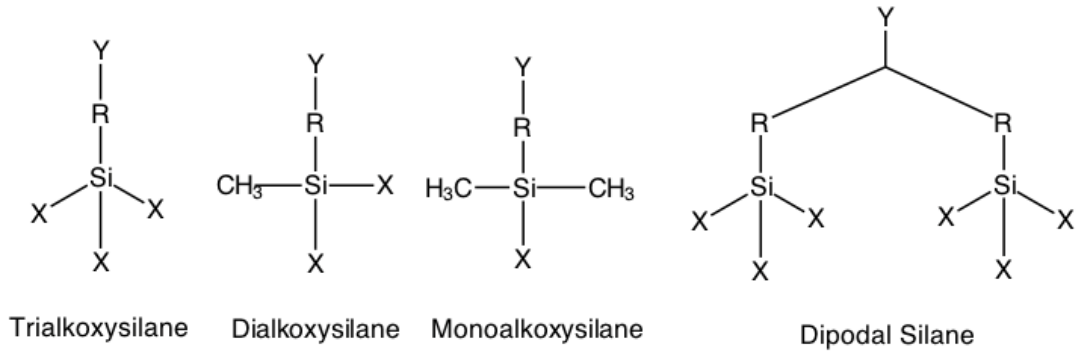
Y: organik matris ile tepkimeye giren reaktif fonksiyonel gruptur. Bu organofonksiyonel grup rezin kompozit sistemlerindeki çift bağ içeren monomerler

ile kopolimerize olabilir. Bu grup genellikle metakrilattır. Silanlara organik uyumluluk özelliği kazandırmakta ve silanların dimetakrilat rezin kompozit sistemlerinin monomerleriyle kullanıldıklarında birbirine geçen şekilde ağ oluşumunu ‘interpenetrating polymer network, IPN’ sağlayıp çapraz bağ kurulmasını gerçekleştirmektedir.

SiX_n : silika içeren yüzeylerle bağ kurabilme ve adezyon geliştirme ‘*adhesion promoting*’ özelliğine sahip gruplardır. ‘X’ alkoksi kısmını temsil eder, bazen –OR şeklinde de yazılabilir. (Lung and Matinlinna 2012) X substitüenti –Cl, –NH₂, –OCH₃, –OCH₂CH₃, –O₂CCH₃ gibi gruplar olabilir, su ile parçalanmaya ‘hidrolize’ hazırdır, su ile tepkimeleri sonucunda RSiX₂(OH), RSiX(OH)₂, RSi(OH)₃ gibi labil silanol aramaddeleri ‘intermediate’ oluşturur. Örnek olarak metoksi içeren silan ester grupları (-Si-O-CH₃) hidrolize olduklarında hidrofilik labil silanol gruplarını (=Si-OH) oluşur. (Antonucci et al., 2005, Ho and Matinlinna 2011b, Ikemura et al., 2011a) Diş hekimliğinde kullanılan silanlarda X substitüenti çoğu zaman metoksi ya da etoksidir. Silanların alkoksi gruplarında var olan metoksi grubu kinetik özellikleri nedeniyle görece hızlı bir şekilde hidrolize olabilme özelliğine sahiptir. (Ho and Matinlinna 2011b) Bu alkoksi grupları (metoksi ve etoksi) hidrolize olduktan sonra inorganik kaide maddelerinin çeşitli –OH grupları ile tepkimeye girer ve bu tepkime sonucunda etanol ya da metanol açığa çıkar. Metoksi grubu içeren silanların etoksi grubu taşıyanlara göre anlamlı şekilde daha yüksek bağ kuvveti sağladığı bildirilmiştir. (Sakai et al., 2011) Buna karşın silandaki alkoksi gruplarının hidrolizi sonunda oluşacak ürünün toksisitesi ve sağlığa etkisi düşünülerek silan olarak 3-MPTES (etoksi silan) de kullanılabilir. (Ikemura et al., 2011a) Silanların ‘X’ grupları inorganik malzemelerle, pigmentlerle ya da doldurucularla bağlantıyı sağlar, yüzey kaplama ve adezyon özellikleri geliştirir, metoksi grupları ayrıca hidroksi fonksiyonel polimerlerle de tepkimeye girebilir. (Witucki 1993, Antonucci et al., 2005)

Silan molekülünün taşıdığı X (alkoksi) grubu sayısı bir, iki ya da üç olabilir. X substitüenti tek bir fonksiyonel alkoksi grubu taşıdığında silanlar monoalkoksisilan olarak adlandırılırlar ve bu silanlar tek tabakalı arayüzler oluşturabilirken dialkoksi- ve trialkoksi- silanlar hidroliz sonrası silanol formlarında çok tabakalı arayüzler oluştururlar. (Antonucci et al., 2005, Sakai et al., 2011) (Şekil

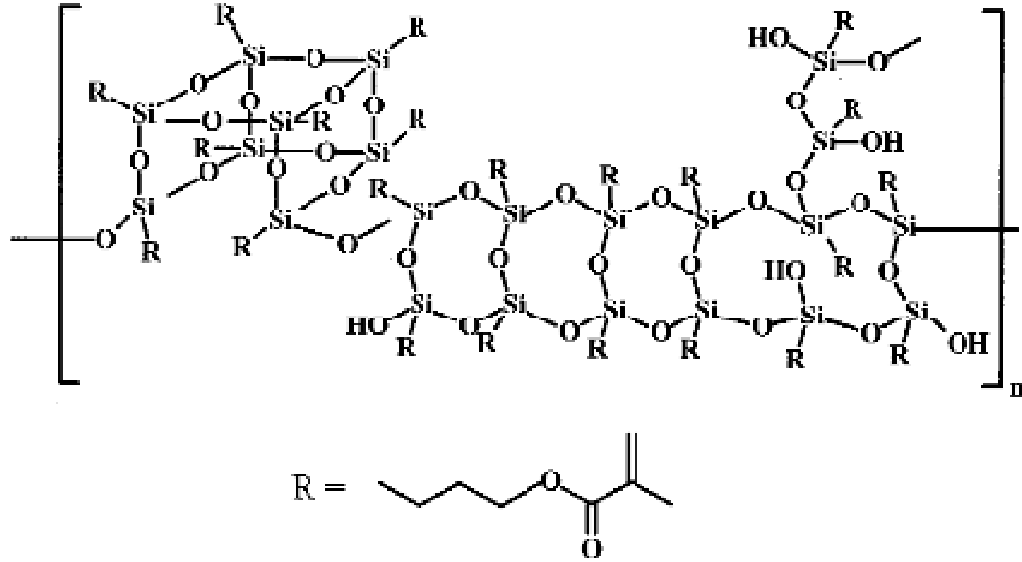
1.) Üç tane metoksi grubu içeren silan monomerlerinin iki tane metoksi grubu içeren silan monomerlerinden daha yüksek bağ dayanımı sağladığı bildirilmiştir. (Sakai et al., 2011) Bunun yanında silan molekülündeki Si atomu sayısı bir, iki ya da üç olabilir. Bu durumlarda silanlar monofonksiyonel (Si atomu sayısı bir), bisfonksiyonel (Si atomu sayısı iki) ve trifonksiyonel (Si atomu sayısı üç) olarak adlandırılır. (Matinlinna et al., 2004a) Bisfonksiyonel bir silanın mono ya da trisilikon fonksiyonel grulu silanlara göre polimer-silika arayüzünde daha stabil özellik gösterdiği bildirilmiştir.



Şekil 1. Silan molekülünün taşıdığı (alkoksi) grubu ve silika atomu sayısına göre silanların isimleri

Cam ile metakrilik rezinin bağlanmasında bisfonksiyonel silanların kullanılması mükemmel bağ dayanımı ve su ‘hidrolitik’ direnci göstermiştir. Bu özellikteki bisfonksiyonel silanların monofonksiyonel silanlarla karıştırılması kararlı ve sürekli bir bağlantı arayüzü için önerilmiştir. (Matinlinna et al., 2004a) Trifonksiyonel silanların üç boyutlu yoğunlaşma tepkimeleri sonucunda silsesquioxane’lar oluşmaktadır. Silseskioksan oligomerleri ile polimerleri arasındaki fark $-\text{Si}(\text{OH})$ ’nin yoğunlaşma seviyesidir. Organosilan ara maddeleri ‘intermediatları’ silika ya da hidroksil gruplarının olmadığı ortamlarda karmaşık bir hidroliz ve kendinden yoğunlaşma tepkimesi geçirir, bu tepkimeler sonucunda dimerler, trimerler, tetramerler ve sonuçta oligomerler ve silseskioksan ‘silsesquioxane’ $(\text{RSiO}_{1.5})_n$ genel formülü ile gösterilen polimerler oluşur. Formüldeki R, organik substituenti, n ise oligomer içindeki birim tanecik sayısını ifade etmektedir. Bu aramaddelerde oksijen atomlarının silikon atomlarına stoikiometrik oranı 1,5’dir. T-rezinler olarak da adlandırılan organosilseskioksanlar ‘organosilsesquioxane’ kendilerine özgü melez organik-inorganik oligomerik ya da

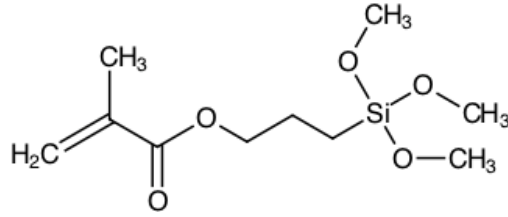
polimerik, karmaşık, kendisini tekrar eden kafes benzeri yapıda maddelerdir. Bu rezinler silikaya benzerlik göstermektedir ve diş hekimliği maddelerinden rezin matris faz bileşenleri ya da silika doldurucular olarak kullanılabilirler. (Antonucci et al., 2005)



Şekil 2. MPS ve suyun birleşmesiyle oluşan silsesquioxane'ların yapısı. Silsesquioxane'lar ile polimerlerin temel farkı $-SiOH$ 'nin kondensasyon derecesidir.

Silan çözeltileri genellikle çözücü, zayıf bir asit ve silandan oluşan sistemlerdir. Seramiğin bağlanmasını geliştiren silan monomerlerine 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPS) ve silika parçacıklarına yapılan yüzey işlemlerinde kullanılan tris (2-methoxyethoxy)vinylsilane örnek gösterilebilir. (Sakai et al., 2011) Çağdaş diş hekimliği uygulamalarında en sık kullanılan silan γ -methacryloyloxypropyltrimethoxysilane (MPS) ya da diğer bir isimle 3-trimetoksisililpropilmetakrilat'tır. (Matinlinna et al., 2004a, Barghi 2000) MPS genellikle etanol, su ve genellikle asetik asit gibi zayıf bir asitten oluşan çözeltide önceden hidrolize edilmiş 'prehidrolize' şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemlerde MPS hacimce %1-5'lik miktarda bulunmaktadır, çözeltinin pH'si 4-5 arasındadır, asetik asit ile asiditesi ayarlanmakta ve silan önceden hidrolize edilmiş 'prehidrolize' durumdadır. (Lung and Matinlinna 2012, Ho and Matinlinna 2011b) Silan çözeltilerinin asetik asit gibi zayıf bir asit içermesinin nedeni asidik ortamda silanın su ile parçalanma tepkimesinin hızlanması ve siloksan bağı oluşumunun daha fazla

olmasıdır. (Ikemura et al., 2011b, Blatz et al., 2002, Matinlinna et al., 2004a, Ho and Matinlinna 2011b, Monticelli et al., 2006a)



3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (γ -methacryloxypropyltrimethoxysilane)

Şekil 3. MPS'nin yapısı

Silan bağlayıcı ajanlarda çözücü olarak genellikle hidrofilik çözücüler -aseton, etanol, ferrik klorit etanol- tercih edilmektedir. Bunun nedeni hidrofilik çözücülerin hidrofobik çözücülere göre daha az toksik özellik göstermesidir. (Ikemura et al., 2011b) Alkol çözeltisi kullanmak bir yüzeyi silanlamada en kolay ve düz yöntemdir; silan çözeltilerinde genellikle polar özellikte sulu alkol (etanol, isopropanol) ve etil asetat çözeltileri kullanılır. (Witucki 1993) Diş hekimliğinde kullanılan silanlar genellikle %90-95'lik etanol ya da isopropanol çözeltileri içinde kullanılmaktadır, bununla birlikte daha seyreltik alkol çözeltilerinde de kullanılabilirler. Çözücü olarak aseton-etanol karışımının sulu çözeltileri de kullanılabilir. (Matinlinna et al., 2004a)

2.3.1.5. Çok Amaçlı Primerler ve Fonksiyonel Monomerler

Silanın kimyasal yapı, molekül büyüklüğü, hidrofobiklik, reaktivite, fonksiyonellik, silan tabakasının yönelimi gibi fiziksel-kimyasal özellikleri elde edilen adezyonu etkilemektedir. (Antonucci et al., 2005) Ağız ortamında diş sert dokuları, diş hekimliği seramikleri, soy ve soy olmayan metal alaşımlar, kompozit rezinler gibi çok çeşitli adherentler bir arada bulunduğundan estetik diş hekimliğinde sadece seramikle etkileşime giren silan bağlayıcı sistemler dışında çok amaçlı primerler geliştirilmiştir. (Kurata and Umemoto 2007) Bu tür maddelerin üretilmesinde klinikte kullanımı risk oluşturan HF asitin uygulanmasına gerek olmaması için silanlarla elde edilen adezyonun ideal duruma getirilmek istenmesi de etkilidir. (Pereira 2006) Polimer kimyasındaki gelişmeler sonucunda seramik yüzeylerin adezyon için hazırlanmasında yeni nesil çoklu bileşenlere sahip

'multicomponent' sıvılar üretilmiştir. Bu tür seramik primerleri silan molekülüne ek olarak iki ya da üç çözücü içinde asidik monomerler ve dentin bağlayıcı ajanlar içerebilmektedir. Bu primerlerin içinde bulunan asidik monomerler seramik yüzeyindeki metal oksitler ile kendiliğinden bağ kurabilmekte, rezin bağlayıcı ajanların ise rezin siman ile bağlantıyı artırdığı düşünülmektedir.

İki veya daha çok bileşenden oluşan bu seramik primer sistemlerine yüzey hazırlığını gerçekleştiren 'surface conditioning' maddeler adı verilirken bu tür çok amaçlı primerlerin içindeki maddeler ise adeziv veya fonksiyonel monomerler olarak isimlendirilir. Fonksiyonel monomerler temel olarak diş dokuları ile metallerin bağlantısını gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. (Shimakura et al., 2007) Adeziv monomerler ligand monomerler olarak diş sert dokularındaki hidroksiapatitle primer iyonik bağ kurarken zirkonya, alumina temelli seramikler ve baz metallerin yüzeyindeki metal oksitlerle tepkimeye girerler. (Ikemura et al., 2011a, Ikemura et al., 2011b, Van Meerbeek et al., 2010)

Adeziv monomerlerin yapılarında hem hidrofilik hem de hidrofobik parçalar bulunmakta, bu monomerler radikal polimerleşmesi gerçekleştirebilmektedir. Adeziv monomerler üç temel kısımdan oluşmaktadır; 1-Polimerize olabilen fonksiyonel grup 2-Birleştirici grup 3-Adezyon sağlayıcı grup. (Ikemura et al., 2011a) Bu monomerlere fosfat ester içeren primerler, karboksilik asit içeren primerler ve sülfür içeren primerler örnek olarak gösterilebilir. (Lung and Matinlinna 2012, Ikemura et al., 2011b) Silan bağlayıcı ajanlar bağlama tepkimesi '*coupling reaction*' yoluyla gerçekleşen adezyon sağlama özellikleri nedeniyle silika bazlı seramikler için adeziv monomerler kategorisinde sayılmaktadırlar. (Ikemura et al., 2011a)

Adeziv monomerlerin asidik, hidrofilik grupları adeziv monomerin bağ kuracağı yüzey ile kimyasal etkileşime girerler. Hidrofilik asidik kısımlarının özellikleri monomerin bağlantı performansını etkiler. Monomerlerin hidrofilik kısımlarında karboksilik asit, karboksilik asit anhidrit grubu, fosfonik asit ya da fosforik asit grupları bulunabilir. (Ikemura et al., 2007)

Adeziv monomerler metaller için bağlantıyı anlamlı şekilde artırmakla birlikte seramiklerle bağlantı için uygun değildirler. Silanların asidik fonksiyonel monomerlerle karıştırılarak primer olarak kullanılması seramiklerin bağlantı

kapasitesini artırdığı bildirilmiştir. (Shimakura et al., 2007, Matinlinna et al., 2004a, Nogami et al., 2004) İki maddenin birlikte kullanımı sonucunda bağlantı kuvvetindeki artışın nedeni olarak seramiklerin büyük oranda silika içermekle birlikte çok farklı oksitler de içermesi ve bu metal oksitlerin silanın sadece silika ile gerçekleşen bağlantı kapasitesini azaltması gösterilmiştir. (Shimakura et al., 2007) Bu durum asidik adeziv monomerlerin silan bağlayıcı ajan-silika temelli seramik arasında sağlam bir adezyonun sağlanmasında gerekli olduğunu göstermektedir. (Ikemura et al., 2011b, Nogami et al., 2004) Buna karşın silan bağlayıcı ajan içermeden sadece fonksiyonel monomerler içeren bazı özel bağlayıcı sistemler için de başarılı sonuçlar bildirilmiştir. (Mair and Padipatvuthikul 2010)

Asidik adeziv monomerlerin hem silanları etkinleştirmeleri hem de çeşitli substratlarla kimyasal bağ kurmaları nedeniyle diş hekimliği silan ve asidik adeziv monomer içeren çok şişeli sistemler üretilmiş ve kullanıma sunulmuştur. (Ozcan et al., 2011, Shimakura et al., 2007) Silan primer sistemi içine rezin simanların monomerleri ile kimyasal tepkimeye girmesi amacıyla adeziv monomerlerden ayrı olarak metakrilat monomerleri de dahil edilebilmektedir. Bu sistemler inorganik asit veya sulu çözücü içermemekte, bunun yerine bir silan çözeltilisinden ve bundan ayrı bir şişede silanı etkinleştirecek katalistten ya da organik çözücü içinde suya dirençli asidik monomerden oluşmaktadır. (Matsumura et al., 1997) Bu sistemlere Clapearl Bonding Agent ve Clearfil Porcelain Bond (Kuraray) örnek verilebilir. Her iki sistem de üç şişeden oluşmaktadır. İlk üründe iki şişe dual-kür bağlayıcı ajanı meydana getirirken üçüncü şişede silan bağlayıcı ajan vardır. Clearfil Porcelain Bond'da ise iki şişe kimyasal etkinleşen bağlayıcı ajanı meydana getirirken üçüncü şişede silan bağlayıcı ajan bulunmaktadır. (Matsumura et al., 1997)

Silan primerlerindeki asidik adeziv monomerlerin asiditelerinin rezin siman-porselen arasındaki bağı etkilediği bildirilmiştir. (Ikemura et al., 2011b, Li 2010, Nogami et al., 2004) Silan bağlayıcının alkoksi gruplarının klinik kullanımın hemen öncesinde hızla hidrolizasyonunun katalistlenmesinde karboksilik asit, fosfat monomerleri, fosfonik asit gibi farklı asidik monomerler kullanılabilir. (Sakai et al., 2011, Nogami et al., 2004) MDP'nin varlığında silanın hızla hidrolize olduğu, MDP çözeltilisindeki asetonun ise silanın kondensasyon tepkimesini etkinleştirdiği bildirilmiştir. (Shimakura et al., 2007, Ozcan et al., 2011) İki şişeli silan

primerlerinin sistemin bir şişesinde mevcut bulunan karboksilik ya da fosfat monomerleri ile etkinleştirilerek kullanılmasının silan bağlayıcının tek başına kullanılmasına göre daha yüksek bağ değeri verdiğini ve termal siklus uygulaması sonrasında bağ değerinin daha yüksek olduğu bildirmiştir. (Papacchini et al., 2007, Nogami et al., 2004) Bu sonuç silanların asidik monomer ile etkinleştirilmesinin önemini göstermektedir. (Ikemura et al., 2011b, Nogami et al., 2004) Farklı adeziv monomerlerle etkinleştirilmiş silan bağlayıcı sistemleri ile gerçekleştirilen bir çalışmada karboksilik asit monomeri ile etkinleştirilmiş silanların ısıl döngü sonrasında bağ performansının daha iyi olduğu bildirilmiştir. (Pereira 2006)

2.3.1.6. Silanların Tepkimeleri

Silanlar gerçekleştirdiği tepkime dört aşamadan oluşur.

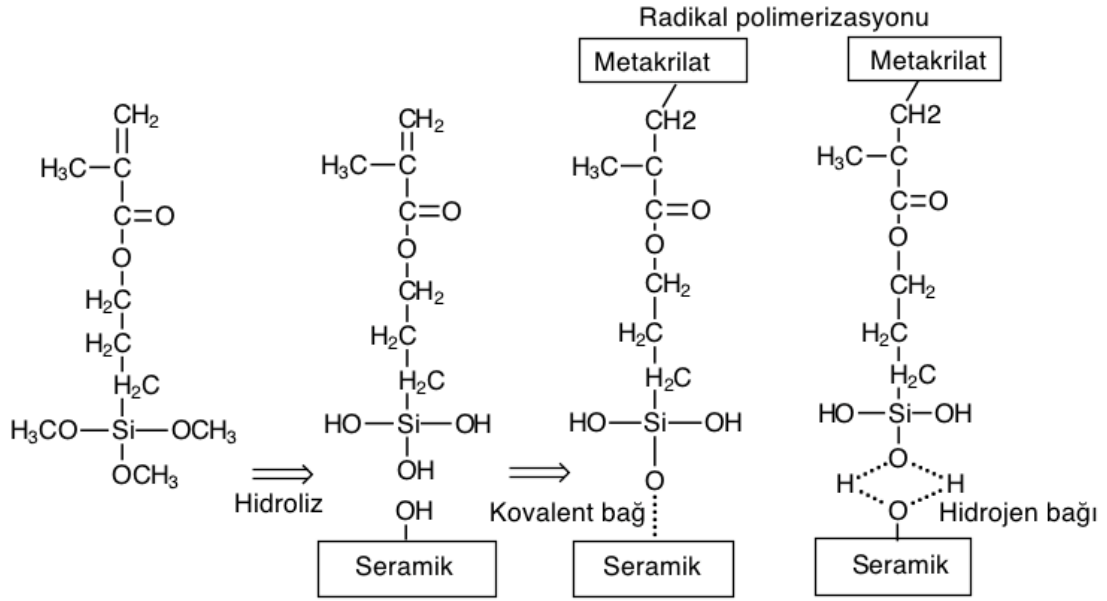
Bunlar;

1-Alkoksil gruplarının hidrolizi,

2-Silan monomerlerinin oligomer oluşturacak şekilde yoğunlaşması ‘kondensasyon’,

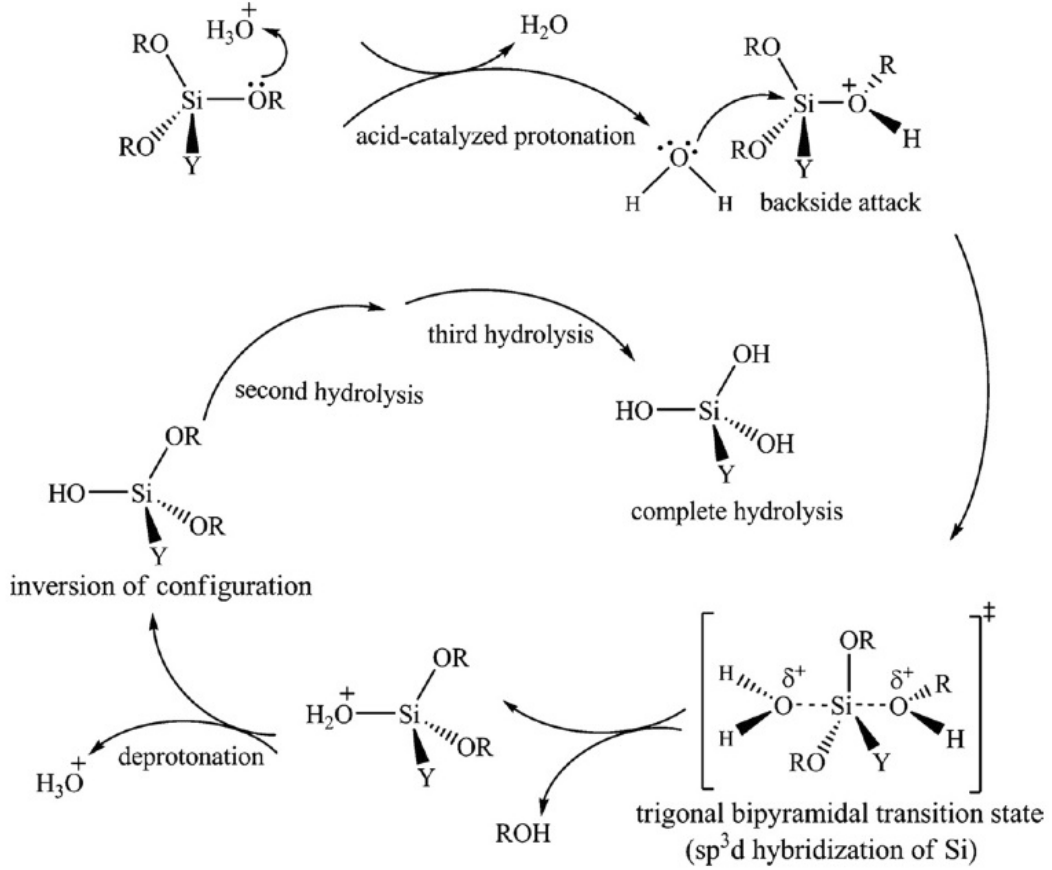
3-Hidrojen bağı oluşumu,

4-Kürün gerçekleştirilmesinin ardından substrat ile kovalent bağı kurulmasıdır. (Witucki 1993)



Şekil 4. MPS ve seramik yüzey arasındaki kimyasal etkileşimi gösteren şekil.

Silanlar organik-inorganik maddeler arasında adezyon geliştirici olarak kullanılması için genellikle asidik etanol-su çözeltisi ortamında bir katalist aracılığıyla hidrolize olmalıdır. Silanın etkinleşmesi için hidrolizasyon tepkimesi geçirmesi gereklidir, hidrolize olmuş silan etkinleştirilmiş, aktive silan olarak adlandırılır. Silan bağlayıcıların seramiklere bağlanma mekanizmasında ilk tepkime olan hidroliz asidik monomer veya ısı uygulanmasıyla da başlatılabilir. (Nogami et al., 2004) Hidroliz için gereken su atmosferdeki nemden ya da substrat yüzeyinden sağlanırken bazı durumlarda hidroliz derecesini artırmak için silan çözeltisine su eklemek gerekebilir. (Witucki 1993, Shimakura et al., 2007)



Şekil 5. Silanın asidik ortamda hidroliz tepkimesi ile silanol oluşumu

A-İlk aşamada silanın alkoksi grupları pH=4 iken hızlı ve geri dönebilir şekilde protonlanır (protonation).

B-Merkezi atom olan silikon elektrophil hale gelir. Su molekülü ise nükleofil özelliindedir. Su molekülü Si atomuna saldırır.

C-Si atomu ile nükleofil arasında ‘penta-coordinate trigonal bipyramidal transition state’ durumu oluşur.

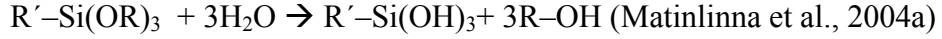
Ç-Si atomu ile nükleofil arasında yeni bir bağ kurulur. Si atomu ile ayrılan grup (ROH, alkol) arasındaki bağ kırılır.

D-Son olarak deprotonation ve konfigurasyonun tersine dönmesi ile hidrolize ürün oluşur. (Lung and Matinlinna 2012)

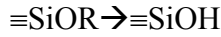
Bir başka ifade ile hidrolizasyon tepkimesinde asidik çözeltide silanların alkoksi grupları su ile tepkimeye girer, silanın silikon atomuna bağlı fonksiyonel grubu hidrolize olur ve bunun sonucunda reaktif, hidrofilik, asidik silanol grupları

(Si-OH) oluşur, yan ürün olarak serbest alkol açığa çıkar. (Matinlinna et al., 2004a, Ikemura et al., 2011b) Oluşan silanol gruplarının asiditesi silanın organofonksiyonel grubuna bağlı olarak değişir.

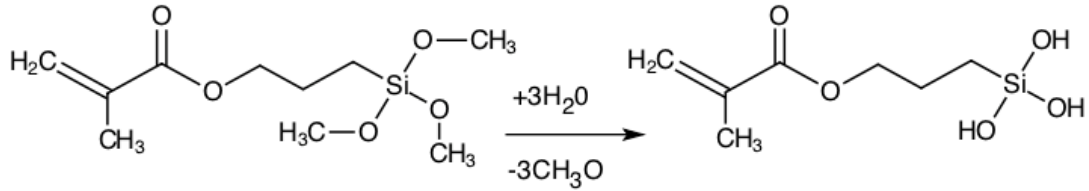
Silanın hidroliz tepkimesi;



daha basit şekilde olarak ise;



şeklinde formüle edilebilir. (Lung and Matinlinna 2012)



Şekil 6. MPS'nin hidroliz tepkimesinin basitleştirilmiş çizimi

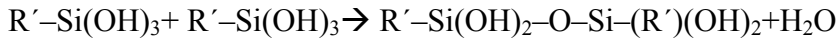
İdeal koşullarda silan molekülü etkinleştirildiğinde molekülün uç kısmındaki üç tane alkoksi (genellikle metoksi (-OCH₃)) grubunun da hidroksil (-OH) gruplarına dönüşmesi beklenmektedir. Gerçekte ise bu üç gruptan birisi ya da ikisi dönüşmekte, sonuçta hidrolizi tamamlanmamış ve potansiyel olarak daha az etkin bir silan oluşmaktadır. (Ho and Matinlinna 2011b) Hidrolizin tamamlanması silanın yüzeye kimyasal olarak adsorbe olabilmesi ve silanın sulu ortamdaki bağ kararlılığı için önemlidir (Ikemura et al., 2011b, Li 2010, Nogami et al., 2004); hidrolizin daha yüksek derecede gerçekleşmesi sonucunda silan bağlayıcı ajanın daha yüksek bağ dayanımı sağladığı bildirilmiştir. (Spohr et al., 2003, Pereira 2006) Etkinleştirilmeden uygulanan silanın bağ kuvvetinde termal siklus uygulanmasının ardından çok büyük düşüş görülmektedir. (Nogami et al., 2004)

Silanların hidroliz süresi; silanın derişiminden, çözülden, sıcaklıktan, silanın moleküler yapısından ve ortamın pH'sından etkilenir. (Matinlinna et al., 2004a, Monticelli et al., 2006a) Silan çözültilerine asidik bileşenin ilave edilmesi sonucunda silanın silikon atomuna bağlı fonksiyonel grubundaki metoksi parçasının kinetik özellikleri nedeniyle hidrolizinin hızlandığı temel bir ilke olarak kabul edilmektedir. Asit bileşenin silan çözültisine ilavesinin aynı zamanda hidrolize olmuş silanların

seramik yüzeyine siloksan ve hidrojen bağları ile adsorbe olmalarını etkilemektedir; silan moleküllerinin farklı derişim ve pH'deki asitlerle etkinleştirilmesinin seramik-rezin arasındaki bağı etkilediği bildirilmiştir. (Li 2010, Monticelli et al., 2006a) pH'de değişiklik yapılması istendiğinde çoğunlukla asetik asit kullanılmaktadır. (Matinlinna et al., 2004a)

Alkoksi gruplarının su ile parçalanması ile oluşan silanollerle inorganik yüzey arasındaki tepkime devam edip geliştğinde bağlayıcı moleküller daha sıkı şekilde biraraya gelme düzeni alırlar ve su kaybederek yoğunlaşma tepkimesi gerçekleşir. Bu tepkime sonucunda silanoller ile -OH'dan zengin mineral yüzeyi arasında ve silan tabakasının kendi içinde siloksan bağları (Si-O-Si) oluşur. (Monticelli et al., 2006a, Matinlinna et al., 2004, Lin et al., 2000)

Silanın kondansasyon tepkimesi;



şeklinde gösterilebilir (Matinlinna et al., 2004a).

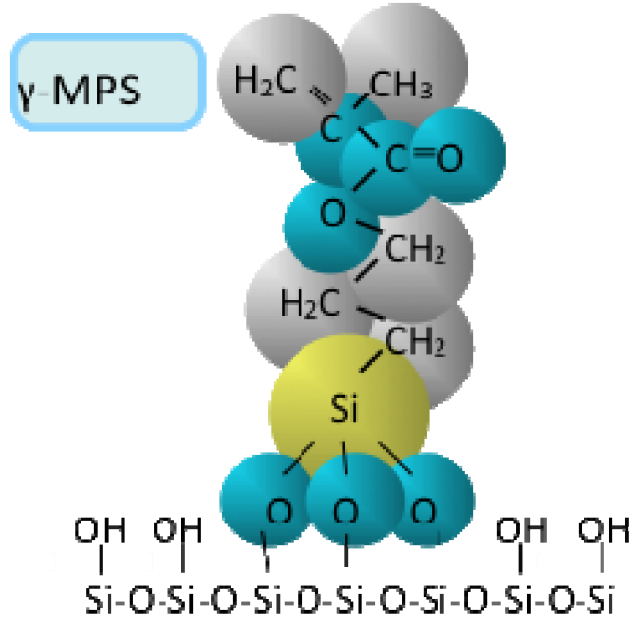
Silanollerin birbirleriyle yoğunlaşma tepkimesi en başta kısmi özelliktedir; önce küçük boyutlu dimerler, ardından düşük moleköl ağırlıklı siloksan oligomerleri ve en son olarak moleköl ağırlığı fazla siloksan oligomerleri oluşur. (Ikemura et al., 2011b, Lung and Matinlinna 2012) Silanoller arasında kendiliğinden yoğunlaşma tepkimesi 'self condensation' de gerçekleşmektedir. Bu tepkime etkinleşmiş durumdaki silanol hidrojeninin daha elektrofilik ve çok daha reaktif olması, bunun silanol grubu için yüksek bir dipol momenti oluşması ve bunların molekölü hidrojen bağı kurmaya teşvik etmesi ile açıklanır. (Witucki 1993) Silanlar bir yüzeye en iyi monomer şeklinde yani kondanse olmamış halde iken adsorbe olmaktadır. (Hooshmand et al., 2004) Bu nedenle hidrolize silanın yüzeye uygulanma öncesinde özellikle büyük oligomerler şeklinde kondanse olması istenmeyen bir durumdur.

Kısmi kondansasyon tepkimesinde oluşan oligomerlerin büyüklükleri silan molekölünün yapısı, sıcaklık, çözücü sistem ve pH'den etkilenir. Diş hekimliği silanlarında asidik koşullarda oluşan hidroliz ürünlerinin küçük boyutlu dimerler ve düşük moleköl ağırlıklı oligomerler olması amacıyla çoğunlukla metoksi ve etoksi gibi küçük boyutlu alkoksi grupları kullanılmaktadır. Bu grupların kullanılması

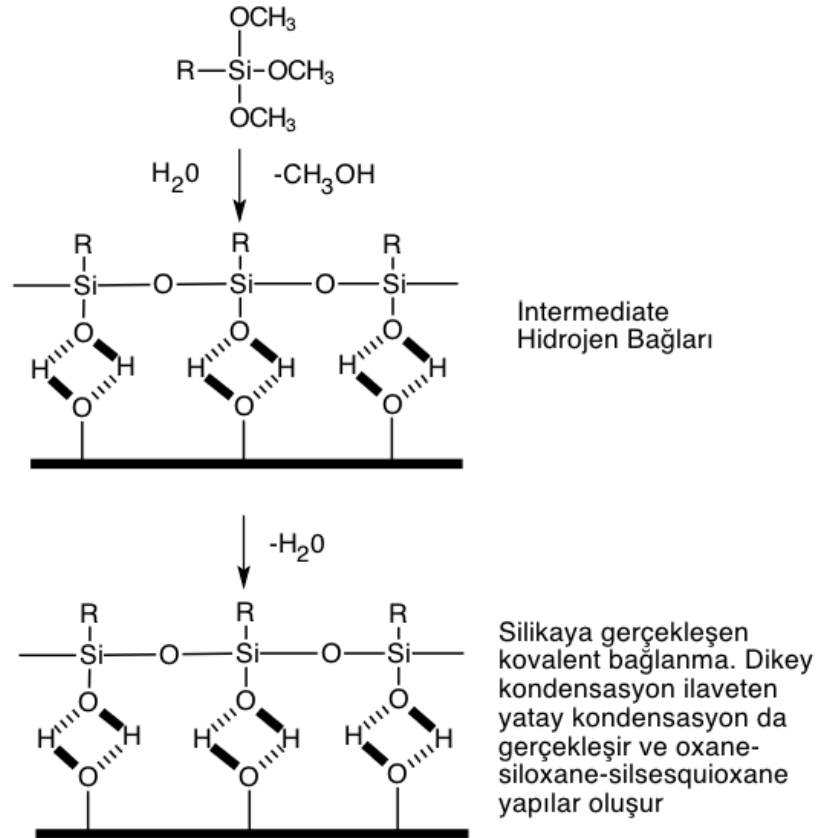
sayesinde etkinleşmiş silanın daha büyük molekül ağırlıklı oligomerlere kondansasyon hızı azalmıştır. (Lung and Matinlinna 2012)

Etkinleştirilmiş haldeki organotrialkoksisilanlarda pH=4 iken silanol gruplarının birbirleri ile kendiliğinden gerçekleşen kondansasyon tepkimesi yapma hızı en az seviyededir, bu nedenle bu pH'deki silan çözeltileri yüksek bir kararlılığa 'stabiliteye' sahiptir. Taze çözeltiler hazırlayarak, alkol çözücüler kullanarak, seyrelterek ya da pH aralığını dikkatlice belirleyerek bu kendiliğinden yoğunlaşma tepkimesi denetim altına alınabilmektedir. (Witucki 1993)

Kısmi kondansasyon tepkimesiyle oluşan siloksan oligomerleri çözelti içindeki siloksan monomerleri ile hidrojen bağı kurarlarken silika temelli seramik yüzeyine de hidrojen bağı ile adsorbe olurlar. Silanın inorganik yüzeyle kurduğu bağlara oksan 'oxane' bağı denirken silanların kendi aralarında kurdukları bağlara siloksan 'siloxane' bağları denir. (Antonucci et al., 2005) Oksan bağları dikey yönlü yoğunlaşma tepkimesi ile kurulur; dikey yönlü yoğunlaşmada hidrolize olmuş her bir silan molekülündeki hidroksil grupları seramik yüzeyindeki SiO₂'nin oksidasyonu ile oluşmuş hidroksil grupları ile tepkimeye girer ve silan ile yüzey arasında bağ kurulmaktadır. Siloksan bağları ise yatay yönlü yoğunlaşma tepkimesi ile kurulur; yatay yönlü yoğunlaşma tepkimesinde hidrolize olmuş silanlar birbirleriyle bağlanırlar ve seramik yüzeyinde bir ağ oluşturarak polimerik siloksan yapıları oluşur. (Antonucci et al., 2005, Ho and Matinlinna 2011b) Sonuçta inorganik substrat yüzeyinde oksan ve siloksan şeklinde 2 tür siloksan bağı oluşmaktadır. (Matinlinna et al., 2004, Lin et al., 2000)



Şekil 7. Oksan bağları



Şekil 8. Oksan bağları ve siloksan bağları

Aktive edilmiş silan silanole dönüştükten ve kondanse olduktan sonra silanlar ile substratlar gerçekleşen tepkime mekanizması çok karmaşıktır ve tam olarak anlaşılammıştır. Bu tepkimede büyük ihtimalle öncelikle serbest silanol grupları taşıyan silanol aramaddeleri inorganik substrat üzerinde birikmekte ve yüzeydeki silanoller ile bağlayıcı ajanın silanol grupları arasında hidrojen bağı yoluyla kimyasal bağlantı gerçekleşmektedir. Hidrojen bağı ile bağlanmanın ardından H₂O ve CH₃OH'nin uzaklaşmasıyla kürlenme 'curing' diye de adlandırılacak dehidratasyon kondensasyonu ile yüzeyde çapraz bağ kuran Si-O-Si kovalent bağları ve siloksan film tabakası oluşmaktadır. (Lung and Matinlinna 2012, Ho and Matinlinna 2011b, Antonucci et al., 2005, Matinlinna et al., 2004a, Rosen 1978) Son teorilere göre hidrofobik ve dallanmış yapıdaki bu polisiloksan film tabakasının içinde hidrojen bağı serbest oligomerler ve serbest su molekülleri de bulunabilmektedir. (Ozcan et al., 2011, Matinlinna et al., 2004a) Silan-silika arayüzündeki çözücünün ortamdaki uzaklaşmasıyla ilişkili olarak kürlenme kondansasyon tepkimesi çapraz bağlantılı kovalent bağ oluşumu tamamlanıncaya kadar devam etmektedir. (Ho and Matinlinna 2011b, Barghi et al., 2000)

İnorganik substrat ve doldurucu parçacık yüzeylerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önüne alınarak silan bağlayıcı ajan seçimi yapılmalıdır. Silan ile substrat arasındaki etkileşimde yüzey hidroksil gruplarının çeşidi (silanol ya da yüzeye sinmiş su, hidrate iyonlar şeklinde vs), oluşan oksan bağlarının su ile parçalanmaya karşı kararlılığı, substratın birim alanına düşen etkin hidroksil grup sayısı, yüzeyin reaktivitesi, silanın kimyasal ve fiziksel özellikleri ve silanlama koşulları (örn: silan miktarı, biriktirme yöntemi, pH, sıcaklık, katalist çeşidi vs) gibi etmenler etkilidir. (Antonucci et al., 2005) Seçilen silan bağlayıcı ajanın etkisi silanın silika içeren yüzeyle kurduğu oksan 'oxane' bağı, silanların kendi aralarında kurdukları siloksan 'siloxane' bağı ve silanların rezin sistemiyle kurdukları kopolimerizasyon tepkime derecesine göre belirlenir. (Antonucci et al., 2005) Silanların gerçekleştirdiği bu bağların dayanımı; silan moleküllerinin hidrolizi, silanın yüzeye adsorbsiyonu, yoğunlaşması, yüzeylerle etkileşimi, siloksan film kalınlığı, siloksan tabakası ile rezin arasında içiçe geçen polimer ağı 'interpenetrating network' oluşumu gibi silan ajanlarının farklı kimyasal yapıları ve silan uygulama yöntemlerinden etkilenir ve sonuçta seramik-rezin arasındaki bağlantının özelliği

belirlenir. (Witucki 1993, Antonucci et al., 2005, Monticelli et al., 2006a, Sakai et al., 2011, Meng et al., 2011) Adeziv bağı etkileyen hidroliz ve kondansasyon tepkimeleri ise; sıcaklık (Hooshmand et al., 2004., Hooshmand et al., 2002, Roulet et al., 1995, Shen et al., 2004., Monticelli et al., 2006a.), silanı etkinleştirmekte kullanılan asitin pH'si (Plueddemann 1991, Monticelli et al., 2006a), silan molekülünün derişimi (Anagnostopoulos et al., 1993., Debnath et al., 2003), organofonksiyonel grupların kimyasal doğası (Matinlinna et al., 2006a) ve çözücü ile katalistin içeriğı (Anagnostopoulos et al., 1993) gibi çok sayıda etmeden etkilenmektedir.

2.3.1.7. Siloksan Film Tabakası

Silanlar seramik yüzeyine uygulandıktan sonra kurutulduklarında oluşan siloksan filmi tek tabakalı olmayıp üç farklı tabakadan oluşan bir yapıdadır. (Ishida 1985, Berg and Jones 1998, Hooshmand et al., 2002) En dış katman küçük oligomer katmanıdır, bu tabaka cam yüzeyine fiziksel olarak adsorbe 'physisorbed' olmuştur, oda sıcaklığında su veya organik çözücüler ile uzaklaştırılabilir. (Hooshmand et al., 2002) Ortadaki ara katman bir diğer oligomer katmanıdır, oligomerler az sayıda siloksan bağı ile birbirlerine bağlıdır, içteki katmana sadece fiziksel olarak adsorbe olmuştur ve sıcak su ile hidrolize edilebilir. Simantasyon sonrasındaki hidrolizi önlemek için bazı yazarlar silanlanmış seramik ile bağ kurulmadan önce bu iki katmanın sıcak su ile uzaklaştırılmasını önermiştir. (Hooshmand et al., 2002, Hooshmand et al., 2004) Cam yüzeyine bağlantı kurmuş olan üçüncü tabaka ise molekül düzeyinde tek katmanlı 'monolayer' yapıda tabakadır, '*chemisorbed*' özelliktedir, bu tabaka sağlam siloksan bağları içerdiğinden hidrolitik olarak stabildir. (Hooshmand et al., 2002) Bu katman önceki işlemler ile uzaklaşmaz ve seramik ile rezin arasındaki asıl bağdan sorumludur. Silan bağlayıcı ajanların seramik yüzeyinde oluşturduğu bu tabakalı yapının bir sonucu olarak silanlanmış yüzeydeki silan moleküllerinin büyük kısmının bağlantıda herhangi bir değeri olmadığı, hatta bunların varlığının bağlantı için zararlı olduğu iddia edilmiştir. (Hooshmand et al., 2002) Siloksan filminin oluşturduğu dallı yapının kalınlığı silanın çözeltideki derişimine bağlıdır. Silan ile seramik yüzeyindeki silika arasında kuvvetli bir bağlanmanın gerçekleşmesi için ideal silan tabakası kalınlığının 10-20 nanometre

arasında olduğu düşünülmektedir. (Ho and Matinlinna 2011b) Yüzeyde fazla miktarda silan varlığının silanın yararlı etkisini azaltacağı düşünülmekte ve kuramsal olarak siloksan tabakasının tek tabaka olması gerektiği ileri sürülmektedir. Bununla birlikte uygulamada silan tabakası 50-100 nanometre kalınlığındadır ve silan molekülleri rastgele yönelmiş bir durumda bulunmaktadır. (Matinlinna et al., 2004a) Sonuç olarak bağlantı arayüzündeki siloksan tabakasının ince ve rijit özellikte olması bağ kuvvetini artırdığı için bu özelliklerde bir tabaka elde edilmesi istenmektedir. (Matinlinna et al., 2004a)

2.3.1.8. Silanlara Isı Uygulaması

Seramik yüzeyinde ince bir silan tabakası elde etmek amaçlanıyorsa silan tabakası kalınlığını azaltacak mekanizmalar göz önüne alınmalıdır. (Della-Bona 2005) Suyun kaybedilmesiyle gerçekleşen yoğunlaşma tepkimesini ‘dehidratasyon kondensasyonu’ geliştirmek için yüzeye ısı uygulanması ile önerilmiştir. (Ikemura et al., 2011b) Isı uygulamasının dehidratasyon kondensasyonu tepkimesini geliştirmenin yanısıra silanın su ile parçalanma tepkimesini de geliştirebileceği belirtilmiştir. (Monticelli et al., 2006a) Cam sanayisinde ya da cam ve seramik doldurucular içeren rezin kompozitlerin üretiminde silan uygulaması sonrasında ısı uygulanması sıklıkla gerçekleştirilen bir işlemdir. (Sakai et al., 2011)

Silan moleküllerinin kondansasyon tepkimeleri sonucu oluşan su, alkol ve diğer tepkime yan ürünleri silanın çözücüsüne dahil olmaktadır. Silanların bağlayıcılıklarının tam etkili olabilmesi için yüzeydeki silan yan ürünlerinin ve çözücüsünün buharlaştırılarak uzaklaştırılması gereklidir. Yüzeye uygulanmış silan çözücüsünün buharlaşması bağlanmada önemli rol oynamaktadır; küçük bir miktar çözücünün varlığı silanın ıslatma özelliğini artırırken, çözücünün tamamının uzaklaşmaması bağlayıcılık özelliğini azaltır. (Novais et al., 2012) Su, alkol, aseton, asetik asit ve diğer yan ürünler hava ile kurutma sonucunda yeteri kadar uzaklaştırılmazsa bu maddeler yüzeydeki –OH’den zengin silika ile hidrojen bağı yapabilirler, bu durumda rezin monomerin polimerizasyonu ve adeziv tabakanın mekanik özellikleri kötü etkilenebilir ve sonuç olarak siloksan bağı oluşumu zarar görebilir. (Barghi et al., 2000, Roulet et al., 1995, Shen et al., 2004, Nunes et al.,

2006, Ikeda et al., 2005, de la Fuente and Madruga 1999, Papacchini 2006). Çözücü içinde bulunan bu bileşikler silanın kondensasyon tepkimesinin tamamlanması ve siloksan bağıının geliştirilmesi amacıyla rezin monomerin polimerizasyonunu etkinleştirecek ışık uygulamasının öncesinde ortamdan olabildiğince uzaklaştırılmış olmalıdır (Ikeda et al., 2005, Ho and Matinlinna 2011b, Shen et al., 2004, de la Fuente and Madruga 1999, Papacchini 2006). Alkol ve asetik asit gibi bileşenlerin buharlaşmasıyla bu maddelerin silika yüzeyinde kuracağı hidrojen bağı azalır, böylece silanın tepkimeye gireceği daha fazla bağ alanı elde edilir ve siloksan bağıının gelişmesi sağlanır. (Roulet et al., 1995, Ho and Matinlinna 2011b, Shen et al., 2004)

Isı uygulamasının inorganik yüzeydeki silan moleküllerinin yoğunlaşma tepkimesi ve bağlantı kuvveti üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunup bulunmadığı literatürde tartışılmaktadır. (Monticelli et al., 2006a) Silan uygulanmış yüzeye sıcak hava ile ısı uygulaması işlemi; silan ile yüzeyde bulunan inorganik bileşenler arasındaki kimyasal etkileşimi ve tepkime hızını artırmak, çözücünün uzaklaştırılması ile kimyasal stabiliteyi geliştirmek, etanol ve diğer yan ürünleri buharlaştırmak, dış katmanda bulunan zararlı fizikoadsorbe silan tabakasını uzaklaştırmak ve silan tabakasının kalınlığını azaltmak, kondansasyon tepkimesini hızlandırmak, geliştirmek ve tamamlamak, silan-seramik arayüzündeki moleküler etkileşimi sıklaştırmak ve siloksan bağı sayısını artırmak, silanın performansını artırmak, adezyonun su içinde bekleme ortamında hidrolitik bozulmaya karşı daha dirençli hale getirmek, yüzey nemlenebilirliğini '*damping*' artırmak, silan bağlayıcı ajanın yüzeye daha fazla absorbe olması ve bunun sonucunda rezin simanın pürüzlendirilmiş seramik yüzeyinin içindeki porozitelere daha fazla temas etmesi ve infiltre olmasını sağlamak, silanlarla karıştırılarak uygulanmış bağlayıcı ajanın vizkozitesini ideal hale getirerek yüzeyde yayılmanın artırmak gibi amaçlarla önerilmiştir. (Roulet et al., 1995, Papacchini et al., 2007, Hooshmand et al., 2002, Filho et al., 2004, Fabianelli et al., 2010, Monticelli et al., 2006a, Foxton et al., 2002, Ho and Matinlinna 2011b, Shen et al., 2004, Antonucci et al., 2005, Plueddemann 1991, Sakai et al., 2011, Della Bona 2005, de Carvalho et al., 2011, Nakamura et al., 2004, Della Bona et al., 2000, Hooshmand et al., 2004, Moharamzadeh et al., 2008, Matinlinna et al., 2004a, Barghi et al., 2000, Imai 1990)

Silanlanmış yüzeylere ısı uygulanması sonucunda yüzeydeki fazla su buharlaşır, dehidratasyon kondansasyon tepkimesi ile silan-silika arasında kovalent bağ kurulması gelişir ve silan monomerleri ile seramik yüzey arasındaki kimyasal etkileşim hızlanır. (Ikemura et al., 2011b, Sakai et al., 2011, Hooshmand et al., 2002)

Yüzeye uygulanmış silanın tek tabakalı olmasını sağlamak için gevşek şekilde bağlanmış fazla oligomerin en erken zamanda ortamdan uzaklaştırılması istenmektedir. Silanın dış tabakasını uzaklaştırma işleminin erken gerçekleştirilmek istenmesinin nedeni zayıf bağlı oligomerlerin organofonksiyonel gruplarının zamanla homopolimerizasyon geçirmeleri sonucunda yüzeyden uzaklaştırmaya karşı dirençlerinin artmasıdır. (Hooshmand et al., 2002, Shen et al., 2004)

Silan çözücünün uzaklaştırılmasında kullanılan havanın sıcaklığının artırılması çözücünün buharlaşmasını artırır fakat sıcaklıkta ne kadarlık bir artışın ne kadar çözücüyü buharlaştırarak uzaklaştıracağı çözücü içindeki maddelerin uçucu doğalarına bağlıdır. (Papacchini et al., 2007) Etanol özellikle hazır etkin 'prehidrolize' silanın reaktivitesini etkilemeden kolaylıkla uzaklaştırılabilirken (Abate et al., 2000) su daha zor buharlaşır. Etanol-su temelli silanlar ısı uygulamasına karşı daha dirençlidir, bunun nedeni bu iki çözücünün karıştırılma oranları olabilir (Novais et al., 2012). Silanların tek başlarına kullanıldıklarında sıcak hava ile kurutma sonucunda bağlantı değerlerinin arttığı bildirilirken bağlayıcı ajan ile karıştırılarak kullanıldıklarında bağlantı kuvvetinin kurutma sıcaklığından fazla etkilenmediği bildirilmiştir. (Papacchini et al., 2007) Bu durumun neden olarak adezivlerin kimyasal bileşimi gösterilmiştir. Bu durumun açıklaması; 'Bağlayıcı rezinlerin etanol bazlı silanlarla karıştırılması sonucunda uçucu olmayan hidrofilik (HEMA ve 10-MDP) ve hidrofobik (Bis-GMA) rezin monomerleri uçucu çözücü içinde (etanol, su ya da birleşimi) çözünmektedir. Silanın kondensasyon tepkimesi sonucunda oluşan su da bu çözeltiye dahil olmaktadır. Bu şekildeki bir su ile etanol karışımının sıcak hava ile kurutulması sonucunda ancak uçucu bileşenlerin buharlaşması ile bağda gelişim sağlanmaktadır. Çözeltide karışım oluşturan su ve etanol ise hidrofilik monomerler ile hidrojen bağı kurduğundan hava ile kurutma işlemi sonucunda daha az buharlaşma göstermektedir. Bu durumda arayüzdeki bağlantı sıcak hava ile kurutma gerçekleştirilse bile fazla gelişmemektedir' şeklindedir. (Monticelli et al., 2006b)

Silanlanmış yüzeye ısı uygulamasının bağlantı performansını artırdığı yönündeki çok sayıdaki literatüre karşın ısı uygulamasının anlamlı bir etkide bulunmadığını bildiren literatürler de bulunmaktadır. (Sakai et al., 2011., de Carvalho et al., 2011) Silana ısı uygulamasının seramik ile rezin arasındaki ideal bağlantıya etkisinin önem olarak silanın kimyasal yapısının gerisinde olduğu ileri sürülmüştür. (Sakai et al., 2011) Isı uygulamasının silan monomerlerinin jenerik kimyasal yapısı ve seramiğin bağlanma kapasitesi üzerindeki etkisi ile ilgili bilgiler kesin değildir ve silan primerlerinin en iyi bağlanmayı sağlayabilmeleri için ısı uygulanması konusu bir soru olarak ortada durmaktadır. (Sakai et al., 2011)

2.3.1.9. Tek Şişe-Çok Şişeli Silan Sistemleri

Etkili bir adeziv bağlanma gerçekleştirecek, uzun bir raf ömrüne sahip, kullanım kolaylığı olan tek şişeli bir silan sistemi istenmekle birlikte klinik uygulamalarda çok farklı gereksinimler bulunmaktadır. Buna bağlı olarak silan bağlayıcıların birleşimleri ve uygulama yöntemleri de farklılık gösterir. Silan bağlayıcı ajanlar tek şişede ya da çoklu şişelerde prehidrolize ya da uygulama öncesinde etkileştirilecek şekilde üretilebilir. Silan bağlayıcı ajanlar sistemlerine göre hidrolize edilmemiş tek şişeli silan primerleri, hidrolizasyonu önceden gerçekleşmiş ‘prehidrolize’ tek şişeli silan primerleri ve iki ya da üç şişeli silan bağlayıcısı ve asit etkinleştiricisi ayrı şişelerde olan silan primerleri şeklinde üçe ayrılabilir (Pisani-Proenca et al., 2006/ Matsumura et al., 1997). Hidrolize olmamış tek şişeli silanların kullanımı klinik olarak uygun olabilirse de bu tür silanların gerçekleştirdiği bağ dayanımının iyi olmadığı bildirilmiştir. (Matsumura et al., 1997, Nogami et al., 2004)

2.3.1.9.1. Tek Şişeli Silan Sistemleri

Bazı silan bağlayıcı ajanlar önceden etkinleştirilmiş ‘prehidrolize’ ve klinikte uygulanmaya hazır ‘ready-to-use’ özelliklerde kullanıma sunulmuştur. Bu ürünler tek şişeli sistemlerdir. (Matinlinna et al., 2004a) Hazır etkin sistemlerde su ile parçalanma ve yoğunlaşma tepkimelerinin katalisti olan asidik ajan -genelde asetik asit- pH'nın kararlılığını ve kimyasal etkinliği sağlamaktadır. Önceden hidrolize

olmuş silan molekülleri birbirleriyle tepkimeye girmeye ve molekül ağırlığı fazla olan oligomerler (polisiloksan) oluşturmaya eğilimlidir. Silanın raf ömrü hidrolize olmuş silan monomerlerinin birbirleriyle yoğunlaşma tepkimesine girip dimer oluşturmasından olumsuz etkilenmekte ve buna bağlı olarak kısalmaktadır. Silan çözeltilerinin zamanla bozulduğu ve silanların bağlayıcılık özelliği olmayan polimerler şeklinde çözelti dışına çökebildiği bildirilmiştir. (Ho and Matinlinna 2011b) Bunun yanında silan çözeltisinde fazla miktarda oligomerleşme yaşanması substrat üzerinde fizikoadsorbe silanların zayıf bir dış tabaka oluşturmaya ve kayganlaştırma 'lubrikasyon' etkisine neden olarak bağlantıyı olumsuz etkilemektedir (Monticelli et al., 2006a). Bu durumda silan çözeltisinin etkisi azalabilmekte ve seramik ile gerçekleşecek bağın dayanımı düşmektedir. (Olmos et al., 2003, Ho and Matinlinna 2011b, Hooshmand et al., 2004) Prehidrolize silanın kullanım süresini artırmak için önemli olanın raftaki silanın kondense olmasını önlemek olduğu bildirilmiştir. (Nogami et al., 2004, Hooshmand et al., 2004) Silan sistemlerinin kondensasyon tepkimesi hem tek şişeli hem de iki şişeli sistemlerde pH=4'den daha az asiditede hızla gerçekleşmektedir. Silan çözeltilerinin pH'sı asetik asit sayesinde 4-5 civarında dengelenerek bu tepkimenin kendiliğinden gerçekleşmesinin önüne geçilir. (Monticelli et al., 2006a, Ho and Matinlinna 2011b, Witucki 1993) Silan çözeltilerinin kondensasyonlarının bu şekilde sınırlandırılması nedeniyle kullanım sırasında kondanse olmasını istediğimiz preaktif haldeki silanlara asidik bileşenler karıştırılır ve kondansasyon tepkimelerinin hızı artırılabilir. (Matinlinna et al., 2004a) Silan monomerleri arasında istenmeyen etkileşimin azaltılarak silan primerinin ömrünün uzatılması için silan ve çözücü içindeki su miktarında değişiklikler de yapılmaktadır. Asidik adeziv monomere karşılık çok fazla silan bağlayıcı ajanın yer aldığı bir tek şişe primer sistemi hazırlandığında fazla miktardaki silanın bir kısmı çözücü içindeki eser miktarda su ile hidrolize olmakta, çözücüdeki su tükenmekte ve bu suyun olmadığı ortamdaki silan ve asidik adeziv monomer için ideal bekleme koşulları oluşmaktadır. Bu yöntem sayesinde tek şişeli silan primerlerinin raf ömrü uzatılmaktadır. (Ikemura et al., 2011b)

Tek şişeli, hazır etkin silan primerlerinin raf ömürleri sınırlıdır ve çözücülerinin hızlı bir şekilde buharlaşması, buna bağlı olarak silanın derişiminin artması, hidrolize olmaya karşı duyarlı olmaları, nemli ortamın kondansasyon

tepkimesini hızlandırması, devam etmekte olan kondansasyon tepkimesi ve sonucunda oluşan polimerleşmiş siloksanlar nedeniyle son kullanma tarihine doğru etkileri zamanla azalmaktadır. (Matinlinna et al., 2004a) Tek şişe sistemine sahip silan primerlerinin raf ömrü uzatılması farklı çalışmalarda incelenmiştir. (Ikemura et al., 2011b) Preaktif silanın 1 yıl kadar bekletilse bile etkinliğinin azalmadığı bildirilmiştir. (Hooshmand et al., 2004)

2.3.1.9.2. Çok Şişeli Silan Sistemleri

Silanların asit veya su ile hidrolize olmalarının raf ömrünü azaltmasından duyulan kaygı ve silan bağlayıcılarda uzun bir raf ömrünün istenmesi nedeniyle hidrolize edilmemiş silan ile asit çözeltisinin ayrı şişelerde bulunduğu çok şişeli silan sistemleri geliştirilmiştir. (Lung and Matinlinna 2012, Kamada et al., 2007)

Tek şişeli primerlerde bir arada bulunan silan, fonksiyonel monomerler ve bağlayıcı ajanlar çok şişeli seramik primer sistemlerinde inorganik asit içeren tek bir sulu çözücü içinde bulunmak yerine ayrı şişelerde şeklinde bulunurlar. Bu şişelerde silan çözeltisi ile silanı etkinleştirecek katalist veya suya dirençli asidik monomer genellikle ayrı şekilde bulunmaktadır. (Matsumura et al., 1997, Li 2010) Bu sistemlerde silan etanol içinde çözülmüşken genellikle kullanılan katalist olan asetik asit sulu çözelti içinde, asidik monomer ise organik çözücü içinde çözülmüştür. İki şişeli sistemlerde bulunan fonksiyonel monomerler silanı katalistleme ve etkinleştirme görevini yerine getirebilirler.

Çok şişeli silan sistemlerinde silanın hidrolizi kullanımdan hemen önce klinisyen tarafından karıştırılması ile başlamaktadır. Çift şişeli sistemlerde raf ömrünün uzamasına karşılık hidrolizin tam olmaması sorunu bulunmaktadır; tek şişeli hazır hidrolize özellikteki silanlarda iki şişeli silanlara göre daha yüksek oranda silan hidroliz tepkimesi gerçekleştiğini bildirilmiştir. (Matsumura et al., 1997, Hooshmand et al., 2004) Bununla birlikte uygulanmalarının hemen öncesinde etkinleştirilen çok şişeli silanların rezin seramik arasındaki bağlantıyı geliştirmede zayıflık göstermediği bildirilmiştir. (Hooshmand et al., 2004) Karıştırılarak kullanıma hazırlanan silanın kabul edilebilir derecede hidrolize olması için gereken süre üzerinde farklı görüşler vardır. (Hooshmand et al., 2004) Bu süre 15 dakikadan

2 saate kadar değişen zaman aralığı olarak önerilmiştir. İki kısımdan oluşan silan sistemlerinin karıştırıldıktan hemen sonra etkin hale geldiği fakat seramik yüzeyinde 5 dakika bekletildiklerinde ideal performansı gösterdikleri ileri sürülmüştür. Seramik yüzeyindeki bu bekleme süresi içinde silanın hidrolizinin daha da ilerlediği ve seramik ile kimyasal etkileşimin arttığı düşünülmektedir. (Ho and Matinlinna 2011b) İki şişeli sistemlerin raf ömrü prehidrolize sistemlere göre daha uzundur ve bu tür silanlar çok sık silan kullanmayan hekimler için daha iyi seçenekler olduğu ifade edilmektedir. (Ho and Matinlinna 2011b, Lung and Matinlinna 2012)

2.3.2. Seramik-Rezin Arasında Bağlantı

Cam seramiklere rezin temelli maddelerin sağlam bir adezyonunun sağlanmasında rezinin adezyonu öncesinde yüzeyin hazırlanması çok önemli bir konudur. Yüzey hazırlığı rezin siman-adeziv sistem ikilisinin seramik yüzeyine gerçekleştireceği adezyonu belirlemekte ve bağ dayanımını büyük ölçüde etkilemektedir. (Pegoraro et al., 2007, Vasconcellos et al., 2007, de Carvalho et al., 2011, Pereira et al., 2010) Seramiğe uygulanacak yüzey işlemleri seramiğin mikroyapısı ve bileşimi tarafından belirlenmektedir. (Santos et al., 2009)

Diş hekimliği restoratif maddelerine yüzey hazırlık işlemleri yüzeyin pürüzlülüğünü ve yüzey enerjisini artırmak amacıyla uygulanır. Bu işlemler sonucunda yüzey alanının ve pürüzlülüğün artması yüzey enerjisinin artmasını, substratın daha iyi ıslanmasını ve adezyon potansiyelinin gelişmesini sağlar. Bu olaylarla ilgili fiziksel adezyonu tanımlayan temel gösterge ise yüzey enerjisidir; fiziksel adezyon yüzey enerjisine göre tanımlanır. Pürüzlendirilmiş yüzeyler daha küçük temas açıları göstermektedir. (Della Bona 2005, Lung and Matinlinna 2012) Rezinler yüzeyde oluşan pürüzlerin arasına girer, sertleşir ve sonrasında mikromekanik olarak maddeye kilitlenirler. Böylece rezin simanların restorasyonlara olan mekanik kitlenmesini ve seramik-rezin siman adezyonunu artırır. Mikromekanik bağlanma mekanizmasının artması özellikle germe dayanımı yüksek olan simanlarda (rezinler, rezin modifiye cam iyonomer) başarılı sonuçlar vermektedir. (Hill 2007, Liu et al., 2011, Kamada et al., 2007) Seramiklerin rezinlerle gerçekleştirdiği mikromekanik tutuculuk ayrıca kimyasal adeziv bağı da

olumlu yönde etkileyebilmektedir. (Salvio et al., 2007, Meng et al., 2008) Bu konu ile ilgili olarak glaze'li seramik yüzeyine silanla gerçekleşen rezin kompozit adezyonunun yetersiz olması önemli bir örnektir. (Matinlinna et al., 2004a) Pürüzlendirme sonucunda yüzeyde oluşan boşluklara rezin girerek, sertleşmekte ve mikromekanik olarak maddeye kilitlenmektedir. Bu durum fiziksel adezyonun kimyasal adeziv bağ ile ilişkisini ortaya koyar.

2.3.2.1. HF Asit Uygulaması

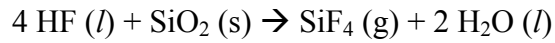
Seramik yüzeyin topografyasında değişiklik oluşturup mekanik tutuculuğun elde edilmesi için gerçekleştirilen fiziksel yöntemler genellikle asit pürüzlendirmesi ya da yüzeye alümina parçacık püskürtülmesi uygulamalarıdır.

Diş hekimliği seramiklerinin asitlerle pürüzlendirilerek adezyona hazırlanması 1980'lerde başlanmış ve genel kabul görmüş bir uygulamadır. Diş hekimliğinde kullanılan seramiklerin büyük kısmı çok fazlı 'multiphase' sistemlerdir, bu tür maddelerin yapısında dağılmış bir kristal faz ve bunu çevreleyen süreklilik arz eden, belli bir şekli olmayan camsı faz bulunmaktadır. (Ho and Matinlinna 2011a.) Cam seramik maddelerin kristal sınırlarındaki atomları kristalin bünyesindeki atomlara göre kimyasal olarak daha etkindir ve bu bölgedeki atomlar asitle tepkimelerinde daha yüksek oranda çözülürler. (Della Bona 2005) Seramik camsı fazı fluorine içeren asitlerle (örn; HF asit, amonyum bifluorit, acidulated phosphate fluoride -APF-) temas ettiğinde her bir asit için seramik yüzeyinde kendine özgü değişiklikler olmaktadır. Seramiklerin pürüzlendirilmesinde genellikle HF asit kullanılmaktadır. (Mair and Padipatvuthikul 2010)

HF asit aside duyarlı seramik yüzeylerinde son derece agresif bir etki göstermektedir; HF asit seramiğin camsı fazına hücum ederek bu faz yüzeyinde ve fazlar arasındaki sınır bölgelerinde 3-4 µm derinliğinde çözünme gerçekleştirip heksafluorosilikat oluşturur, bu bileşik su ile yıkama sonucunda ortamdaki uzaklaştırıldığında balpeteğine benzer boşluklu derin bir yapı oluşmaktadır. Bu şekildeki bir yapıda kristaller camsı matristen dışarı doğru çıkıntı yapan bir hal almakta, mikrotutuculuk için ideal mikro yüzey ortaya çıkmakta, mikromekanik bağlanma potansiyeli gelişmekte ve yüzey alanı artırılmaktadır. (Pisani-Proenca et

al., 2006, Ho and Matinlinna 2011b, Canay et al., 2001, Vasconcellos et al., 2007, Peumans et al., 2007) Asitle pürüzlendirmenin ikincil işlevi seramik yüzeyindeki istenmeyen artık oksitleri temizlemesi ve bunun bir sonucu olarak seramik substratın ıslanabilirliğinin artmasıdır. (Ho and Matinlinna 2011b) Seramik yüzeyinin asit ile pürüzlendirilmesi ile elde edilen mikroboşluklar seramiğin kristal faz miktarı, bu kristallerin boyutları, dağılımı ve çeşitleri ile ilişkilidir. (Blatz et al., 2002)

HF asit ile seramik yüzeyin pürüzlendirilmesinin temelinde floridin silikona olan ilgisi bulunmaktadır. Floridin silikona olan ilgisi oksijenin silikona olan ilgisinden fazladır. Seramik yüzey HF asit ile pürüzlendirildiğinde seramiğin silika matrisi ile HF asit arasında tepkime gerçekleşir ve uçucu SiF₄ oluşur. Bu tepkime;



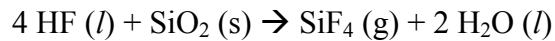
şeklinde gösterilebilir.

Oluşan silikon tetrafluoride (SiF₄) HF asit ile tepkimeye girer ve heksafluorosilikat ‘hexafluorosilicate’ adında çözünebilen kompleks bir iyon oluşturur. Bu tepkime;



şeklindedir.

Çözelti içinde oluşan hidrojen iyonları heksafluorosilikat kompleks iyonu ile tepkimeye girer ve su ile yıkanarak uzaklaştırılabilir fluorosilik asit (H₂SiF₆ (l)) oluştururlar. Tepkime şu şekilde gösterilebilir (Ho and Matinlinna 2011b);



Bu tepkimenin sonucunda seramik yüzey düzensiz ve boşluklu bir şekle dönüşür, mikroboşluklar, andırkatlar, petek benzeri şekiller, uzamış kristaller, sık düzensizlikler ve pürüzlendirilmiş minede oluşan mikrotağlar benzer boyutlarda pürüzlü fiziksel yapı oluşur. Asitle pürüzlendirilmiş seramik yüzeylerin pH’sinin değiştiği, yüzeyde bulunan –OH iyonlarının yoğunluğunun arttığı ve silan bağlayıcı

ajan ile kimyasal bağlantı kuracak şekilde silika oksitlerinin meydana daha fazla çıktığı bildirilmiştir. (Foxton et al., 2002, Alex 2008)

Seramiklerin ıslanabilirliği ve yüzey enerjisi yüzey alanındaki ve kimyasındaki bu değişimin sonucu olarak artar, temas açısı azalır, silan bağlayıcı ajanın seramik ile tepkimeye girme eğilimi fazlalaşır ve rezin bağlayıcı ajanının mikrotutuculuk sağlayan bu bölgelere girişi artar. (Della Bona et al., 2004, de Carvalho et al., 2011, Brentel et al., 2007, Addison and Fleming 2004, Della Bona 2005) Asitle pürüzlendirilme seramik yüzeyin fiziksel özelliklerini de değiştirir; asitle pürüzlendirilmiş seramik yüzeyine silan uygulaması sonucunda mikroskobik düzeyde yüzeyin keskinliğinin azaldığı, sise benzer, bulanık bir görünüm aldığı bildirilmiştir. (Canay et al., 2001)

HF asit uygulanmasında seramiğin ve silanın kimyasal yapısı önem kazanmaktadır. Seramiklerin mikroyapıları ve kimyasal bileşimleri seramiklerin asitlerle pürüzlendirilerek hazırlandıkları durumlarda çözünmelerini belirlemektedir. HF asitin alümina ve zirkonya gibi yoğun sinterlenmiş seramikler haricinde etkili olduğu bildirilmiştir. (Pereira 2006) Bazı çalışmalarda feldspatik seramiğin HF asit ile pürüzlendirilmesinin seramiği bağlantı bölgesinde mekanik olarak zayıflattığı iddia edilmesine karşın iyi bir bağlantı kuvveti için yine de HF asit uygulaması önerilmiştir. (Rüttermann et al., 2008)

Cam seramik yüzeylerin HF asit ile pürüzlendirilmesi ve ardından silan uygulanmasının bağlantı kuvvetine etkisi literatürde çok sayıda çalışmada incelenmiştir; uygulama klinikte kendisini kanıtlamıştır ve öngörülebilir niteliktedir. (Eduardo et al., 2012, Chen et al., 1998b, Peumans et al., 2007, Ozcan et al., 2009, Meng et al., 2008, Rüttermann et al., 2008, Blatz et al., 2003, Shen et al., 2004, Cömlekoğlu et al., 2009) Seramik-rezin arasında en üstün bağı sağlayan asit derişimi ve uygulama süresi ile ilgili farklı görüşler vardır. (Blatz et al., 2002, Meng et al., 2008, Zogheib et al., 2011, Pereira 2006) Farklı derişimde asitlerin farklı sürelerde kullanımının önerilmesinin nedeni asidin türü, seramik yüzeyinin bileşimi, seramikteki kristallerin mikroyapısı, yoğunluğu ve yönelimi gibi çeşitli etmenlerin bu parametreleri etkilemesidir. (Alex 2008) Bu nedenle bazı özel seramiklerin bağ

dayanımlarının idealleştirilmesi için kullanılacak asitin derişiminin ve asitleme süresinin belirlenmesi önerilmiştir. (Canay et al., 2001)

Diş hekimliğinde seramiklerin asitle pürüzlendirilmesinde genellikle % 4-10 derişimde HF asit kullanılmaktadır. (Alex 2008) Seramiğin asitle pürüzlendirilme süresi artırıldıkça cam fazın çözülmesinin daha fazla olması nedeniyle yüzey daha boşluklu ve düzensiz hal almakta ve sonuç olarak yüzeyin ölçülen pürüzlülük değeri de artmaktadır. (Zogheib et al., 2011). Bununla birlikte HF asit ile uzun süreli pürüzlendirmeden kaçınılmalıdır; uzun süreli HF asit uygulaması sonucunda bağ değerinin anlamlı şekilde azaldığı bildirilmiştir. (Ho and Matinlinna 2011b, Alex 2008, Pereira 2006) HF asit jelinin feldspatik seramiğin pürüzlendirilmesinde en az 10 saniye uygulanmasının (Meng et al., 2008, Pereira 2006) ya da 30 saniye uygulanmasının (Chen et al., 1998b) yüzeyde yeterli miktarda pürüzlülük oluşturduğu bildirilmiştir. %9-10 derişimdeki HF asit ile 60-120 saniye arasında pürüzlendirme uygulaması bilimsel kanıta dayalı ve geçerli bir yöntemdir. (Ho and Matinlinna 2011b, Cömlekoğlu et al., 2009)

Asit uygulamasının bir parçasını oluşturduğu farklı bir yüzey hazırlama yöntemi de kumlama sonrasında % 4-5 derişimde HF asitin 4-5 dakika uygulanmasıdır. IPS Empress II seramiğin üreticisi seramik yüzeyin 20 saniye süresince % 5 derişimde HF asit ile pürüzlendirilmesini kesin bir şekilde önermiştir. Bu protokolü destekleyen çalışmalar mevcuttur. (Ho and Matinlinna 2011b) Lityum disilikat temelli seramiklerde % 2,5-10 derişimde HF asit çözeltisinin 30 saniye ile 3 dakika arasında uygulanmasının seramik yüzeyinde istenilen pürüzlülüğü sağladığı belirtilmiştir. (Brentel et al., 2007, Zogheib et al., 2011) HF asit ile ilgili herhangi bir kullanım talimatının olmadığı durumlarda pratik deneyimler bize 1-2 dakika asitle pürüzlendirme uygulamasının geçerli bir işlem olduğunu göstermektedir. (Ho and Matinlinna 2011b)

HF asitin kullanımı ile ilgili çekinceler bulunmaktadır. HF asit canlı dokuları yakma ve yok etme özelliği ya da başka bir değişle 'kostik' özelliği olmayan bir madde olmasına rağmen yumuşak dokularla derin bir şekilde teması sonucunda 24-48 saat içinde metabolik hücre yıkımına yol açan bir zehir gibi davranmaktadır. HF asidin yumuşak dokular üzerindeki etkisinin çok ciddi olabildiği rapor edilmiştir. HF

asit mukoza, göz ve deride ciddi yanık oluşturabilmektedir. %5 derişimdeki HF asit insan derisi ile temas ettiğinde ilk önceleri herhangi bir ağrı ya da bulgu görülmemesine rağmen bir kaç saat içinde ağrılı bir tepkime gerçekleşir. Bu gibi tehlikeler nedeniyle HF asidin ağız içinde kullanımını sınırlandırılmıştır ve çoğu ülkede buna izin verilmemektedir. (Cömlekoğlu et al., 2009)

2.3.2.2. Seramik Yüzeye Uygulanan HF Asit Dışındaki Asitler

HF asit ile pürüzlendirmenin hiçbir zaman ağız içinde gerçekleştirilmemesi hatta klinik ortamda ağız içi olmayan uygulamalarda bile kullanımının sınırlandırılması gerektiği ve uygulanmasının her zaman laboratuarda yapılması önerilmiştir. HF asitin kullanımında asitin olabildiğince düşük derişimde olması, kullanım sonrasında artık HF asit çözeltisinin nötralize edilmesi ve HF asitin içinde bulunduğu muhafaza kaplarının kullanım dışında her zaman kapalı durumda tutulması gibi önlemler önerilmiştir. (Ho and Matinlinna 2011b) HF asit uygulamasına seçenek olarak APF ‘acidulated phosphate fluoride’, amonyum bifluorit gibi çeşitli asitlerin kullanılması önerilmiştir. Bu maddeler seramik yüzeyinde kendilerine özgü pürüzlendirilmiş yüzey dokusu oluşturmaktadır. (Della Bona et al., 2002, Pereira 2006) APF seramik yüzeyinde daha yüzeyel bir etki göstermektedir; APF ile elde edilen bağlantının HF asit uygulanması ile elde edilen bağlantıdan daha az olduğu, HF asitin APF ile karşılaştırıldığında yüzey temas açısını anlamlı şekilde daha fazla azalttığı, yüzey serbest enerjisini ve simanın ıslatabilirliğini artırdığı, seramik yüzeyinde daha derin mikroboşluklar oluşturduğu bildirilmiştir. (Brentel et al., 2007, Ho and Matinlinna 2011b, Canay et al., 2001, Della Bona et al., 2002, Alex 2008) APF ile HF asitin karşılaştırıldığı bazı çalışmalarda ise bağlantı kuvvetinde anlamlı fark bulunmadığı bildirilmiştir. (Della Bona et al., 2002, Kukiattrakoon and Thammasitboon 2007)

2.3.2.3. Seramik Yüzeyin Yüksek Hızda Parçacık Püskürtülerek Aşındırılması

HF asitin ve diğer asitlerin bu istenmeyen özellikleri nedeniyle seramik yüzeyine, HF asit uygulamasına göre daha güvenli, kolay ve ucuz olan alümina

parçacıkları püskürtme işlemi önerilmiştir. Diş hekimliği laboratuvarlarında parçacık çok hızlı bir şekilde püskürtmesi ile yüzey hazırlığı yönteminde ortalama büyüklükteki (50 µm) alümina parçacıkları bir püskürtme sistemi ucundan 380 kPa hava basıncı ile 10 cm mesafeden 10-15 saniye süresince yüzeye dik şekilde püskürtülür. (Lung and Matinlinna 2012)

Seramiklerin mikroyapı ve bileşimleri Al₂O₃ parçacıkları ile aşındırma işlemine olan duyarlılığı belirlemektedir. (Pereira 2006, Ozcan and Valliitu 2003) Alümina parçacık püskürterek pürüzlendirme ile cam faz seçici olarak uzaklaşır, büyük miktarlarda kristal fazı açığa çıkarken bazı alümina parçacıkları yüzeyin içine gömülmüş halde kalabilir ve bu durumda substrat yüzeyinde alümina ile kaplı bir tabaka oluşur. Alümina ile kumlanmış metal yüzeyinde fazla miktarda artık alümina tozu kalmasına karşılık seramik yüzeyleri metalden daha sert olduğu ve plastik deformasyona çok az izin verdiklerinden alümina ile kumlama sonrasında bu yüzeylerde alümina miktarındaki artışın daha az olduğu bildirilmiştir. (Shimakura et al., 2007)

Alüminyum oksit parçacıklarının hava akımıyla çok hızlı bir şekilde seramik yüzeyine püskürtülmesinin silika bazlı seramiklerde, lösitle güçlendirilmiş seramiklerde ve lösit veya lityum disilikat cam seramiklerde etkili olduğu kanıtlanmıştır. Zirkonya veya alüminanın yoğun şekilde sinterlendiği seramiklerde ise daha az etkili olduğu bildirilmiştir. (Pereira 2006)

Alümina püskürtülmüş yüzeylere silan uygulandığında substrat yüzeyindeki alüminyum kaplı tabaka ile silanın silika atomları arasında =Al-O-Si≡ bağları oluşmaktadır. Bu bağların hidrolitik stabilitesi zayıftır, su ile parçalanabilirler, buna ek olarak bu tür bağlar yatay yönde yoğunlaşmış siloksan bağlarının düzenlenmesini bozmaktadır. (Lung and Matinlinna 2012, Antonucci et al., 2005)

HF asit ile pürüzlendirme parçacık püskürtmeden daha pürüzlü bir yüzey dokusu oluşturmaktadır. (Roulet et al., 1995, Meng et al., 2008) Cam seramiklerde alümina püskürterek pürüzlendirme sonucunda elde edilen bağ kuvvetinin HF asit pürüzlendirmesi sonucunda elde edilen kuvvete göre daha az olduğu bildirilmiştir. (Salvio et al., 2007, Kato et al., 2000, Nagai et al., 2005, Ho and Matinlinna 2011b, Roulet et al., 1995, Spohr et al., 2003, Meng et al., 2008)

Seramiklere parçacık püskürtülerek yapılan yüzey hazırlığı ‘chipping’ şeklinde veya daha büyük madde kaybı, yüzeyde mikroçatlakların oluşması, kenar bölgelerindeki yapıda kayıplar ve aşınmaların olması ve bunlara bağlı kenar uyumunun azalması, termal siklus sonunda önemli miktarda düşüş ve yetersiz bir bağ kuvveti gibi sonuçları nedeniyle geleneksel bir uygulama olarak görülmemektedir. (Pereira 2006, Meng et al., 2008, Ozcan et al., 2011, Roulet et al., 1995, Blatz et al., 2003) Bununla beraber alümina parçacıklarla pürüzlendirme simantasyon yüzeyi görece düz olan CAD/CAM ile üretilmiş kuronlarda bağlantı alanını artırmak için mevcut çekincelere rağmen uygulanabilir. (Shimakura et al., 2007)

2.3.2.4. Fiziksel ve Kimyasal Temelli Yüzey İşlemleri Arasındaki İlişki

Literatürde seramik yüzeyine bağlantının gelişmesi için gerçekleştirilen fiziksel ve kimyasal uygulamaların birbirleriyle ilişkisi sıkça incelenen bir konudur. Silanlar seramik yüzeylere genellikle fiziksel yaklaşım ile birlikte uygulanmaktadır; asite duyarlı seramik yüzeylerde en yüksek bağlantı dayanımının elde edilmesi için HF asit ve silan bağlayıcıların birlikte uygulanması genel bir kabuldür. (Peumans et al., 2007, Della Bona 2005) Seramiğin yüzey pürüzlülüğünün fazla olmasının yüzeyin silan ile olan kimyasal etkileşimi artırdığı ileri sürülmüş ve bu iki uygulamanın birlikte gerçekleştirilmesinin silika bazlı seramik-rezin siman arasındaki bağın devamlılığını artırdığı bildirilmiştir. (Meng et al., 2008, Chen et al., 1998b, Spohr et al., 2003, Peumans et al., 2007, Matinlinna et al., 2004a, Shen et al., 2004, Ho and Matinlinna 2011b, Pereira 2006, Kern and Strub 1998, Hill 2007, Liu et al., 2011) Asitle pürüzlendirmenin silanla birlikte uygulandığında bağlantı kuvvetini artırdığını bildiren çalışmalardan bazıları seramik ile rezin arasındaki adezyonda silan bağlayıcı ajanların sağladığı kimyasal bağlanmanın ana mekanizma olduğunu, seramikler asitle pürüzlendirildiklerinde yüzeylerinde oluşan ve mekanik tutuculuğu artıran yüzey şekillerinin silan uygulanması için kritik bir öneme sahip olmadığını ve sonuç olarak seramik ile rezin siman arasındaki bağlantının devamlılığının seramik yüzeyine yapılan pürüzlendirme ve aşındırma işlemlerinden bağımsız olduğu düşüncesini ileri sürerken (Della Bona et al., 2002, Ozcan et al. 2009, Nagai et al., 2005, Pereira 2006, Filho et al., 2004, Chen et al., 1998b, Meng et al., 2010, Brentel et al., 2007) az sayıda bazı araştırmacı ise son bağ dayanımını

etkileyen asil mekanizmanın asitle pürüzlendirme olduğunu ileri sürmüştür. (Peumans et al., 2007)

Rezin siman ile seramik arasında kararlı bir bağın kurulmasında mekanik tutuculuğun gerekli olup olmadığı tartışılmaktadır. (Peumans et al., 2007, Meng et al., 2008, Passos et al., 2008, Hooshmand et al., 2002) Çok farklı bileşenlere sahip seramik materyalleri ile bağlantının gerçekleşmesinde yüzey pürüzlendirme uygulamalarının ağırlığı çok farklı olabilir. (Alex 2008, Vasconcellos et al., 2007) Seramik yüzeylere HF asit uygulanmasının bağlantı üzerine etkisinin incelendiği çok sayıda çalışma HF asit uygulamasının rezin-seramik arasındaki bağlantıyı olumlu etkilediğini ve bağlantı dayanımına büyük katkı yaptığını bildirmiştir. (Brentel et al., 2007, Zogheib et al., 2011, Nagai et al., 2005, Ho and Matinlinna 2011b, Cömlekoğlu et al., 2009, Roulet et al., 1995, Peumans et al., 2007, de Carvalho et al., 2011, Blatz et al., 2003, Chen et al., 1998b, Akova et al., 2007) Buna karşı bazı araştırmacılar tarafından silan uygulamasının seramik yüzeye yapılan bütün hazırlıkların yerini alabileceği ileri sürülmüştür. (Pereira 2006)

Silanlanmış seramik yüzeyine ısı uygulanması ve adeziv monomerler içeren seramik primerlerin geliştirilmesi sayesinde stabil bir silan tepkimesi gerçekleşir. Bunun bir sonucu olarak canlı dokulara zarar verme tehlikesi olan, ayrıca yüzeyde oluşturduğu çözünmez silika-fluorit tuz yan ürünler nedeniyle rezinle bağ dayanımını olumsuz etkileyebilen, seramiği fazla miktarda ve derin şekilde aşındırarak mekanik yönden zayıflatmasına neden olabilen HF asitin simantasyon sırasında kullanılmasına gerek olmadığı iddia edilmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda seramik yüzeyine HF asit uygulanmaksızın sadece seramik primerleri kullanılarak HF asit ile silan uygulanmış yüzeyde kaydedilen bağlantı değerlerine benzer değerler bildirilmiştir (Rüttermann et al., 2008, Hooshmand et al., 2002, Filho et al., 2004, Fabianelli et al., 2010, Hooshmand et al., 2008, Meng et al., 2008, Kussano et al., 2003, Kamada et al., 1998, Rüttermann et al., 2008, Kamada et al., 2006, Blatz et al., 2004, Della Bona et al., 2000, Della Bona et al., 2003, Reich et al., 2005, Blatz et al., 2003, Alex 2008, de Carvalho et al., 2011, Reich et al., 2005, Shimada et al., 2002). Bu çalışmalarda bağlantı konusunda seramik yüzey ile silan bağlayıcı ajan arasında gerçekleşen kimyasal tepkimenin HF asit ile elde edilen mikromekanik tutuculuktan daha önemli olduğu ileri sürülmüştür. Bununla birlikte

sadece silan uygulanması önerisinin uzun dönemli başarısının öngörülebilirliği HF asit ile pürüzlendirilmiş ve silan uygulanmış seramiğe göre daha sınırlıdır. (Alex 2008, Peumans et al., 2007)

HF asit uygulaması önermeyen seramik primer üreticileri ürünlerinin kullanımında seramik yüzeyinin %37 derişimde fosforik asitle kısa bir süre için temizlenmesini önermektedir. Kompozit rezin yüzeye %37 derişimdeki fosforik asitin 30 saniye uygulanması ve yıkanması sonucunda yüzeyde herhangi bir morfolojik veya retatif değişiklik olmamaktadır. Fosforik asitin yüzeye sadece temizleyici etkide bulunduğu bildirilmiştir. (Papacchini 2006) Seramik yüzeyine fosforik asit uygulanmasındaki amaç yüzeyi pürüzlendirmek değil, sadece yüzeydeki olası bulaşı ile seramik yüzeyindeki 'smear' tabakasını kaldırmak ve yüzeydeki boşlukları ortaya çıkarmaktadır. (Meng et al., 2008, Rüttermann et al., 2008, Peumans et al., 2007, Akova et al., 2007)

2.3.3. Rezin Simanlar ile Silanlar Arasındaki Kimyasal Etkileşim ve İlişki

Simanlar restorasyonun tutuculuğunu kimyasal, mekanik (sürtünme) ve mikromekanik (hibritleştirilmiş doku) mekanizmalarla sağlarlar. Siman ile bağlantı kurulacak yüzeyin doğasına bağlı olarak bu mekanizmaların iki tanesi ya da tümü ile tutuculuk gerçekleşmektedir. (Pegoraro et al., 2007, Manso et al., 2011) Diş dokularının ve pek çok seramiğin asit ile pürüzlendirilme yoluyla simanlarla mikromekanik bağlantı kurduğunun fark edilmesi sonucunda adeziv bağlı seramik restorasyonlar için rezin simanlar klinik kullanıma sunulmuştur. Rezin simanlarla gerçekleştirilen adeziv simanyasyon sayesinde diş dokuları ile kuvvetli bağlantı gerçekleşir, restorasyonun tutuculuğu, kenar uyumu, restore edilmiş dişin ve restorasyonun kırılma direnci artar, mikrosızıntı ise azalır. (Blatz et al., 2002, Matinlinna et al., 2004a)

Seramik ile diş yapısı arasındaki gerçekleşen adeziv bağlantıda iki arayüz vardır; bunlardan birincisi kompozit rezin ile seramik restorasyon arasında, ikincisi ise kompozit rezin ve diş dokuları arasındadır. Seramik-rezin kompozit arasında elde edilen adeziv bağlantı mikromekanik veya kimyasal bağlantıya dayanmaktadır. Diş

teknisyeni ve diş hekim restorasyona yzey işlemleri uygulayarak seramik ile kompozit rezin bağlantı arayzüne etkide bulunabilmektedir. (Blatz et al., 2002) Seramik ile kompozit rezin arasındaki adeziv bağlantının kurulması için geręekleřtirilen yzey işlemleri asit kullanımı ile pürzlendirme, parçacıkları püskürtme ile aşındırma ve ardından seramik primerler, silanlar ve çeşitli adezivlerle kimyasal bağlantının kurulması şeklinde dir (Alex 2008). Restorasyona uygulanan bu yzey işlemlerinin seramik-rezin arasındaki adeziv bağın niteliğini etkilediği belirtilmiştir. (Della Bona 2005)

Seramiğin rezin simanla bağ kurması için seramik yzeyine mutlaka bir primer ya da bağlayıcı ajan uygulanmalıdır. Adezyonun ilkeleri gözönüne alındığında bir adezivin bağlanacağı maddelerle iyi kimyasal etkileşim ve polimerleşme reaktivitesi göstermesi gerekmektedir. Silan ile rezin siman arasında iyi bir kimyasal etkileşim varlığında birbirine geçen şekilde polimer ağı oluşumunun (interpenetrating polymer network, IPN) ve kopolimerizasyonun daha iyi olduğu, buna bağlı olarak seramik yzeyindeki ve IPN içindeki siloksan bağlarının sulu ortamda bozulma hızının azaldığı ve sonuçta bağın devamlılığının arttığı belirtilmiştir. (Liu et al., 2011) Bu nedenle silan bağlayıcı ajan ile siman kombinasyonu, rezin siman ile silanın kimyasal uyumu ve bu iki madde arasındaki çözünebilirlik adeziv bağlanmada önemli etmenler olarak ele alınmalıdır. (Witucki 1993, Kamada et al., 2007, Matsumura et al., 1997, Ozcan et al., 2011). Tam seramik sabit protezlerle ilgili klinik komplikasyonların varlığı da siman ve adeziv madde seçiminde dikkat edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. (Manso et al., 2011) Hekimin kullanacağı seramik ile uygunluk gösterecek bağlayıcı sistemini seçmesinin de önemli bir konu olduğu ileri sürülmüştür. Yapışılan madde yzeyi ile bağlayıcı arasındaki ilişkinin yanısıra bağlayıcı ajan ile yapışan maddenin bileşimi arasında uyum ilişkisi de önemlidir. (Yamada et al., 2007)

Seramik restorasyonların çeşitliliği, çok farklı endikasyonları, ağız içindeki konumları, renkleri, kalınlıkları ve opasiteleri kompozit rezin simanın seçimini etkilemektedir. Resin simanların polimerizasyonu ışıkla, kimyasal olarak ya da bu ikisinin birleşimi, dual-kür etkinleştirilir. Seramik restorasyonlarda simantasyondan sonra geręekleřtirilen oklüzal düzenlemeler simanın seramiğe adezyonuna zarar verebilir. Bunun önlenmesi için seramik-rezin bağlantı dayanımının daha en erken

dönemde olabildiğince yüksek olması istenir. İkili mekanizma ile etkinleşen dual-kür rezin simanlar bu özellikleri ile seramik restorasyonların simantasyonunda ilk tercih olmuştur. Dual-kür rezin simanlar çalışma zamanının kontrol edilebilmesi ve ışığın yetersiz olduğu alanlarda da polimerizasyonlarının yeterli olması gibi özelliklere sahiptir.

Dual-kür rezin simanlar genellikle karıştırılan iki pat şeklinde üretilmiştir. Patların birinde indirgeyici amin ve ışığa duyarlı başlatıcı, diğerinde benzoil peroksit bulunmaktadır. Sertleşme mekanizması benzoil peroksitin aromatik tersiyer aminlerle redoks tepkimesine dayanır. Işıkla etkinleşen polimerleşme mekanizmasından ışığa duyarlı bileşik (camphorquinone [CQ]) sorumludur. (Manso et al., 2011, Santos et al., 2009, Uludamar 2007)

Silan sistemi içindeki çeşitli metakrilat monomerleriyle veya asidik monomerlerin polimerizasyonunun etkinleşmesinde kullanılan maddelerle (örn: benzoil peroksit, hızlandırıcılar, indirgeyici ajanlar, initiatörler) rezin siman arasında çatışma ve istenmeyen tepkimeler gerçekleşmekte, buna bağlı olarak polimerleşme sonrasında renk bozulması görülebilmekte, silan primerlerinin rezin simanla olan etkileşimi olumsuz yönde etkilenebilmektedir. (Matsumura et al., 1997, Ozcan et al., 2011, Nogami et al., 2004, Nakamura et al., 2004) Silan-rezin siman etkileşimi ile ilgili olarak polimerleşme mekanizmasındaki görülebilecek olası çatışmadan kaçınmak için silan bağlayıcı, asidik monomer ve tepkime başlatıcının 'initiatör' ayrı şişeler şeklinde olması, asidik monomerlerin ya silanda ya da rezin simanda kullanılması önerilmiştir. Bu maddelerin ayrı şişelerde bulunması sonucunda rezin simanla silan primerinin içindeki dimetakrilat monomerlerinin tepkimesini başlatan benzoil peroksitin çatıştığı durumlarda benzoil peroksit içeren şişe kullanılmayabilecektir. (Nogami et al., 2004). Silan primerini ayrı şişeler şeklinde hazırlama ürünün raf ömrünü de artırmaktadır. Asidik monomerin kimyasal yapısında bazı değişiklikler gerçekleştirerek bu monomerlerin rezin siman yerine sadece silan bağlayıcı ajanlar ve metal iyonları ile tepkimeye girmesi üzerine çalışmalar sürmektedir. Bu şekilde primer tabakasının daha iyi bağlanma için modifiye edilmesi amaçlanmaktadır. (Kurata and Umemoto 2007) Tek şişeli ve sadece silan içeren silan bağlayıcı ajanlar ise asidik monomerleri olmadığından

yapılarında herhangi bir inisiyatör de bulunmamakta ve bu nedenle bu şekildeki silanlar ile rezin simanlarla arasında çatışma yaşanmamaktadır.

Rezin siman ile silan arasındaki etkileşim çeşitli şekillerde gerçekleşebilir. Örnek olarak simantasyonda kullanılan yapıştırıcı ajanların asidik bileşenleri ve pH'sının silan bağlayıcı ajanın etkinleşmesi üzerinde etkili olabileceği ileri sürülmüştür. (Kamada et al., 2007) Hatta silanın yanında rezin simanların kimyasal yapısı ile seramiklerin bileşenleri arasında dahi farklı etkileşimler olabileceği ileri sürülmüştür. (Nakamura et al., 2004)

Hangi silanın hangi tür rezin sistemi ve substrat ile en iyi uyumu gösterdiği kesin olarak belirlenememiştir. (Arkles 2003) Farklı silan-rezin siman ikilileri için bağ performanslarının farklılık gösterdiği bildirilmiştir. (Nakamura et al., 2004, Nogami et al., 2004, Matsumura et al., 1997, Ozcan et al., 2011) Sonuç olarak kullanılan rezin siman ile silan primer sistemlerinin içeriğindeki maddeler arasındaki istenmeyen etkileşimlere dikkat etmek gerekmektedir.

2.3.3.1. 4-META İçeren Simanlar ile Silanlar Arasındaki Etkileşimi

4-META (4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride) 1978 yılında bulunmuş bir adeziv monomerdur. Akrilik monomere eklendiğinde 4-META molekülü aynı anda hem hidrofilik hem de hidrofobik bağ gerçekleştirmekte ve bazı diş hekimliği metal alaşımları ile kimyasal bağ kurmaktadır. 4-META'nın kullanması görece kolaydır ve uygulaması teknik yönden duyarlı özellikte değildir. (Chang et al., 2002) 4-META adeziv diş hekimliğinde bulunduğu günden bu yana önemini korumakta olup özellikle diş yapısı ve metaller ile rezin arasındaki bağlantının sağlanması için kullanılmaktadır. 4-META içeren ürünler farklı amaçlarla kullanılmak üzere üretilmiştir. Bu amaçlara; ortodontik braket bağlanması, yapıştırma ajanı, ısı ile ve kimyasal olarak polimerizasyonu aktive olan protez kaide rezinleri, faset rezinleri, porselen priming ajanları, dentin bağlayıcı ajanlar örnek verilebilir. Hidrofobik ve hidrofilik gruplar içeren 4-META monomerlerle birlikte kullanıldığında bunların diş sert dokuları içine infiltrasyonunu geliştirmektedir. Silan bağlayıcı ajanların asidik adeziv monomerlerden birisi olan 4-META ile birlikte kullanıldığında seramik ile rezin arasındaki bağlantının etkili bir şekilde geliştiği

bildirilmiştir. (Nogami et al., 2004) 4-META'nın silan monomerini etkinleştirmedeki etkisinin ise ihmal edilebilir derecede az olduğu düşünülmektedir. (Sakai et al., 2011)

2.3.4. Silanların Klinikte Kullanımları

Adeziv bağlantılı seramik restorasyonların klinikteki başarılarını etkileyen etkenlerden en önemlisi simantasyon işlemidir. Camlar ve cam seramik restorasyonların standart adeziv simantasyon protokolü seramik yüzeyinin asitle pürüzlendirilmesi ve silanlanması şeklindedir. Seramik yüzeyinin hazırlanması ve silan bağlayıcının uygulanması teknik hassasiyet gerektiren bir aşamadır. Diş hekimliği literatüründe indirekt restorasyonların bağlantı yüzeylerine ve ağız içi tamirlerde seramik yüzeylere yapılması gereken işlem protokolleri konusunda tam bir uzlaşma bulunmamaktadır. (Alex 2008)

2.3.4.1. Silanların Depolanması

Silanlar depolanma koşullarından büyük ölçüde etkilenen ürünlerdir. Prehidrolize silanların stabilitesinin daha az olduğu, buna bağlı olarak raf ömrünün sınırlı olduğu düşünülmektedir. (Matsumura et al., 1997) Tek şişeli prehidrolize silan sistemler atmosferdeki nemden olumsuz etkilenmektedir, bu nedenle kullanım sonrasında kapakları hemen kapatılmalı ve bu silanların son kullanma tarihine dikkat edilmelidir. Prehidrolize tek şişeli silan primerlerinin etkileri çözeltinin ne zaman etkinleştirildiği bilinmiyorsa tahmin edilemez. Bu silanların tazelikleri ile ilgili klinik olarak tek ayırım sıvının görünüşüdür. (Pegoraro et al., 2007) Berrak bir sıvı klinik olarak güvenli iken bulanık görünümlü çözeltiler atılmalıdır. (Blatz et al., 2003) Tek şişeli alkol çözeltili sistemler şeffaf olduklarından bu sistemlerde değişiklikler anlaşılabilir, silanların tazeliği konusunda bu bir dezavantajdır. (Pegoraro et al., 2007) Ayrıca bazı üretici firmalar silan şişelerini siyah gibi içi görülmeyen renklere ürettiklerinden klinisyenin silanın berrak mı yoksa bulanık mı olduğunu görmesi de imkansız hale gelmektedir. Tek şişeli sistemlerde silan ile bir arada bulunan adeziv monomerlerin bileşiminde zamanla ve özellikle yüksek sıcaklıklarda bozulmalar olabilmektedir. Bu tür silanların buzdolabında korunması ve her yıl yenilerinin alınması önerilmektedir. (Ho and Matinlinna 2011b) Klinisyenin silan bağlayıcı ajan

için son kullanma tarihi ve üretici talimatlarına kesinlikle uyması önerilmiştir. (Pegoraro et al., 2007)

2.3.4.2. Silanların Uygulanması

Klinik uygulamada seramik yüzeyinin silan uygulanması ve kurutulmasının ardından parlak görülmemesi gerekmektedir. Silan uygulaması sonrasında seramik yüzeyinde görülen parlaklığın yüzeyde fazla silan birikmesinden kaynaklandığı ileri sürülmüş ve bütün simantasyon protokolünün tekrar yapılması önerilmiştir. Silan uygulanmış seramik yüzeyin, silan uygulama öncesindeki gibi mat, donuk bir görüntüye sahip olması gerektiği ileri sürülmüştür. (Ho and Matinlinna 2011b)

Silanların seramik yüzeyinde gereksiz şekilde kalın ve zayıf bir katman oluşturmaması için bir ya da iki tabakadan daha fazla uygulanmaması önerilmiştir. Kalın silan tabakası bağ kuvvetini olumsuz etkilemektedir (Hooshmand et al., 2002). Silan çözeltisinin uygulanması farklı yöntemlerle yapılabilir; silan çözeltisi yüzeye püskürtülebilir, daldırılabilir, sürebilir. Yüzey kuruduktan sonra fazla madde hafifçe silinebilir ya da yıkanabilir. (Witucki 1993) Seramik yüzeyine silan uygulanmasında ince fırça ile sürme yönteminin seramiği silan çözeltisine daldırma yöntemine göre daha fazla bağ kuvveti ile sonuçlandığı bildirilmiştir. Buna neden olarak sürme sonucunda silan tabakasının daha ince uygulanması gösterilmiştir. (Hooshmand et al., 2002)

Diş hekimliği uygulamalarında silanın seramik ile tepkimeye girmesi için 1 dakikanın yeterli olduğu ileri sürülmüştür. (Özcan et al., 2004) Bununla birlikte seramik yüzeyine uygulanmış silan bağlayıcı ajanın en az 3 dakika beklenmesi önerilmiştir. (Barghi 2000) Barghi N., silan uygulanmış yüzeyin çevre ile çok uzun süreli temasının bağlantıyı zayıflatacağını ileri sürmüş ve restorasyonun silanlanmasının simantasyonunun hemen öncesinde yapılmasını önermiştir. (Barghi 2000) Silanın etkinleştirilmesinde ve hidrolizinde kullanılan asitlerin farklı olması da silanın yüzeyde bekleme sonucunda ölçülen bağ dayanımlarını etkilemektedir. Asit katalisti ile hidrolize olan silanlarda hemen bağlanma sonucunda daha yüksek bağ dayanımı elde edileceği düşünülürken özel asit katalisti olmayan silanların hemen bağlanma sonucunda daha az bağ değeri gösterebileceği, silana ısı uygulamasının ise

bu son durumdaki bağ kuvvetini artıracakları ileri sürülmüştür. (Barghi et al., 2000) Bununla birlikte silanın seramik yüzeyindeki bekleme süresinin ve bekleme sırasındaki sıcaklığın bağlantıya etkisi konusunda sınırlı bilgi var olup bu konu incelenmeye devam edilmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi seramik yüzeyine uygulanmış olan silanın fiziksel ve kimyasal açıdan tek tabaka olması istenmektedir. Klinikte silanın tek tabaka katmanının uygulamasını kontrol etmek imkansızdır, bu nedenle istenmeyen fazlalık bağ kurulmadan önce uzaklaştırılmalıdır. Bu uzaklaştırma işleminde sıcak hava uygulanmasının yanısıra fazla silanın deneme patı ‘try-in’ simantasyon yöntemi ile uzaklaştırılması da önerilmiştir. (Pegoraro et al., 2007) Deneme patı kullanımı yüzeyi kontamine edici bir işlemdir, HF asit uygulanmış seramik hidrofilik ve kontaminasyona çok daha yatkın özellikte olduğundan deneme patı bu yüzeyin kontamine olmasına neden olabilir. Silanizasyon sonrasında seramik yüzey hidrofobik hale gelmektedir. Bu nedenle deneme patı kullanımı seramik yüzey asitlendikten ve silan uygulandıktan sonra yapılmalıdır. Böylelikle deneme patı hidrofobik özellikte olan silanlanmış seramik yüzeyinden ultrasonik temizleme ile kolayca uzaklaştırılabilir ve ayrıca silanın bağlantıyı kötü etkileyen dış tabakası ortamdaki uzaklaştırılabilir. (Manso et al., 2011) Deneme patı kullanımı sonucu bağ kuvvetinin anlamlı şekilde arttığı gösterilmiştir. (Pegoraro et al., 2007)

2.3.4.3. Silanların Ardından Bağlayıcı Ajan Uygulaması

Silan uygulanmış seramik yüzey üzerine rezin siman uygulanması öncesinde bağlayıcı ajan uygulanması ya da silan ile bağlayıcı ajanın karıştırılarak kullanılması literatürde tartışılan konulardan birisidir.

Silan uygulanmış seramik yüzeyine adeziv ajan uygulanmasının rezin kompozitin seramik yüzeyini ıslatmasını artırdığı ve böylelikle rezin-seramik arayüzünde olası bağlantı kusurlarını ortadan kaldırdığı iddia edilmiştir ve incelenmiştir (Aida et al., 2008, Hooshmand et al., 2002, Passos et al., 2008). Silan uygulanmış seramik yüzeye bağlayıcı ajan uygulamasının yüksek bağlantı kuvveti değerleri ile sonuçlandığını bildiren çalışmalara (Blatz et al., 2004, El Zohairy et al., 2003, El Zohairy et al., 2004, Padipatvuthikul and Mair 2007, Tezvergil et al., 2003,

Santos et al., 2009, Hooshmand et al., 2002, Foxton et al., 2002) karşılık bağlayıcı rezin uygulamanın rezin siman-seramik arasında daha yakın bir temas ve daha yüksek bir bağ sağlamak için etkili bir yöntem olmadığını bildiren çalışmalar da vardır (Meng et al., 2008, Passos et al., 2008, Peumans et al., 2007, Reich et al., 2005, Blatz et al., 2004, Aida et al., 2008).

Prova sırasında restorasyona bulaşan organik bulaşlar asit pürüzlendirmesinin şeklini ve bağ dayanımını olumsuz etkileyebilir. Restorasyonun ağız içinde denemesi yapılmış ve yüzeyine organik bulaşlar (örn; tükürük, kan) olmuşsa HF asit pürüzlendirmesine başlamadan önce seramik yüzeyine 15 saniye fosforik asit, aseton ya da alkol uygulanmasının organik bulaşmayı uzaklaştırmada etkili bir yöntem olarak bildirilmiştir. (Blatz et al., 2002, Blatz et al., 2003) Sadece tükürüğün seramik yüzeyinde bulaş yaptığı durumlarda HF asit ile önceden pürüzlendirilmiş lityum disilikat cam seramiğin fosforik asit ile temizlenmesinin bağ dayanımında azalmaları engellediği, buna karşılık tükürüğe ek olarak silikon içerikli bulaş durumlarından seramik yüzeyinin fosforik asit ile temizlenmesinin de bağ kuvvetinde azalmaları önlemede yeterli olmadığı, bu gibi durumlarda da seramik yüzeyinin HF asit ile tekrar pürüzlendirilmesi gerektiği bildirilmiştir. (Klosa et al., 2009)

HF asidin seramik yüzeyin pürüzlendirilmesinde uygulama yöntemi konusunda bazı belirsizlikler bulunmaktadır; HF asit ile gerçekleştirilen pürüzlendirmenin en uygun süresinin ve derişiminin ne olduğu, seramik yüzeyin normalden fazla pürüzlenebilir mi olduğu, seramik yüzeyde asitlendikten sonra görülen beyaz artığın ne olduğu ve buna nasıl bir işlem yapılması gerektiği gibi konular kesin olarak cevaplanmış değildir. (Alex 2008) Laboratuar çalışmalarında seramik yüzeylerin asitlerle pürüzlendirilmeleri öncesinde kumlanmaları, seramiğin cilasını uzaklaştırması ve yüzeyi daha düzenli olacak şekilde düzenlediği için önerilmiştir. (Pereira 2006)

Çoğu seramik üreticisi pürüzlendirmede kullanılacak HF asit derişimini ve uygulama süresi ile ilgili bir öneri belirtmemekte, sorumluluğu kullanılan HF asit ürününün üreticisine bırakmaktadır. Bu durumun sonucu olarak kesin uygulama protokolleri genellikle bulunmamaktadır. (Ho and Matinlinna 2011b) HF asit ile

pürüzlendirilmiş seramik yüzeyinde izlenebilen beyaz artığın seramik ile HF asit arasındaki tepkimenin artıklarını içerdiği, görülmesi durumunda seramiğin olması gerekenden fazla pürüzlendirildiği şeklinde yorumlanmaktadır. (Ho and Matinlinna 2011b) Seramik yüzeyindeki bu beyaz birikintinin alkol çözeltisi içinde ultrasonik yöntemle temizlenerek uzaklaştırılması ya da seramiğe fosforik asit uygulanıp su ile yıkanarak kurutulması önerilmiştir. (Ho and Matinlinna 2011b, Canay et al., 2001, Magne and Cascione 2006) Asitle pürüzlendirilmiş seramik yüzeyinde ultrasonik ile temizlik yapılmasının yüzeyde gevşek durumdaki kristallerin uzaklaşmasını sağlayarak bağlantı bölgesinin dayanımını artırdığı iddia edilmiştir. (Cömlekoğlu et al., 2009) Bu temizleme işleminin temel amacı silan uygulaması öncesinde seramik yüzeyinin temiz, hazır ve yüksek yüzey enerjisine sahip olmasını sağlamaktır. (Ho and Matinlinna 2011b)

Hastalar tarafından artan estetik talep nedeniyle klinikte uygulanan seramik restorasyonların sayılarının artması nedeniyle seramik kırıklarının tamiri ve bunun önemi de artmıştır. Kırılmış seramik yüzeyine çeşitli yüzey hazırlık işlemleri uygulanabilir. Kırık seramik restorasyonların tamirinde döner alete bağlı elmas frezlerle ya da parçacık püskürtülerek yapılan yüzey hazırlığının birbiriyle benzer yüzey görünümüne neden olduğu, seramik yüzeyinde keskin çatlaklar ve stres odakları yaratabildiği ve bu bölgelerinde asitlerle temasında maddenin yapısını zayıflattığı gösterilmiştir. (Della Bona 2005) Kırık seramik restorasyon tamir uygulamasında seramik yüzeyine ağız içinde HF asitin kullanılması ise diş minesine teması durumunda diş dokusu yüzeyinde amorf bir florid çökeltisi oluşturması, bu durumun dişin çürüğüne olan direnci azaltması ve adeziv bağlanma özelliklerini etkilemesi, HF asitle oluşan büyük mikromekanik kilitleme alanlarının daha çok su alması nedeniyle önerilmemektedir. (Blatz et al., 2003, Ozcan et al. 2009) Tamir uygulamasında HF asit yerine fosforik asit, APF gibi daha ılımlı asitlerin kullanılması (Peumans et al., 2007, Alex 2008) ya da yüzey hazırlığının tribokimyasal silika kaplama yöntemi ile yapılması önerilmiştir. (Akova et al., 2007) Buna karşın HF asitin gerekli önlemler alındığında ağız içi tamirlerde bile kullanılabilceği belirtilmiştir. Alınması gereken önlemler HF asidin vizköz jel şeklinde kullanılması, uygun izolasyonun sağlanması ve dikkatli uygulama olarak sıralanır. (Alex 2008) Metal destekli seramik restorasyonların tamirinde HF asit ile

pürüzlendirme ve silan kullanımının başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir. (Matinlinna et al., 2004a) Bu işlemlerin ardından tamir rezin kompozitle bağlanma ile gerçekleştirilir. (Lung and Matinlinna 2012) Seramik tamir setlerinde genellikle bağlayıcı ajanlar da bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda bu ajanların kullanılması ile bağlantının daha kararlı olduğu bildirilmiştir. (Ozcan et al. 2009, Peumans et al., 2007, Padipatvuthikul and Mair 2007, Tezvergil et al., 2003) Buna karşılık seramik-kompozit rezin tamir işleminde bağlayıcı ajan kullanmanın rezin bağın dayanım kuvveti ve devamlılığına herhangi bir olumlu etki sağlamadığı bildirilmiştir. (Aida et al., 2008)

Cam infiltre alüminyum seramikler ve çok yüksek dayanımlı polikristalin seramiklerin simantasyonunda silan ve adeziv monomer içeren rezin simanların etkisi literatürde çok incelenen konulardandır. (Blatz et al., 2003) Bu tür seramiklerin rezin siman ile adezyonunun sağlanmasında tribokimyasal silika kaplama yönteminin 'silikatizasyonun' HF asit uygulanması veya kumlamadan daha etkili olduğu bildirilmiş ve tribokimyasal silika kaplama yöntemi kristal içeriği yüksek olan bu seramiklerde yüzey hazırlığının yapılmasında en başta gelen yöntem olarak önerilmiştir. (Eduardo et al., 2012, Matinlinna et al., 2004a, Rüttermann et al., 2008, Blatz et al., 2003, Vasconcellos et al., 2007, Akova et al., 2007) Tribokimyasal silika kaplamanın ardından silan uygulanmaktadır.

2.3.5. Yeni Geliştirilmekte olan, Farklı Uygulamalarda Kullanılacak Özel Silanlar

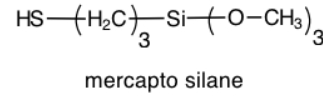
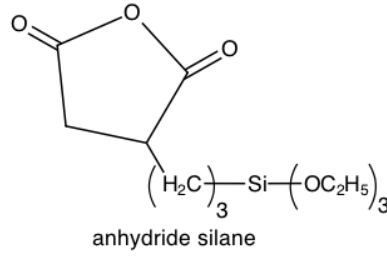
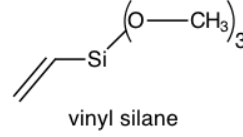
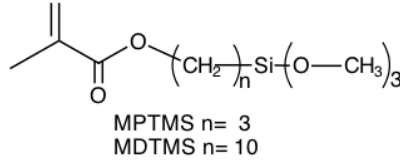
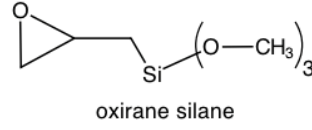
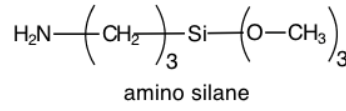
Mevcut silan bağlayıcı ajan sistemlerinde klinik uygulamalarda arayüz siloksan tabakası içindeki siloksan bağlarının hidrolitik kırılması gibi büyük bir sorun yaşanmaktadır. Bu sorun rezin kompozitin silika ile kaplanmış ve silanlanmış zirkonya ve titanyumla kurduğu bağın zamanla azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle hidrolitik stabilitesi üstün silanların geliştirilmesine çalışılmaktadır. (Lung and Matinlinna 2012) Farklı türlerde silan karışımları rezin kompozitlerin içindeki doldurucuların yüzeyinde, silika ile kaplanmış metallerde, zirkonya seramiklerde, titanyumda, kompozit rezinlerin tamirinde ve kemik dokusunda adezyon geliştiriciler olarak araştırılmaktadır. (Matinlinna et al., 2006a, Tuusa et al., 2005)

Diş hekimliğinde silanlar ile ilgili araştırmaların çok büyük kısmında sadece 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane kullanılmıştır. MPS dışında organofonksiyonel grupları farklı fonksiyonel gruplar ile tepkimeye girecek özellikte silanlar da üretilebilir; örneğin vinil ve metakrilat silanlar vinil ve akrilat rezinlerle tepkimeye girerken amino ve epoksi silanlar epoksi rezinler ile tepkimeye girerler. (Lung and Matinlinna 2012, Novais et al., 2012) Bu silanların dışında da organofonksiyonel grup konumuna başka bazı özel gruplar yerleştirilerek farklı silanlar üretilebilir. (Ho and Matinlinna 2011b) Farklı silanlara fluoroalkylsilane (Nihei et al., 2002.), phenylsilane (Nihei et al., 2008), isocyanatosilan (Matinlinna et al., 2005a) ve acrylatefunctionalized silan (Matinlinna et al., 2006b) örnek olarak verilebilir. Bu özel grupların sistem içindeki silan molekülünün uyumluluğunu geliştirdiği, farklı tür ve özelliklerde silanların birlikte kullanılması sonucunda üstün bağ kuvveti ve bağ devamlılığı sağladığı gösterilmiştir. (Ho and Matinlinna 2011b, Li 2010) Yeni hidrofobik silan monomerlerinin rezin kompozitlerin bükülme özelliklerini olumlu etkilediği bulunmuştur. (Nihei et al., 2002) Bu silanların MPS'den daha hidrofobik ve esnek moleküler yapıda olmasının silan birleştirici ajanların etkisini artırdığı belirtilmiştir. (Antonucci et al., 2005, Matinlinna et al., 2004a)

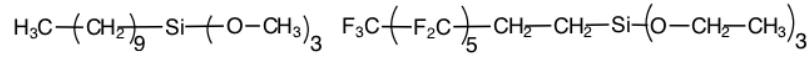
Organofonksiyonel grupların bulunmadığı fonksiyonel olmayan (non-fonksiyonel) silanlar da mevcuttur. Bu silanlar sadece reaktif alkoksi grupları taşırlar. Alkoksi grupları hidrolize olabilir ve hidroliz sonrasında inorganik maddenin yüzeyindeki hidroksil grupları ile tepkimeye girer. *bis*-fonksiyonel silanlar çapraz bağlayıcı veya dipodal silanlar olarak da adlandırılırlar ve her biri üç hidrolize olabilen alkoksi grubuna sahip iki silikon atomu bulundurlar. Bu silanlara '1, 2-bis-(triethoxysilyl) ethane' örnek olarak verilebilir. (Matinlinna et al., 2006a) Çapraz bağlayıcı silanların silan ile rezin siman karışımının içine aşırı ve derinlemesine bir şekilde nüfuz ettiği, hem seramik yüzey hem de komşusu buldukları çizgisel silanlarla kimyasal tepkimeye girerek bu ikisi arasında köprü kurmada ikili etki gösterdiği bildirilmiştir. (Li 2010) Bu iç içe geçme ve köprü kurma sonucunda fonksiyonel organosilanlar birbirleriyle üç boyutlu şekilde daha fazla interkonnekte olur ve siloksan film yapısının dayanıklılığı artar (Lung and Matinlinna 2012, Sundararajan and van Ooij 2000, Matinlinna et al., 2008, Matinlinna et al., 2006b,

Matinlinna et al., 2006a.) Siloksan ağının çapraz bağlanma derecesi arttıkça su moleküllerinin arayüz tabakasının derinliklerine girmesi zorlaşır, çözücü moleküllerinin birikeceği serbest hacim ise azalır. Bu şekildeki sağlam siloksan ağını kırarak ayırmak için daha fazla enerji gerekmekte, çoğu kompozit sisteminin bağlanma, mekanik dayanım ve hidrolitik stabilitesi gelişmektedir. (Matinlinna et al., 2006a, Lung and Matinlinna 2012, Matinlinna et al., 2006b) Çapraz bağlayıcı silanlar ile fonksiyonel silanların bir arada kullanılmasının zirkonya, titanyum ve cam ile rezin kompozit arasındaki bağlanmayı ve arayüzdeki siloksan tabakasının hidrolitik stabilitesini artırdığı bildirilmiştir. (Lung and Matinlinna 2012) Çapraz bağlayıcı silanların rezin monomerleri ile herhangi bir kopolimerizasyon özelliğinin olmadığı için bu tür silanların silan karışımında fazla miktarda bulunmasının rezinin seramiğe bağlantısını kötü yönde etkileyeceği öne sürülmüştür. (Li 2010) Diş hekimliğinde sıklıkla kullanılan silanlar seramik yüzeyindeki SiO₂'ye ve kompozit rezin monomerlerine düz bir şekilde bağ yapabilen özellikte olup silan primerinde farklı türlerde silanların birlikte kullanıldığı ürünler ise henüz piyasada mevcut değildir. (Li 2010)

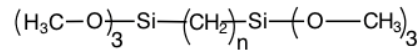
Functional organotrialkoxysilanes (silane coupling agents)



Non-functional organotrialkoxysilanes



Monopodal organosilane



Bipodal organohexalkoxysilane

Şekil 9. Fonksiyonel ve non-fonksiyonel organoalkoksisilanlar

Silanların yapısındaki değişikliklerden başka kendileri de farklı şekillerde kullanılabilirler. Organotrialkoksisilanlar suyun varlığında karmaşık su ile parçalanma ve yoğunlaşma tepkimeleri gerçekleştirir ve sonuçta üç boyutlu, yüksek moleküler kütleli, silil türevi silseskioksan yapılar oluştururlar. Oluşan bu oligomerik ya da polimerik silseskioksanlar rezin-matris bileşeni olarak ve molekül boyutunda organik olarak modifiye edilmiş silika doldurucular olarak kullanılabilir. Bu tür silil türevi ve silseskioksanların diş hekimliği rezinlerinde karıştırılması sonucunda polimerlizasyon büzülmesi ve stres oluşumu gibi zayıflatıcı etkiler üzerinde faydalı etkiler elde edilebilecektir. (Antonucci et al., 2005)

Diş hekimliğinde silanların simantasyon işlemi dışında; porselen dişlerin hareketli protez kaide rezinlerine silan kullanılarak bağlanmasında, molar dişler bölgesindeki kompozit restorasyon uygulamalarında, diş hekimliği kompozit ve cam

iyonomerlerinde, farklı alaşımlarla tepkimelerinde, plak oluşumunda, seramiklerin stres korozyonunda, ortodontik braketlerde, kök kanal tedavisinde seramik kanal postlarının kullanımında, periodontal hastalık vakalarında cam fiber ve silanların kullanımında, seramik tamirinde ve kompozit rezinlerde doldurucunun hidrolitik stabilitesindeki etkileri de incelenmiştir. (Matinlinna et al., 2004)

2.4. Diş Hekimliğinde In-Vitro Testler

Adeziv diş hekimliği günümüzde çok hızlı şekilde gelişmektedir. Klinikte hekimlerin kullanımına sunulmuş çok sayıda seramik yüzey hazırlama ve adeziv bağlama maddesi bulunmaktadır. Restoratif diş hekimliğinde araştırmalar son zamanlarda daha çok estetik ve adezyon üzerine yoğunlaşmıştır ve araştırmacılar, üreticiler ve klinisyenler hep en yüksek bağ dayanımı değerleri veren ürünleri tercih etmektedir. Uzun dönemli klinik takipler yeni ürünlerle ilgili yargıya varılmasında final testler olmakla birlikte bu takipler masraflı ve zaman alıcıdır. Üreticiler yeni ürünlerini piyasaya sürmeden önce bu şekilde klinik takipleri yapmak zorunda bulunmadığından yeni ürünlerin bağlantı niteliklerinin değerlendirilmesi laboratuvar bağ dayanımı testleri ile gerçekleştirilmektedir. (Della Bona et al., 2002) Materyaller için en iyi sonuç veren sistemlerin ve uygulamaların tanımlanmasında in vitro testlerle karşılaştırılmalar yapılması önemlidir. Adeziv diş hekimliğindeki bu hızlı gelişmeler sonucunda hızlı sonuç veren in vitro çalışmaların popülerliği artmış, bağ dayanımı testleri maddelerin klinik kullanım parametrelerini belirlemede başlıca testler haline gelmiştir.

Diş hekimleri kullanacakları ürünleri seçerken ya da incelerken çoğunlukla in vitro testler üzerine gerçekleştirilmiş ürün karşılaştırmalarına muhatap kalmakta hatta bazen sadece in vitro testlerle incelenmiş ürünler arasında seçim yapmaktadır. (Kelly et al., 2012) Bu durum özellikle bağlayıcı ajanlar ve simanları karşılaştırma çalışmaları için geçerlidir. (Blatz et al., 2004)

Laboratuvarda gerçekleştirilen mekanik testler restorasyonun ağız ortamında maruz kalacağı yer değiştirici ve bağ ayırıcı kuvvetlerin taklit edilerek uygulanmasına dayanmaktadır. Bununla beraber klinikte bu tür kuvvet sisteminin doğası çok karmaşıktır, laboratuvarda aynı sistemin birebir oluşturulması şu ana kadar

gerçekleştirilememiştir. In vitro testler ağız içindeki streslere göre çok daha basitleştirilmiş şekildedir. Adeziv diş hekimliği maddelerine gerçekleştirilen testlerde çok farklı değerlerde bulgular rapor edilmesi bu testlerde elde edilen bağ dayanımı değerlerinin güvenilirliğinin ve klinik performans ile ilişkisinin sorgulanmasına neden olmuştur. Bunun sonucunda in vitro testlerde maddelerin özelliklerine dayanarak klinik performansları konusunda ancak sınırlı öngörülebilir bulunabilir. Herhangi bir restoratif maddenin klinik etkisi konusunda bilimsel bilgi elde etmek için klinik takipler son yöntem olmaya devam etmektedir. Bununla beraber laboratuvar test sonuçlarına bağlı olarak klinik sonuçlar bir noktaya kadar tahmin edilebilmekte ve testlerde uygulanan farklı adeziv yöntemler klinikteki uygulama prosedürleri için yol göstericisi olabilmektedir. (Braga et al., 2010)

Laboratuvar testlerinin avantajları; belirli bir özellik veya değiştirge (parametre) üzerinde hızlı bir şekilde veri elde edilmesi, test yönteminin görece kolay olması, diğer değişkenleri sabit tutarken bir tane özel değişkenin ölçülebilmesi, altın-standart sayılan mevcut madde ve yöntemlerle yeni ya da deneysel madde ve yöntemlerin doğrudan karşılaştırılabilmesi, bir çalışmada çok sayıda deneysel grubun aynı anda test edilebilmesi, karmaşıklığının ve teknik duyarlılığının görece az olması, maliyetin az olması ile son ve en önemli olarak elde edilen verilerle klinik sonucun öngörülebilmesi şeklinde sayılabilir. (Van Meerbeek et al., 2010)

Günümüzde tarama veya transmission elektron mikroskopisi ve bunu destekleyen bağlantı arayüzü kimyasal analizleri ile adezyon mekanizması konusunda daha güvenilebilir verilere ulaşılabilmekle beraber mekanik bağlantı dayanımı testleri günümüzdeki adeziv yaklaşımların gerçek bağlanma etkisini gösteren ölçütler olarak kullanılmaya devam edilmektedir. In vitro çalışmaların çoğunda makaslama, baskı, germe, bükme dayanımı gibi testler kullanılmıştır. (Della Bona et al., 2002) Bu testlerde madde ağızda yaşandığı gibi yığınsal 'kümülatif' hasar üzerinden test edilmemekte, kırılma anına kadar artan bir kuvvet ile yüklenmektedir. Monotonik testlerde iki adet değişken oluşturan parametre bulunmaktadır; bunlar yükün uygulanma hızı ve yükün kendisidir. Monotonik testler test tekniğindeki zayıf uygulamaları ortadan kaldıran fakat kesin, net sonuçlar vermeyen ham testlerdir, sadece bu tür test sonuçlarına bakarak maddelerin veya

yöntemlerin klinik performansları ile ilgili öngörülebilir bulunamaz. (Mair and Padipatvuthikul 2010)

Test yöntemlerinde başarısızlık ve hasar mekanizmalarının klinikte belirlenmiş olan mekanizmalarla uyumlu olması çok önemli bir konudur. Klinik mekanizmalarla uyumlu olmayan bir test ne kadar güvenli yapıyor hissi verse de geçerli değildir. Klinikte belirlenmiş hasar ya da başarısızlığın test örneklerinde de oluşturulması gerçekçi kusurların varlığı ve bunların üzerinde dengeli stres durumlarının oluşturulması ile sağlanabilir. Örnek olarak başarısızlık makaslama streslerine bağlı olduğunda test yöntemi makaslama stresini üretebilmeli ve bu streslerin büyüklüğü doğru bir şekilde hesaplanabilmelidir. Örneklerdeki gerçekçi kusurların uygun büyüklükte ve dağılımda olması gereklidir. (Kelly et al., 2012)

Rezin ile simante edilmiş seramik restorasyonların ve tamir edilmiş seramik restorasyonların klinik performanslarının öngörülmesinde bağlantı dayanımı testleri kullanılmaktadır. Seramik- rezin siman bağlantısıyla hazırlanmış test örnekleri klinik durumu yansıtmamalarına karşılık bu şekildeki test sistemleri sadece bağlantıyla ilgili seçilen değişkenlerin seramik maddeler üzerindeki etkisinin incelenmesinde faydalıdır. Seramik-rezin bağı ağız içi ortamda mevcut olan kimyasal, ısı ve mekanik etkilere maruz kalmaktadır. Test laboratuvarlarında bu etkiler taklit edilmeye çalışmakta ve özel bir bağlanma yönteminin ya da üstün özelliklere sahip maddelerin tanımlanması amaçlanmaktadır. Resin kompozitler mine ve dentin ile benzer biyomekanik özellikler göstermeleri nedeniyle çoğu in vitro çalışmada diş dokularının yerine kullanılmaktadır. (Ho and Matinlinna 2011b)

Diş hekimliği mekanik testlerini standardize eden ISO/TS 11405 teknik spesifikasyonu bağlantı gerçekleştirilecek yüzeylerin niteliğine, karakterine ayrıntılı olarak değinmesine karşın bağlantı alanı, yüklemenin şartları veya test düzenekleri ile ilgili konulara fazla değinmemektedir. Bunun sonucunda araştırmacılar çok sayıda farklı deney protokolleri uygulamışlardır. (Braga et al., 2010) Kullanılan test yöntemindeki farklılıklar, test materyallerinin içindeki ve uygulamadaki kusurlar nedeniyle testlerde bağ dayanımları farklı değerlerde bildirilmektedir. Testteki yöntem farklılıkları aynı maddeler kullanılsa da bulgularda farklılıklara neden olabilmektedir; örnek olarak test örneklerinin bağlantı alanlarının bağlantı kuvveti

değerlerini etkilediği düşünülmektedir. Küçük bağlantı yüzeyi alanı olan örnekler için daha yüksek bağ kuvveti değerleri bildirilmiştir. (Nagai et al., 2005) Günümüzde tam seramiklerin bağlantılarının test edilmesinde de standart bir yöntem mevcut değildir. Seramik-kompozit bağlantısının in vitro bağ kuvvetinin değerlendirilmesinde farklı test yöntemleri farklı bağlantı değerleri ile sonuçlanmaktadır. (Akova et al., 2007) Bazı araştırmacılar gerçekleştirilen bağ dayanımı testlerini klinikte görülen adeziv davranışla ilgili yararlı bilgi verebilmesi açısından sorgulamışlardır. Bu konuda yeterli özelliğe sahip standardize bağlantı testlerine gereksinim duyulmaktadır. (Della Bona et al., 2002) Yöntem farklılıklarından bağlantı alanının genişliği, örneğin büyüklüğü, testin gerçekleştirilme hızı, örneklerin bekletilme protokolü, örneklerin hazırlanması sırasında kesme hızı gibi etmenlerin standardize edilmesi sonucunda farklı araştırmalarda elde edilen bulguların karşılaştırılması mümkün olabilecektir. (Pereira et al., 2010)

ISO'nun diş hekimliği maddelerinin bağ dayanımı testi öncesinde suda bekletilmesi ile ilgili deney şartları standardı üç seçenek sunmaktadır. Bunlar örneğin 37°C'de distile suda 24 saat bekletilmesi, örneğin 37°C distile suda 24 saat bekletilmesi ve ardından ısı döngü uygulanması ve örneğin 37°C distile suda 6 ay bekletilmesi şeklindedir. (International Organization for Standardization. 1994, ISO TR 11405. Dental materials-Guidance on testing of adhesion to tooth structure.) Bağlantı testlerinde örneğe ısı döngü uygulamadan 24 saat sonra bağ dayanımı testi yapılması zayıf bağlı sistemlerin saptanmasında yararlıdır. Bununla birlikte adeziv devamlılık tek başına 24 saat sonra yapılan bağ dayanımı testleri ile değerlendirilmemektedir. Isıl döngü uygulaması öncesi ve sonrasının karşılaştırıldığı durumlar ise bağlantı sisteminin devamlılık 'durability' özelliğinin değerlendirilmesinde önemlidir. (Matsumura et al., 1997)

2.4.1. Makromakaslama Testi

Diş hekimliği materyallerinin laboratuvar testlerinde en çok kullanılan bağlantı dayanımı test yöntemi makaslama bağlantı testidir. Bu test popülerliğini en kolay ve en hızlı yöntem olmasına borçludur. Test protokolünü standardize etmek için bazı

özel düzenekler geliştirilmiştir. (Van Meerbeek et al., 2010) Bu testte kullanılan substratın özellikleri, bağlantı alanı, bağlanmış örneklerin bekleme koşulları, testin tasarımı gibi çeşitli özellikler test sonucunu etkileyebilmektedir.

Klinikte adeziv bağlantılı restorasyonlarda koheziv başarısızlık çok ender görülmektedir. (Cekic et al., 2007) Makaslama bağ dayanımı testlerinde substrat materyalinde koheziv kırılmalar test düzeneğindeki çeşitli standardizasyon zayıflıkları ve makaslama testinin doğası nedeniyle görülebilmektedir. Makaslama testinin doğası nedeniyle yaşanan bu olumsuz duruma karşın bu testlerde elde edilen bağ dayanımı ortalama değerleri ile başarısızlık tipi arasında kuvvetli bir ilişki bildirilmiştir; bağ dayanımı ne kadar fazla ise koheziv başarısızlık oranı da o kadar fazla olmaktadır. (Van Meerbeek et al., 2010) Makromakaslama testleri bağlanma işlemlerinin araştırılmasında kullanılan test yöntemleri arasında en kolay ve en hızlı olan yöntemdir. Kolay bir yöntemle uygulanmaları sayesinde özellikle yeni adeziv formüllerinin bağlantıdaki etkisinin hızlı tarama şeklinde incelenmesinde çok etkilidir. (Van Meerbeek et al., 2010) Makromakaslama testlerinin örnek ve test düzeneği tasarımlarının ayrıntılı bir şekilde belirtilmesi kaydıyla diş dokuları ve diş hekimliği materyalleri arasındaki adezyonun değerlendirilmesinde kolaylıkları nedeniyle kullanılmaya devam edeceği belirtilmiştir. (Braga et al., 2010)

Seramik ile rezinler arasındaki bağ kuvvetini ölçen makaslama testlerinde seramik içinde koheziv başarısızlıkların görülmesi bağ kuvvetinin seramiğin koheziv dayanımını aştığı şeklinde yorumlanmamalıdır. Bu şekildeki yorumlar oluşan stresin ve stresin dağılımının doğasını görmezden gelmek demektir. Araştırmacılar seramik-rezin arasındaki bağlantı testlerinde seramik ana kütle içinde kırılma olduğunda değerlendirmelerin yetersiz ve uygun olmayan nitelikte olduğunu bildirmiştir. (Della Bona and Van Noort 1995, Pereira 2006)

Seramik-kompozit rezin bağlantısı konusundaki çalışmalarda bağlantının kuru koşullarda gerçekleştirildiği bağlantı dayanımı testlerinde adezyon ilkelerinden mikromekanik bağlanmanın bağ dayanımını belirlediği, yaşlandırma uygulanan örneklerde ise kimyasal adezyonun bağ dayanımı daha fazla etkilediği ileri sürülmüştür. (Ozcan et al. 2009) Bu tür farklı çalışmalarda kullanılan yöntemlerle

maddeler farklı olduğundan ve standart protokoller mevcut olmadığından çalışmaları birbirleriyle doğrudan karşılaştırmak mümkün değildir. (Blatz et al., 2004)

2.4.2. Kırılma Modu/Başarısızlık Türü

Arayüzdeki bağlantı bölgesi gerçekte en fazla strese maruz kalan bölgedir ve hangi test yöntemi kullanılırsa kullanılsın adeziv ile substrat arasındaki gerçek bağ dayanımı bu bölgenin adezyonu temel alınarak ölçülmelidir. Stres dağılımının sadece arayüzde ve türdeş şekilde olması sonucunda ki bunun testlerde gerçekleştirilmesi şu anda imkansızdır test bulguları ile adeziv bağlantının klinik davranışı ilişkilendirilebilir. Seramik ile rezin siman arasındaki bağlantının etkisi sadece bağ dayanımı değerlerinin karşılaştırılması ile yorumlanmamalıdır, bağ dayanım değerlerine ek olarak kırılmanın doğası da incelenmelidir. Test yöntemlerinde stresin dağılımını bilerek bağlantı başarısızlık modu analizleri yapmak adezyon çalışmalarında olmazsa olmazdır. Başarısızlık modu klinik performans sınırı ile ilgili önemli bilgiler vermekte, başarısızlık türünün doğru bir şekilde yorumlanması testin faydası ve arayüzde gerçekleşen olaylarla hakkında yanlış çıkarımlarda bulunulmasını önlemektedir. (Papacchini 2006, Della Bona et al., 2002)

Bağlantı testleri sonunda örneklerin kırık yüzeyleri stereomikroskop ile incelenmekte ve bağın ayrılması işlemi sırasında hangi tipte kırık yüzey oluştuğu belirlenmektedir. Makaslama bağ dayanımı testlerinde substratta koheziv kırık oluşumundan olabildiğince kaçınmak istenmektedir. Bağ kırılmasının adeziv arayüzde gerçekleştiği testler rezin simanın bağ performansı ile ilgili daha gerçekçi bilgi vermektedir. (Nagai et al., 2005) Adeziv maddenin bir kısmının uzaklaştığı koheziv başarısızlıklar da iki madde arasında gerçekleşen bağlantının sıkı bir şekilde ve daha yüksek bir etki ile gerçekleştiğine işaret etmektedir. Sonuç olarak makaslama testinde koheziv başarısızlığın nedeni kötü bir test düzeneği olmamalı, koheziv başarısızlık etkili bir bağa işaret etmeli, koheziv başarısızlık substratta değil adezivde olmalıdır.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller ve Cihazlar

CAD-CAM yöntemi ile işlenerek hazırlanan lityum disilikat cam seramik materyalin dual-kür rezin siman ile bağlantısında farklı silan uygulamalarının etkisinin incelendiği çalışmamızda kullanılan materyaller Tablo 4'te, kullanılan cihazlar Tablo 5'te bildirilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan maddeler

Ürünün ismi	MATERYALİN İÇERİĞİ	ÜRETİCİ FİRMA
IPS e.max CAD	C14 boyutlarında, A1 rengine, düşük seviyede yarı şeffaf 'low translucent', %70 lityum disilikat ve lityum ortofosfat kristali içeren cam seramik	Ivoclar Vivadent
Clearfil Ceramic Primer	MTS, MDP, etanol	Kuraray Inc.
GC Ceramic Primer	Primer A: ethanol, vinyl silane coupler Primer B: ethanol, urethane dymethacrylate, acid catalyst	GC Corp.
Monobond Plus	Alkol çözeltisinde Silan metakrilat, fosforik asit metakrilat, sülfid metakrilat	Ivoclar Vivadent
Bis-Silane	Etanol (%<95 derişim), MTS (%<10 derişim)	Bisco Inc.
IPS Ceramic Etching Gel	Hidrofluorik asit (<%5)	Ivoclar Vivadent
N-Etch	% 37'lik fosforik asit jeli	Ivoclar Vivadent
SEcure	Self-etch dual-kür rezin siman	Sun Medical Co. Ltd.
Ultrabrush	Uygulama uçları	Microbrush Int.
PAN ACRYL	Self-cure polimetilmetakrilat rezin	İnci Dental
WS FLEX	Aşındırıcı SiC zımpara kağıtları	Hermes
Digital Thermometer 30.1018	Dijital termometre (-40°C/ 200°C)	TFA Dostmann

Tablo 5. Kullanılan cihazlar

CİHAZ	MARKA ve ÜRETİCİ FİRMA
Düşük devirde su soğutması altında çalışan kesici alet	Micracut 150 Precision Cutter, Metkon, Türkiye
Stereomikroskop	Leica S4E Stereomicroscope, Leica Microsystems, Almanya
Seramik fırını	Programat EP 5000, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein
Etüv Sterilizatör	M-160 Manuel, Mega-Term, Türkiye
Demetron LC	Kerr Corporation, ABD
Aşındırma Cihazı	Forcipol 1V Grinder-Polisher, Metkon, Türkiye
Üniversal Test Cihazı	TSTM 02500, Elista Ltd Şti., Türkiye

3.2. Deney Örneklerin Elde Edilmesi

3.2.1. Tam Seramik Örneklerin Seçimi

In-vitro olarak gerçekleştirilen çalışmada Cerec/InLab CAD/CAM ile şekillendirilen, A1 renginde, C14 boyutunda, düşük yarıgeçirgenlikte (low translucent), tam konturde monolitik restorasyonlar yapılması olanağı da sunan IPS e.max (Ivoclar Vivadent) lityum disilikat cam seramik bloklar kullanılmıştır. (Resim 1)



Resim 1. IPS e.max CAD külçesi

3.2.2. Tam Seramik Örneklerin Hazırlanması

Kristalizasyonu tamamlanmamış, mavi fazdaki IPS e.max CAD seramik bloklar Anadolu Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan su soğutması altında düşük devirde çalışan kesici bir alet (Micracut 150 Precision Cutter, Metkon, Bursa, Türkiye) yardımıyla 2 mm kalınlığında olacak

şekilde kesildi. (Resim 2) Dual sertleşen kompozit rezin yapıştırma simanlarıyla bağ dayanımlarının ölçülmesinde kullanılmak üzere çalışmamızda 480 tane seramik plaka elde edildi. (Resim 3)



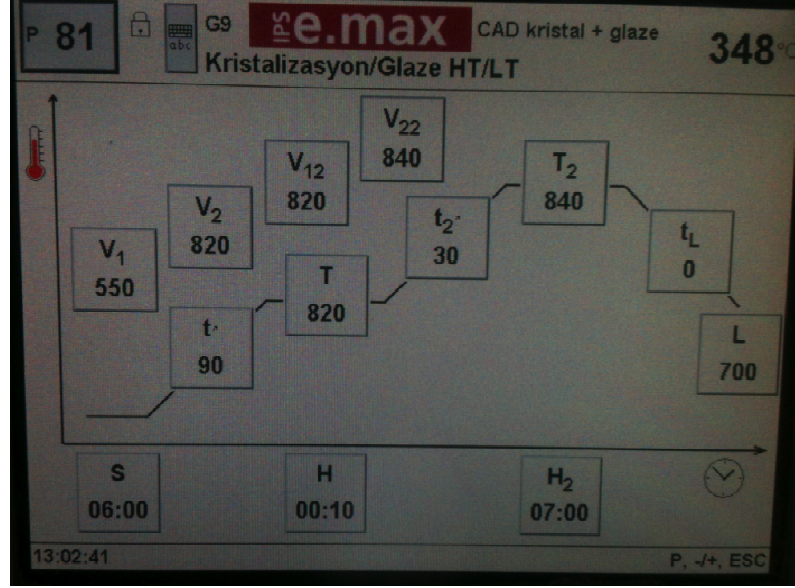
Resim 2. Seramiklerin kesiminde kullanılan kesici



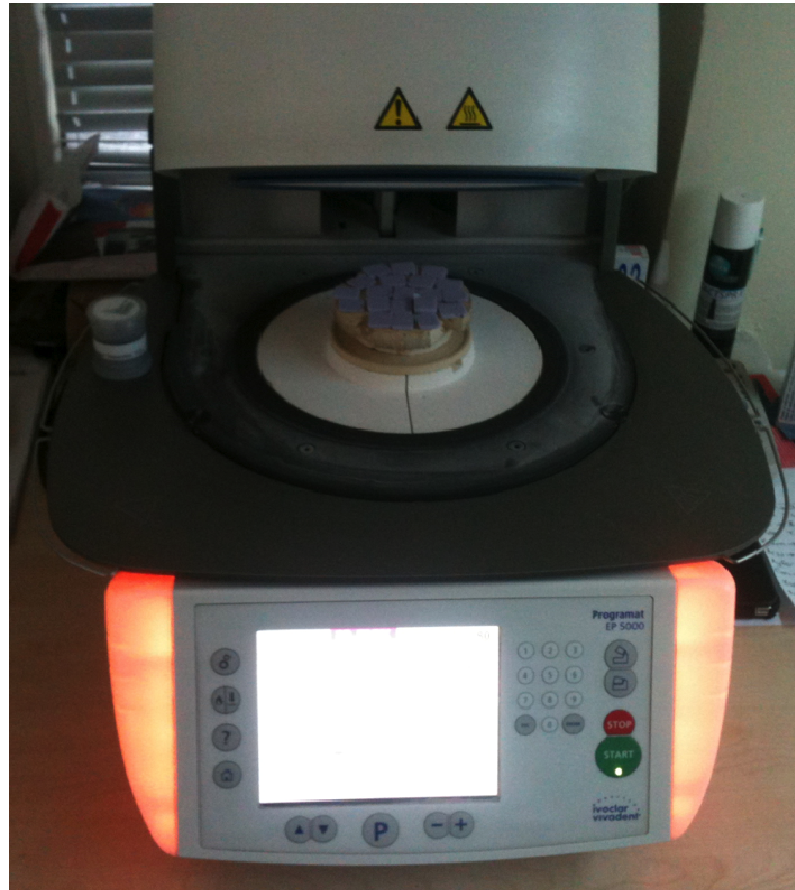
Resim 3. Seramiklerin kesimi

3.2.3. Tam Seramik Örneklerin Fırınlanması

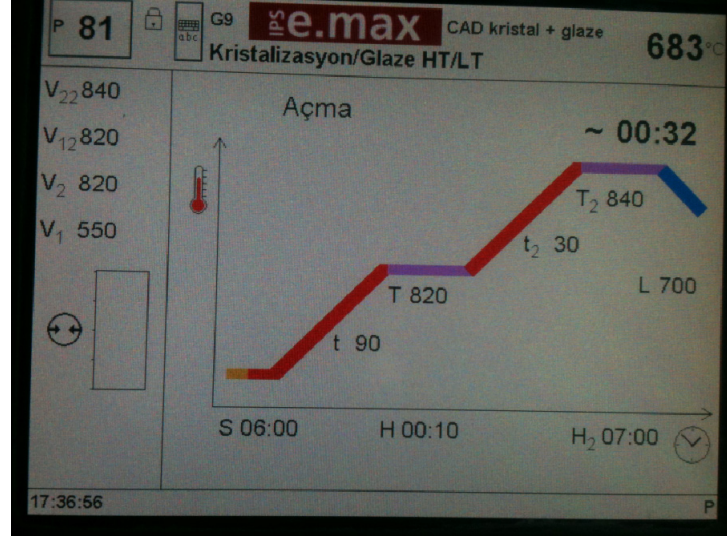
IPS e.max CAD'ın kristalizasyonunun tamamlanması için üretici firmanın talimatları doğrultusunda Programat EP 5000 G2 fırında (Ivoclar Vivadent) IPS e.max CAD kristal + glaze programı ile seramik plakaların fırınlanması gerçekleştirildi. (Resim 4, Resim 5, Resim 6, Resim 7)



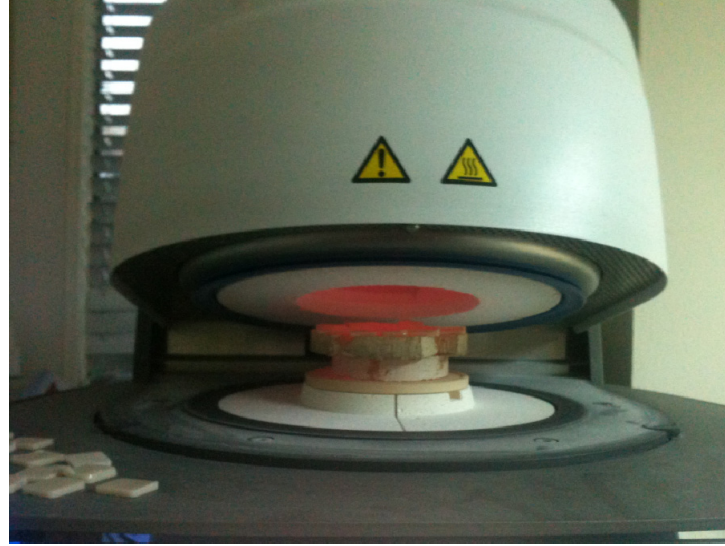
Resim 4. Seramiklerin fırınlanması program



Resim 5. Seramiklerin fırınlanması



Resim 6. Seramiklerin fırınlanması



Resim 7. Seramiklerin fırınlanması

3.2.4. Tam Seramik Plakaların Akrilik Rezine İçine Yerleştirilerek Test Örneklerinin Hazırlanması

Fırınlanmış tam seramik plakalar önceden cam üzerinde sabitlenen teflon kalıp silindiri içine teflon kalıp ortalanacak şekilde yerleştirildi (Resim 8) ve kimyasal tepkime ile polimerize olan akrilik rezin üretici firmanın önerdiği oranlarda karıştırılarak teflon kalıbın içine dolduruldu. (Resim 9) Sertleşen akrilik rezin kalıptan çıkarıldı ve örnekler oluşturuldu. Düz bir bağlantı yüzeyi elde edebilmek amacıyla örneklerin seramik yüzeylerinde bulunan taşkın akrilik ve seramik parçaları

su altında sırasıyla 80, 180, 320 ve 600 gritlik SiC zımpara kullanılarak aşındırma cihazında (Forcipol 1V Grinder-Polisher, Metkon, Türkiye) aşındırıldı ve düzeltildi. (Resim 10) Böylelikle makaslama testi için gerekli olan düz bağlantı yüzeyleri elde edildi. (Resim 11)



Resim 8. Teflon kalıplar



Resim 9. Akriklik rezin ile örneklerin eldesi



Resim 10. Yüzey düzeltme işleminin gerçekleştirilmesi



Resim 11. Yüzeyleri düzeltilmiş örnekler

3.3. Çalışma Grupların Oluşturulması

Elde edilmiş olan 480 örnek seramik yüzeyine uygulanacak işlemlere göre herbiri yirmi örnekten oluşan 24 gruba ayrıldı. Grupların oluşturulmasında belirlenen değişkenler aşağıda belirtilmiştir;

1-Seramik yüzeyine uygulanan asitin türü

Seramik örnekler iki gruba ayrıldı, örneklerin yarısına HF asit, diğer yarısına ise fosforik asit uygulandı.

2-Seramik yüzeyine uygulanan silan bağlayıcı ajanlar

Örneklere dört farklı silan bağlayıcı ajan uygulanmıştır.

Bunlar Monobond Plus, Clearfil Ceramic Primer, Bis Silane ve GC Ceramic Primer'dir.

3-Silan bağlayıcı ajanın farklı yöntemlere kurutulması ve inceltilmesi

Seramik yüzeyine uygulanan silan bağlayıcı ajanlar üç farklı şekilde kurutulmuştur. Bunlar; oda ısısında hava ile kurutma, sıcak hava ile kurutma ve sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama şeklindedir.

Buna göre çalışmamız iki farklı asit uygulaması, dört farklı silan uygulaması, üç farklı silan kurutma ve inceltme uygulaması kullanılarak 24 gruba gerçekleştirildi.

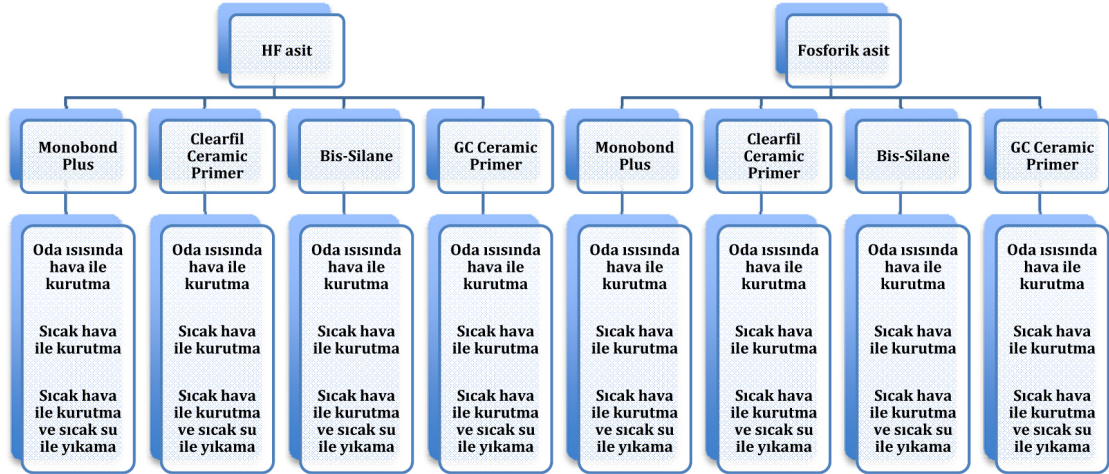
Oluşturulan gruplar ve kodları Tablo 6 ve 7'de ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Çalışma grupları ve kodları

Grup Kodu	Asit	Silan	Silan kurutma yöntemi
1-FA-MB-OH	Fosforik asit	Monobond Plus	Oda ısısında hava ile kurutma
2-FA-MB-SH	Fosforik asit	Monobond Plus	Sıcak hava ile kurutma
3-FA-MB-SHSS	Fosforik asit	Monobond Plus	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama
4-HF-MB-OH	Hidrofluorik asit	Monobond Plus	Oda ısısında hava ile kurutma
5-HF-MB-SH	Hidrofluorik asit	Monobond Plus	Sıcak hava ile kurutma
6-HF-MB-SHSS	Hidrofluorik asit	Monobond Plus	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama
7-FA-CC-OH	Fosforik asit	Clearfil Ceramic Primer	Oda ısısında hava ile kurutma
8-FA-CC-SH	Fosforik asit	Clearfil Ceramic Primer	Sıcak hava ile kurutma
9-FA-CC-SHSS	Fosforik asit	Clearfil Ceramic Primer	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama
10-HF-CC-OH	Hidrofluorik asit	Clearfil Ceramic Primer	Oda ısısında hava ile kurutma
11-HF-CC-SH	Hidrofluorik asit	Clearfil Ceramic Primer	Sıcak hava ile kurutma
12-HF-CC-SHSS	Hidrofluorik asit	Clearfil Ceramic Primer	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama
13-FA-BS-OH	Fosforik asit	Bis-Silane	Oda ısısında hava ile kurutma
14-FA-BS-SH	Fosforik asit	Bis-Silane	Sıcak hava ile kurutma
15-FA-BS-SHSS	Fosforik asit	Bis-Silane	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama
16-HF-BS-OH	Hidrofluorik asit	Bis-Silane	Oda ısısında hava ile kurutma
17-HF-BS-SH	Hidrofluorik asit	Bis-Silane	Sıcak hava ile kurutma
18-HF-BS-SHSS	Hidrofluorik asit	Bis-Silane	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama
19-FA-GC-OH	Fosforik asit	GC Ceramic Primer	Oda ısısında hava ile kurutma
20-FA-GC-SH	Fosforik asit	GC Ceramic Primer	Sıcak hava ile kurutma
21-FA-GC-SHSS	Fosforik asit	GC Ceramic Primer	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama
22-HF-GC-OH	Hidrofluorik asit	GC Ceramic Primer	Oda ısısında hava ile kurutma
23-HF-GC-SH	Hidrofluorik asit	GC Ceramic Primer	Sıcak hava ile kurutma
24-HF-GC-SHSS	Hidrofluorik asit	GC Ceramic Primer	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama

Tablo 7. Çalışma grupları

	Monobond Plus	Ceramic Primer	Bis-Silane	GC Ceramic Primer
Fosforik asit	Oda ısısında hava ile kurutma	Oda ısısında hava ile kurutma	Oda ısısında hava ile kurutma	Oda ısısında hava ile kurutma
	Sıcak hava ile kurutma	Sıcak hava ile kurutma	Sıcak hava ile kurutma	Sıcak hava ile kurutma
	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama
Hidrofluorik asit	Oda ısısında hava ile kurutma	Oda ısısında hava ile kurutma	Oda ısısında hava ile kurutma	Oda ısısında hava ile kurutma
	Sıcak hava ile kurutma	Sıcak hava ile kurutma	Sıcak hava ile kurutma	Sıcak hava ile kurutma
	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama



Şekil 10. Çalışma grupları

3.4. Seramik Yüzeyinde Gerçekleştirilen İşlemler

3.4.1. Asit Uygulaması

3.4.1.1. HF Asit Uygulaması

Seramik yüzeyinin HF asit ile hazırlandığı gruplarda seramik örneklerin bağlantı yüzeylerine %5'lik hidrofluorik asit (IPS Ceramic Etching Gel, Ivoclar

Vivadent, Schaan, Liechtenstein) uygulandı, yirmi saniye beklendi. Örnekler hava-su spreyi ile yıkandı. Hava spreyi ile bir dakika süresince kurutuldu.

3.4.1.2. Fosforik Asit Uygulaması

Seramik yüzeyinin fosforik asit kullanılarak hazırlandığı gruplarda %37'lik Eco N Etch asit (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) seramik yüzeyine uygulandı, bir dakika beklendikten sonra yüzey hava-su spreyi ile yıkandı, hava spreyi ile bir dakika süreyle kurutuldu.

3.4.2. Silan Uygulaması

Asit uygulanarak yüzey hazırlığı gerçekleştirilen örneklere dört farklı silan bağlayıcı ajan üreticilerinin talimatlarına göre uygulandı. Tablo 8'de kullanılan silanlar, içerikleri ve üretici firmaların kullanım önerileri gösterilmiştir.

Tablo 8. Silanlar, içerikleri ve kullanım önerileri

Materyal	İçerik	Üretici Firma Önerileri
Monobond Plus	Ethanoethanol: 50-100%, 3-trimethoxysilylpropyl methacrylate: < 2.5% , Methacrylated phosphoric acid ester: < 2.5%	Seramik yüzey HF asit ile pürüzlendirilerek hazırlanır, Monobond Plus yüzeye uygulanır, 60 saniye beklenir, kuvvetli hava akımı ile inceltir.
Clearfil Ceramic Primer	Ethanol: >80%, 3-trimethoxysilylpropyl methacrylate: < 5%, 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate	Seramik yüzey fosforik asit ile pürüzlendirilerek hazırlanır, Clearfil Ceramic Primer yüzeye uygulanır, hafif hava akımı ile inceltir.
Bis-Silane	Ethanol: <95, Silane: <10	Seramik yüzey HF asit ile pürüzlendirilerek hazırlanır, A ve B şişelerinden birer damla karıştırma haznesine damlatılır, karıştırılır, seramik yüzeyine 1-2 ince tabaka uygulanır, ılık hava akımı ile kurutulur.
GC Ceramic Primer	Ceramic Primer A: Ethanol: 80-95 % , Vinyl silane Ceramic Primer B : Methyl Methacrylate: 40-50 % , Ethanol: 30-40 % , Urethane Dimethacrylate: 5-10 % , 2-Hydroxyethyl Methacrylate: 5-10 %	Seramik yüzey fosforik asit ile pürüzlendirilerek hazırlanır, Ceramic Primer A ve B şişelerinden birer damla sıvı karıştırma haznesine damlatılır, uygulama ucu ile 5 saniye karıştırılır, seramik yüzeyine ince bir tabaka olarak uygulanır, hava akımı ile kurutulur.

1- Monobond Plus uygulaması

Üreticinin talimatlarına göre Monobond Plus uygulama fırçası (Ultrabrush) ile ince bir tabaka şeklinde seramik yüzeyine uygulandı. Bir dakika süresince beklendi.

Monobond Plus, alkol çözeltisinde içinde silan metakrilat, fosforik asit metakrilat, sülfid metakrilat içeren seramik primeridir. Monobond Plus kullanılacağı seramik yüzeyine HF asit ile fiziksel hazırlık yapılmasını önermektedir.



Resim 12. Monobond-Plus

2- Clearfil Ceramic Primer uygulaması

Üreticinin talimatlarına göre Clearfil Ceramic Primer uygulama fırçası (Ultrabrush) ile ince bir tabaka şeklinde seramik yüzeyine uygulandı. Bir dakika süresince beklendi.

Clearfil Ceramic Primer (Kuraray Medical Inc.) silan primerlerinde kullanılan silan monomeri 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane'dır. Clearfil Ceramic Primer'de silanı etkinleştiren katalitik bileşenler su ve fosfat monomerleridir. Çözücü olarak etanol içermektedir. Clearfil Ceramic Primer HF asit ile pürüzlendirme önermemektedir.



Resim 13. Clearfil ceramic primer

3- Bis-Silane uygulaması

Üreticinin talimatlarına göre Bis Silane A ve B şişelerinden birer damla silan karıştırma haznesine damlatıldı, 5 sn süresince uygulama fırçası (Ultrabrush) ile karıştırıldı ve ince bir tabaka şeklinde seramik yüzeyine uygulandı. Bir dakika süresince beklendi.

Bis-Silane etanol çözücü içinde silan içeren silan bağlayıcı ajandır. Üretici firma Bis-Silane'ni uygulama öncesinde seramik yüzeyin HF asit ile pürüzlendirilmesini önermektedir.



Resim 14. Bis-Silane

4- GC Ceramic Primer uygulaması

Üreticinin talimatlarına göre GC Ceramic Primer A ve B şişelerinden birer damla silan karıştırma haznesine damlatıldı, 5 saniye süresince uygulama fırçası (Ultrabrush) ile karıştırıldı ve ince bir tabaka şeklinde seramik yüzeyine uygulandı. Bir dakika süresince beklendi.

GC Ceramic Primer iki şişeden oluşmaktadır. Bu seramik primerin birinci şişesinde (Primer A) γ -MPTS (vinyl silane, etanol), ikinci şişesinde ise (Primer B) organik asit (bu molekülün asidik grubu karboksilik asittir) ve bir metakrilat monomeri (methacrylate ester monomer) bulunmaktadır. GC Ceramic Primer kullanım talimatı bu iki primerin 5 sn süresince karıştırılmasının seramik yüzeyine uygulanması ve hava püskürterek kurutulması şeklindedir. GC Ceramic Primer uygulanma öncesinde seramik yüzeyin fosforik asitle pürüzlendirmesini önermektedir.



Resim 15. GC Ceramic Primer

3.4.2.1. Silanların Kurutulması ve İnceltilmesi

Silan uygulanmış olan örnekler her bir silan markası için silanın kurutulması ve inceltilmesine göre üç ayrı gruba ayrıldı. (Tablo 9.) Bu gruplar şu şekildedir;

Tablo 9. Silanların kurutulması ve inceltilmesi

Monobond Plus	Clearfil Ceramic Primer	Bis-Silane	GC Ceramic Primer
Oda ısısında hava ile kurutma	Oda ısısında hava ile kurutma	Oda ısısında hava ile kurutma	Oda ısısında hava ile kurutma
Sıcak hava ile kurutma	Sıcak hava ile kurutma	Sıcak hava ile kurutma	Sıcak hava ile kurutma
Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama	Sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama

1-Oda ısısında hava ile kurutma

Bu uygulamada silan uygulanmış seramik yüzeyler 10 cm uzaklıktan hava spreyi ile kurutuldu.

2-Sıcak hava ile kurutma

Bu uygulamada silan uygulanmış seramik yüzeyler önce 10 cm uzaklıktan hava spreyi ile kurutuldu. Örnekler de Carvalho et al., 2011, Moharamzadeh et al., 2008 ve Hooshmand et al., 2002'nin çalışmalarındaki uygulamalara benzerlik gösterecek şekilde 100°C derecedeki etüv içine yerleştirildi, 2 dakika beklendi. Örnek etüvden çıkarıldı, oda sıcaklığına gelmeleri beklendi.



Resim 16. Seramiklerin sıcak etüv sterilizatöre yerleştirilmesi

3-Sıcak hava ile kurutma + sıcak su ile yıkama

Bu uygulamada silan uygulanmış seramik yüzeyler 10 cm uzaklıktan hava spreyi ile kurutuldu. Örnekler daha sonra 100°C derecedeki etüv içine yerleştirildi, 2 dakika beklendi. Etüvden çıkarılan örnekler taze kaynamış suda (85°C) 2 dakika bekletildi. Sıcak su banyosundan çıkarılan örneklerin üzerindeki su hava spreyi ile uzaklaştırıldı ve örneklerin oda sıcaklığına gelmesi için beklendi.



Resim 17. Seramiklerin sıcak su banyosuna yerleştirilmesi



Resim 18. Seramikler 85°C derece sıcak su banyosunda

3.4.3. Rezin Simanın Seramik Yüzeyine Uygulanması

Seramik yüzeylerine farklı yöntemlerle silan uygulanmasının hemen ardından örneklerine yüzeylerine ikiye ayrılabilir teflon aparat yerleştirildi ve böylelikle seramik yüzeyi üzerinde rezin simanın uygulanacağı 3 mm çapında, 2 mm yüksekliğinde bir kalıp boşluğu oluşturuldu. Söz konusu boşluk otomatik karıştırıcı uçları yardımıyla SEcure rezin siman (Sun Medical Co. Ltd., Japonya) ile dolduruldu. Kalıp boşluğunun üst bölümüne polyester film yerleştirildi. Işık cihazı (Demetron LC, Kerr Corporation, Orange, ABD) 120 saniye süresince uygulanarak polimerizasyon gerçekleştirildi. Polimerizasyon tamamlandıktan sonra teflon kalıp uzaklaştırıldı. Dual-kür rezin simanların polimerizasyonunun tamamlanması için gereken süre üretici firma tarafından 24 saat olarak belirtildiği için bu süre içinde bağlanmış örnekler 37°C sıcaklıkta distile suda etüv içinde bekletildi. 24 saat etüvde beklemenin ardından örnekler bağlantı testi uygulanıncaya kadar ışık geçirmeyen kapalı ortamda bekletildi.



Resim 19. Teflon kalıbın ayrılması



Resim 20. Teflon kalıp ve metal bandı



Resim 21. Teflon kalıp bütün durumda



Resim 22. Rezin simanın uygulanması ve polimerizasyonu



Resim 23. Rezin siman polimerize durumda



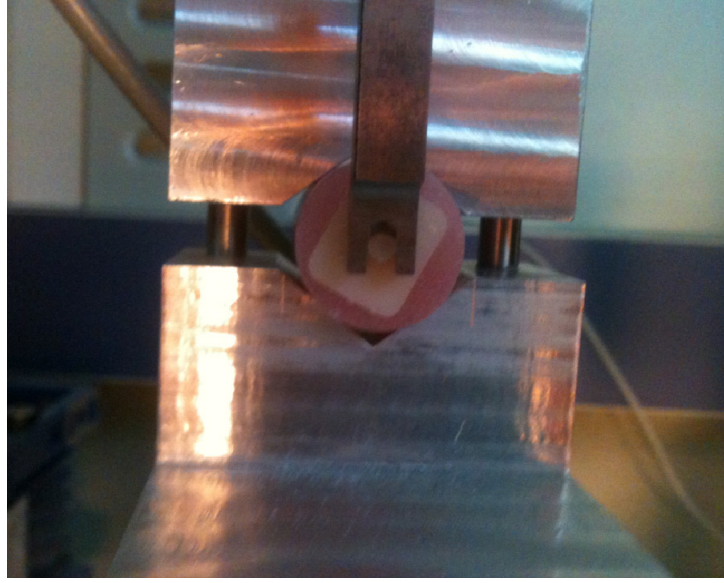
Resim 24. Teflon kalıpların örneklerden uzaklaştırılması



Resim 25. Dual-kür rezin siman bağlanmış örnekler

3.4.4. Makaslama Bağlantı Kuvveti Testinin Gerçekleştirilmesi

Örneklerin makaslama testleri özel bir taşıyıcı yardımıyla Konya Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan universal test cihazı (TSTM 02500, Elista Ltd Şti., Türkiye) kullanılarak gerçekleştirildi. Keski şeklinde uygulama ucu rezin bağlantı arayüzüne paralel olacak şekilde yerleştirildi. Örnekler kopma oluncaya kadar 1 mm/dk yükleme hızıyla kuvvet uygulandı ve makaslama bağ dayanımı testi gerçekleştirildi (Şekil 28). Kopma anındaki kuvvet Newton (N) birimiyle tespit edildi. Elde edilen Newton (N) değerleri bağlantı alanına bölünerek Megapaskal (MPa) birimiyle bağlantı dayanımı hesaplandı.



Resim 26. Makaslama bağ dayanımı testinin gerçekleştirilmesi



Resim 27. Universal test cihazı

3.4.5. Yüzey Başarısızlık Tiplerinin Belirlenmesi

Bağlanma testi sonrasında seramik-rezin siman bağlantı arayüzü Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesinde, Leica S4E stereomikroskop (Leica

Microsystems) kullanılarak 30x büyütmede incelendi ve her bir grup için başarısızlık tipleri belirlendi.

Makaslama testinin ardından örnekler kopma yüzeylerine göre 3 gruba ayrıldı;

1-K: Rezin siman içinde koheziv kopma,

2-A: Seramik-rezin siman arasında adeziv kopma,

3-M: Seramik-rezin arayüzünde rezin simanın adeziv-koheziv kopması birlikte.

3.5. İstatistiksel Değerlendirme

Elde edilen bağ değerleri, istatistiksel analiz için SPSS 17.0 (SPSS Inc., ABD) programına yüklendi ve değerler tablolar halinde kaydedildi. Normallik analizi için Kolmogorov Smirnov testi kullanıldı. Her grupta elde edilen bağ değerleri arasındaki farkın belirlenmesi için gruplar t-testi ile karşılaştırıldı. İki'den fazla grup karşılaştırmaları için ANOVA testi kullanıldı. Farklı olan gruplar Tukey ve LSD testleri ile belirlendi. Anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edildi.

4. BULGULAR

4.1. Makaslama Bağ Dayanımı Test Bulguları

Çalışmada her bir örnek için makaslama bağ dayanım ortalama değerleri Tablo 10'da görölmektedir.

Tablo 10. Bağ dayanım değerleri ortalamaları ve standart sapmaları

Asit ve Silan	OH (ort \pm St.D)	SH (ort \pm St.D)	SHSS (ort \pm St.D)
FA-MB	17.9 \pm 6.0	17.6 \pm 4.3	21.2 \pm 4.8
HF-MB	19.3 \pm 5.1	18.1 \pm 6.4	18.4 \pm 4.6
FA-CC	18.3 \pm 4.3	15.4 \pm 4.4	15.9 \pm 4.2
HF-CC	17.5 \pm 6.5	18.5 \pm 4.4	21.9 \pm 4.8
FA-BS	18.0 \pm 7.3	17.9 \pm 6.6	18.5 \pm 5.6
HF-BS	19.7 \pm 4.9	18.2 \pm 4.0	18.8 \pm 5.7
FA-GC	18.9 \pm 3.5	18.4 \pm 5.1	20.6 \pm 7.6
HF-GC	19.3 \pm 3.9	18.5 \pm 4.4	22.6 \pm 4.5

Değişkenler arasındaki etkileşimleri belirlemek için gerçekleştirilen analiz Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Değişkenler arası etkileşim testleri

	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	p
Asit (A) (Hidrofluorik asit, Fosforik Asit)	124,599	1	124,599	4,475	p<0,05 (,035)
Silan (S) (Monobond Plus, GC Ceramic Primer, Clearfil Ceramic Primer, Bis-Silane)	199,596	3	66,532	2,390	,068
Silan kurutma yöntemi (SK) (Oda sıcaklığı, Sıcak hava, Sıcak hava ve sıcak su)	294,412	2	147,206	5,287	p<0,05 (,005)
A*S	149,549	3	49,850	1,790	,148
A*SK	9,716	2	4,858	,174	,840
S*SK	96,129	6	16,022	,575	,750
A*S*SK	355,774	6	59,296	2,130	,050

Asit, silan ve silan uygulaması tekniği olmak üzere 3 farklı parametre incelendiğinden bulgular istatistiksel olarak 3 yönlü varyans analizi ile değerlendirildi. İstatistiksel değerlendirme sonucunda asit-silan, asit-silan kurutma yöntemi, silan-silan kurutma yöntemi ve bu üçünün kombinasyonunda etkileşim bulunmadığı görülmüştür.

Bir yönlü varyans analizi ile değerlendirildiğinde fosforik asit ile hidrofluorik asit uygulamaları arasında anlamlı farklılık saptandı. ($p<0,05$)

Silanlar arasında anlamlı farklılık saptanmadı. ($p>0,05$)

Silan kurutma yöntemlerinin etkisi arasında anlamlı farklılık saptandı. ($p<0,05$)

Silan kurutma yöntemlerinin etkisi değişkenler arası etkileşimde anlamlı derecede hesaplandığından silan kurutma yöntemleri arasındaki farklılık varyans analizi ile değerlendirildi. Bu analiz Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12. Silan kurutma yöntemlerinin tek yönlü varyans analizi ile karşılaştırılması

Kurutma yöntemi	Kurutma yöntemi	p
Oda sıcaklığı	Sıcak hava	,399
	Sıcak hava ve sıcak su	,140
Sıcak hava	Oda sıcaklığı	,399
	Sıcak hava ve sıcak su	$p<0,05$ (.004)
Sıcak hava ve sıcak su	Oda sıcaklığı	,140
	Sıcak hava	$p<0,05$ (.004)

Bütün gruplar genelinde silan kurutma uygulamaları arasında anlamlı farklılık saptandı ($p<0,05$). Farklılığın sıcak hava ile sıcak hava ve sıcak su uygulamaları arasında olduğu saptandı.

Fosforik asit uygulaması için değişkenler arasındaki etkileşimin değerlendirilmesi Tablo 13’te gösterilmiştir.

Tablo 13. Fosforik asit uygulamasında değişkenler arasındaki karşılaştırma

Fosforik Asit	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	p
Silan	269,936	3	89,979	2,082	p<0,05 (,032)
Silan kurutma yöntemi (SK)	118,401	2	59,200	1,962	,143
S*SK	197,470	6	32,912	1,091	,369

Fosforik asit uygulamasında silanlar arasında anlamlı farklılık saptandı ($p<0,05$). Fosforik asit uygulamasında silan uygulama yöntemleri arasında ve 4 farklı silan materyali ile farklı uygulama işlemleri kombinasyonları değerlendirildiğinde aralarında anlamlı farklılık saptanmadı ($p>0,05$).

Fosforik asit uygulaması için silanlar arasında Post Hoc testleriyle karşılaştırma yapıldı. Bu karşılaştırma Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14. Fosforik asit uygulamasında silanların karşılaştırılması

Fosforik Asit	Silan	p
Monobond Plus	Clearfil Ceramic Primer	p<0,05 (,021)
	Bis-Silane	,488
	GC Ceramic Primer	,649
Clearfil Ceramic Primer	Monobond Plus	p<0,05 (,021)
	Bis-Silane	,106
	GC Ceramic Primer	p<0,05 (,006)
Bis-Silane	Monobond Plus	,488
	Clearfil Ceramic Primer	,106
	GC Ceramic Primer	,251
GC Ceramic Primer	Monobond Plus	,649
	Clearfil Ceramic Primer	p<0,05 (,006)
	Bis-Silane	,251

Fosforik asit uygulamasında silanlar arasındaki farklılığın Monobond Plus ile Clearfil Ceramic Primer ve Clearfil Ceramic Primer ile GC Ceramic Primer arasında olduğu saptandı.

Hidrofluorik asit uygulaması için değişkenler arasındaki etkileşimin değerlendirilmesi Tablo 15'te gösterilmiştir.

Tablo 15. Hidrofluorik asit uygulamasında değişkenler arasındaki karşılaştırma

Hidrofluorik Asit	Kareler toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler ortalaması	F	p
Silan	79,209	3	26,403	1,035	,378
Silan kurutma yöntemi (SK)	185,727	2	92,864	3,641	p<0,05 (,028)
S*SK	254,433	6	42,405	1,663	,131

Hidrofluorik asit uygulamasında silanlar arasında anlamlı farklılık saptanmadı ($p>0,05$). Silan uygulama yöntemleri arasında ise anlamlı farklılık saptandı. ($p<0,05$). Silanların ve silan uygulama yöntemlerinin ikili kombinasyonları arasında anlamlı farklılık saptanmadı ($p>0,05$).

Hidrofluorik asit için değişken analizleri yapıldığında Clearfil Ceramic Primer grupları ve GC Ceramic Primer gruplarında silan uygulama yönteminin anlamlı derecede farklı olduğu saptandı.

Hidrofluorik asit uygulamasında Clearfil Ceramic Primer için silan uygulama yöntemleri karşılaştırması Tablo 16’da gösterilmiştir.

Tablo 16. HF asit- Clearfil Ceramic Primer için silan uygulamalarının karşılaştırılması

Kurutma yöntemi	Kurutma yöntemi	p
Oda sıcaklığı	Sıcak hava	,826
	Sıcak hava ve sıcak su	p<0,05 (,032)
Sıcak hava	Oda sıcaklığı	,826
	Sıcak hava ve sıcak su	,121
Sıcak hava ve sıcak su	Oda sıcaklığı	p<0,05 (,032)
	Sıcak hava	,121

Post Hoc testleri sonucunda Hidrofluorik asit- Clearfil Ceramic Primer uygulaması için silan uygulama yöntemleri arasındaki farklılığın sadece oda sıcaklığı ile sıcak hava ve sıcak su uygulaması arasında olduğu saptandı.

Hidrofluorik asit uygulamasında GC Ceramic Primer için silan uygulama yöntemleri karşılaştırması Tablo 17’de gösterilmiştir.

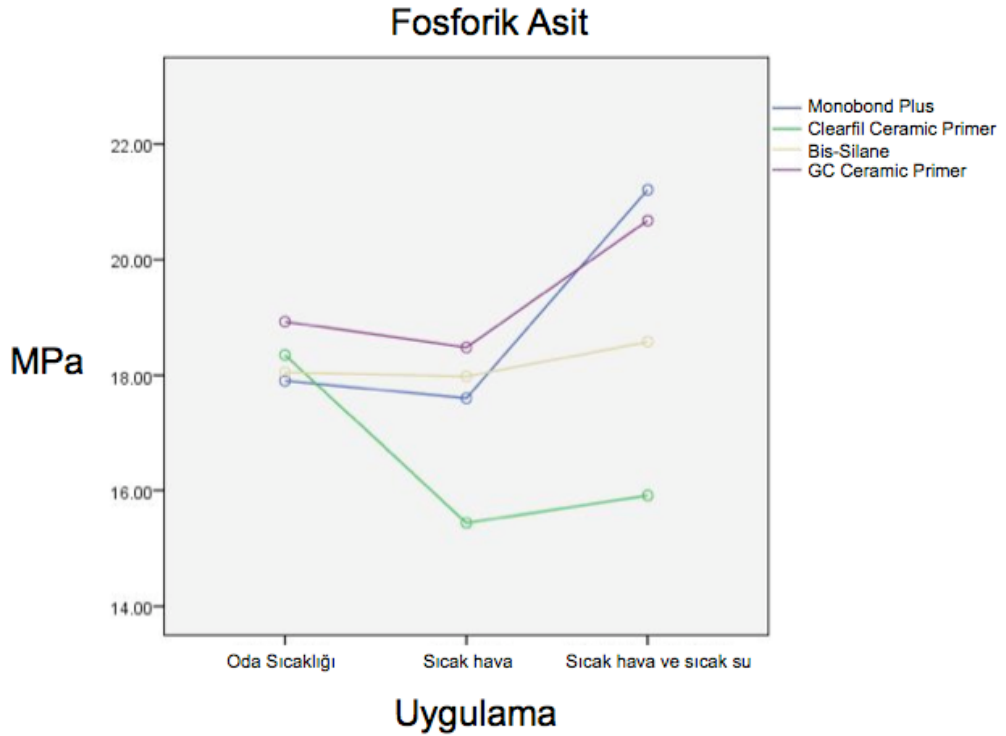
Tablo 17. HF asit- GC Ceramic Primer için silan uygulamalarının karşılaştırılması

Kurutma yöntemi	Kurutma yöntemi	p
Oda sıcaklığı	Sıcak hava	,838
	Sıcak hava ve sıcak su	p<0,05 (.045)
Sıcak hava	Oda sıcaklığı	,838
	Sıcak hava ve sıcak su	p<0,05 (.011)
Sıcak hava ve sıcak su	Oda sıcaklığı	p<0,05 (.045)
	Sıcak hava	p<0,05 (.011)

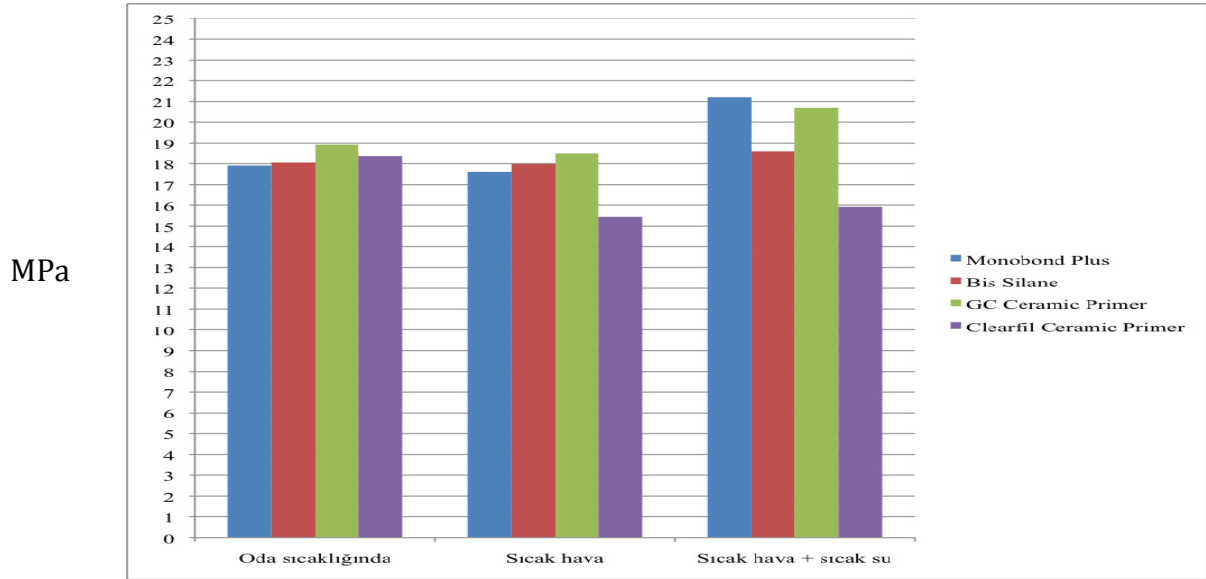
Post Hoc testleri sonucunda Hidrofluorik asit- GC Ceramic Primer uygulaması için silan uygulama yöntemleri arasındaki farklılığın oda sıcaklığı ile sıcak hava, sıcak su uygulaması arasında ve sıcak hava uygulaması ile sıcak hava, sıcak su uygulaması arasında olduğu saptandı.

Fosforik asit kullanılarak ve HF asit kullanılarak yüzey hazırlığı gerçekleştirilen grupların ortalama bağlantı dayanımı değerleri Tablo 18,19,20, 21 ve 22’de gösterilmiştir.

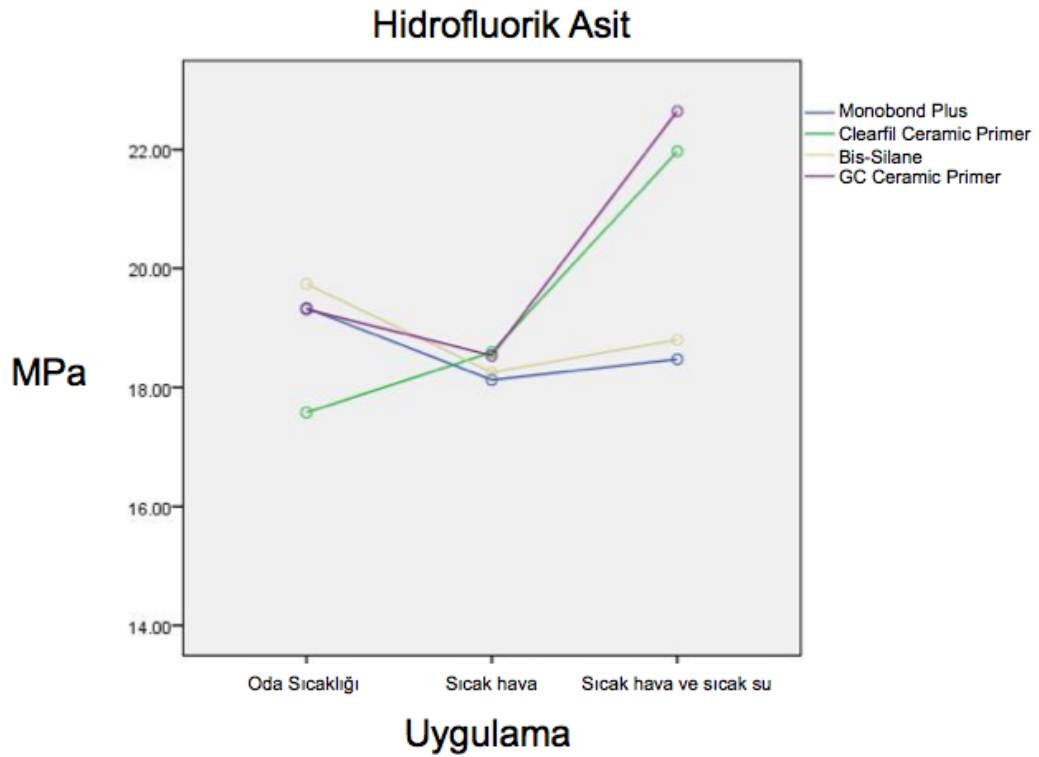
Tablo 18. Fosforik asit uygulanan grupların ortalama bağ dayanımları



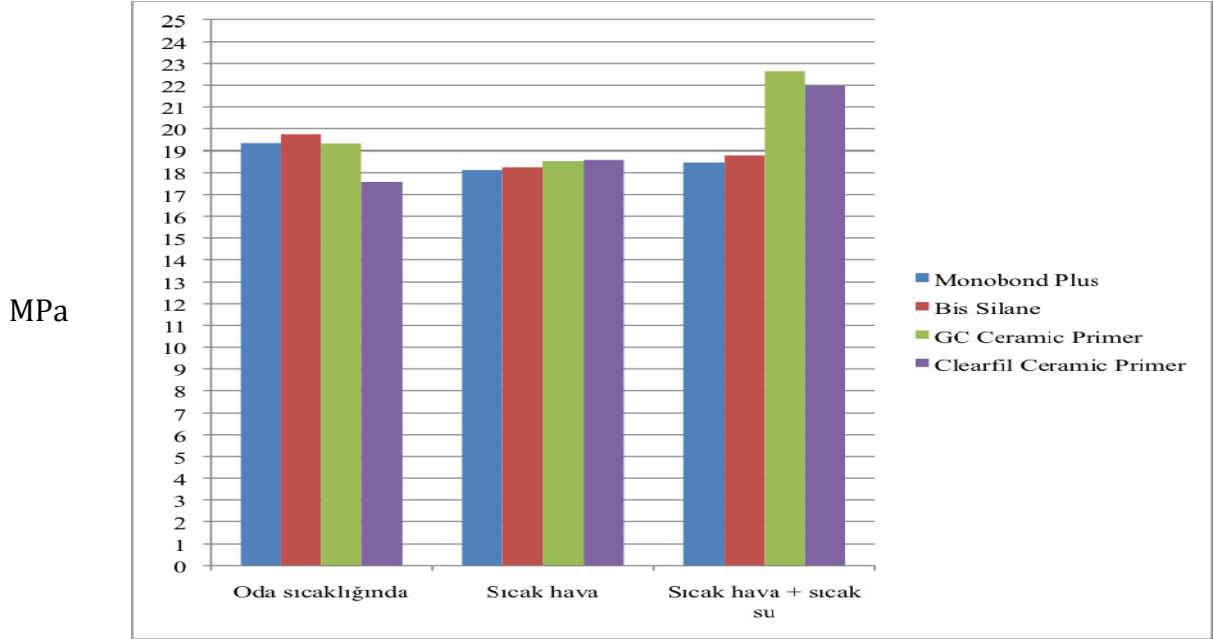
Tablo 19. Fosforik asit kullanılarak yüzey hazırlığı yapılan grupların bağlantı dayanımı değerleri



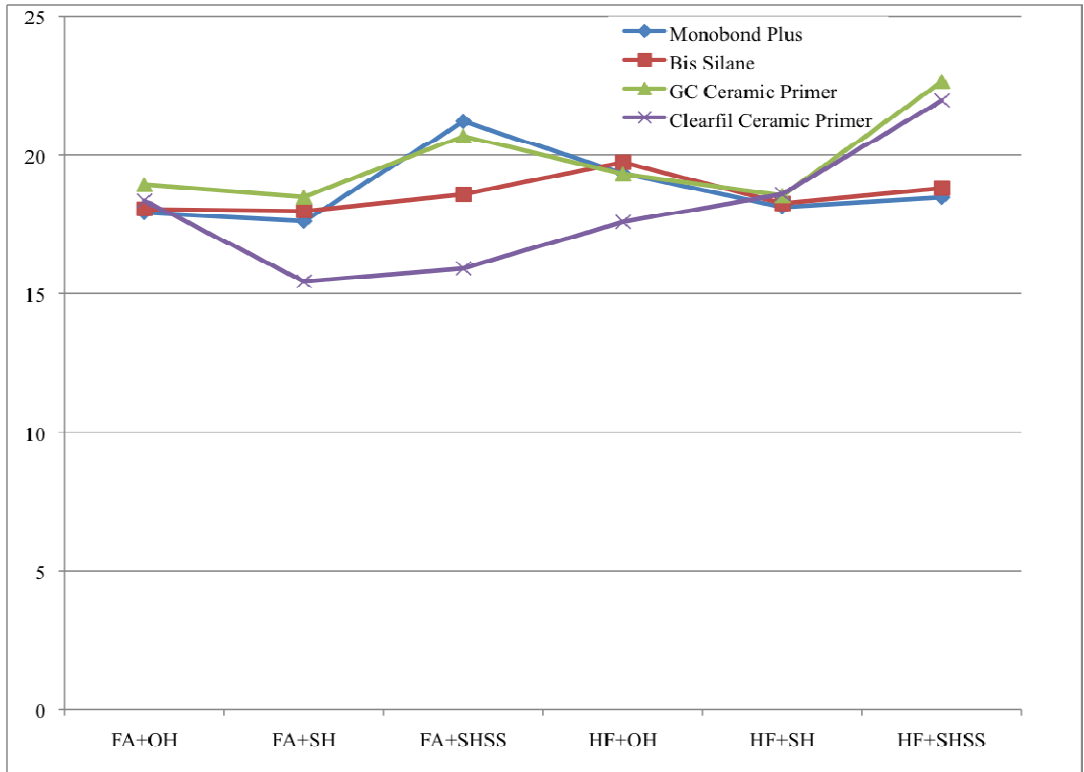
Tablo 20. Hidrofluorik asit uygulanan grupların ortalama bağ dayanımları



Tablo 21. HF asit kullanılarak yüzey hazırlığı yapılan grupların bağlantı dayanımı değerleri

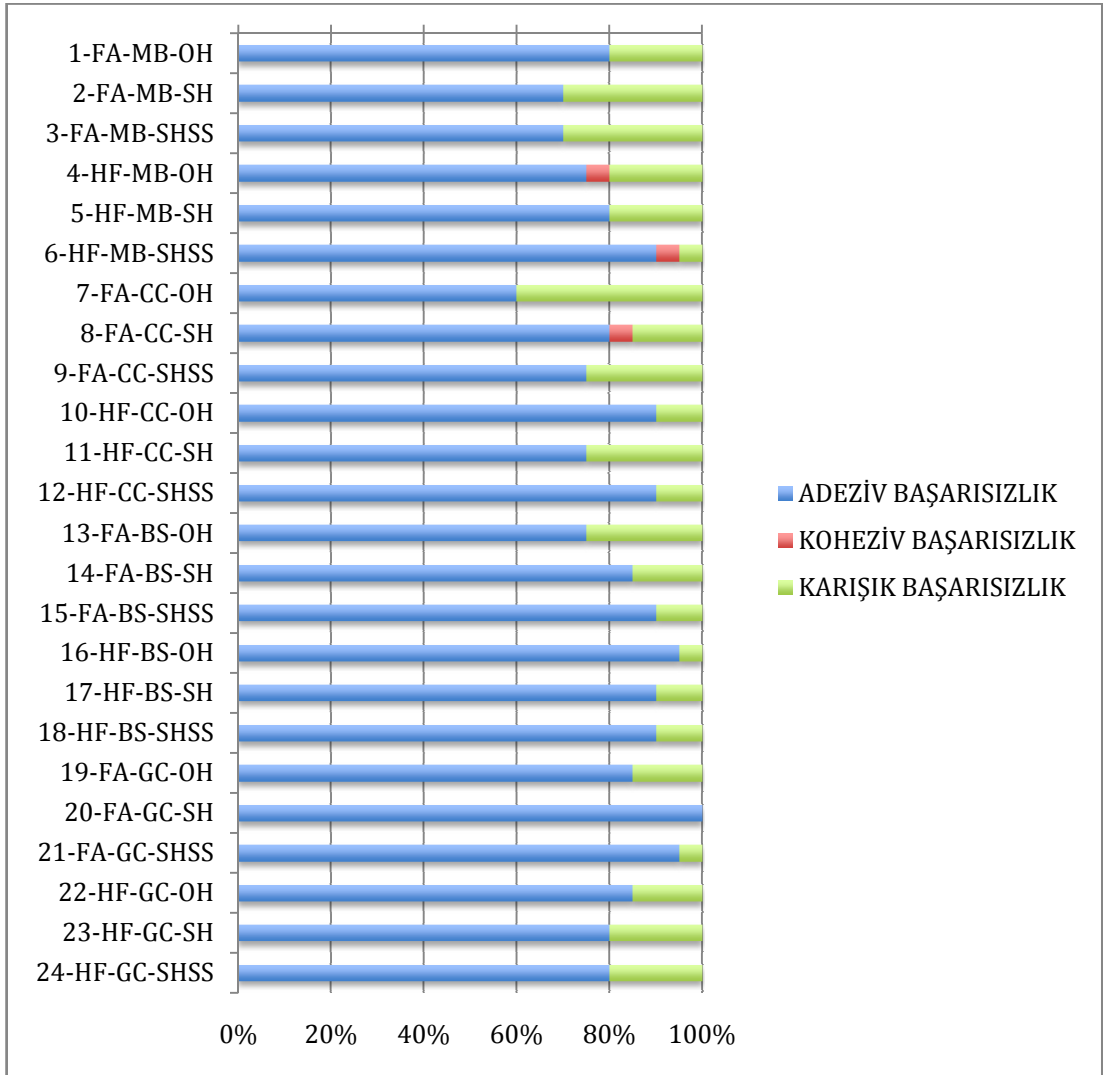


Tablo 22. Çalışmada kullanılan 4 farklı silan bağlayıcı ajan için bağlantı dayanımı ortalamaları



Test sonrasında grupların yüzey kırılma modları Tablo 23'te gösterilmiştir.

Tablo 23. Yüzey kırılma modları



Her bir grup için başarısızlık modlarının oranları yüzde olarak Tablo 24’te gösterilmiştir (A: adeziv, K: koheziv M: karışık kırıklar)

Tablo 24. Başarısızlık modlarının oranları

Gruplar	Başarısızlık Tiplerinin Yüzde Değerleri (%)		
	Adeziv (A)	Koheziv (K)	Karışık Kırıklar (M)
1-FA-MB-OH	80		20
2-FA-MB-SH	70		30
3-FA-MB-SHSS	70		30
4-HF-MB-OH	75	5	20
5-HF-MB-SH	80		20
6-HF-MB-SHSS	90	5	5
7-FA-CC-OH	60		40
8-FA-CC-SH	80	5	15
9-FA-CC-SHSS	75		15
10-HF-CC-OH	90		10
11-HF-CC-SH	75		15
12-HF-CC-SHSS	90		10
13-FA-BS-OH	75		25
14-FA-BS-SH	85		15
15-FA-BS-SHSS	90		10
16-HF-BS-OH	95		5
17-HF-BS-SH	90		10
18-HF-BS-SHSS	90		10
19-FA-GC-OH	85		15
20-FA-GC-SH	100		
21-FA-GC-SHSS	95		5
22-HF-GC-OH	85		15
23-HF-GC-SH	80		20
24-HF-GC-SHSS	80		20

5. TARTIŞMA

Adeziv indirekt restorasyonlar diş hekimliğinde önemli tedavi seçenekleri arasında yer almaktadır. Seramik materyallerin mine ve dentin ile bağ kurması indirekt restoratif maddelerin dayanımını ve sistemin mekanik bütünleşmesini artırmakta böylelikle kırık riskini azaltmaktadır. Buna ek olarak adeziv bağlanmanın kararlı bir yapı göstermesi restorasyon kenarındaki mikrosızıntının elimine edilmesi ve sekonder çürük oluşumunun engellenmesini de sağlayarak restorasyonların klinik başarısını olumlu yönde etkilemektedir. Bu uygulamalarda kullanılan rezin simanların sınırlamaları ile endikasyonlarını bilimsel verilerle ortaya koymak ve adeziv bağlanmayı anlamak restorasyonların daha uzun süre işlev görmesi için önemli bir koşuldur. Son yıllarda çok sayıda yapıştırma simanı ve seramik sistemi kullanıma sunulmuştur. Diş ve restorasyon arasındaki bağlantı arayüzlerinde ideal ve güvenilir bağlanma için bu maddelerin kimyasal ve yüzey özelliklerini tanımlamak çok önemlidir. (Manso et al., 2011) Seramik restorasyonların adeziv simantasyonunda restoratif sistemin bir bütün halinde nasıl bir performans göstereceğinin bilinmesi gerekmektedir. Başarılı bir sonuç için hekim; seramiğin türünü, yüzey hazırlama işlemlerini, simantasyon materyalini ve uygulama işlemlerini tam anlamıyla özümsemiş olmalıdır. (Vargas et al., 2011)

Tam seramik restorasyonların kırılma direncini temel olarak restorasyonun uyumu ve preparasyon belirlemektedir. Sabit restorasyonların başarısında bu etmenlerin yanında simantasyon işlemi ve kullanılan yapıştırma simanı da çok önemli rol oynamaktadır. Simantasyon işlemine bağlı kron retansiyonunun kaybı sabit protetik restorasyonlarda en önde gelen başarısızlık nedenidir. Tam seramik restorasyonların klinik ömrü ile ilgili literatür incelendiğinde seramikte çeşitli nedenlerle yaşanan kırılmanın başarısızlığa neden olan komplikasyonlardan en sık görüleni olduğu bildirilmiştir. (Conrad et al., 2007)

Fraktrografi analizleri seramiklerin diş dokuları veya restoratif kompozitlerle adezyonunda zayıf halkanın seramik ile rezin bağlantı arayüzü olduğunu göstermiştir. (Della Bona et al., 2002) Adeziv bağlanma zincir olarak düşünülürse en zayıf bileşenin güçlendirilmesi istenmektedir, böylelikle başarısızlık durumu adeziv bütünlük içinde başka bir parçaya kayacaktır. Seramik ile rezin kompozit arasındaki

bağın özellikleri; seramiğin mikroyapısı, seramiği pürüzlendirme yöntemi, silan uygulama yöntemi, yapıştırma ajanı gibi çok çeşitli etmenlerden etkilenmektedir (Peumans et al., 2007, Vasconcellos et al., 2007, Della-Bona 2005, Li 2010, de Carvalho et al., 2011). Seramik-kompozit bağlantının en yüksek olması için asitle pürüzlendirilmiş seramik yüzeyin uygun bir silan ile kaplanması literatürde geleneksel olarak önerilen uygulama olmasına karşın (Roulet et al., 1995) bağlantıda en etkili ve en fazla devamlılığı sağlayan uygulamalar konusunda tam bir uzlaşma bulunmamaktadır (Pereira et al., 2010, Akova et al., 2007). Simantasyonun daha başarılı olması için rezin simanın seçiminde maddenin özelliklerini ve hem kendi başına hem de restoratif sistem içindeki performansını ortaya koymak gerekmektedir.

Diş hekimliği kliniğinde simantasyon işleminde kullanılan silanlar farklı kimyasal yapılardadır. Bunun yanında silanlar en ideal bağlayıcılık işlevini elde etmek amacıyla farklı şekillerde uygulanmaktadır. Silanize edilmiş seramiğin siloksan kalitesi, silan bağlayıcı ajanının pH'si ve rezin bağlayıcı ajanın temas açısının değerlendirildiği bir araştırmada seramik bağ kuvvetinin silan bağlayıcı ajanından etkilendiği bildirilmiştir (Meng et al., 2011). Silanların seramik-kompozit yüzeyleri arasındaki bağlantı kuvvetlerinde silan uygulanmasının incelenmesi ve çeşitli uygulamaların birbirleriyle karşılaştırılmaları klinikte bilimsel temelli rutin uygulamalar yapabilmemize yardımcı olacaktır. Seramik yüzeyine silan uygulaması işleminde gerçekleşen olayların anlaşılması sayesinde silanlar daha etkili bir şekilde kullanılabilir.

Literatürde çeşitli silanların farklı yöntemlerle uygulanmalarının seramik-kompozit arasındaki bağ kuvvetini artırmada etkili olduğu araştırmalarda gösterilmesine karşın IPS e.max seramiklere farklı yapıdaki silanların HF asit ile pürüzlendirilen ya da pürüzlendirilmeden örnek yüzeylerine uygulanması sonucundaki bağlantı kuvvetinin ele alındığı çalışmalar çok az sayıdadır. Kitahara et al. (2013), IPS e.max Press seramik yüzeyine kendileri formüle ettikleri ticari silan temelli farklı silan primerleri uygulamışlar, sonuç olarak silan çözeltilerine 4-META ve rezin monomerleri eklenmesinin bağ dayanımını artırdığını bildirmişlerdir.

Farklı silanlar kullanılmadan tek bir silanla ve IPS e.max seramiklerle gerçekleştirilen bağlantı çalışmaları da az sayıdadır. Madina et al. (2010),

çalışmalarında IPS e.max seramik yüzeyine HF asit veya tribokimyasal silika kaplaması işlemlerinden sonra silan uygulanmış fakat farklı silanları ele almamıştır. Çalışmada IPS e.max seramiklerin HF asit ya da tribokimyasal silika kaplanması ve ardından silan uygulanması ile gerçekleştirilen simantasyonları tutuculuk açısından farklı bulunmamış, biyolojik açıdan tehlikeli HF asit kullanımı yerine tribokimyasal silika kaplamasının kullanılması önerilmiştir. Guarda ve ark. (2013), çalışmalarında IPS e.max Press seramik yüzeylerine alüminyum oksit parçacık püskürtmesi ya da HF asitle pürüzlendirme ve ardından silan uygulanmış, seramikleri rezin kompozitle rezin siman kullanarak bağlamış, ve mikrotensile testi gerçekleştirmişlerdir. HF asit pürüzlendirmesi ile parçacık püskürtme pürüzlendirmesi arasında bağlantı dayanımı açısından anlamlı fark olmadığını bildirmişlerdir.

Yüzey hazırlığı yapılmış ve yüksek yüzey enerjisi özelliği kazandırılmış seramiğin bu özelliğini kontaminasyonlardan koruyarak simantasyonun gerçekleştirilmesi de önemli bir konudur. HF asitle pürüzlendirilmiş lityum disilikat cam seramiğin tükürük ve silikon içerikli bulaşmalardan sonra ikinci kez HF asit ile pürüzlendirilmesinin SEM karşılaştırmalarında görünür bir fark oluşturmadığı, bulaşının ardından yapılan ikinci pürüzlendirmenin bağ dayanımını olumsuz yönde etkilemediği bildirilmiştir. (Klosa et al., 2009) Bulaşmanın ardından HF asitle ikinci kez pürüzlendirmenin seramik yüzeyini yeterli şekilde temizlemesinin sonucunda seramiklerin ağız içinde gerçekleştirilen denemelerinden önce asitle pürüzlendirilmelerinin ve ardından gerçekleştirilecek silan uygulamasının gerekli olmadığı, bu iki uygulamanın seramiğin ağız içinde denenmesinin ardından da yapılabileceği ileri sürülmüştür. Bu durum seramiğin asitle pürüzlendirilmesi açısından geçerli gibi görülse de silanın dış katmanında bulunan ve hidrolitik stabilite açısından sorunlu olan katmanların uzaklaştırılmasının etkileri konusunu aydınlatmamaktadır. Asitle pürüzlendirilmiş ve ardından silan uygulanmış seramiklerin tükürük veya silikon içerikli maddelerle bulaşmalarının asitlerle temizlenmediği takdirde bağ kuvvetinde büyük azalmalar olduğu bildirilmiştir. Bu durumda karşımızda seramiklerle gerçekleştirilen bir provada gerçekleştirilmesi önerilen iki uygulama bulunmaktadır. Bunlardan birisinde seramik yüzeyin asitle pürüzlendirilmesi ve silan uygulanması, ardından provanın gerçekleştirilmesi, deneme patınının hava-su spreyi ile uzaklaştırılması ve ardından simantasyon

önerilirken (Pegoraro et al., 2007, Manso et al., 2011) diğer uygulamada provadan önce seramik yüzeyinde herhangi bir işlem yapılmaması, provanın ardından asitle pürüzlendirmenin, silan uygulamasının ve simantasyonun yapılması önerilmektedir. (Blatz et al., 2002)

Seramik yüzeylere farklı nitelikte fiziksel ve kimyasal yüzey hazırlığı işlemleri uygulanmaktadır. Silan primerlerinin farklı kimyasal bileşimi ve farklı bağlanma mekanizmaları nedeniyle primerlerin seramiklere uygulanan yüzey işlemleri ile uygun kombinasyonlarının seçilmesi gerektiği literatürde bildirilmiştir. (Manso et al., 2011) Literatürde seramik yüzeyine silan uygulaması konusunda daha yüksek bağlantı kuvveti ile sonuçlandığı bildirilen farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu uygulamalar; HF asit ve ardından silan uygulaması, silan ve ardından akrilik bağlayıcı primer uygulaması, silikatizasyon ve ardından silan uygulaması ya da yalnızca uygun silanın uygulaması şeklinde olabilir. (Matinlinna et al., 2004) Araştırmalarda elde edilen seramik restorasyon-rezin kompozit siman bağlantı dayanımı sonuçlarındaki farklılıklar uygulanan yüzey işlemlerinin etkisi hakkında farklı değerlendirmelerin yapılmasına neden olmuştur. Literatürdeki tartışmalar silan bağlayıcı ajanın etkisinin sorgulanması ve hekimin işlemleri uygulama yeteneği üzerinedir. (Pegoraro et al., 2007)

Silan bağlayıcı ajanlara ısı uygulanmasının bağlantı kuvvetine anlamlı bir etkisinin bulunup bulunmadığı literatürde tartışılan bir konudur. Silan bağlayıcı ajanların alkol temelli çözücülerinin kimyasal yapılarına bağlı olarak seramik yüzeyine uygulandıktan sonra buharlaştırılmalarının ardından bağlantı dayanımında ve direncinde farklı bulgular elde edildiği bildirilmiştir. (Pereira 2006, Shen et al., 2004) Tez çalışmamızın ana araştırma konusu silan uygulamasında silanın oda sıcaklığında kurutulması, sıcak hava ile kurutulması ile sıcak hava ile kurutulma ve ardından sıcak su banyosu ile kurutma yöntemlerinin bağlantı kuvvetine ve başarısızlık türüne etkisinin değerlendirilmesidir. Yaptığımız çalışmada farklı bağlayıcı monomerler içeren silanların seramik yüzeyine gerçekleştirdikleri bağlantı değerlendirilmiştir. Tez çalışmamızda silanların hava ile kurutma yöntemlerinden iki tanesi -sıcak hava ile kurutma ve sıcak hava ile kurutmanın ardından sıcak su ile yıkama- silanlanmış seramik yüzeylerinde rezin bağın devamlılığı ile ilgili bir çalışma gözönüne alınarak belirlenmiştir. (Hooshmand et al., 2002) Söz konusu

çalışma sonuçlarına göre feldspatik seramiği HF asit ile pürüzlendirmenin bağlantı kuvvetine olan etkisinin silana ısı uygulanmasına göre daha fazla olduğu ileri sürülmüştür. Çalışmamızda silan kurutma değişkenin etkisi anlamlı olarak saptanmıştır.

Sıcak kuru hava uygulanmasının; yüzeydeki alkol ve suyun uzaklaştırılmasında, silan-silika arasındaki kondansasyon tepkimesinin tamamlanması ve böylece siloksan bağının oluşumunun geliştirilmesinde basit ve çok etkili bir uygulama olduğu ileri sürülmüştür. (Ho and Matinlinna 2011b) Buna karşın literatürde silanlanmış yüzeye ısı uygulamasının bağlantıya etkisi ile ilgili birbirine karşıt araştırmalar bulunmaktadır. Bu çelişkiye farklı test yöntemlerinin kullanılmış olmasının ve silanlara ısı uygulamasının standardize şekilde yapılmamasının neden olduğu ileri sürülmüştür. Konu ile ilgili çalışmalarda silanlara ısı uygulama yöntemlerinin standardize olmayıp farklı şekillerde yapıldığı görülmektedir. Silana ısı uygulanmasının ardından bağlantı dayanım değerlerinin ölçüldüğü çalışmalarda farklı sürede ve sıcaklıkta farklı uygulama yöntemleri kullanılmıştır. Örnek olarak Fabianelli ve ark ile Roulet ve ark 100°C'de sıcak havayı 1 dakika püskürtürken (Fabianelli et al., 2010, Roulet et al., 1995) Moharamzadeh ve ark ile Carvalho ve ark. 100°C sıcaklığında etüvde 2 dakika bekletmiş (de Carvalho et al., 2011, Moharamzadeh et al., 2008), Hooshmand ve ark 100°C sıcaklıkta etüvde 2 dakika bekletmiş ve 50°C'deki hava akımı ile 15 saniye kurulamış, (Hooshmand et al., 2002), Barghi ve ark 60°C sıcaklıkta etüvde 60 dakika bekletmiş, (Barghi et al., 2000), Sakai ve ark 100°C derecede etüvde 60 dakika bekletmiş (Sakai et al., 2011), Shen 45°C derecede hava akımını 2 dakika süresince uygulamış, (Shen et al., 2004), Papacchini ve ark 38°C derecede hava ile kurutmuş, (Papacchini et al., 2007), Pereira ve ark 50°C sıcaklıkta 3 dakika sıcak hava uygulamış, 5 saniye kaynamış su ile yıkamıştır (Pereira 2006). Bu farklı şekillerdeki silanlara ısı uygulamalarının standardize edilmesi gerektiğine işaret edilmiştir (de Carvalho et al., 2011). Bu testlerden çıkan sonuçlar; kurutma sıcaklığının yüksek olmasının silan-bağlayıcı ajan karışımlarındaki resin monomerlerin vizkozitesini ideal duruma getirdiği (Papacchini 2006), sonuç olarak yayılma yeteneklerini geliştirdiği, çözücünün buharlaştırılmasında sıcak hava buharı (50°C) ile kurutmanın kuru etüvde (100°C) kurutmaya göre daha etkili ve klinikte hasta başında daha uygulanabilir olduğu

(Hooshmand et al., 2002), aynı bağlantı testlerinin yapılmasına rağmen silanın 100°C sıcaklıkta 1 dakika etüvde kurutulması ile 2 dakika kurutulması sonucunda farklılık olduğu şeklindedir. (de Carvalho et al., 2011) Hooshmand et al. (2002) çalışmalarında silanlanmış seramiği 50 ± 5°C hava ile 15 saniye kurutma ile 80°C suda 15 saniye yıkama ve ardından 50 ± 5°C hava ile 15 saniye kurutmanın seramik-rezin siman bağında daha iyi sonuç verdiğini bildirmişlerdir. Benzer çalışmalarda silanlanmış seramik yüzeyinin yüksek sıcaklık derecelerindeki hava ile kurutulması (50°-100° C arasında) sonucunda seramik-kompozit arasındaki bağ dayanımını artırdığı bildirilmiştir. (Nakamura et al., 2004, Barghi et al., 2000, Della Bona et al., 2000, Hooshmand et al., 2004, Hooshmand et al., 2002, Roulet et al., 1995). De Carvalho et al. (2011), HF asit uygulanması ile silana ısı uygulanması değişkenlerinin incelendiği çalışmalarında HF asit uygulanan grupların HF asit uygulanmayanlara göre anlamlı şekilde daha yüksek bağlantı gösterdiğini bildirmiştir. Sonuç olarak silan uygulanması sonrasında seramik yüzeyin 50-100°C derecede sıcak hava ile 1 dakika süresince kurutulmasının seramik yüzeyindeki su ve alkol gibi bulaşları ortadan kaldırdığı ve bağlanmayı anlamlı şekilde artırdığı çıkarımında bulunulmuştur. (Ho and Matinlinna 2011b, Nakamura et al., 2004) Aynı silan bağlayıcı ajana farklı sıcaklıklarda kurutma uygulanan testlerde farklı bağ değerlerinin elde edilmesi seramik ile silan sistemleri arasındaki bağlantının mekanik özelliklerden daha çok kimyasal özelliklere bağlı olduğunu düşündürmektedir. (Barghi et al., 2000)

Çalışmamızdaki test sonuçlarına göre bütün uygulamalar arasında adeziv monomer içeren GC Ceramic Primer ile CC Ceramic Primerler'in HF asit uygulanan yüzeyler üzerinde, sıcak hava ile kurutma ve sıcak su ile yıkama uygulamalarından sonra en yüksek bağlantı değeri kaydettiği tespit edilmiştir. Adeziv monomer içeren Monobond Plus'in bağ kuvveti değeri fosforik asit uygulanan yüzeylerde sıcak hava ile kurutma ve sıcak su banyosu şeklindeki agresif uzaklaştırma uygulaması ile artarken HF asitle hazırlanmış yüzeylere uygulandığında Monobond Plus için en yüksek bağlantı değeri geleneksel silan uygulaması grubunda ölçülmüş, agresif silan kurutma uygulamalarından olumsuz etkilenmiştir. Adeziv monomer içermeyen Bis-Silane için bütün uygulamalarda istatistiksel olarak anlamlı olmayan birbirine yakın değerler ölçülmüştür. Bis-Silan'nın silan kurutma

uygulamaları tablosu genel eğilimleri itibariyle Monobond Plus'a benzer bir şekil göstermiştir. GC Ceramic Primer'in bağ dayanımı değerleri sıcak hava ve sıcak suyun birlikte uygulandığı gruplarda artmıştır (20,6 MPa ve 22,6 MPa). GC Ceramic Primer'in silan uzaklaştırma yöntemleri sonucu gerçekleşen bağ değerleri her iki asit uygulamasında da benzerlik göstermektedir; GC Ceramic Primer sıcak hava ile kurutulduğunda bağ değeri geleneksel uygulamaya göre daha az olmakta, sıcak hava ve sıcak su birlikte uygulandığında ise en yüksek olmaktadır. Buna benzer şekilde Clearfil Ceramic Primer için HF asit uygulanan gruplarda sıcak hava ve sıcak su uygulaması oda sıcaklığına göre bağlanma dayanımını artırmıştır (21,9 MPa). Bu durum silan içindeki adeziv monomerlerin HF asite bağlı olarak seramik yüzeyinde oluşan yapı ile farklı etkileşim gösterdiği ve bu etkileşimin sıcak hava ve sıcak su uygulanması ile birlikteliğinin GC Ceramic Primer ve Clearfil Ceramic Primer için olumlu olduğu şeklinde yorumlanabilir. Bununla beraber rezin siman içindeki adeziv monomer de bu etkileşime etkide bulunmuş olabilir. Bu durumun netlik kazanması için adeziv monomer içermeyen ya da farklı adeziv monomerler içeren rezinlerle aynı işlemin test edilmesi gereklidir.

Monobond Plus için istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte fosforik asit, sıcak hava ve sıcak su uygulanan grupta kendisi için bütün gruplar arasında en yüksek bağ dayanım değerini göstermiştir. (21,2 MPa) Bu durumun açıklaması fosforik asitin yüzeyi pürüzlendirmemesine bağlı olarak seramik ile silan arasında gerçekleşen zayıf bağlantının silanın kuvvetli kurutulma ile uygulanması sonucunda gelişebileceği yorumunda bulunulabilir. Buna karşın aynı durum HF asit uygulandığında geçerli değildir; Monobond Plus yine istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir şekilde HF asit ve silanın kuvvetli şekilde kurutulması birlikte gerçekleştirildiğinde görece düşük bağ değeri göstermiştir. (18,4 MPa) Bu durum HF asit uygulaması ile seramik yüzeyindeki değişikliklerin silana farklı etkide bulunduğuna işaret edebilir. Bu sonuçlarla ilgili olarak farklı kimyasal yapıdaki seramik primerleri için en yüksek bağ dayanımı değerleri sağlayacak uygulamaların farklı olduğu yorumunda bulunulabilir. Adeziv monomere bağlı olarak kimyasal yapılarına göre sıcak su veya sıcak hava uygulamalarından farklı nitelikte etkilenmekte ve bu da bağ dayanımını etkileyebilmektedir.

Pereira (2006), tez çalışmasında silan uygulanmış seramik yüzeyine ısı uygulamanın kompozit rezinle mikrogerme bağlantısına etkilerini inceledikleri çalışmalarında silanın buharlaştırılma yönteminin bağ kuvvetini anlamlı şekilde etkilediği, farklı ısı uygulamaları sonucunda silanın seramik yüzeyine adsorpsiyon paternlerinde farklılıklar olduğu, silanın farklı yöntemleri ile uygulanmasının farklı bağ dayanımı değerleri ile sonuçlandığı şeklinde çıkarımlarda bulunmuşlardır. Pereira (2006), çalışmasında lityum disilikat cam seramik-kompozit rezin bağını farklı silan uygulama işlemleri sonucunda değerlendirmiştir. Bu çalışmadaki gruplar şu şekildedir;

- 1- Negatif kontrol grubu- sadece HF asit,
- 2- Kontrol grubu-HF asit + silanı oda sıcaklığındaki hava ile 3 dk süresince kurutma,
- 3- Silanı oda sıcaklığında hava ile 3 dk kurutma, oda sıcaklığındaki su ile yıkama,
- 4- Silanı oda sıcaklığında hava ile 3 dk kurutma, kaynar su ile 5 sn yıkama,
- 5- Silanı oda sıcaklığında hava ile 3 dk kurutma, kaynar su ile 5 sn yıkama, 50°C hava ile 3 dk kurutma,
- 6- Silanı 50°C hava ile 3 dk kurutma, kaynar su ile 5 sn yıkama, oda sıcaklığında 3 dk kurutma.

Pereira (2006), silan uygulanan gruplar içinde 2. grup için en yüksek bağ dayanımı bildirmiş, 4.-5. gruplar arasında ve 3.-6. gruplar arasında anlamlı fark bulunmadığını bildirmiştir (2.grup-14,77 MPa, a / 3.grup-6,6 MPa, b / 4.grup-8,45 MPa, c / 5.grup-9,46 MPa, c / 6.grup-5,94 MPa, b).

Pereira (2006), çalışması sonucunda silan uygulama yöntemlerinden kaynar su ile yıkama uygulaması yapıldığında bağ dayanımının azaldığını bildirmiştir. Çalışmalarında en üstün bağ performansı HF asit ile silanın geleneksel yöntemle uygulandığı ve silana herhangi bir ısı ile kurutma ya da yıkama yapılmayan 2. grupta bulunmuştur. Bu grubun bağ değerleri silanların daha agresif şekilde kurutulduğu gruplara göre daha yüksektir. Pereira (2006)'nın çalışmasında silan uygulama yöntemlerinden silanın uygulama ucu ile 60 sn uygulanması, 50°C hava ile

kurutulması, kaynar suyla 5 sn yıkanması, sıcak hava ile 3 dk kurutulması ve en son olarak bağlayıcı ajan kullanımı şeklindeki uygulamanın anlamlı şekilde en düşük bağlantı dayanımını verdiği bildirmiştir. Bu sonuç beklenmeyen bir sonuçtur. Silanın uygulama ucu ile uygulanması seramik yüzeyinde ince bir tabaka oluşturmasını, sıcak hava uygulaması suyun, alkolün ve diğer ürünlerin uzaklaştırılarak silika-silan arasındaki kondensasyon tepkimesinin gelişmesini, kaynar su ile yıkama silan film tabakasının dış katmanının uzaklaşmasını ve bağlayıcı ajan uygulama da ıslanabilirliğin artmasını ve adeziv arayüzdeki kusurların sayılarının ve büyüklüklerinin azalmasını sağlayacağı beklenirken tam tersi bir sonuç elde edilmiştir. Bu çalışmada agresif bir şekilde kurutma ve yıkama uygulanan silanlanmış seramiğin bağ kuvvetinin daha az bulunmasının açıklaması olarak silanın bağlayıcı kısımlarının sıcak hava kurutması ve kaynar su ile yıkanmanın ardından aşırı şekilde uzaklaşacağı ve seramik yüzeye silan uygulanmasının hemen sonrasında ısı uygulamasının kontaminantların yüzeyde birikimini artıracığı ve silanın etkin kısmının uygun tepkimesini önleyeceği ileri sürülmüştür. Aynı çalışmada silanlanmış seramik yüzeye ısı uygulaması sonucunda bağlayıcı ajanın adsorpsiyon paterninin açık bir şekilde farklılık gösterdiğini, silanlanmış seramik yüzeyine yüksek sıcaklıklı agresif bir kurutma ve yıkama uygulandığında SEM görüntülemesinin daha bulanık, bulutsu olduğunu, bunun nedeninin silanın dış katmanının ortamdaki uzaklaşması olduğunu ileri sürmüştür. Tez çalışmamızda ise silanın agresif şekilde kurutulmasının bağ dayanımı değerlerini genellikle artırdığı görülmüştür. Farklılıklar sıcak hava ile sıcak hava ve sıcak su uygulamaları arasındadır. Bu artışlar HF asitle birlikte uygulandığında Clearfil Ceramic Primer ve GC Ceramic Primer için anlamlıdır.

Bazı çalışmalarda pürüzlendirilmiş seramiklere silan uygulanmasının beklendiği kadar etkili olmayabileceğini ileri sürülmüştür. Della Bona et al. (2004), çalışmalarında pürüzlendirilmiş seramik yüzeyindeki boşlukların silan uygulanması sonucunda oluşan ince bir tabaka ile kapandığını ve bunun bir sonucu olarak pürüzlendirmenin etkisinin geçersiz hale geldiğini öne sürmüştür. (Della Bona et al., 2004) Silanın etkisinin pürüzlü yüzeylerde daha silik olduğu görülmüştür. (Pereira 2006) Bu iddialar tez çalışmamızda HF asit uygulanmasına karşılık bağlantı değerlerinin görece düşük bulunduğu gruplar için geçerli olabilir. Bununla birlikte

tez çalışmamızda HF asit uygulanan yüzeye gerçekleştirilen bağ değerlerinin fosforik asitle pürüzlendirilmiş yüzeylere gerçekleştirilen bağ değerlerinden anlamlı şekilde daha yüksek olduğu görülmektedir.

Altı adet silan primerinin bağ dayanımının karşılaştırıldığı bir çalışmada silan primerleri arasında bağ kuvveti açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı ve tüm primerlerin üstün bağ dayanımı sağladığı bildirilmiştir (Sakai et al., 2011). Bizim çalışmamızda da silan değişkeni ana etkisi açısından anlamlı etkiye bulunmamıştır; dört farklı silan bağlayıcı ajan ve seramik primeri ile benzer bağlantı değeri ile ölçülmüştür, silanların tümü istatistiksel olarak farklı olmayan performans göstermiştir.

Rezin simanların içinde bulunan adeziv monomerlerin bazı silan primerinin içinde bulunan adeziv monomerlerle uyumu ve bunun bağlantıya etkisi sorgulanan konulardan birisidir. Farklı adeziv monomerler içeren rezin simanların farklı silanlarla bağlantısı da farklı özellikte bulunmuştur (Ozcan et al., 2011). Bu sonuçlar bize rezin siman ile silan arasındaki uyumun önemli olduğunu ve bu uyumun bağlantıyı seramik maddenin kendisi ve seramiğe uygulanan yüzey işlemine ek olarak etkileyebildiğini göstermektedir. Silanları katalistlemede hidrofobik karboksilik asit monomerleri (4-META) de kullanılabilir. Tez çalışmamızda 4-META asidik adeziv monomerini içeren rezin simanın silanlarla birlikte kullanılması bağlantı kuvvetini arttırdığı düşüncesindeyiz.

Silanların kimyasal yapıları sıcak havada kurutma gibi uygulamalardaki davranışlarını etkileyebilmektedir. Örnek olarak etanol-su temelli silanlar ısı uygulamasına karşı daha dirençlidir, bunun nedeni bu iki çözücünün karıştırılma oranları olabilir. (Novais et al., 2012) Buna karşılık sadece etanol çözeltisi içeren silanın çözücüsü sıcak hava uygulaması ile daha kolay buharlaşabilir. Çalışmamızda kullanılan bütün silanlar etanol çözeltileri içinde bulunmaktadır.

Tez çalışmamızda seramiğe fiziksel hazırlık yapılmadan sadece kimyasal adezyonunun gerçekleştirildiği fosforik asit uygulaması gruplarında seramiğe HF asit uygulanan gruptan genellikle daha düşük bağ dayanımı değeri ölçülmesine karşın bağ dayanım değerleri klinik olarak kabul edilebilir değerlerdedir. Bu durumda silanla gerçekleştirilen kimyasal bağın yüzey işlemlerinden bağımsız olarak

mikromekanik bağlantıya göre daha etkili olduğu düşünülebilir. Bununla birlikte bütün gruplara silan uygulandığından fiziksel yüzey hazırlıkları tek başına bir değişken olarak incelenememekte ve sadece fiziksel hazırlıkla gerçekleştirilen bağlantılar kimyasal hazırlıklıkla doğrudan karşılaştırılmamaktadır.

Literatür incelendiğinde etkinleştirilmesi önceden üretici tarafından gerçekleştirilmiş sistemler, başka bir deyişle prehidrolize, tek şişeli sistemler, ile çok şişeli sistemlerde en iyi bağlantıyı sağlamak için gereken şartların farklı olduğu yorumunda bulunulabilir. Prehidrolize silan çözeltilerinde hidroliz tepkimesinin iki şişeli sistemlere göre daha yüksek oranda gerçekleşmesi beklenmektedir. Tek şişeli sistemlerde asıl gereksinim su ile parçalanmanın artırılmasından daha çok hidrolize olmuş silanın kondansasyon tepkimesinin artırılmasıdır, bu olayda ısı uygulamasının önemi daha fazladır. Kullanımın hemen öncesinde etkinleştirilen silanların hidrolizleri yetersiz bile olsa bağ dayanımı açısından bir sorun olmayacağı ileri sürülmüştür fakat bu durum bütün silanlar için geçerli olmayabilir. (Hooshmand et al., 2004, Aida et al., 1995, Kato et al., 1996, Berry et al., 1999, Monticelli et al., 2006a) Hazır etkin silan çözeltilerinde su ile parçalanma tepkimesinin daha önceden bir miktar gerçekleşmiş olması silan tepkimesinin tam olması için bir avantaj iken oligomerlerin hızlı bir şekilde oluşması bu tür silan çözeltilerinin bir dezavantajdır, bunun sonucunda zayıf bir fizikoadsorbe tabaka oluşabilir ve buna bağlı kayganlaştırma etkisi görülebilir.

İki şişeli sistemlerde su ile parçalanarak etkinleşmenin öneminin yanısıra silanın kondansasyonunun tam olabilmesi için çözücünün tamamen uzaklaştırılması da önemlidir, çözücü tamamen uzaklaştırılmamışsa tamamlanmamış bir tepkime ve buna bağlı olarak bağ dayanımının azalması görülebilir. (Hooshmand et al., 2004, Monticelli et al., 2006a) Çok şişeli sistemlerin ısıya daha duyarlı olduğu düşünülmektedir. (Monticelli et al., 2006a). Bunun bir sonucu olarak çok şişeli sistemlerin asit ile etkinleştirilmesi tepkimesinin çözücünün ısı uygulanması ile uzaklaştırılmasından daha önemli olduğu ileri sürülebilir. Sonuç olarak çok şişeli silan sistemlerinde raf ömründen kazanım olmasına rağmen su ile parçalanmanın tam olmaması sorunu bulunmaktadır. Bu sistemlerle ilgili şu şekilde bir çıkarımda bulunulabilir; tek şişeli sistemlerin çözücüsünün ısı ile uzaklaştırılmaya olan duyarlılığının artırılması gereklidir, çift şişeli bileşenlerde ise asıl gereksinim su ile

parçalanmanın tam olarak gerçekleşmesidir. Bunun yanında çift şişeli sistemlerde ısı uygulanması veya başka uygulamalarla yoğunlaşma tepkimesinin tam olarak gerçekleşmesi de su ile parçalanma kadar önemlidir. Bununla beraber çok şişeli sistemlerin ısıya daha duyarlı olduğu düşünüldüğünden daha iyi bağlantı için ısı uygulanması yoluyla çözücünün uzaklaştırılmasına olan gereksinim sistemin asit ile etkinleştirilmesine olan gereksinimden daha az önceliklidir. Çok şişeli sistemlerdeki geliştirilmesi gereken su ile parçalanma tepkimesinin artırılması sayesinde bu sistemler tek şişeli sistemlere göre daha üstün olabilecektir. Bu tepkime ise temel olarak asidik bileşenin etkisine bağlıdır. Silan moleküllerinin su ile parçalanma tepkimesinin daha fazla olması için hidroliz tepkimesini geliştirme yöntemleri araştırılmalı ve yeni yöntemler sonunda silanın su ile parçalanmasının nasıl etkilendiği incelenmelidir. (Monticelli et al., 2006a) Sıcak hava uygulaması asıl etkisini kondansasyon tepkimesinin tamamlanmasını geliştirmede gösterdiğinden bu uygulamanın özellikle tek şişeli silanlar için daha büyük önemi bulunmaktadır.

Silanın su ile parçalanma ve yoğunlaşma tepkimeleri ve bunların yanında siloksan film kalınlığı ortamın pH'sine bağlı olarak değişmektedir. Su ile parçalanma hızı pH'nin artması ile -yani asiditenin artması ile- artabilir. (Monticelli et al., 2006a) Bu konuda silan çözücüsünün asiditesi düşük olan sistemlerde siloksan film kalınlığı fazla olabileceği, bu durumda uzun vadede silan bağlarının devamlılığını olumsuz etkileyebileceği ileri sürülebilir. Bu nedenle farklı asiditelerdeki çözücülerin silan tepkimesine etkisi incelenmelidir.

Prehidrolize silanların raf ömrü konusunda ilgili şu çıkarımda bulunulabilir; silanın hidrolize olması raf ömrünü bir miktar etkileyebilmekle birlikte silanın raf ömrü etkinleşmiş 'hidrolize olmuş' silan monomerlerinin birbirleriyle yoğunlaşma tepkimesine girip (kondanse olup) dimer oluşturmasından daha çok etkilenmekte ve azalmaktadır. Bu durumda silanın kullanılabilme süresini artırmak için önemli olan raftaki silanın kendiliğinden kondanse olmasını önlemektir, kondansasyon ise pH=4'den daha asidik ortamda hızla gerçekleşmektedir. Bu nedenlerle kondanse olmasını istediğimiz hazır etkin haldeki silanların kondansasyon tepkimesini şişelerde bulunan asidik katalist veya porselenin asidik yüzeyiyle hızlandırmak gerekmektedir. (Matinlinna et al., 2004)

Bağlantı kurulacak yüzeye mekanik ve kimyasal işlemler birlikte uygulandığında yüzey enerjisinin bu işlemler tek tek uygulandığı durumlara göre farklı olduğu bildirilmiştir. (Della Bona 2005) Bu durum tez çalışmamızda dolaylı olarak değerlendirilen bir durumdur. Tez çalışmamızda yüzey işlemlerinden asitle pürüzlendirme uygulaması bir değişken olarak ele alındığından sınırlamalar dahilinde sadece kimyasal temelli adezyon ile fiziko-kimyasal temelli adezyonun karşılaştırılması mümkün olmaktadır.

Seramik ile HF asit dahil olmak üzere pek çok farklı asidin tepkime kinetiği sadece seramik yüzeyine asitin uygulandığı süre ve asit derişiminden etkilenmemektedir. (Cömlekoğlu et al., 2009) Aynı zamanda seramik substratın fiziksel yapısından da etkilenmektedir. Bu nedenle yüzey hazırlığı uygulaması ve adezyon farklı kimyasal veya fiziksel yapılara sahip seramik maddelerinde de incelenmelidir. Bu sayede ilgili seramik maddesi için en uygun pürüzlendirme ajanı, bunun derişimi ve uygulama zamanı ortaya konabilecektir. (Cömlekoğlu et al., 2009)

IPS e.max CAD'ın üreticisi simantasyonda seramik yüzeyine HF asit uygulanması önermektedir. Buna karşın fosforik asit uygulanması seramik yüzeyinde herhangi bir aşınma meydana getirmemekte ve seramik yüzeyindeki olası kontaminasyonu ortadan kaldırmaktadır. Buna ek olarak kullandığımız iki silan bağlayıcı ajan (GC Ceramic Primer ve Clearfil Ceramic Primer) üreticisi de seramik yüzeyine fosforik asit uygulamasını önerdiğinden tez çalışmamızda seramik yüzeylere fosforik asit uygulaması da bir değişken olarak incelenmiştir. (Asai et al., 2010)

Örnekleri oluşturan maddeler arasındaki bağlantının gerçekleştiği arayüzde test öncesinde mevcut olan kusurların test sırasında erken kırıklara neden olacağı bilinmektedir. Tez çalışmamızda örnekleri oluşturan bağlantının gerçekleştirildiği ana maddeler seramik ve rezin simandır. Buna bağlı olarak test örneklerimiz elastik modülüsü farklı iki maddeden oluşmaktadır. Bu durum seramik ve kompozit rezin arasında bir de bağlayıcı ajanın var olduğu test örneklerinden farklı bir durum yaratmaktadır. Test düzeneğimizde ayrı bir adeziv maddenin olmaması seramik ve kompozit rezinin yüzeylerinde ve iç yapılarında var olması kaçınılmaz kusurlara bir de adeziv madde içindeki kusurların eklenme olasılığını ortadan kaldırmaktadır. Bu

sayede testimizde olası adeziv arayüz kusurları ve bunların etkisi olasılık dışı hale gelmiştir. (Braga et al., 2010)

Her bir seramik bileşimi nedeniyle kendine özgüdür. In vitro kuvvet dayanımı testlerinde kullanılan seramik substratın özellikleri test sonuçlarını etkileyebilmektedir. Test sonuçlarının değerlendirilmesinde seramiğin kendine özgü dayanımı da gözönüne alınmalıdır. Örnek olarak yapılan bütün işlemler aynı olsa bile farklı seramik türlerinde farklı bağ kuvvetleri ölçülmektedir. (Rüttermann et al., 2008) Tez çalışmamızda substrat madde olarak IPS e.max CAD/CAM seramiğin kullanılması maddenin yapısında ve yüzeyindeki kusurların en aza inmesini sağlamakta, bu sayede maddenin yüzeydeki germe dayanımı yükselmektedir. Bu durum makaslama testlerinde görülen substrat maddesindeki koheziv kırık riskini azaltmaktadır. Makaslama testlerinde arayüz bağlantı kuvveti substrat maddesinin yüzey germe stresi dayanımını yani bir anlamda koheziv dayanımını aştığında görülen substrattaki koheziv kırılma testimizde kullandığımız yüksek kaliteli seramiklerde çok az oranda ve kırılma şeklinde değil hafif bir çatlak şeklinde görülmüştür. Bu durumda makaslama testinde arayüzde türdeş olmayan kuvvetler oluşmasına karşın hem substrat maddesinin yüksek koheziv dayanımı ile yüzey kusurlarının az olması hem de adeziv madde kullanılmamış olması gerçekleşecek kırıkların yine de arayüzde olacağına beklenmektedir. Bu öngörüye uygun şekilde tez çalışmamızın bulgularında kırıkların çok büyük bir bölümünün adeziv başarısızlık türünde gerçekleştiği görülmektedir.

Yapılan farklı bir çalışmada silanlanmış gruplarda örneklerin test öncesi kesimlerinde hiçbir erken başarısızlık görülmemesi, buna karşılık silan uygulanmamış kontrol grubu örneklerinin yarısının test için hazırlık sırasında rezin siman bağlantısının ayrılması silan uygulanmadan sadece asitle pürüzlendirilmiş seramik yüzeyinde adezyonun zayıf ve kararsız özellik gösterdiği şeklinde yorumlanmıştır. (Brentel et al., 2007)

Seramik-rezin bağında hidrolitik degradasyon termal siklus ya da suda bekletme uygulamalarıyla test edilmektedir. Termal siklus ve suda bekletme uygulamaları silan-seramik bağına yıkıcı etkide bulunmaktadır. Resin simanın ısıl genişleme katsayısı seramiğin ısıl genişleme katsayısından daha fazladır. Isıl genişleme

katsayılarındaki bu fark nedeniyle ısıl döngü uygulanan seramikte ısıl stres oluşurken kompozit yapının su emilimi artmaktadır. Bunun sonucunda silanlanmış bağlantı arayüzleri nemli koşullarda stabil davranmamakta, silan bağları su ile parçalanmakta ve seramik-rezin bağ dayanımı azalmaktadır. (Li 2010, Zortuk et al., 2010, Brentel et al., 2007) Silanların hidrolitik bozulması ile ilgili bu olumsuz durumlara karşılık silanların hidrofobik doğada olmasının kurulan bağın hidrolitik degradasyonunu azalttığı, siloksan bağlarının termal siklus ve suda bekletme gibi yaşlandırma uygulamalarından anlamlı şekilde etkilenmediğini bildiren çalışmalar da mevcuttur. (Passos et al., 2008, Della Bona 2005, Spohr et al., 2003, Addison and Fleming 2004, de Melo et al., 2007, Hooshmand et al., 2002, Berry et al., 1999, Eikenberg and Shurtleff 1996, Kato et al., 1996, Hooshmand et al., 2004, Roulet et al., 1995, Rüttermann et al., 2008, Kamada et al., 2001) Bu çalışmalardan birisinde suda bekleme sırasında bağlantı arayüzündeki nemin artmasıyla silan bileşeninin yoğunlaşmasının ve çapraz bağ yapmasının arttığı, bunun da kompozit rezinin seramiğe bağ dayanımının arttığı dahi ileri sürülmüştür. (Barghi et al., 2000) Silan çözeltilerinin kimyasal yapıları silanın nemli ortamdaki bağlantı dayanımını etkilemektedir. Hidrofobik metakrilik asitlerle etkinleştirilen silanlara sahip adeziv sistemlerin bu monomerlere sahip olmayan silan sistemlerine göre termal siklus sonrasında daha yüksek bağ kuvveti gösterdiği bildirilmiştir. (Kato et al., 1996, Matsumura et al., 1997)

Silanla gerçekleşen seramik-rezin bağlantısının termal siklus ya da suda bekletmeden olumsuz yönde etkilenmemesinin uygulanan test yöntemi ile ilgili olduğu iddia edilmiştir; test örneklerinde bağlantı arayüzünün çok küçük olması ve buna bağlı olarak resin simanın film kalınlığının daha az olmasının polimerizasyon tepkimesinin daha fazla gerçekleşmesine neden olduğu, bunun da silan bağlayıcı ajanın ve resin simanın hidrolitik bozulmasını azalttığı ileri sürülmüştür. (Brentel et al., 2007)

Tez çalışmamızda bağlantı testleri bağlanmış örneklere yaşlandırma uygulanmadan gerçekleştirilmiştir. Seramik ile kompozit rezinin bağlantısında kuru koşullarda gerçekleştirilen bağlantı dayanımı testlerinde adezyon ilkelerinden mikromekanik bağlanmanın bağ dayanımını belirlediği gözlenirken yaşlandırma

uygulanan örneklerde kimyasal adezyonun bağ dayanımı belirlemede daha baskın olduğu gözlenmektedir. (Ozcan et al. 2009)

Çok sayıda literatürde silan ile sağlanmış kimyasal bağın su ortamında bozulduğu bildirilmesine karşın silan uygulanmış seramik restorasyonların klinik davranışının iyi olması silanla sağlanan kimyasal bağın olası bir hidrolitik süreçle bozulmadığını düşündürmektedir. Burada dikkat çeken durum silanın nemli ortamdan kötü yönde etkilendiğini belirten literatürlerin görece eski tarihli literatürler olduğudur. (Brentel et al., 2007)

Simantasyonun hemen ardından bağ kuvvetinin olabildiğinin en fazla değerde olması simantasyon sonrasındaki erken dönemdeki başarısızlıkların da azalmasında etkili olabilir ve istenen bir şeydir. (Kamada et al., 2001) Bu nedenle bağlantının ardından herhangi bir yaşlandırma işlemi uygulamaksızın bağlantı dayanımı testlerinin gerçekleştirilmesinin klinikteki anlamı erken dönem başarısızlıkları konusunun değerlendirilmesi olabilir. Tez çalışmamızda ısıl döngü uygulanmadan gerçekleştirilen bağlantı dayanım testleri erken dönem simantasyon bağ değerlerinin kaydedilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Seramik yüzeyine silan uygulamasının ardından rezin siman uygulaması öncesinde bağlayıcı ajan uygulanması seramik ile rezin kompozitlerin bağlantısının incelendiği çalışmalarda ele alınan bir konudur. Silanın ardından bağlayıcı ajan uygulanan çalışmalarda termal siklüs sonrasında bağlayıcı rezinin fiziksel özelliklerinde düşüş olduğu bildirilmiştir, bu durumun nedeni olarak silan bağlayıcı ajanın çevresinin su ile sarılarak daha da fazla bozulması ve hidrolize olmamış olan silan moleküllerinin uygulanan adeziv ajanın içinde dağılması gösterilmiştir. (Meng et al., 2008, Passos et al., 2008, Aida et al., 2008) Seramik üreticilerin bazıları silan uygulamasının ardından hidrofobik bir adeziv tabakanın uygulanmasını düşük vizkoziteleriyle özellikle bis-GMA temelli rezin maddelerinin ıslatabilirliğini artırdığı iddiasıyla önermektedir fakat yüzeyler arasında bu ajan kullanılmaksızın parmakla bastırma sonucunda bile doğrudan ve çok yakın temas sağlandığı bildirilmiştir (Meng et al., 2008). Adeziv arayüzde silana ek olarak adeziv ajan kullanımının bu tabakanın kalınlığını artırmasından ve sonuç olarak restorasyon kenarlarındaki kapanmada bozulmalara ya da renk değişimlerine neden olmasından

da endişe edilmektedir. Bu endişelere bağ kuvvetinin azalması da eklendiğinde seramik-rezin bağlantı arayüzünde adeziv ajan kullanımı tasviye edilmemektedir (Passos et al., 2008). Bu çalışmaların sonuçlarına göre seramiklerin bağlanmasında asitle pürüzlendirmenin ardından silan uygulanmasının yeterli olduğu ifade edilmiştir. (Peumans et al., 2007, Blatz et al., 2004, Meng et al., 2008, Santos et al., 2009)

Seramik yüzeyine silan uygulandığı durumlarda silanın kimyasal bileşimi, kullanım şekli, muhafaza koşulları, ısı uygulaması gibi değişkenler seramik-rezin bağ dayanımı değerlerini büyük ölçüde etkilemektedir. (Peumans et al., 2007) Bu nedenle bağ dayanımı değerleri dikkatle yorumlanmalıdır. Tek bir uygulamadaki sonuçlar bütün silan ürünleri için genellenmemelidir. Silan uygulaması sonrasında bağlantı değerlerinde yüksek standart sapma bulunmasının silan uygulanmasının seramik yüzeyine yapılan işlemlerin tartışmalı bir bölümünü teşkil ettiği şeklinde yorumlanmıştır. (Peumans et al., 2007)

Silan ile yüzey pürüzlendirme uygulamaları arasında farklı ilişkiler olabildiği gibi kullanılan seramik substratın yapısı da yüzey pürüzlendirme uygulamaları ile farklı etkileşimler gösterebilmektedir. Daha net bir ifade ile belli bir seramik belli bir silanla kullanıldığında rezinle iyi bir bağlanma elde edilmesi için yüzey pürüzlendirme işlemleri büyük önem taşıyabilirken başka bir seramik aynı silanla kullanıldığında yüzey pürüzlendirme uygulamaları bir önceki durumdaki kadar önem taşımayabilir, başka bir deyişle seramiğe göre yüzey işleminin önemi değişebilmektedir. Bu durumda hangi seramiğin hangi tür yüzey pürüzlendirme işlemi ile daha başarılı sonuç vereceği araştırmaya değer bir konu olabilir. Bazı seramikler için yüzey hazırlama ve aşındırma işlemleri yapılmasa bile silan uygulandığında yüzey işlemi yapılmış durumdaki aynı bağlantı değerleri elde edildiği bildirilmiştir. (Shen et al., 2004) Buna neden olarak seramik kimyasal bileşimi, bu bileşimin yüzey hazırlığı ile etkileşimi, bunun sonuçları ve ayrıca kimyasal bileşimin silan ile etkileşiminin sonuçları incelenmelidir.

Seramik ile diş dokuları arasındaki bağlantının değerlendirilmesi sadece bağlantı kuvvetinin sayısal değeri olarak ele alınmamalıdır. Bağ dayanımı testleri mutlak bağ dayanımı değerlerini veri olarak ortaya koyarken bir ürünün klinik

etkisinin yeterli olacağı mutlak bağ dayanımı değerlerini göz önüne almamaktadır. Klinik uygulamada seramik ile rezin kompozit arasında ortaya konmuş ideal bir bağ kuvveti değeri mevcut değildir. (Brentel et al., 2007) Herhangi bir adeziv sistemin nihai testi klinik performans sınırlarıdır. Bağlantı dayanımı değerleri kırılma anındaki kuvvetin adezyon alanına bölünmesi ile elde edilen 'nominal dayanım' değerleridir. Bu değerler ancak uygulanan kuvvet bağlantı arayüzünde türdeş bir şekilde dağıldığında kabul edilebilir özelliktedir. (Pereira 2006) Bununla birlikte asitle pürüzlendirilmiş mine ile kompozit arasındaki bağlantı dayanım değeri 15-30 MPa arasında bildirilmiştir. Bu şekilde bağlanmış kompozitin çok nadiren mekanik başarısızlık yaşadığı gözönüne alınırsa tam seramik kırıklarının tamirinde bu bağ dayanımı değerleri arası klinikte altın standart olarak kabul edilebilir. (Ozcan et al. 2009) Klinikte başarılı bir şekilde hizmet görebilmesi için klinik bağlantı dayanımının en az 10-13 MPa olması önerilmiştir. (Shimakura et al., 2007) Seramik-kompozit arasındaki bağ dayanım değeri 13 MPa'yı aştığında seramik-kompozit arasında bağ kırılması beklenmediği bildirilmiştir. (Akova et al., 2007)

Feldspatik seramiklerin HF asit ile pürüzlendirilme ve silanlanma sonucunda kompozit rezine yaklaşık 15-20 MPa bir makaslama kuvvetiyle bağlandığı çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir. (Rüttermann et al., 2008) Tez çalışmamızdaki bağ dayanımı değerleri 15,44 -22,64 MPa arasında değişmektedir. Bu bulgular önceki çalışmalarla uyumludur.

Geleneksel makaslama ve germe testlerinde 25 MPa bağ dayanım değerlerinin üzerinde genellikle koheziv kırıklar görülmekte ve bu nedenle net ve isabetli bağ değerleri elde etmekte zorluk yaşanmaktadır. (Pereira 2006) Çalışmamızda çok az örnekte substrat maddesinde çatlak görülmüştür ve bu çekince tez çalışmamız için geçerli değildir.

Makaslama testinde kullanılan maddelerin elastiklik katsayıları da adeziv arayüzden bağımsız olarak bağ dayanım değerlerini etkilemektedir. Kullanılan maddelerin yüzey bitirme işlemlerinin ve elastik modülüslerinin sonucu etkileyebildiği unutulmamalıdır. Benzer nedenlerle makaslama bağ dayanımı testlerini birbirleriyle doğrudan karşılaştırmak da olanaksızdır. Aynı test düzeneklerinde kullanılan farklı maddelerin ve uygulanan işlemlerden farklı sonuçlar

elde edildiği bildirilmiştir. Araştırmalarda birbirinden farklı seramik, asit, test yöntemi, örnek sayısı, bekletme koşullarının var olması nedeniyle çalışmalardaki bağ dayanımının mutlak sayı değerlerinin karşılaştırılması yanlış sonuçlanabilmektedir. Bu nedenle karşılaştırmalar kontrol grupları ile yapılmalıdır. (Ho and Matinlinna 2011b) Buna ek olarak in vitro çalışmaların sonuçlarının klinik çalışmalarla karşılaştırılması ve incelenmesi de istenen bir durumdur. Makaslama bağ dayanımı testinde elde edilen rakamsal değerler uzun süreli klinik performans takipleri sonuçları elde edilinceye kadar sadece kaba bir sıralama yapmak için kullanılabilir. (Della Bona and Van Noort 1995) Arayüzdeki bütünlüğün etmenleri olarak nanosızıntı değerlendirmesi, ısıl döngü, suda ya da kuru ortamda bekletme yöntemleri ve koşulları, başarısızlık modları da bağlantı dayanımı test değerlerinin yanında incelenmelidir. Bağ dayanımı testlerinde sadece sayı ile ifade edilen bağ dayanım değerleri stres değerleri stresin türdeş olmayan dağılımı, koheziv kırıkların substratta ve bağlanan maddede görülmesi nedeniyle kapsamlı bir değerlendirme için yeterli değildir. Testin gerçekleştirildiği örneklerin başarısızlık modlarının belirlenmesi de bazen çelişkili olmaktadır. (Braga et al., 2010)

Silanlanmış yüzeylerin sıcak hava ya da sıcak su ile yıkama sonucunda başarısızlık tipinde adeziv başarısızlıkların azaldığı ve sonuç olarak bağlanmanın niteliğinde gelişme gerçekleştiği bildirilmiştir. Bunun nedeni olarak silan filminin siloksan bağına sahip olmayan fizikosorbe en dış tabakasının uzaklaşması ve bağlantı arayüzünde daha stabil ve kimyasal absorbe (chemisorbed) tabakanın ortaya çıkması gösterilmiştir. Seramik yüzey SEM analizi ile incelendiğinde silana ısı uygulanmasına bağlı olarak seramik yüzeyindeki rezin simanın da farklı görüntüler verdiği bildirilmiştir; silana ısı işlemi uygulanması sonrasında rezin siman yüzeyde daha az bir kümeleşme göstermiştir. Bu sonuçlara göre silana ısı uygulanmasının seramik yüzeyinin bağlayıcı ajan ile daha fazla temas etmesine neden olduğu ve seramik yüzeyine bağlayıcı ajanın daha iyi nüfuz ettiği ileri sürülmüştür. (de Carvalho et al., 2011)

Pereira (2006), çalışmasında mikrogerme bağ dayanımı testi gerçekleştirdiği örneklerin bağlantı yüzeyi kenarlarında çok küçük siman parçalarının kaldığı kırılmaları da adeziv başarısızlık sınıfına dahil etmiştir. Bağlantı alanında daha az bir kısımda adeziv başarısızlık ve daha fazla hacimde koheziv rezin siman kırığının

birlikte görülmesi en üstün nitelikli bağlanmanın ve testte kuvvet dağılımının türdeş olduğunun işareti şeklinde yorumlanmıştır. (Pereira 2006) Aynı çalışmada koheziv başarısızlık oranı nispeten fazla olan gruplarda bağ kuvveti değerinin de fazla olduğunu ya da bağ dayanımı değeri arttıkça başarısızlık tipinin rezin siman içinde koheziv modda olduğunu bildirmiştir. Daha düşük bağlantı dayanımı değerlerinde ise başarısızlık tipinin adeziv olduğunu bildirmiştir. Aynı araştırmacı adeziv arayüzde geliştirilmiş yöntemlerle adezyon sağlandığında bağ dayanımı değerinin rezin simanın koheziv dayanım değerlerinin üzerine çıkabildiğini ileri sürmüştür. Bu durum kırılma direnci ile kırılma paterni arasında doğrudan bir ilişkinin göstergesi olabilir. (Pereira 2006) Çalışmamızda örneklerin bağ dayanımları ile başarısızlık modları arasında bu şekilde bir ilişki gözlenmemiştir.

Brentel et al, (2007), çalışmalarında silan uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin ışık mikroskobunda incelenen başarısızlık tipleri arasında büyük farklılık bildirmiştir. (Brentel et al., 2007) Silan uygulanmamış grupta başarısızlık tipi seramik-siman arasında adeziv başarısızlık, silanlanmış gruplarda ise ağırlıklı olarak karışık tipte başarısızlık bulunmuştur. El Zohairy et al (2004)'nin çalışmalarında seramik yüzeyin fosforik asitle pürüzlendirildiği gruplarda başarısızlık tipinin ağırlıklı olarak seramik-rezin arasında adeziv olarak gerçekleştiği bildirilmiştir. Seramik yüzeyinin HF asit ile pürüzlendirildiği gruplarda ise başarısızlık tipinin seramik içinde koheziv olduğu bildirilmiştir. (Rüttermann et al., 2008) Peumans et al., (2007), çalışmalarında silan uygulanmasının seramikle rezin siman arasındaki bağ kuvvetini artırmadığı, bununla birlikte kırılma analizinde adeziv kırıkları azalttığı, karışık kırıkları artırdığını bildirmiş, bu sonucu silanın bağlanma etkisini hafifçe artırdığı şeklinde yorumlanmıştır. Shen et al. (2004), çalışmalarında seramik ile kompozit arasındaki bağlantıda silan uygulanmış yüzeye ısı uygulanmasının etkisini incelemiştir. Söz konusu çalışmada adeziv monomer içermeyen tek bir silan (Monobond-S) kullanılmıştır. Bu literatür silanlanmış seramik yüzeyine ısı uygulanmasının bağlantı başarısızlık tipini etkilediğini bildirilmiştir. Isı uygulaması sonucunda başarısızlık tipi daha çok kompozit içinde koheziv olarak gerçekleşirken oda sıcaklığında kurutulan silanlarla bağlanan kompozitte genellikle adeziv başarısızlık görülmüştür. Çalışmamızda büyük oranda adeziv başarısızlıklar

gözlendiği için silanların farklı şekilde uygulanmalarının başarısızlık moduyla ilişkisi gözlenmemiştir.

Çalışmamızda adeziv bağlantının seramik-rezin siman arayüzündeki değişkenler incelenmiş, adeziv bağlantının doğal diş dokusu-rezin siman yönü incelenmemiştir. Adeziv sistemlerin klinikte etkililiği tutuculuk, kenar uyumu ve klinik mikrosızıntı gibi kritik parametrelerin kaydedilmesiyle değerlendirilmelidir. (Van Meerbeek et al., 2010) Bu durum çalışmamızın kısıtlamalarından bir tanesidir.

Rezin kompozitlerle silika kaplı maddeler arasındaki bağlantıda ana sorun kullanılan ticari silan bağlayıcı ajanların bağının zamanla bozulmasıdır. Bu sorunu aşmak için iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi restoratif madde yüzeyine yapılan hazırlık işlemlerinin geliştirilmesi, ikincisi ise yeni silan monomerlerinin geliştirilmesidir. Bu iki yaklaşımın bir arada kullanılması ise sorunun sonul çözümü olabilecektir. (Lung and Matinlinna 2012) Bu konu ile ilgili olarak yeni silan bileşenleri geliştirilmeye devam edilmektedir ve bu yeni sistemlerin rezinlerin farklı maddelerle olan bağ özellikleri araştırılmaktadır. Silan moleküllerinin yanısıra silan primerleri içindeki asidik monomerin kimyasal yapısında bazı değişikliklerin gerçekleştirerek bu monomerlerin rezin siman yerine sadece silan bağlayıcı ajanlar ve metal iyonları ile tepkimeye girmesi üzerine çalışmalar sürmektedir. Bu şekilde primer tabakasının daha iyi bağlanma için modifiye edilmesi amaçlanmaktadır. (Kurata and Umemoto 2007) Silanların kimyasal özellikleri geliştirilip daha kuvvetli ve kararlı bağ kurmaları sağlandığında asitle pürüzlendirilemeyen seramik yüzeylerde silan ile geliştirilen adezyonun öneminin gelecekte daha da artacağı ve büyük gelişmeler olacağı beklenmektedir. (Matinlinna et al., 2004) Silanların son zamanlarda biyotıpta kullanımı araştırılmakta ve bu bileşiklerin biyomateryal biliminde önemli rol oynayacağı öngörülmektedir. (Lung and Matinlinna 2012) Seramik yüzeyine silan uygulaması işleminde gerçekleşen olayların anlaşılması sayesinde silanlar daha etkili bir şekilde kullanılacaktır.

Bu in vitro çalışmada seramik-kompozit bağlantısının bağlantı arafazındaki değişkenlerle gerçekleştirilen temel bir incelemesi yapılmıştır. İlerideki çalışmalarda ağızda yaşanabilecek durumları temsil edecek şekilde yaşlandırılmış seramik

yüzeyle aynı işlemlerin gerçekleştirilmesi, testin düz bir bağlantı yüzeyinde gerçekleştirilme sonucunda ağız içinde kompozit rezinler için önemli olan C faktörünün az olması gibi kısıtlamaları aşmak için testlerin dayanak dişlerin ve üzerlerindeki restorasyonun biçimlerini temsil eden örneklerde gerçekleştirilmesi, laboratuvar çalışmalarını destekleyici klinik çalışmaların gerçekleştirilmesi önerilebilir. Ayrıca konu ile ilgili gelecekteki çalışmalarda self adeziv ya da ışıkla sertleşen rezin simanlar gibi farklı özelliklerdeki rezinler kullanılarak silanların etkisi incelenebilir.

6. SONUÇLAR

Lityum disilikat cam seramik yüzeylerin farklı yüzey işlemleri ve silan uygulamaları ardından rezin simanla bağlandığı bu çalışmada elde edilen veriler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Cam seramiklerin simantasyonunda incelenen dört silan bağlayıcı ajan için oda sıcaklığında geleneksel uygulama ile sağlanan bağlanma dayanımları değerlendirildiğinde birbirlerinden anlamlı şekilde farklı olmayan ve klinik uygulamalar için yeterli bağlantı değerleri saptanmıştır.

2. HF asit fosforik asite göre anlamlı şekilde daha yüksek bağ değerleri göstermiştir. Buna karşın bağ değerleri iki değişken için de birbirine yakın ve klinik olarak kabul edilebilir olduğundan HF asit biyolojik riski düşünüldüğünde cam seramiklerin rezinle simantasyonunda kullanılmayabilir.

3. Cam seramiklerle rezin siman arasındaki bağlantı dayanımı silan kurutma yöntemlerinden etkilenmektedir. Silanın agresif şekilde kurutulmasının bağ dayanımı değerlerini anlamlı şekilde artırdığı görülmüştür.

4. HF asit ile hazırlanmış seramik yüzeyine asit önermeyen, adeziv monomer içeren silan kullanıldığı tek ya da iki şişeli sistemlerde (Clearfil Ceramic Primer ve GC Ceramic Primer) uygulandığı durumlarda silan 100 derece sıcak hava ile 2 dakika kurutulduğu ve ardından 85 derecedeki sıcak su banyosunda 2 dakika yıkandığında seramik ile rezin kompozit arasında anlamlı şekilde daha yüksek bağlantı dayanımı değeri elde edilmiştir.

7. ÖNERİLER

1. Benzer yöntemler kullanılarak gerçekleştirilecek yeni çalışmalarda farklı özellikte adeziv monomerler içeren rezin simanlar, farklı kimyasal ve fiziksel yapılarda seramikler kullanılabilir.
2. İleride gerçekleştirilecek benzer testlerde seramik-rezin siman bağlantısına ek olarak seramik-rezin siman-doğal diş dokusu bağlantısı incelenebilir.
3. Silanlanmış seramiklere ısı uygulaması ve bağlantı kuvveti testlerinde yöntemlerin standardize edilmesine önerilebilir.

ÖZET

Bu çalışmada tam seramiklerin simantasyonunda farklı fiziksel ve kimyasal yüzey hazırlıklarının bağlantıya olan etkisinin incelenmesi ve en iyi bağlantının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmamızda restoratif diş hekimliğinde lityum disilikat cam seramiklerin dual-kür rezin simanla bağlantısı incelenmiştir. Seramik yüzeylerine iki farklı asit, dört farklı silan ve bu silanlar için üç farklı uygulama gerçekleştirilmiş ve ardından dual-kür rezin siman uygulanmıştır. Bu uygulamalar asit için; fosforik asit ve hidrofluorik asit, silan için; Monobond Plus, Clearfil Ceramic Primer, Bis Silane ve GC Ceramic Primer, silan uygulama yöntemleri için; oda sıcaklığında kurutma, sıcak hava ile kurutma, sıcak hava ile kurutma ve sıcak suda bekletme şeklindedir. Örneklere makaslama bağ dayanımı testi uygulanmış ve kırık yüzeyler stereomikroskopla incelenmiştir. Bağ dayanım değeri; HF asit uygulaması, iki şişeli adeziv monomer içeren silan, sıcak hava ve sıcak su uygulama grubunda 22.6 MPa olarak ölçülürken HF asit, asit önermeyen, tek şişeli adeziv monomer içeren silan, sıcak hava ve sıcak su uygulama grubunda ise 21.9 MPa olarak ölçülmüştür. Diğer gruplarda istatistiksel olarak anlamlı olmayan şekilde bağ değerleri daha az ölçülmüştür. Sonuç olarak silanın agresif şekilde kurutulmasının bağ dayanımı değerlerini genellikle artırdığı görülmüştür. Bu artışlar asitleme önermeyen, adeziv monomer içeren silanlar HF asitle birlikte uygulandığında belirgindir. Klinik uygulamalarda asitleme önermeyen ve adeziv monomer içeren tek ya da çift şişeli silanların HF asit ile birlikte kullanıldıklarında her iki silanın da sıcak hava ile kurutulması ve ardından sıcak su ile yıkanması seramik ile rezin siman arasındaki bağlantı dayanımını artırmak için önerilebilir.

Anahtar sözcükler: fosforik asit, hidrofluorik asit, lityum disilikat cam seramik, makaslama bağ dayanımı testi, silan.

ABSTRACT

In this study the influence of various physical ve chemical surface preparation methods on the bond strength of all-ceramic restorations to resin cement were evaluated. Identifying the best possible bond strength was the purpose. In the study dental lithium disilicate glass ceramic was bonded to dual-cure resin cements. Various treatments were applied to ceramic surface; two different acids, four silanes, three different application methods for silanes. These were phosphoric acid and hydrofluoric acid for acid treatment, Monobond Plus, Clearfil Ceramic Primer, Bis Silane and GC Ceramic Primer for silanes, drying at room temperature air, hot air owen and hot air owen + hot water bath for silane application methods. Treated ceramics were directly bonded to dual-cure resin cement. Shear bond strength test was applied and debonded surfaces were examined with stereomicroscope. Results; bond strength values were 22,6 MPa for HF acid; two bottled, non-acid recommended, adhesive monomer containing silane; hot air drying and hot water bath group; 21,9 MPa for HF acid, one bottled non-acid recommended, adhesive monomer containing silane; hot air drying and hot water bath group. Other groups were resulted lower bond strength values although these were no statistically difference. Conclusions are; aggressively dried silane groups generally showed an increased the bond strength values for one bottled non-acid recommended, adhesive monomer containing silane and two bottled, non-acid recommended, adhesive monomer containing silane, applied to HF acid primed ceramic. Possible clinical outcomes are; when one bottled non-acid recommended, adhesive monomer containing silane applied to HF acid primed lithium disilicate glass ceramic surfaces and two bottled, non-acid recommended, adhesive monomer containing silane applied to HF acid primed lithium disilicate glass ceramic surface, hot air drying and hot water bath can increase the bond strength of ceramic to resin cement.

Key words: phosphoric acid, hydrofluoric acid, lithium disilicate glass ceramic, shear bond strength test, silane.

KAYNAKLAR

1. Abate PF, Rodriguez VI, Macchi RL. Evaporation of solvent in one-bottle adhesives. *J Dent* 2000 Aug;28(6):437-40.
2. Addison O, Fleming GJ. The influence of cement lute, thermocycling and surface preparation on the strength of a porcelain laminate veneering material. *Dent Mater* 2004;20(3):286-92.
3. Aida M, Hayakawa T, Mizukawa K. Adhesion of composite to porcelain with various surface conditions. *J Prosthet Dent* 1995;73:464—70.
4. Aida M, Wakami M, Watanabe T, Omura Y, Nishiyama N. Effects from applying adhesive agents onto silanated porcelain surface on the resin bond durability. *Dent Mater J* 2008 May;27(3):427-32.
5. Akova T, Aytutuldu N, Yoldas O. The evaluation of different surface treatment methods for porcelain–composite bonding. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2007;27:20–25.
6. Alex G. Preparing porcelain surfaces for optimal bonding. *Compend Contin Educ Dent* 2008 Jul-Aug;29(6):324-35.
7. Anagnostopoulos T, Eliades G, Palaghias G. Composition, reactivity and surface interactions of three dental silane primers. *Dent Mater* 1993;9:182-190.
8. Antonucci JM, Dickens SH, Fowler BO, Xu HHK, McDonough WG. Chemistry of silanes: interfaces in dental polymers and composites. *J Res Natl Inst Stand Technol* 2005;110:541-558.
9. Anusavice KJ, Phillips RW. *Phillips' Science of Dental Materials*. 11th ed. St. Louis: W.B. Saunders; 2003. pp: 486-467, 657-704.
10. Apel E, Deubener J, Bernard A, Höland M, Müller R, Kappert H, Rheinberger V, Höland W. Phenomena and mechanisms of crack propagation in glass-ceramics. *J Mech Behav Biomed Mater* 2008 Oct;1(4):313-25.
11. Arkles B. Silane coupling agents: connecting across boundaries. Morrisville: Gelest; 2003.
12. Asai T, Kazama R, Fukushima M, Okiji T. Effect of overglazed and polished surface finishes on the compressive fracture strength of machinable ceramic materials. *Dental Mater J* 2010; 29(6): 661-667.
13. Barghi N, Berry T, Chung K. Effects of timing and heat treatment of silanated porcelain on the bond strength. *J Oral Rehabil* 2000 May;27(5):407-12.
14. Barghi N. To silanate or not to silanate: making a clinical decision. *Compend Contin Educ Dent* 2000;21:659–64.
15. Berg J, Jones FR. The role of sizing resins, coupling agents and their blends on the formation of the interphase in glass fibre composites. *Composites* 1998;(29):1261 – 1272.
16. Berry T, Barghi N, Chung K. Effect of water storage on the silanization in porcelain repair strength. *J Oral Rehabil* 1999;26:459- 63.
17. Blatz MB, Richter C, Sadan A, Chiche GJ. Critical appraisal. Resin bond to dental ceramics, Part II: high-strength ceramics. *J Esthet Restor Dent* 2004;16(5):324-8.

18. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Bonding to Silica-Based Ceramics: Clinical and Laboratory Guidelines. *QDT* 2002; 54-62.
19. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003;89:268-74.
20. Bowen RL, Rodriguez MS. Tensile strength and modulus of elasticity of tooth structure and several restorative materials. *J Am Dent Assoc* 1962 Mar;64:378-87.
21. Braga RR, Meira JB, Boaro LC, Xavier TA. Adhesion to tooth structure: a critical review of "macro" test methods. *Dent Mater* 2010;26(2):e38-49.
22. Brentel AS, Ozcan M, Valandro LF, Alarça LG, Amaral R, Bottino MA. Microtensile bond strength of a resin cement to feldspathic ceramic after different etching and silanization regimens in dry and aged conditions. *Dent Mater* 2007 Nov;23(11):1323-31.
23. Canay S, Hersek N, Ertan A. Effect of different acid treatments on a porcelain surface. *J Oral Rehabil* 2001;28:95-101.
24. Cekic I, Ergun G, Lassila LV, Vallittu PK. Ceramic-dentin bonding: effect of adhesive systems and light-curing units. *J Adhes Dent* 2007 Feb;9(1):17-23.
25. Chang JC, Hurst TL, Hart DA, Estey AW. 4-META use in dentistry: a literature review. *J Prosthet Dent* 2002 Feb;87(2):216-24.
26. Chen JH, Matsumura H, Atsuta M. (a) Effect of different etching periods on the bond strength of a composite resin to a machinable porcelain. *J Dent* 1998 Jan;26(1):53-8.
27. Chen JH, Matsumura H, Atsuta M. (b) Effect of etchant, etching period, and silane priming on bond strength to porcelain of composite resin. *Oper Dent* 1998 Sep-Oct;23(5):250-7.
28. Clelland NL, Ramirez A, Katsube N, Seghi RR. Influence of bond quality on failure load of leucite and lithia disilicate- based ceramics. *J Prosthet Dent* 2007; 97: 18-24.
29. Clelland NL, Warchol N, Kerby RE, Katsube N, Seghi RR. Influence of interface surface conditions on indentation failure of simulated bonded ceramic onlays. *Dent Mater* 2006 Feb;22(2):99-106.
30. Cömlekoğlu ME, Dündar M, Güngör MA, Sen BH, Artunç C. Preliminary evaluation of titanium tetrafluoride as an alternative ceramic etchant to hydrofluoric acid. *J Adhes Dent* 2009 Dec;11(6):447-53.
31. Conrad HJ., Seong W-J, Pesun IJ. Current Ceramic Materials and Systems with Clinical Recommendations: A Systematic Review. *J Prosthet Dent* 2007;98:389-404.
32. Culp L, McLaren EA. Lithium disilicate: the restorative material of multiple options. *Compend Contin Educ Dent* 2010 Nov-Dec;31(9):716-20, 722, 724-5.
33. de Carvalho RF, Martins ME, de Queiroz JR, Leite FP, Ozcan M. Influence of silane heat treatment on bond strength of resin cement to a feldspathic ceramic. *Dent Mater J* 2011;30(3):392-7.
34. de la Fuente JL, Madruga EL. Solvent effects on free-radical copolymerization of butyl acrylate with methylmethacrylate. *Macrom Chem Phys* 1999;200:1639-43.
35. de Melo RM, Valandro LF, Bottino MA. Microtensile bond strength of a repair composite to leucite-reinforced feldspathic ceramic. *Braz Dent J* 2007;18(4):314-9.

36. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, Van Meerbeek B. A Critical Review of the Durability of Adhesion to Tooth Tissue: Methods and Results. *J Dent Res* 2005;84(2):118-132.
37. Debnath S, Wunder SL, McCool JI, Baran GR. Silane treatment effects on glass/resin interfacial shear strengths. *Dent Mater* 2003;19:441-448.
38. Della Bona A, Anusavice KJ, Hood JA. Effect of ceramic surface treatment on tensile bond strength to a resin cement. *Int J Prosthodont* 2002;15:248-53.
39. Della Bona A, Anusavice KJ, Shen C. Microtensile strength of composite to hot-pressed ceramics. *J Adhes Dent* 2000;2:305-313.
40. Della Bona A, Anusavice KJ, Mecholsky JJ Jr. Failure analysis of resin composite bonded to ceramic. *Dent Mater* 2003;19:693-699.
41. Della Bona A, Mecholsky JJ Jr, Anusavice KJ. Fracture behavior of lithia disilicate and leucite-based ceramics. *Dent Mater* 2004; 20: 956-62.
42. Della Bona A, Shen C, Anusavice KJ. Work of adhesion of resin on treated lithia disilicate-based ceramic. *Dent Mater* 2004 May;20(4):338-44.
43. Della Bona A, van Noort R. Shear vs. tensile bond strength of resin composite bonded to ceramic. *J Dent Res* 1995 Sep;74(9):1591-6.
44. Della-Bona A. Characterizing ceramics and the interfacial adhesion to resin: II- the relationship of surface treatment, bond strength, interfacial toughness and fractography. *J Appl Oral Sci* 2005 Jun;13(2):101-9.
45. Drummond J.L., T.J. King, M.S. Bapna, R.D. Koperski. Mechanical property evaluation of pressable restorative ceramics. *Dental Materials* 2000;16:226-233.
46. Eames WB, Rogers LB, Feller PR, Price WR. Bonding agents for repairing porcelain and gold: an evaluation. *Operative Dentistry* 1977;2:118-24.
47. Edelhoff D, Ozcan M. To what extent does the longevity of fixed dental prostheses depend on the function of the cement? Working Group 4 materials: cementation. *Clin Oral Implants Res* 2007 Jun;18 Suppl 3:193-204.
48. Eduardo Cde P, Bello-Silva MS, Moretto SG, Cesar PF, de Freitas PM. Microtensile bond strength of composite resin to glass-infiltrated alumina composite conditioned with Er,Cr:YSGG laser. *Lasers Med Sci* 2012 Jan;27(1):7-14.
49. Eikenberg S, Shurtleff J. Effect of hydration on bond strength of a silane-bonded composite to porcelain after seven months. *Gen Dent* 1996;44:58-61.
50. El Zohairy AA, De Gee AJ, Hassan FM, Feilzer AJ. The effect of adhesives with various degrees of hydrophilicity on resin ceramic bond durability. *Dent Mater* 2004;20:778-787.
51. El Zohairy AA, de Gee AJ, Mohsen MM, Feilzer AJ. Microtensile bond strength testing of luting cements to prefabricated CAD/CAM ceramic and composite blocks. *Dent Mater* 2003;19:575-583.
52. Fabianelli A, Pollington S, Papacchini F, Goracci C, Cantoro A, Ferrari M, van Noort R. The effect of different surface treatments on bond strength between leucite reinforced feldspathic ceramic and composite resin. *J Dent* 2010; 38:39-43.
53. Filho AM, Vieira LC, Araújo E, Monteiro Junior S. Effect of different ceramic surface treatments on resin microtensile bond strength. *J Prosthodont* 2004;13:28-35.

54. Foxton RM, Pereira PN, Nakajima M, Tagami J, Miura H. Durability of the dual-cure resin cement/ceramic bond with different curing strategies. *J Adhes Dent* 2002;4:49-59.
55. Giordano R, McLaren EA. Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. *Compend Contin Educ Dent* 2010 Nov-Dec;31(9):682-8.
56. Giordano R. Materials for chairside CAD/CAM-produced restorations. *J Am Dent Assoc.* 2006 Sep;137 Suppl:14S-21S.
57. Guarda GB, Correr AB, Gonçalves LS, Costa AR, Borges GA, Sinhoreti MAC, Correr-Sobrinho L. Effects of Surface Treatments, Thermocycling, and Cyclic Loading on the Bond Strength of a Resin Cement Bonded to a Lithium Disilicate Glass Ceramic. *Oper Dent* 2013;38(2):208-17.
58. Hill EE, J Lott. A clinically focused discussion of luting materials. *Australian Dental Journal* 2011; 56:67–76.
59. Hill EE. Dental cements for definitive luting: a review and practical clinical considerations. *Dent Clin North Am* 2007 Jul;51(3):643-58.
60. Ho GW, Matinlinna JP. (a) Insights on Ceramics as Dental Materials. Part I: Ceramic Material Types in Dentistry. *Silicon* 2011;3:109–115.
61. Ho GW, Matinlinna JP. (b) Insights on Ceramics as Dental Materials. Part II: Chemical Surface Treatments. *Silicon* 2011;3:117–123.
62. Höland W, Rheinberger V, Apel E, Hoen C, Höland M, Dommann A, Obrecht M, Mauth C, Graf-Hausner U. Clinical applications of glass ceramics in dentistry. *J Mater Sci: Mater Med* 2006;17:1037-42.
63. Höland W, Rheinberger V, Apel E, van 't Hoen C, Höland M, Dommann A, Obrecht M, Mauth C, Graf-Hausner U. The effect of ceramic surface treatment on bonding to densely sintered alumina ceramic. *J Prosthet Dent* 2005 Mar;93(3):253-9.
64. Höland W, Rheinberger V, Schweiger M. Control of nucleation in glass ceramics. *Phil Trans R Soc Lond A* 2003;361(1804):575-589.
65. Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. *J Biomed Mater Res* 2000;53(4):297-303.
66. Hooshmand T, Parvizi S, Keshvad A. Effect of surface acid etching on the biaxial flexural strength of two hot-pressed glass ceramics. *J Prosthodont* 2008 Jul;17(5):415-9.
67. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Bond durability of the resin-bonded and silane treated ceramic surface. *Dent Mater* 2002 Mar;18(2):179-88.
68. Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A. Storage effect of a pre-activated silane on the resin to ceramic bond. *Dent Mater* 2004 Sep;20(7):635-42.
69. Ibarra G, Johnson GH, Geurtsen W, Vargas MA. Microleakage of porcelain veneer restorations bonded to enamel and dentin with a new self-adhesive resin-based dental cement. *Dent Mater* 2007;23:218-225.
70. Ikeda T, De Munck J, Shirai K, Hikita K, Inoue S, Sano H, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Effect of evaporation of primer components on ultimate tensile strengths of primer-adhesive mixture. *Dent Mater* 2005;21:1051- 1058.
71. Ikemura K, Tanaka H, Fujii T, Deguchi M, Endo T, Kadoma Y. (a) Development of a new single-bottle multi-purpose primer for bonding to dental porcelain, alumina, zirconia, and dental gold alloy. *Dent Mater J* 2011;30(4):478-84.

72. Ikemura K, Tanaka H, Fujii T, Deguchi M, Negoro N, Endo T, Kadoma Y. (b) Design of a new, multi-purpose, light-curing adhesive comprising a silane coupling agent, acidic adhesive monomers and dithiooctanoate monomers for bonding to varied metal and dental ceramic materials. *Dent Mater J* 2011;30(4):493-500.
73. Ikemura K, Tay FR, Nishiyama N, Pashley DH, Endo T. Multi-purpose bonding performance of newly synthesized phosphonic acid monomers. *Dent Mater J* 2007 Jan;26(1):105-15.
74. Imai M. Pre-treatment of porcelain surface for adhesive restorations. *J J Dent Mater* 1990; 9: 301-313.
75. International Organization for Standardization. 1994, ISO TR 11405. Dental materials-Guidance on testing of adhesion to tooth structure.
76. Ishida H. In: Structural gradient in the silane coupling agent layers and its influence on the mechanical and physical properties of composites. New York: Plenum Press; 1985.25–50.
77. Kamada K, Taira Y, Yoshida K, Atsuta M. Effect of four silane coupling agents on bonding of two resin-modified glass ionomer cements to a machinable ceramic. *Dent Mater J* 2007 Mar;26(2):240-4.
78. Kamada K, Yoshida K, Atsuta M. Effect of ceramic surface treatments on the bond of four resin luting agents to a ceramic material. *J Prosthet Dent* 1998 May;79(5):508-13.
79. Kamada K, Yoshida K, Atsuta M. Early bond strength and durability of bond between a ceramic material and chemically-cured or dual-cured resin luting agent. *Am J Dent* 2001 Apr;14(2):85-8.
80. Kamada K, Yoshida K, Taira Y, Sawase T, Atsuta M. Shear bond strengths of four resin bonding systems to two silica-based machinable ceramic materials. *Dent Mater J* 2006;25:621-625.
81. Kato H, Matsumura H, Atsuta M. Effect of etching and sandblasting on bond strength to sintered porcelain of unfilled resin. *J Oral Rehabil* 2000 Feb;27(2):103-10.
82. Kato H, Matsumura H, Tanaka T, Atsuta M. Bond strength and durability of porcelain bonding systems. *J Prosthet Dent* 1996;75:163–168.
83. Kelly JR, Benetti P, Rungruangant P, Bona AD. The slippery slope: critical perspectives on in vitro research methodologies. *Dent Mater* 2012 Jan;28(1):41-51.
84. Kelly JR. Dental ceramics: what is this stuff anyway? *J Am Dent Assoc* 2008 Sep;139 Suppl:4S-7S.
85. Kern M, Strub JR. Bonding to alumina ceramic in restorative dentistry: clinical results over up to 5 years. *J Dent* 1998; 26:245-249.
86. Kern M, Thompson VP. Effects of sandblasting and silica-coating procedures on pure titanium. *J Dent* 1994;22(5):300-6.
87. Kim BK, Bae HE, Shim JS, Lee KW. The influence of ceramic surface treatments on the tensile bond strength of composite resin to all-ceramic coping materials. *J Prosthet Dent* 2005 Oct;94(4):357-62.
88. Kiremitci A, Altıncı P. Self-Etch Adeziv Sistemlerde Güncel Gelişmeler Bölüm II: Klinik Uygulamalarda Başarı. *Hacettepe Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2008;32(4):49-64,
89. Kitahara N, Itoh K, Kusunoki M, Oikawa M, Miyazaki T. One-bottle silane coupling agent containing 4-META. *J Dent Mater* 2013;32(3):409–412.

90. Klempner D, Sperling LH, Utracki LA, editors. Interpenetrating polymer network Advances in chemical sciences, vol. 239. Washington, DC: *American Chemical Society*; 1994;239:1–637.
91. Klosa K, Wolfart S, Lehmann F, Wenz HJ, Kern M. The effect of storage conditions, contamination modes and cleaning procedures on the resin bond strength to lithium disilicate ceramic. *J Adhes Dent* 2009;11(2):127-35.
92. Kukiattrakoon B, Thammasitboon K. The effect of different etching times of acidulated phosphate fluoride gel on the shear bond strength of high-leucite ceramics bonded to composite resin. *J Prosthet Dent* 2007 Jul;98(1):17-23.
93. Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Toksavul S, Vallittu PK. Shear bond strength of composite resin cements to lithium disilicate ceramics. *J Oral Rehabil* 2005 Feb;32(2):128-33.
94. Kurata S, Umemoto K. Synthesis of new silane coupling agents with a trimellitic anhydride group and application as primers for ceramics and alloys. *Dent Mater J* 2007 Nov;26(6):800-4.
95. Kussano CM, Bonfante G, Batista JG, et al. Evaluation of shear bond strength of composite to porcelain according to surface treatment. *Braz Dent J* 2003;14: 132-135.
96. Lee J-Y, Im E-B. A shear bond strength of resin cements bonded to pressable porcelain with various surface treatments. *J Korean Acad Prosthodont* 2003;41(3):379-386.
97. Li R. Development of a ceramic primer with higher bond durability for resin cement. *J Oral Rehabil* 2010 Jul;37(7):560-8.
98. Lin CT, Lee SY, Keh ES, Dong DR, Huang HM, Shih YH. Influence of silanization and filler fraction on aged dental composites. *J Oral Rehabil* 2000;27:919-926.
99. Liu PR. A panorama of dental CAD/CAM restorative systems. *Compend Contin Educ Dent* 2005 Jul;26(7):507-8, 510, 512.
100. Liu Q, Meng X, Yoshida K, Luo X. Bond degradation behavior of self-adhesive cement and conventional resin cements bonded to silanized ceramic. *J Prosthet Dent* 2011 Mar;105(3):177-84.
101. Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. *Dent Mater* 2012 May;28(5):467-77.
102. Madina MM, Ozcan M, Badawi MF. Effect of surface conditioning and taper angle on the retention of IPS e.max Press crowns. *J Prosthodont* 2010 Apr;19(3):200-4.
103. Magne P, Cascione D. Influence of post-etching cleaning and connecting porcelain on the microtensile bond strength of composite resin to feldspathic porcelain. *J Prosthet Dent* 2006 Nov;96(5):354-61.
104. Mair L, Padipatvuthikul P. Variables related to materials and preparing for bond strength testing irrespective of the test protocol. *Dent Mater* 2010 Feb;26(2):e17-23.
105. Manso AP, Silva NR, Bonfante EA, Pegoraro TA, Dias RA, Carvalho RM. Cements and adhesives for all-ceramic restorations. *Dent Clin North Am* 2011 Apr;55(2):311-32.
106. Matinlinna JP, Lassila LVJ, Kangasniemi I, Vallittu PK. (a) Isocyanato- and methacryloxysilanes promote Bis-GMA adhesion to titanium. *J Dent Res* 2005 Apr;84(4):360-4.
107. Matinlinna JP, Lassila LVJ, Kangasniemi I, Yli-Urpo A, Vallittu PK. (b) Shear bond strength of bis-GMA and methacrylated dendrimer resins on silanized titanium substrate. *Dental Materials* 2005;21:287–96.

108. Matinlinna JP, Lassila LVJ, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont* 2004 Mar-Apr;17(2):155-64.
109. Matinlinna JP, Lassila LVJ, Vallittu PK. (a) 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;34:740-746.
110. Matinlinna JP, Lassila LVJ, Vallittu PK. (b) The effect of a novel silane blend system on resin bond strength to silica-coated Ti substrate. *J Dent* 2006 Aug;34(7):436-43.
111. Matinlinna JP, Ozcan M, Lassila LVJ, Kalk W, Vallittu PK. Effect of the cross-linking silane concentration in a novel silane system on bonding resin-composite cement. *Acta Odontol Scand* 2008 Aug;66(4):250-5.
112. Matinlinna JP, Vallittu PK. Silane based concepts on bonding resin composite to metals. *J Contemp Dent Pract* 2007 Feb 1;8(2):1-8.
113. Matsumura H, Kato H, Atsuta M. Shear bond strength to feldspathic porcelain of two luting cements in combination with three surface treatments. *J Prosthet Dent* 1997 Nov;78(5):511-7.
114. Mc Lean JW. Evolution of dental ceramics in the twentieth century. *J Prosthet Dent* 2001; 85:61-66.
115. McLaren EA, Whiteman YY. Ceramics: rationale for material selection. *Compend Contin Educ Dent* 2010 Nov-Dec;31(9):666-8, 670, 672.
116. Meng X, Yoshida K, Atsuta M. Microshear bond strength of resin bonding systems to machinable ceramic with different surface treatments. *J Adhes Dent* 2008 Jun;10(3):189-96.
117. Meng X, Yoshida K, Taira Y, Kamada K, Luo X. Effect of siloxane quantity and pH of silane coupling agents and contact angle of resin bonding agent on bond durability of resin cements to machinable ceramic. *J Adhes Dent* 2011 Feb;13(1):71-8.
118. Meng XF, Yoshida K, Gu N. Chemical adhesion rather than mechanical retention enhances resin bond durability of a dental glass-ceramic with leucite crystallites. *Biomed Mater* 2010;5(4):044101.
119. Moharamzadeh K, Hooshmand T, Keshvad A, van Noort R. Fracture toughness of a ceramic-resin interface. *Dent Mater* 2008; 24: 172-177.
120. Monticelli F, Osorio R, Toledano M, Goracci C, Tay FR, Ferrari M. (b) Improving the quality of the quartz fiber post-core bonding using sodium ethoxide etching and combined silane/adhesive coupling. *J Endod* 2006;32:447-451.
121. Monticelli F, Toledano M, Osorio R, Ferrari M. (a) Effect of temperature on the silane coupling agents when bonding core resin to quartz fibre posts. *Dent Mater* 2006;22:1024-1028.
122. Nagai T, Kawamoto Y, Kakehashi Y, Matsumura H. Adhesive bonding of a lithium disilicate ceramic material with resin-based luting agents. *J Oral Rehabil* 2005 Aug;32(8):598-605.
123. Nakamura S, Yoshida K, Kamada K, Atsuta M. Bonding between resin luting cement and glass infiltrated alumina-reinforced ceramics with silane coupling agent. *J Oral Rehabil* 2004;31:785-789.

124. Nihei T, Dabanoglu A, Teranaka T, Kurata S, Ohashi K, Kondo Y, Yoshino N, Hickel R, Kunzelmann KH. Three-body-wear resistance of the experimental composites containing filler treated with hydrophobic silane coupling agents. *Dent Mater* 2008 Jun;24(6):760-4.
125. Nihei T, Kurata S, Kondo Y, Umemoto K, Yoshino N, Teranaka T. Enhanced hydrolytic stability of dental composites by use of fluoroalkyltrimethoxysilanes. *Journal of Dental Research* 2002;81:482-6.
126. Nogami T, Tanoue N, Atsuta M, Matsumura H. Effectiveness of two-liquid silane primers on bonding sintered feldspathic porcelain with a dual-cured composite luting agent. *J Oral Rehabil* 2004 Aug;31(8):770-4.
127. Novais VR, Simamotos Júnior PC, Rontani RM, Correr-Sobrinho L, Soares CJ. Bond strength between fiber posts and composite resin core: influence of temperature on silane coupling agents. *Braz Dent J* 2012;23(1):8-14.
128. Nunes TG, Garcia FCP, Osorio R, Carvalho R, Toledano M. Polymerization efficacy of simplified adhesive systems studied by NMR and MRI techniques. *Dent Mater* 2006;22:963-972.
129. Olmos D, Aznar AJ, Baselga J, González-Benito J. Kinetic study of epoxy curing in the glass fiber/epoxy interface using dansyl fluorescence. *J Colloid Interface Sci* 2003 Nov 1;267(1):117-26.
130. Ozan O, Meric G. Self-Adeziv Rezin Simanlar Bölüm I: Diş Sert Dokularına Bağlanmaları. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*. 2010;4(3):606-616.
131. Ozcan M, Cura C, Valandro LF. Early bond strength of two resin cements to Y-TZP ceramic using MPS or MPS/4-META silanes. *Odontology* 2011;99(1):62-7.
132. Ozcan M, Matinlinna JP, Vallittu PK, Huysmans MC. Effect of drying time of 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane on the shear bond strength of a composite resin to silica-coated base/noble alloys. *Dent Mater* 2004;20(6):586-90.
133. Ozcan M, Valandro LF, Amaral R, Leite F, Bottino MA. Bond strength durability of a resin composite on a reinforced ceramic using various repair systems. *Dent Mater* 2009 Dec;25(12):1477-83.
134. Ozcan M, Vallittu PK. Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater* 2003;19:725-731.
135. Özkurt Zeynep, Doktora Tezi, Farklı Zirkonya Esaslı Altyapılara bağlanan veneer seramiklerin makaslama kuvvetlerine karşı dirençlerinin karşılaştırılması. Yeditepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, 2008, İstanbul
136. Padipatvuthikul P, Mair LH. Bonding of composite to water aged composite with surface treatments. *Dent Mater* 2007 Apr;23(4):519-25.
137. Pagniano RP, Seghi RR, Rosenstiel SF, Wang R, Katsube N. The effect of a layer of resin luting agent on the biaxial flexure strength of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent* 2005 May;93(5):459-66.
138. Papacchini F, Monticelli F, Hasa I, et al. Effect of air-drying temperature on the effectiveness of silane primers and coupling blends in the repair of a microhybrid resin composite. *J Adhes Dent* 2007;9:391-397.
139. Papacchini Federica, A study into the materials and techniques for improving the composite-repair bond, 2006, PhD Thesis, University of Siena.

140. Passos SP, Valandro LF, Amaral R, Ozcan M, Bottino MA, Kimpara ET. Does adhesive resin application contribute to resin bond durability on etched and silanized feldspathic ceramic? *J Adhes Dent* 2008 Dec;10(6):455-60.
141. Pegoraro TA, da Silva NR, Carvalho RM. Cements for use in esthetic dentistry. *Dent Clin North Am* 2007 Apr;51(2):453-71.
142. Pereira Carolina Nemesio de Barros. Influência do padrão de evaporação do silano sobre a resistência de união entre uma cerâmica à base de dissilicato de lítio e um cimento resinoso quimicamente ativado: *avaliação in vitro através de um ensaio mecânico de microtração*. Universidade Federal de Minas Gerais Faculdade de Odontologia Belo Horizonte - Minas Gerais 2006
143. Pereira CNB, Buono VT, Mota JL. The influence of silane evaporation procedures on microtensile bond strength between a dental ceramic and a resin cement. *Indian J Dent Res* 2010;21:238-43.
144. Peumans M, Hikita K, De Munck J, Van Landuyt K, Poitevin A, Lambrechts P, van Meerbeek B. Effects of ceramic surface treatments on the bond strength of an adhesive luting agent to CAD-CAM ceramic. *J Dent* 2007;35:282-288.
145. Pisani-Proença J, Erhardt MC, Valandro LF, Gutierrez-Aceves G, Bolanos-Carmona MV, Del Castillo-Salmeron R, Bottino MA. Influence of ceramic surface conditioning and resin cements on microtensile bond strength to a glass ceramic. *J Prosthet Dent* 2006 Dec;96(6):412-7.
146. Plueddemann EP. *Silane coupling agents*, ed 2. New York: Plenum Press, 1991.
147. Plueddemann EP. Water is the key to new theory on resin-to-fiber bonding. *Modern Plastics* 1970; 3:92-8.
148. Reich SM, Wichmann M, Frankenberger R, Zajc D. Effect of surface treatment on the shear bond strength of three resin cements to a machinable feldspathic ceramic. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005 Aug;74(2):740-6.
149. Ritter RG. Multifunctional uses of a novel ceramic-lithium disilicate. *J Esthet Restor Dent* 2010 Oct;22(5):332-41.
150. Rosen MR. From treating solution to filler surface and beyond: the life history of a silane coupling agent. *Journal of Coatings Technology* 1978;50:70-82.
151. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. *Contemporary Fixed Prosthodontics*. 4th. ed. St. Louis, Mosby Elsevier; 2006.
152. Roulet JF, Söderholm KJ, Longmate J. Effects of treatment and storage conditions on ceramic/composite bond strength. *J Dent Res* 1995;74:381-387.
153. Rüttermann S, Fries L, Raab WH, Janda R. The effect of different bonding techniques on ceramic/resin shear bond strength. *J Adhes Dent* 2008 Jun;10(3):197-203.
154. Sakai M, Taira Y, Sawase T. Silane primers rather than heat treatment contribute to adhesive bonding between tri-n-butylborane resin and a machinable leucite-reinforced ceramic. *Dental Materials Journal* 2011; 30(6): 854-860.
155. Salvio LA, Correr-Sobrinho L, Consani S, Sinhorette MA, de Goes MF, Knowles JC. Effect of water storage and surface treatments on the tensile bond strength of IPS Empress 2 ceramic. *J Prosthodont* 2007 May-Jun;16(3):192-9.
156. Santos GC Jr, Santos MJ, Rizkalla AS. Adhesive cementation of etchable ceramic esthetic restorations. *J Can Dent Assoc* 2009 Jun;75(5):379-84.

157. Schweiger M, Holand W, Frank M, Drescher H, Rheinberger V. IPS Empress 2: A new pressable high-glass ceramic for esthetic all-ceramic restoration. *QDT* 1999;143-151.
158. Scientific Documentation IPS e.max® CAD, Ivoclar Vivadent September 2005.
159. Scientific Documentation: IPS e.max Press, Research and Development Scientific Service; Ivoclar, 2005.
160. Shahverdi S, Canay S, Sahin E, Bilge A. Effects of different surface treatment methods on the bond strength of composite resin to porcelain. *J Oral Rehabil* 1998 Sep;25(9):699-705.
161. Shen C, Oh WS, Williams JR. Effect of post-silanization drying on the bond strength of composite to ceramic. *J Prosthet Dent* 2004 May;91(5):453-8.
162. Shimada Y, Yamaguchi S, Tagami J. Micro-shear bond strength of dual-cured resin cement to glass ceramics. *Dent Mater* 2002 Jul;18(5):380-8.
163. Shimakura Y, Hotta Y, Fujishima A, Kunii J, Miyazaki T, Kawawa T. Bonding strength of resin cement to silicate glass ceramics for dental CAD/CAM systems is enhanced by combination treatment of the bonding surface. *Dent Mater J* 2007 Sep;26(5):713-21.
164. Spohr AM, Sobrinho LC, Consani S, Sinhoreti MA, Knowles JC. Influence of surface conditions and silane agent on the bond of resin to IPS Empress 2 ceramic. *Int J Prosthodont* 2003 May-Jun;16(3):277-82.
165. Stappert CF, Att W, Gerds T, Strub JR. Fracture resistance of different partial-coverage ceramic molar restorations: An in vitro investigation. *J Am Dent Assoc* 2006 Apr;137(4):514-22.
166. Sun R, Suansuwan N, Kilpatrick N, Swain M. Characterisation of tribochemically assisted bonding of composite resin to porcelain and metal. *J Dent* 2000 Aug;28(6):441-5.
167. Sundararajan PG, van Ooij WJ. Silane based pretreatments for automotive steels. *Surf Eng* 2000;16: 315-20.
168. Tezvergil A, Lassila LV, Vallittu PK. Composite-composite repair bond strength: effect of different adhesion primers. *J Dent* 2003 Nov;31(8):521-5.
169. Tuusa SM, Lassila LV, Matinlinna JP, Peltola MJ, Vallittu PK. Initial adhesion of glass-fiber-reinforced composite to the surface of porcine calvarial bone. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2005 Nov;75(2):334-42.
170. Tysowsky GW. The science behind lithium disilicate: a metal-free alternative. *Dent Today* 2009 Mar;28(3):112-3.
171. Uludamar Altay, Doktora Tezi, Zirkonyum Oksit Seramik Restorasyonlarda Farklı Yüzey Hazırlıklarının Kompozit Yapıştırma Simanının Bağlanması Etkilerinin İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, 2007, Konya.
172. Valandro LF, Della Bona A, Antonio BM, Neisser MP. The effect of ceramic surface treatment on bonding to densely sintered alumina ceramic. *J Prosthet Dent* 2005 Mar;93(3):253-9.
173. Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A, De Munck J. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dent Mater* 2010 Feb;26(2):e100-21.

174. Vargas MA, Bergeron C, Diaz-Arnold A. Cementing all-ceramic restorations: recommendations for success. *J Am Dent Assoc* 2011 Apr;142 Suppl 2:20S-4S.
175. Vasconcellos WA, Alvim HH, Saad JR, Susin AH. Effects of surface treatment on the microtensile bond strength of ceramic materials to dentin. *Acta Odontol Latinoam* 2007;20(2):103-7.
176. Witucki GL. A Silane Primer: Chemistry and Applications of Alkoxy Silanes. *Journal of Coatings Technology* 1993;65(822): 57-60.
177. Yamada K, Koizumi H, Kawamoto Y, Ishikawa Y, Matsumura H, Tanoue N. Effect of single-liquid priming agents on adhesive bonding to aluminum oxide of a methacrylic resin. *Dent Mater J* 2007 Sep;26(5):642-6.
178. Zogheib LV, Bona AD, Kimpara ET, McCabe JF. Effect of hydrofluoric acid etching duration on the roughness and flexural strength of a lithium disilicate-based glass ceramic. *Braz Dent J* 2011;22(1):45-50.
179. Zortuk M, Kilic K, Gurbulak AG, Kesim B, Uctasli S. Tensile bond strength of a lithium-disilicate pressed glass ceramic to dentin of different surface treatments. *Dent Mater J* 2010 Aug;29(4):418-24.

ÖZGEÇMİŞ

Çağrı TURNA

Doğum Yeri : Eskişehir
Doğum Tarihi : 07/04/1985
Uyruğu : T.C.
Email : turna_cagri@yahoo.com
Tel : 0536 314 50 84

Mezun Olduğu Kurumların Adı ve Mezuniyet Yılları:

Lisans : Yeditepe Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi 2008
Lise : Eskişehir Süleyman Çakır Lisesi 2003
Yabancı Dil : İngilizce (çok iyi), Fransızca (başlangıç)