

T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PEDODONTİ ANABİLİM DALI

**ATRAVMATİK RESTORATİF TEKNİKLE ÇÜRÜK
TEDAVİSİNDE ZEOLİT KULLANIMININ *in vitro*
DEĞERLENDİRİLMESİ**

142006

DOKTORA TEZİ

Dt. Çağdaş ÇINAR

TEZ YÖNETİCİSİ

Prof. Dr. Tezer ULUSU

ANKARA, 2005

SBE 11/2002-7 kodlu bu tez çalışması Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından
desteklenmiştir.

Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından Pedodonti Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Üye

Üye

Üye

Üye

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Enstitü Müdürü

Doktora öğrenimime başladığım ilk günden beri desteğini ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Tezer ULUSU'ya,

Tezimin kurgulanmasında büyük katkıları bulunan Prof. Dr. Hayriye SÖNMEZ'e,

Katkılarından dolayı Prof. Dr. Özlem TULUNOĞLU'na,

Her zaman yanımda yer alan Pedodonti Anabilim Dalının bütün Öğretim Üyelerine ve Asistan arkadaşlarıma,

Bu teze katkılarından dolayı Prof. Dr. Nurhan ÖZTAŞ ve Yrd. Doç. Dr. Selçuk AKTÜRK'e,

Yardımlarından dolayı Dr. Dt. Dilek TÜFEKÇİOĞLU'na ve Dt. Emre BARIŞ'a,

Tez çalışmamda yanımda olan Dt. Özlem SEZGİN'e ve beni sonuna kadar destekleyen Ailem'e en içten teşekkürlerimi sunarım.



Annem'e

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
GENEL BİLGİLER.....	4
Atravmatik Restoratif Tedavi Tekniği (ART).....	4
Cam İyonomer Simanlar (CİS).....	6
<i>Doldurucu partiküllerin bileşimi ve yapısı.....</i>	<i>7</i>
<i>Poliasit matriks formasyonunun bileşimi ve yapısı.....</i>	<i>8</i>
<i>Sertleşme reaksiyonu.....</i>	<i>9</i>
<i>Cam iyonomer simanların tipleri ve kullanım alanları.....</i>	<i>11</i>
<i>ART tekniğinin ve bu teknikte kullanılan CİS'in klinik</i>	
<i>ve saha çalışmaları ile değerlendirilmesi.....</i>	<i>15</i>
<i>ART teknikte kullanılan cam iyonomer simanların</i>	
<i>mikrosızıntı ve antibakteriyel özellikleri.....</i>	<i>24</i>
Zeolitler.....	31
<i>Önemli zeolit türleri</i>	<i>32</i>
<i>Yapay zeolitler.....</i>	<i>33</i>
<i>Zeolitlerin kimyasal bileşimleri ve kristal yapıları.....</i>	<i>34</i>
<i>Zeolit yapısında bulunan katyonların önemi.....</i>	<i>37</i>
<i>Zeolitlerde SiO₂/Al₂O₃ oranının önemi.....</i>	<i>38</i>
<i>Zeolitlerin özellikleri.....</i>	<i>39</i>
<i>Zeolitlerin iyon değiştirici olarak özellikleri ve uygulama alanları..</i>	<i>40</i>
<i>Gümüş zeolit.....</i>	<i>41</i>
MATERYAL VE YÖNTEM.....	49
Gümüş-Zeolit Hazırlanması.....	49
Gümüş-Zeolit içeren Cam İyonomer Siman Örneklerin	
Hazırlanması.....	51

Mikro-Makaslama Testi.....	55
CİS-Dentin arayüzünün Taramalı Elektron Mikroskop	
(SEM) Değerlendirilmesi.....	60
Mikrosızıntı Testi.....	60
BULGULAR.....	64
Mikro-makaslama testi.....	64
CİS-Dentin arayüzünün Taramalı Elektron Mikroskop	
(SEM) Değerlendirilmesi.....	72
Mikrosızıntı Testi.....	78
TARTIŞMA.....	85
SONUÇ.....	116
ÖZET.....	117
SUMMARY.....	118
KAYNAKLAR.....	119
ÖZGEÇMİŞ.....	140

TABLÖLAR ve GRAFİKLER

Sayfa No:

Tablo 1. 4A Sodyum Zeolitin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	50
Tablo 2. Cam iyonomer simanların özellikleri.....	52
Grafik 1. Mikro-makaslama bağlanma kuvvet değerleri	64
Grafik 2. Mikro-makaslama testi sonrasında meydana gelen kopma tipleri....	66
Tablo 3. Okluzal kenardaki mikrosızıntı değerleri.....	78
Tablo 4. Gingival kenardaki mikrosızıntı değerleri.....	79



ŞEKİL ve RESİMLER

Sayfa No:

Şekil 1. Zeolitin SiO_4 ve AlO_4 yapısı.....	35
Şekil 2. Zeolit A solid ve iskeletsel yapısı.....	36
Şekil 3. Gümüş iyonlarının zeolitin kanalcıklı yapısına yerleşmesi.....	41
Resim 1. 4A Na-zeolitin SEM görüntüsü.....	42
Resim 2. Gümüş-zeolitin SEM görüntüsü.....	42
Resim 3. 4A Sodyum zeolit.....	50
Resim 4. 4A Sodyum zeolit toz görüntüsü.....	51
Resim 5. GC Fuji IX.....	53
Resim 6. ChemFlex.....	53
Resim 7. GC Fuji Varnish ve Cavity Conditioner.....	54
Resim 8. Diş kesitleri.....	56
Resim 9. Hazırlanan silindirler.....	56
Resim 10. Mikro-makaslama testi için hazırlanan metal plakalar.....	58
Resim 11. Test cihazına yerleştirilen metal plakalar	59
Resim 12. Diş örneklerine mikro-makaslama testinin uygulanması.....	59
Resim 13. Mikrosızıntı testi için hazırlanan örnekler.....	62
Resim 14. Fuji IX kopma tipi.....	67
Resim 15. Fuji IX+gümüş zeolit kopma tipi.....	68
Resim 16. Fuji IX+gümüş zeolit kopma tipi.....	69
Resim 17. ChemFlex kopma tipi.....	70
Resim 18. ChemFlex+gümüş zeolit kopma tipi.....	71
Resim 19. Grup 1, Fuji IX-dentin arayüzüne ait SEM görüntüleri.....	74
Resim 20. Grup 2, Fuji IX+gümüş zeolit-dentin arayüzüne ait SEM görüntüleri.....	75
Resim 21. Grup 3, ChemFlex-dentin arayüzüne ait SEM görüntüleri.....	76
Resim 22. Grup 4, ChemFlex+gümüş zeolit-dentin arayüzüne ait SEM görüntüleri.....	77
Resim 23. Fuji IX mikrosızıntı değerleri.....	81

Resim 24. Fuji IX+gümüş zeolit mikrosızıntı değerleri.....	82
Resim 25. ChemFlex mikrosızıntı değerleri.....	83
Resim 26. ChemFlex+gümüş zeolit mikrosızıntı değerleri.....	84



GİRİŞ ve AMAÇ

Son 20 yılda yapılan çalışmalar diş çürüğünün daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Bu süre zarfında özellikle gelişmiş ülkelerde çürük diş sayısının azalmasına rağmen küresel bakıldığında diş çürüğünün oldukça yaygın bir problem olduğu görülmektedir. Çürük ilerleme hızında demineralizasyon ve remineralizasyon süreçlerinin rolü olduğunun anlaşılması, bakteri ve floridin etkilerinin belirlenmesi, ağız sağlığının kazanılmasında yeni kavramların oluşmasına ışık tutmuştur. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 1995 raporlarına göre gelişen ülkelerde 12 yaşındaki çocukların tedavi edilmemiş çürük prevalansı %30 ile %90 arasındadır, erişkinlerde ise 35-44 yaşlarında bu oran %55 ile %95 arasındadır.³⁵ WHO ise 2010 yılı hedeflerinde 0-6 yaş grubu çocuklarda %30, 5-6 yaş grubundaki çocuklarda %90 oranında çürük olmamasını beklemektedir. 2020 yılına kadar 0-6 yaş grubu çocuklarda çürüksüzlük oranını %40'a yükseltmek, 12 yaş grubu çocuklarda çürük, dolgulu ve çekilmiş diş sayısını 1,7'ye indirmek WHO'nun hedefleri arasındadır. Bu nedenle koruyucu önlemlerin öneminin artmış olmasının yanı sıra gerçekleştirilen tedavilerde daha fazla koruyucu yaklaşım ve daha az invaziv teknik benimsenmiştir. Bu anlamda, son yıllarda, gelişen ülkelerde özellikle süt dişleri için Atravmatik Restoratif Tedavi (ART) tekniğine olan ilgi artmış ve kullanım alanı genişlemeye başlamıştır. Bilindiği gibi ART tekniği diş yüzeyinden çürük lezyonun yalnızca el aletleriyle uzaklaştırması ve bunu takiben kavite, pit ve fissürlerin özel bir cam iyonomer siman (CİS) veya diğer adeziv restoratif materyaller ile restorasyonu anlamına gelir. Sadece el aletlerinin kullanımı ile çürük dentini uzaklaştırmak tura göre etkinliği daha az olan bir

yöntemdir ve CİS altında çürük yapıcı bakteriler canlılığını sürdürebilmektedir. Böylece CİS çürük sürecini durdurmada yetersiz kalabilmekte ve ART tekniği ile tedavi edilen dişlerde restorasyon başarısız olabilmektedir. Restoratif materyal olarak CİS kullanılması ayrıca mikrosızıntı ve diğer fiziksel özelliklere bağlı olarak restorasyonun başarısız olmasına neden olabilmektedir. CİS restorasyon altındaki reziduel mikroorganizmaların 2 yıldan daha uzun bir süre canlı kaldıklarını gösteren çalışmalar bu problemi desteklemektedir.^{149,151} Bu nedenle CİS ile birlikte antibakteriyel ajanların kullanılmasının teröpatik etki sağlayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Son dönem çalışmalarında antimikrobiyal özelliği kanıtlanmış, CİS ile birlikte kombine bir şekilde kullanılmaya başlanmış olan gümüş zeolit diş hekimliği için uygun bir materyal haline gelmiştir.

Gümüş-zeolit, kristalin alüminasilikat bir materyaldir. Gümüş iyonları tüm mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkiye sahiptir. Gümüş-zeolit gümüş iyonlarını küçük miktarlarda sürekli olarak ortama vermektedir, bunun sonucunda doku hücrelerine herhangi bir zararlı etki göstermeksizin uzun dönem antimikrobiyal etki sağlanmaktadır.^{1,60,65,80,87,144}

Çalışmada antimikrobiyal bir materyal olan gümüş zeolit ART teknik için geliştirilmiş CİS olan Fuji IX ve ChemFlex ile kombine kullanımlarının dentin yüzeyine bağlanma etkisinin mikro-makaslama test tekniği ile; materyallerin süt dişi dentini ile bağlanma arayüzlerinin Taramalı Elektron

Mikroskobu (SEM) ile; ayrıca materyal ile diş yüzeyi arasındaki mikrosızıntı etkisinin boya difüzyon yöntemi ile karşılaştırmaı bir şekilde değeriendirilmesi amaçlanmıştır.



GENEL BİLGİLER

Atravmatik Restoratif Tedavi

Atravmatik Restoratif Tedavi (ART) tekniği diş yüzeyinden çürük lezyonun yalnızca el aletleriyle uzaklaştırılması ve bunu takiben kavite, pit ve fissürlerin özel bir cam iyonomer siman (CİS) veya diğer adeziv restoratif materyaller ile restorasyonu anlamına gelir.^{35,36,39,46,55,58,59,71,83,86,108,126,128,130,148,160,164} Yumuşak ve ıslak dentinin bakteri açısından oldukça zengin olduğu, böyle bir çürük dentini herhangi bir teknikle kaldırmanın daha sonra da kaviteyi hermetik bir şekilde kapatmanın çürük ilerlemesini durduracağı bilinmektedir.¹²⁶ ART teknik 1980'lerin ortalarında geliştirilmiş ve bu teknik kullanılarak Tanzanya'da ve kuzey-doğu Tayland'da 3 yıldan daha uzun bir süre alan çalışması yapılmıştır. ART teknik 1990'larda WHO'nun girişimleri, Hollanda Hükümetinin ve CİS üreticilerinin destekleriyle daha geniş bir kullanım alanı bulmuştur.^{6,39,40,42,71,86,128,164}

İşlemlerin ağrısız olarak çok kısa sürede tamamlanması, pahalı aletler gerektirmemesi, el aletlerinin gürültülü olmaması, su soğutması ve tükürük emiciye gerek olmaması ART tekniğin çocuklar tarafından kolayca kabullenilmesini sağlamıştır. Kavite sadece el aletleriyle temizlenmekte ve pek çok vakada anestezi gerektirmeyen minimal ağrı söz konusu olmaktadır.^{35,36,39,45,55,78,83,125,126,128,130,160,163,164} Bununla birlikte bu tekniğin uygulanması ile çocuklarda diş ile ilişkili psikolojik travmanın en aza indirilmesi ve anestezi

uygulanmamasından dolayı davranışsal problemlerin eliminasyonu sağlanmıştır.^{45,58,108} Aynı zamanda bu teknik kullanılarak minimal düzeyde kavite hazırlanmakta, mekanik retansiyon için sağlıklı diş dokularını içine alan bir kavite hazırlığı gerektirmemektedir. Restoratif materyal olarak kimyasal sertleşen CİS kullanılacağından materyali hazırlamak için herhangi bir cihaz ve ışık kaynağı gerekmemektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı okul diş ünitelerinde, mental-fiziksel özürlü bireylerde ve yaşlılarda alternatif bir tedavi şekli olarak kullanılmaktadır.^{35,36,55,56,58,108,130,160} Son dönemlerde erken çocukluk çürüklerini önlemek için özellikle Avustralya, Yeni Zelanda, İtalya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi gelişmiş ülkelerde kullanım alanında bir artış söz konusudur.^{105,108,126,128} Yakın zamanda yapılan çalışmalarda, hareketli diş kliniklerinde geleneksel enstrümanların kullanılması ile ART tekniği uygulandığında çocukların hem süt hem de daimi dişlerinde ağız sağlığının kazanılmasında önemli derecede başarı sağlandığı gösterilmiştir.^{105,126,128,130} ART tekniğinde kavite içerisine CİS yerleştirilirken pit ve fissürler de CİS ile örtülür. Böylece hem restoratif hem de koruyucu uygulama aynı anda gerçekleştirilmiş olmaktadır. Ayrıca bu materyalin mine ve dentine kimyasal olarak bağlanması, uzun dönemde mine, dentin, tükürük ve plak içerisine florid salması, materyal ile temastaki diş dokuların çürük riskini azaltması ve pulpa dostu olması en önemli avantajlarıdır.^{35,55,102,103,108,164} ART tekniğinin bu avantajları yanında bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan en önemlisi, el aletleri ile küçük çürük lezyonlarının kaldırılmasındaki güçlülüktür. El ile yapılan ekskavasyon elde ve bilekte ağrıya neden olduğundan kavitede çürük kalma ihtimali yüksektir.¹⁴⁸ Bir

diğer dezavantaj ise ART tekniğinde kullanılan CİS'in dayanıklılığı, aşınma direnci, dişe bağlanma ve mikrosızıntı gibi bazı fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Bununla birlikte el aletlerini kullanarak çürük uzaklaştırmanın tura göre etkisinin az olduğu ve CİS altında kalan çürük yapıcı bakterilerin canlılığını devam ettirmesi söz konusudur. Bu nedenle ART teknik kullanılarak uzaklaştırılan çürüklerde eğer CİS çürük durdurma özelliğine sahip değilse, restorasyonun başarısız olacağı ifade edilmiştir.^{5,73,163}

İdeal bir ART dolgu materyali biyouyumlu olmalı, dişi renklendirmemeli, kolay uygulanmalı, nemli ve kuru ortama hassas olmamalı, özel bir ekipman gerektirmeden sertleşebilmeli, mine ve dentine stabil bir şekilde bağlanabilmeli, bakterilere karşı marjinal gapleri kapatmalı, florid veya remineralize ajanlar salmalı, mükemmel bir dayanıklılık sergilemelidir.^{8,137} ART tekniğinde bu kriterlerin pek çoğuna sahip visközitesi yüksek materyaller olan cam iyonomer simanların kullanımı tercih edilmektedir.

Cam İyonomer Simanlar

İlk cam iyonomer siman (CİS) Wilson ve Kent tarafından geliştirilmiştir. Cam iyonomer siman, alüminosilikat cam ya da fluoroalümina cam tozları ve poliasit solüsyon arasındaki asit-baz reaksiyonunu takiben sertleşen su bazlı bir materyal olarak tanımlanabilir.^{7,68,84,97,103,117,125,162}

Doldurucu partiküllerin bileşimi ve yapısı

Cam; alümina (Al_2O_3), silika (SiO_2), metal oksitler, metal floridler ve metal fosfatların 1100°C ' dan daha yüksek bir ısıda erimesiyle meydana gelir. Metal iyonları genellikle alüminyum (Al), kalsiyum (Ca), stronsiyum (Sr), çinko (Zn), sodyum (Na), potasyum (K) ve lantanum (La)' dan seçilir. Fosfat ve florid üretim sürecinde erime ısını arttırmak için kalsiyum ve sodyum florür iyonları formunda kullanılmakta ve sertleşme karakteristiğini modifiye etmek için cam bileşimine katılmaktadır.^{89,117, 131}

Lantanum oksit (La_2O_3), baryum sülfat (BaSO_4) ve stronsiyum oksit (SrO) simana radyoopasite sağlamak için sadece cam tozuna eklenmekte, cam yapısına katılmamaktadır. Camın temel içeriğini alüminyum oksit ve silikon dioksit oluşturmaktadır. Yapı üç boyutlu bir tetrahedrondur. Alüminyum iyonu tetrahedronun merkezinde silika iyonu ile yer değiştirebilir. Florid ve fosfat iyonları cam yapısında bulunurken, silikon tetrahedronun iskeletsel yapısında bulunmamaktadır.

Cam kırılabilir, öğütülebilir ve toz haline getirilebilir. Cam tozunun partikül boyutu ve dağılımı simanın sertleşme karakteristiğini kontrol etmek için çok önemlidir. Fluoroalümina silikat cam, simana diğer florid bileşikleri eklenmeksizin florid salma özelliğine sahip bir yapıdır.^{89,117} Florid içeriğinin %23 olabilmesi için $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ oranının 1:2 veya daha fazla olması gerekmektedir.¹³¹ Esas olarak fluor iyonu asit difüzyon evresi süresince sodyum

fluor iyonları şeklinde salınmaktadır. Cam iyonomer simanın fiziksel özelliği florid salınımından sonra bile bozulmamaktadır. Çalışmalar cam iyonomer simanın floridi reşarj özelliğini göstermiştir.^{102.162} Böylece cam iyonomer simanın uzayan periyotlarda da fluor iyonu salabileceği gösterilmiştir.¹⁴⁵

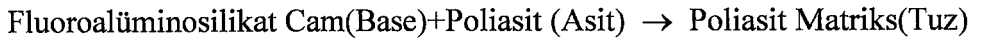
Poliasit matriks formasyonunun bileşimi ve yapısı

Cam iyonomer sistemde fluoroalüminasilikat cam ile reaksiyona giren poliasit genellikle polikarboksilik asittir. Cam iyonomer simanda; poliakrilik asit, polimaleik asit, akrilik asit-itakonik asit kopolimer, akrilik asit-maleik asit kopolimer, akrilik asit- 2 bütan dikarboksilik asit kopolimer ve polivinil fosforik asit olarak bilinen asitler kullanılmaktadır. Poliasitin reaktivitesi kopolimerin içeriğine bağlı olduğu kadar moleküler ağırlığa ve konsantrasyona da bağlıdır. Akrilik aside maleik veya itakonik asitin eklenmesiyle total moleküler ağırlığa ve reaktiviteye bağlı karboksilik grupların sayısı artırılmıştır. Bu artış simanın final sertleşme döneminde daha iyi fiziksel özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır.^{117,131} Cam iyonomer simanlar dış yapılarına veya metale herhangi bir ek uygulama gerektirmeksizin adezyon yapabilme özelliğine sahiptir. Dış yapısına veya metale adezyon mekanizması tam olarak açıklanamamakla beraber bu özelliğin metal iyonlu polimer asit ve karboksil gruplarının iyonik reaksiyonuna bağlı olduğu belirtilmektedir. Cam iyonomer simanın toz partiküllerinin yüzeyine doğru bir asit saldırısının meydana geldiği, kalsiyum ve alüminyum iyonları salındığı ve böylece toz ve likit arasında difüzyon bazlı bir adezyon geliştiği, aynı zamanda bu adezyona benzer bir adezyonun dış yüzeyinde

de meydana geldiği, polialkenoik asit ile fosfat ve kalsiyum iyonlarının yer değiştirdiği bunun sonucunda hem dentin hem de minde bir bağ meydana geldiği belirtilmiştir. Her bir fosfat iyonunun elektrolitik denge sağlamak için bir kalsiyum iyonu aldığını sonuçta iki materyal arasında iyondan zengin bir tabakanın oluştuğunu ve istenilen düzeyde bir birleşme meydana geldiğini ifade etmiştir.^{68.90.141.156} Cam iyonomer siman, likit komponentinde poliakrilik asit içerdiğinden dolayı canlı dokuyu düşük pH'sı ile etkileyebilmektedir. Sertleşmemiş siman ekspozit pulpaya zarar verebilecek asidite göstermektedir. Diğer taraftan tamamen sertleşmiş bir siman asidik etkiye sahip değildir.

Sertleşme reaksiyonu

Geleneksel cam iyonomer simanın sertleşme reaksiyonu iki aşamada meydana gelmekte, reaksiyon fluoroalüminosilikat cam tozları ve poliakrilik asit solüsyonunun birbirine karıştığı anda başlamaktadır.



İlk aşama, CİS'in karıştırılmasından sonraki ilk 10 dakikalık klinik sertleşme sürecinden meydana gelmektedir. İkinci aşama ise ortamda su varlığında asidin hidrojen iyonlarının cam partiküllere yapışması sonucu kalsiyum, stronsiyum, alüminyum iyonlarının salınması ile başlamaktadır. Bu evre yavaş ilerlemekte ve uzun süre devam etmektedir. Sertleşme reaksiyonunun başlangıç aşamasında divalent kalsiyum iyonları camdan salınmakta ve hızlı bir şekilde

materyalin çok az sertleşmesini sağlayan kalsiyum poliakrilat zinciri meydana gelmektedir. Bu zincirler zayıf yapıdadırlar ve suda çözünmektedirler. Bu nedenle bu dönemde CİS suya duyarlıdır. Daha sonra trivalent alüminyum iyonları salınmakta ve diğerlerine nazaran daha güçlü, suya dayanıklı alüminyum poliakrilat zinciri meydana gelmektedir.^{68.117} Metal iyonları poliasit matriks formu için poliasitin karboksilik asit grupları ile birleşmekte ve cam yüzeyi silika hidrojele dönüşmektedir. Alüminyum oksitteki alüminyum iyonları, asit ile reaksiyona girmemesine rağmen silika camda bulunduğu reaksiyona katılmaktadır. Başlangıçta cam içinde dört oksijen atomuyla birlikte bulunan alüminyum iyonu, sertleşen matriks içerisinde altı atomla birlikte hareket etmektedir. Sertleşmiş sement içerisindeki Al^{3+} iyonu karboksilik asit grupları, su, fluor iyonu, diğer aniyonik iyonlardan seçilen altı atomla birleşmektedir. Cam kor siman matrikste doldurucu olarak bulunmaktadır. Cam tozunun yüzey tabakası silikondan zengin bir tabaka haline gelmektedir. Daha sonra silika jel tabakası siman matriks ve cam partikülleri arasında şekillenmektedir. Elementler bu silika tabakasında yoğun bir şekilde bulunmaktadır. Cam iyonomer simanın yüzey aralıkları rezin kompozitteki doldurucuların yüzey aralıklarından farklıdır. Bir rezin kompozitte doldurucu ve matriks sadece silan bağlama ajanı ile bağlanmaktadır. Silika jel tabakası 1 hafta ile 1 aylık periyotta tamamen sertleşmektedir. Reaksiyon ve sertleşme sürecinde herhangi bir zamanda tüm bu materyaller dehidratasyona duyarlıdır. Cam iyonomer simanın direnci 1 yıl boyunca giderek artmaktadır.¹¹⁷

Cam iyonomer simanların tipleri ve kullanım alanları

Son dönemlerde hem cam toz komponentinde hem de polikarboksilik asit likitinde pek çok değişiklik yapılmıştır. Özellikle bu iki komponent arasındaki asit baz sertleşme reaksiyonunun modifikasyonu, bileşimlere suda çözünebilen polimerler ve polimerize monomerlerin girmesiyle gerçekleştirilmiştir. Böylece bileşimdeki farklılıkların bir sonucu olarak çeşitli spesifik uygulamalar için uygun materyaller hazırlanmıştır. Cam iyonomer simanlar klinikte yapıştırma simanı, anterior ve posterior dolgu materyali, kaide ve kor yapımında, fissür örtücü ve kök kanal dolgu materyali olarak kullanılmaktadır.¹¹⁷ İlk cam iyonomer siman Alümina Silikat Poli-Akrilat olarak isimlendirilen dolgu materyali olarak geliştirilmiştir (ASPA;Dentsply). Son zamanlarda restoratif amaçlı pek çok cam iyonomer üretilmiştir. Cam iyonomer simanlar diş yapılarına çok iyi bağlanır, kolay uygulanır, termal ekspansiyon katsayıları diş yapısına çok yakındır. Ayrıca demineralize alanları remineralizasyon potansiyeline sahiptir.^{90,117}

Cam iyonomer simanlar pedodontik uygulamalar için geniş bir yelpazede kullanılırken, Sınıf III ve Sınıf V restorasyonlarda da tercih edilmektedirler. Erişkinlerde abrazyona yetersiz dirençlerinden dolayı, aşırı kuvvet gelen okluzal yüzeylerde daimi dolgu materyali olarak kullanılmamaktadır. Bazı cam iyonomer simanlar kaide materyali olarak geliştirilmiştirler. Bu siman kompozitin mine yerine kullanıldığı restorasyonlarda dentin olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde hem cam iyonomer simanların hem de kompozit rezinlerin avantajları kombine edilmiş olmaktadır.¹¹⁷

Yapıştırma cam iyonomer simanlar metal inleylerin, kronların ve köprülerin simantasyonunda kullanılmaktadırlar. Kolay maniple edilmeleri, adezyon özelliklerinin iyi olması, florid salmaları ve ağız sıvılarındaki çözünürlüklerinin az olması nedeniyle en uygun yapıştırma simanıdır. Fiziksel özellikleri çinko fosfat siman, polikarboksilat siman ve rezin simanla karşılaştırıldığında çok daha iyidir.¹¹⁷

Cam iyonomer simanın direncini arttırmak için doldurucu komponente metallerin eklenmesi hedeflenmiştir. Toz, fluoroalüminasilikat cam ve gümüş alaşım içerir. Cam ısı ve basınç altında gümüşle birleştirilerek bu ürün kermet siman olarak adlandırılmıştır. Bu simanların biyouyumu, mine ve dentine adezyonları geleneksel cam iyonomer simanlarla benzemektedir, ancak geleneksel cam iyonomerlere göre daha az florid salmaktadırlar. Ayrıca düşük fraktür dirençlerinden dolayı marjinal bölgelerde kullanılmamaktadırlar.¹³⁰ Bu materyaller, metallerin eklenip karıştırılmasından dolayı diğer cam iyonomer simanlara göre dişi daha fazla renklendirmemektedirler. Bunlar daha dirençli, kolay maniple edilen ve radyopak cam iyonomerlerdir. Bir diğer özellikleri, diş yapılarına adezyonları iyi olmasından dolayı kor yapımında kullanılabilmesidir. Metalle güçlendirilmiş cam iyonomer simanlar, geçici posterior restoratif materyal olarak tercih edilebilirler.¹¹⁷

Akışkan cam iyonomer simanlar; kaide, fissür örtücü, aşırı duyarlı servikal bölgeler için restoratif materyal ve kök kanal patı olarak geliştirilmiştir. İlk cam

iyonomer simanı fissür örtücü olarak McLean ve Wilson kullanmıştır.¹²⁵ Bu materyaller, toz-likit oranı düşük, buna bağlı olarak da yüksek düzeyde akıcılık gösterecek şekilde geliştirilmiştir. Cam iyonomer simandan salınan florid diş yapılarını güçlendirir. Bu materyal fissür örtücü olarak uygulandığında tüm okluzal yüzeye yayılarak çok iyi kapama sağlamaktadır.¹¹⁷

Son yıllarda süt dişlerinde amalgamın yerini alabilecek bir dolgu materyali bulmak için yoğun çaba harcanmaktadır. Bu durum özellikle Alman Federal Sağlık Bakanlığı'nın, 6 yaş altındaki çocuklara amalgam dolgu materyalinin uygulanmasından kaçınılması kararı ve süt dişleri için yeni restoratif materyal geliştirilmesini desteklemesi ile hız kazanmıştır.^{7,11} Cam partiküllerinin yüzeyinden fazla kalsiyum iyonlarının uzaklaştırılması, patiküllerin boyutlarında ve yüzey reaktivitesinde yapılan gelişmeler ile viskozitesi yüksek cam iyonomer simanlar piyasaya sürülmüştür.^{23,70} Kolay manipulasyon ve mekanik özelliklerinden dolayı viskozitesi yüksek cam iyonomer simanlar, amalgama alternatif bir dolgu materyali olarak önerilirler. Visköz cam iyonomer simanlar aynı zamanda kondanse edilebilen cam iyonomer simanlar olarak da isimlendirilirler. Bu amaçla Fuji IX (GC), ChemFlex (Dentsply/DeTrey), Ketac-Molar (3M-ESPE) ve Hi-Dense (Shofu) gibi simanlar üretilmiştir. Başlangıç ART çalışmalarında geleneksel restoratif CİS kullanılmıştır. Aşınmaya ve okluzal kuvvetlere karşı dirençlerinin düşük olması nedeniyle 1990'lı yılların başlarında özellikle ART tekniğinde viskozitesi yüksek cam iyonomer simanlar kullanılmaya başlanmıştır.^{11,13,20,56,103,129,130,163} Hızlı sertleşme reaksiyonu, su dengesindeki

değişikliklere karşı aşırı hassasiyet göstermemesi ve sertleşme sonrasında ağız sıvılarında çözünürlüğünün daha az olması bu simanları özellikle ART teknik için kullanıma uygun hale getirmiştir.²³ Yüksek çürük risk grubundaki ve kooperasyon sağlanamayan çocuklarda süt dişlerinin Sınıf I ve Sınıf II restorasyonlarında kullanılır. Mineralize dokuya kimyasal bağlanmaları ve florid salarak demineralize dokunun remineralizasyonuna yardımcı olmaları sekonder çürüğün gelişmesini engellemiştir. Aynı zamanda bu cam iyonomer simanların restorasyona komşu pit ve fissürleri kapatma özelliğinden de yararlanılabilir ve çürük gelişiminin erken dönemlerinde ART teknikte kullanıldığında etkili olmaları beklenir.^{20,36,56} Diğer cam iyonomer simanlara göre daha visköz olması, toza eklenen poliakrilik asit ve partikül büyüklük dağılımının daha iyi olmasına bağlıdır. Sertleşme reaksiyon süreci, geleneksel cam iyonomer simanlarda olduğu gibi asit-baz reaksiyonu ile meydana gelir. Kondanse edilebilen cam iyonomer simanlar, uzun süre karıştırılarak kullanıldığında yüksek visközite özelliklerinden dolayı amalgama benzer bir şekilde kavite içerisine kondanse edilebilirler. Kimyasal sertleşme özellikleri nedeniyle tek parça halinde kaviteye yerleştirilebilirler. Termal genişleme katsayıları diş yapılarına benzer olduğundan ısı değişimlerinin bağlanma üzerine etkisi çok azdır. Bu simanların sertleşme süresi kısa olduğundan, materyalin erken dönemde neme hassasiyeti azalmıştır. Yüzey sertlik özellikleri, hibrit kompozitlerin yüzey sertlik özelliklerine benzerdir. Küçük partiküllere sahip olmaları ve partiküllerin matriks içerisindeki dağılımının geliştirilmesine bağlı olarak, kondanse olabilen CİS'lerin abrazyona dirençleri

geleneksel CİS'lere göre oldukça yüksektir. Bu materyallerden salınan florid miktarı, geleneksel CİS'lerle benzerlik gösterir.^{13,20,34,97}

ART tekniğinin ve bu teknikte kullanılan CİS'in klinik ve saha çalışmaları ile değerlendirilmesi

ART tekniğın kullanılmaya başlanmasından günümüze kadar dünya genelinde yapılan çalışmaların sayısı giderek artmıştır. Özellikle bu teknik için geliştirilen visközitesi yüksek cam iyonomer simanlar ART tekniğın başarı oranlarını yükseltmiştir.

Frencken ve arkadaşları,⁴⁰ Tayland'da yapmış oldukları ART çalışmasında CİS'i (ChemFil-Dentsply DeTrey) hem dolgu materyali hem de fissür örtücü olarak kullanmışlar ve uzun dönem değerlendirmesini yapmışlardır. Aynı zamanda mobil bir ünit kullanarak bir gruba geleneksel tedavi yöntemi ile amalgam uygulamışlardır. Bir yıl sonunda yapmış oldukları değerlendirmede, süt dişlerine uygulanan ART restorasyonlarının tek yüzölçü olanlarında %79 başarı oranı, birden fazla yüzölçüye uygulanan tedavide ise %55 başarı oranı bulmuşlardır. Daimi dişlerde bu oranı sırasıyla %93 ve %67 olarak ifade etmişlerdir. Süt ve daimi dişlere ART tekniğı ile uygulanan örtücülerin başarı oranlarını değerlendirdiklerinde bu oranları sırasıyla %73 ve %78 bulmuşlardır.

Phantumvanit ve arkadaşları,¹⁰⁵ yapmış oldukları çalışmada sadece tek yüzölçüde çürük bulunan daimi ve süt dişlerini ART tekniğı (Chemfil-Dentsply

DeTrey) ve geleneksel amalgam restorasyonla tedavi etmişler ve birinci yıl sonunda ART'de %93 başarı sağlarken bu oranı amalgam restorasyonlar için %98 bulmuşlardır. İkinci ve üçüncü yılda sırasıyla bu oran ART için %83 ve %71, amalgam restorasyon için %94 ve %85 bulunmuştur. İstatistiksel olarak anlamlı bulunan bu farkı, kullanılan materyalin ART tekniği için spesifik olmamasına bağlamışlardır. Çocuklarda ve erişkinlerde ART tekniğinin başarı oranlarını değerlendirdiklerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığını ifade etmişlerdir.

Frencken ve arkadaşları,^{36,38} 1993 yılında Zimbabwe'de ART teknik ve bu teknikle birlikte dişlere fissür örtücü uygulanması üzerine bir program başlatmışlardır. Bu çalışmalarda ART tekniğinin ve aynı zamanda bu teknikle kullanılan CİS'in (ChemFil Superior-DeTray/Dentsply) başarısını 1.ve 3.yıl sonunda değerlendirmişlerdir.

Tedaviden 1 yıl sonra yapılan değerlendirmede tek yüzlü ART restorasyonlarda %93,4 oranında başarı sağladıklarını ifade etmişlerdir, marjinal defektin mevcut olduğu başarısızlık oranını %2,8 bulmuşlardır. ART tekniği ile birlikte pit ve fissür örtücü uygulanan dişlerin sadece %0,8'inde çürük görülürken, 1 yıl sonunda başarı oranının %73,7 olduğunu bildirmişlerdir.³⁶

Tedaviden 3 yıl sonra ART ve cam iyonomer fissür örtücüleri değerlendirmişlerdir. Tek yüzlü ART restorasyonlarda başarı oranının %85,3

olduğunu belirterek, başarısızlığın marjinal defekt (%8,1), restorasyonun tamamının düşmesi (%6,1) ve restorasyonun aşırı aşınmasına (%2,5) bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Fissür örtücü için başarı oranı 3 yıl sonunda %50,1 olarak bildirilmiştir. Fissür örtücü uygulanan dişlerin %91,6'sında 3 yıl sonunda çürük gelişimi gözlenmemiştir.³⁸

Putthari ve arkadaşları,¹¹³ ART teknik ile geleneksel amalgam restorasyonların başarısını karşılaştırmışlardır. Tayland'da yaptıkları alan çalışmasında 12, 24 ve 36 aylarda restorasyonların başarısını değerlendirmişlerdir. ART tekniği için başarı oranı %93, %83 ve %71 bulunurken amalgam restorasyonlar için bu oran %98, %94 ve %85 olarak bulunmuştur. Aynı zamanda ART tekniğin, tek yüzlü restorasyonların tedavisinde amalgam restorasyonlara göre daha düşük maliyetli olduğunu ifade etmişlerdir.

Lo ve arkadaşları,⁷² Çin'de ART tekniği ve cam iyonomer (Ketac-molar, ESPE) fissür örtücü uygulamasının başarı oranlarını değerlendirmişlerdir. ART tekniğinde 9 ay sonunda %95 oranında bir başarı sağlanırken, fissür örtücülerde %89 oranında başarı sağlanmıştır. Bu sonuçlara göre ART tekniğin ve fissür örtücülerin başarı ile kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

França ve arkadaşları,³³ ART teknikte kullanılan Fuji IX cam iyonomer simanın Sınıf I, II, III, IV, V restorasyonlarında başarı oranlarını karşılaştırmışlardır. Bu oranlar Sınıf I kavitelere %75,3, Sınıf II kavitelere

%39,1, Sınıf III kavitelere %72,9, Sınıf IV kavitelere %55,6, Sınıf V kavitelere %90 olarak tespit edilmiştir.

Rodrigues ve arkadaşları,¹¹⁵ sadece süt dişlerine uyguladıkları ART tekniği ile Fuji IX ve Fuji Plus cam iyonomer simanlarını karşılaştırmışlardır. 6 ay sonra yapılan klinik değerlendirmede Fuji IX dolgu materyalinin Sınıf I kavitelere için daha uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Gao ve arkadaşları,⁴¹ Sınıf I ve II kavitelere ART için kullanılan Fuji IX ve Ketac-Molar Aplicap cam iyonomer simanların klinik başarısını amalgam restorasyonlarla karşılaştırmışlardır. Kavite hazırlama süresi ART için ortalama 2,06 dakika olarak ölçülürken geleneksel kavite hazırlama süresi ortalama 1,07 dakika olarak ölçülmüştür. 6 ay sonra restorasyonlarda bir başarısızlık saptanmamasına karşın Fuji IX fissür örtücülerin %89'unda ve Ketac-Molar Aplicap fissür örtücülerin %53'ünde parsiyel kayıplar olduğu gözlenmiştir. 6 ay sonunda yapılan klinik değerlendirmede Fuji IX ile yapılan karşılaştırmada Ketac-Molar Aplicap daha kötü sonuçlar vermiştir.

Mallow ve arkadaşları,⁷⁶ Kamboçya'da yapılan bir alan çalışmasında Fuji II cam iyonomer siman kullanarak ART tekniği uygulamışlardır. Yapılan değerlendirmede 1 yıl sonunda %76,3, 3 yıl sonunda da %57,9'lık bir başarı sağlanmıştır. Araştırmacılar kullanılan materyalin ve tekniğe ait faktörlerin başarıyı

etkilediğini, güçlendirilmiş cam iyonmer simanlarla daha iyi sonuçlara ulaşılacağını ileri sürmüşlerdir.

Mickenautsch ve arkadaşları,⁸³ ART teknikte Fuji IX ve Ketac-Molar'ın klinik başarısını değerlendirmişlerdir. 1 yıl sonunda başarı oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken başarı oranları Fuji IX için %93,1, Ketac-Molar için %94 olarak bildirilmiştir. Aynı zamanda 1 yıl sonunda aşınma oranları değerlendirildiğinde, Fuji IX için %29,3, Ketac-Molar için %38 bulunmuştur.

Ho ve arkadaşları,⁵⁵ ART teknik için geliştirilmiş Fuji IX ve ChemFil Superior cam iyonmer dolgu materyallerinin 2 yıl takipli sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Her iki cam iyonmer simanın okluzal yüzeyindeki aşınmada kümülatif bir artışın söz konusu olduğu ve 2 yıl sonunda Fuji IX için aşınma oranı 83,1µm, ChemFil Superior için 104,0 µm olarak bulunmuştur, ancak aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı saptanmıştır. Fuji IX ve ChemFil Superior'un kaviteye yerleştirildikten sonra, komşu mine dokusu ile renk uyumu iyi bulunurken 2 yıl sonunda istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde Fuji IX'un renk uyumu ChemFil Superior göre daha fazla bozulmuştur. Her iki simanın da karıştırılması ve uygulanmasının kolay olduğu, ancak ChemFil Superior'un radyolüsensinin estetik olarak dezavantaj oluşturduğu belirtilmiştir.

Holmgren ve arkadaşları,⁵⁷ Çin’de ART restorasyonları ve cam iyonomer örtücüleri değerlendirmişlerdir. ART tekniğın uygulama süresi ortalama 10,8 dakika, ART örtücülerin uygulama süresi ise 9.7 dakika bulunmuştur. ART tekniğı uygulanan çocuk hastaların sadece %5’inin post operatif hassasiyet duyduğı, %90’nın tekrar ART tekniğı ile tedavi olmak istediğı belirtilmiştir. Tek yüzlü ART restorasyonlarında 1 yıl sonunda %99, 3 yıl sonunda %92’lik bir başarı elde edilmiştir. 3 yıl sonunda örtücülerin sadece %2’sinde çürük gelişirken %72’lik bir başarı sağlanmıştır. Aynı çalışmanın 5 yıl sonunda yapılan değerlendirmesinde USPHS (US Public Health Service; Ryge) kullanılmıştır. Tek yüzlü ve dar kaviteli ART restorasyonlarda başarı oranı %83, geniş ve tek yüzlü restorasyonlarda %63 olarak tespit edilmiştir. 5 yıllık takip sonuçlarına göre teknik, özellikle küçük ve Sınıf I restorasyonlar için başarılı bulunmuştur.

Lo ve Holmgren,⁷¹ Çin’de okul öncesi çocuklara visközitesi yüksek cam iyonomer siman (Ketac-Molar) kullanarak ART tekniğı uygulamış bu yaklaşımın kabullenebilirliğini ve uzun dönem başarısını değerlendirmişlerdir. ART tekniğın uygulanması için gerekli ortalama sürenin 10,5 dakika olduğu ifade edilmiştir. ART tekniğı uygulanan çocukların %86’sı tekrar bu teknikle tedavi olmak istediklerini ifade etmişlerdir. Sınıf I restorasyonlarda 1 yıl ve 30 ay sonunda sırasıyla % 91 ve %79, Sınıf II restorasyonlarda ise sırasıyla %75 ve %51 oranında başarı sağlanmıştır.

Mandari ve arkadaşları,⁷⁸ geleneksel amalgam restorasyon ile ART tekniğini karşılaştırdıkları bir çalışmada, 2 yıl sonunda CİS restorasyonlarda sekonder çürük bulunmadığını ifade etmişlerdir. Ancak amalgam restorasyonlarda %3 oranında sekonder çürük bulunmuştur.

Yee,¹⁶⁰ ART tekniği ile bu teknik için özel geliştirilmiş bir cam iyonomer siman olan Fuji IX'u, restoratif bir cam iyonomer olan Dentsply Baseline ve cam iyonomer yapıştırma simanı olan S.S. White ile karşılaştırmışlardır. 2 yıl sonra yapılan değerlendirmede %75 oranında bir başarı sağlanırken, Fuji IX cam iyonomer simanın başarı oranı diğer cam iyonomer simanların başarı oranlarına göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklı bulunmuştur.

Lo ve arkadaşları,⁷³ Çin'de ART tekniğini kullanarak Fuji IX ve ChemFlex cam iyonomer simanların klinik performanslarını, hem standart ART kriterleri hem de USPHS kullanarak karşılaştırmışlardır. 2 yıl sonra ART kriterlerine göre süt dişlerinde Sınıf I restorasyonlarda, ChemFlex ve Fuji IX için sırasıyla %96 ve %92, Sınıf II restorasyonlarda %41,7 ve %46,2, USPHS kriterlerine göre değerlendirildiğinde Sınıf I restorasyonlarda %93,1 ve %90,2, Sınıf II restorasyonlarda %39,5 ve %45,6 oranında başarı sağlanmıştır. Daimi dişlerde ART kriterlerine göre, Sınıf I restorasyonlarda, ChemFlex ve Fuji IX için sırasıyla %96,2 ve %96,2, USPHS kriterlerine göre %94,6 ve %96,3 oranında başarı sağlanmıştır. ChemFlex ve Fuji IX arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır. 2 yıl sonunda materyallerin okluzal aşınmaları

değerlendirildiğinde, ChemFlex ve Fuji IX için sırasıyla süt dişlerinde 87 µm, 85µm ve daimi dişlerde 75µm, 79µm olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmanın bulguları değerlendirildiğinde her iki cam iyonomer simanın klinik performansları ve okluzal aşınma dirençleri birbirinin aynı bulunmuştur.

Yip ve arkadaşları,¹⁶³ klinik şartlarda hem geleneksel kavitelere hem de ART tekniğinde kullanılan kavitelere, Fuji IX ve Ketac-Molar cam iyonomer simanları yerleştirmişlerdir. Amalgam için geleneksel kavite hazırlama metodu kullanmışlardır. 12 ay sonunda yapılan değerlendirmede, okluzal yüzeyde kavite hazırlama metodunun cam iyonomer simanların klinik performansını etkilemediği ifade edilmiştir.

Yip ve arkadaşları,¹⁶⁴ klinik şartlarda süt dişlerinde ART tekniği ve geleneksel kavite hazırlama metodları ile hazırlanan kavitelere yerleştirilen, viskozitesi yüksek cam iyonomer simanların başarı oranlarını karşılaştırmışlardır. 1 yıl sonunda ART tekniği kullanılan Sınıf I kavitelere %92,9, Sınıf II kavitelere %64,7; geleneksel kavite hazırlama metodları kullanıldığında Sınıf I kavitelere %88,8, Sınıf II kavitelere %86,7 oranında bir başarı sağlanmıştır. Bu sonuçlara göre süt molar dişlerde, Sınıf II ART kavitelere CİS'in yetersiz mekanik retansiyon gösterdiği ifade edilmiştir.

Taifour ve arkadaşları,¹³² süt dişlerinde ART tekniği ile geleneksel amalgam restorasyonları karşılaştırdıkları bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. ART

teknikte Fuji IX ve KetacMolar cam iyonomer simanları kullanmışlardır. Geleneksel amalgam restorasyonlar için hazırlanan kavitelerde “extension for prevention” konsepti uygulanmamıştır. 3 yıl sonra yapılan değerlendirmede tek yüzlü restorasyonlarda %86,1, amalgam restorasyonlarda %79,6 oranında bir başarı sağlanmıştır.

Honkala ve arkadaşları,⁵⁸ süt dişlerinde klinik şartlar altında ART tekniği ve geleneksel amalgam restorasyonları karşılaştırdıkları bir çalışma yapmışlardır. ART tekniğinde ChemFlex cam iyonomer siman kullanılmıştır. 2 yıl sonunda ART kriterlerine göre yapılan Sınıf I restorasyonların değerlendirmesinde %93,7, Sınıf II restorasyonlarda %83,3 başarı oranı bulunmuştur. USPHS kriterlerine göre değerlendirildiğinde her iki restorasyon için %94,3 başarı sağlanmıştır.

Gao ve arkadaşları,⁴² klinik şartlarda ART ve geleneksel kavite metodunu kullanarak ART tekniği için geliştirilen Fuji IX ve Ketac-Molar cam iyonomer simanların klinik başarısını karşılaştırmışlardır. 30 ay sonunda amalgam restorasyonda herhangi bir başarısızlık gözlenmezken, sadece bir cam iyonomer restorasyon kaybı olmuştur. CİS ile birlikte uygulanan fissür örtücülerin 30 ay sonunda, sadece %10,3’ünün düştüğü, iki cam iyonomer siman arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ve daimi molar dişlerin okluzal restorasyonlarında rahatlıkla kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kalf-Scholte ve arkadaşları,⁶³ Sınıf I restorasyonlarda ART tekniği ve geleneksel amalgam restorasyonları karşılaştırmışlardır. USPHS kriterlerine göre yapılan değerlendirmede 3 yıl sonunda ART restorasyonlarda %81, amalgam restorasyonlarda %90,4 başarı oranı bulmuşlardır.

ART teknikte kullanılan cam iyonomer simanların mikrosızıntı ve antibakteriyel özellikleri

Çağdaş dişhekimliği pratiğinde yeni tedavi prensipleri, restoratif materyallerin biyolojik aktivitesi olarak da tanımlanan, antibakteriyel özelliklerine bağlıdır. Bu açıdan CİS'ler önem kazanmaktadırlar.¹⁴⁹ Cam iyonomer siman restorasyonlarda kimyasal sertleşme sürecinde restorasyon ve kavite duvarı arasında bir gap oluşumunun engellenmesi oldukça zordur. Bu durum mikrosızıntıya olanak sağlar. İlk birkaç saatlik süreçte meydana gelen büzülmenin büyük miktarı absorbe edilebilir. Ancak diş yüzeyine kimyasal bağlanmanın, özellikle sertleşme sürecinin son bölümünde büzülmenin meydana getirdiği tüm kuvvetlere karşı yeterli direnç gösterip göstermediği tartışılabilir. Bu durumda konfigürasyon faktör (KF) materyal için önemli bir noktadır.⁵ Konfigürasyon faktör bir kavitede bağlı yüzey alanlarının serbest yüzey alanına oranıdır. Büzülen materyal sadece bir yüzeye bağlandığında materyal alt yüzeyden ayrılmadan kalabilir. Materyal pek çok yüzeye bağlandığında bu yüzeylerin birinde veya daha fazlasında diş dokusu ile ayrılmalar meydana gelir ve konfigürasyon faktör daha fazla önem kazanır.³² En yüksek konfigürasyon faktör beştir. ART restorasyonlarda ise konfigürasyon faktör oldukça yüksektir. Bunun sonucunda bu

tip restorasyonlarda mikrosızıntı görölme olasılığı fazladır. Konfigürasyon faktörün daha düşük olduğu durumlarda bile mikrosızıntı görölabilir. Ayrıca restoratif materyal olarak CİS kullanımının mikrosızıntı ve yetersiz fiziksel özelliklerinden dolayı her zaman bir şüphe uyandırdığı belirtilmiştir.⁵

Bu durumda ART tekniğinin ilk anda göröldüğü kadar iyi bir tedavi şekli olup olmadığı bir soru işaretidir. “Restorasyonun dış yüzeyinde yapılacak bir değerlendirme restorasyonun başarısını gösterir mi?” ve “Potansiyel mikrosızıntı problemleri de göz önünde bulundurularak restorasyonun altında kalan primer çürüğün ilerleme riski nedir ve ayrıca sekonder çürük gelişimi beklenmeli midir?” sorularını cevaplamak için farklı durumlar altında çürük yapıcı mikroorganizmaların özelliklerinin belirlenmesi, ART restorasyonlarının ve cam iyonomerlerin değerlendirilmesi gereklidir.⁵

Amerongen⁵’in belirttiği gibi 1943’lerin başında Basic, restorasyon altında çürük bırakıldığında bakteriyel büyümenin durduğunu ifade etmiştir. Hendelman ve arkadaşları,^{49,50} gerçekleştirdikleri çalışmalarında 2 yıl süresince restorasyon altındaki mikroorganizmaların önemli derecede azaldığını ifade ederlerken, Elderton,²⁵ çürük dentinin bakteriyolojik açıdan steril olabileceğini bildirmiştir. Weerheijm ve arkadaşları,¹⁵⁰ da bu çalışmalara benzer sonuçlar bulmuşlardır. Tüm bu çalışmalar substrat iletimi kesildiğinde canlılığını sürdüren mikroorganizmalarda önemli derecede azalma olduğunu göstermektedir. Bunun yanında nadiren tüm mikroorganizmalar elimine olur.

Cam iyonomer materyallerden salınan floridin bakteriyel büyümei etkileyebileceği kabul edilmiştir. Bakteriyel büyümenin nasıl etkilendiğine dair çeşitli teoriler varken kesin mekanizma tam olarak bilinmemektedir. Bakteriyel büyümenin inhibisyonu sadece florid salınımı ile gerçekleşmez. Wesenberg ve Hals,¹⁵³ sadece floridin değil alüminyum iyonlarının da cam iyonomerden salınmasının bakteriyel büyüme inhibisyonunda rol oynayabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca cam iyonomer simanın kimyasal sertleşme reaksiyonu sırasında düşük pH'nın böyle bir etki meydana getirdiği ifade edilmektedir.⁵⁴ Scherer ve arkadaşları,¹²⁰ bakteriyel büyüme üzerine farklı materyallerin inhibisyon etkilerini değerlendirdikleri bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda bakteriyel inhibisyonda sadece düşük pH ve florid salımının rol oynamadığı bunun yanında materyaldeki diğer metal iyonlarının da etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Bu farklı materyallerle yaptıkları çalışmada en etkili inhibisyon alanı çinko oksit içeren materyalle sağlanmışır.

El aletleri çürüğü uzaklaştırmada, dönen aletler kadar etkili değildir ve çürük yapıcı bakteriler CİS altında canlılığını sürdürebilmektedir.^{149,151} ART tekniği ile tedavi sonucunda eğer CİS çürük sürecini durduramazsa, restorasyonun başarısız olacağı ifade edilmiştir. Rezin bazlı restoratif materyaller çürük dentini hermetik olarak kapatabildiği için restorasyon altında bakteri sayısında azalma meydana geleceği belirtilmiştir.¹¹ Oysa restoratif materyal olarak CİS kullanımı ile çürüğün hermetik olarak kapatılmasında kavite şeklinin, materyalin fiziksel özelliklerinin ve meydana gelebilecek mikrosızıntının her zaman problem olacağı

ifade edilmiştir.⁵ Tüm restoratif materyallerin en genel başarısızlık nedeni olan mikrosızıntı sekonder çürüğün ve pulpal irritasyonun gelişimine yol açan en temel faktördür.¹⁷ Bu nedenle çalışmalar materyalin hem bağlanma kuvvetinin artırılması hem de antibakteriyel özellik kazandırılması yönünde olmuştur. Böylece mikrosızıntı sonucu oluşacak negatif etki azalacak ve potansiyel çürük gelişiminin önüne geçilmesi sağlanacaktır.

Castro ve Feigal,¹⁷ kondanse edilebilir bir cam iyonomer siman olan Fuji IX'u, geleneksel cam iyonomer siman (Fuji II, GC), rezin modifiye cam iyonomer siman (Vitremer, 3M) ve kompozit rezin (TPH, Caulk) ile mikrosızıntı açısından *in vitro* şartlarda karşılaştırmışlardır. Süt dişlerinde mikrosızıntı değerleri Fuji IX restorasyonlarda %24, Fuji II restorasyonlarda %45, Vitremer restorasyonlarda %9, TPH restorasyonlarda %16 ve düzenleyici uygulamadan yapılan Fuji IX restorasyonlarda %42 olarak bulgulanmıştır. Çalışmanın sonucunda; Fuji IX ile restorasyonun sızıntısı geleneksel CİS'a göre daha az bulunmuş ve Fuji IX'un ART teknik ile birlikte kullanılabilecek bir materyal olduğu belirtilmiştir.

In vivo çalışmalarda Weerheijm ve arkadaşları,¹⁵¹ cam iyonomer simanın çürük dentinde bulunan çürük yapıcı mikroorganizmalara etkisini araştırmışlardır. Cam iyonomer siman restorasyonundan önce dentinden alınan örneklerle 7 ay sonra kavite tekrar açılıp aynı prosedürlerle alınan ikinci örnekler karşılaştırıldığında ilk örneklere göre mikroorganizma sayısında 100 kat bir azalma görülmüştür. Ancak bu sonuçlar kontrol grubu olarak kullanılan rezin

restorasyonlarla karşılaştırıldığında mikroorganizmaların sayısı nispeten değişmeden kaldığı belirtilmiştir. Weerheijm ve arkadaşları,¹⁴⁹ CİS ve amalgam restoratif materyallerin Sınıf I restorasyon altında kalan çürük dentinin bakteri miktarı üzerine etkilerini belirledikleri 2 yıllık bir *in vivo* çalışma yapmışlardır. Molar dişlerden, restorasyondan hemen önce alınan örnekler ile 2 yıl sonra restorasyonun kaldırılmasını takiben alınan örneklerdeki toplam mikroorganizma sayısında her iki materyal için önemli derecede azalma kaydedilmiştir. Ancak iki materyal arasında herhangi bir farklılık bulunamamıştır. Bu iki klinik çalışmada CİS altındaki reziduel mikroorganizmaların 2 yıldan daha uzun süre canlı kaldıkları belirtilmiştir.

Bu nedenle CİS ile birlikte antibakteriyel ajanların kombine kullanılmaları materyalin antibakteriyel özelliklerini arttıracaktır. Botelho,¹¹ Fuji IX içerisine çeşitli konsantrasyonlarda “chlorhexidine, cetylpyridinium chloride, cetrimide ve benzalkonium chloride” ilave etmiş ve hazırlanan örneklerin antibakteriyel özelliklerini agar difüzyon testi ile değerlendirmiştir. Kontrol grubu olarak kullanılan Fuji IX’da herhangi bir zaman aralığında bakteriyel inhibisyon alanı görülmezken, test örneklerinin önemli derecede antibakteriyel etki gösterdiği bulunmuştur, ancak bu inhibitör etki zamanla azalmıştır.

Gotjamanos,⁴⁵ çürüklü süt dişlerinin, ART teknik ile hazırlanan kavitetlerini %40’lık gümüş florid uygulanmasını takiben cam iyonomer siman ile restore etmiştir. 3. ve 56. aylarda yapılan histolojik değerlendirmede reperatif dentin ve

düzenli bir odontoblast tabakasının bulunduğu sağlıklı pulpa cevabı gözlenmiştir. Gümüş floridin yapısındaki gümüş ve florid nedeniyle hem bakteriler üzerinde antibakteriyel etki oluşturduğu hem de dentin kanallarını tıkayıp sızdırmazlık sağladığı belirtilmektedir.

Metalik elementler veya bunların tuzları arasında gümüş tozunun antimikrobiyal özelliğe sahip olduğu bilinmektedir. Çeşitli gümüş bileşiklerin yanık tedavisinde, oküler enfeksiyonlarda ve kronik osteomyelit tedavisinde kullanıldığı belirtilmiştir.^{2,27,60,65,66} Dişhekimliğinde kullanılan genel metalik elementlerden biri olan gümüşün, restoratif materyaller içerisinde kullanılan diğer metalik elementlere göre komşu dokuya daha az toksik etki gösterdiği bilinmektedir. Gümüş iyonları vital enzimlerde tiol grupları ile reaksiyona girerek onları inaktif eder, daha sonra DNA ile etkileşir ve DNA'nın replikasyonunu engeller. Ancak gümüş iyonunun antimikrobiyal etkilerinin mekanizması hala tam olarak anlaşılamamıştır.^{2,27,66,79} Feng ve arkadaşları,²⁷ gram negatif ve gram pozitif bakteriler üzerine gümüş iyonunun etkilerini değerlendirmek için yaptıkları çalışmada mikroorganizmaların morfolojik ve yapısal değişikliklerini "Transmission Elektron Microscopy" (TEM) ve "X-ray microanalysis" kullanarak gözlemlemişlerdir. Ortama salınan gümüş iyonları mikroorganizmaların hücre duvarına penetre olmuş ve hücre içerisine girmiştir. Daha sonra hücre duvarından sitoplazmik membran büzülerek ayrılmış ve gümüş iyonu proteinlerle tepkimeye girerek, DNA molekülünün replikasyon özelliğini bozmuştur. Abe ve arkadaşları,² gümüş iyonunun bakterilerin hücre duvarını yok

ettiğini, RNA replikasyon sürecini durduğunu ve oksidasyon süreci boyunca bakterinin selüler solunumunu bloke ettiğini belirtmişlerdir. Tüm bu fenomenler mikroorganizmanın hasarına hatta yok olmasına yol açmıştır. Ayrıca bu sürecin başlamasına hem mikroorganizmaların genel savunma sistemleri, hem de gümüş iyonunun bakterilere hücum etmesi neden olmuştur.

Son yıllarda dişhekimliği literatürüne de giren gümüş-zeolit, hemen hemen tüm patojen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivite gösteren, moleküler elek özelliğine sahip kristalin alüminasilikat bir materyaldir.^{1,2,60,61,65,79,80,87,91,96,138,144} Gümüş-zeolit dişhekimliğinde; geçici dolgu materyalleri, doku düzenleyicileri, diş macunları, ağız gargaraları ve CİS içerisine eklenmiştir. Ayrıca gümüş içeren-zeolitler üriner kanal enfeksiyonlarını kontrol altına almak için balon kataterlere yerleştirilmiştir.^{1,60,80,87,96,138,144} Gümüş içeren zeolitlerin antimikrobiyal potansiyelleri çok iyi belirlenmiş olup yiyecek paketlerinde, tıbbi malzemelerin dezenfeksiyonunda, oyuncak, mutfak aletleri, diş fırçaları ve tıbbi ekipmanların yüzey dekontaminasyonunda geniş bir kullanım alanına sahiptir.^{2,66,79,87}

Zeolitler

Zeolitler alkali ve toprak alkali elementlerin kristal yapısına sahip, sulu alüminyum silikatlardır.^{12,65,80,91} İlk zeolit minerali 1756 yılında İsveçli mineralog Rrednic Cronstedt tarafından keşfedilmiştir. Bu mineral ısıtıldığında, yapısında bulunan suyun çıkarken köpürmesinden dolayı, Cronstedt tarafından Yunanca “kaynayan taş” anlamına gelen “zeolit” olarak adlandırılmıştır. Daha sonra yerbilimciler bazalt ve volkanik kayaların kovuklarında değişik türde zeolit kristali bulmaya başlamışlardır. Yıllar içinde doğada 35 tür zeolit minerali bulunmuş, ancak bunların ne işe yaradıkları konusunda uzun süre fikir sahibi olunamamıştır.¹²

Zeolitlerin ne işe yarayabilecekleri konusunda ilk bilgi, zeolit mineralinin keşfinden yaklaşık iki yüz yıl sonra, kimyacı Weigel ve Steinhoff’un araştırmalarından sonra ortaya çıkmıştır. Weigel ve Steinhoff 1925 yılında suyu uçurulmuş zeolitlerin küçük organik molekülleri adsorbe ettiklerini ancak büyük molekülleri içerilerine kabul etmediklerini bulmuşlardır. Zeolitler, yukarıda bahsedilen molekülleri büyüklüklerine göre ayırma özelliklerinden dolayı, 1982’de McBain tarafından “molekül elekleri” olarak adlandırılmışlardır.⁹¹ 1950 yılına kadar zeolitlerin susuzlaştırma, adsorbsiyon ve iyon değiştirme özelliklerine ilişkin çalışmalar İngiltere’de Barrer ve Japonya’da Sameshima laboratuvarlarında yapılmıştır. Bazalt kayaların kovuklarında bulunabilen bu minerallerin endüstriyel uygulama için gerekli miktarlarda üretimleri o yıllarda yapılamamıştır. Bu durumda zeolitleri yapay olarak üretmek düşünülmüştür. Önce İngiltere’de Barrer

ve daha sonra da ABD’de Union Carbide firmasının Linde bölümünden Milton zeolitlerin hidrotermal sentezi üzerinde deneylere başlamıştır. Bu çalışmalar sırasında doğada bulunmayan üstün molekül eleme özelliği olan bir zeolit türü üretilmiştir. Zeolit A olarak adlandırılan bu zeolit bugün en yüksek miktarda üretilen zeolitlerden biri olmuştur. Daha sonra Union Carbide firmasının Linde bölümü 1960’lı yıllarda zeolit X ve Y kristallerini üretmeyi başarmıştır. A,X ve Y zeolitleri ticari bakımdan bugün en çok önem taşıyan zeolitler olmuştur.¹⁶⁶

Önemli zeolit türleri

Son 25 yıl içerisinde 150 tür zeolit laboratuvarlarda sentez edilmiş ve 7 tür zeolit mineralinin doğada büyük miktarlarda ve oldukça saf rezervler olarak bulunduğu anlaşılmıştır. Ancak bu zeolit türlerinin şimdilik sadece 10-12 tanesinin endüstriyel önemi bulunmaktadır. Aşağıda bazı zeolit türleri ve özellikleri verilmiştir.¹⁶⁶

<i>Zeolit Türleri</i>	<i>Gözenek Boyutları(A°)</i>	<i>Mol Oranı (SiO₂/Al₂O₃)</i>
<i><u>Doğal Zeolitler</u></i>		
Mordenit	(6.7x7.0)	8.2-10
Çabazit	(3.6x3.7)	3.2-6
Erionit	(3.6x5.2)	5.8-7.4
Klinoptilolit	(4.4x7.2), (4.1x4.7)	8.5-10.5
<i><u>Yapay Zeolitler</u></i>		
KA	3	2.0
NaA	4	2.0
CaA	5	2.0
X	7.4	2.0-3.0
Y	7.4	2.0-3.0

Yapay zeolitler

Yapay zeolit üretimini amaçlayan ilk çalışmalarda, doğal zeolitlerin olduğu jeotermal koşullarda olduğu gibi yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta sentez çalışmaları yapılmıştır. Ancak yapılan çalışmalarla zeolit A, X ve Y'nin sentezlerinin atmosfer basıncında ve 100°C'i geçmeyen sıcaklıklarda gerçekleştirilebildiği bulunmuştur. Böylece uygun sentez koşullarında üretilen ve doğal eşdeğeri olmayan zeolit A, X ve Y'nin geniş kullanım alanı bulabilmesini sağlamıştır.¹⁶⁶

Yapay zeolit üretim yöntemleri, kullanılan hammadde kaynaklarına bağlı olarak ikiye ayrılabilir.

1. Hidrojelden üretim yöntemi: Bu yöntemde sodyum silikat, çöktürülmüş amorf silika tozu, alüminyum trihidrat ve kostik soda ile hazırlanan sodyum alüminat peltesi gibi yüksek saflıkta ham maddeler kullanılır.

2. Doğal minerallerin hammadde olarak kullanımı: Yapay zeolit üretiminde kil minerallerinin kostik soda ile kullanımıyla zeolite dönüştürülmesi ya da zeolit yapısındaki alüminyum boksitten sağlanması gibi doğal mineraller de hammadde olarak kullanılabilir.

Her iki üretimde de zeolit sodyum katyonu içerir. Elde edilen ürün ise ince toz görünümündedir. Bu toz içerisindeki zeolit kristalleri genellikle 0.5-5µm

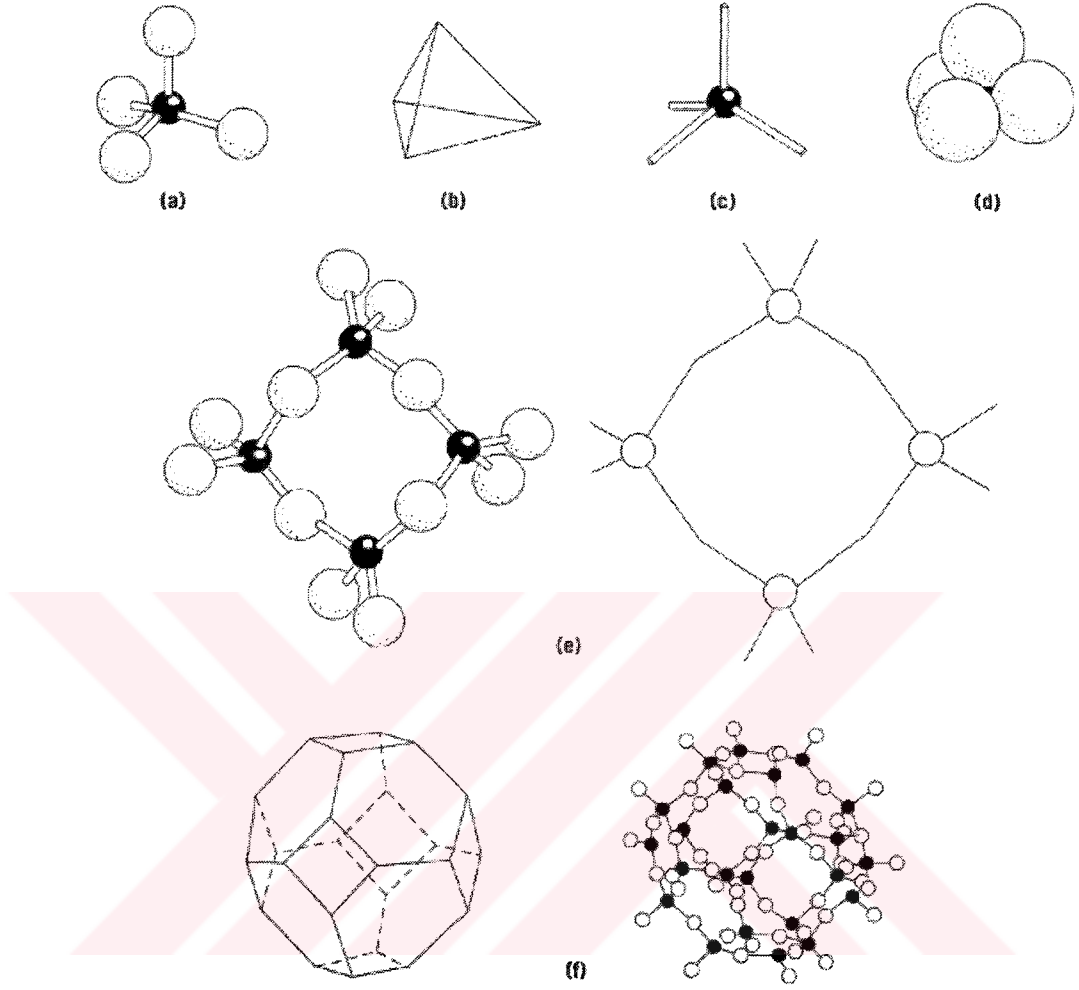
boyutlarındadır. Zeolit ürünün kullanımı Na^+ dışında bir katyonu gerektiriyorsa, zeolit üretim süreci ek olarak bir iyon değiştirme işlemi de içerir. Belirli koşullarda üretilen ve Na^+ katyonu içeren zeolit A'nın K^+ ya da Ca^{++} iyonu içeren türleri, sodyum A (diğer adıyla 4A) zeolitinin potasyum ya da kalsiyum tuzu sulu çözeltileri ile iyon değiştirmesi yoluyla üretilir.^{12,166}

Zeolitlerin kimyasal bileşimleri ve kristal yapıları

Zeolitler her alüminasilikat yapıda olduğu gibi pöröz kristaller olarak tanımlanır. Yapısı, SiO_4 ya da AlO_4 dört yüzlülerin oksijen iyonunu paylaşarak diğer SiO_4 ya da AlO_4 ile çok uzun olabilen üç boyutlu bir ağ yapısını meydana getirmesine dayanır. Alifatik karbon kimyası gibi silikat kimyası da dört yüzlü yapıya dayanır. Silikatlarda her bir silikona dört tane oksijen bağlanır. SiO_4 dört yüzlüsü diğer SiO_4 dört yüzlüleri ile oksijen iyonunu paylaşarak üç boyutlu bir zincir meydana getirir. Aynı zamanda bu zincir de oksijen iyonlarının paylaşılması ile SiO_2 meydana gelir.¹⁶⁶

Genel yapısal formülleri; $\text{M}_{x/2n}\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ olarak verilebilir. Burada M, Na^+ , K^+ , Ag^+ gibi tek değerlikli yada Ca^{++} , Mg^{++} , Ba^{++} , Zn^{++} gibi iki değerlikli bir katyondur. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ mol oranı (y/x) zeolit türüne bağlı olarak 1 ila 5 arasında değişir.^{87,144,166}

Herhangi bir zeolit kristalinin en küçük yapı birimi SiO_4 ya da AlO_4 dörtyüzlüsüdür.



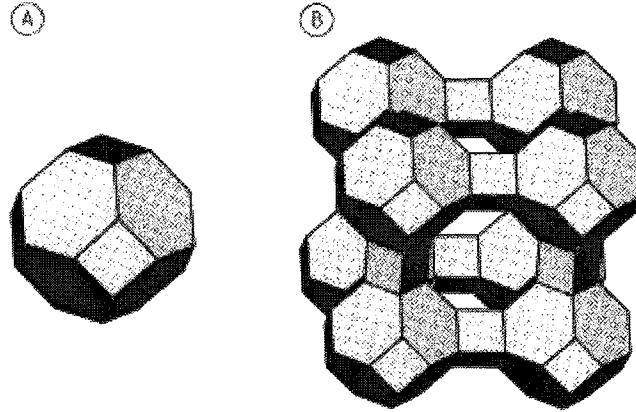
Şekil 1. Zeolitin SiO_4 ya da AlO_4 yapısı: a) top ve çubuk modeli b) solid dörtyüzlü c) dörtyüzlü iskeletsel yapı d) kürelerin boşlukları doldurması ile görüntüsü e) dört adet dörtyüzlünün birbirine bağlanması f) bu zincir sonucunda oluşan solid sekiz yüzlü ve iskeletsel yapısı

Bu dört yüzlünün merkezinde oksijenden daha küçük olan silisyum ya da alüminyum iyonu ve köşelerde de oksijen iyonlar bulunur. Silisyum iyonu +4, alüminyum iyonu +3 ve oksijen iyonu -2 değerlikli olduğundan bir silisyum iyonu kendini çevreleyen dört oksijen iyonunun ancak -4 değerliğini karşılar. Böylece her oksijen iyonunun -1 değerliği kalır ve başka bir silisyum iyonu ile birleşebilir.

Dört yüzlülerin uzayda değişik biçimde birleşmelerinden zeolitin bir bal peteğine benzer gözenek ve kanalları içeren kristal yapısı oluşur. Silisyum iyonunun yerinde alüminyum iyonunun bulunduğu dört yüzlülerin elektrik yükünün dengelenmesi ve kararlı bir kristal yapısı için ek bir artı yüke ihtiyaç vardır. Bu ek artı yük değiştirilebilir katyonlarca sağlanır.¹⁶⁶

İskelet yapısı, kanallar ve bağlantılar arasında katyon ve su molekülleri ile dolacak olan boşluklar içerir.¹²

Bazı zeolitlerin yapıları dört yüzlülerin oluşturduğu çok yüzlüler tarafından daha iyi tanımlanabilir. Bu çok yüzlülerin en önemlilerinden biri kesik kübik sekizyüzlülerden oluşan yapay A ve X zeolitlerinin kristal yapılarıdır.



Şekil 2. Zeolit A a) solid yapı b) iskeletsel yapısı

Zeolitlerin gözenek boyutları kristal yapılarına ve bir dereceye kadar da içerdikleri katyonlara bağlıdır. Çoğu zeolitte kristal yapı Si-O-Al atomlarının

meydana getirdiği halkalarla bağlanmış gözeneklerden oluşur. Bu halkaların oluşturduğu geçit pencere olarak adlandırılır ve pencere boyutu halkalardaki atom sayıları ile orantılıdır. Pencereleler 4 ile 12 arasında oksijen iyonu (ve eşit sayıda alüminyum ya da silisyum iyonu) içerir.¹⁶⁶

Endüstriyel önemi olan zeolitlerde pencereler 8, 10 yada 12 elemanlı halkalardan meydana gelir. Bu pencerelerin boyutları sırasıyla 5, 6, 7 Angström ($\text{\AA}$) dolayındadır. Dört ya da altı halkalı pencerelerden oluşan yapılar adsorbsiyon bakımından pek önem taşımazlar, çünkü altı elemanlı bir pencerenin boyutu yaklaşık $2.5 \text{ \AA}$ kadardır ve ancak çok küçük moleküller bu pencereden geçebilir. Bazı zeolitlerin boşluk sistemleri, pencerelerle birbirine bağlanmış gözenekler yerine bir kanallar sistemi olarak daha iyi tanımlanabilir.^{12,166}

Zeolit yapısında bulunan katyonların önemi

Daha önce de belirtildiği gibi zeolitlerin kristal yapılarında bulunan her AlO_4 dörtyüzlüsü yapıya eksi bir yük getirir ve bu yükün katyonlar tarafından dengelenmesi gerekir. Katyonlar şu bakımdan önem taşırlar:

1. Zeolit gözeneklerinde bulunan katyonlar başka iyonları içeren çözeltilerle temasa geçmeleri durumunda bu iyonlarla yer değiştirebilirler. Bu yöntemle bir zeolit değişik katyonlar içeren türleri hazırlanabilir.

2. Sulu ortamda hareket edebilen katyonlar zeolitlerin içerdği su ısıtılarak uçurulduğunda zeolitin gözenek ve kanallarında belirli yerleri seçer ve sabit duruma geçebilirler. Katyonlarca seçilen bu yerler zeolitin pencerelerine yakın ise zeolit pencere boyutu bir ölçüde daraltılmış olur. Böylece katyon değiştirilmesi ile bir zeolitin etkin pencere boyutu değiştirilebilir. Sekiz oksijen iyonu içeren pencerelerle birleşen üç boyutlu bir gözenek sistemi olan zeolit A'da pencere çapı yaklaşık 5 Å'dur. Ancak zeolit A sodyum katyonları içerdğinde, bu katyonların bazıları pencere yakınlarında yer alırlar ve pencereleri bir ölçüde kapatarak etkin pencere boyutunu 4 Å'a indirirler. Eğer sodyum iyonları potasyum iyonları ile değiştirilirse, bu iyonlar sodyumdan daha büyük olduklarından etkin pencere çapı daha da küçülerek 3 Å'a iner. Eğer bu katyonların yerini kalsiyum iyonları alırsa, bir kalsiyum iyonu değerlikçe iki sodyum ya da potasyum iyonuna eşdeğer olduğundan pencere önündeki katyonlar çekilir ve pencere etkin çapı 5 Å olur. Böylece katyon değiştirme ile aynı zeolitin değişik pencere boyutlarında çeşitli türleri hazırlanabilir.^{138,166}

3. Zeolit gözeneklerinde bulunan katyonların türü, sayısı ve yerleri gözenek içindeki elektrik yükü dağılımını etkiler. Bu nedenle katyon değiştirme yoluyla zeolitin adsorbsiyon özellikleri değiştirilebilir.¹⁶⁶

Zeolitlerde $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranının önemi

Bazı zeolitlerde AlO_4 dört yüzlüleri SiO_4 ile değiştirilebilir ve bu durum kristal yapısında bir değişikliğe neden olmaz. Başka bir deyişle bazı zeolitlerin

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranı belli sınırlar içinde değiştirilebilir. Zeolit A ve zeolit X'de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranı yaklaşık olarak ikidir. Bu oran zeolitler için ulaşılabilir en yüksek alüminyum miktarıdır. Löwenstein kuralı uyarınca bir oksijen iyonu iki alüminyum iyonuna bağlanamaz, yani Al-O-Al bağları oluşturulamaz. Bu durumda zeolit A ve X en yüksek katyon kapasitesi olan zeolitlerdir. Bu özelliklerden dolayı zeolit A ve X bilinen gözenekli maddeler arasında en heterojen iç yüzeyi olan maddelerdir. Alüminyum bakımından zengin zeolitlerin genellikle aside ve ısıya karşı dayanıklılıkları azdır. Bunun nedeni, dörtyüzlülerde bulunan alüminyumun suya ve aside karşı zayıf olmasından kaynaklanır. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranı arttıkça zeolitlerin aside ve ısıya karşı dayanıklılıklarının arttığı gözlemlenmiştir.¹⁶⁶

Zeolitlerin özellikleri

Zeolitlerin en önemli özelliklerinden biri bal peteğine benzer tekdüze, mikrogözenekli bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu mikro gözenekler yine mikropencerelerle birleşip bir, iki ya da üç boyutlu boşluk sistemleri oluştururlar. Üç boyutlu sistemlere yapay A ve X zeolitleri örnek gösterilebilir. Diğer bazı zeolitlerde ise boşluk sistemleri kanallar biçimindedir.¹⁶⁶

Zeolitlerde pencere çapı zeolitin ve içerdiği katyonun türüne bağlı olarak 3-10 Å° arasında değişir.¹³⁸ Zeolitlerin mikrogözenekleri sentez edildiklerinde su ile dolu durumdadır. Zeolitler ısıtıldıklarında su buharlaşarak yapıdan uzaklaştırılır ve bu olay diğer bazı sulu minerallerde olduğu gibi kristal yapının bozulmasına

neden olmaz. Buharlaşan suyun kristal yapısında bıraktığı boşluklar, bu boşluklara sığabilecek büyüklükte gaz veya sıvı molekülleri ile doldurulabilir.¹⁶⁶

Zeolitler ayrıca polar ya da polarize olabilen moleküllere daha fazla ilgi gösterirler. Bu özelliğin temelinde kristal yapısının anyonik niteliği ve bu yapının elektrik yükünü dengeleyen katyonların neden olduğu elektrostatik alan vardır. Zeolitlerde adsorbsiyon olayını bir yüze tutunma olarak değil bir boşluğu doldurma biçiminde düşünmek daha doğru olur. Çünkü zeolit kristali dış yüzeyine tutunan molekül miktarı, kristal yapısı içine giren ve bu boşlukları dolduran molekül miktarının genellikle %1'i kadardır. Bir gaz ya da sıvı ile temas ettirilen dehidrate edilmiş zeolitın gözenekleri bu moleküllerce hızla doldurulur ve gözenekler tümüyle dolduğunda adsorbsiyon durur.¹⁶⁶

Zeolitlerin iyon değiştirici olarak özellikleri ve uygulama alanları

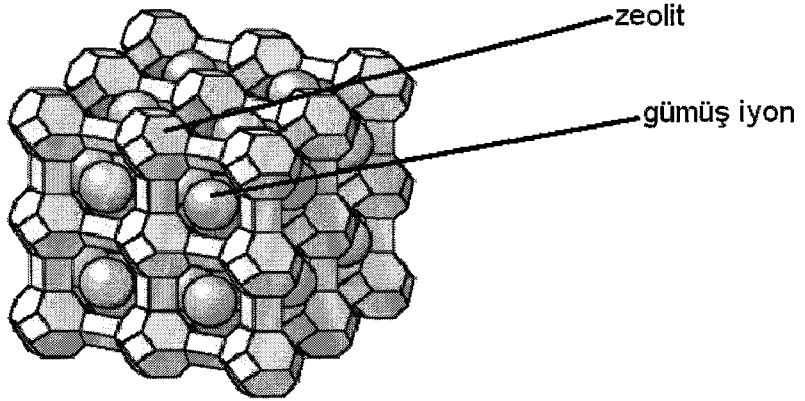
Zeolitlerin diğer ve en önemli özelliği seçici olarak katyon değiştirebilmeleridir. Zeolitlerin endüstride ve evlerde kullanılan suların sertliğini gidermek amacıyla kullanılması için yapılan çalışmalar, bu alanda aynı amaçla geliştirilen organik iyon değiştirici reçinelere göre daha üstün olduklarını ortaya çıkarmıştır. Ancak son yıllarda çevre kirlenmesinin önlenmesine yönelik çalışmalar sonucu zeolitlerin iyon değiştirme özelliklerine dayalı uygulamalar geliştirilmiştir. İyon değiştiricisi olarak deterjanlarda fosfatlar yerine kullanılabilceği ifade edilmiştir. Zeolitlerin geliştirilmekte olan diğer bir kullanım alanı da yem katkı maddesi yapımıdır. Amonyak iyonuna seçiciliği olan zeolit

sindirim sisteminde azotun daha verimli olarak kullanımını sağlamaktadır. Bu uygulamada yapay zeolitler A ve X üstün özellikli zeolitlerdir.¹⁶⁶

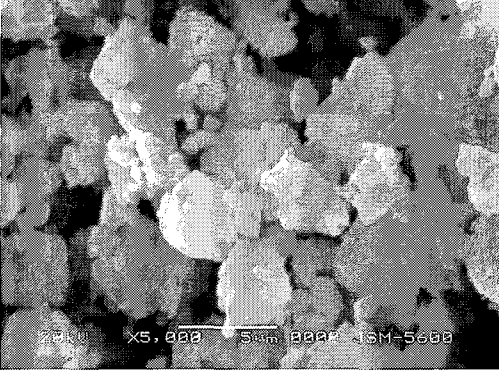
Küba’da yapılan çalışmalarda, doğal zeolitlerin mide asitini azaltması ve mide ülseri tedavisinde kullanımında etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca zeolit tozunun eksternal uygulanmasının yaraların ve cerrahi insizyonların iyileşme süresini kısalttığı ifade edilmiştir.⁹¹

Gümüş zeolit

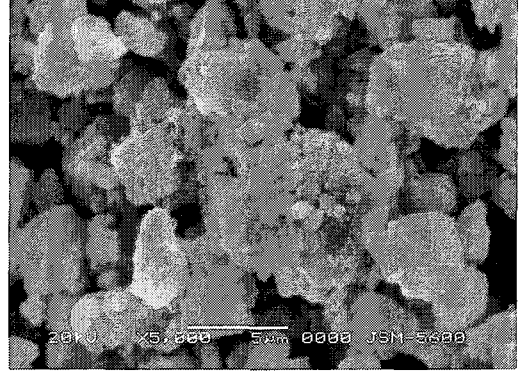
En yüksek iyon değiştirme kapasitesi olan zeolit A aynı zamanda dişhekimliğinde de kullanım alanı bulmuştur. Burada zeolit A bir taşıyıcı olarak kullanılır ve zeolitın boşluklarında gümüş gibi antimikrobiyal bir katyon varsa çevre dokuya antimikrobiyal etki sağlayabilir. Materyalin gümüş iyonuna karşı yüksek derecede afinitesi vardır ve yapısına ağırlığının %40’ından daha fazla gümüş iyonunu elektrostatik olarak bağlayabilir.^{65,66,87,91} Gümüşün zeolite bağlanması “ion-exchange” yöntemi ile gerçekleştirilir.^{61,79}



Şekil 3. Gümüş iyonlarının zeolitın kanalcıklı yapısına yerleşmesi



Resim 1. 4A Na-zeolitın SEM görüntüsü



Resim 2. Gümüş-zeolitın SEM görüntüsü

Moleküler yapısına yüklenmiş bu iyonları çevresindeki iyonlarla değiştirerek gümüş iyonun sürekli salımını (ca. 10ppb) sağlar ve doku hücrelerine herhangi bir zararlı etki göstermeksizin uzun süre antimikrobiyal etki gösterir.^{1,12,60,65,80,87,144}

Gümüş-zeolitın bakterisit etkisi için iki mekanizma olduğu ifade edilmiştir. Birincisi zeolitten salınan gümüş iyonlarının doğrudan etkisi olup, diğeri matriks içindeki gümüşün oksijeni aktive etmesi sonucunda üretilen reaktif oksijen türlerinin neden olduğu bakterisit etkidir. Bazı araştırmacılar tarafından gümüş-zeolitın antibakteriyel etkisi için oksijenin gerekli olduğu belirtilirken,⁷⁹ diğer araştırmacılar tarafından anaerobik ortamlarda da oral bakterilere karşı etkili olabileceği ifade edilmiştir.^{21,101,155}

Inoue ve arkadaşları,⁶¹ deiyonize su sisteminde, gümüş-zeolitın bakterisit aktivitesi için çözünmüş oksijenin gerekli olup olmadığını ve reaktif oksijenin bu aktivitede oynadığı rolün önemini araştırmışlardır. Aynı zamanda deiyonize suda gümüş-zeolitın bakterisit etkisini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar *Escherichia*

coli içeren bir süspansiyon hazırlamışlar ve içerisine gümüş zeolit eklediklerinde *E. coli*'nin sadece 5 dakikada koloni oluşturma özelliğini kaybettiğini ve canlı mikroorganizma miktarında bir azalma görüldüğünü ifade etmişlerdir. Süspansiyona gümüş zeolit yerine sodyum-zeolit eklendiğinde 60 dakika sonra bile kontrol grubuna göre herhangi bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca gümüş miktarının bakterisit etkide önemli olmadığını belirtmişlerdir. Ancak bakterisit etkide oksijenin önemli olduğu bulunmuştur.

Hotta ve arkadaşları,⁶⁰ geçici dolgu materyali içerisine çeşitli oranlarda gümüş-zeolit eklemiş ve hazırlanan materyal mikrosızıntı ve bakteriyel büyüme inhibisyonu açısından değerlendirilmiştir. Örneklerde mikrosızıntı açısından önemli derecede farklılık görülmemiş ve geçici dolgu materyali içerisine katılan zeolit partiküllerinin materyalin örtücü özelliğini etkilemediği bildirilmiştir. Antibakteriyel değerlendirmede özellikle *S. mutans* ve *S. mitis* için inhibisyon alanları kontrol grubu ile gümüş zeolit içeren örnekler karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Ayrıca bakteriyel büyüme inhibisyon derecesinin geçici dolgu materyaline eklenen gümüş zeolit miktarına bağlı olmadığı da ifade edilmiştir.

Doku düzenleyiciler, protetik tedavide geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu materyaller bir rezervuar rolü oynayarak *Candida albicans* ve diğer mikroorganizmaların kolayca kolonize olmasını sağlarlar. Özellikle yaşlı hastalarda bağışıklık sistemi aktivitesi azalacağından *candida* türleri ağız

mukozasında stomatite neden olacağı gibi, protezlerden izole edilen *Staphylococcus aureus* solunum sistemi enfeksiyonlarına yol açabilir. Bu nedenle bu materyaller içine hem antibakteriyel hem de antifungal özellik gösteren gümüş zeolit eklenerek bu enfeksiyonların önüne geçilmesi sağlanmıştır.^{1,80,93,144}

Matsuura ve arkadaşları,⁸⁰ gümüş-zeolit (Zeomic®) içeren doku düzenleyicilerin *Candida albicans* ve solunum sistemi enfeksiyonuna neden olan *Staphylococcus aureus* ve *pseudomonas aeruginosa* üzerine antibakteriyel etkisini araştırmışlardır. Gümüş-zeolit içeren doku düzenleyicilerin 4 hafta sonunda bile antibakteriyel etki gösterdiği ifade edilmiştir.

Nikawa ve arkadaşları,⁹³ çeşitli oranlarda gümüş-zeolit (Zeomic®) içeren doku düzenleyicinin *Candida albicans* üzerine antifungal etkilerini değerlendirmişlerdir. İçerdiği gümüş-zeolit miktarına bağlı olarak örneklerin inhibisyon etkilerinin yüksek olduğu ancak tükürük varlığında gümüş zeolit içeren örneklerin antifungal etkilerinin azaldığı belirtilmiştir.

Ueshige ve arkadaşları,¹⁴⁴ Visco-gel, GC Soft-Liner, FITT, SR-Ivoseal, Shofu Tissue Conditioner doku düzenleyicileri içerisine eklenen gümüş-zeolit'in (Zeomic®) bu materyallerin elastik özelliğini değiştirip değiştirmediğini incelemişlerdir. Kullanılan bu 5 farklı doku düzenleyiciden sadece Shofu Tissue Conditioner'da bu özellik değişmeden kalırken, diğerlerinde değişiklikler gözlemlenmiştir. Meydana gelen bu değişikliklerin materyaldeki polimerin

moleküler ağırlığına, etanol içeriğine ve polimer/likid oranına bağlı olduğu ve gümüş zeolitinde polimer ve likid arasında oluşan bağı etkileyebileceği vurgulanmıştır.

Abe ve arkadaşları,¹ gümüş-zeolit içeren Visco-gel, GC Soft-Liner, FITT, SR-Ivoseal, Shofu Tissue Conditioner doku düzenleyicilerinin in vitro şartlarda sitotoksitesini değerlendirmişlerdir. Visco-gel, GC Soft-Liner, FITT, SR-Ivoseal da gümüş zeolit miktarı arttıkça hücre canlılığı azalmasına rağmen hiçbir materyal için önemli derecede etki görülmemiştir. Shofu Tissue Conditioner için hücre canlılığında herhangi bir değişiklik olmaksızın diğer materyallere göre en iyi değeri vermiştir. Sonuçta hücre canlılığındaki bu azalmanın materyalin içersindeki etanol ve/veya gümüş iyonu ile ilgili olabileceği belirtilmiştir.

Abe ve arkadaşları,² gümüş-zeolit içeren doku düzenleyicinin insan tükrüğü üzerindeki antimikrobiyal etkisini değerlendirdikleri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın 28. gününde *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus* ve methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* üzerine antimikrobiyal etki gözlenirken, *Pseudomonas auriginosa* ve *Streptococcus milleri* için antimikrobiyal etki tanımlanmamıştır.

Kawahara ve arkadaşları,⁶⁵ gümüş-zeolit anaerobik ortamda gram negatif (*Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella intermedia*, *Actinobacillus actinomycetemcomitans*) ve gram pozitif (*Streptococcus mutans*, *Streptococcus*

sanguis ve *Actinomyces viscosus*) oral bakterilere karşı antibakteriyel etkisini değerlendirmişlerdir. Gümüş-zeolit tüm bu patojenik mikroorganizmalara karşı anaerobik ortamda bile antibakteriyel özellik gösterirken, kontrol grubu olarak kullanılan zeolit A'nın bakteriyel büyümenin inhibisyonu üzerine herhangi bir etkisi bulunamamıştır.

Gümüş-zeolit içeren ağız gargalarının plak formasyonu üzerine etkisini ve antibakteriyel aktivitesini göstermek için Morishita ve arkadaşları⁸⁷ yapmış oldukları *in vivo* pilot çalışmada, gargara olarak %3 oranında gümüş-zeolit içeren tamponlanmış fosfat tuz (PBS) çözeltisi ve kontrol grubu için de plasebo gargara olarak %3 oranında A tipi zeolit içeren PBS çözeltisi kullanılmıştır. Ayrıca gümüş-zeolit'den PBS ve distile suya salınan gümüş iyon miktarı atomik absorpsiyon tekniği ile değerlendirilmiştir. PBS içerisinde gümüş iyon konsantrasyonu 0,53 (0,06 ppm) bulunurken distile su içerisinde gümüş iyonu bulunamamıştır. Plak formasyonu değerlendirildiğinde gümüş zeolit plak formasyonunu plasebo gargaraya oranla önemli derecede inhibe ettiği ifade edilmiştir.

Günümüzde kullanılan kök kanal patları çeşitli derecede antibakteriyel etki göstermektedir. Bununla birlikte patların bu etkileri genellikle sitotoksiteleri ile ilgilidir. Buna karşın CİS kanal patları biyouyumludur ve materyalin saldığı florid ile antibakteriyel etki gösterir. Ancak CİS patların antibakteriyel aktiviteleri zamanla azalır ve bakterisit etkiden bakteriostatik etkiye doğru bir

değişim gözlenir. Böyle bir kısa dönem etki rezidüel mikroorganizmaların canlılıklarını sürdürmesine olanak sağlar. Bu nedenle yakın zamanda Toronto Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesinde CİS bazlı antibakteriyel özelliği arttırılmış bir kanal dolgu patı (ZUT) geliştirilmiştir. Bu patın içeriğini bir CİS tozu (Ketac-Cem) ve gümüş-zeolit oluşturmaktadır.^{21,101,138} CİS tozu ile karıştırıldığında zeolitın seramik iskeletsel yapısı sertleşme sürecinde CİS poliasiti ile inorganik bir bağ formasyonu meydana getirmektedir.¹³⁸

Patel ve arkadaşları,¹⁰¹ 3 aylık bir periyotta ZUT'un *Enterococcus faecalis* üzerine etkilerini değerlendirdikleri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. CİS içerisine %0,2, %2 ve %20 oranlarında gümüş-zeolit eklenip 3 farklı deney grubu oluşturulmuştur. Direkt kontak test metodu seçilerek örneklerin antibakteriyel özellikleri değerlendirilmiştir. Tüm ZUT örneklerinde gümüş-zeolit konsantrasyonundan bağımsız olarak bakteriyel büyüme inhibisyonu sağlanmıştır.

Chung ve arkadaşları,²¹ Ketac-Endo, deneysel amaçla geliştirilen bir CİS olan KT-308 ve (%0,2) gümüş-zeolit ve KT-308'in kombinasyonu olan ZUT'un bağlanma kuvvetlerini değerlendirdikleri *in vitro* bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca bu çalışmada Ca(OH)_2 , klorhekzidin glukonat ve formokrezol'ün bağlanma kuvvetlerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Ketac-Endo, Ca(OH)_2 ve formokrezol ile yapılan dentin düzenlenmesinden sonra KT-308 ve ZUT'a göre en düşük bağlanma kuvvetini göstermiştir. Distile su ve klorhekzidin glukonat ile yapılan

dentin düzenlenmesinden sonra 3 farklı CİS'in bağlanma kuvvetleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Thom ve arkadaşları,¹³⁸ ZUT'un hemolitik ve sitotoksik özelliklerini Ketac-Cem, Ketac-Endo ve AH 26 ile karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. ZUT, gümüş-zeolit'in Ketac-Cem tozuna ağırlığının %0,2 oranında ilave edilmesi ile hazırlanmıştır. ZUT, AH 26'ya göre daha az sitotoksik bulunurken diğer CİS'lere benzer sonuçlar vermiştir. Deney materyallerinin hemolitik değerleri arasındaki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada antibakteriyel özelliği kanıtlanmış olan gümüş-zeolit'in Fuji IX ve ChemFlex cam iyonomer simanları içerisine katılmasıyla hazırlanan materyalin bağlanma kuvveti mikro-makaslama test tekniği ile, CİS-dentin arayüzleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile, materyallerin mikrosızıntı değerleri ise boya difüzyon test tekniği ile incelenmiştir.

Gümüş-Zeolit Hazırlanması

4A-Sodyum zeolit (Na-Z) bu çalışmada taşıyıcı bileşik olarak kullanıldı (Resim 3 ve 4). Materyale ait özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Antibakteriyel özellik için gümüş iyonlarının zeolit içerisine iyon-değiştirme metodu ile yerleştirilmesi işlemi Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirildi. İyon-değiştirme işlemi, 10g Na-Z tozuna, 1M ($M: \text{mol dm}^{-3}$) 300cm^3 gümüş-nitrat (Merck, KGaA 64271 Darmstadt, Germany) solüsyonunun ilave edilmesi ile gerçekleştirildi. Hazırlanan süspansiyon oda ısısında karanlık ortamda 24 saat karıştırıldıktan sonra (Julabo SW-20C), vakumlu süzgeç kullanılarak filtre (Millipore Type HA 0,45 μm) edildi. Hazırlanan gümüş zeolit tozu ($>17\text{M}\Omega\text{cm}$) deiyonize su ile yıkanıp hava ile kurutuldu.⁶¹

Tablo 1. 4A Sodyum Zeolitın kimyasal ve fiziksel özellikleri

4A Sodyum Zeolit (Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim/Germany)	
<i>Kimyasal özellikleri:</i>	<i>Fiziksel özellikleri:</i>
$1\text{Na}_2\text{O} : 1\text{Al}_2\text{O}_3 : 2.0 \pm \text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$	Nominal pore büyüklüğü: 4°A
x=kuruluk ve/veya aktivasyon derecesine bağlıdır.	Ortalama partikül büyüklüğü: 3-5 mikron
	Kristal yapının tipi: basit kübik
	Görünüm: kokusuz, beyaz ince toz
	Hacimsel yoğunluğu: 30 lbs/cu ft

Resim 3. 4A Sodyum Zeolit
(Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim/Germany)



Resim 4. 4A Sodyum Zeolit toz görüntüsü

Gümüş-Zeolit içeren Cam İyonomer Siman Örneklerin Hazırlanması

Bir antibakteriyel ajan olarak hazırlanan gümüş-zeolit tozu ART teknik için geliştirilen ve aşağıda bileşimleri verilen Fuji IX shade A3 (Resim 5) ve ChemFlex shade A2 (Resim 6) cam iyonomer simanlarının tozu içerisine ağırlıklarının %0,2'si oranında homojen bir şekilde karıştırılarak hazırlandı. Böylece iki farklı cam iyonomer siman elde edilmiş oldu. Bu materyallere ait özellikler tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Cam iyonomer simanların özellikleri

GC Fuji IX GP , GC Corporation, Tokyo, Japan	ChemFlex , Dentsply, DeTray, GmbH, Konstanz, Germany
<i>Toz:</i> Alümino-fluorosilikat cam Poliakrilik asit, polibazik karboksilik asit Pigment <i>Likit:</i> Poliakrilik asit Polibazik karboksilik asit Tartarik asit Distile su	<i>Toz:</i> Stronsium alümino-fluorosilikat cam Poliakrilik asit Tartarik asit Demir oksit, Titanyum oksit pigmentleri <i>Likit:</i> Poliakrilik asit Distile su
<i>Conditioner:</i> Cavity Conditioner, GC Corporation, Tokyo, Japan %20 Poliakrilik asit <i>Vernik:</i> GC Fuji Varnish GC Corporation, Tokyo, Japan (Resim 7)	<i>Conditioner:</i> CİS likiti, Dentsply, DeTray, GmbH, Konstanz, Germany %10 Poliakrilik asit



Resim 5. GC Fuji IX GP, GC Corporation, Tokyo, Japan



Resim 6. ChemFlex, Dentsply, DeTray, GmbH, Konstanz, Germany



Resim 7. GC Fuji Varnish ve Cavity Conditioner, GC Corporation, Tokyo, Japan

Mikro-Makaslama Testi

Diş örneklerinin hazırlanması

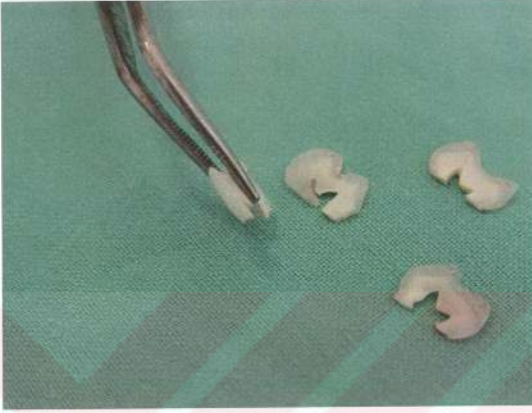
Gümüş zeolitin ART teknik için geliştirilmiş olan iki ayrı CİS ile kombine kullanımlarının dentin yüzeyine bağlanma kuvvetlerini mikro-makaslama test tekniği ile değerlendirmek üzere 8 adet çürüksüz çekilmiş süt molar diş kullanıldı. Dişler çekildikten sonra üzerindeki birikintiler temizlendi ve deney aşamasına kadar timol içeren izotonik salin solüsyonunda bekletildi. Dişler çekimi takiben en geç 6 ay içinde kullanıldı. Bu dişlerden bukko-lingual yönde dişin uzun aksına paralel olacak şekilde her bir diştten 4 adet yaklaşık 1.0 mm kalınlığında, su soğutması altında yavaş hızla dönen elmas bıçaklara sahip kesim cihazı (Streuers Minitom, Struers, Copenhagen, Denmark) kullanılarak kesitler alındı (Resim 8). Kesit yüzeyleri sırasıyla 800, 1000, 1200 ve 2400 no'lu silikon karbid (SiC) zımparalarıyla düzgün hale getirildi. Zımparalama işlemi sonrası ise yüzeyler polisaj patı kullanılarak (Metadi Diamond Polising Compound, 6 micron, Buchler) parlatıldı. Aynı süt dişinden alınan 4 kesit farklı grupta olacak şekilde grup 1, 2, 3, 4'e dahil edildi. Böylece her grupta 8'er kesit elde edilmiş oldu.

Grup 1- Fuji IX

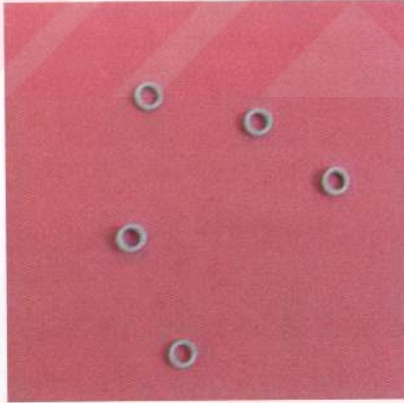
Grup 2- Fuji IX+Gümüş Zeolit

Grup 3- ChemFlex

Grup 4 ChemFlex+Gümüş Zeolit



Resim 8. Yaklaşık 1.0 mm kalınlığındaki kesitler



Resim 9. 0,8mm çapında ve 0,5mm yüksekliğinde plastik borudan hazırlanan silindirler

Dentin yüzeyine Grup 1 ve 2'de Cavity Conditioner, grup 3 ve 4'de ChemFlex CİS likiti uygulamasından önce iç çapı 0.8 mm olan plastik borudan(Resim 9); yüksekliği 0.5 mm olan silindirler hazırlandı. Silindirler dentinin orta 1/3'üne yerleştirilerek CİS'in tatbik edileceği bölge sınırlandı. Üretici firmanın önerdiği gibi grup 1 ve 2'de Cavity Conditioner 10sn grup 3 ve 4'de ChemFlex likiti 15sn dentin yüzeyine uygulandıktan sonra hava su spreyi ile yıkanıp kurutuldu. Silindirlerin içine Fuji IX, Fuji IX+gümüş zeolit, ChemFlex ve ChemFlex+gümüş zeolit materyalleri yerleştirildi. İşlem sırasında CİS materyalinin çevre dentin yüzeylerine taşmamasına dikkat edildi. Böylece dentin örnekleri üzerinde çapı 0.8 mm ve yüksekliği 0.5 mm olan CİS silindirler oluşturuldu. Plastik malzeme çıkartıldıktan sonra CİS'lerin yüzeyi Fuji Varnish ile kaplandı. Örnekler daha sonra 37°C'de 24 saat distile suda bekletildi.

Mikro-makaslama testinin uygulanması

Resim 10'da görülen metal plakalar, Resim 11'de gösterildiği şekilde Ankara Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalında bulunan test cihazına (Lloyd LRX, Lloyd Instruments, Hants,UK) yerleştirildi. Örnekler oda sıcaklığına ulaştıktan sonra oluşturulan bu düzenekle mikro-makaslama testine tabii tutuldu. CİS silindirli diş örnekleri metal plakalara siyanoakrilat (Pattex Super Glue, Henkel AC, Germany) içerikli bir adezivle sabitlendi. CİS silindirlerin çevresinden 0.2 mm kalınlığında ince bir çelik tel geçirildi (Resim 12). Takiben mikro-makaslama testine başlandı. Her bir örneğe kopma meydana gelene dek 1.0 mm/dak hızla makaslama kuvveti uygulandı.

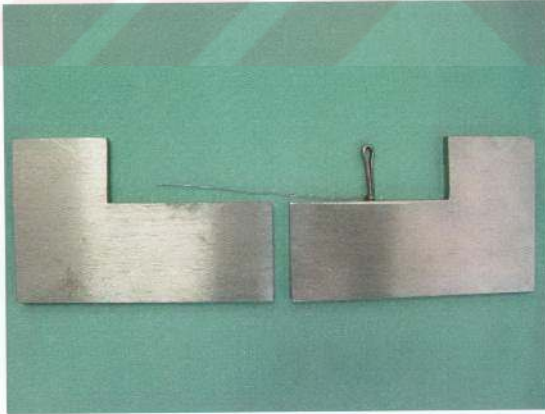
Kaydedilen bağlanma kuvvet değerleri istatistiksel olarak SPSS 11.5.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois 60606, USA) yazılım kullanılarak tek yönlü ANOVA ve Student's *t* test ile değerlendirildi ($p < 0.05$). Kırıkkale Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde bulunan SEM (Jeol JSM-5600, Tokyo, Japan) ile dentin yüzeyi ile CİS materyalinin arasında meydana gelen kopmanın türü değerlendirildi. Her bir örnekte meydana gelen kopma tipi;

Tip 1: CİS ve dentinin adeziv kopması

Tip 2: CİS ve dentinin parsiyel adeziv kopması veya CİS'de parsiyel koheziv kopma

Tip3: CİS'de koheziv kopma olarak tanımlandı.

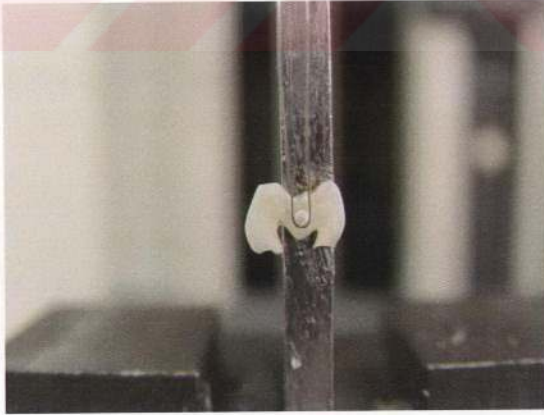
Sonuçlar SPSS 11.5.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois 60606, USA) yazılım kullanılarak Kruskal-Wallis ve Mann Whitney U parametrik olmayan testler ile analiz edildi ($p < 0,05$).



Resim 10. mikro-makaslama testi için hazırlanan metal plakalar



Resim 11. Test cihazına yerleştirilen metal plakalar



Resim 12. 0,8 mm çapındaki CİS örneklerin metal plakalara siyanoakrilat ile sabitlenmesi ve CİS örneklerin çevresinden geçirilen 0,2mm'lik çelik tel

CİS-Dentin Arayüzünün SEM ile Değerlendirilmesi

SEM’de CİS-dentin arayüzünü değerlendirmek amacı ile dişler mikro-makaslama testinde olduğu gibi hazırlandıktan sonra tüm dentin yüzeyine CİS yerleştirildi. Takiben CİS yerleştirilmiş örnekler 37°C’de 24 saat distile su içerisinde bekletildi. Örneklerin hem CİS hem de dentin tarafında su soğutması altında yüksek hızla dönen elmas separe ile karşılıklı çentikler açılıp bağlanma yüzeyine doğru kırıldı. Örnekler Kırıkkale Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde altın-paladyum ile kaplandıktan sonra bağlanma yüzeylerinin yapısı ve restoratif materyal ile dentin arasındaki adaptasyon derecesi SEM (Jeol JSM-5600, Tokyo, Japan) kullanılarak x1000 ve x1500 büyütmelerde incelendi. Her bir gruptan 2 örnek gözlemlendi.

Mikrosızıntı Testi

Diş örneklerinin hazırlanması

Bu amaçla 28 adet çekilmiş süt molar diş kullanıldı. Dişler çekildikten sonra üzerindeki birikintiler temizlendi ve deney aşamasına kadar timol içeren izotonik salin solüsyonunda bekletildi. Dişlerin 6 ay içerisinde kullanılmasına dikkat edildi. Okluzal marjinin minede, servikal marjinin mine-sement birleşiminin 1mm altında olan kaviteler süt molarların bukkal ve lingual/palatinal yüzeylerinde hazırlandı. Kaviteler mesio-distal genişlik 4 mm, oklüzö-gingival yükseklik 3 mm ve derinlik 1,5 mm olacak şekilde periodontal sond ile kalibre edilerek elmas rond frezle (Punta Diamantata ref: fgs0010016 Diamir srl Resia,

ITALIA) hazırlandı. Her beş retorasyonda bir frez değiştirildi. Bu şekilde standart kaviteler elde edilmeye çalışıldı. Takiben kavite pomza ve lastik ile temizlendi

Örnekler

Grup 1- Fuji IX

Grup 2- Fuji IX+gümüş zeolit

Grup 3- ChemFlex

Grup 4 ChemFlex+gümüş zeolit olacak şekilde 4 gruba ayrıldı.

Hazırlanan kavitelere Grup 1 ve 2'de Cavity Conditioner 10 sn. Grup 3 ve 4'de ChemFlex likiti 15 sn uygulandıktan sonra yıkanıp kurutulan kavitelere hazırlanan Fuji IX, Fuji IX+gümüş zeolit, ChemFlex ve ChemFlex+gümüş zeolit cam iyonomer simanları ağız spatülü ve parmak basıncı ile yerleştirildi. Yüzeye Fuji Varnish uygulandıktan sonra tüm örnekler 37°C'de 1 saat ve oda sıcaklığında 24 saat distile su içerisinde bekletildi ve bitirme diskleri (Sof-Lex, 3M Dental Products, St Paul, MN) ile restorasyonlar tamamlandı.

Mikrosızıntı testinin uygulanması

Örnekler 5°C($\pm$ 1°C) ve 55°C($\pm$ 1°C) sıcaklığındaki su banyoları kullanılarak 500 kez termal sıklusa tabi tutuldu. Örneklerin her bir banyoda bekleme süresi 10sn, banyolar arası transfer zamanı ise 2sn olarak ölçüldü. Termal siklusu takiben restorasyon dışındaki bölgelerden boya penetrasyonu olmaması için dişlerin açık apeksleri rezin kompozit ile kapatılıp, restorasyon marjinine mümkün olduğunca yakın olarak tüm yüzey bir kat tırnak cilası ile kaplandı ve

kurutuldu. Daha sonra ikinci bir kat tırnak cilası uygulandı (Resim 13). Bu işlemden sonra örnekler bazik fuksin solüsyonuna batırılınca kadar oda ısısında distile su içerisinde bekletildi. Tüm örnekler % 0,5 bazik fuksin solüsyonunda 24 saat bekletildi. Takiben dişler musluk suyu altında yıkayıp tırnak cilası ultrasonik scaler ile uzaklaştırıldı. Dişler restorasyonun merkezinden longitudinal olacak şekilde bucco-lingual yönde elmas bıçak kullanılarak kesildi ve skorlandı. Boya penetrasyonu optik stereomikroskop (Nikon, Eclips E600, Japan) kullanılarak x40 ve x100 büyütme ile değerlendirildi.



Resim 13. Mikrosızıntı testi için hazırlanan örnekler

Hem okluzal hem de gingival kenarda boya penetrasyonunun değerlendirilmesi için aşağıdaki skala kullanıldı.

0= boya penetrasyonu yok

1= boya penetrasyonu kavitenin 1/3'i ile sınırlı

2= boya penetrasyonu kavitenin 2/3'si ile sınırlı

3= tüm kaviteyi içerisine alan boya penetrasyonu

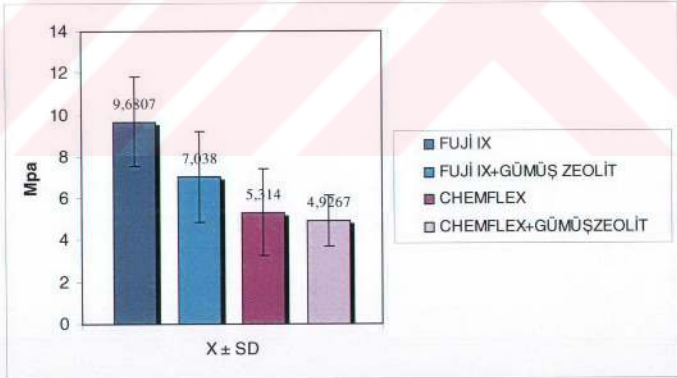
Elde edilen sonuçlar SPSS 11.5.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois 60606, USA) yazılım kullanılarak Kruskal-Wallis ve Mann Whitney U testleri ile değerlendirildi ($p<0.05$).

BULGULAR

Fuji IX, Fuji IX+ gümüş-zeolit, ChemFlex ve ChemFlex+gümüş-zeolit cam iyonomer simanlarının mikro-makaslama, SEM ve mikrosızıntı testlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Mikro-makaslama testi

Fuji IX, Fuji IX+gümüş zeolit, ChemFlex ve ChemFlex+gümüş zeolit cam iyonomer simanlarının dentin yüzeyine mikro-makaslama bağlanma kuvvetinin değerlendirilmesinde elde edilen sonuçlar grafik 1’de verilmiştir.



Grafik 1. Mikro-makaslama bağlanma kuvvet değerleri MPa (x±SD).

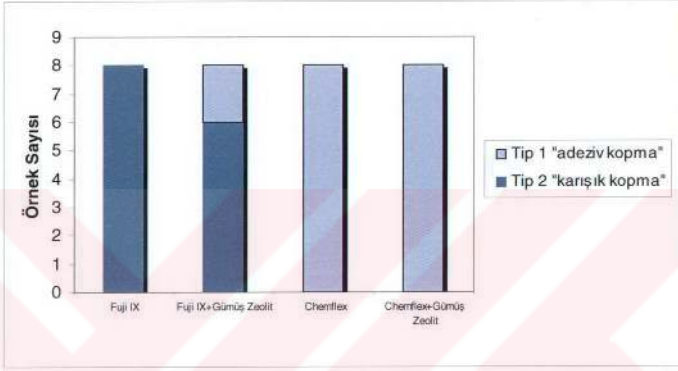
x: ortalama değer SD: standart sapma MPa: Megapaskal (p<0,05)

Grup 1 Fuji IX'da dentine ortalama bağlanma kuvvet değeri 9.68 MPa (± 2.12), Grup 2 Fuji IX+gümüş zeolit ortalama bağlanma kuvvet değeri 7.03 MPa (± 2.19), Grup 3 ChemFlex ortalama bağlanma kuvvet değeri 5.31 MPa (± 2.08) ve Grup 4 ChemFlex+gümüş zeolit ortalama bağlanma kuvvet değeri 4.92 MPa (± 1.21) bulunmuştur.

Grup 1, 2, 3 ve 4'ün ortalama mikro-makaslama bağlanma kuvvet değerleri karşılaştırıldığında en iyi bağlanma değerini Grup 1 Fuji IX cam iyonomer siman vermiştir. Gruplar arasında fark olup olmadığı ANOVA ile değerlendirildiğinde Grup 1'de bağlanma kuvveti değerleri diğer gruplara göre istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($p < 0.05$).

Gümüş zeolit, Fuji IX içerisine eklendiğinde (Grup 2) bağlanma kuvvetinde bir azalma meydana gelmiş ve Grup 1 ve 2'deki bağlanma kuvveti arasındaki bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). ChemFlex içerisine gümüş zeolit eklendiğinde (Grup 4) bağlanma kuvvetinde bir azalma meydana gelmiş ve Grup 3 ve 4 arasındaki bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0.05$).

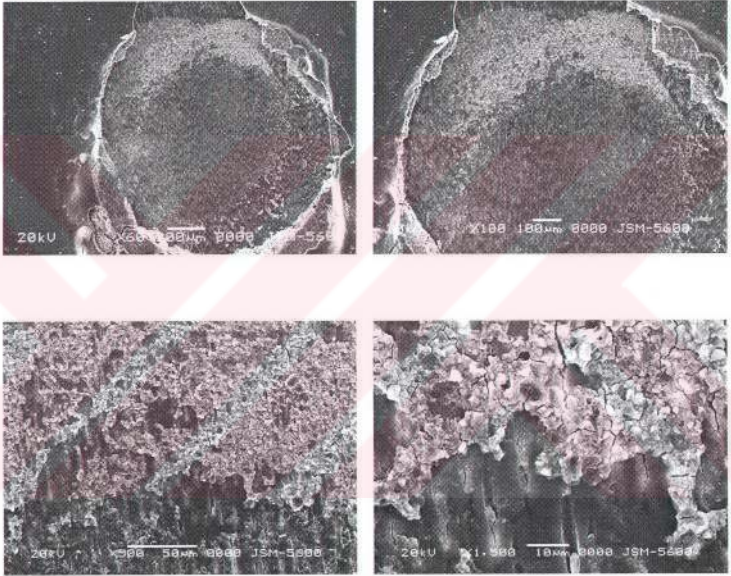
Mikro-makaslama deneyi sonrasında dentin yüzeyine bağlı CİS örneklerin kopma tipleri SEM ile değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş ve grafik 2’de gösterilmiştir.



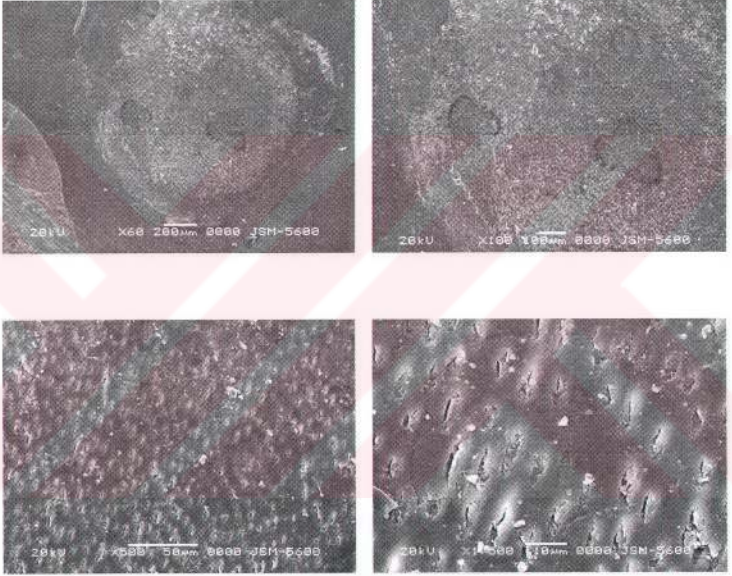
Grafik 2: Mikro-makaslama testi sonrasında meydana gelen kopma tipleri

Grup 1 Fuji IX’da %100 tip 2 karışık kopma (Resim 14), Grup 2 Fuji IX+gümüş zeolit %25 tip 1 adeziv kopma (Resim 15), %75 tip 2 karışık kopma (Resim 16) gözlenmiştir. Buna karşın Grup 3 ve Grup 4’de yani hem ChemFlex hem de ChemFlex+gümüş zeolit’de %100 tip 1 adeziv kopma (Resim 17 ve 18) bulunmuştur.

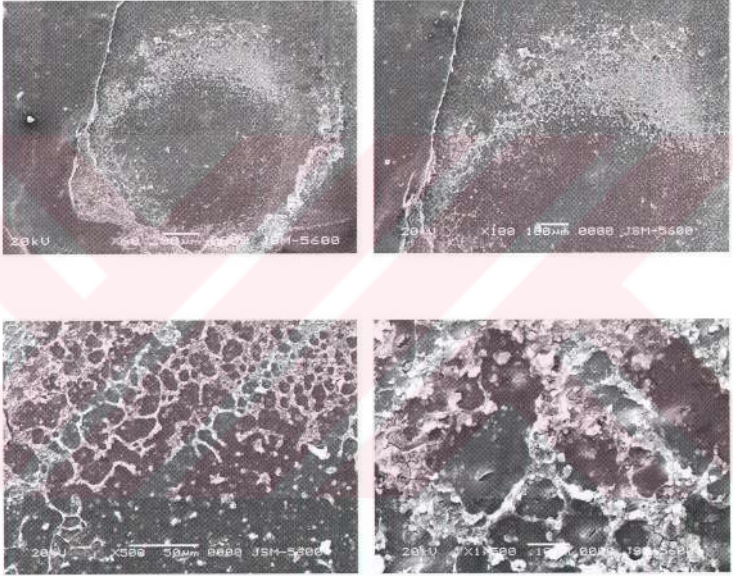
Grup 1 ile Grup 2 ve Grup 3 ile Grup 4 arasında istatistiksel olarak farklılık ($p>0,05$) bulunmamasına rağmen, Grup 1 ile Grup 3, Grup 1 ile Grup 4, Grup 2 ile Grup 3 ve Grup 2 ile Grup 4 arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmiştir ($p<0,05$).



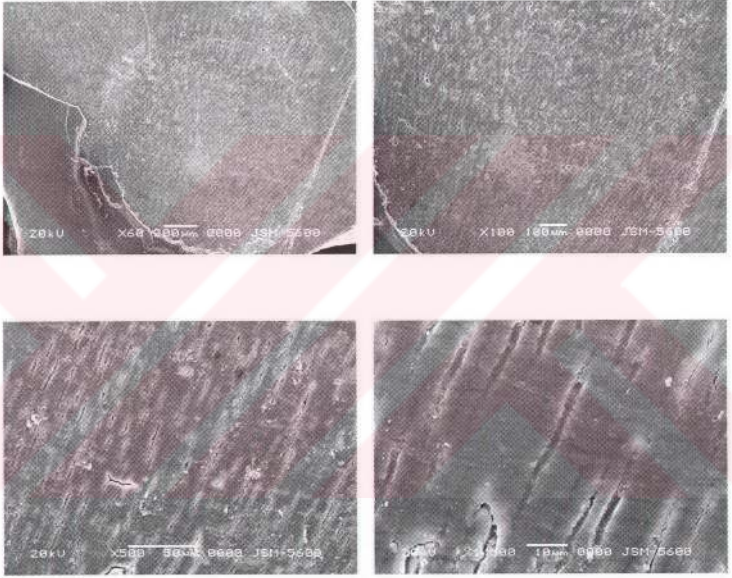
Resim 14. Grup 1'in (Fuji IX) tip 2 karışık kopmasına ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri



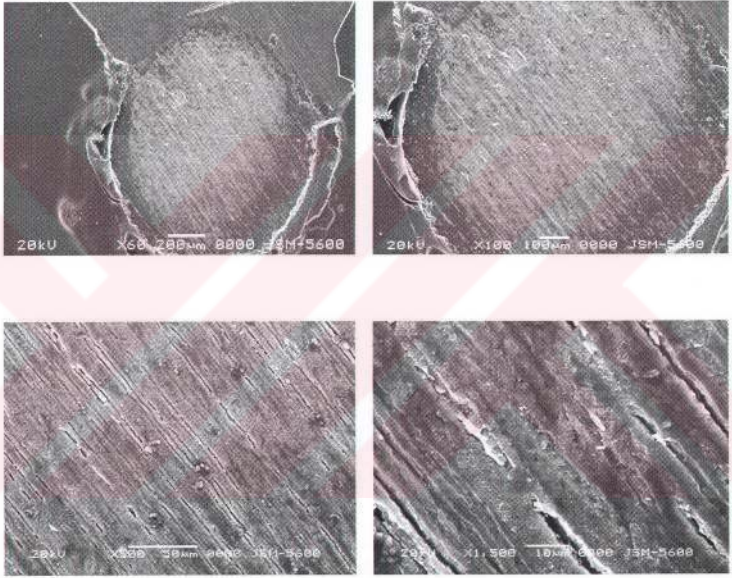
Resim 15. Grup 2'nin (Fuji IX+gümüş zeolit) tip 1 adeziv kopmasına ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri



Resim 16. Grup 2'nin (Fuji IX+gümüş zeolit) tip 2 karışık kopmasına ait farklı büyümedeki SEM görüntüleri



Resim 17, Grup 3'ün (ChemFlex) tip 1 adeziv kopmasına ait farklı büyütmedeki SEM görüntüleri



Resim 18. Grup 4'ün (ChemFlex+gümüş zeolit) tip 1 adeziv kopmasına ait farklı büyütmadaki SEM görüntüleri

CİS-Dentin Arayüzünün SEM ile Değerlendirilmesi

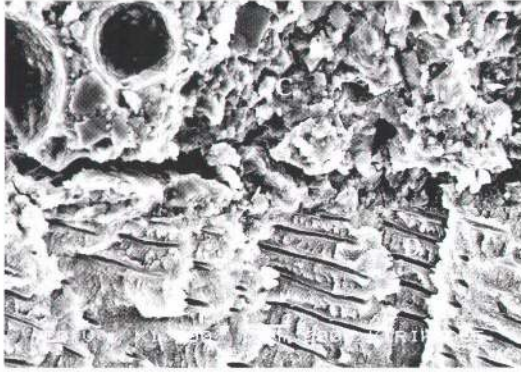
Grup 1, dentin yüzeyine Cavity Conditioner uygulanarak hazırlanan Fuji IX örneklerin dentin yüzeyine adaptasyonu ve CİS dentin arayüzüne ait değişik büyütmadaki SEM görüntüleri Resim 19'da gösterilmiştir. Grup 1'de Fuji IX ile dentin arasında yakın bir ilişki olduğu görülmekte (Resim 19a ve 19b), ayrıca Fuji IX-dentin arayüzüne yakın bölümünde arayüze paralel olarak Fuji IX içerisinde koheziv kırıklar izlenmektedir (Resim 19a,19b). Bununla birlikte Fuji IX'un açık dentin tübüllerine infiltrasyonu (Resim 19b,19c) görülmektedir.

Grup 2, dentin yüzeyine Cavity Conditioner uygulanarak hazırlanan Fuji IX+gümüş zeolit örneklerin dentin yüzeyine adaptasyonu ve CİS dentin arayüzüne ait değişik büyütmadaki SEM görüntüleri Resim 20'de gösterilmiştir. Grup 2'de Fuji IX+gümüş zeolit'in dentin ile yakın ilişkide olduğu görülmekle birlikte (Resim 20b) Fuji IX+gümüş zeolit'in dentinden adeziv ayrılması ayrıca Fuji IX+gümüş zeolit içerisinde koheziv kırıklar (Resim 20a) görülmektedir.

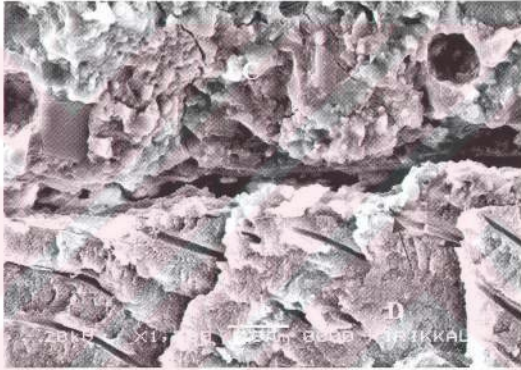
Grup 3, dentin yüzeyine ChemFlex likiti uygulanarak hazırlanan ChemFlex örneklerin dentin yüzeyine adaptasyonu ve CİS dentin arayüzüne ait değişik büyütmadaki SEM görüntüleri Resim 21'de gösterilmiştir. Grup 3 ChemFlex'in dentin yüzeyi ile yakın ilişkide olduğu ve ChemFlex içerisinde minimal koheziv kırıkların meydana geldiği gözlenmektedir (Resim 21a).

Grup 4, dentin yüzeyine ChemFlex likiti uygulanarak hazırlanan ChemFlex+gümüş zeolit örneklerin dentin yüzeyine adaptasyonu ve CİS dentin arayüzüne ait değişik büyütmedeki SEM görüntüleri Resim 22'de gösterilmiştir. Grup 4 ChemFlex+gümüş zeolitinin dentin yüzeyi ile yakın bir ilişkide olduğu ve ChemFlex+gümüş zeolit içinde minimal koheziv kırıkların meydana geldiği gözlenmektedir (Resim 22b).

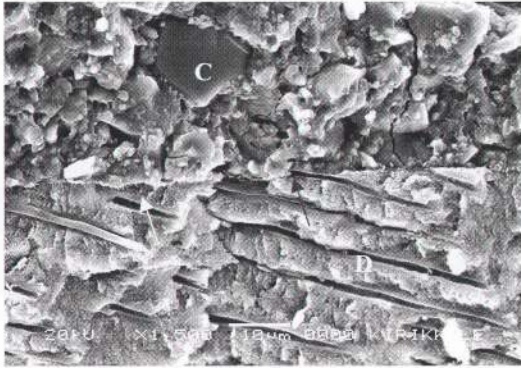




a



b



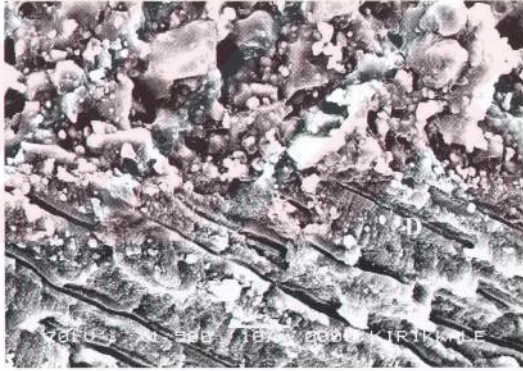
c

Resim 19. Grup 1, Fuji IX-dentin arayüzüne ait SEM görüntüleri

C: Cam iyonomer siman, D: Dentin, beyaz ok: farklı alan, siyah ok: CIS'in tübüler adaptasyonu



a

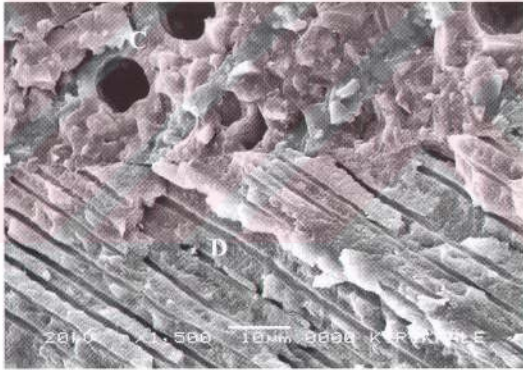


b

Resim 20. Grup 2, Fuji IX+gümüş zeolit-dentin arayüzüne ait SEM görüntüleri
C: Cam iyonomer siman, D: Dentin



a

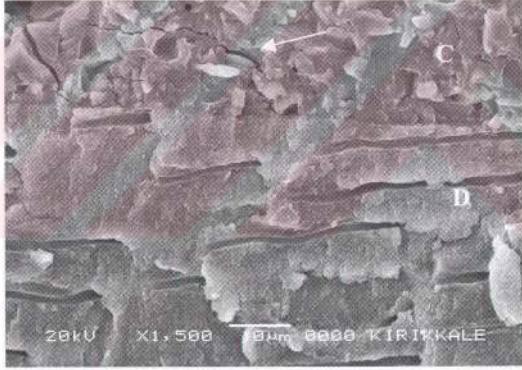


b

Resim 21. Grup 3, ChemFlex-dentin arayüzüne ait SEM görüntüleri
C: Cam iyonomer siman, D: Dentin, ok: koheziv kırık



a



b

Resim 22. Grup 4, ChemFlex+gümüş zeolit-dentin arayüzüne ait SEM görüntüleri
C: Cam iyonomer siman, D: Dentin, ok: koheziv kırık

Mikrosızıntı testi

Fuji IX, Fuji IX+gümüş zeolit, ChemFlex ve ChemFlex+gümüş zeolit cam iyonomer simanlarının mikrosızıntı özelliklerinin değerlendirilmesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3. Okluzal kenardaki mikrosızıntı değerleri

Cam İyonomer Siman	n	Mikrosızıntı Değerleri			
		0	1	2	3
FUJİ IX	14	9	5	-	-
FUJİ IX+GÜMÜŞ ZEOLİT	14	11	3	-	-
CHEMFLEX	14	-	11	1	2
CHEMFLEX+GÜMÜŞZEOLİT	14	-	12	1	1

Grup 1’de kaviterlerin okluzal kenarlarında %64,28 oranında mikrosızıntı görülmezken, sadece %35,72 oranında mikrosızıntı görülmüştür (Resim 23).

Grup 2’de kaviterlerin okluzal kenarlarında %78,57 oranında mikrosızıntı görülmezken, sadece %21,43 oranında mikrosızıntı saptanmıştır(Resim 24). Grup 1 ve Grup 2’deki mikrosızıntının sadece 1. derece olduğu gözlenmiştir. Grup 3 ve Grup 4’de tüm kaviterlerin okluzal kenarlarında mikrosızıntı gözlenmiştir (Tablo 3) (Resim 25, 26).

Tablo 4. Gingival kenardaki mikrosızıntı değerleri

Cam İyonomer Siman	n	Mikrosızıntı Değerleri			
		0	1	2	3
FUJİ IX	14	9	4	1	-
FUJİ IX+GÜMÜŞ ZEOLİT	14	8	6	-	-
CHEMFLEX	14	-	5	3	6
CHEMFLEX+GÜMÜŞZEOLİT	14	-	1	6	7

Grup 1’de ve kaviteilerin gingival kenarlarında %64,28 oranında mikrosızıntı görülmezken, % 35,72 oranında mikrosızıntı görülmüştür (Resim 23). Grup 2’de kaviteilerin gingival kenarlarında %57,74 oranında mikrosızıntı görülmezken, %42,86 oranında mikrosızıntı saptanmıştır (Resim 24). Grup 3 ve Grup 4’de tüm kaviteilerin gingival kenarlarında mikrosızıntı gözlenmiştir (Tablo 4) (Resim 25, 26).

Okluzal ve gingival kenarda gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı Kruskal Wallis testi ile değerlendirildiğinde her iki bölgede de gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur ($p<0,05$).

Grup 1 ve Grup 2’de kaviteilerin okluzal ve gingival kenar mikrosızıntı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken ($p>0,05$), Grup 3 ve Grup 4 kaviteilerin okluzal ve gingival kenar mikrosızıntı değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur($p<0,05$).

Okluzal kenarda; Grup 1 ile Grup 2 ve Grup 3 ile Grup 4 arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değilken ($p>0,05$) Grup 1 ile Grup 3 ve Grup 2 ile Grup 4 arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ($p<0,05$) bulunmuştur.

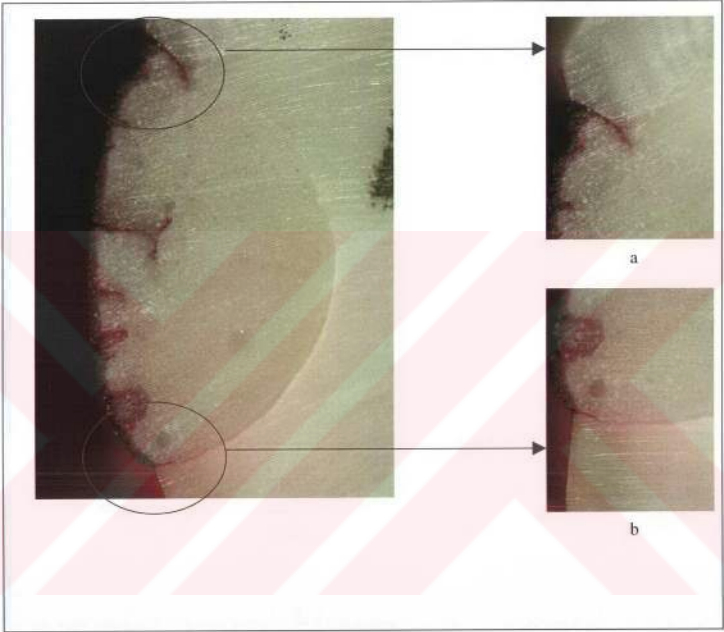
Gingival kenarda; Grup 1 ile Grup 2 ve Grup 3 ile Grup 4 arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değilken ($p>0,05$) Grup 1 ile Grup 3 ve Grup 2 ile Grup 4 arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık ($p<0,05$) bulunmuştur.



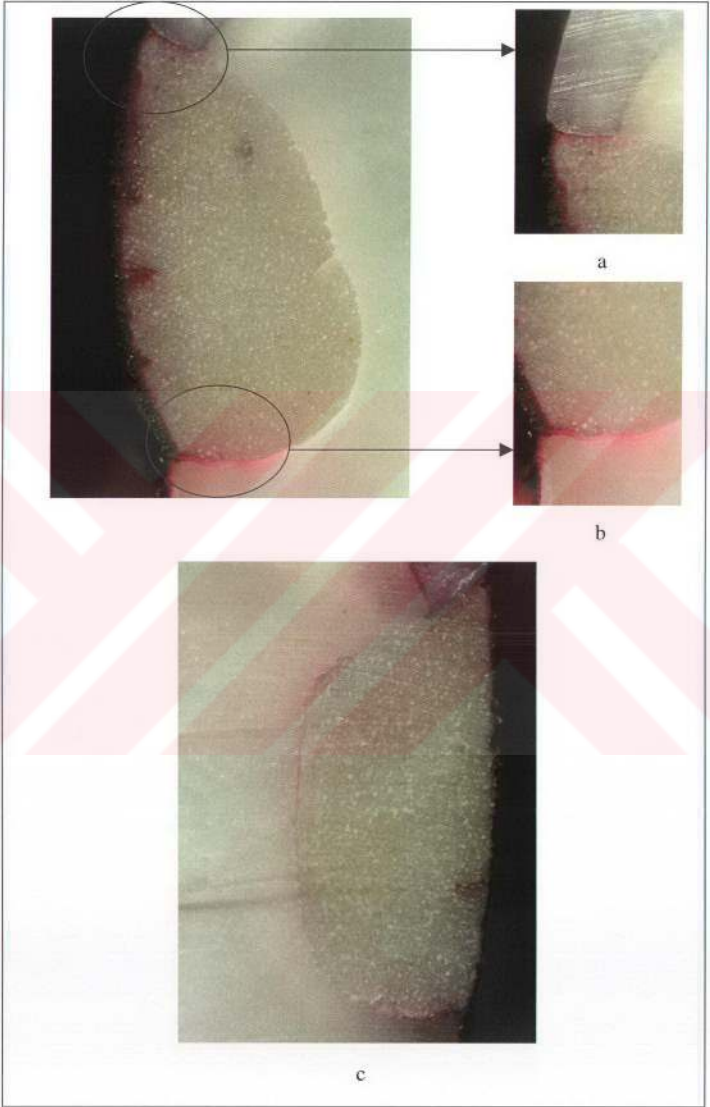
Resim 23. Fuji IX x40 büyütme a) x100 büyütmede okluzal kenarda 0
 b) x100 büyütmede gingival kenarda 0 c) x100 büyütmede okluzal kenarda 1
 d) x100 büyütmede gingival kenarda 1 değerlerinde mikrosızıntı skorları



Resim 24. Fuji IX+gümüş zeolit x40 büyütme a) x100 büyütmede okluzal kenarda 0
 b) x100 büyütmede gingival kenarda 0 c) x100 büyütmede okluzal kenarda 0
 d) x100 büyütmede gingival kenarda 1 değerlerinde mikrosızıntı skorları



Resim 25. ChemFlex x40 büyütme a) x100 büyütmede okluzal kenarda 1 b) x100 büyütmede gingival kenarda 1 değerlerinde mikrosızıntı skorları



Resim 26. ChemFlex+gümüş zeolit x40 büyütme a) x100 büyütmede okluzal kenarda 1 b) x100 büyütmede gingival kenarda 2 c) x40 büyütmede 3 değerlerinde mikrosızıntı skorları

TARTIŞMA

Restoratif dişhekimliği dolgu materyalinin uygulanmasından önce yumuşak, renklenmiş ve enfekte dentinin uzaklaştırılması temeline dayanmaktadır.¹⁴⁸ ART tekniği sosyo-ekonomik durumu gelişmemiş ülkelerde WHO'nun hedefleri doğrultusunda ağız diş sağlığının kazanılmasında önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca erken çocukluk çürüklerinin önlenmesi için gelişen ülkelerde de kullanım alanı bulmuştur.¹²⁹ Son dönemlerde erken çocukluk çürüklerini önlemek için özellikle Avustralya, Yeni Zelanda, İtalya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi gelişmiş ülkelerde kullanım alanında bir artış söz konusudur.^{105,108,126,128} Bu tekniğin uygulanması ile çocuklarda diş ile ilişkili psikolojik travmanın en aza indirgenmesi ve anestezi gerektirmemesinden dolayı meydana gelebilecek davranışsal problemlerin eliminasyonu sağlanmıştır.^{45,58,108} ART tekniği kullanılarak minimal düzeyde kavite hazırlanmaktadır. Mekanik retansiyon için sağlıklı diş dokularını içine alan bir kavite hazırlığı yapılmamaktadır. Restoratif materyal olarak kimyasal sertleşen CİS kullanılacağından ışık kaynağı gerekmemektedir. Ayrıca son on yılda CİS'lerde yapılan gelişmeler ve restoratif teknikteki değişiklikler operatif diş hekimliğinde CİS'lerin kullanımını arttırmıştır. Tüm bu nedenlerden dolayı okul diş ünitelerinde, mental-fiziksel özürlü ve yaşlılarda alternatif bir tedavi şekli olarak ART tekniği birlikte CİS kullanılmaktadır.^{35,36,55,56,58,70,108,130,160} ART tekniğinin en önemli dezavantajı dönen aletler kadar etkili bir çürük uzaklaştırma yapılamaması ve hekimin elinde yorgunluk meydana gelmesidir.⁵

Frecken ve arkadaşları,³⁷ ile Holmgren ve arkadaşları,⁵⁷ çeşitli CİS'lerin kullanıldığı tek yüzlü ART restorasyonlarında 3 yıl sonunda sırası ile %0,5 ve %1,5 oranında sekonder çürük görüldüğünü belirtmişlerdir. Mandari ve arkadaşları,⁷⁷ 6 yıllık ilk uzun dönem çalışmada düşük viskoziteli CİS'lerin kullanıldığı ART teknik ile geleneksel amalgam restorasyonları karşılaştırmışlardır. ART restorasyonlarında % 72,3 oranında başarı sağlanırken amalgam restorasyonlarda %72,6 oranında başarı sağlanmıştır. Ancak restorasyonlar sekonder çürük açısından değerlendirildiğinde ART teknikte %2 oranında sekonder çürük gözlenmiştir. Bununla birlikte Weerheijm ve arkadaşları,^{149,151} çürük yapıcı bakterilerin CİS altında uzun süre canlılıklarını sürdürebileceklerini ifade etmişlerdir. Bu nedenle ART tekniğinde kullanılan materyallerin antibakteriyel özelliklerinin çok iyi olması beklenmektedir. Aynı zamanda restoratif materyalin mekanik ve adeziv özelliklerinin geliştirilmesi ile de restorasyon altında kalan çürüğün ilerlemesi engellenebilir ve restorasyonun başarı şansı artırılabilir.^{11,129} Bu amaçla ART teknik için viskozitesi yüksek cam iyonomer simanlar geliştirilmiştir.^{62,127} Ancak bu cam iyonomer simanların remineralizasyon ve antibakteriyel özellikleri tartışılmaktadır.^{11,62,81} Cam iyonomer simanların antibakteriyel özelliğini, cam iyonomer simanlardan salınan florid iyon miktarının belirlediği, bununla birlikte kondanse edilebilir cam iyonomer simanların geleneksel cam iyonomerler göre ortama çok daha az flor iyonu saldıkları yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.^{29,62,127} Bununla birlikte yeni hazırlanmış bir CİS'nin sertleşme sürecini tamamlamış CİS'e göre ortama iki kat daha fazla flor salgı ifade edilmiştir.²⁹ Tobias ve arkadaşları,¹⁴⁰ CİS'lerin

bakteriyel büyümei inhi be ettiğini ancak bu inhibisyonun sertleşme öncesindeki düşük pH ve yüksek florid içeriğine bağı olabileceğini ifade etmişlerdir. Yap ve arkadaşları,¹⁵⁸ geleneksel CIS'lerin sertleştiklerinde antibakteriyel etkiye sahip olmadıklarını agar difüzyon testi ile göstermişlerdir. Bu nedenle daha uzun dönemde antibakteriyel etki sağlamak için pek çok antibakteriyel ajan ve/veya materyalin cam iyonmer siman ile kombine kullanılması önerilmektedir. Mazzaoui ve arkadaşları,⁸¹ Fuji IX'un çürük önleyici özelliğini arttırmak için içerisine %1,56 oranında "Casein Phosphopeptide-Amorphous Calcium Phosphate" eklemişler ve fiziksel ve kimyasal özelliklerini değerlendirmişlerdir. Botelho,¹¹ Fuji IX içerisine çeşitli konsantrasyonlarda "chlorhexidine, cetylpyridinium chloride, cetrimide ve benzalkonium chloride" ilave etmiş ve antibakteriyel özelliklerini değerlendirmişlerdir. Ayrıca araştırmacı çalışmasında kontrol grubu olarak kullandığı Fuji IX'un antibakteriyel özellik göstermediğini belirtmiştir.

Son dönemlerde geniş bir antibakteriyel etkisi olan ve diş hekimliği materyalleri ile birlikte kombine kullanıma giren gümüş zeolit, cam iyonmer simanlar ile birlikte kullanılmaktadır. Gümüş zeolitler, içerisindeki gümüş iyonlarını yavaş ve devamlı bir şekilde ortama salan, uzun dönem yapısal stabilite gösteren ve geniş bir zaman aralığında antimikrobiyal aktivitesini devam ettirebilen pöröz seramik (alüminasilikat) materyallerdir.¹⁰¹ Kawahara ve arkadaşları,⁶⁵ gümüş zeolitın patojenik mikroorganizmaları inhi be etme özelliğinden dolayı dişhekimliği alanında kullanımının yararlı olacağını

belirtmişlerdir. Ayrıca zeolitin güvenli bir materyal olduğu ve diş macunlarında polisaj patı olarak kullanılmaya başlandığı, gümüşün doku üzerine herhangi bir toksik etkisi olmadığı, antibiyotiklere çapraz direnç göstermediği ve gümüşe karşı mikrobiyal direnç gelişmediği ifade edilmiştir. Bu nedenlerden dolayı gümüş zeolitin dişhekimliği materyallerine antibakteriyel aktivite sağlamak için kullanışlı bir ajan olduğu bildirilmiştir.

Cam iyonomer siman çalışmalarında gümüş zeolit genellikle kanal içi cam iyonomer simanlar içerisine eklenerek kombine kullanılmıştır. Bu çalışmalarda 4A tip sentetik bir gümüş zeolit olan Zeomic®* Ketac-Cem** ile karıştırılarak deneysel olarak bir cam iyonomer siman elde edilmiş ve ZUT olarak isimlendirilmiştir.^{21,101,138}

Patel ve arkadaşları,¹⁰¹ Gümüş zeolit, cam iyonomer siman içerisine %0,2, %2 ve %20 oranlarında eklendiğinde, cam iyonomer simanın antibakteriyel özelliğinde bir artış olduğunu ancak gruplar arasında uzun dönemde bir farklılık gözlenmediğini bu nedenle en düşük miktarda gümüş zeolit eklenmesinin etkili olabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca düşük oranda gümüş zeolit ilavesinin cam iyonomer simanın hem fiziksel hem de adezyon özelliklerinde olası değişiklikleri

* Sinanen Zeomic Company, Ltd, Nagoya, Japan

** ESPE Dental-Medizin BmbH & Co KG, Seefeld, Germany

en aza indireceği ifade edilmiştir. Hotta ve arkadaşları,⁶⁰ bakteriyel inhibisyon derecesinin materyalin içerisindeki gümüş zeolit miktarına bağlı olmadığını en düşük oranlarda bile inhibisyon derecesinin arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca Abe ve arkadaşları,² %0,2 gümüş zeolit içeren doku düzenleyicisi ile yaptıkları çalışmada test edilen birkaç mikroorganizma hariç genelde tüm mikroorganizmalara karşı bir antibakteriyel etki bulmuşlardır. Bu nedenle çalışmamızda kullanılmak üzere ART teknik için özel olarak üretilmiş Fuji IX ve ChemFlex cam iyonomer simanlar içerisine ağırlığının %0,2'si oranında gümüş zeolit ilave ederek deneysel amaçla iki farklı cam iyonomer siman hazırlanmıştır.

Literatür taramalarında antibakteriyel gümüş zeolitinin restoratif amaçla kullanılan bir CİS ile kombine kullanımına ilişkin bir bilgiye ulaşılamamıştır. Bu bakımdan araştırma orijinal bir özellik göstermektedir.

Geleneksel CİS'lerin sitotoksik özelliklerinin materyalin poliakrilik asit, itakonik asit, tartarik asit içeriğine bağlı olarak değişebileceği belirtilerek diğer CİS'ler ile karşılaştırıldığında sitotoksitenin en az geleneksel CİS'lerde bulunduğu ifade edilmiştir.⁶⁹ Thom ve arkadaşları,¹³⁸ gümüş zeolitinin biyolojik güvenilirliğini test ettikleri çalışmada, gümüş zeolit içeren CİS'in hemolitik ve sitotoksik özelliklerinin değişmediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca gümüş zeolit içermeyen CİS'ler ile de benzer sonuçlar bulmuşlardır.

Cam iyonomer simanın tozu ile gümüş zeolit karıştırıldığında zeolitin seramik iskelet yapısı ve cam iyonomer likiti arasında sertleşme sürecinde bir bağ formasyonu meydana geldiği ifade edilmektedir.¹³⁸

Bir materyalin dişe bağlanma kuvveti ve sızıntı özelliği restorasyonun başarısını etkileyen önemli faktörler olması nedeniyle özellikle pediatrik diş hekimliği pratiğinde kullanılan materyallerin kaviteye çabuk ve kolayca yerleştirilmeleri, ideal klinik şartların sağlanamadığı durumlarda bile diş yapılarına bağlanmaları ve en düşük mikrosızıntı skorlarına sahip olması beklenmektedir. Makaslama ve mikrosızıntı testleri diş yapılarına bağlanan materyallerin *in vitro* değerlendirmelerinde en sık kullanılan test metotlardır ve restoratif sistemi değerlendirmede kullanılan önemli iki parametredir.^{30,52,100,110,142} Bu nedenle çalışmamızda kullanılan materyaller mikro-makaslama ve mikrosızıntı testleri ile değerlendirilmişlerdir.

Cam iyonomer simanlar dentine fiziksel ve kimyasal olarak bağlanabilmektedir. Fiziksel bağ düzensiz diş yüzeyine CİS'in mikromekanik olarak tutunması ile gerçekleşirken, CİS'in diş yapısı ile meydana getirdiği kimyasal bağlanmanın şekli tam açıklanamamakla birlikte poliakrilat iyonlarının hidroksiapatit kristal yüzeyindeki kalsiyum ve fosfat iyonları ile yer değiştirerek geri dönüşümsüz bir bağ meydana getirdiği bildirilmektedir.^{21,43,88,135,156} Bu etkileşim sonucu başlangıçta zayıf hidrojen bağları oluşurken ilerleyen sürede daha kuvvetli iyonik bağlar meydana gelmektedir.^{134,135}

Pek çok faktörün bu bağlanma kuvvetini etkileyebildiği, bunlardan bir tanesinin diş yapısı olduğu bilinmektedir. Teorik bilgiler ve deney sonuçları minenin dentine göre çok daha fazla adezyona direnç gösterdiğini belirtmektedir. Mine homojen bir yüzey ve yüksek yüzey enerjisine sahiptir. Dentin ise heterojen bir yüzey alanına ve %30 organik yapı ile birlikte düşük yüzey enerjisine sahip tübüler özellikte bir yapıdır. Bu durum mine ve dentin arasındaki bağlanma kuvveti yönünden farklı sonuçları oluşturmaktadır.^{97,103} Çalışmamızda ART tekniğinde kullanılan CİS'lerin dentin yüzeyine bağlanma kuvvetleri ve bu simanlara eklenen gümüş zeolit tozunun bağlanma kuvvetini etkileyip etkilemediği mekanik stres testi ile araştırılmıştır.

Diş hekimliğinde kullanılan stres testleri, ağız içerisinde restoratif materyale gelen kuvveti laboratuvar ortamında taklit etmektedirler.¹⁰³ Diş yapılarına bağlanmayı değerlendirmek için makaslama, gerilme, mikro-gerilme ve mikro-makaslama gibi çeşitli test teknikleri kullanılmaktadır. Diş bağlanma kuvvetini test etmek için bir standart bulunmamasına rağmen özellikle bazı test yöntemlerine ilginin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte doğru, güvenilir ve kolaylıkla kullanılabilen farklı test metotlarının araştırmacılar tarafından geliştirilebileceği de belirtilmektedir.^{15,68,82,121} Makaslama ve gerilme stres testleri dentin ve mine bağlanma kuvvetini değerlendirmede en çok kullanılan metotlardır.^{15,52,82,104,106,107,135} Bu testler ile bağlanmanın koptuğu andaki her birim alana gelen yük miktarı ölçülmektedir. Nominal bağlanma kuvveti, uygulanan maksimum kuvvetin bağlı bulunan yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanır.¹⁴⁶

Makaslama testi baştan sona basit yöntem kullanılarak gerçekleştirildiğinden geniş bir kullanıma sahiptir. Makaslama testinde önce materyal diş dokusuna uygulanmakta ve diş ile materyal arasında bir bağ meydana gelmektedir. Arkasından materyal ve diş arayüzüne fraktür meydana gelinceye kadar makaslama kuvveti uygulanmaktadır. Örnek hazırlamanın kolay oluşu ve basit test protokolü makaslama testinin avantajları arasındadır. Ancak bu teknikte hazırlanan örnekler arasında farklılıkların meydana geldiği, bu nedenle diş ile materyal arasındaki bağlanma kuvvetinin net bir şekilde değerlendirilemeyeceği bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir.^{15,82} Bu problem Sano ve arkadaşları,¹¹⁹ tarafından “micro-bond” test tekniğinin geliştirilmesi ile bir miktar çözülmüştür. “Micro-bond test” çok küçük yüzey alanlarında gerçekleştirilmektedir. Buna bağlı olarak materyal ve diş arasında çok az defekt meydana geldiği, bir diştten pek çok örnek elde edildiği ve böylece örneklerin çok daha iyi bir şekilde karşılaştırıldığı ifade edilmektedir.^{15,119,135}

“Micro-bond” testinin geliştirilmesinden sonra makaslama ve gerilme test metodları mikro-makaslama ve mikro-gerilme test metodları haline gelmiş ve pek çok test yapılmıştır. Ancak mikro-gerilme testinde küçük örnek hazırlamak için örneklerin torna işlemi ile kırılmasının zorunlu bir basamak olduğu bildirilmektedir.^{64,119} Ayrıca örneklerin torna işlemi esnasında materyal ve diş arasında prematür ayrılmalar sıklıkla görülebileceğinden dolayı dentine bağlanma değeri nispeten düşük materyallerin (5-7 MPa) bu teknikte değerlendirilmesinin uygun olmadığı ifade edilmektedir.^{99,165} Ancak Yip ve arkadaşları,¹⁶⁵ mikro-

gerilme test tekniğinde tornada kırpma işlemi gerektirmeyen “non-trimming” metodunun günümüzde kullanılan viskozitesi yüksek CİS’ler için uygun olabileceğini ve bağlanma yüzeyine çok daha az stres uygulanacağını ifade etmişlerdir. Shimada ve arkadaşlarına,¹²² göre mikro-makaslama testinde ise küçük örneklerin hazırlanması için böyle bir kırpma işlemi gerekli değildir ve bir dişten pek çok örnek kolayca hazırlanabilmektedir.

Örneklerin silindir şeklinde hazırlanması test boyunca meydana gelen yükün materyal ve diş arasındaki bağlanma alanında daha iyi bir şekilde dağılmasını sağlamaktadır.¹⁵ Phrukkanon ve arkadaşları,¹⁰⁷ 1.1, 1.5 ve 3.1 mm² yüzey alanlarına sahip silindirik ve dikdörtgen örneklerin bağlanma yüzey alanına ve bağlanma kuvvetine etkilerini araştırmışlardır. Sonuçta silindirik örneklerin dikdörtgen örneklere göre daha hassas sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca örneklerin şeklinden çok yüzey alanlarının küçük boyutta hazırlanmasının daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Küçük yüzey alanları kullanılarak örnek hazırlandığında bağlanma kuvvetinin arttığı bazı çalışmalarla gösterilmiştir. Hatta bağlanma yüzey alanı küçüldükçe bağlanma kuvveti de buna paralel olarak artmıştır. Bu artışın, her bir örneğin bağlanma aralığında meydana gelebilecek defekt miktarındaki azalmaya bağlı olduğu, ayrıca yüzey alanı küçük örneklerin hazırlanmasının bağlanmada yırtıklara yol açan ve başlangıç kırık alanı olarak rol oynayan stres noktalarını azaltacağı ifade edilmektedir.^{15,106,107,119} Bu yüzey alanı büyük örneklerin neden düşük streslerde kırıldığını açıklamaktadır. Pashley ve arkadaşları,¹⁰⁰ örneklerin küçülmesi ile daha uygun bir stres dağılımı olacağını bu

nedenle de gerçek bağlanma değerlerine daha yakın sonuçlar elde edilebileceğini ifade etmişlerdir. Phrukkanon ve arkadaşları,¹⁰⁷ sonlu element analiz (FEA) metodu kullanarak yaptıkları stres dağılımında, silindirik örneklerin bağlanma yüzey alanı boyunca stres dağılımlarının dikdörtgen örneklere göre daha iyi olduğunu, stres dağılımının silindirik örneklerde bağlanma alanı periferinde yoğunlaştığını, dikdörtgen örneklerde ise bu yoğunlaşmanın köşelerde ve yüzeyin merkezinde olduğunu ifade etmişlerdir. Bu nedenle teorik olarak dikdörtgen örneklerden sağlanan bağlanma kuvvetlerinin, silindirik örneklere oranla önemli derecede düşük olabileceği ifade edilirken pratikte çok az bir fark bulduklarını bunun da istatistiksel olarak önemli olmadığını belirtmişlerdir.

Bu değerlendirmeler sonucunda çalışmamızda mikro-makaslama yöntemi kullanılarak dentin yüzeyinde silindirik CİS örnekler hazırlanmıştır.

Laboratuvar test değerlerinin pek çok farklı parametreden etkilendiği, bu konuda öncelikle örneklerin şeklinin, dentin özelliklerinin, örneklerin hazırlanması, örnekleri saklama koşulları ve cihazın örnekleri çekme hızı gibi konularda standardizasyon eksikliği olduğu ileri sürülmektedir.⁵²

Bağlanma kuvvetlerindeki değişken değerler sadece materyale ve test tekniğine bağlı olmamakla birlikte dentin derinliği, kalsiyum konsantrasyonu ve nem gibi bir çok faktöre de bağlı olabilmektedir. Pulpaya yaklaştıkça dentine bağlanma kuvvetinin azalacağı hatta yüzeyel dentin tabakası derin dentin tabakası

ile karşılaştırıldığında yüzeyel dentin tabakasının iki kat daha fazla bağlanma kuvveti gösterdiği, ayrıca kalsiyum konsantrasyonu ve dentin derinliği arasında bağlanma kuvveti açısından önemli bir ilişki olduğu ifade edilmektedir.^{95,104,106,119} Buna karşın Causton,¹⁹ kalsiyum konsantrasyonu ile dentin kalınlığı arasında bir bağlantı olmadığını ve bağlanmada kalsiyum iyon konsantrasyonunun çok önemli olmadığını ifade etmiştir. Burrow ve arkadaşları,¹⁴ yaptıkları çalışmada dentin derinliğinin bağlanma kuvveti üzerine etkisi olmadığını göstermişlerdir. Bağlanma kuvvetini etkileyen esas nedeni dentinin su içeriğine bağlamışlardır. Çalışmamızda her diştten bukkal-lingual yönde 1mm kalınlığında ortalama 3-4 kesit alınmış ve CİS bu kesitlerde dentinin orta 1/3'üne yerleştirilmiştir. Böylece örnekler arasında dentin derinliği ve yapısal farklılığa bağlı olarak meydana gelebilecek farklı bağlanma dayanımı değerlerinin oluşması elimine edilmeye çalışılmıştır.

Dentin yüzeyinin hazırlanması *in vitro* çalışmalarda önemli bir noktadır. Kesit alma işleminde kullanılan elmas bıçaklar dentin yüzeylerinde smear tabaka oluşturmaktadır. Bu nedenle, standart bir yüzey ve smear tabaka oluşturmak amacı^{15,53} ile dentin yüzeyleri sırası ile 800, 1000, 1200 ve 2400 gritlik zımpara ile düzgün hale getirilmiştir.

Diş yüzeyine uygulanan düzenleyicinin bağlanma kuvvetini etkilemesi bir diğer faktördür. İlk kez Powis ve arkadaşları,¹⁰⁹ tarafından kimyasal olarak sertleşen CİS'in dişe bağlanmasını geliştirmek için önerilen poliakrilik asit düzenleyici olarak çok geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Poliakrilik asit çeşitli

hidrojen bağ formu yapabilen çok sayıda fonksiyonel karboksil iyon grubu içermektedir. Geleneksel CİS'ler smear tabaka varlığında bile mineye bağlanabilmektedir, ancak düzenleyicilerin bu bağlanma kuvvetini artırdığı ifade edilmektedir.¹³⁴ Pek çok CİS üretici firma smear tabakanın kaldırılması için poliakrilik asit kullanımını önermektedir, ancak poliakrilik asitin optimal konsantrasyonu konusunda tam bir anlaşma sağlanamamıştır.⁵³ Bu çalışmada, smear tabakayı uzaklaştırarak altındaki dentini açığa çıkarmak, temas alanını ve yüzey nemliliğini arttırmak, dentindeki kalsiyum ve fosfat iyonlarının ön aktivasyonunu sağlamak ve fazla kalsiyum ve fosfat iyonlarını uzaklaştırarak gereksiz bir bağ oluşumunu engellemek için^{43.88.103.135.137} üretici firmaların önerileri doğrultusunda Grup 1 ve Grup 2'de %20, Grup 3 ve Grup 4'de %10 poliakrilik asit içeren düzenleyiciler kullanılmıştır. Çalışmamızda Grup 1 ve Grup 2 için 10sn, Grup 3 ve Grup 4 için ise 15sn düzenleyici uygulanmıştır. Bu işlemin sadece smear tabakayı uzaklaştırdığı ancak dentin tübüllerini açığa çıkarmadığı ve diş yüzeyinde demineralizasyona neden olmadığı bazı çalışmalar ile gösterilmiştir.^{9,10} Genellikle düzenleyicinin dentine bağlanma kuvvetini arttırdığı ifade edilmekle birlikte Tanumiharja ve arkadaşları,¹³⁵ Fuji IX için düzenleyici uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin bağlanma kuvvetinde önemli derece farklılık olmadığını ifade etmişler ve bunu CİS'in karboksilik asit kopolimerleri içermesine bağlamışlardır. Hewlett ve arkadaşları,⁵³ %10, %25, %40 ve %48 olmak üzere 4 farklı konsantrasyonda poliakrilik asit (PAA) konsantrasyonunun geleneksel bir cam iyonomer olan Fuji II'nin makaslama bağlanma kuvvetini etkilemediğini, bununla birlikte CİS'in yerleştirilmesinden önce %10 PAA'nın 20

sn yüzeye pamuk ile uygulanmasının restoratif materyale bağlı olmaksızın en iyi makaslama kuvveti sonucunu verdiğini bildirmişlerdir.

CİS'in fiziksel özellikleri en çok toz:likit oranından etkilenmektedir.¹⁸ Toz oranının artması ışık geçirgenliğini, çalışma zamanını ve sertleşme süresini azaltırken bağlanma kuvvetini arttırmaktadır.¹⁰³ Bu nedenle tüm örneklerin hazırlanmasında üretici firmanın belirttiği toz:likit oranı kullanılmıştır.

Kaviteye henüz yerleştirilmiş bir CİS erken dönemde likitlerle temasının klinik performansını olumsuz yönde etkileyebileceği, direncini ve sıkıştırma kuvvetini düşürebileceği ve sertleşen matriksin hidrasyon derecesini azaltabileceği bildirilmektedir. Bu problemlerin üstesinden gelmek ve erken dönemde su temasını engellemek için vernik, vazelin ve ışıkla sertleşen bonding rezinlerin materyalin yüzeyine başlangıç sertleşme reaksiyonunun hemen sonrasında uygulanması gerektiği ifade edilmektedir.^{70,85} Bu doğrultuda çalışmamızda CİS dentin yüzeyine yerleştirildikten sonra yüzeyler vernik ile kaplanmıştır.

Cam iyonomer simanın bağlanma testini uygulamadan önce örneklerin su içerisinde bekletilme süresi sonuçlar açısından önem taşımaktadır. Cam iyonomer simanlar genellikle sertleşme reaksiyonu başlangıcından 24 saat sonra test edilmişlerdir.^{18,143} Pereira ve arkadaşları,¹⁰³ Fuji Plus, Fuji IX, Ketac-Molar ve Ketac-Fil cam iyonomer simanlarını 1saat, 24 saat ve 7 gün sonunda gerilme

kuvveti ile değerlendirmişlerdir. Yüksek viskoziteli Fuji IX ve Ketac-Molar CİS'lerinin en yüksek bağlanma değerlerini 24 saatin sonunda verdiklerini göstermişler. Ayrıca bazı araştırmacılar materyallerin çoğunun bu süre içerisinde maksimum bağlanma kuvvetine ulaşmadığını ifade etmişlerdir.¹⁸ Mitra ve Kedowski⁸⁴ geleneksel tip II CİS'leri ve kermet simanları kullanarak hazırladıkları örnekleri 24 saat, 1, 4, 12, 24 ve 52 hafta 37°C'de distile su içerisinde beklettikten sonra sıkıştırma ve gerilme kuvvetini karşılaştırdıkları çalışmalarında geleneksel CİS'lerin hiçbirinde 52 hafta sonunda sıkıştırma ve gerilme kuvveti değerlerinde azalma meydana gelmediğini ifade etmişlerdir. Ayrıca bu zaman aralıklarında elde edilen gerilme değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır. Bununla birlikte ISO CİS'in fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması için 24 saat beklenmesi gerektiğini bildirmiştir.¹⁸ Bu değerlendirmelerin sonucunda çalışmamız için örnekler hazırlandıktan sonra oda sıcaklığında 24 saat distile su içerisinde bekletilmiş arkasından mikro-makaslama testi uygulanmıştır.

Bağlanma kuvvetini etkileyen bir diğer faktör ise cihazın örnekleri çekme hızıdır. Makaslama kuvvet testinde ISO cihazın hızının $0,75 \pm 0,30$ mm/dak olması gerektiğini belirtmiştir.¹¹⁰ Bununla birlikte makaslama testi boyunca yüksek hız uygulanmasının anormal stres dağılımına neden olacağı, diş ile materyal arasında gözlenen koheziv kırığın artacağı ve elde edilen bağlanma değerlerini etkileyeceği belirtilmektedir.⁵² Bu değerlendirmenin paralelinde çalışmada cihazın hızı 1.00mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır.

1994 yılında makaslama test metodu için bir ISO standardı belirlenmiş olmasına rağmen bu standart çok fazla tanınmamıştır. Bu araştırmacıların bağımsız yaklaşımlarının, ISO standartları hakkında sınırlı bilgiye sahip olunmasından ve bu bilgilere erişim zorluğundan kaynaklandığı ifade edilmektedir.¹⁴⁶ Bu konu ile ilgili yapılan pek çok çalışmada bir standardizasyon olmadığından çalışmanın sonuçlarını diğer çalışmalarla karşılaştırmak oldukça zordur. Çalışmaların sonuçlarının farklı metodolojik çalışmalar ile karşılaştırılması durumunda dikkatli olunması gerektiği ifade edilmektedir.^{52.103.146} Fowler ve arkadaşları,³¹ ile Qilo ve Austrheim,⁹⁴ makaslama ve gerilme test metodu ile elde edilen bağlanma kuvvetlerinin istatistiksel olarak farklı olmadığını ifade ederlerken, Kitasako ve arkadaşları,⁶⁷ makaslama ve gerilme test tekniği karşılaştırıldığında rezin simanın dentine bağlanma kuvvetinde önemli derecede farklılık olduğunu belirtmiştir.

Tanumiharja ve arkadaşları,¹³⁵ rezin ve geleneksel CİS'in yüzeyel dentine bağlanma kuvvetini mikro-gerilme kuvvet testi ile 4 farklı düzenleyici kullanarak değerlendirmişlerdir. $1,2 \pm 0,02$ mm çapında hazırlanan silindir şeklindeki örnekleri 37°C'de 24 saat musluk suyunda beklettikten sonra 1mm/dak çekme hızı uygulamışlardır. %20 poliakrilik asit içeren kavite düzenleyici uygulanan Fuji IX için ortalama 10,8 MPa, %10 poliakrilik asit içeren dentin düzenleyici için ortalama 8,5 MPa ve kavite düzenleyici uygulanmamış Fuji IX için ortalama 7,5 MPa bağlanma değeri bulunmuştur. Araştırmacılar Fuji IX için, düzenleyici uygulanmış ve uygulanmamış örneklerin bağlanma kuvvetinde önemli derece

farklılık olmadığını ifade etmişler ve bunu CİS'in karboksilik asit kopolimerleri içermesine bağlamışlardır.

Thean ve arkadaşları,¹³⁷ Fuji II LC (rezin modifiye) ve Fuji IX (geleneksel) CİS'lerin süt ve daimi dişlere makaslama bağlanma kuvvetini değerlendirdikleri çalışmalarında dentin yüzeyine düzenleyici uygulandıktan sonra 3mm çapında 2 mm yüksekliğinde silindir şeklinde CİS örnekler hazırlamışlardır. Takiben 24 saat distile suda bekletilen örnekler Instron test cihazında 0,5mm/dak'lık çekme hızı uygulamışlardır. Çalışmanın sonucunda süt dişlerinde Fuji IX için ortalama 6,95 MPa bağlanma kuvveti elde etmişlerdir. Bu değer çalışmamızın Fuji IX ile hazırlanan örneklerin sonucu ile karşılaştırıldığında bazı araştırmacıların^{106.119} bağlanma yüzey alanı küçüldükçe bağlanma kuvveti de buna bağlı olarak artacaktır savını desteklemektedir. Ayrıca araştırmacılar süt ve daimi diş dentini arasındaki mineral içerik ve kompozisyon farklılıklarının restoratif materyalin makaslama bağlanma kuvvetini etkilemediğini ifade etmektedirler.

Yip ve arkadaşları,¹⁶⁵ ART teknikte kullanılan visközitesi yüksek üç farklı CİS'in koronal dentine bağlanmalarını mikro-gerilme testi ile değerlendirmişlerdir. Örneklerde ortalama koronal dentine bağlanma değerlerini Fuji IX için 12,4 MPa, ChemFlex için 15,0 ve Ketac-Molar Aplicap için 11,4 MPa bulmuşlardır. Bu değerler çalışmamız sonucunda Fuji IX ve (9,6 MPa) ChemFlex (5,3 MPa) için elde ettiğimiz değerlerden ve bazı makaslama ve gerilme testi değerlerinden oldukça yüksek bulunmuştur. Sonuçlar arasındaki farkın nedeni

örneklerin dikdörtgen şeklinde hazırlanması ve farklı test tekniğinin kullanılması olabileceği düşünülmektedir.

Burrow ve arkadaşları,¹⁵ süt ve daimi dişlerde CİS ve rezin bazlı dentin adezivlerin bağlanma kuvvetini mikro-gerilme testi ile karşılaştırdıkları çalışmalarında $1,2 \pm 0,02$ mm çapındaki örneklere 1 mm/dak hızla çekme kuvveti uygulamışlardır. Süt dişi yüzeyel dentininde Fuji IX ortalama bağlanma değerini $9,7 \pm 3,0$ MPa bulmuşlardır. Bu çalışmanın sonucunda kavite düzenleyici uygulanan Fuji IX bağlanma değeri mikro-makaslama testi uygulayarak çalışmamız sonucunda elde edilen Fuji IX ($9,6 \pm 2,1$ MPa) bağlanma değerine oldukça yakın bulunmuştur. Bu değerlerin birbirine yakın olması uygulanan stres testinin farklı olmasına rağmen hazırlanan örneklerin şekillerinin, suda bekletme süresinin ve cihazın çekme hızının aynı olmasıyla açıklanabilir.

Chung ve arkadaşları,²¹ kök kanal dolgu patı olarak kullanılan Ketac-Endo'nun deneysel amaçla hazırlanmış KT-308 ve %0,2 oranında gümüş zeolit ile CİS kombinasyonu olan ZUT'un (KT-308+%0,2 gümüş zeolit) sığır dişi yüzeyel dentinine bağlanmasını makaslama test tekniği ile değerlendirmişlerdir. Ketac-Endo'nun KT-308 ve ZUT'a göre düşük bağlanma değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışmamızda bağlanma kuvveti değerleri açısından Grup 1 Fuji IX ve Grup 2 Fuji IX+gümüş zeolit ile Grup 3 ChemFlex ve Grup 4 ChemFlex+gümüş

zeolit karşılaştırıldığında aralarında anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca Fuji IX içerisine eklenen gümüş zeolitin dentin yüzeyine makaslama bağlanma değerlerini azaltması istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p<0,05$), ChemFlex'in ise makaslama bağlanma değerini azaltması istatistiksel olarak anlamlı ($p>0,05$) bulunmamıştır.

Yapılan çalışmalarda kopma tipi ve bağlanma kuvveti değerleri arasında direk bir ilişkinin bulunmadığı ve sadece bağlanma kuvveti değerlerinin materyal hakkında yeterli bilgi veremeyeceği ifade edilmektedir.¹²⁴ Bu nedenle mikro-makaslama testi sonrasında meydana gelen kopma tipi SEM ile değerlendirilmiştir.

Geleneksel makaslama ve gerilme testleri uygulandığında genellikle bağlı yüzeylerde koheziv başarısızlık meydana gelmektedir. Bu sonuçların materyalin gerçek bağlanma kuvvetinin değerlendirilmesinde yetersiz kaldığı ifade edilmektedir.^{26,104} Sano ve arkadaşları,¹¹⁹ geliştirdikleri küçük yüzey alanlarının kullanıldığı “micro-bond” metodu ile materyal ile diş arasında meydana gelen bağlanma potansiyelinin değerlendirilmesi ile daha çok veri elde edilmesinin mümkün olduğunu vurgulamışlardır. Hazırlanan örneklerin küçük olmasından dolayı materyal içerisinde meydana gelebilecek koheziv çatlakların en aza ineceği ve meydana gelen kopmanın genellikle materyal ve diş arasında adeziv bir kopma olacağı ifade edilmektedir.^{15,106} Bu çalışmamızın sonuçları değerlendirildiğinde 0,8mm çapında hazırlanan örneklerin oluşturduğu hiçbir grupta koheziv kopma

görülmemesinin nedenini açıklamaktadır. Bu durum seçilen yöntemin diş ile CİS arasındaki bağlanma kuvvetinin net bir şekilde değerlendirilmesini sağlamıştır. Phurukkanon ve arkadaşları,¹⁰⁶ 1.2, 1.4 ve 2.0mm çapındaki silindirik rezin örnekleri hem mikro-makaslama hem de mikro-gerilme test metodu ile değerlendirmişlerdir. 1.2 ve 1.4 mm çapındaki örneklerde %70 oranında adeziv kopma meydana gelmiş ve hiç birinde koheziv kopma gözlenmemiştir. 2.0mm çapındaki örnekler için ise gerilme testi uygulanan grupta koheziv kopma görülmezken, makaslama testi uygulanan grupta hem karışık hem de koheziv kopma meydana gelmiştir. Ayrıca küçük yüzey alanları daha büyük bağlanma kuvveti değerlerine sahipken makaslama ve gerilme kuvveti sonuçları benzer bulunmuştur. Yip ve arkadaşları,¹⁶⁵ dikdörtgen şeklindeki CİS örneklerde mikro-gerilme testi sonrasında genelde adeziv ve karışık kopmanın meydana geldiğini bunun yüzey alanının küçük olması ile bağlantılı olduğunu ifade etmişlerdir. Buna karşın Burrow ve arkadaşları,¹⁵ 1,2 mm çapındaki CİS örneklerde gerçekleştirdikleri mikro-gerilme testi sonrasında genellikle koheziv kopma meydana geldiğini, adeziv kopma gözlenmediğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar CİS içerisinde stres noktası olarak rol oynayabilecek çok sayıda hava kabarcığının bulunabileceğini, bunun neticesinde de koheziv kopmanın en genel kopma tipi olarak görülebileceğini belirtmişlerdir.

Çalışmamızda, genellikle adeziv ve karışık tipte kopmanın meydana geldiği görülmektedir. Bu sonuç tüm gruplardaki CİS örneklerin kendi iç koheziv

kuvvetlerinin materyal ve dentin arasındaki adezyon kuvvetinden daha yüksek olduğunu göstermektedir.^{124,137}

CİS'in SEM değerlendirmesi için genellikle örnekleri kırma ve asit-baz uygulanması gibi iki farklı örnek hazırlama tekniği kullanılmaktadır.^{15,92,134,161} Çalışmamızda gerek kolay oluşu, gerekse özel ekipman gerektirmemesinden dolayı CİS-dentin arayüzünün SEM'de değerlendirilmesi amacı ile örnekler bağlanma yüzeyine doğru kırılmıştır.

Çalışmamızda Grup 1 ve Grup 2'de meydana gelen koheziv kırık boyutlarının Grup 3 ve Grup 4'e oranla daha fazla olduğu görülmektedir.

Cam iyonomer siman ve diş dokusu arasında gelişen iyonik tabaka ilk olarak Hotz ve arkadaşları tarafından gösterilmiştir. Bu tabakanın poliakrilat iyonlar ile diş dokusundan difüze olan fosfat ve kalsiyum iyonları arasındaki yer değiştirme ile meydana geldiği ve bu ara tabakanın varlığının SEM değerlendirmesi için gereken kurutma işleminden sonra diş yüzeyinde kalan siman ile gösterilebileceği ifade edilmiştir.⁴⁸ Aynı zamanda dentin düzenleyici uygulanan kavitelere diş sert dokuları ile CİS arasında çok yakın bir ilişki olduğunu gösteren bu tabaka interdiffuzyon alan olarak adlandırılmaktadır.¹⁶¹

Burrow ve arkadaşları,¹⁵ geleneksel CİS (Fuji IX), rezin modifiye CİS ve rezin esaslı dentin adeziv materyallerin dentin arayüzünü FE-SEM (field emission electron microscopy) ile gözlemlemiştir. Düzenleyici uygulanarak

yerleştirilmiş rezin modifiye CİS ile dentin arasında çok net belirlenememekle birlikte rezin esaslı dentin adeziv materyallere benzer çok ince bir hibrit tabaka oluştuğunu ifade etmişlerdir. Geleneksel CİS için ise farklı alanın meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Ferrari ve Davidson,²⁸ bu farklı alanı ince bir hibrit tabaka olarak yorumlamışlardır. Tanumiharja ve arkadaşları,¹³⁴ FE-SEM ile düzenleyici uygulanmayan CİS (Fuji IX) ve diş yapısı arayüzünü değerlendirdikleri çalışmalarında iyi bir adaptasyon alanı bulunduğunu göstermişlerdir. Aynı zamanda bu alanın “ion change layer”, “hibrid-like layer” ve “acid-base resistant layer (ABR)” olarak adlandırıldığını ifade etmişlerdir. Yılmaz ve arkadaşları,¹⁶¹ geleneksel SEM ve asit-baz tekniği kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında düzenleyici uygulanan dentin ve geleneksel CİS (Fuji IX) arasında interdifüzyon alanı bulunduğu göstermişlerdir. Ayrıca düzenleyici uygulanmadan yerleştirilen ve kontrol grubu olarak kullanılan Fuji IX ve dentin arasında böyle bir hibrit benzeri tabakanın görülmediğini belirtmişlerdir.

Ngo ve arkadaşları,⁹² pek çok artifakt oluşacağı ve yüksek bir vakum gerekeceği için CİS’lerin geleneksel SEM kullanılarak değerlendirilmesinin uygun olmadığını, biyolojik örnekler ve CİS’ler için FE-SEM’in daha uygun olacağını ifade etmişlerdir. FE-SEM’in daha düşük voltajda çalıştığı bunda daha detaylı görüntü elde edilmesini sağlayacağını belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar çalışmalarında CİS ve dentin arasındaki interdifüzyon alanı göstermişler ve bu alan ile CİS’in mikrosızıntıya direnç göstereceğini bildirmişlerdir.

Geleneksel SEM kullanarak gerçekleştirdiğimiz çalışmamızda %20 oranında poliakrilik asit içeren Cavity Conditioner uygulanan Grup 1 Fuji IX'da interdifüzyon alan olarak da yorumlanabilen farklı bir alan gözlenmiştir. Burrow ve arkadaşları,¹⁵ bu alanın düzenleyici uygulanması sonrasında demineralize olduğu ve CİS'in bu alana penetrasyon göstermediğini ifade etmişlerdir. Grup 2 ve %10 poliakrilik asit uygulanan Grup 3 ve Grup 4'te böyle bir alan bulgulanamamıştır. Arayüzde CİS ve dentin arasındaki bağlanmada meydana gelen farklılıkların çalışmada kullanılan farklı düzenleyicilere ve gümüş zeolite bağlı olduğu düşünülebilir. Çalışmamız sonucunda Grup 1 Fuji IX'un hem en yüksek bağlanma kuvveti değerleri hem de en düşük mikrosızıntı değerleri verdiği bulgulanmıştır.

Mikrosızıntı, diş ve restoratif materyal arasında meydana gelen sekonder çürük ve pulpa irritasyonuna neden olan majör bir faktör olarak tüm restoratif materyallerin başarısızlığının en genel nedeni olarak bilinmektedir.^{3,17,30,32,75,98,110,116} İdeal restoratif materyal yüksek bağlanma kuvveti sağlamalı ve mikrosızıntıyı elimine etmelidir. Ancak günümüze kadar mikrosızıntıyı tamamen önleyebilen bir restoratif materyal geliştirilememiştir.^{30,98,133} Pashley⁹⁸ CİS'lerin dentin tübüllerine sıvı akışını büyük ölçüde engelleyerek işlem sonrası meydana gelen hassasiyeti önleyebileceğini ancak bu materyallerin dentini çok iyi kapatmadığını ve bakteri ve bakteri ürünlerinin difüzyonunun görülebileceğini ifade etmiştir. Tsunekawa ve arkadaşları¹⁴³ pek çok çalışmada CİS'in diğer restoratif materyaller kadar

mikrosızıntıyı engelleyemediğini ifade etmişlerdir. Özellikle ART teknikte kullanılacak restoratif materyalin öncelikle mikrosızıntıya direnç göstermesi, daha sonra mikrosızıntı neticesinde meydana gelebilecek sekonder çürüğe karşı iyi bir antibakteriyel özellik sergilemesi beklenmektedir. Bu amaçla çalışmamızda ART teknikte kullanılan iki farklı CİS içerisine antibakteriyel özelliği iyi bilinen gümüş-zeolitin ilave edilmesi sonrasında mikrosızıntı değerleri araştırılmıştır. Ayrıca araştırmacılar yeni bir restoratif materyalin ön değerlendirmesinde mikrosızıntı testinin kullanılabileceğini ifade etmektedirler.

Mikrosızıntı değerlendirilmesi hem *in vivo* hem de *in vitro* şartlarda yapılabilmektedir.^{3,133,136} Araştırmacılar tarafından *in vitro* ve *in vivo* mikrosızıntı çalışmaları arasında bir ilişki olmadığı, *in vitro* şartlarda yerleştirilen materyalin klinik başarıyı tam bir şekilde yansıtamayacağı, *in vivo* mikrosızıntı değerlerinin daha düşük olabileceği ifade edilmiştir.^{47,98} Buna karşın *in vitro* çalışmalarda ağız ortamındaki değişkenler ortadan kaldırılacağından restoratif materyallerin daha standart şartlarda test edilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca literatür değerlendirmelerinde mikrosızıntı çalışmaları genelde *in vitro* şartlarda yürütülmüştür. Bu nedenle mikrosızıntı çalışmamız *in vitro* şartlarda gerçekleştirilmiştir.

Mikrosızıntı çalışmalarında genellikle deney gruplarının her birinde farklı dişler kullanılmıştır. Aynı dişlerin farklı yüzeylerinin kullanımı restorasyonların karşılaştırıldığı tekniklerde değişkenlerin sayısını azaltarak daha net sonuçlar elde

edilmesini sağlamaktadır.⁴ Bu doğrultuda çalışmamızda kullanılan dişlerin hem bukkal hem de lingual/palatinal yüzeylerine Sınıf V CİS restorasyonlar yapılmıştır. Ayrıca mikrosızıntı çalışmalarında genellikle Sınıf V kavitelerin tercih edildiği ve kavite marjininin bir yarısı mine diğer yarısı sement/dentinde olacak şekilde hazırlandığı ifade edilmiştir.¹¹¹ Bu değerlendirmenin paralelinde çalışmamızda Sınıf V kavite hazırlanmıştır.

CİS'in diş sert dokuları ile gerçekleştirmiş olduğu kimyasal bağlanmanın yüzey düzenleyicilerinin kullanılması ile arttığı ifade edilmiştir.^{17,109} Castro ve Feigal¹⁷ süt dişlerinde düzenleyici uygulanan ve uygulanmayan Fuji IX restorasyonların mikrosızıntı değerlerini karşılaştırmışlar ve düzenleyici uygulanan kavitelerin daha düşük mikrosızıntı gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bununla beraber Yılmaz ve arkadaşları¹⁶¹ Fuji IX'un mikrosızıntısı üzerine farklı düzenleyicilerin etkisi değerlendirdikleri çalışmalarında, kontrol grubu olarak düzenleyici uygulanmayan Fuji IX'un en yüksek mikrosızıntı değerleri verdiğini en düşük değerlerin ise Fuji Cavity Conditioner'da görüldüğünü ifade etmişlerdir. Bu değerlendirmenin paralelinde çalışmamızda Sınıf V kavitelere dentin düzenleyiciler uygulanmıştır.

Restoratif materyallerin mikrosızıntı direncini diş yapısına bağlanma kuvveti, kavitenin şekli, sertleşme sürecinde meydana gelen büzülme, suda bekleme süresi ve termal genleşme katsayısı gibi özelliklerin belirlediği ifade edilmektedir.^{32,75, 110,114,152}

Bir restoratif materyalin mikrosızıntı direncini belirleyen diğer bir özelliğın konfigürasyon faktör (KF) olduğu, konfigürasyon faktörün bir kavitede bağı yüzey alanlarının serbest yüzey alanına oranını ifade ettiğı, büzülen materyallerin sadece bir yüzeye bağılandığında materyal alt yüzeyden ayrılmadan kalabileceğı, materyal pek çok yüzeye bağılandığında ise bu yüzeylerin birinde veya daha fazla yüzeyinde diş dokusu ile ayrılmalar meydana geleceğı ve konfigürasyon faktörün daha fazla önem kazanacağı ifade edilmiştir.³² Hansen ve Asmussen,⁵¹ konfigürasyon faktör oranının artmasının marjinal gap oluşumunu da arttıracasını ifade etmiştir. Carvalho ve arkadaşları,¹⁶ yüzeysel Sınıf V kavitelerin, daha fazla bağı yüzey alanına sahip kutu kavitelere göre bağı yüzeylerinde meydana gelebilecek gerilmeyi tolere edebilecek yeterli derecede serbest alanı bulunduğunu belirtmiştir. Franco ve arkadaşları³² premolar dişlerin mezial yüzeyine fincan tabağı şeklinde distal yüzeyine kutu şeklinde Sınıf V kavite hazırlayıp dört farklı adeziv materyal kullanarak mikrosızıntı çalışması gerçekleştirmişlerdir. Kaviteler arasında fincan tabağı şeklinin kutu şeklindeki kaviteye oranla daha az bağı yüzey alanına sahip olduğı ve KF teorisine paralel olarak daha az sızıntı skorları gösterdiğı ifade edilmiştir. Ancak hem okluzal hem de gingival marjindeki mikrosızıntının derecesi hala tartışılmaktadır.

Mikrosızıntı testini uygulamadan önce örneklerin su içerisinde bekletilme süresi sonuçlar açısından önem taşımaktadır. Yap,¹⁵⁷ in vitro bir çalışmada Sınıf II kavitelerde CİS'in mikrosızıntı etkisini suda bekleme süresi, termal ve mekanik siklus konularında değerlendirmişlerdir. CİS'in marjinal uyum etkisi minede daha

iyi bulunurken, okluzal marjinde – mine siman ara yüzünde - meydana gelen mikrosızıntıyı örneklerin suda bekleme süresinin, termal ve mekanik siklusun uygulanmasının önemli derecede etkilemediğini, gingival marjinde - dentin/sement siman ara yüzünde - bu test prosedürlerinin mikrosızıntıyı arttırdığı ifade edilmiştir. Buna karşın Crim ve arkadaşları,²² suda bekleme süresinin ve termal siklus sayısının Sınıf V rezin CİS'lerdeki mikrosızıntı değerleri üzerinde etkisi olmadığını ifade etmişlerdir. Mikrosızıntı testinde kullanılacak örnekler genellikle termal siklustan önce 24-48 saat arasında su içerisinde bekletilmişlerdir.^{22,123} Bununla birlikte CİS'lerin genellikle 24 saat içerisinde matürasyonunu tamamladıkları bilinmektedir, bu nedenle çalışmamızda örnekler termal siklus uygulanmadan önce 24 saat su içersine bekletilmiştir.

In vitro çalışmalar ağız içersinde meydana gelen değişkenleri tamamen yansıtmamaktadır. Bununla birlikte ağız ortamındaki ısı değişiklikleri mikrosızıntıyı direkt olarak etkileyen önemli bir değişken olduğundan, *in vitro* şartlarda ağız ortamını taklit etmek amacı ile termal siklus uygulanmaktadır.^{17,47} Buna paralel olarak restoratif materyallerin mikrosızıntı değerleri materyalin termal genleşme katsayısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.¹⁵⁵ Puckett ve arkadaşları,¹¹² rezin modifiye CİS'lerde geleneksel CİS'lere göre daha fazla mikrosızıntı meydana geldiğini bunun geleneksel CİS'lerin termal genleşme katsayılarının diş sert dokularına yakın olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Longman ve Pearson⁷⁴ ideal termal siklus derecelerini 5°C ve 65°C olarak ifade etmişlerdir. Ayrıca pek çok çalışmada termal siklus derecesinin en

düşük 4°C-8°C, en yüksek 45°C-60°C arasında olmasını önerilmektedir ve bu derecelerin ağız ortamındaki en düşük ve en yüksek sıcaklık ile uyumlu olduğu belirtilmektedir.^{44,116,152} Bu değerlendirmelerin paralelinde çalışmamızda termal siklus derecesi 5°C(± 1°C) ve 55°C(± 1°C) arasında tutulmuştur. Restoratif materyallerin su emmesi gibi oluşabilecek bir etkinin önlenmesi için de siklus sayısı düşük tutularak 500 kez termal siklus gerçekleştirilmiştir. Wendt ve arkadaşları,¹⁵² termal siklus derecesinin önemli olmadığını, su ve boya içerisinde yapılmasının veya hiç yapılmamasının mikrosızıntı sonuçlarını etkilemediğini göstermişlerdir. Bu sonucu destekleyen bir çalışmada Rossomando ve Wendt¹¹⁶ Sınıf V restorasyonlarda termal siklus uygulanan ve uygulanmayan örneklerin mikrosızıntı sonuçlarında önemli bir farklılık olmadığını ifade etmişlerdir. Doerr ve arkadaşları,²⁴ rezin modifiye CİS kullanıldığında termal siklus uygulamanın mikrosızıntı sonuçları üzerinde bir etkisi olmadığını vurgulamıştır. Ayrıca Sidhu,¹²³ kompozit, ışıkla sertleşen rezin modifiye CİS ve geleneksel CİS mikrosızıntı değerleri üzerinde termal siklusun önemli derecede etkisi olmadığını ifade etmiştir. Buna karşın pek çok çalışmada termal siklus uygulanmış, önemi vurgulanmış ve daha güvenilir mikrosızıntı sonuçları elde edileceği ifade edilmiştir.^{17,74,110,114,147}

In vitro mikrosızıntı testinin gerçekleştirilmesinde gümüş nitrat, radyoizotop ⁴⁵Ca, boya solüsyonu olarak bazik fuksin ve metilen mavisi, flüoresan boya solüsyonu olarak rhodamine B, ayrıca bakteri ve basınçlı hava tekniği, taramalı elektron mikroskobu ve nötron aktivasyon analizi mikrosızıntı

çalışmalarında kullanılmaktadır. Mikrosızıntı çalışmalarında boya penetrasyonunu değerlendirmede ışık mikroskobu yada steromikroskop, flüoresan boya penetrasyonunu değerlendirmek için flüoresan ışık mikroskobu, “Confocal Laser Scanning Microscope” ve ^{45}Ca radyoizotop kullanılan sızıntı ölçümlerinde ise otoradyografi kullanılmaktadır.^{3,4,98,133,136} Restoratif sistemlerin etkinliğini değerlendirmede çok çeşitli metotlar tanımlanmış olmakla beraber boya penetrasyonu ile yapılan çalışmaların basit olması, sonuçların kısa zamanda elde edilmesi, direkt gözlem ile mikrosızıntı derecesinin değerlendirilmesi, toksik olmaması, güvenilir sonuçların elde edilmesi ve hem laboratuvar hem de klinik şartlarda gerçekleştirilmesi bu tekniği oldukça popüler kılmıştır.^{3,47,123,136} Ayrıca mikrosızıntı çalışmalarında kullanılan boya partiküllerinin büyüklüğünün dentin tübüllerinin iç çapından (1-4 μm) daha küçük olması gerektiği ifade edilmektedir.⁴⁷ Bu nedenlerle mikrosızıntı çalışmamızda %0,5 bazik fuksin solüsyon tercih edilmiştir.

Taylor ve Lynch,¹³⁶ pek çok araştırmacının Sınıf V restorasyonların orta noktasından tek bir kesit alarak elde ettikleri mikrosızıntı değerinin diğer marjinlerdeki mikrosızıntı değerlerini yansıtacağını ifade etmişlerdir. Buna paralel olarak çalışmamızda sadece Sınıf V restorasyonların orta noktasından geçen tek bir kesit alınarak mikrosızıntı değerlendirmesi yapılmıştır.

In vitro mikrosızıntı çalışmalarında örneklerin saklanma koşulları, restoratif materyali uygulama şekli, boya materyallerinin çeşitliliği, boya konsantrasyonu, boyada bekletme süresi, sıcaklık, farklı test tekniklerinin kullanılması ve değerlendirme metodu veya mikrosızıntı test skorumaya yöntemindeki farklılıklar, diğer çalışmalar ile karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır.^{4,123} Almeida ve arkadaşları,⁴ farklı boyama teknikleri kullanarak gerçekleştirdikleri mikrosızıntı testi sonucunda farklı boya materyallerinin kullanıldığı mikrosızıntı sonuçlarının karşılaştırılmasının doğru olmadığını ifade etmişlerdir.

Hallet ve Garcia-Godoy,⁴⁸ geleneksel ve rezin modifiye CİS'ı karşılaştırdıkları çalışmalarında CİS'lerin hiçbirinin ne okluzalde ne de gingival duvarda mikrosızıntıya direnç gösteremediğini ve gingival marjın sızıntısının okluzal marjine göre daha fazla olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca Quo ve arkadaşları,¹¹⁴ bildirdiğine göre Cooley ve arkadaşları Sınıf V restorasyonlarda CİS'nin hem mine hem de dentinde mikrosızıntıya direnç gösteremediğini ve dentin-sement arayüzünde daha fazla mikrosızıntı gözlendiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmaların sonucu bazı çalışmalarla^{118,139,143} paralel olduğu gibi çalışmamızda Grup 3 ve Grup 4'te elde ettiğimiz sonuçları da desteklemektedir($p<0,05$). CİS ile diş arasındaki bağlanma iyonik ve dinamik yapıdadır. Mine dentin veya sementle karşılaştırıldığında daha fazla inorganik yapı içermektedir. Bu nedenle okluzal marjin, gingival marjine göre mikrosızıntıya daha fazla direnç göstermektedir.¹⁵⁷ Buna karşın çalışmamızda

Grup 1 ve Grup 2’de okluzal ve gingival kenar mikrosızıntı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($p>0,05$) bulunmamıştır. Mikrosızıntı çalışmalarında bitirme ve polisaj tekniklerine pek fazla değinilmemekle birlikte Yap ve arkadaşları,¹⁵⁹ yapmış oldukları çalışmalarında polisaj sistemlerinin etkilerinin materyale ve dokuya bağlı olarak değişebileceğini, geleneksel CİS için yüksek hızla yapılan polisaj işleminin dentin marjinde mikrosızıntıya direnci azaltacağını belirtmişlerdir.

Diş yapısı ile restoratif materyal arasındaki iyi bağlanma sonucunda yüksek bağlanma kuvveti meydana gelmektedir. Bunun neticesinde yüksek bağlanma kuvvetine sahip materyallerin mikrosızıntıya karşı daha fazla direnç göstereceğinin önceden belirlenebileceği ifade edilmektedir.^{154,159} Fortin ve arkadaşları,³⁰ çalışmalarında bağlanma kuvveti ve mikrosızıntı arasındaki ilişkiyi değerlendirmişlerdir. Makaslama bağlanma kuvveti ve mikrosızıntı arasında oldukça yakın bir ilişki bulmuşlardır. Yüksek bağlanma kuvveti gösteren materyallerin düşük mikrosızıntı değerlerine, düşük bağlanma değerlerine sahip materyallerin yüksek sızıntı değerlerine sahip olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte bağlanma kuvveti ve mikrosızıntı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulmamışlardır. Tsai ve arkadaşları,¹⁴² yüksek olmamasına rağmen mikrosızıntı ve bağlanma kuvveti arasında bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamızda Grup 3 ve Grup 4’e nazaran daha yüksek bağlanma kuvvetine sahip Grup1 ve Grup 2’nin daha düşük mikrosızıntı skorlarına sahip olduğu ve düşük bağlanma kuvvetine sahip olan Grup 3 ve Grup 4’ün yüksek mikrosızıntı

skorlarına sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte Fuji IX ve ChemFlex içerisine eklenen gümüş zeolitin mikrosızıntı üzerine etkisi okluzal ve gingival kenar açısından değerlendirildiğinde her iki materyal için istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

Sonuç olarak; uzun dönemde mikrosızıntıdan kaynaklanan marjinal renklenme ve sekonder çürüğün en aza indirilmesi oldukça önemlidir. Çalışmamızın sonuçları değerlendirildiğinde iyi bir antibakteriyel ajan olarak kullanılabileceği düşünülen gümüş zeolitin ART teknik için geliştirilen CİS'lerin dişe adezyonunu etkiledikleri ancak bu etkinin üretici firmaların oluşturdukları içerik farklılıklarına bağlı olarak değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Bu nedenle materyalin geliştirilmesine yönelik çalışmaların ve farklı test teknikleri kullanılarak daha ileri değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir.

SONUÇ

İçerisine %0,2 oranında gümüş zeolit eklenerek elde edilen Fuji IX+gümüş zeolit, ChemFlex+gümüş zeolit ile Fuji IX ve ChemFlex'in tek başına kullanıldıklarında dentin yüzeyine bağlanma kuvvetleri, SEM değerlendirmeleri ve mikrosızıntı testleri sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Fuji IX uygulanan grup en yüksek bağlanma kuvveti değerlerini vermiştir. Gümüş zeolit ilave edilen ChemFlex tüm gruplar içerisinde en düşük bağlanma kuvveti değerlerini vermiştir.

2. SEM ile arayüzün değerlendirilmesine Fuji IX ve Fuji IX+gümüş zeolit cam iyonomer simanları içerisinde koheziv kırıkların oluştuğu ve dentin yüzeyine iyi bir adaptasyon sergilediği gözlenmiştir.

3. Tüm gruptaki materyaller içerisinde hava boşlukları izlenmektedir.

4. Okluzal kenarda; Fuji IX+gümüş zeolit en düşük mikrosızıntı değerlerini verdiği, en yüksek mikrosızıntı değerlerini ise ChemFlex'in gösterdiği bulgulanmıştır. Gingival kenarda; en düşük mikrosızıntı değerlerini Fuji IX, en yüksek mikrosızıntı değerlerini ise ChemFlex+gümüş zeolit'in gösterdiği saptanmıştır.

ÖZET

Çalışmada, *in vitro* olarak antibakteriyel özelliği iyi bilinen gümüş zeolitin ART teknik için geliştirilen Fuji IX ve ChemFlex cam iyonomer simanları tozuna eklenmesi sonucunda süt dişi bağlanma kuvveti üzerindeki etkisinin mikro-makaslama testi ile değerlendirilmesi, cam iyonomer siman-dentin arayüzünün SEM’de incelenmesi ve cam iyonomer siman ile diş dokuları arasında meydana gelmesi muhtemel olan mikrosızıntının boya difüzyon yöntemi ile değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla her bir cam iyonomer siman tozuna ağırlığının %0,2’si oranında gümüş zeolit ilave edilerek Fuji IX, Fuji IX+gümüş zeolit, ChemFlex ve ChemFlex+gümüş zeolit olarak 4 grup oluşturulmuştur.

Mikro-makaslama testi sonucunda Fuji IX grubunda en yüksek bağlanma değeri bulgulanmış olup diğer gruplar ile istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ($p<0,05$). ChemFlex+gümüş zeolit grubunda en düşük bağlanma kuvveti değerleri elde edilmiştir. CİS-dentin arayüzü SEM ile incelendiğinde tüm örneklerin dentin yüzeyi ile yakın ilişkide olduğu gözlemlenmiştir. Mikrosızıntı testi sonucunda Fuji IX grubunda oklüzal bölgede sadece 1. dereceden mikrosızıntı, ChemFlex ve ChemFlex+gümüş zeolit gruplarında ise bütün örneklerde mikrosızıntı gözlenmiştir. Gingival bölgede Fuji IX grubunda sadece 1 örnekte 2. dereceden mikrosızıntı meydana gelmiştir. Oklüzal ve gingival bölgede gruplar kendi aralarında değerlendirildiğinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur($p<0,05$).

SUMMARY

The purpose of this *in vitro* study was to determine the effects of silver zeolite incorporated Fuji IX and ChemFlex which are developed for ART technique, on bond strength, GIC-dentin bonded interface and microleakage in primary teeth. Fuji IX+silver zeolite and ChemFlex+silver zeolite were prepared by adding silver zeolite to glass component of GIC to a total weight/weight ratio of 0,2%. Micro-shear bond strengths were tested, GIC-dentin bonded interface were evaluated by SEM and microleakage were evaluated by dye diffusion technique and stereomicroscope.

Fuji IX showed higher micro-shear bond strength values compared with the other groups. There was a significant difference between the other groups ($p<0,05$). The lowest micro-shear bond strength values were found in ChemFlex+silver zeolite group. For all groups, the GIC shows intimate adaptation to the surface of the dentin. Specimens treated with Fuji IX showed microleakage value of 1, however all the specimens in ChemFlex and ChemFlex+silver zeolite groups showed microleakage at the occlusal margin. Only one specimen in Fuji IX group showed microleakage value of 2 at gingival margin. There was a significant difference between the groups, both occlusally and gingivally ($p<0,05$).

KAYNAKLAR

1. Abe Y, Ueshige M, Takeuchi M, Ishii M, Akagawa Y. Cytotoxicity of antimicrobial tissue conditioners containing silver-zeolite. *Int J Prosthodont.* 2003; 16: 141-4.
2. Abe Y, Ishii M, Takeuchi M, Ueshige M, Tanaka S, Akagawa Y. Effect of saliva on an antimicrobial tissue conditioner containing silver-zeolite. *J Oral Rehabil.* 2004; 31: 568-73.
3. Alani AH, Toh CG. Detection of microleakage around dental restorations: a review. *Oper Dent.* 1997; 22: 173-85.
4. de Almeida JB, Platt JA, Oshida Y, Moore BK, Cochran MA, Eckert GJ. Three different methods to evaluate microleakage of packable composites in Class II restorations. *Oper Dent.* 2003; 28: 453-60.
5. van Amerongen WE. Dental caries under glass ionomer restorations. *J Public Health Dent.* 1996; 56: 150-4.
6. van Amerongen WE, Rahimtoola S. Is ART really atraumatic? *Community Dent Oral Epidemiol.* 1999; 27: 431-5.
7. Almuammar MF, Schulman A, Salama FS. Shear bond strength of six restorative materials. *J Clin Pediatr Dent.* 2001; 25: 221-5.
8. Anusavice KJ. Does ART have a place in preservative dentistry? *Community Dent Oral Epidemiol.* 1999; 27: 442-8.
9. Barakat MM, Powers JM, Yamaguchi R. Parameters that affect in vitro bonding of glass-ionomer liners to dentin. *J Dent Res.* 1988; 67: 1161-3.

10. Berry EA 3rd, von der Lehr WN, Herrin HK. Dentin surface treatments for the removal of the smear layer: an SEM study. *J Am Dent Assoc.* 1987; 115: 65-7.
11. Botelho MG. Inhibitory effects on selected oral bacteria of antibacterial agents incorporated in a glass ionomer cement. *Caries Res.* 2003; 37: 108-14.
12. Breck DW. Zeolite molecular sieves: Structure Chemistry and Use. Robert E. Krieger Publishing Company, Inc. Malabar, Florida, 1984; pp.1-347.
13. Burke FJ, Fleming GJ, Owen FJ, Watson DJ. Materials for restoration of primary teeth: 2. Glass ionomer derivatives and compomers. *Dent Update.* 2002; 29: 10-4.
14. Burrow MF, Takakura H, Nakajima M, Inai N, Tagami J, Takatsu T. The influence of age and depth of dentin on bonding. *Dent Mater.* 1994; 10: 241-6.
15. Burrow MF, Nopnakeepong U, Phrukkanon S. A comparison of microtensile bond strengths of several dentin bonding systems to primary and permanent dentin. *Dent Mater.* 2002; 18: 239-45.
16. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, Pashley DH. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent.* 1996; 21: 17-24.
17. Castro A, Feigal RE. Microleakage of a new improved glass ionomer restorative material in primary and permanent teeth. *Pediatr Dent.* 2002; 24: 23-8.

18. Cattani-Lorente MA, Godin C, Meyer JM. Early strength of glass ionomer cements. *Dent Mater.* 1993; 9: 57-62.
19. Causton BE. Improved bonding of composite restorative to dentine. A study in vitro of the use of a commercial halogenated phosphate ester. *Br Dent J.* 1984; 156: 93-5.
20. Christensen GJ. Restorative dentistry for pediatric teeth. State of the art 2001. *J Am Dent Assoc.* 2001; 132: 379-81.
21. Chung HA, Titley K, Torneck CD, Lawrence HP, Friedman S. Adhesion of glass-ionomer cement sealers to bovine dentin conditioned with intracanal medications. *J Endod.* 2001; 27: 85-8.
22. Crim GA, Garcia-Godoy F. Microleakage: the effect of storage and cycling duration. *J Prosthet Dent.* 1987; 57: 574-6.
23. Croll TP. Alternatives to silver amalgam and resin composite in pediatric dentistry. *Quintessence Int.* 1998; 29: 697-703.
24. Doerr CL, Hilton TJ, Hermes CB. Effect of thermocycling on the microleakage of conventional and resin-modified glass ionomers. *Am J Dent.* 1996; 9: 19-21.
25. Elderton RJ. Management of early dental caries in fissures with fissure sealant. *Br Dent J.* 1985; 158: 254-8.
26. Erickson RL, Glasspoole EA, Retief DH. Influence of test parameters on dentin bond strength measurements. *J Dent Res.* 1989; 68: 374 abst 1543.

27. Feng QL, Wu J, Chen GQ, Cui FZ, Kim TN, Kim JO. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *J Biomed Mater Res*. 2000; 52: 662-8.
28. Ferrari M, Davidson CL. Interdiffusion of a traditional glass ionomer cement into conditioned dentin. *Am J Dent*. 1997; 10: 295-7.
29. Forsten L. Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect. *Biomaterials*. 1998; 19: 503-8.
30. Fortin D, Swift EJ Jr, Denehy GE, Reinhardt JW. Bond strength and microleakage of current dentin adhesives. *Dent Mater*. 1994; 10: 253-8.
31. Fowler CS, Swartz ML, Moore BK, Rhodes BF. Influence of selected variables on adhesion testing. *Dent Mater*. 1992; 8: 265-9.
32. Franco EB, Gonzaga Lopes L, Lia Mondelli RF, da Silva e Souza MH Jr, Pereira Lauris JR. Effect of the cavity configuration factor on the marginal microleakage of esthetic restorative materials. *Am J Dent*. 2003; 16: 211-4.
33. França MTC, Bolinelli A, Seabra BGM, Rodrigues CC, Navarro MFL. One year evaluation of ART technique. *J Dent Res*. 1998; 77: 636 abst 38.
34. Frankenberger R, Sindel J, Kramer N. Viscous glass-ionomer cements: a new alternative to amalgam in the primary dentition. *Quintessence Int*. 1997; 28: 667-76.
35. Frencken JE, Holmgren CJ. How effective is ART in the management of dental caries? *Community Dent Oral Epidemiol*. 1999; 27: 423-30.

36. Frencken JE, Makoni F, Sithole WD. Atraumatic restorative treatment and glass-ionomer sealants in a school oral health programme in Zimbabwe: evaluation after 1 year. *Caries Res.* 1996; 30: 428-33.
37. Frencken JE, Makoni F, Sithole WD. ART restorations and glass ionomer sealants in Zimbabwe: survival after 3 years. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1998; 26: 372-81.
38. Frencken JE, Makoni F, Sithole WD, Hackenitz E. Three-year survival of one-surface ART restorations and glass-ionomer sealants in a school oral health programme in Zimbabwe. *Caries Res.* 1998; 32: 119-26.
39. Frencken JE, Pilot T, Songpaisan Y, Phantumvanit P. Atraumatic restorative treatment (ART): rationale, technique, and development. *J Public Health Dent.* 1996; 56: 135-40.
40. Frencken JE, Songpaisan Y, Phantumvanit P, Pilot T. An atraumatic restorative treatment (ART) technique: evaluation after one year. *Int Dent J.* 1994; 44: 460-4.
41. Gao W, Peng D, Smales RJ, Gale MS. Clinical trial of ART technique restorative GI cement; initial findings. *J Dent Res.* 1998; 77: 636 abst 40.
42. Gao W, Peng D, Smales RJ, Yip KH. Comparison of atraumatic restorative treatment and conventional restorative procedures in a hospital clinic: evaluation after 30 months. *Quintessence Int.* 2003; 34: 31-7.
43. Glasspoole EA, Erickson RL, Davidson CL. Effect of surface treatments on the bond strength of glass ionomers to enamel. *Dent Mater.* 2002; 18: 454-62.

44. Gordon M, Plasschaert AJ, Soelberg KB, Bogdan MS. Microleakage of four composite resins over a glass ionomer cement base in ClassV restorations. *Quintessence Int.* 1985; 16: 817-20.
45. Gotjamanos T. Pulp response in primary teeth with deep residual caries treated with silver fluoride and glass ionomer cement ('atraumatic' technique) *Aust Dent J.* 1996; 41: 328-34.
46. Granville-Garcia AF, NÖR JE, Figueiredo MC, Wandera A. An atraumatic restorative treatment technique: SEM Evaluation of glass ionomers restoration in primary molars. *J Dent Res.* 1997; 76: 996 abst 262.
47. Grobler SR, Rossouw RJ, Van Wyk Kotze TJ. In vitro, relative microleakage of five restorative systems. *Int Dent J.* 1999; 49: 47-52.
48. Hallett KB, Garcia-Godoy F. Microleakage of resin-modified glass ionomer cement restorations: an in vitro study. *Dent Mater.* 1993; 9: 306-11.
49. Handleman SL, Buonocore MG, Schoute PC. Progress report on the effect of a fissure sealant on bacteria in dental caries. *J Am Dent Assoc.* 1973; 87: 1189-91.
50. Handelsman SL, Washburn F, Wopperer P. Two-year report of sealant effect on bacteria in dental caries. *J Am Dent Assoc.* 1976; 93: 967-70.
51. Hansen EK, Asmussen E. Cavity preparation for restorative resins used with dentin adhesives. *Scand J Dent Res.* 1985; 93: 474-9.
52. Hara AT, Pimenta LA, Rodrigues AL Jr. Influence of cross-head speed on resin-dentin shear bond strength. *Dent Mater.* 2001; 17: 165-9.

53. Hewlett ER, Caputo AA, Wrobel DC. Glass ionomer bond strength and treatment of dentin with polyacrylic acid. *J Prosthet Dent.* 1991; 66: 767-72.
54. Heys RJ, Fitzgerald M. Microleakage of three cement bases. *J Dent Res.* 1991; 70: 55-8.
55. Ho TF, Smales RJ, Fang DT. A 2-year clinical study of two glass ionomer cements used in the atraumatic restorative treatment (ART) technique. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1999; 27: 195-201.
56. Holmgren CJ, Frencken JE. Painting the future for ART. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1999; 27: 449-53.
57. Holmgren CJ, Lo EC, Hu D, Wan H. ART restorations and sealants placed in Chinese school children--results after three years. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2000; 28: 314-20.
58. Honkala E, Behbehani J, Ibricevic H, Kerosuo E, Al-Jame G. The atraumatic restorative treatment (ART) approach to restoring primary teeth in a standard dental clinic. *Int J Paediatr Dent.* 2003; 13: 172-9.
59. Horowitz AM. Introduction to the symposium on minimal intervention techniques for caries. *J Public Health Dent.* 1996; 56: 133-4.
60. Hotta M, Nakajima H, Yamamoto K, Aono M. Antibacterial temporary filling materials: the effect of adding various ratios of Ag-Zn-Zeolite. *J Oral Rehabil.* 1998; 25: 485-9.
61. Inoue Y, Hoshino M, Takahashi H, Noguchi T, Murata T, Kanzaki Y, Hamashima H, Sasatsu M. Bactericidal activity of Ag-zeolite mediated by

- reactive oxygen species under aerated conditions. *J Inorg Biochem.* 2002; 92: 37-42.
62. Jang KT, Garcia-Godoy F, Donly KJ, Segura A. Remineralizing effects of glass ionomer restorations on adjacent interproximal caries. *ASDC J Dent Child.* 2001; 68: 125-8.
63. Kalf-Scholte SM, van Amerongen WE, Smith AJ, van Haastrecht HJ. Atraumatic restorative treatment (ART): a three-year clinical study in Malawi--comparison of conventional amalgam and ART restorations. *J Public Health Dent.* 2003; 63: 99-103.
64. Kanemura N, Sano H, Tagami J. Tensile bond strength to and SEM evaluation of ground and intact enamel surfaces. *J Dent.* 1999; 27: 523-30.
65. Kawahara K, Tsuruda K, Morishita M, Uchida M. Antibacterial effect of silver-zeolite on oral bacteria under anaerobic conditions. *Dent Mater.* 2000; 16: 452-5.
66. Kim TN, Feng QL, Kim JO, Wu J, Wang H, Chen GC, Cui FZ. Antimicrobial effects of metal ions (Ag^+ , Cu^{2+} , Zn^{2+}) in hydroxyapatite. *J Mater Sci Mater Med.* 1998; 9: 129-34.
67. Kitasako Y, Burrow MF, Nikaido T, Harada N, Inokoshi S, Yamada T, Takatsu T. Shear and tensile bond testing for resin cement evaluation. *Dent Mater.* 1995; 11: 298-304.
68. Kleverlaan CJ, van Duinen RNB, Feilzer AJ. Mechanical properties of glass ionomer cements affected by curing methods. *Dent Mater.* 2004; 20: 45-50.

69. Lan WH, Lan WC, Wang TM, Lee YL, Tseng WY, Lin CP, Jeng JH, Chang MC. Cytotoxicity of conventional and modified glass ionomer cements. *Oper Dent*. 2003; 28: 251-9.
70. Leirskar J, Nordbo H, Mount GJ, Ngo H. The influence of resin coating on the shear punch strength of a high strength auto-cure glass ionomer. *Dent Mater*. 2003; 19: 87-91.
71. Lo EC, Holmgren CJ. Provision of Atraumatic Restorative Treatment (ART) restorations to Chinese pre-school children--a 30-month evaluation. *Int J Paediatr Dent*. 2001; 11: 3-10.
72. Lo ECM, Holmgren CJ, Wan HC, Hu DY. Provision of atraumatic restorative treatment in western China – one year results. *J Dent Res*. 1998; 77: 636 abst 37.
73. Lo EC, Luo Y, Fan MW, Wei SH. Clinical investigation of two glass-ionomer restoratives used with the atraumatic restorative treatment approach in China: two-years results. *Caries Res*. 2001; 35: 458-63.
74. Longman CM, Pearson GJ. Variations in tooth surface temperature in the oral cavity during fluid intake. *Biomaterials*. 1987; 8: 411-4.
75. de Magalhaes CS, Serra MC, Rodrigues Junior AL. Volumetric microleakage assessment of glass-ionomer-resin composite hybrid materials. *Quintessence Int*. 1999; 30: 117-21.
76. Mallow PK, Durward CS, Klaipo M. Restoration of permanent teeth in young rural children in Cambodia using the atraumatic restorative

- treatment (ART) technique and Fuji II glass ionomer cement. *Int J Paediatr Dent.* 1998; 8: 35-40.
77. Mandari GJ, Frencken JE, van't Hof MA. Six-year success rates of occlusal amalgam and glass-ionomer restorations placed using three minimal intervention approaches. *Caries Res.* 2003; 37: 246-53.
 78. Mandari GJ, Truin GJ, van't Hof MA, Frencken JE. Effectiveness of three minimal intervention approaches for managing dental caries: survival of restorations after 2 years. *Caries Res.* 2001; 35: 90-4.
 79. Matsumura Y, Yoshikata K, Kunisaki S, Tsuchido T. Mode of bactericidal action of silver zeolite and its comparison with that of silver nitrate. *Appl Environ Microbiol.* 2003; 69: 4278-81.
 80. Matsuura T, Abe Y, Sato Y, Okamoto K, Ueshige M, Akagawa Y. Prolonged antimicrobial effect of tissue conditioners containing silver-zeolite. *J Dent.* 1997; 25: 373-7.
 81. Mazzaoui SA, Burrow MF, Tyas MJ, Dashper SG, Eakins D, Reynolds EC. Incorporation of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate into a glass-ionomer cement. *J Dent Res.* 2003; 82: 914-8.
 82. McDonough WG, Antonucci JM, He J, Shimada Y, Chiang MY, Schumacher GE, Schultheisz CR. A microshear test to measure bond strengths of dentin-polymer interfaces. *Biomaterials.* 2002; 23: 3603-8.
 83. Mickenautsch S, Rudolph MJ, Ogunbodede EO, Frencken JE. The impact of the ART approach on the treatment profile in a mobile dental system (MDS) in South Africa. *Int Dent J.* 1999; 49: 132-8.

84. Mitra SB, Kedrowski BL. Long-term mechanical properties of glass ionomers. *Dent Mater.* 1994; 10: 78-82.
85. Miyazaki M, Moore BK, Onose H. Effect of surface coatings on flexural properties of glass ionomers. *Eur J Oral Sci.* 1996; 104: 600-4.
86. Mjor IA, Gordan VV. A review of atraumatic restorative treatment (ART). *Int Dent J.* 1999; 49: 127-31.
87. Morishita M, Miyagi M, Yamasaki Y, Tsuruda K, Kawahara K, Iwamoto Y. Pilot study on the effect of a mouthrinse containing silver zeolite on plaque formation. *J Clin Dent.* 1998; 9: 94-6.
88. Mount GJ. Adhesion of glass-ionomer cement in the clinical environment. *Oper Dent.* 1991; 16: 141-8.
89. Mount GJ. Buonocore Memorial Lecture. Glass-ionomer cements: past, present and future. *Oper Dent.* 1994; 19: 82-90.
90. Mount GJ. An atlas of glass-ionomer cements a clinician's guide, 3th edition. Kyodo Printing Co Ltd. Singapore. 2002; pp 1-43.
91. Mumpton FA. La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1999; 96: 3463-3470.
92. Ngo H, Mount GJ, Peters MC. A study of glass-ionomer cement and its interface with enamel and dentin using a low-temperature, high-resolution scanning electron microscopic technique. *Quintessence Int.* 1997; 28: 63-9.
93. Nikawa H, Yamamoto T, Hamada T, Rahardjo MB, Murata H, Nakanoda S. Antifungal effect of zeolite-incorporated tissue conditioner against

- Candida albicans* growth and/or acid production. *J Oral Rehabil.* 1997; 24: 350-7.
94. Oilo G, Austrheim EK. In vitro quality testing of dentin adhesives. *Acta Odontol Scand.* 1993; 51: 263-9.
 95. Olsson S, Oilo G, Adamczak E. The structure of dentin surfaces exposed for bond strength measurements. *Scand J Dent Res.* 1993; 101: 180-4.
 96. Padachey N, Patel V, Santerre P, Cvitkovitch D, Lawrence HP, Friedman S. Resistance of a novel root canal sealer to bacterial ingress in vitro. *J Endod.* 2000; 26: 656-9.
 97. Palma-Dibb RG, de Castro CG, Ramos RP, Chimello DT, Chinelatti MA. Bond strength of glass-ionomer cements to caries-affected dentin. *J Adhes Dent.* 2003; 5: 57-62.
 98. Pashley DH. Clinical considerations of microleakage. *J Endod.* 1990; 16: 70-7.
 99. Pashley DH, Carvalho RM, Sano H, Nakajima M, Yoshiyama M, Shono Y, Fernandes CA, Tay F. The microtensile bond test: a review. *J Adhes Dent.* 1999; 1: 299-309.
 100. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM. Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. *Dent Mater.* 1995; 11: 117-25.
 101. Patel V, Santerre JP, Friedman S. Suppression of bacterial adherence by experimental root canal sealers. *J Endod.* 2000; 26: 20-4.

102. Peng D, Smales RJ, Yip HK, Shu M. In vitro fluoride release from aesthetic restorative materials following recharging with APF gel. *Aust Dent J.* 2000;45: 198-203.
103. Pereira LC, Nunes MC, Dibb RG, Powers JM, Roulet JF, Navarro MF. Mechanical properties and bond strength of glass-ionomer cements. *J Adhes Dent.* 2002; 4: 73-80.
104. Perinka L, Sano H, Hosoda H. Dentin thickness, hardness, and Ca-concentration vs bond strength of dentin adhesives. *Dent Mater.* 1992; 8: 229-33.
105. Phantumvanit P, Songpaisan Y, Pilot T, Frencken JE. Atraumatic restorative treatment (ART): a three-year community field trial in Thailand--survival of one-surface restorations in the permanent dentition. *J Public Health Dent.* 1996; 56: 141-5.
106. Phrukkanon S, Burrow MF, Tyas MJ. Effect of cross-sectional surface area on bond strengths between resin and dentin. *Dent Mater.* 1998; 14: 120-8.
107. Phrukkanon S, Burrow MF, Tyas MJ. The influence of cross-sectional shape and surface area on the microtensile bond test. *Dent Mater.* 1998; 14: 212-21.
108. Pilot T. Introduction--ART from a global perspective. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1999; 27: 421-2.

109. Powis DR, Folleras T, Merson SA, Wilson AD. Improved adhesion of a glass ionomer cement to dentin and enamel. *J Dent Res.* 1982; 61: 1416-22.
110. Prati C, Nucci C, Montanari G. Shear bond strength and microleakage of dentin bonding systems. *J Prosthet Dent.* 1991; 65: 401-7.
111. Prati C, Simpson M, Mitchem J, Tao L, Pashley DH. Relationship between bond strength and microleakage measured in the same Class I restorations. *Dent Mater.* 1992; 8: 37-41.
112. Puckett AD, Fitchie JG, Bennett B, Hembree JH. Microleakage and thermal properties of hybrid ionomer restoratives. *Quintessence Int.* 1995; 26: 577-81.
113. Putthari W, Pitiphat W, Phantumvanit P, Songpaisan Y. Cost-effectiveness analysis of using atraumatic restorative treatment technique compared to conventional amalgam treatment. *J Dent Res.* 1998; 77: 1354 abst 31.
114. Quo BC, Drummond JL, Koerber A, Fadavi S, Punwani I. Glass ionomer microleakage from preparations by an Er/YAG laser or a high-speed handpiece. *J Dent.* 2002; 30: 141-6.
115. Rodrigues CC, Bolinelli A, Seabra BGM, França MTC, Navarro MFL. Six months evaluation of ART technique using Fuji IX and Fuji Plus. *J Dent Res.* 1998; 77: 636 abst 39.

116. Rossomando KJ, Wendt SL Jr. Thermocycling and dwell times in microleakage evaluation for bonded restorations. *Dent Mater.* 1995; 11: 47-51.
117. Saito S, Tosaki S, Hirota K. Characteristics of Glass-Ionomer Cements. In: *Advances in glass-ionomer cements*, ed. Davidson CL, Mjör IA. Quintessence Publishing Co, Inc. Chicago, Berlin, Tokyo, Barcelona, Sao Paulo, Moscow, Prague and Warsaw. 1999; pp. 15-51.
118. Salama FS, Riad MI, Abdel Megid FY. Microleakage and marginal gap formation of glass ionomer resin restorations. *J Clin Pediatr Dent.* 1995; 20: 31-6.
119. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, Pashley DH. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength--evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater.* 1994; 10: 236-40.
120. Scherer W, Lippman N, Kaim J. Antimicrobial properties of glass-ionomer cements and other restorative materials. *Oper Dent.* 1989; 14: 77-81.
121. Shimada Y, Senawongse P, Harnirattisai C, Burrow MF, Nakaoki Y, Tagami J. Bond strength of two adhesive systems to primary and permanent enamel. *Oper Dent.* 2002; 27: 403-9.
122. Shimada Y, Yamaguchi S, Tagami J. Micro-shear bond strength of dual-cured resin cement to glass ceramics. *Dent Mater.* 2002; 18: 380-8.

123. Sidhu SK. A comparative analysis of techniques of restoring cervical lesions. *Quintessence Int.* 1993; 24: 553-9.
124. Sidhu SK, Sherriff M, Watson TF. Failure of resin-modified glass-ionomers subjected to shear loading. *J Dent.* 1999; 27: 373-81.
125. Simonsen RJ. Glass ionomer as fissure sealant--a critical review. *J Public Health Dent.* 1996; 56: 146-9.
126. Smales RJ, Fang DT. In vitro effectiveness of hand excavation of caries with the ART technique. *Atraumatic restorative treatment. Caries Res.* 1999; 33: 437-40.
127. Smales RJ, Gao W. In vitro caries inhibition at the enamel margins of glass ionomer restoratives developed for the ART approach. *J Dent.* 2000; 28: 249-56.
128. Smales RJ, Gao W, Ho FT. In vitro evaluation of sealing pits and fissures with newer glass-ionomer cements developed for the ART technique. *J Clin Pediatr Dent.* 1997; 21: 321-3.
129. Smales RJ, Yip HK. The atraumatic restorative treatment (ART) approach for primary teeth: review of literature. *Pediatr Dent.* 2000; 22: 294-8.
130. Smales RJ, Yip HK. The atraumatic restorative treatment (ART) approach for the management of dental caries. *Quintessence Int.* 2002; 33: 427-32.
131. Smith DC. Development of glass-ionomer cement systems. *Biomaterials.* 1998; 19: 467-78.

132. Taifour D, Frencken JE, Beiruti N, van 't Hof MA, Truin GJ. Effectiveness of glass-ionomer (ART) and amalgam restorations in the deciduous dentition: results after 3 years. *Caries Res.* 2002; 36: 437-44.
133. Tangsgoolwatana J, Cochran MA, Moore BK, Li Y. Microleakage evaluation of bonded amalgam restorations: confocal microscopy versus radioisotope. *Quintessence Int.* 1997; 28: 467-77.
134. Tanumiharja M, Burrow MF, Cimmino A, Tyas MJ. The evaluation of four conditioners for glass ionomer cements using field-emission scanning electron microscopy. *J Dent.* 2001; 29: 131-8.
135. Tanumiharja M, Burrow MF, Tyas MJ. Microtensile bond strengths of glass ionomer (polyalkenoate) cements to dentine using four conditioners. *J Dent.* 2000; 28: 361-6.
136. Taylor MJ, Lynch E. Microleakage. *J Dent.* 1992; 20: 3-10.
137. Thean HP, Mok BY, Chew CL. Bond strengths of glass ionomer restoratives to primary vs permanent dentin. *ASDC J Dent Child.* 2000; 67: 112-6.
138. Thom DC, Davies JE, Santerre JP, Friedman S. The hemolytic and cytotoxic properties of a zeolite-containing root filling material in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003; 95: 101-8.
139. Thornton JB, Retief DH, Bradley EL. Marginal leakage of two glass ionomer cements: Ketac-Fil and Ketac-Silver. *Am J Dent.* 1988; 1: 35-8.
140. Tobias RS, Browne RM, Wilson CA. Antibacterial activity of dental restorative materials. *Int Endod J.* 1985; 18: 161-71.

141. Towler MR, Bushby AJ, Billington RW, Hill RG. A preliminary comparison of the mechanical properties of chemically cured and ultrasonically cured glass ionomer cements, using nano-indentation techniques. *Biomaterials*. 2001; 22: 1401-6.
142. Tsai YH, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK. Comparative study: bond strength and microleakage with dentin bond systems. *Oper Dent*. 1990; 15: 53-60.
143. Tsunekawa M, Setcos JC, Usami Y, Iwaku M, Marshall SJ. A new light-activated adhesive composite: shear bond strength and microleakage. *Dent Mater*. 1992; 8: 234-7.
144. Ueshige M, Abe Y, Sato Y, Tsuga K, Akagawa Y, Ishii M. Dynamic viscoelastic properties of antimicrobial tissue conditioners containing silver-zeolite. *J Dent*. 1999; 27: 517-22.
145. Vermeersch G, Leloup G, Vreven J. Fluoride release from glass-ionomer cements, compomers and resin composites. *J Oral Rehabil*. 2001; 28: 26-32.
146. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Why do shear bond tests pull out dentin? *J Dent Res*. 1997; 76: 1298-307.
147. Virmani S, Tandon S, Rao N. Cuspal fracture resistance and microleakage of glass ionomer cements in primary molars. *J Clin Pediatr Dent*. 1997; 22: 55-8.
148. Weerheijm KL, Groen HJ. The residual caries dilemma. *Community Dent Oral Epidemiol*. 1999; 27: 436-41.

149. Weerheijm KL, Kreulen CM, de Soet JJ, Groen HJ, van Amerongen WE. Bacterial counts in carious dentine under restorations: 2-year in vivo effects. *Caries Res.* 1999; 33: 130-4.
150. Weerheijm KL, de Soet JJ, van Amerongen WE, de Graaff J. Sealing of occlusal hidden caries lesions: an alternative for curative treatment? *ASDC J Dent Child.* 1992; 59: 263-8.
151. Weerheijm KL, de Soet JJ, van Amerongen WE, de Graaff J. The effect of glass-ionomer cement on carious dentine: an in vivo study. *Caries Res.* 1993; 27: 417-23.
152. Wendt SL, McInnes PM, Dickinson GL. The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dent Mater.* 1992; 8: 181-4.
153. Wesenberg G, Hals E. The in vitro effect of a glass ionomer cement on dentine and enamel walls. An electron probe and microradiographic study. *J Oral Rehabil.* 1980; 7: 35-42.
154. Wieczkowski G, Joynt RB, Davis EL, Yu XY, Cleary K. Leakage patterns associated with glass-ionomer-based resin restorations. *Oper Dent.* 1992; 17: 21-5.
155. Wilder AD Jr, Swift EJ Jr, May KN Jr, Thompson JY, McDougal RA. Effect of finishing technique on the microleakage and surface texture of resin-modified glass ionomer restorative materials. *J Dent.* 2000; 28: 367-73.
156. Wilson AD, Prosser HJ, Powis DM. Mechanism of adhesion of polyelectrolyte cements to hydroxyapatite. *J Dent Res.* 1983; 62: 590-2.

157. Yap AU. Effects of storage, thermal and load cycling on a new reinforced glass-ionomer cement. *J Oral Rehabil.* 1998; 25: 40-4.
158. Yap AU, Khor E, Foo SH. Fluoride release and antibacterial properties of new-generation tooth-colored restoratives. *Oper Dent.* 1999; 24: 297-305.
159. Yap AU, Tan S, Teh TY. The effect of polishing systems on microleakage of tooth coloured restoratives: Part 1. Conventional and resin-modified glass-ionomer cements. *J Oral Rehabil.* 2000; 27: 117-23.
160. Yee R. An ART field study in western Nepal. *Int Dent J.* 2001; 51: 103-8.
161. Yılmaz Y, Gürbüz T, Kocoğulları ME. The influence of various conditioner agents on the interdiffusion zone and microleakage of a glass ionomer cement with a high viscosity in primary teeth. *Oper Dent.* 2005; 30: 105-12.
162. Yip HK, Lam WT, Smales RJ. Fluoride release, weight loss and erosive wear of modern aesthetic restoratives. *Br Dent J.* 1999; 187: 265-70.
163. Yip KH, Smales RJ, Gao W, Peng D. The effects of two cavity preparation methods on the longevity of glass ionomer cement restorations: an evaluation after 12 months. *J Am Dent Assoc.* 2002; 133: 744-51.
164. Yip HK, Smales RJ, Yu C, Gao XJ, Deng DM. Comparison of atraumatic restorative treatment and conventional cavity preparations for glass-ionomer restorations in primary molars: one-year results. *Quintessence Int.* 2002; 33: 17-21.

165. Yip HK, Tay FR, Ngo HC, Smales RJ, Pashley DH. Bonding of contemporary glass ionomer cements to dentin. Dent Mater. 2001; 17: 456-70.
166. Yücel H, Çuflaz A. Doğal ve yapay zeolitlerin endüstriyel kullanım alanları. ODTÜ Uygulamalı Araştırmalar Dergisi. 1984; 3: 1-20.



ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Samsun/Bafra’da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Ordu’da, lise öğrenimimi Trabzon’da tamamladım. 1992 yılında Gazi Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesine başladım. 1999 yılında aynı fakültenin Pedodonti Anabilim Dalı’na doktora öğrencisi olarak kabul edildim. Halen aynı Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktayım.

