



YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

MOD RESTORASYONLARDA BULK-FİLL KOMPOZİT
REZİNLERİN MİKROBOŞLUK VE MİKROSİZİNTİ
POTANSİYELLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Gözde CANİK

Lefkoőa
Nisan, 2024

GÖZDE CANİK

MOD RESTORASYONLARDA BULK-FİLL KOMPOZİT REZİNLERİN MİKRO
BOŞLUK VE MİKROSİZİNTİ POTANSİYELLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

2024

YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

MOD RESTORASYONLARDA BULK-FİLL KOMPOZİT
REZİNLERİN MİKROBOŞLUK VE MİKROSIZINTI
POTANSİYELLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Gözde CANİK

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Nuran ULUSOY

LefkoŐa
Nisan, 2024

Onay

Gözde CANİK tarafından hazırlanan "MOD Restorasyonlarda Bulk-Fill Kompozit Rezinlerin Mikroboşluk ve Mikrosızıntı Potansiyellerinin Değerlendirilmesi" başlıklı tez, kapsam ve nitelik açısından kalite standartlarına uygunluğu ile ilgili Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak 4/04/2024 tarihinde kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Adı - Soyadı	İmza
Jüri Başkanı ve		
Tez Danışmanı:	Prof. Dr. Nuran ULUSOY	<i>Nuran Ulusoy</i>
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Kaan ORHAN	<i>Kaan Orhan</i>
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. İsmail Hakkı BALTACIOĞLU	<i>Ismail Hakkı Baltacıoğlu</i>
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Fatma BASMACI	<i>Fatma Basmacı</i>
Jüri Üyesi:	Yrd. Doç. Dr. Zeynep YENEN	<i>Zeynep Yenen</i>

Anabilim Dalı Başkanı Onayı

4/04/2024

Nuran Ulusoy

Prof. Dr. Nuran ULUSOY

Anabilim Dalı Başkanı

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Onayı

...../...../ 20...

Prof. Dr. Kemal İsmail Çoban Başer
Enstitü Müdürü

Etik İkelere Uygunluk Beyanı

Bu tezin içinde sunduğum verileri, bilgileri ve belgeleri akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi; tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu; çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kurallar gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Gözde Canik

4/04/2024

Gün/Ay/Yıl

Teşekkür

Tez çalışmam süresince benden hiçbir yardımını, bilgisini ve deneyimini esirgemeyen, değerli bilgileri ile beni her zaman aydınlatan ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Nuran Ulusoy'a çok teşekkür ederim.

Tez jürime değerli bilgileri ile katkıda bulunan çok değerli hocalarım Prof. Dr. Kaan Orhan'a, Doç. Dr. İsmail Hakkı Baltacıoğlu'na, Doç. Dr. Fatma Basmacı'ya ve Yrd. Doç. Dr. Zeynep Yenen'e çok teşekkür ederim.

Ellerini her zaman omuzlarımda hissettiğim, tez sürecim boyunca maddi manevi benden hiçbir desteğini ve motivasyonu nu eksik etmeyen, benim için her zaman her şeyin en iyisini isteyen biricik nişanlım Umut Beyazlar'a, bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan canım dedeciğim Mustafa Göymen'e ve her koşulda yanımda olan canım aileme çok teşekkür ederim.

Özet

MOD Restorasyonlarda Bulk-Fill Kompozit Rezinlerin Mikroboşluk ve Mikrosızıntı Potansiyelinin Değerlendirilmesi

CANİK, Gözde

Doktora, Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı

Nisan 2024, 100 sayfa

Amaç: Bu çalışmanın amacı, farklı adeziv materyallerle uygulanan iki bulk-fill ve bir mikrohibrit kompozit rezinin mikroboşluk ve mikrosızıntısını potansiyelini değerlendirmektir.

Materyal ve Method: Endodontik olarak tedavi edilmiş 60 maksiller premolar dişte MOD kavite hazırlandı. Dişler adeziv sistemlere Gluma (Kulzer), OptiBond FL (Kerr) ve kompozit rezinlere göre EverX Posterior (GC) ve Filtek One Bulk Fill (3M ESPE) göre altı farklı gruba (n = 10) ayrıldı. 5000 döngü yaşlandırma prosedürü (Termal Siklus) gerçekleştirildi. Tüm dişler mikro bilgisayarlı tomografi ile ayrı ayrı tarandı. İstatistiksel testler için Shapiro-Wilk testi, iki yönlü MANOVA ve Bonferroni analizi kullanıldı.

Bulgular: Self-etch grupları total-etch gruplarına göre daha fazla mikrosızıntı gösterdi. Minimum mikrosızıntı Filtek One Bulk Fill gruplarında gözlenirken, G-aenial Posterior grupları maksimum mikrosızıntı gösterdi.

Sonuç: Filtek One Bulk Fill (3M ESPE) kompozit rezin, total-etch adeziv sistemlerle uygulandığında MOD kavitelede mikroboşluk oluşumunu azaltmada daha etkili bulunmuştur. Bununla birlikte, EverX Posterior (GC) ve G-aenial Posterior (GC) self-etch adeziv sistemlerle daha az mikroboşluk oluşumu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: mikro bilgisayarlı tomografi, fiber kompozit, mikroboşluk, mikrosızıntı, adeziv sistemler

Abstract

Evaluation of Microvoid and Microleakage Potential of Bulk-Fill Resin Composites in MOD Restorations

CANİK, Güzde

PhD, Department of Restorative Dentistry

April 2024, 100 pages

Background: Polymerization shrinkage and microvoid formation has been a significant problem giving way to resin composite failure. The aim of this study was to evaluate the microvoid potential and microleakage of two bulk-fill and a microhybrid resin composite applied with different adhesive materials.

Materials and Methods: MOD cavities were prepared in 60 endodontically treated maxillary premolars. The teeth were divided into six different groups (n = 10) according to adhesive systems Gluma (Kulzer), OptiBond FL (Kerr) and resin composite materials EverX Posterior (GC) and Filtek One Bulk Fill (3M ESPE). An aging procedure with 5000 cycles of thermal cycling was applied. All teeth were individually scanned with micro-computed tomography. A Shapiro–Wilk test, two-way MANOVA, and Bonferroni analysis were used for statistical tests.

Results: Self-etch groups showed more microleakage than total-etch groups. Minimum microleakage was observed in Filtek One Bulk Fill groups, whereas G-aenial Posterior groups showed maximum microleakage.

Conclusions: Filtek One Bulk Fill (3M ESPE) resin composite was found to be more effective in reducing microvoid formation in MOD cavities when applied with total-etch adhesive systems. However, EverX Posterior (GC) and G-aenial Posterior (GC) showed less microvoid formation with self-etch adhesive systems.

Keywords: micro computed tomography, fiber composite, microvoids, microleakage, adhesive systems

İçindekiler

Onay	I
Etik İlkeler Uyumluk Beyanı	II
Teşekkür	III
Özet	IV
Abstract	V
İçindekiler	VI
Tablolar Listesi	XI
Şekiller Listesi	XII
Simgeler ve Kısaltmalar	XIII

BÖLÜM I

Giriş.....	1
------------	---

BÖLÜM II

Genel Bilgiler	5
Kompozit Resinler	5
Organik Faz	5
İnorganik Faz	6
Ara Faz	6
Kompozit Resinlerde Polimerizasyon	6
Aktivasyon Safhası	7
Başlama Safhası	7

İlerleme Safhası.....	7
Bitiş Safhası	7
Polimerizasyon Derecesi (Konversiyon).....	8
Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması	8
Doldurucu Partikül Büyüklüğüne Göre Kompozit Rezinler	9
Megafil Kompozit Rezinler.....	9
Makrofil Kompozit Rezinler	9
Mikrofil Kompozit Rezinler.....	10
Hibrit Kompozit Rezinler.....	10
Nanofil Kompozit Rezinler	10
Polimerizasyon Yöntemlerine Göre Kompozit Rezinler	11
Kimyasal Olarak Polimerize Olan Kompozit Rezinler	11
Polimerizasyonları Işık ile Olan Kompozit Rezinler	11
Hem Kimyasal Hem de Işık ile Polimerize Olan Kompozit Rezinler	12
Klinik Uygulama Yöntemlerine Göre Kompozit Rezinler	12
Kondanse Edilebilen Kompozit Rezinler (Packable, Posterior) Kompozit Rezinler	12
Akışkan Kompozit Rezinler.....	13
Bulk-fill Kompozitler.....	15
Bulk-fill Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	15
Kompozit Rezinlerin Güçlendirilmesi	16
Fiber ile Güçlendirilmiş Kompozit Rezinler.....	17
Macun Kıvamlı Kısa Fiber ile Güçlendirilmiş (KFGK) Kompozit Rezinler.....	17
Akışkan KFGK Rezinler	18
Adezyon	19
Kimyasal Adezyon	19

Mikromekanik Adezyon.....	19
Fizikler Kuvvetler Sonucu Oluşan Adezyon	20
Mineye Bağlanma	20
Dentine Bağlanma.....	20
Adeziv Sistemlerin Sınıflandırılması	21
Adeziv Sistemlerin Üretim Tarihlerine Göre Sınıflandırılması	21
1. Nesil Bonding Ajanlar.....	21
2. Nesil Bonding Ajanlar.....	21
3. Nesil Bonding Ajanlar.....	21
4. Nesil Bonding Ajanlar.....	21
5. Nesil Bonding Ajanlar.....	22
6. Nesil Bonding Ajanlar.....	22
7. Nesil Bonding Ajanlar.....	22
8. Nesil Bonding Ajanlar.....	22
Klinik Uygulama Prosedürlerine Göre Adeziv Sistemler	23
Etch & Rinse Adeziv Sistemler	23
Self-Etch Adeziv Sistemler	24
İki Aşamalı Self-etch Adeziv Sistemler	24
Tek Aşamalı Self-etch (All-in-One) Adeziv Sistemler	25
Universal Adeziv Sistemler.....	26
Cam İyonomer Adeziv Sistemler	26
Polimerizasyon Büzülmesi.....	27
Materyal Formülasyonuna Bağlı Faktörler	28
Monomerlerin Kimyasal Yapısı	28
Kompozot Rezinlerin Doldurucu İçeriği.....	29
Polimerizasyona Bağlı Faktörler.....	29

Kompozit Rezinleri Yerleştirme Tekniği.....	29
Kavite Geometrisi	30
Işık ile Polimerizasyon Tekniği	30
Mikrosızıntı.....	31
Mikrosızıntı Araştırma Yöntemleri.....	32
Radyoizotopların Kullanılması Yöntemi	32
Boyarmadde Penetrasyon Testleri	33
Hava Basıncı Yöntemi	33
Kimyasal Ajanların Kullanılması.....	34
Nötron Aktivasyon Analizi	34
Bakteriyel Yöntemler	35
Elektrokimyasal Yöntemler	35
Mikroskopik İnceleme Yöntemleri	35
Konfokal Lazer Tarama Mikroskobu.....	35
SEM (Tarama Elektron Mikroskobu)	36
Direkt Tarama	36
Replika Tekniği.....	36
Diş Hekimliği Araştırmalarında Mikro-BT (Mikro Bilgisayarlı Tomografi).....	37

BÖLÜM III

Yöntem.....	38
Örneklerin Hazırlanması	39
Termal Siklus (Yaşlandırma Prosedürü).....	43
Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Hacimlerinin Değerlendirilmesi.....	44
Mikro-BT ile Mikroboşluk Hacimlerinin Değerlendirilmesi.....	45

Mikro-BT ile Mikrosızıntının Hacminin Değerlendirilmesi.....	46
İstatiksel Analiz.....	47

BÖLÜM IV

Bulgular.....	48
Kompozit Grupları Arasında Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Değerleri	48
Kompozit Rezinler ve Adeziv Sistemler Gruplarında Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Değerleri.....	50

BÖLÜM V

Tartışma.....	53
---------------	----

BÖLÜM VI

Sonuç ve Öneriler.....	57
Kaynakça.....	58
Ekler	80
Ek 1. Etik Kurul Raporu.....	80
Ek 2. Yayın	81
Ek 3. İntihal Raporu	96
Özgeçmiş.....	100

Tablolar Listesi

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Materyaller ve Özellikleri	38
Tablo 2. Kompozit Grupları Arasında Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Değerlerinin Dağılımı	49
Tablo 3. Kompozit Resinler x Adeziv Sistemler Gruplarındaki Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Değerleri	50

Şekiller Listesi

Şekil 1. Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması.....	9
Şekil 2. İnkremental Teknik İle Yerleştirilen Kompozit Rezin	13
Şekil 3. Akışkan Kompozit Rezin.....	14
Şekil 4. Yüksek Vizkoziteli Bulk-fill Kompozit Rezinlerin Kaviteye Uygulanması	16
Şekil 5. EverX Posterior	18
Şekil 6. EverX Flow.....	19
Şekil 7. Klinik Uygulama Prosedürlerine Göre Adeziv Sistemler	25
Şekil 8. Dişlerin C-tipi Silikon Ölçü Maddesine Gömülmesi.....	39
Şekil 9. Dişlere Kanal Tedavisi Uygulanması	40
Şekil 10. 5 mm Derinliğe ve 3 mm Genişliğe Sahip Kutu Formunda MOD Kavite	41
Şekil 11. Çalışmada Kullanılan Woodpecker B-Cure Işık Cihazı.....	43
Şekil 12. Dişlerin Termal Siklus Cihazına Yerleştirilmesi.....	44
Şekil 13. Bruker Skyscan 1275 Mikro-BT Sistemi	45
Şekil 14. Çalışma Şeması.....	46
Şekil 15. En Az Mikrosızıntı Değerlerini Gösteren Filtek One Bulk-fill Total-etch Grubuna Ait Mikrosızıntı ve Mikroboşlukların Mikro-BT Görüntüsü.....	51
Şekil 16. En Fazla Mikrosızıntı Değerlerini Gösteren G-aenial Posterior Selft-etch Grubuna Ait Mikrosızıntı ve Mikroboşlukların Mikro-BT Görüntüsü.....	51
Şekil 17. Total-etch Grupları İçerisinde En Fazla Mikrosızıntı Değerlerini Gösteren G-aenial Posterior Total-etch Grubuna Ait Mikrosızıntı ve Mikroboşlukların Mikro-BT Görüntüsü	52

Simgeler ve Kısaltmalar

KFGK	Kısa Fiberle Güçlendirilmiş Kompozit
Mikro-BT	Mikro Bilgisayarlı Tomografi
BisGMA	Bisfenol Glisidil Metakrilat
UDMA	Uretan Dimetakrilat
TEGDMA	Trietilen Glikol Dimetakrilat
C=C	Karbon Karbon Bağları
%	yüzde
μm	Mikrometre
nm	Nanometre
mm	Milimetre
FGK	Fiber ile güçlendirilmiş kompozitler
PMMA	Polimetil metakrilat
PDK	Partikül Dolduruculu Kompozit
Mpa	Megapascal
META	Metakriloiloksietil trimellitik anhidrit
MDP	Metakriololoksidesil dihidrojen fosfat
Phenyl-P	2-metakriloiloksietil fenil hidrojen fosfat
mW/cm^2	Mikrovolt/Santimetrekare
sn	Saniye
SEM	Tarama Elektron Mikroskobu
AUDMA	Aromatik üretan dimetakrilat
HEMA:	2-hidroksietil metakrilat
GPDM	Gliserol fosfat dimetakrilat
mL	Mililitre
$^{\circ}\text{C}$	santigrat derece
$\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$	Amonyum Gümüş Nitrat
kVp	Peak kilovoltage
mA	Miliamper

mm³

Milimetre küp

BÖLÜM I

Giriş

Estetik talebin artması ve adeziv tekniklerin gelişmesi sonucu, ön ve arka dişlerin restorasyonların da kompozit rezin materyaller hekimler tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Park vd., 2008). Dental adezivlerin ve kompozit rezin materyallerin klinik uygulama prosedürlerinin restorasyonların klinik performansını etkilediği bilinmektedir. Başarılı bir bağlanma sağlanabilmesi için; materyallerin doğru kullanılması ve restoratif materyal ile diş arasında meydana gelebilecek mikroaralık ve mikroboşluklardan arınmış olması gerekmektedir. Restoratif materyallerde meydana gelebilecek büyük boşluklar, kırılmaya daha düşük bir dirence, mikrosızıntıya ve marjinal renk değişikliğine neden olabilir (Opdam vd., 1996).

Kusursuz bir kompozit restorasyon için, restorasyon yapılacak bölgedeki risk faktörleri bilinmelidir. Posterior restorasyonlarda meydana gelen başarısızlığın en yaygın nedenleri sekonder çürükler ve kütlesek kırıklardır (Pallesen vd., 2013; Sarrett, 2005). Yapılacak olan restoratif materyalin boyutsal stabilitesi, diş ve restoratif materyal arayüzündeki mikrosızıntının önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Yap vd., 2000). Polimerizasyon büzülmesi, kompozit rezinlerin başarısızlığına sebebiyet verecek en önemli problemdir. Büzülme stresi, restoratif materyalin marjinal bütünlüğünü etkileyebilir ve bunun sonucunda mikrosızıntıya, sekonder çürüklere ve postoperatif hassasiyete neden olabilir. Başarılı bir adeziv sistem kullanıldığında bile büzülme tüberkül tepelerinde meydana gelebilir ve mine çatlaklıklarına neden olabilir (Batalha-Silva vd., 2013; Magne vd., 2008). Bu problemlerin yanında geniş Sınıf I ve Sınıf II kaviteler gibi yüksek C faktörüne sahip kavitelere uygulanacak direkt kompozit restorasyonlarda meydana gelebilecek büzülme stresi mine dokusunda mikro çatlakların oluşmasına, kırılmaya karşı dayanıklılığın azalmasına ve tüberkül sapmasına (cuspal deflection) neden olmaktadır (Al Sunbul vd., 2016; Goracci vd., 2014).

Polimerizasyon büzülmesini en aza indirmek için, kompozit rezin materyallerin inkremental teknik ile uygulanması ve soft start modu olan ışık cihazlarının kullanılması gibi çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bununla birlikte kavite duvarı ile restoratif materyal arasında meydana gelebilecek boşluk oluşumu, kompozit tabakalar arasındaki bağın kopması ve zaman alıcı olması inkremental

tekniğin dezavantajları arasındadır (Rosatto vd., 2015). Geleneksel kompozit rezin materyallerin eksiklikleri göz önünde bulundurularak, meydana gelebilecek dezavantajların önüne geçmek, zamandan tasarruf etmek ve maliyetleri düşürmek amacıyla bulk-fill kompozit rezinler piyasaya sunulmuştur (Vinagre vd., 2016).

Bulk-fill kompozitlerin en önemli avantajı 4 mm'yi aşan kaviteye tek kütle şeklinde uygulanabilmesidir. Kütleme için tabakalar şeklinde uygulama gerektirmemesi, daha uzun sertleşme süresi ve daha yüksek ışık yoğunluğu gerektirmemesi gibi avantajları vardır. (Vinagre vd., 2016; F vd., 2016). Tüm bu özelliklerinin yanı sıra bulk-fill kompozitlerin akışkan ve geleneksel kompozitlere göre daha düşük polimerizasyon büzülmesine sahip olduğunu vurgulamıştır (Garcia vd., 2014). Bulk-fill kompozitler, derin kavitelere kullanım kolaylığı sağlarken, fiber ilavesi ise kompozitlerin yapısını güçlendirerek malzemenin dayanıklılığını artırır (Tekçe vd., 2021). Fonksiyon esnasında meydana gelebilecek streslere karşı koymak adına, kompozit rezinlerin doldurucu partikül boyutlarında ve morfolojisinde değişiklikler yapılmış ve yapılan bu değişiklikler sonucunda gelişmiş mekanik özelliklere sahip kısa fiber ile güçlendirilmiş kompozit (KFGK) rezin materyaller üretilmiştir. KFGK rezin materyaller ilk olarak 1990'lı yılların sonlarında tepilebilir kompozit (Alert, Jeneric/Pentron) olarak ortaya çıkmıştır. 2013 yılına gelindiğinde ise, ilk macun kıvamlı KFGK rezin (EverX Posterior, GC, Tokyo, Japonya), dentinin stres emici özelliklerini taklit etmesi amacıyla kullanıma sunulmuştur (Keulemans vd., 2017). EverX Posterior, son yıllarda geliştirilen fiber içeren bir kompozittir. Dentin replasman materyali olarak kullanılan kompozit rezin özellikle büyük ve derin kavitelere içeriğindeki kısa lifler sayesinde kırılma dayanımını artırmakta ve çatlak ilerlemesini engellemektedir (Tekçe vd., 2021). Birden fazla KFGK rezin materyallerinin değerlendirildiği bir çalışmada (Alert, NovaPro Flow, NovaPro Fill, EverX Flow, EverX Posterior) EverX Posterior değerlendirilen diğer kompozitlere yakın değerlerde büzülme stresi gösterirken, EverX Flow en yüksek büzülme stresi değerlerini göstermiştir (Lassila vd., 2020). KFGK rezin materyali (EverX Posterior), bulk fill kompozitler ile (Beaufil-Bulk, Filtek Bulk-fill) karşılaştırdığı başka bir çalışmada EverX Posterior en düşük büzülme stresini göstermiştir (Jafarnia vd., 2021).

Dental materyal araştırmalarında çeşitli yaklaşımlar için kullanılan mikro bilgisayarlı tomografi (Mikro-BT) kompozit restorasyonlarda ara yüzeyde meydana gelebilecek boşluk miktarının belirlenmesinde, mikrosızıntının varlığının ve

miktarının belirlenmesinde ve polimerizasyon büzülmesinin yönünün ve miktarının belirlenmesi dahil olmak üzere çeşitli kullanım alanlarına sahiptir (Carrera vd., 2015; Chiang vd., 2010; Kakaboura vd., 2007; Neves vd., 2014; Opdam vd., 1996; Tekçe vd., 2021). Mikro bilgisayarlı tomografi kullanımı, i geometrik özellikler ve yapısal parametreler hakkında bilgi sağlayan, doğru sonuçlar elde etmek için herhangi bir yönde dilimlenebilen dişlerin, restorasyonların ve evre yapıların ayrıntılı bir 3D rekonstrüksiyonunu sağlar (Carrera vd., 2015; Li vd., 2011). Mikro-BT'nin avantajlarından biri, özellikle zamansal değerlendirmede tahribatsız olma yeteneğidir (Carrera vd., 2015).

Mikro-BT cihazını kullanarak bulk-fill kompozitlerin polimerizasyon büzülmesi sonucunda ortaya çıkan mikroboşluk oluşumunun değerlendirildiği bir çalışmada, kaviteler bulk-fill kompozitler ile restore edilmiş ve mikro-BT (Bruker SkyScan 1174; SkyScan-Bruker, Antwerp, Belçika) cihazı ile taranmıştır. Çalışma Sınıf I kavitelere Sınıf II kavitelere göre daha fazla mikroboşluk olduğunu ortaya koymuştur (Tosco vd., 2022).

Bulk-fill kompozitlerin büzülme ve dnm derecesini değerlendirildiği bir çalışmada; Bulk-fill kompozit rezin (Filtek One Bulk Fill Restorative) kavitelere, horizontal tabakalama tekniği ile yerleştirilmiştir. Örnekler mikro-BT (Sky Scan 1172 Micro-BT, Bruker Billerica, MA, ABD) cihazı ile taranmış ve arayüz boşluk oluşumu değerlendirilmiştir. Restorasyonun kavite tabanına yakın kısımlarında dnm derecesi daha az olmasına rağmen, mikro boşluk oluşumu gözlenmiştir. Araştırma sonuçları, bulk-fill kompozit rezinin dnm derecesinin kabul edilebilir düzeyde olduğunu ancak kavite tabanında meydana gelen mikroboşluk oluşumunun hacimsel büzülme ile ilişkili olduğu göstermiştir (Grassini vd., 2022).

Konu ile ilgili olarak yapılan literatür taramasında, bulk-fill kompozit rezinlerin mikro-BT cihazı ile mikroboşluk ve mikrosızıntı potansiyellerinin değerlendirildiği çok az çalışmaya rastlanmıştır (Grassini vd., 2022; Tosco vd., 2022). Literatürde, son yıllarda klinik çalışmalarda kullanılmaya balanan EverX Posterior'un hem mikrosızıntı hem de mikroboşluk potansiyelinin mikro-BT cihazı ile değerlendirildiği bir çalışmaya ise rastlanmamıştır.

Bu çalışmanın amacı, derin MOD kavitelere, self-etch veya total-etch adezivler ile birlikte uygulanan iki bulk-fill kompozit rezini, mikroboşluk ve mikrosızıntı potansiyeli açısından mikro-BT cihazı ile değerlendirmek ve inkremental teknik ile uygulanan bir mikrohibrit kompozit rezi ile karılatırmaktır.

Bu çalışma için aşağıdaki hipotezler belirlenmiştir:

H₀1: Restoratif materyal seçimi mikroboşluk oluşumunu etkilemez.

H₀2: Restoratif materyal seçimi mikrosızıntı oluşumunu etkilemez.

H₀3: Adeziv sistem seçimi (etch-and-rinse veya self-etch) mikroboşluk oluşumunu etkilemez.

H₀4: Adeziv sistem seçimi (etch-and-rinse veya self-etch) mikrosızıntı oluşumunu etkilemez.

BÖLÜM II

Genel Bilgiler

Kompozit Rezinler

Estetik ve restoratif diş hekimliğinin amacı; doğru tanı ile eksiksiz bir tedavi sonucunda, doğal diş görünümünün, estetik ve fonksiyonunun yeniden sağlanmasıdır. Dişlerin doğal görünümleri dışında karşıt ve komşu dişler ile olan ilişkileri de çiğneme, estetik ve konuşma gibi işlevlerin ana belirleyicilerindedir. Dişlerde meydana gelebilecek çürük ve defektlerin estetik olarak onarılabilmesi restoratif diş hekimliği açısından önemlidir (Uluakay vd., 2011). Kompozit rezinlerin, restoratif diş hekimliğine girmesi çok önemli bir gelişme olup, 1955 yılında Buonocore tarafından asitle pürüzlendirme tekniğinin tanıtılmasının ardından da adeziv diş hekimliği gelişmeye başlamıştır. 1962 yılında Dr. Ray Bowen tarafından mine ve dentin dokusuna adezyon ile bağlanan kompozit rezinler tanıtılmıştır. Bu zamana kadar geçen süreç içerisinde günümüze kadar kullanılan estetik dolgu materyalleri; silikat simanlar, cam iyonomer simanlar, akrilik dolgular ve kompozit rezinlerdir. Özellikle fiziksel özelliklerinden dolayı günümüzde kompozit rezinlerin kullanımı önem kazanmıştır (Furuse vd., 2008). Adeziv sistemlerin gelişmesi için yapılan çalışmalar sayesinde kavite preparasyonu sonrasında kalan mevcut diş dokusunun güçlendirilmesi mümkün olmaktadır. Güncel olarak kullanılan kompozit rezinler organik, inorganik dolduruculardan ve ara bağlayıcı ajandan oluşurlar (Uluakay vd., 2011).

Organik Faz

Monomerler, ko-monomerler, inhibitörler, polimerizasyon başlatıcılar ve ultraviyole stabilizatörlerinden oluşmaktadır. Güncel olarak kullanılan kompozit rezinlerin büyük bir kısmı monomer olarak, bisfenol glisidil metakrilat (BisGMA) ile renk değişimine dayanıklı olan ve daha iyi adezyon sağlayan uretan dimetakrilat (UDMA) içermektedir (Uluakay vd., 2011). Her iki bileşenin de vizküz yapıya sahip olması nedeniyle matris yapıya vizkoziteyi azaltıcı bir ko-monomer olan trietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA) ilave edilmiştir. Kompozit rezinlerinin ısı, ışık ve kimyasal yollar ile kendi kendine polimerize olmasının önüne geçmek amacıyla

organik matris içine ilave edilen fenol türevi bileşiklere inhibitörler adı verilir (Uluakay vd., 2011).

İnorganik Faz

Organik matris faz içinde dağılmış halde çeşitli büyüklükteki borosilikat cam, lityum aliminyum silikat, kuartz, baryum, stronsiyum, kuartz gibi inorganik doldurucu partiküllerden oluşur. İnorganik doldurucuların miktarı, büyüklüğü ve şekli kompozit rezinlerin fizikler özelliklerini belirler. Kompozit rezinlerin doldurucu oranı arttıkça, inorganik matris oranı düşer. Buna bağlı olarak polimerizasyon büzülmesi, su absorpsiyonu ve ısısal genleşme katsayısı azalırken, dayanıklılık artar (Uluakay vd., 2011).

Ara Faz

Kompozitlerde ki organik ve inorganik fazlar arasındaki bağlantı son derece önemlidir. Organik ve inorganik fazlar arasındaki bağlanma, ara faz olarak adlandırılan bağlayıcı faz ile sağlanır (Condon & Ferracane, 2002; Musanje & Ferracane, 2004). Ara faz silisyum bileşiği içeren silanlardan meydana gelmektedir. Silanlar organik matriste bulunan metakrilat grupları ile kovalent bağlar kurarak, matrisdeki doldurucu yüzeylerinde su ya da hidroksil gruplarını soğurarak yüzeyde esterleşebilen iki fonksiyonlu moleküllerdir. Bu sayede organik ve inorganik fazlar arasında bağ kurarak suya dayanıklı kompozit rezinlerin oluşumunu sağlarlar (Uluakay vd., 2011).

Kompozit Rezinlerde Polimerizasyon

Çok sayıda monomerin bir çok kimyasal reaksiyon ile birleşerek bir makromolekül oluşturması polimerizasyon terimini tanımlamaktadır. Işık ile polimerize olan kompozit rezinler; aktivasyon safhası, başlangıç safhası, ilerleme safhası ve sonlanma safhası olmak üzere 4 aşamada polimerizasyonlarını gerçekleştirirler (Bektaş, 2006; Leprince vd., 2013).

Aktivasyon Safhası

Polimerizasyonun başlaması için gerekli olan serbest radikallerin içerdiği zayıf bir bağ olan başlatıcıların aktivasyonu ile yani ısı, ışık, kimyasal bileşikler sonucu oluşan safhadır (McCabe vd., 2013).

Başlama Safhası

Monomerlerin serbest radikaller ile reaksiyona girmesi sonucu başlayan bu safhada çift bağ içeren monomerlerle serbest radikaller reaksiyona girerek reaktif gruplar oluştururlar (McCabe vd., 2013).

İlerleme Safhası

Polimerizasyonun gerçekleşmesi için önemli bir safha olan ilerleme safhası; yarı-statik safha, jel ve cam safha olmak üzere üç kısma ayrılmaktadır. Visköz sıvı halden elastik jel yapısına geçilen safhada, büyüyen zincirlerin difüzyon ve esneklik oranları azalacaktır. Zaman geçtikçe, solüsyonun viskozitesi artar ve buna bağlı olarak reaksiyon da artar. Polimerizasyon ise belirgin şekilde azalır. Tüm bu reaksiyonlar sonucunda cam (vitrikasyon) fazına geçiş gerçekleşir. İleri reaksiyon oluşumu cam fazında önlenir ve serbest radikaller polimer ağ içerisinde hapsolür. Herhangi bir uyaran karşısında reaksiyona girmemiş C=C bağları (karbon karbon bağları) ile serbest radikaller reaksiyona girerler (Leprince vd., 2013).

Bitiş Safhası

İlerleme reaksiyonu monomer moleküller bitinceye kadar devam eder. İlave reaksiyonları engelleyerek polimer zincirin bitimi sağlanır. Bu da ölü polimer zincirlerinin oluşturulmasına neden olacak ve bu zincirler ilave reaksiyona uğramayacaktır. Son polimer zincirinin fiziksel özellikleri üzerinde; çapraz bağları, molekül ağırlığı, incir dallanmasının etkisi büyük olacaktır (Bektaş 2006; McCabe vd., 2013).

Polimerizasyon Derecesi (Konversiyon)

Kompozit rezinlerin polimerizasyonu boyunca, monomerlerin polimerlere dönüşmesi konversiyon ya da polimerizasyon derecesi olarak adlandırılır.

Reaksiyona katılmayan artık monomerlerin miktarı polimerizasyon derecesi artarken azalır. İdeal bir kompozit rezin en yüksek polimerizasyon derecesini oluşturup düşük miktarda büzülme meydana getirir (Bektaş 2006; Dewaele vd., 2006).

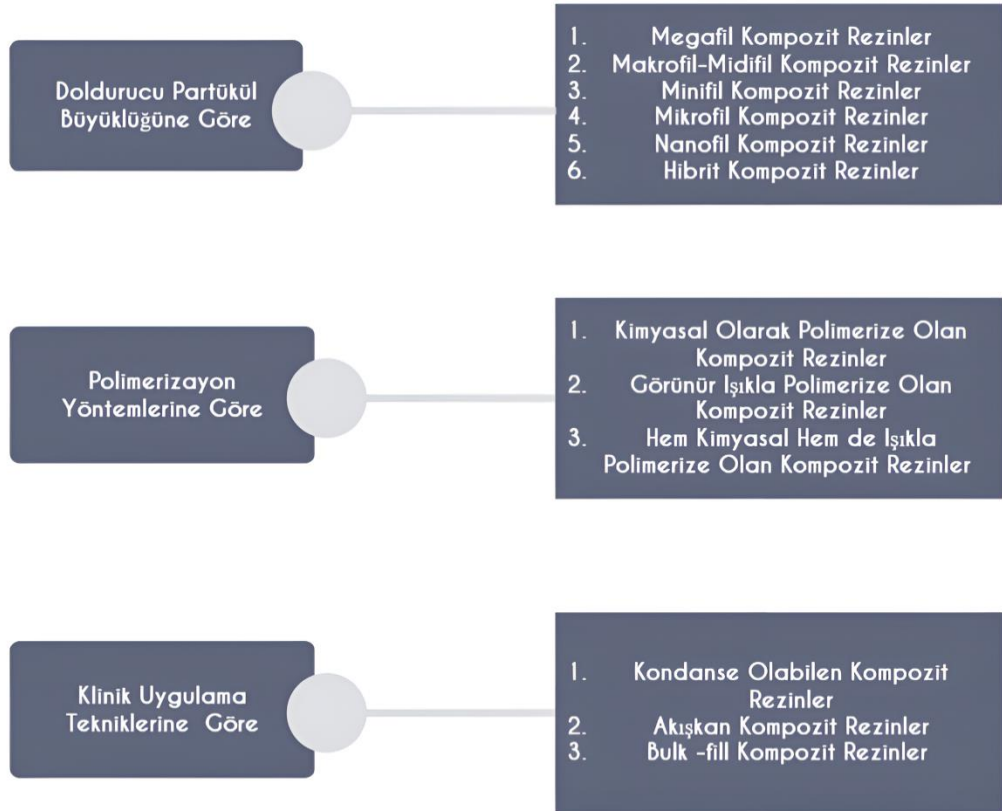
Yetersiz bir polimerizasyon bazı olumsuzluklara neden olabilir:

- Reaksiyona girmeyen toksik monomerler pulpa üzerinde olumsuz etki yaratabilirler.
- Başarısız bağlan nedeniyle kenar sızıntılarına neden olabilir.
- Postoperatif hassasiyet sıklıkla gözlenebilir.
- Diş-restorasyon bağlantısında defektlere neden olabilir.
- Renklenme gibi istenmeyen estetik bozukluklara yol açabilir.
- Bağlanmadaki başarısızlığın sebebiyet verdiği kenar sızıntısı nedeniyle sekonder çürüklerin oluşumuna yol açabilir.
- Aşınmalar meydana gelebilir ve aşınma kompozit restorasyonlarda istenmeyen bir dezavantajdır. (Caughman vd., 1991; Ferracane vd., 1997).

Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

Kompozit rezinlerin sınıflandırılmasında, inorganik doldurucuların şekil ve büyüklükleri, partiküllerin hacim ya da ağırlık yüzdeleri, polimerizasyon yöntemleri ve vizkozitleri, polimer matrise ekleniş biçimleri gibi pek çok değişken kullanılmaktadır (Misilli, 2016). Kompozit rezinler genel olarak; doldurucu partikül büyüklüğüne göre, polimerizasyon yöntemlerine göre ve klinik uygulama tekniklerine göre sınıflandırılabilirler (Uluakay vd., 2011; Zhou vd., 2019).

Şekil 1

Kompozit Resin Sınıflandırması***Doldurucu Partikül Büyüklüğüne Göre Kompozit Resinler***

Megafil Kompozitler Resinler. Partikül büyüklükleri 50-100 μm arasında değişen bu kompozit resinler günümüzde kullanılmamaktadır (Bayne vd., 2001;Uluakay vd., 2011).

Makrofil, Midifil Kompozit Resinler (Geleneksel Kompozitler). Midifil kompozit resinler genel olarak 1-10 μm boyutlarında doldurucu partiküller içerirler. Bu kompozit resinlerin arasında 10-100 μm boyutlarında makrofil partiküllere de rastlanır. Makro partiküller sayı olarak daha az olmasına rağmen, midifil ve makrofil kompozitler geleneksel kompozitler olarak isimlendirilmektedir. Geleneksel kompozitler organik matris içerisine dağılmış olan %70-80 inorganik doldurucu partiküllerden oluşmaktadır. Geleneksel kompozitlerde inorganik doldurucular, ağır

metal cam ve kuartz partiküllerinden meydana gelmektedir. Partiküllerin sert ve büyük olması, inorganik yapıya göre organik yapının daha fazla aşınmasına yol açmaktadır. Bu da kompozit rezinlerin klinik başarısı için önemli bir problem olan renklenmelere ve yüzey pürüzlülüğüne neden olur (Auschill vd., 2009; Bayne vd., 2001; Feng vd., 2010).

Mikrofil Kompozit Rezinler. Makrofil kompozitlere göre daha az partikül içeren bu kompozitlerin partikül yüzleri %35-60'dır. İnorganik doldurucuları koloidal silika partiküllerinden oluşup büyüklükleri 0.01-0.1 µm arasındadır. Makrofil kompozitlere kıyasla, Mikrofil kompozitler de bitirme ve cila işlemlerinden sonra daha pürüzsüz bir yüzey elde etmek mümkündür. Makrofil kompozitlere göre daha kötü fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir (Feng vd., 2010 ; Ikeda vd., 2009).

Hibrit Kompozitler. Bu tür kompozit rezinler farklı iki kompozitin bileşiminden oluşur. Her bir kompozit değişik boyutlarda doldurucular içerir. Hibrit kompozitler partikül yüzdesi en çok olan kompozitin adını taşır. Nano partiküllerin yüzdesi diğer partiküllere oranla daha fazla ise nanohibrit kompozit, mikro partiküllerin yüzdesi diğer partiküllere oranla daha fazla ise mikrohibrit kompozit olarak isimlendirilir. Hibrit kompozitlerde ağır metaller içeren cam partikülleri ve koloidal silika harmanlanmış bir şekilde inorganik doldurucu olarak organik matrisle katılmıştır. Buna bağlı olarak doldurucu partikül yüzdesi ağırlıkça %10-20'si koloidal silika olmak üzere %75-80'e ulaşmıştır. Büyük partiküller arasında submikron büyüklüğündeki inorganik doldurucu partiküller gelişmiş güzel yerleştirildiği için bu kompozitlerde yüzey düzgündür. Bu sebeple estetik açıdan önem arz kısımlarda ve stresin yoğun olduğu bölgelerde tercih edilmektedir (Auschill vd., 2009; Ikeda vd., 2009).

Nanofil Kompozit Rezinler. Nano teknolojinin diş hekimliğine girmesi ile üretilen nanofil kompozitler, dayanıklılık açısından hibrit, estetik ve yüzey düzgünlüğü açısından ise mikrofil kompozitlere benzer. İnorganik doldurucu partiküllerin büyüklüğü 0.005-0.01 µm arasındadır (Blunck & Roulet, 1999). Nanofil kompozitlerde inorganik doldurucu partiküllerin büyüklüğü 0.005-0.01 µm (5-100 nm) arasında olduğundan görünür ışığın dalga boyundan daha küçük oldukları için yüksek translusensi göstermektedirler. Görünür ışık ile saçılım veya absorpsiyon gibi

etkileşimlere girmediklerinden dolayı üstün optik özellik sergilemektedirler. Daha geniş bir renk seçeneğiyle daha estetik restorasyonlar yapılmasına olanak sağlamaktadırlar (Ferracane, 2011; Gökçe & Özel, 2005; Mitra & Holmes, 2003).

Polimerizasyon Yöntemlerine Göre Kompozit Rezinler

Kimyasal Olarak Polimerize Olan Kompozit Rezinler. Polimerizasyonun kimyasal olarak ortaya çıkması iki patın karıştırılması ile olur. Çift pat içeren kompozitlerde bir pat polimerizasyonu hızlandıran organik amin, diğer pat ise polimerizasyonu başlatan benzoil peroksit içerir. Eşit miktarda alınan iki pat birbirleri ile karıştırılır. Bu tür kompozit rezinlerde, içeriğinde bulunan tersiyer aromatik aminlerin ağız ortamında kimyasal değişikliğe uğraması sonucunda amin renklenmesi görülür. Renklenmeye mikropartiküllü ve ışık ile polimerize olan rezinlerde daha az rastlanırken, makropartiküllü ve Bis-GMA miktarı fazla olan rezinlerde daha fazla rastlanır (Ikeda vd., 2009 ; Kemp-Scholte & Davidson, 1988).

Polimerizasyonları Işık ile Olan Kompozit Rezinler. Polimerizasyonları görünür ışık ile başlayan bu tür kompozitler tek pat sisteminde üretilmiştir. Tek pat şeklinde olan bu kompozitler güneş ışığından korunmak için siyah ya da opak tüpler içerisinde piyasada bulunmaktadır ve doğru polimerizasyon için tüplerin ağzı kapalı olmalıdır. Işık aktivasyonu ile polimerizasyon başlamaktadır ve polimerizasyon yaklaşık 10 ile 15 dakika içinde gerçekleşip, 24 saate kadar devam etmektedir. Polimerizasyon reaksiyonu 420-470 nm (nanometre) dalga boyuna sahip mavi ışık ile başlamaktadır. Bu sebepten kompozit rezinlerin içeriğinde bu dalga boyundaki ışığa karşı duyarlı, polimerizasyonun başlamasına yardımcı olan foto-initiator (başlatıcı) kamforakinon, ve (hızlandırıcı) alifatik amin bulunmalıdır. Rezinin içeriğinde bulunan ve polimerizasyonu başlatan maddelere gerekli olan ışık verildiğinde polimerizasyon başarılı olur. Işık uygulama süresi; doldurucu partikül miktarı sayıca çok olan ve daha koyu renk tonuna sahip olan kompozitlerde polimerizasyon daha yavaş ve daha az derin olacağından artırılabilir. Uygulanan ışık süresinin önerilen süreden fazla olmasının olumlu bir etki olmamakla birlikte zararlı olmadığı da belirtilmiştir.

İnkremental teknik ile yerleştirilen kompozit rezinlerde, çeşitli renk tonuna ve türe sahip kompozitleri aynı kavitede uygulama olanlığı vardır. Bundan dolayı

meydana gelebilecek büzülme azaltılmış olur. Işık ile polimerize olan kompozit rezinlerde, polimerizasyon büzülmesi ışık kaynağına doğru gerçekleştiğinden ışığın uygulandığı yüzey çok önemlidir. Işığın direkt oklüzal yüzeyden verilmesi kompozit rezinin gingival duvardan ve kavite tabanından ayrılmasına neden olabilmektedir.

Kompozit rezinlerin klinik başarısı için istenmeyen bu durum asitle pürüzlendirme ve adeziv sistemlerin uygulanması ile bir dereceye kadar önlenmeye çalışılsa da önemli sorunlara yol açabilir. Bu sebepten ışığın önce lingual ve vestibül yüzeyden verilmesi, daha sonra ise oklüzal yüzeyden verilmesi önerilmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda ışık ile polimerize olan kompozit rezinlere antioksidanlar eklenerek renk değişimine daha dirençli hala getirilmiştir (Feilzer vd., 1990; Ikeda vd., 2009; Kemp-Scholte & Davidson, 1988; Pollington vd., 2010).

Hem Kimyasal Hem de Işık ile Polimerize Olan Kompozit Reziner. Bu tür kompozit rezinlerde görülen kimyasal polimerizasyon yavaş olduğundan fotokimsiyal yolla rezine ilave bir polimerizasyon eklenmiştir. Polimerizasyonun tam olarak gerçekleşeceğinden emin olunamadığı her durumda uygulanması önerilen bu kompozitler derin kavitelere, girişin zor olduğu interproksimal alanlarda ve 2 mm'den daha kalın kompozit rezin uygulamalarında başarılıdır (Brackett, 2006).

Klinik Uygulama Tekniklerine Göre Kompozit Reziner

Kondanse Edilebilen (Packable, Posterior) Kompozit Reziner. 1990'lı yılların başlarında üretilen kondanse edilebilir kompozit rezinler günümüzde halen daha posterior bölge restorasyonlarında kullanılmaktadır (Zhou vd., 2019). Kontakt noktalarının daha iyi şekillendirilebilmesine imkan vermesi ve kaviteye basınçla kolay bir şekilde yerleştirilmesi gibi özellikleri nedeni ile sıklıkla arka bölge restorasyonlarında tercih edilmektedir (Ilie & Hickel, 2009). Bu tür kompozit rezinler kaviteye tabakalar halinde yani inkremental teknikle yerleştirilmekte ve her tabaka 2 mm kalınlıkta olacak şekilde polimerize edilmektedir (Rees vd., 2004).

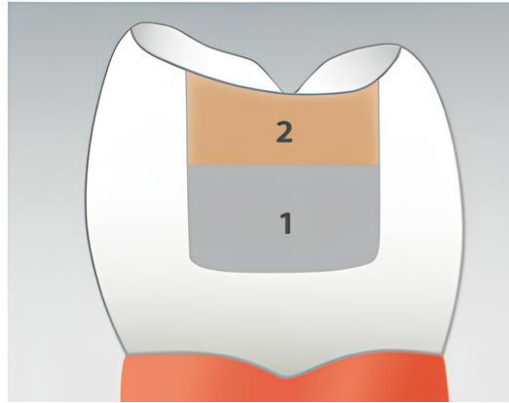
Posterior kompozitler inorganik doldurucu oranı arttırılarak yüksek fiziksel özellikler taşıyan kompozit rezinler olarak geliştirilmiştir (Uluakay vd., 2011). Posterior kompozitler yapışkan bir yapıya sahip olmadıklarından temiz el aletleri ile tek seferde yerleştirilip anatomik form rahat bir şekilde işlenebilir, bu da bitirme

düzeltilme işlemleri için geçen süreyi kısaltır. Ancak makropartiküller içerdiği için cila uygulamaları sonrasında pürüzlü bir yüzeyler oluşabilir. Bu kompozitlerin klinik olarak değerlendirildiği çalışmalarda, başarısızlık oranınının 10 yılda %40-50 olduğu bildirilmiştir ve en önemli başarısızlık nedenleri kontak kaybı ve restorasyonun aşınması olarak gösterilmiştir (Altun, 2005).

Posterior kompozit rezinlerin radyoopasitelerinin değerlendirildiği çalışmalarda ise radyoopasitelerinin kabul edilebilir seviyede olduğu ve arka bölgedeki dişlerin restorasyonlarında kullanıldıklarında radyografide rahatlıkla izlenebilmelerinin mümkün olduğu belirlenmiştir (Toraman vd., 2001).

Şekil 2

İnkremental Teknik ile Yerleştirilen Kompozit Resin



Akışkan Kompozit Resinler. Akışkan kompozitlerin ilk nesilleri 1996 yılında piyasaya sunulmuştur (Ikeda vd., 2009). Kompozit rezinlerde akışkanlık, materyallerin küçük ağızlı dağıtıcılardan enjekte edilmesini sağlayan ve bu sayede kaviteye yerleştirilmesi prosedürünü kolaylaştırıp, klinik uygulama prosedürlerini genişleten bir kullanım özelliği olarak kabul edilir (Ikeda vd., 2009 ; Labella vd., 1999). Akışkan kompozitler küçük kavitelere kolayca yerleştirilebilir ve daha viskoz olan geleneksel kompozit rezinlere göre kavite duvarlarına daha iyi uyum göstermesi beklenir (Baroudi vd., 2008). Bu kompozit rezinler, hibrit kompozit rezinlere benzer şekilde küçük partikül boyutuna sahip olup, viskozitesi düşüktür. Ancak bu kompozitlerin eğilme kuvveti ve aşınma direnci gibi çeşitli mekanik özellikleri geleneksel kompozitlere göre daha düşüktür (Ikeda vd., 2009). Bu nedenle bu kompozit rezinlerin daha çok erişiminin zor olduğu kavitelere veya iyi penetrasyon

gerektiren durumlarda, kompozit veya kronların tamir işlemlerinde, pit ve fissür çürüklerinde, porselen tamirinde, mine defektlerinde, anterior bölgede insizal kenarın tamirinde ve küçük sınıf III, V kaviteelerde dolgu materyali olarak kullanılması önerilmektedir (Bayne vd., 1998).

Son zamanlarda yüksek doldurucu içeriğine sahip akışkan kompozit rezinler piyasaya sunulmuştur. Üretici firmalara göre, piyasaya yeni sunulan akışkan kompozit rezinlerin doldurucu içeriği ve polimerizasyon büzülmesi, geleneksel hibrit kompozit rezinler ile karşılaştırılabilirken aynı akışkanlığa sahiptir (Ikeda vd., 2009). Ikeda vd. (2009) yapmış oldukları çalışmada, 1 mm derinliğine sahip kaviteelerde, yüksek ve düşük doldurucu içeriğine sahip akışkan kompozit rezinler ve hibrit kompozit rezin arasında marjinal bütünlük ve kavite duvarlarına adaptasyon açısından bir fark gözlenmemiştir. 2 mm derinliğindeki Sınıf I kaviteelerde ise, düşük doldurucu içeriğine sahip akışkan kompozitler, bulk-fill kompozitler ile birlikte kullanıldığında daha iyi sonuç vermiştir. Yapılan bu çalışmaya göre 2 mm derinliğindeki kaviteeler için yüksek doldurucu içeren akışkan kompozit veya geleneksel hibrit kompozit ile birlikte düşük doldurucu içeriğine sahip akışkan kompozit inkremental teknik ile birlikte kullanıldığında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 3

Akışkan Kompozit Resin



Bulk-fill Kompozitler. Arka grup dişleri restore etmek için kullanılan kompozit rezinlerin estetik ve mekanik özelliklerini geliştirilmesi, aynı zamanda kullanım kolaylığı beklentisini de getirmiştir. Bu sebeple popüler hale gelen ve bulk-fill kompozitler bulk tekniği ile yani tek tabaka şeklinde uygulanmaktadır (Sarrett vd., 2005).

Kompozit rezinlerin zaman içerisinde oluşan kenar uyumsuzlukları ve marjinal renklenme, sekonder çürükler, tüberkül fraktürleri, restorasyon sonrası hassasiyet ve mikrosızıntı gibi dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar genellikle polimerizasyon büzülmesi ile ilişkilendirilir (Ferracane & Mitchem, 2003; Irie vd., 2002). Polimerizasyon büzülmesi sonucu oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçebilmek için kompozit rezinlerin inkremental teknik ile yani tabakalar şeklinde uygulanması önerilmektedir. Ancak derin kaviteelerde kompozit rezinlerin inkremental teknik ile yerleştirilmesi hem uygulama süresini uzatmakta hem de ışınlama sayısını artırmaktadır. Bu nedenle kompozit rezinlerin daha fazla kalınlıkta ve büyük kütleler şeklinde uygulanabilmesini sağlamak amacıyla bulk-fill kompozitler geliştirilmiştir (Donadio-Moura vd., 2005; Karaman vd., 2012). Son zamanlarda geliştirilen bulk-fill kompozitler, gelişmiş translusent özelliklerinden dolayı geleneksel kompozit rezinlerden daha yüksek polimerizasyon derecesine sahiptir. Kompozit rezinlerin polimerizasyon derecesinin artması, kaviteye daha büyük kütleler şeklinde yerleştirilebilmesine imkan sağlamaktadır (Garcia vd., 2014; Rueggeberg, 1999). Bulk-fill kompozitler akışkan kompozitlere göre daha düşük polimerizasyon büzülmesi gösterirken, geleneksel kompozitlere göre daha düşük viskoziteye sahiptirler (Czasch & Ilie, 2013). Bulk-fill kompozitlerin en büyük avantajı, kaviteye 4 ile 6 mm arası kalınlıkta tek tabaka halinde yerleştirilebilmeleridir. Bunun yanısıra çiğneme kuvvetlerine karşı aşınma direncinin iyi olması, tabakalar arasında boşluk oluşmaması, yeterli radyoopasiteye sahip olması, renk uyumu ve yüzey özelliklerinin klinik olarak kabul edilebilir seviyede olması, hekime uygulama kolaylığı sağlaması gibi avantajları da vardır (El-Damanhoury & Platt, 2014).

Bulk- fill Kompozitlerin Sınıflandırılması. Bulk-fill kompozitler: yüksek viskozite sahip bulk-fill kompozitler ve düşük viskoziteye sahip bulk-fill kompozitler olarak iki grupta incelemişler. Düşük viskoziteye sahip bulk-fill kompozitler, akışkan bulk-fill kompozitler olarak ta adlandırılırlar. Kaviteye yerleştirilmesi ve

adaptasyonu kolaylaştıran kapsül veya şırınga şeklinde küçük bir uygulama ucu aracılığıyla kaviteye uygulanırlar (Van Ende vd., 2017). Doldurucu oranı düşük olan bu kompozitler, düşük aşınma direnci, düşük yüzey sertliği ve yetersiz mekanik özellikler gösterirler ve su absorpsiyonları daha yüksek olur. Bu özelliklerinden dolayı bu tip kompozitlerin üzerine 2 mm kalınlığında geleneksel bir kompozit rezin uygulanması istenir (Burgess & Cakir, 2010). Yüksek viskoziteye sahip bulk-fill kompozitler ise rezin matris içerisinde daha fazla doldurucu içerirler. Mekanik özellikleri ve yüzey dirençleri daha iyi olduğundan posterior kavitelere tek başına uygulanabilirler (Li vd., 2015 ; Tomaszewska vd., 2015).

Şekil 4

Yüksek Viskoziteli Bulk-fill Kompozit Rezinin Kaviteye Uygulanması



Kompozit Rezinlerin Güçlendirilmesi

Kompozit rezinleri güçlendirmek için inorganik doldurucuların yapısını değiştirmek başarılı bir tekniktir (Rastelli vd., 2012). İnorganik doldurucuları modifiye etmek için rezin matris içerisine seramik parçacıklar (whisker), nanodoldurucular, nanofiber, mineral salan doldurucular, titanyum oksit (TiO₂) nanotüpler, mezoporöz doldurucular ve fiberler ilave edilir (Pehlivan & Karacaer, 2014).

Fiber ile Güçlendirilmiş Kompozit Resinler

Fiber ile güçlendirilmiş kompozitler (FGK); geleneksel kompozit resinlere benzer yapıya sahip olup organik matris ve inorganik dolduruculardan oluşmaktadır. Organik matris; polimetil metakrilat (PMMA), üretan dimetakrilat (UDMA), trietilenglikol dimetakrilat (TEGDMA), epoksi veya Bisfenol A diglisidil metakrilat (Bis-GMA) yapısındadır. İnorganik doldurucular ise organik matrise ilave edilen çeşitli çap, boy, yapı ve yönde yerleştirilen fiberlerden oluşur. Fiber ve matris arasında bulunan arayüz, yükün fiberlere transfer edilmesinde önemli rol oynar. Güçlendirici bir yapıya sahip olan fiberler, materyale sertlik ve dayanıklılık sağlarken, fiberleri saran resin matris onların yapısını sabitleyip, optimal güç oluşturmak için aynı pozisyonda kalmalarını temin eder, nem etkisinden korur, desteklik ve uygulanabilirlik sağlar (Freilich vd., 1998).

Macun Kıvamlı Kısa Fiberle Güçlendirilmiş Kompozit (KFGK) Resinler.

Geleneksel partikül dolduruculu kompozit (PDK) resinlerin zayıf kırılma dayanıklılığının üstesinden gelinmesi amacıyla kısa fiberle güçlendirilmiş kompozit (KFGK) resinler geliştirmiştir (Fráter vd., 2020; Lassila, vd., 2018). Büyük kaviteleri restore etmek için önerilen yeni biyomimetik yaklaşım, dentin replasman materyali olarak KFGK resinlerin kullanılmasıdır.

KFGK resinlerin, dentinin fibröz yapısını taklit edebilme yetenekleriyle birlikte; bu materyallerin bazılarının, vital veya devital posterior dişlerin büyük kavitelerinde bulk-fill veya core yapıyı oluşturma materyalleri olarak kullanılması tavsiye edilmektedir (Garoushi vd., 2013; Lassila vd., 2019). Fiber ilave edilmesinin arkasında yatan mantık, kısmen zarar görmüş dişi güçlendirmek ve kırık oluşumunun önüne geçmektir. Ayrıca bir yapı içindeki fiberlerin yönelimi ve konumu mekanik özellikleri de etkilemektedir (Vallittu, 2015). KFGK resinlerin öncül formülasyonları (Alert, Jeneric/Pentron), 1990'lı yılların sonlarında tepilebilir kompozit resinler olarak ortaya çıkarken; 2013 yılına gelindiğinde ise, ilk macun kıvamlı KFGK resin (EverX Posterior, GC, Japonya), dentinin stres emici özelliklerini taklit etmesi amacıyla kullanıma sunulmuştur. Macun kıvamlı KFGK resinler, yüksek strese maruz kalan bölgelerde yer alan vital ve devital dişlerin restorasyonlarında bulk-fill kompozitlerin altında kaide materyali olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Resin matris, rastgele yönlendirilmiş E-cam fiberlerden ve inorganik partikül dolgu

kombinasyonundan oluşmaktadır. Rezin matris, içeriğindeki Bisfenol-A-diglisidil-dimetakrilat, trietilen glükol dimetakrilat ve polimetil metakrilatla polimer matrisin sertliğini artırarak, tamir işlemleri için gelişmiş bağlanma özelliği sağlamaktadır (Keulemans vd., 2017).

Şekil 5

EverX Posterior



Akışkan KFGK Rezinler. Akışkan KFGK rezinlerden biri olan EverX Flow, (EverX Flow, GC, Japonya) 2019 yılında piyasaya sürülmüştür. In vitro çalışmalar, akışkan KFGK rezinlerin; PDK rezinlere göre daha iyi mekanik ve fiziksel performans göstermektedirler ancak tüm KFGK rezinler aynı fiziksel özelliklere sahip olmadığından akışkan yapıya sahip olan KFGK rezinlerin fiziksel özellikleri ve aşınma dirençleri kendi aralarında kıyaslanmalıdır. Fiber ile güçlendirilmiş kompozit rezinlerin özelliklerinin çoğu; fiber çapı, fiber uzunluğu, fiber ilavesi ve fiberlerin polimer matrise adezyonu gibi mikroyapısal parametrelere bağlıdır (Vallittu, 2015).

Şekil 6

EverX Flow



Adezyon

Birbirinden farklı iki yüzeyin fiziksel ve kimyasal bağlanma ile birbirine tutunması adezyon olarak tanımlanır. Restoratif diş hekimliğinde adezyon iki farklı yüzeyden oluşan diş dokusu ile dolgu maddesi arasında gerçekleşmektedir (Çınar, 2011). Diş bağlanma, rezin monomerlerin ve diş dokusunun inorganik yapısının yer değiştirmesi ile meydana gelmektedir (Avcılar & Bakır, 2023). Diş hekimliğinde adezyon, kimyasal, mekanik ve fiziksel olmak üzere ayrılır.

Kimyasal Adezyon

Yapıları farklı olan yüzeylerin atomları arasında oluşan bağlara kimyasal adezyon denir. Bu adezyon tipi metalik, kovalent ve iyonik bağların oluşumundan meydana gelir.

Mikromekanik Adezyon

Pürüzlendirilmiş veya pürüzlü yüzeye düşük viskoziteli materyalin nüfuz etmesi ile oluşan kilitlenme şeklindeki bağlanmaya mikromekanik adezyon denir. Mikromekanik adezyon sayesinde güçlü bağlanma elde edilir.

Fiziksel Kuvvetler Sonucu Oluşan Adezyon

Daha çok Van der Walls kuvvetlerinden ve az miktarda hidrojen bağlarından kaynaklanan zayıf bağlanma ile meydana gelen adezyon türüdür (Kazak & Dönmez, 2019).

Mineye Bağlanma

İlk defa Buonocore tarafından mine dokusunun asit ile pürüzlendirilmesinin mine dokusuna bağlanmayı arttırdığı bildirilmiştir. Mine dokusuna bağlanma, düşük viskoziteye sahip olan bağlayıcı ajanın mine yüzeyine uygulanması sonucu mikromekanik bağlanma ile gerçekleşir (Cardoso vd., 2011). Mine dokusunun asit ile pürüzlendirilmesinin ardından 5 ile 50 µm derinliğinde minede oluşan pürüzlü yüzeylerin oluşmasının minenin yüzey enerjisini dolayısıyla ıslanabilirliğinin ve bağlanma yüzey alanının artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Hannig vd., 1999). Mine yüzeyine asit uygulamasının ardından, mine yüzeyinin 5-10 saniye süreyle su ile yıkanması gerekir. Bu sayede asit uygulanan mine yüzeyinde çözünen mine artıkları uzaklaştırılmış olur. Mine artıklarının uzaklaştırılmasının ardından yüzeye düşük viskoziteye sahip bağlayıcı ajan uygulanır. Böylelikle pürüzlü yüzeye penetrasyon gerçekleşerek rezin çubuklar oluşur ve mikromekanik bağlanma gerçekleşir (Garg & Garg, 2010).

Dentine Bağlanma

Mine ile kıyaslandığında dentine adezyon dentinin karmaşık yapısından dolayı daha zor olmaktadır. Mine hidroksiapatit kristallerinden oluşup homojen bir yapıya sahiptir, dentin dokusu ise kollajen lifler ve fosforin, osteopontin, osteokalsin, osteonektin gibi moleküller içeren ekstrasellüler matristen oluşmaktadır. Dentin kanalları içerisinde yer alan dentin lenfi, dentin yüzeyinin nemli kalmasına neden olarak hidrofobik bir yapıya sahip olmasını sağlamaktadır. Bu durum dentine adezyonu zorlaştıran bir etken olmaktadır (Cardoso vd., 2011). 1982'de Nakabayashi tarafından dentine adezyon tanımlanmıştır. Dentin tübüllerini ve kollajen lifleri ortaya çıkarmak için dentin yüzeyine asit uygulanması sonucu meydana gelen demineralize yüzeye hidrofolik yapıya sahip rezin materyalin penetrasyonu sonucunda dentine adezyonun artacağını bildirmiştir (Tezvergil-Mutluay vd., 2013).

Dentine olan bağlanma, hibrit tabaka ve rezin çubukların oluşumu ile mikromekanik olarak gerçekleşir (Bhagwat vd, 2016).

Adeziv Sistemlerin Sınıflandırılması

Adeziv Sistemlerin Üretim Tarihlerine Göre Sınıflandırılması

1. Nesil Bonding Ajanlar. 1962 yılında üretilen 1. Nesil adezivler kollajenlere kovalent bağlar ile tutunurken, hidroksiapatit kristallerine iyonik bağlarla tutunurlar. Hidrofobik bir yapıya sahip oldukları için bağlanma dayanıklılıkları (1-3 MPa) çok düşüktür (Avcılar & Bakır, 2023).

2. Nesil Bonding Ajanlar. 1978 yılında piyasaya sürülmüş olan bu adezivlerin yapısına HEMA eklenerek bağlanma gücü 3 MPa'ya yükseltilmiştir (Carvalho vd., 2012). Smear tabakasında yer alan kalsiyum ile iyonik bağlar oluşturan 2. Nesil bonding sistemler smear tabakasının altında yer alan dentin dokusu ile zayıf bağlar kurması nedeniyle dentine bağlantısı sınırlı kalmıştır (Carvalho vd., 2012 ; Kugel & Ferrari, 2000).

3. Nesil Bonding Ajanlar. Smear tabakasını modifiye etmeye ve kaldırmaya yarayan düzenleyiciler içeren 3. Nesil bonding ajanlar 1979 yılında tanıtılmıştır. Bağlanma dayanıklılığını 18 MPa'ya kadar yükseltmesine rağmen bu adeziv sistemlerler yeterli kabul edilmemiştir (Carvalho vd., 2012).

4. Nesil Bonding Ajanlar. 1984 yılında tanıtılan bu adeziv sistemlerde smear tabakası önce fosforik asit ile yıkanarak uzaklaştırılmaktadır. Mine ve dentin dokusuna fosforik asit uygulanıp yüzeylerin pürüzlendirilmesi sağlanır. Daha sonra ise yüzey yıkanır ve hafifçe kurutulur. Altın standart olarak kabul gören 4. Nesil bonding ajanlar asit ile pürüzlendirme ve bağlayıcı ajanın uygulanması şeklinde olmak üzere üç aşamada uygulanmaktadır. Bu adeziv sistemler için "Total-etch" kavramı gündeme gelmiştir (Sebold vd., 2021). Yüzeyin nemli kalması kollajen liflerin yıkımını önlemek amacıyla önemlidir. 4. Nesil bonding ajanlarını öncekilerden ayıran en önemli özellik mine dokusuna güçlü bağlandıkları kadar nemli dentin dokusu ile de güçlü bağlanma sağlayabilmeleridir (Carvalho vd., 2012).

4. Nesil bonding ajanlarının ortalama bağlanma dayanımının 18-30 MPa olduğu bildirilmiştir (Sebold vd., 2021). Ayrıca porselen ve metal yüzeylere de bağlanabilme özellikleri vardır (Imai vd., 2014).

5. Nesil Bonding Ajanlar. Üç aşamalı total-etch adeziv sistemlerin uygulanmasının hassasiyet gerektirmesi ile uygulama aşaması azaltılan 5. Nesil bonding ajanlar geliştirilmiştir. 5. Nesil bonding sistemlerde primer ve bağlayıcı ajan tek şişe içerisinde yer almaktadır. 4. Nesil adezivler ile kıyaslandığında düşük bir bağlanma dayanımı ile raporlanmış ancak yapılan çalışmalarda bağlanma dayanım değerlerinin minimum olarak kabul edilen değerin (20 MPa) üstünde olduğu belirtilmiştir (Van Meerbeek vd., 2005).

6. Nesil Bonding Ajanlar. Smear tabakasını tamamen kaldırmayıp çözmeyi hedefleyen ve 2000'li yılların başında geliştirilen 6. Nesil adeziv sistemlerde; asit uygulama, sonrası kavitenin yıkanması ve kurutulması aşamaları gerekmemektedir. 6. Nesil bonding ajanlar asit ile primerin birleşmesinden oluşan bir sistemden sonra bonding ajan aşamasını içermektedir (Tyas & Burrow, 2004). 6. Nesil adeziv sistemlerin bağlanma dayanımlarının mine dokusunda dentine göre daha zayıfken dentin dokusunda yeterli olduğu bildirilmiştir (Sebold vd., 2021).

7. Nesil Bonding Ajanlar. Smear tabakasını çözmeyi hedefleyen ve teknik hassasiyeti azaltmayı amaçlayan 7. Nesil adeziv sistemler 2000'li yılların sonlarında geliştirilmiştir. Asidik monomer, primer ve bonding ajanın tek şişede birleştirildiği bu adeziv sistemler "All in One" olarak isimlendirilip piyasaya sürülmüştür. All in One sistemlerde teknik hassasiyet için gerekli süre azaltılmıştır (Abraham vd., 2013; Tyas & Burrow, 2004).

Son yıllarda üretilen "Universal" veya "Multimode" olarak isimlendirilen yedinci nesil adezivler ile "All in One" sistemlerin dezavantajları ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır (Hanabusa vd., 2012). Universal adezivlerin en düşük bağlanma dayanımına sahip adeziv sistemler olduğu kanıtlanmıştır (Sebold vd., 2021).

8. Nesil Bonding Ajanlar. 2010 yılında üretilen self-etch adeziv sistemlerdir. İçeriklerine yaklaşık 12 nm boyutunda nano doldurucular ilave edilmiştir. Nano

doldurucuların hibrit tabakanın kalınlığının ve monomerlerin penetrasyonunun artmasına, mekanik özelliklerin gelişimine katkı sağladığı bildirilmiştir (Dionysopoulos vd., 2022).

Klinik Uygulama Prosedürlerine Göre Adeziv Sistemler

Asit ile pürüzlendirme basamağının ayrı olup olmasına göre uygulanan iki ana adeziv sistem mevcuttur. Bunlar; Etch & rinse adeziv sistemler ve Self-etch adeziv sistemler olarak ayrılmaktadır. Bu adeziv sistemlerde kendi içlerinde işlem basamaklarına göre sınıflandırılmaktadır (Avcılar & Bakır, 2023).

Etch & Rinse Adeziv Sistemler. Bu adeziv sistemler üç aşamalı veya iki aşamadan oluşmaktadır. Üç aşamalı adeziv sistemler diş dokusunun %30-40 konsantrasyonda fosforik asit ile pürüzlendirilmesi sonrasında solvent ve hidrofilik rezin içeren primer uygulamasını içerir. Primerin solventinin buharlaşmasının ardından adeziv rezin uygulanıp polimerize edilir. İki aşamalı adeziv sistemlerde ise primer ve adeziv rezin birlikte uygulanır ve kompozit rezin uygulanmadan önce ışık ile polimerize edilir (Muñoz vd., 2013).

Etch & rinse sistemler mineye en dayanıklı ve etkin bağlanmayı sağlayan yöntemdir. %30-40 fosforik asit uygulanması ile hidroksiapatit kristalleri çözülmeye başlar ve bunu takiben ortaya çıkan kapiller çekim sonucu rezin yüzeye absorbe olur ve polimerize edilir. Asit uygulanmış yüzeyde iki tür rezin uzantısı gözlenir: mine prizmalarının içerisine nüfuz etmiş mikrotaglar ve mine prizmalarının etrafını saran makrotaglardır. Mineye retansiyon sağlamak için mikrotagların daha önemli olduğu düşünülmektedir (Van Meerbeek vd., 2003). Total-etch adezivlerin dentine bağlanmasında hibridizasyon ya da mikromekanik tutuculuk için açığa çıkmış kollajen ağı içerisine difüze olmaları önemlidir (Peumans vd., 2005; Swift, 2002).

Bu adeziv sistemlerin dezavantajı ise asit uygulanan dentin yüzeyinin klinik ortamda iyi kapatılmama olasılığının olmasıdır. Bununla birlikte polimerizasyon büzülme stresi yüksek olduğunda dentin duyarlılığı görülebilir. Adeziv rezin ve primerin bir arada uygulanması sonucunda hibridizasyon etkilenebilir ve derinliği azaltabilir (Swift, 2002). Ancak bağlanmanın uzun ömürlü olması açısından, özellikle kavite marjinlerinde dentinde olduğu durumlarda; üç aşamalı etch & rinse sistemler hala daha ‘altın standart’ olarak kabul edilmektedir (Peumans vd., 2005).

Self-Etch Adeziv Sistemler. Total-etch adeziv sistemlerin problemleri nedeniyle self-etch adeziv sistemler geliştirilmiştir. Smear tabakasının pulpa ve dentin dokusunu irritasyonlara karşı koruduğu düşüncesinden faydalanarak, smear tabakasını içeren bir hibrit tabaka oluşması amaçlanmıştır. Bu sistemde asit uygulama veya asit uygulandıktan sonra kavitenin yıkanmasına gerek yoktur, asidik monomer içeren self-etch adeziv sistem uygulanması ile mine ve dentinin aynı zamanda demineralize edilmesi sağlanır (Hamouda vd., 2011). Asit ile pürüzlendirme aşamasının olmayışı uygulama prosedürünü kolaylaştırır ve asit uygulama, yıkama ve kurutma sırasında kan ve tükürük ile kavitenin yeniden kontaminasyon riskini azaltır. Uygulama sırasında smear tabakası çözüldüğünden açığa çıkan dentin kanallarının sayısı daha az olduğundan dentin kanalları içerisinde dentin lenfinin akışında daha az olmaktadır. Böylelikle bu adeziv sistemlerde post-operatif hassasiyetin daha az olduğu bildirilmiştir (Masarwa vd., 2016). Self-etch adeziv sistemlerin tümü aynı bağlanma mekanizmasına sahiptir ancak asidik monomer su içeriği, asidite ve kompozisyonu açısından farklılık göstermektedir. Bu özelliklerinden dolayı pH'larına göre sınıflandırılmaktadırlar. Hafif ($pH > 2$), orta ($1 < pH$) fosfat veya karboksil grupları ve hidroksiapatit kristalleri arasında kimyasal bağlantı sağlamaktadır (Manhart vd., 2004 ; Yoshida vd., 2004).

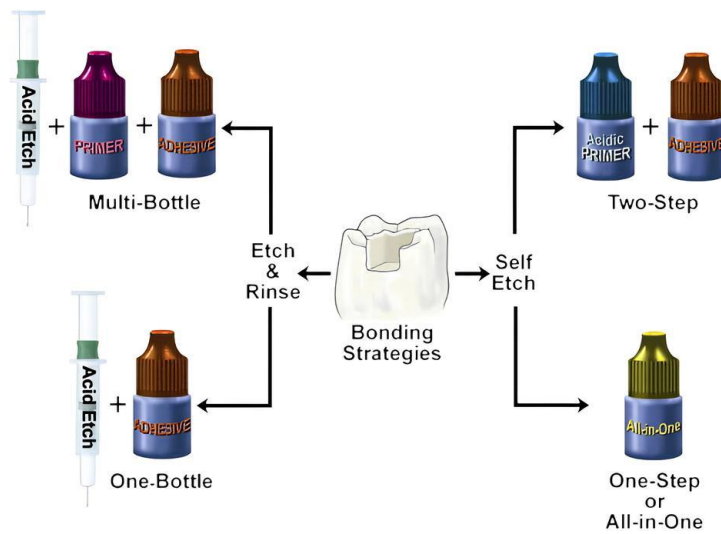
İki Aşamalı Self-Etch Adeziv Sistemler. İlk aşamasını asidik monomer içeren hidrofolik primer solüsyonu oluşturarak, hidrofobik bonding ajan uygulaması ise ikinci aşamasını oluşturmaktadır. Asidik primerin uygulandığı yüzeye bonding ajanın uygulanmasının ardından her iki tabaka birlikte ışık ile polimerize edilir. Bu adeziv sistemlerde bulunan 4-META (4-metakriloloksietil trimellitik anhidrit), MDP (10-metakriloloksidesil dihidrojen fosfat) ve Phenyl-P (2-metakriloloksietil fenil hidrojen fosfat) gibi asidik monomerler ile ortaya çıkan hidroksiapatit kristalleri ve içerdikleri kalsiyum arasında elektrostatik bir etkileşim meydana gelmektedir (Giannini vd., 2015; Hayakawa vd., 2005). ‘‘Adezyon-Dekalsifikasyon’’ adı verilen etkileşime göre kalsiyumun monomerlerinin stabilitesine bağlı olarak iyonik bağlanma ya kalsiyum ile kimyasal bağlanmaktadır ya da diş sert dokularını demineralize etmektedir. Bu sayede pürüzlendirilen yüzey ile hibrit tabaka arasındaki boşluk minimaliz edilmektedir (Dieng-Sarr vd., 2011 ; Wagner vd., 2014).

Tek Aşamalı Self-Etch Adeziv Sistemler (All-in-one). Tek aşamalı self-etch adeziv sistemler asidik monomerin, primerin ve adeziv rezinin beraber bulunduğu, tek bir aşamada uygulanan sistemlerdir. Dentin dokusunu demineralize edebilmek ve smear tabakasını çözebilmek için hidrofilik asidik monomer miktarı yükselmiştir. Bununla birlikte bu monomerler iyonizasyonu sağlamak için fazla miktarda su içermektedir (Sakano vd., 2013). Adeziv sistemin uygulanmasının ardından yarı geçirgen bir yapıya sahip hibrit tabaka oluşur. Dentin dokusu ile rezin ara yüzeyi arasında problemler ortaya çıkabilmektedir (Ebrahimi vd., 2013). Yarı geçirgen hibrit tabaka su girişine izin verdiği için su kabarcıkları oluşturmaktadır. Su kabarcıkları kurutma aşamasında adeziv tabaka içerisinde yer alan ve yeteri kadar buharlaşmamış olan suyun kanıtı olup ‘su ağacı’ adı ile bilinen görüntünün oluşmasına imkan vermektedir. Su ağacı oluşumu, restorasyonda ve rezin ile dentin dokusu bağlantısında hidrolitik degradasyona sebep olmaktadır (Giannini vd., 2015).

Bu adeziv sistemlerde, kavitenin kurutulması ve yıkanması aşamaları olmadığı için, kontaminasyon riski azdır. Kavitenin nemli kalması ve aşırı kurutulması gibi riskler azaltılmıştır (Tay vd., 1996). Adeziv infiltrasyonu ve substrat demineralizasyonu aynı anda olduğu için post-operatif hassasiyet azdır (Pashley vd., 2011).

Şekil 7

Klinik Ugulama Prosedürlerine Göre Adeziv Sistemler



Universal Adeziv Sistemler

Son yıllarda multi-mode veya universal adeziv sistemler olarak da bilinen tek aşamadan oluşan bonding ajanlar piyasaya sunulmuştur. Bu adeziv sistemler tek bir aşamadan oluşan self-etch adeziv sistemlerdir. Diş hekimlerine adeziv stratejileri ile seçim yapma avantajı sağlanmaktadır. Etch & rinse, self-etch ve selektif-etch tekniği ile uygulanabilmektedir. Bu uygulama ile mine dokusunda etch & rinse tekniğinin sağladığı avantajlar ve dentin dokusunda basitleştirilmiş self-etch tekniğinin apatit kristallerindeki kimyasal bağlanması birleştirilmektedir (Cura vd., 2016; Marchesi vd., 2014; Da Rosa vd., 2015). Tüm adeziv sistemler benzer içeriklere sahiptirler. Hidrofilik ve hidrofobik metakrilat monomerleri, foto-başlatıcı ve ko-başlatıcı sistemler ve uçucu çözücüler içerirler.

Son yıllarda üretilen multi-mode (universal) adezivler poliakrilik asit gibi kopolimer, doldurucu ve silan molekülleri içerir (Ekambaram vd., 2015). Adeziv sistemlerde ortak olarak kullanılan çözücüler su, aseton ve etanoldür (Perdigão vd., 2012). Özellikle self-etch adeziv sistemlerde birçok solvent bir ara kullanılmaktadır. Tert-butanol ise son zamanlarda kullanılmaya başlayan çözücüdür (Fontes vd., 2013; Tjäderhane vd., 2013). Tek aşamadan oluşan self-etch adeziv sistemler gibi hidroksiapatitlerde bulunan kalsiyuma bağlanan fosfat veya karboksilat monomeri içermektedirler. Bu monomerler ile birlikte poliakrilik asit, silan ve metakriololoksidesil dihidrojen fosfat (10- MDP) gibi monomerler eklenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda mine dokusunun selektif olarak asitlenmesi ile universal self-etch adezivlerin tek aşamalıların daha iyi bağlanma (≈ 40 MPa) gösterdiğini ortaya çıkartmıştır. İçeriğın bulunan 10-MDP monomeri ile hem mine dokusuna hem de dentin dokusuna mikmekanik bağlanmaya aynı zamanda kimyasal bağlanmada eşlik etmektedir (Meerbeek vd., 2003; Perdigão & Swift, 2015; Zhang vd., 2016).

Cam İyonomer Adeziv Sistemler

Cam iyonomer adezivler, diş yapısına kimyasal olarak bağlanan ve yüzey hazırlama işlemleri gerektirmeyen materyallerdir. Adeziv sistem uygulanmadan önce, yüzeyin zayıf bir polialkenoik asit ile kısa süreli pürüzlendirilmesi tavsiye edilir (Peumans vd., 2005; Silva e Souza vd., 2010). Asit uygulama işleminin ardından 0,5 μ m derinliğinde kollajen lifler açığa çıkmaktadır. Cam iyonomer

bileşenlerinin; asit uygulandıktan sonra ortaya çıkan boşluklara infiltrasyon olması ile mikromekanik bağlanma sağlanmaktadır. Hidroksiapatit kristallerindeki kalsiyum iyonu ile polialkenoik asidin karboksil grupları arasında kimyasal bağlanma gerçekleşir. Böylelikle diş yüzeyinde mikromekanik ve kimyasal bağlanma elde edilir.

Polimerizasyon Büzülmesi

Geçmişten günümüze kadar kompozit rezinlerin tam olarak çözülmemeyen en önemli problemlerinden biri, monomerlerin polimer zincirine dönüşmesi esnasında hacimsel olarak büzülme eğilimidir (Yap vd., 2001; Yap & Seneviratne, 2001). Meydana gelen bu hacimsel büzülme diş ile restorasyon arasında streslerin oluşmasına, kompozit materyal ile diş arasında defektlerin oluşmasına, restorasyonun dişe yapışmasında başarısızlığa ve bağlanmadaki başarısızlık sonucunda renklenmeye, mikrosızıntıya, post-operatif hassasiyete ve sekonder çürüklerin meydana gelmesi gibi bir takım sorunlara yol açmaktadır (Yap vd., 2001).

Polimerizasyon sırasında rezinin plastik deformasyonu, higroskopik ekspansiyonu ve flow özelliği polimerizasyon büzülme streslerini bir ölçüye kadar kompanze eder. Adesyon kuvvetlerinin polimerizasyon büzülmesi sonucu oluşan streslere karşı koyması sonucunda oluşan stres yoğunluğu, rezinin elastitesinden fazla olursa kenar sızıntısı, renklenme, aşınma gibi sorunlar ortaya çıkar. Kompozit rezinler elastite modül değeri, türü, doldurucu partiküllerin büyüklüğü, miktarı ve dağılımı, uygulanan tabakanın kalınlığı, ışık kaynağının uzaklığı, yönü ve gücü, restorasyonun genişliği ve derinliği, C faktörü, adeziv sistemlerin, kaide materyallerinin ve akışkan kompozitlerin kullanımı polimerizasyon büzülmesini etkilemektedir. Kompozit rezinlerin yapısında bulunan organik matrisin hacmi yani doldurucu partiküllerin oranı polimerizasyon büzülmesini yakından etkilemektedir. Özellikle TEDGMA oranının fazla olması büzülmeyi büyük ölçüde arttırmaktadır. Kompozit rezinlerin büzülmesi sırasında oluşan internal stresler, elastite modülü ile doğru orantılıdır ve elastite modülü düşük olan akışkan kompozitlerin doldurucu partikül oranının az olması (%45-67) büzülmeyi artırırken (%4 – 5.5) daha az internal stres oluşturur. Doldurucu partikül miktarı fazla olan kompozit rezinlerin elastisite modül değerleri yüksek olduğu için polimerizasyon büzülmesi azalırken, buna bağlı olarak dentin ile kompozit rezin ara yüzeyinde oluşan büzülme stresleri artar.

Restorasyonun yüzeysel ve dar olması rezinin de hacimce az olması anlamına geldiğinden meydana gelen polimerizasyon büzülmesi de daha az olmaktadır. Ayrıca posterior kompozit rezinler ile birlikte akışkan kompozitlerin kullanılması tampon olarak görev yaparak polimerizasyon büzülmesini azaltmaktadır (Kemp-Scholte & Davidson, 1990; Kemp-Scholte & Davidson, 1998; Kenshima vd., 2005).

Kompozit rezinlerde polimerizasyon büzülmesinin meydana gelmesine sebep olan birçok faktör vardır. Bunlar materyal formülasyonuna ve polimerizasyona bağlı faktörler olmak üzere ayrılabilir (Aw & Nicholls, 2001; Condon & Ferracane, 2000).

Materyal Formülasyonuna Bağlı Faktörler

Monomerlerin Kimyasal Yapısı. Bis-GMA ve TEDGMA monomerleri kompozit rezin organik yapısında uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu monomerlerin hacimsel büzülme değerleri yapıya doldurucuların eklenmesiyle sırasıyla %5.2 den %2'ye ve %12.5'den %6'ya düşmektedir (Labella vd., 1999). Elde edilen bu değerlerin klinik olarak yeterli bulunmaması açısından birçok yeni monomer geliştirilmiştir. Bu monomerler, bisikloketakton, trioksabisikloktan, spiroortokarbonat, benzokin ve spiroortoester, gibi doymamış diketallerdir. Spiroortokarbonatlar, üzerinde en çok çalışılan monomerlerdir. Ortokarboksilik asidin bir esteri olan Ortokarbonat, tek bir karbona bağlı 4 oksijen atomu içerir ve kompozit rezinin bir komponenti olarak kullanılmasıyla polimerizasyon büzülmesi ve asit uygulanmış mine yüzeyine bağlanmada başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak elde edilen incelemeler sonucunda yapı içerisindeki spiroortokarbonatların çoğunluğunun polimerize olmadığı gözlenmiştir. Bu nedenden dolayı bu monomeri daha fazla reaksiyona sokabilmek ve erime noktasını düşürebilmek için yapılan girişimlerden başarılı sonuçlar elde edilse de kompozit rezinlerin polimerizasyon büzülme miktarının çok fazla değişmediği sonucuna varılmıştır (Kostoryz vd., 2000).

Polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla epoksi rezinlerin de kullanılması düşünülmüştür ancak epoksi rezinler polimerizasyon süresini arttırdıklarından klinik beklentileri karşılayamamışlardır (Papadogiannis vd., 2009). Diş hekimliğinde kullanılan monomerler üzerine yapılan çalışmaların çoğunluğu oksiran içerikli rezinlere yoğunlaşmıştır. Oksiran içerikli rezinlerin, düşük polimerizasyon büzülmesi, artırılmış polimerizasyon derinliği, yüksek dayanıklılık

ve yüzey sertliği gibi birçok avantajı bulunmaktadır (Eick vd., 2002; Tilbrook vd., 2000). Siloksan ve oksiran moleküllerinin reaksiyonu sonucu oluşan silorane isimli monomer sistemler geliştirilmiştir. Bu monomer, siloksanın yüksek hidrofobitesi ve oksiran monomerinin düşük polimerizasyon büzülmesi ile birleştirilmiştir (Schweickl vd., 2004). Polimerizasyon sırasında açılan oksiran halkası ile oluşacak olan büzülme büyük oranda kompanze edilmektedir (Weinmann vd., 2005).

Kompozit Rezinlerin Doldurucu İçeriği. Organik matriste yer alan monomerler, polimerizasyon reaksiyonu esnasında polimer haline dönüşürken birbirleri ile yakınlaştıkları için yapı hacimce küçülmeye başlar. İnorganik kısımda değişiklik görülmez. Bu nedenle kompozit rezinlerdeki inorganik doldurucu oranları arttırıldığı zaman, organik matris oranı azalacak ve polimerizasyon büzülmesi miktarı da azalacaktır (Aw & Nicholls, 2001; Condon & Ferracane, 2000). Daha küçük yapıda doldurucu partiküllerin yapıya katılması ile doldurucu oranın arttırılması mümkün olmaktadır. Son yıllarda kompozit rezinlerin yapısına nanofill silika partiküller eklenmiş böylelikle mikrofil ve hibrid kompozitlerde polimerizasyon stresi ve büzülmesi önemli ölçüde azaltılmıştır (Mitra vd., 2003; Terry, 2004). Kompozit rezinlerin organik matris oranlarını azaltmak için son yıllarda kullanılan diğer bir teknik ise restorasyonların içerisinde blok şeklinde yerleştirilen quartz insertlerdir. Quartz insertler restorasyonun hacimce %50-75'ini kaplayarak organik matris oranını düşürür ve böylece polimerizasyon büzülmesi azalır (Uluakay vd, 2011).

Polimerizasyona Bağlı Faktörler

Kompozit Rezinleri Yerleştirme Tekniği. Tabakalama tekniği olarak bilinen inkremental teknik ile kompozit rezin tabakaları kaviteye 2 mm kalınlığında ayrı ayrı yerleştirilip polimerize edilir ve bu tekniğin kenar uyumunu arttırma, monomer dönüşüm derecesini arttırma, polimerizasyon büzülmesini ve polimerizasyon streslerine bağlı cusp hareketlerini azaltma gibi avantajları vardır (Davidson, 1986; Lutz vd., 1991). Bulk tekniği ise kimyasal olarak polimerize edilen kompozit rezinlerin kaviteye tek bir tabaka olarak yerleştirilmesidir. Işık yoluyla polimerize olan geleneksel kompozitlerde bulk tekniğinin kullanılması, ışık cihazlarının 2 mm'den daha kalın kompozit tabakalarını iyi polimerize edemediklerinden dolayı tavsiye edilmemektedir (Rueggeberg vd., 2000).

Kavite Geometrisi. Kompozit restorasyonlarda kaviteye bağlanan yüzeyin bağlanmayan yüzeye oranı C faktör yani konfigürasyon faktörü olarak bilinir. Bağlanan yüzeylerin bağlanmayan yüzeylere oranı arttıkça büzülme stresleri de artar. Kavite genişliği ve derinliği de polimerizasyon büzülmesini etkileyen faktörlerdendir. Kavitenin tüm yönlerde küçük olması polimerizasyon büzülmesi değerlerini azaltır. Aynı zamanda kavite tabanında kaide materyallerininde kullanılması, kompozit rezinin yerleştirileceği hacmi küçülteceğinden meydana gelecek polimerizasyon büzülmesini azaltacaktır (Tarle vd., 1998).

Işık ile Polimerizasyon Tekniği. Polimerizasyonları ışık ile olan kompozit rezinler, argon lazer, plazma ark, quartz tungsten halojen ve LED ışık cihazlarıyla polimerize edilebilmektedir. Hem polimerizasyon süresini azaltmak hem de bir seferde daha kalın kompozit tabakaları polimerize edebilmek amacıyla yeni ışık cihazları geliştirilmektedir.

Yüksek ışık şiddetine sahip olan ışık cihazları 1000 mW/cm^2 'nin üzerinde ışık üretme kapasitesine sahipken geleneksel ışık cihazları $450-500 \text{ mW/cm}^2$ yoğunluğunda ışık üretirler. Yüksek ışık şiddetine sahip ışık cihazlarının kullanımı geleneksel ışık cihazları ile karşılaştırıldığında belirli avantajlar sağlamaktadır. Derin polimerizasyon sağlanması ve uygulama süresinin kısaltılması avantajlarındandır. Her ne kadar önemli avantajları sağlasa da kullanımıyla ilgili bazı endişeler mevcuttur. Bunlardan biri polimerizasyon çok hızlı olacağından kompozitin diş yüzeyine iyice yayılamaması endişesidir. Bu nedenle polimerizasyon büzülme değerleri artmakta ve büzülme stresleri bağlanma yüzeyine iletilmektedir (Bektaş vd, 2006). Meydana gelen bu problemlerin önüne geçebilmek için farklı polimerizasyon teknikleri geliştirilmiştir.

Geleneksel polimerizasyon tekniğinde $450-500 \text{ mW/cm}^2$ yoğunluğunda ışık 40 sn süreyle 2 mm kalınlığındaki kompozit rezin tabakaya uygulanmaktadır. Kompozit rezinin yüzeyine ışığın geldiği ilk an enerjinin düşürülmesi, kompozit rezin restorasyonun internal stresleri ve polimerizasyon büzülmesini azalttığına sonucuna varılmasından sonra pulse delay ve soft start olarak adlandırılan teknikler geliştirilmiştir. Pulse delay tekniğinde önce kısa süreli, düşük yoğunlukta ışık uygulanır ve sonrasında ışık kapanıp 3 dakikanın ardından yüksek enerjili ışık daha uzun bir sürede uygulanır. Soft start polimerizasyon tekniğinde ise

polimerizasyon düşük ışık yoğunluğu ile başlayıp yavaş yavaş artmakta en son en yüksek seviyeye ulaşmaktadır (Kanca & Suh, 1999).

Monomerlerin dönüşüm derecesi polimerizasyon tekniği değiştirildiğinde değişime uğramaktadır. Uzun ışık uygulama süresi, monomerlerin yüksek dönüşüm derecesine sebep olmakta böylece daha fazla polimerizasyon büzülmesi meydana gelmektedir (Braga & Ferracane, 2002). Büzülme stresini azaltmak amacıyla polimerizasyon derecesini düşürmek başta ne kadar yararlı gibi gözükse de aslında hatalı bir girişimdir. Çünkü polimerizasyon derecesini düşürmek kompozit rezinlerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Yetersiz polimerizasyon restorasyon ile diş dokusu bağlantısında defektlerin oluşmasına, toksik ve polimerize olmayan monomerlerin pulpa dokusu üzerinde olumsuz etkisine, renklenmeye, sekonder çürüğe, post-operatif hassasiyete, kenar sızıntısına ve aşınmaya yol açabilmektedir (Bektaş vd, 2006).

Mikrosızıntı

Ağız sıvılarının, bakterilerin, iyonların ve moleküllerin kaviteye uygulanan restorasyon ile kavite duvarları arasındaki geçişi mikrosızıntı olarak adlandırılmaktadır (Gwinnett vd., 1995; Taylor & Lynch, 1992). Restorasyon ile diş arasındaki yüzeyde meydana gelecek sızıntının önüne geçebilmek restorasyonun uzun ömürlü ve başarılı olabilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır. İdeal restorasyon kavite duvarlarına çok iyi adapte olmalı ve iyi bağlanma sağlamalıdır (Erdemir & Yaman, 2011). Yetersiz bağlanma sonucunda kenar aralığı oluşmaktadır. Oluşan bu kenar aralığı; toksinlerin, bakterilerin geçişine ve plak birikimine sebebiyet vermektedir. Bunun sonucunda sekonder çürük, post-operatif hassiyet, kenar renkleşmesi, kavite kenarlarında renklenme, pulpa hastalıkları ve dişeti iltihabı gibi istenmeyen problemlere oluşabilmektedir (Déjou vd., 1996; Gwinnett vd., 1995). İyi bir kenar uyumunun sağlanması ile periodontal hastalıkların gelişimi ve çürük oluşumu önlenmekte, ağız sıvılarının dentine sızması sonucu toksin ve bakterilerin dentin kanalları yoluyla pulpa hastalıklarının gelişmesi engellenebilmektedir (Déjou vd., 1996). Restoratif materyallerin fiziksel özellikleri de mikrosızıntı açısından önem taşımaktadır. Polimer esaslı restoratif materyallerin sertleşmesi sırasında meydana gelen polimerizasyon büzülmesi, diş dokusu ve restoratif materyal arasındaki ısı genleşme katsayısındaki farklılık ve restoratif

materyalin su emmesi klinik başarıyı etkilemektedir (Dauvillier vd., 2000). Kompozit rezinlerde tüm polimerlerde olduğu gibi monomerlerin polimer zincirindeki düzenleniş biçimlerinden kaynaklanan % 1,5-3 arasında değişebilen hacimsel büzülme söz konusudur (Jedrychowski vd., 2001; Yap & Seneviratne 2001).

Mikrosızıntı Araştırma Yöntemleri

Radyoizotopların Kullanılması Yöntemi

Mikrosızıntı belirleme yöntemlerinden birisi olan bu yöntemde radyoaktif izotoplar kullanılmaktadır. Bu yöntem boya ile penetrasyon yönteminden sonra sıklıkla tercih edilen yöntemlerdendir (Charlton & Moore, 1992). Bu teknik diş dokusu ile restoratif materyal arasından geçen radyoizotopların otoradyograflarda gösterilmesi esasına dayanır. Restore edilmiş bölgeler dışındaki alanlar diş üzerinde gerektiği gibi örtüldükten sonra radyoaktif solüsyon içinde belirli bir süre bekletilir ve yıkanıp kurutulur. Daha sonra uzunlamasına kesilerek röntgen film üzerine bırakılır. Otoradyografi sonucunda izotopların gözlendiği bölgeler mikrosızıntının var olduğu bölgeler olarak değerlendirilir (Alani & Toh, 1997). En fazla kullanılan izotoplar; C14, P32, S35, I131, Na22, Ca45 radyoizotoplarıdır (Charlton & Moore, 1992; Powis vd., 1988; Taylor & Lynch, 1992). Özellikle radyoizotopların kullanılmasıyla birlikte daha hassas çalışmalar yapılmaktadır. Boyalarla kıyaslandığında izotop molekülleri daha derine nüfuz edebilmekte ve otoradyograflarla da çok az sayıdaki izotoplar saptanabilmektedir. Böylelikle en az miktarda oluşan sızıntı bile saptanabilmektedir (Going, 1972). Bununla birlikte bu yöntem ile elde edilen değerler kalıcı kayıtlar olarak saklanabilmektedir (Crim vd., 1985). Mikrosızıntının bu teknik ile değerlendirilmesinin en büyük dezavantajı, elde edilen sonuçların derece derece yükselen skorlama sistemi ile subjektif olarak değerlendirilmesidir (Taylor & Lynch, 1992). Tekniğin kompleks ve pahalı olmasıyla birlikte diş sert dokularında bulunun kalsiyum iyonu ve izotop solüsyonu arasında pasif bir iyon alışverişi meydana gelebilmekte ve kenar aralığı daha az tespit edilmektedir (Tangsgoolwatana vd., 1997; Taylor & Lynch, 1992). Bu gibi çalışmalar profesyonel bir çalışma gerekirip, çalışma sırasında radyoaktif maddeye el ile temas edilmemeli ve özel tutma yöntemi kullanılmalıdır (Crim vd., 1985).

Boyar Madde Penetrasyon Testleri

Organik boyaların kullanılması ile mikrosızıntının belirlenmesi için en eski yöntemlerden olup ucuz ve kolay olduğu için sıklıkla tercih edilen yöntemlerden biridir (Mueninghoff, & Leinfelder, 1990; Taylor & Lynch, 1992). Bu yöntem restore edilmiş ve çekilmiş dişin apeks kısmının tıkanarak restorasyon dışında kalan bütün yüzeylerinin mum veya cila ile kaplanıp sonrasında belirli bir süre boya solüsyonu içerisinde bekletilmesi temeline dayanmaktadır. Sonrasında örneklerden kesitler alınır ve sızan boya miktarı mikroskop altında incelenir (Erdilek vd., 2019; Heintze & Vivadent, 2015). Kullanılan boyalar farklı boyutlarda partiküller içeren süspansiyonlar ya da solüsyonlar şeklindedir. Yapılan çalışmalarda, farklı konsantrasyonlarda boyalar ve farklı bekletme süreleri kullanılmıştır (Erdilek vd., 2019; Mueninghoff & Leinfelder, 1990; Holan vd.,1992; Sparks vd.,1992). Çoğunlukla kullanılan boyalar; %0,25'lik toluidin mavisi, %0,05 kristal violet, %2'lik anilin mavisi, %2'lik eritrosin, %20'lik floresan, %0,5-2 bazik fuksin, %0,2-2 veya %10'luk metilen mavisi, %5'lik eosin, %50'lik gümüş nitrat gibi çeşitli boya solüsyonları olup en çok tercih edilen %2'lik metilen mavisidir (Erdilek vd., 2019; Piva vd., 2002; Williams vd., 2002). Kolay temin edilebilir olması, ucuz olması, direkt ve hızlı ölçümlere olanak tanınması bu yöntemi diğer yöntemlerden üstün tutmaktadır (Taylor & Lynch, 1992). Mikrosızıntı çalışmalarında boya penetrasyonu ile sızıntının saptanması için basamaklı olarak artan skalalar tercih edilmektedir (Chan & Swift, 1989; McInnes & Dickinson, 1992; Williams vd., 2002).

Hava Basıncı Yöntemi

Eskiden beri kullanılmakta olan bu yöntemde basınçlı havanın pulpa odasına, kök kanalına ve dişe gönderilmesi ve statik bir sistem içerisinde kaybolan basıncın ölçülmesi üzerine sızıntı saptanır (Taylor & Lynch, 1992). Diğer tekniğinde ise restore edilmiş olan dişler, kökler dışarıda olacak şekilde su içine batırılarak pulpa odasına ve kök kanallarına hava basıncının uygulanması ile su içerisindeki restorasyon kenarlarında çıkan hava kabarcıklarının meydana gelmesi sonucu kenar uyumsuzluğunun olduğu saptanır (Alani & Toh, 1997; Shortall, 1982; Taylor & Lynch, 1992).

Tekrar edilebilir bir teknik olması ve dişlerin kenar bütünlüğünü bozmaması gibi avantajları olmasına karşın gerçek klinik durumu yansıtamaması dezavantajı olarak değerlendirilmektedir (Alani & Toh, 1997; Taylor & Lynch, 1992).

Kimyasal Ajanların Kullanılması

Kimyasal ajanların kullanıldığı bu yöntemde, iki komponentli, renksiz ve radyoaktif olmayan kimyasal boyalar kullanılmaktadır. İki komponentin de kimyasal olarak reaksiyona girmesi ile restorasyon ile diş ara yüzeyine çökmesi ve oluşan çökeltinin fotoğraflanıp kenar sızıntının görüntülenmesi tekniğine dayanır. İki kimyasal ajanın da penetrasyon yeteneğine sahip olması beklenmektedir. Sadece bir kimyasal ajanın küçük molekülü olması ve penetrasyonu ile görüntü elde edilmesiyle kenar sızıntısını tespit etmek imkansızdır (Taylor & Lynch, 1992). Sızıntının tespit edilmesinde en çok gümüş tuzları tercih edilmektedir. Bunlardan ise olup çoğunlukla, %50'lik gümüş nitrat tuzları tercih edilmektedir (Alani & Toh, 1997; Lacy vd.,1992). Gümüş iyonu bir bakteri ile kıyaslandığında gümüş iyonunun daha küçük boyutta olması ile oluşan aralığa kolayca sızabilmesini sağlamaktadır. Bu sebeple tercih edilen bu yöntemin hassas bir test yöntemi olduğu, objektif bir ölçüm sağlayıp kantitatif veriler elde edilebilmesine olanak sağladığı bilinmektedir (Alani & Toh, 1997). Bu teknikte kullanılan kimyasal ajanların radyoaktif olmaması avantaj olarak görülürken sonuçların sübjektif olarak yorumlanması ise, tekniğin güvenilirliğini olumsuz etkelemektedir. Bununla birlikte gümüş nitrat kullanıldığında, amalgam restorasyonlarda, gümüş iyonların amalgam restorasyonun bileşenleri ile reaksiyona girmesi oluşan aralık boyunca yayılmasını sağlamakta, cam iyonomer restorasyonlarda ise restorasyonun boyanmasına neden olmaktadır (Alani & Toh, 1997; Gwinnett vd., 1995).

Nötron Aktivasyon Analizi

Bu yöntemde mikrosızıntı in vitro ve in vivo olarak test edilebilmektedir. Restorasyon kenarına Manganez gibi radyoaktif olmayan kimyasal bir işaretleyicinin restorasyon kenarlarından sızması sağlandıktan sonra her bir dişin aldığı Manganez miktarı ölçülerek, meydana gelen mikrosızıntının saptanması tekniğidir (Alani & Toh, 1997; Shortall, 1982; Taylor & Lynch, 1992; Taylor & Lynch, 1993). Bu teknikte elde edilen sonuçların kantitatif olmasıyla birlikte, tekniğin karmaşık ve

pahalı olduğu, sızıntının hangi noktada gerçekleştiğinin veya restorasyon kenarları dışında nerede manganez emilimi olduğunu göstermemesi tekniğin dezavantajlarıdır (Alani & Toh, 1997; Taylor & Lynch, 1993).

Bakteriyel Yöntemler

Bu yöntemde mikrosızıntının belirlenmesi için bakterilerin kullanılması ile restore edilen dişler bir bakteri kültürü içerisine batırılır ve restorasyon ile diş ara yüzeyinde bakteri üremesi olup olmadığı esasına dayanan bir tekniktir. Bakteriler özel tekniklerle boyanarak sonrasında sızıntının derecesi belirlenmektedir. Sızıntının tespit edilmesi için restorasyon ile kavite duvarı arasındaki açıklığın 0,5-1µm veya daha büyük olması gerekmektedir. Oluşan aralık beklenilenden küçük ise bakteri ürünlerinin ve bakteri toksinlerinin geçişi sağlanamayacağından bu yöntem başarılı olmayacaktır (Alani & Toh, 1997; Bergenholtz vd., 1982; Taylor & Lynch, 1993). Elde edilen bulguların kalitatif olması ise yöntemin dezavantajıdır (Alani & Toh, 1997; Taylor & Lynch, 1993). S. Mutans, kromopetit floresan pigmenti içerdiği için izlenmesi kolay olan P. Floresans, S. Epidermidis ve S. Sangiuse gibi sıklıkla kullanılan bakterilerdendir (Taylor & Lynch, 1993; Zivkovi vd.,2001).

Elektrokimyasal Yöntemler

Elektrokimyasal yöntemde temel prensip, restorasyon tabanı ile temas edebilecek şekilde elektrod olarak görev gören bir levha yerleştirilip daha sonra restorasyon tamamlanan dişin olduğu gibi izole edilip elektrolit banyosuna daldırılması ve dışarıda yer alan güç kaynağına bağlanarak kenar aralığından geçen akımın ölçülmesidir (Alani & Toh, 1997; Pameijer, 1979; Wu & Wesselink, 1993). Akımda meydana gelecek herhangi bir sapma restorasyon ara yüzeyinde aralık olduğunu göstermektedir. Metalik restorasyonlarda kullanımı uygunsuz olduğundan önerilmemektedir (Alani & Toh, 1997; Wu & Wesselink, 1993).

Mikroskopik İnceleme Yöntemleri

Konfokal Lazer Tarama Elektron Mikroskobu. Rhodamin floresan lamba ile işaretleme yapan elektron mikroskop yöntemidir (Pioch vd., 1997; Watson, 1994). Konfokal lazer tarama elektron mikroskobu ıslak bir yapıya sahip örneklerin incelenebilmesine olanak sağlar (Pioch vd., 2001; Watson, 1994). Bu yöntem ile 100

nanometreden daha küçük yüzeyler tomografik olarak incelenmektedir (Pioch vd., 2001).

Konfokal lazer, floresan (florescence) ve yansıma (reflection) olmak üzere iki farklı mod ile inceleme yapar. Tarayıcının lazer ışını 488 nanometre dalga boyuna sahip olan Argon-ion lazerdir. Mikroskobik yapılara odaklanıp ışığın tekrar yansıması ile elektronik olarak saptanan yansıma (reflection) modunda dentin dokusu, restoratif materyal ve mine dokusu gibi optik özelliklere sahip spesifik yapıların ayrımı yapılmaktadır (Pioch vd., 2001). Floresan modu sayesinde boyayıcı ajanın dağılımı kaydedilir ve penetrasyon yolları incelenir (Pioch vd., 1997; Watson, 1994).

SEM (Tarama Elektron Mikroskobu). İki yüzey arasında oluşan bağlantıda yüzeyler arasında mevcut bulunan mesafenin ölçüldüğü bu teknikte, restoratif materyallerin özellikleri de tanımlanabilmektedir. SEM ile yapılan çalışmalarda, yüksek enerjili elektronlar ile örnek yüzeyleri taranarak üç boyutlu ve detaylı bir görüntü elde edilir. Bu özelliklerinden dolayı SEM, restoratif diş hekinliğinde yüzey analizlerinde ve materyallerin özelliklerinin incelenmesinde önemli bir yere sahiptir (Roulet vd.,1988; Soares vd., 2005; Taylor & Lynch, 1992).

Direkt Teknik. İn vitro olarak kavite duvarı ile restoratif materyal arasındaki ilişkinin direkt incelenebilmesi sağlanmaktadır. Ancak örneklerin elektron mikroskobu için hazırlanması sırasında vakum altında dehidrasyon ve mikroskop haznesi içerisinde oluşan yüksek vakumun diş ile restorasyon ara yüzeyinde bozulmalara yol açıp mikrosızıntı değerlendirmelerinde yanılığa sebebiyet verebileceği belirtilmiştir (Taylor & Lynch, 1993)

Replika Tekniği. Ağız içerisinde restorasyonlardan elde edilen replikaların mikroskop altında incelenerek ve kenar aralıklarında meydana gelebilecek farklılıkların değerlendirilmesine imkan sağlayan bir tekniktir. Bu teknik ile oluşturulan replikalar farklı zaman aralıklarında tekrar incelenebilmekte ve örneklerin hazırlanma aşamasında oluşan bozulmalar gözlenmemektedir (Pameijer, 1979).

Diş Hekimliği Araştırmalarında Mikro-BT (Mikro Bilgisayarlı Tomografi)

Mikro bilgisayarlı tomografi, bilgisayar teknolojisi ile X ışınının birleşmesi sonucu vücudu kesitler şeklinde görüntülemeye yaramaktadır. Tarayıcılar ile 1-2 mm kalınlıklarda ince kesitler alınmaktadır. Kesit kalınlığı daha ince olduğunda, elde edilen görüntünün çözünürlüğü artar, çünkü bu şekilde örnekten daha fazla bilgi alınabilir (Elliott & Dover, 1982). Çözünürlüğün arttırılması için kesitsel kalınlığı mikrometre olarak ifade eden mikrotomografi cihazları geliştirilmiştir.

Mikrotomografi tarayıcıları 5 ile 50 µm kalınlıklarında kesitler olarak yüksek çözünürlüğe sahip taramaların elde edilmesini sağlamaktadır. Elde edilen veriler çeşitli programlar sayesinde ilgili yapıları daha net gösteren üç boyutlu görüntüler oluşturabilir. Bu işlem yeniden yapılandırma olarak bilinen 3D Rekonstrüksiyon olarak isimlendirilmektedir. Mikrotomografi genel olarak bilgisayarlı tomografi ile benzer olup ana parçaları şunlardır: X ışını tüpü, bir bilgisayar tarafından kontrol edilen adım motoruyla döndürülen örneği, X ışınlarını kamera sensörüne odaklayan bir görüntü yoğunlaştırıcı, X ışınlarını görüntü verisine dönüştüren bir CCD kamera, bir görüntü toplayıcı ve tüm bunları yöneten bir bilgisayar (Rhodes vd.,1999).

Mikro-BT cihazı kullanılarak kemik, diş gibi mineralize dokular doğrudan incelenebilmektedir. Mikro bilgisayarlı tomografi cihazı ile çevre dokulardan daha yüksek yoğunluğa sahip olan kontrast bir madde ile yumuşak dokulara kadar inceleme yapılabilir (Guldberg vd.,2004). Mikrosızıntı çalışmaları için değişik metodlar mevcut olsa da bu metodların örneklerin bozulmasına sebep olması ve radyografilerin kullanımının 3 boyutlu analiz yapmada yetersiz kalması mikrosızıntı ile ilgili yeterli veri elde edilmesini sınırlandırmaktadır. Dolayısıyla bu olumsuzlukları giderebilmek amacıyla kullanılacak en iyi yöntem Mikro bilgisayarlı tomografilerdir (Celikten vd.,2016; Venturi vd., 2003).

BÖLÜM III

Yöntem

İki bulk-fill kompozit rezin ve stres emici özelliğe sahip bir mikrohibrit kompozitin farklı adeziv materyallerle uygulandığında, hangi kompozit rezinin hangi adeziv sistem ile birlikte kullanıldığında daha az mikrosızıntı ve mikroboşluk oluşumuna yol açtığını değerlendirmek amacıyla yapılan bu çalışmada yer alan materyaller ve özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.

Çalışmada Kullanılan Materyaller ve Özellikleri

MATERYAL	ÜRETİCİ	YAPISI	TİPİ
EverX Posterior	GC Tokyo, Japonya	Bis-GMA, PMMA, TEGDMA, Baryum cam doldurucular ve E-cam fiberler.	Fiber İçerikli Bulk-fill Kompozit Resin
G-aenial Posterior	GC Tokyo, Japonya	UDMA, dimetakrilatlar, önceden polimerize edilmiş doldurucular, silika, stronsiyum ve lantanit flourid.	Geleneksel Mikrohibrid Kompozit Resin
Filtek One Bulk Fill	3M ESPE, St. Paul, ABD	AUDMA, AFM, diüretan-DMA ve 1,12-dodekan-DMA, iterbiyum triflorür, zirkonya/silika	Bulk-fill Kompozit Resin
Optibond FL	Kerr, ABD	Primer: HEMA, GPDM, PAMM Bonding: TEGDMA, UDMA, GPDM, HEMA, Bis-GMA	Üç Aşamalı Total-etch
Gluma Bond Universal	Kulzer, Almanya	4-META, MDP ve Metakrilatlar	Tek Aşamalı Self-etch

Bis-GMA: Bisfenol glisidil metakrilat, UDMA: Ürethandimetakrilat, PMMA: Polimetilmetakrilat, TEGDMA: Trietilen glikol dimetakrilat, AUDMA: Aromatik üretan dimetakrilat, HEMA: 2-hidroksietil metakrilat, GPDM: gliserol fosfat dimetakrilat, 4-META: 4-Metakriloksietil trimetilat anhidrit.

Örneklerin Hazırlanması

Bu çalışmada çatlak, kırık, çürük ve restorasyon içermeyen, benzer bukkopalatinal uzunluğa ve meziodistal genişliğe sahip, toplam 60 adet maksiller premolar diş kullanılmış olup, her bir grup 10 adet diş içerecek şekilde 6 gruba ayrılmıştır. Dişler deneyler gerçekleştirilene kadar distile suda bekletilmiştir. Tüm dişler, mine-sement sınırına kadar C-tipi silikon ölçü maddesine (Zetaplus, C-silikon, Zhermack, İtalya) teker teker gömülmüştür.

Şekil 8

Dişlerin C-tipi Silikon Ölçü Maddesine Gömülmesi

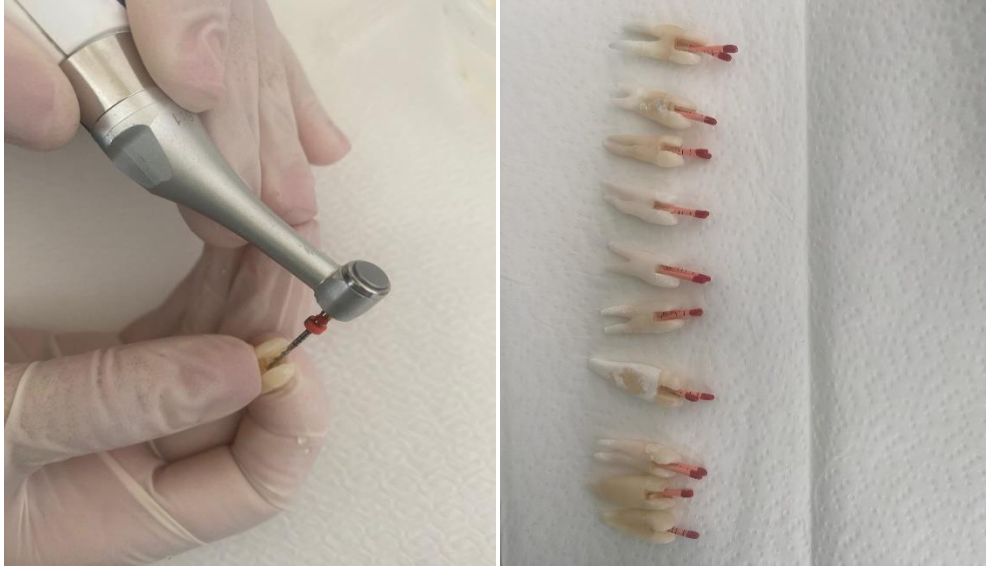


Tüm dişlere daha sonra kanal tedavisi uygulanmıştır. Giriş kavitesi açıldıktan sonra 15 numaralı K-tipi eğe (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) apikal foramene ulaşana kadar pasif olarak yerleştirilerek ölçülen uzunluktan 0,5 mm daha kısa olacak şekilde çalışma uzunluğu belirlenerek, ProTaper Universal döner aletler (F2, Dentsply Maillefer, Baillagues, İsviçre) kullanılarak kök kanalları prepare edilmiştir. Her eğe değişiminde kök kanalları 2 mL %2,5'lik sodyum hipoklorit (Cerkamed, Stalowa Wola, Polanya) ile yıkanarak, kanallar kağıt konlar (F2, Dentsply Maillefer, Baillagues, İsviçre) kullanılarak kurutulmuştur. Kemomekanik temizleme işlemi tamamlandıktan sonra kök kanalları gutta-perka (F2, Dentsply

Maillefer, Baillagues, İsviçre) kon kullanılarak lateral kompaksiyon tekniği ve Endoseal (Prevest DenPro, Hindistan) kanal patı ile doldurulmuştur.

Şekil 9

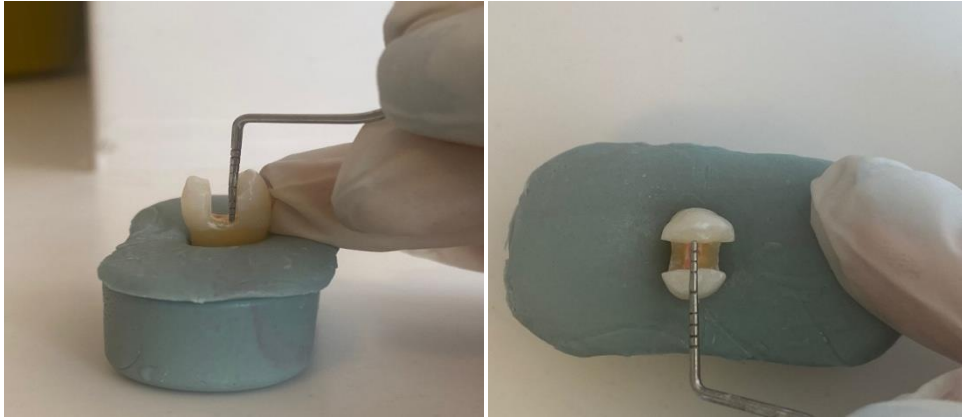
Dişlere Kanal Tedavisi Uygulanması



MOD kaviteler 5 mm derinliğinde ve bukkopalatinal olarak 3 mm genişliğinde olacak şekilde aynı operatör tarafından hava/su spreylili yüksek hızda çalışan bir aeratör tarafından elmas fissür frez kullanılarak ve periodontal sond yardımıyla hazırlanmıştır ve aproksimal duvarlar elmas alev uçlu frezler ile düzeltilmiştir. Kavitelerin derinliklerini ve genişliklerini kontrol etmek için dijital kumpas (Jensen Global, Amerika) kullanılmıştır.

Şekil 10

5 mm Derinliğe ve 3 mm Genişliğe Sahip Kutu Formunda MOD Kavite



Kavite preparasyonunun ardından dişler kullanılacak olan kompozit rezinlere ve adeziv sistemlere göre 6 gruba ayrıldı. Kompozit rezin uygulanmasından önce kavite duvarlarını düzgün bir şekilde restore edebilmek için Tofflemire matrisi kullanıldı. Gruplar (n=10) aşağıdaki gibi planlanmıştır:

1. G-aenial Posterior – Self-etch grubu (Kontrol Grubu): Tek aşamalı adeziv sistem (Gluma, Kulzer, South Bend, IN, ABD.) tek kullanımlık bir aplikatör ile 20 saniye boyunca kavite yüzeyine uygulandı ve homojen bir yüzey oluşana kadar hava ile kurutuldu. Kavite yüzeyi LED kürleme ışığı (B-Cure Woodpecker, Guilin Guangxi, Çin) ile 1000-1200 mW/cm² gücünde 10 saniye süreyle polimerize edildi. Aproksimal duvar ilk olarak 1 mm kalınlığında mikrohibrit kompozit rezin materyal olan G-aenial Posterior (GC, Tokyo, Japonya) ile oluşturuldu ve oklüzal yüzeyden 20 saniye süre boyunca polimerize edildi. Konvansiyonel mikrohibrit kompozit rezin daha sonra inkremental teknik (tabakalama tekniği) kullanılarak 2 mm kalınlığında kaviteye yerleştirildi ve her bir tabaka için oklüzal yüzeyden 20 saniye boyunca polimerize edildi. Son olarak, aproksimal yüzeyler 20 saniye süre boyunca polimerize edildi.

2. G-aenial Posterior – Total-etch grubu (Kontrol Grubu): Kavite yüzeylerine 15 saniye süreyle %37,5 fosforik asit uygulandı. Fosforik asidin kavite yüzeyinden uzaklaştırılması sırasında önce pamuk paletler kullanılarak fazla asit uzaklaştırıldı. Kavite yüzeyi daha sonra 15 saniye boyunca su ile durulandı. Primer (Optibond FL, Kerr, Orange, CA, ABD) tek kullanımlık bir aplikatör ile 15 saniye boyunca uygulandı ve homojen bir yüzey elde edilene kadar hava ile kurutuldu.

Ardından, adeziv (Optibond FL, Kerr, Orange, CA, ABD) 15 saniye süreyle uygulandı, homojen bir yüzey elde edilene kadar hava ile kurutuldu ve 10 saniye süre ile polimerize edildi. Kompozit rezin uygulaması ise Grup 1'deki gibi gerçekleştirildi.

3. EverX Posterior – Self-etch grubu: Adeziv sistem prosedürü Grup 1'deki gibi uygulandı. Aproksimal duvar KFGK (kısa fiber ile güçlendirilmiş kompozit) rezin (EverX Posterior, GC, Tokyo, Japonya) ile oluşturuldu ve oklüzal yüzeyden LED ışık cihazı ile $1000-1200 \text{ mW/cm}^2$ 20 saniye polimerize edildi. KFGK rezin materyali; (EverX Posterior, GC, Tokyo, Japonya) 3 mm derinliğindeki kaviteye yerleştirildi ve oklüzal yüzeyden 20 saniye polimerize edildi. Kavitenin kalan kısmına mikrohibrit kompozit rezin materyal yani G-aenial Posterior uygulandı ve oklüzal yüzeyden 20 saniye boyunca polimerize edildi. Son olarak, aproksimal yüzeylerden 20 saniye ışık uygulandı.

4. EverX Posterior – Total-etch grubu: Adeziv sistem prosedürü grup 2'deki gibi uygulandı. Kompozit rezin ise grup 3'teki gibi uygulandı.

5. Filtek One Bulk-fill – Self-etch grubu: Aproksimal duvarlar önce bulk-fill kompozit rezin materyal ile yani Filtek One Bulk-fill ile oluşturuldu ve oklüzal yüzeyden LED ışık cihazı ile 20 saniye süre ile polimerize edildi. Bulk-fill kompozit rezin kavitenin kalan tüm yüzeylerine bulk tekniği ile uygulandı ve oklüzal yüzeyden 20 saniye süre ile polimerize edildi. Son olarak, aproksimal yüzeylerden 20 saniye boyunca polimerize edildi.

6. Filtek One Bulk-Fill – Total-etch grubu: Adeziv sistem prosedürü grup 2'deki gibi uygulandı. Kompozit rezin ise grup 5'teki gibi uygulandı.

Şekil 11

Çalışmada Kullanılan Woodpecker B-Cure Işık Cihazı



Termal Siklus (Yaşlandırma Prosedürü)

Tüm dişleri 6 aylık bir zamanı simüle etmek amacıyla Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesinde bir termal siklus cihazı (SD Mechatronik Thermocycler, SD Mechatronik; Westerham, Almanya) ile 5000 döngü yaşlandırma prosedürü gerçekleştirilmiştir (Giampaolo vd., 2011; Sampaio vd., 2020). Her grup aynı gün ve saatte termal siklus cihazına yerleştirildi ve çıkarıldı. Grupların karışmaması için her grup ayrı ayrı ince ve şeffaf çoraplara yerleştirildi ve grupları karıştırmamak için her grup için bir renk kodu belirlendi. Çorapların ağzı renk koduna uygun ipliklerle bağlandı. Termal döngü (5-55°C) 25 saniye bekleme süresi ile gerçekleştirilmiştir. Tüm gruplar iki sıcaklık derecesi arasında 10 saniyede bir transfer edilmiştir.

Şekil 12

Dişlerin Termal Siklus Cihazına Yerleştirilmesi



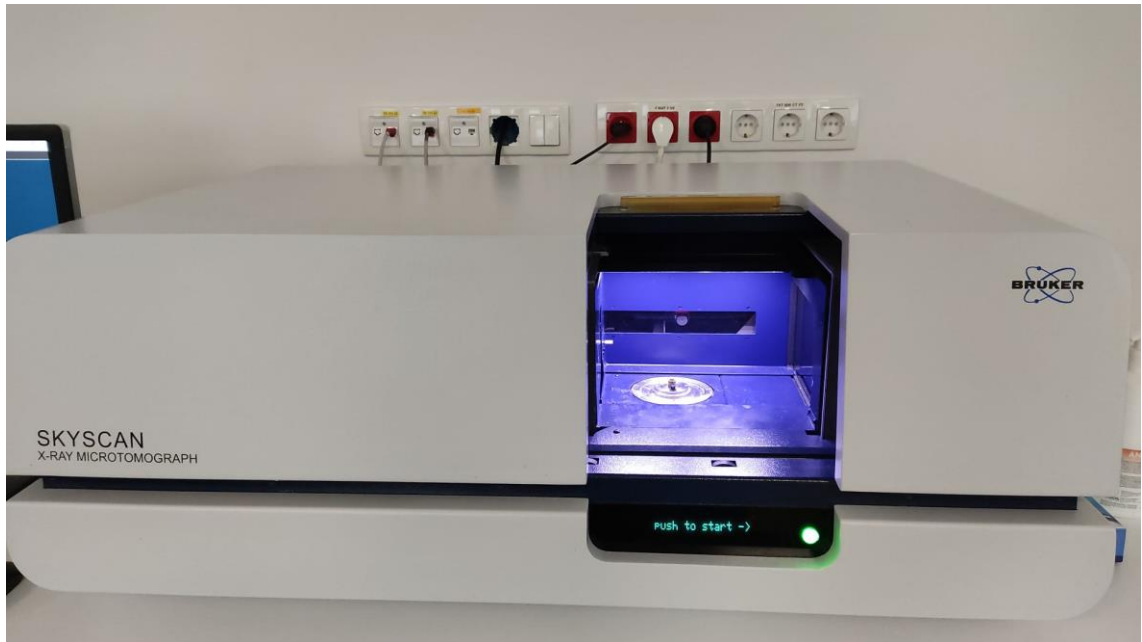
Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Hacimlerinin Değerlendirilmesi

%50'lik $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ (amonyum gümüş nitrat) solüsyonu Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi'nde hazırlandı ve mikrosızıntıyı belirlemek için kullanıldı. Yaşlandırma işleminden sonra, tüm dişlerde restorasyon dışı yüzeylerin etrafında 1 mm kalacak şekilde, restorasyon dışı yüzeyler 2 kat oje ile kaplandı ve 12 saat boyunca karanlık ortamda amonyak gümüş nitrat solüsyonunda bekletildi. 12 saatin ardından dişler 2 dakika boyunca akan su altında tutuldu. Daha sonra tüm dişler foto-geliştirme solüsyonuna (Konix, Turkuaz Sağlık Hizmetleri, İstanbul, Türkiye) konuldu ve 8 saat boyunca gün ışığı veren Kelvin lamba aydınlatmasına maruz bırakıldı (Kılıçarslan vd., 2021). Daha sonra, diş yüzeylerindeki gümüş kalıntılarını temizlemek için diş fırçası kullanıldı. Her bir diş 100 kVp, 100 mA X-ışını kaynağına sahip mikro-BT cihazı (Bruker Skyscan 1275, Kontich, Belçika) ile tarandı. Dişler 5 dakikalık bir entegrasyon süresi içinde 360° döndürüldü. Her bir diş için ortalama tarama süresi 1 saat sürmüştür. Rekonstrüksiyonlar, rekonstrüksiyon yazılımı (NRecon 1.6.7.2, Skyscan, Kontich, Belçika) kullanılarak 2D projeksiyona dayalı 3D yoğunluk ile elde edildi. Optimal kontrast limitlerinin (0-0.1) girişi dişlerin rekonstrüksiyonundan önce ayarlandı. Kontrast limitleri yazılım talimatları takip edilerek uygulandı. En düşük limit sıfır olduğu için yoğunluk ölçeği de sıfır orijinli oldu. Maksimum limit, parlaklık spektrumunun en üstündeydi ve en yüksek yoğunluk değerini temsil ediyordu. Çalışmada ki veri seti, her bir kesit 1024×1024 piksel ve 16 bit gri değere sahip yaklaşık 601 aksiyal kesit mikro-BT görüntüden oluşuyordu.

BT yazılım cihazı (CTAn, Skyscan, Aartselaar, Belçika) 3D volümetrik analiz ve numunenin μ CT hacmi için kullanıldı. Yeniden yapılandırılan görüntüler daha ileri görüntüleme için işlendi (Skyscan CTVOx, Skyscan, Aartselaar, Belçika; The Dataviewer, Skyscan, Aartselaar, Belçika). Rekonstrüksiyondan sonra, BT kullanılarak dişleri ve tüm restorasyonu içeren bir ilgi bölgesi (ROI) çizildi. Her bir dişin 3D mikroyapısını analiz etmek için programın tüm özelliklerini kullanan bir yazılım kullanıldı. Mine ve dentin daha yarı saydam hale getirildi ve restorasyonlar aydınlatıldı.

Şekil 13

Bruker Skyscan 1275 Mikro-BT Sistemi



Mikro-BT ile Mikroboşluk Hacimlerinin Değerlendirilmesi

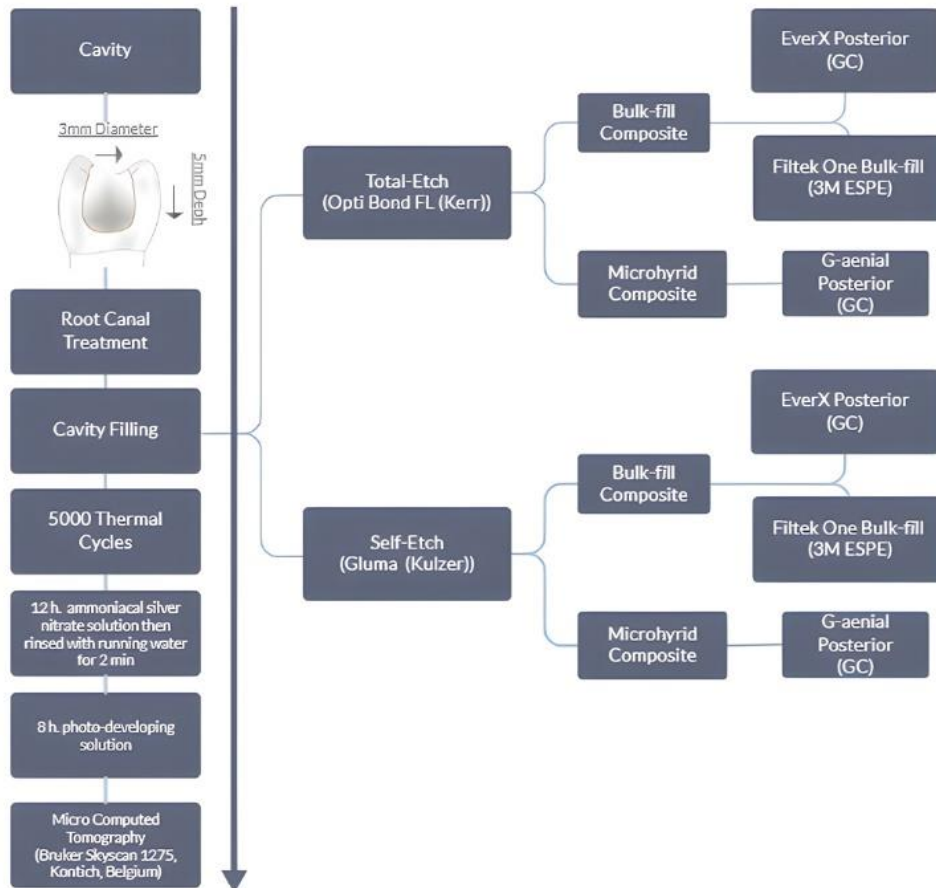
Kaviteleri 3D yoğunlukta hesaplamak için orijinal gri skalalar kullanıldı ve Gauss düşük geçiş filtresi uygulandı. BT analiz yazılımı kullanılarak mine ve dentini restorasyonlardan ve mikroboşluklardan ayırmak için otomatik bir segmentasyon eşiği kullanıldı. Mikroboşlukların hacimlerinin hesaplanması için, her kesit için diş içindeki tüm restorasyonu içeren bir ROI seçildi. Mikroboşluk ve restorasyon hacimleri her numune için ölçüldü ve ardından mikroboşluk hacmi toplam restorasyon hacmine (mm³) göre hesaplandı.

Mikro-BT ile Mikrosızıntının Hacminin Değerlendirilmesi

Termal döngüden sonra, tüm dişlerde iz bırakmak için %50 amonyum gümüş nitrat ($AgH_3N_2O_3$) solüsyonu kullanıldı. Koronal görüntüleri incelemek ve analiz etmek için CTan (SkyScan) yazılımı kullanıldı. Restorasyon boyunca $AgH_3N_2O_3$ penetrasyon hacminin hesaplanmasını sağlamak için her kesit için tüm nesneyi kapsayan bir ilgi bölgesi (ROI) seçildi. Dentini restoratif materyalden ve nüfuz eden $AgH_3N_2O_3$ ' ten ayırmak için gri skala tonlama eşikleri tanımlandı. Amonyum gümüş nitrat penetrasyon hacmi daha sonra 3D analiz ile gerçekleştirildi.

Şekil 14

Çalışma Şeması



İstatiksel Analiz

Araştırmada elde edilen veriler SPSS 28.0 (Statistical Package for Social Sciences) programı kullanılarak analiz edildi. Verileri değerlendirilirken tanımlayıcı istatistiksel metotları (ortalama, standart sapma, minimum, medyan ve maksimum) kullanıldı. Çalışmada kullanılan verilerin normal dağılımı Shapiro Wilk testi ile test edildi. Araştırmada iki bağımsız değişkenin ve etkileşiminin birden fazla bağımlı değişken üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı iki yönlü MANOVA analizi ile test edildi. Gruplar arasındaki farklılık ise Bonferroni analizi ile test edildi. Tüm analizler için I. Tip Hata olasılığı $\alpha=0.05$ olarak belirlendi.

Araştırmada iki yönlü MANOVA analizinin varsayımları kontrol edildi. Buna göre ilk olarak kovaryans matrisinin homojen olup olmadığı Box's M testi ile test edildi. Box's test sonucuna göre gruplar arası kovaryans matrislerinin homojen olmadığı görüldü (Box's M=259.115, F=4.171, df1=50, df2=5351.928, p=0,000). Bu durumda Multivariate test sonuçlarında Hotelling's trace istatistiği kullanıldı. Her bir bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlerdeki gruplara göre varyanslarının homojen olup olmadığı Levene testi ile test edildi. Buna göre mikroboşluk hacmi ($p=0.051>0.05$) için varyansların homojen olduğu, $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ ($p=0.045<0.05$), Restorasyon hacmi (mm^3)/ $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ hacmi (mm^3) ($p=0.042<0.05$) ve Restorasyon hacmi (mm^3)/Mikroboşluk hacmi (mm^3) ($p=0.018<0.05$) için ise homojen olmadığı tespit edildi.

BÖLÜM IV

Bulgular

Kompozit Grupları Arasında Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Değerleri

Tablo 2’de Filtek One Bulk-fill, EverX Posterior ve G-aenial Posterior kompozit gruplarına göre $AgH_3N_2O_3$ (mikrosızıntı) hacim değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ve bu farkın tüm gruplardan kaynaklandığı tespit edildi. Buna göre, $AgH_3N_2O_3$ hacim ortalama değeri G-aenial Posterior grubunda en yüksek, Filtek One Bulk-fill grubunda ise en düşük olarak belirlendi. Meydana gelen mikrosızıntının hem adeziv sistem grupları üzerinde hem de kompozit rezin grupları üzerinden anlamlı bir etkisi varken ($p=0.000<0.05$), mikroboşluk potansiyeli açısından ise tüm gruplar arasında anlamlı bir etkisi gözlenmedi ($p=0.467>0.05$). Tüm self-etch gruplarında $AgH_3N_2O_3$ hacim değeri total-etch gruplarına göre daha yüksek olduğu tespit edildi.

Tablo 2.

Kompozit Grupları Arasında Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Değerlerinin Dağılımı

		Tests of Between-Subjects Effects				
			F	p	η^2	
Düzeltilmiş Model	AgH ₃ N ₂ O ₃					
	Hacmi		734.227	0.000*	0.986	
	Mikroboşluk					
	Hacmi		3.092	0.016*	0.223	
Sabit	AgH ₃ N ₂ O ₃					
	Hacmi		53038.471	0.000*	0.999	
	Mikroboşluk					
	Hacmi		4721.965	0.000*	0.989	
		Medyan (Min-Max.)	$\bar{x}\pm Sd$			
Kompozit Rezinler						
AgH₃N₂O₃	Filtek One	6.5 (4.7-9.01)	6.77±1.89 ^a			
	Bulk-fill					
Hacmi (mm³)	EverX	7.94 (5.83-9.99)	7.97±1.67 ^b	511.791	0.000*	0.950
	Posterior					
	G-aenial	9.27	9.51±2.03 ^c			
	Posterior	(7.38-12.11)				
Mikroboşluk	Filtek One	52.35	54.47±8.99			
	Bulk-fill	(44.02-84.27)				
Hacmi (mm³)	EverX	56.67 (48-65.52)	56.25±4.04			
	Posterior			1.051	0.356	0.037
	G-aenial	54.81	53.45±6.13			
	Posterior	(42.76-64.49)				
		Medyan (Min-Max.)	$\bar{x}\pm Sd$			
Adeziv Sistemler						
AgH₃N₂O₃	Self- etch	9.58 (7.84-12.11)	9.88±1.26 ^a			
		6.4 (4.7-7.65)	6.28±1.1 ^b	2630.051	0.000*	0.980
Hacmi (mm³)	Total- etch					
Mikroboşluk	Self- etch	53.81	54.14±8.08			
		(42.76-84.27)		0.537	0.467	0.010
Hacmi (mm³)	Total- etch	56.23	55.3±5.01			
		(45.23-65.52)				

* $p < 0.05$

Kompozit Rezinler ve Adeziv Sistemler Gruplarında Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Değerleri

Tablo 3’de Kompozit rezinler ile adeziv sistemler değerlendirildi ve hem mikrosızıntı hem de mikroboşluk potansiyelleri istatistiksel olarak anlamlı tespit edildi ($\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ ($p=0.001<0.05$), Mikroboşluk ($p=0.003<0.05$). Filtek One Bulk-fill, EverX Posterior, G-aenial Posterior gruplarında Self-etch ve Total-etch grupları ile birlikte kullanıldıklarında $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ hacim değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ve tüm kompozit gruplarında Self-etch'in ortalama değerinin Total-etch'ten daha yüksek olduğu belirlendi. Filtek One Bulk-fill, G-aenial Posterior gruplarında Self-etch ve Total-etch gruplarının mikroboşluk değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ve Filtek One Bulk-fill self-etch grubunun ortalama değerinin total-etch adeziv ile uygulanan Filtek One Bulk-fill'den daha yüksek, G-aenial Posterior grubunda ise daha düşük olduğu tespit edildi.

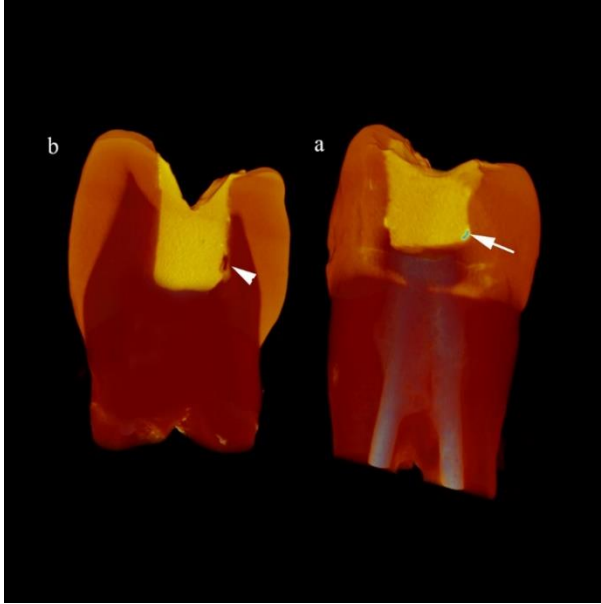
Tablo 3.

Kompozit Rezinler x Adeziv Sistemler Gruplarındaki Mikrosızıntı ve Mikroboşluk Değerleri

Kompozit rezin x Adeziv Sistem								
	Kompozit Rezinler	Adeziv Sistemler	Medyan (Min-Max.)	$\bar{x}\pm\text{Sd}$	p	F	p	η^2
$\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ Hacmi (mm^3)	Filtek One	Self-etch	8.67 (7.84-9.01)	8.59 \pm 0.35	<0,001	8.751	0.001	0.245
		Bulk-fill	Total-etch	4.97 (4.7-5.15)	4.94 \pm 0.16			
	EverX	Self-etch	9.58 (9.1-9.99)	9.57 \pm 0.26	<0,001			
		Posterior	Total-etch	6.4 (5.83-6.78)	6.36 \pm 0.28	*		
	G-aenial	Self-etch	11.41 (10.89-12.11)	11.47 \pm 0.37	<0,001			
		Posterior	Total-etch	7.55 (7.38-7.65)	7.55 \pm 0.09	*		
Mikroboşluk Hacmi (mm^3)	Filtek One	Self-etch	55.92 (44.02-84.27)	57.45 \pm 11.3	0.035*	6.411	0.003	0.192
		Bulk-fill	Total-etch	50.68 (45.23-61.92)	51.49 \pm 4.84			
	EverX	Self-etch	55.53 (48-62.86)	55.52 \pm 4.11	0.601			
		Posterior	Total-etch	57.17 (49.49-65.52)	56.97 \pm 4.06			
	G-aenial	Self-etch	48.95 (42.76-56.99)	49.45 \pm 5.22	0.005*			
		Posterior	Total-etch	58.23 (49.64-64.49)	57.45 \pm 4.08			

Şekil 15

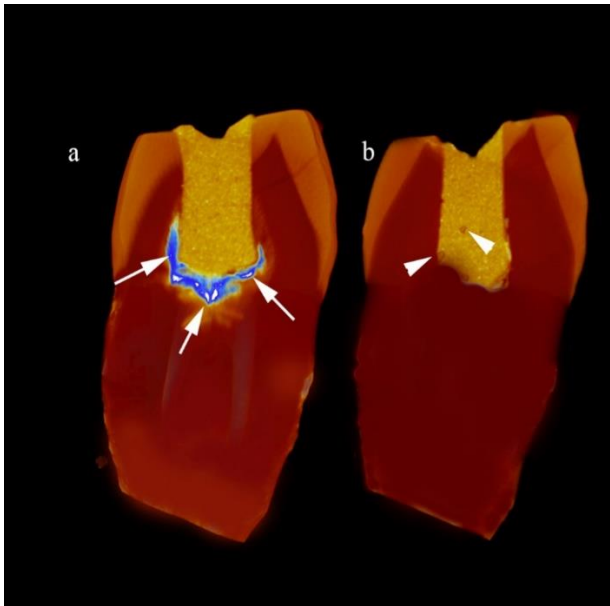
En Az Mikrosızıntı Değerlerini Gösteren Filtek One Bulk-fill Total-etch Grubuna Ait Mikrosızıntı ve Mikroboşlukların Mikro-BT Görüntüsü



(a) mikrosızıntı (b) mikroboşluk

Şekil 16

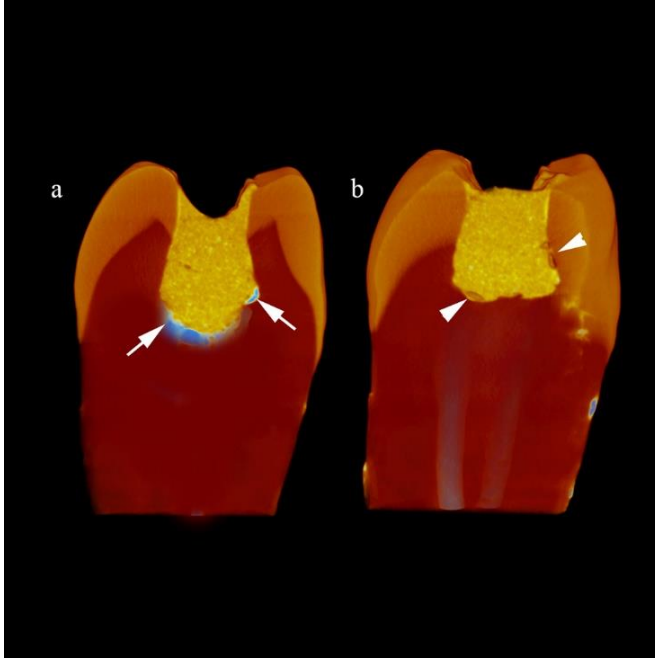
En Fazla Mikrosızıntı Değerlerini Gösteren G-aenial Posterior Self-etch Grubuna Ait Mikrosızıntı ve Mikroboşlukların Mikro-BT Görüntüsü



(a) mikrosızıntı (b) mikroboşluk

Şekil 17

Total-etch Grupları İçerisinde En Fazla Mikrosızıntı Değerlerini Gösteren G-aenial Posterior Total-etch Grubuna Ait Mikrosızıntı ve Mikroboşlukların Mikro-BT Görüntüsü



(a) mikrosızıntı (b) mikroboşluk

BÖLÜM V

Tartışma

Kompozit rezinler anterior ve posterior dişlerin direkt restorasyonları için sıklıkla tercih edilen materyallerdir (Ferracane, 2011). Hastaların eksik diş dokusu yerine doğal dişlere benzeyen materyallere olan taleplerinin artması ve bu materyallerin düşük kırılma direnci nedeniyle, kompozit rezinler anterior ve posterior dişlerde popüler olmuştur (da Veiga vd., 2016; Ferracane, 2011). Kırılma direncini artırmak ve hasta başında geçen süreyi azaltmak için kompozit rezinlerin partikül boyutlarının ve morfolojisinin değiştirilme çalışmaları, bu materyallerin mekanik özelliklerinin gelişmesini sağlamıştır (Ferracane, 2011).

2006-2016 yılları arasında yapılan on yıllık bir klinik çalışma kompozit rezin restorasyonlardaki başarısızlık oranının %1,50'den %2,20'ye yükseldiğini göstermiştir. Başarısızlığın nedenleri ise; yüksek oranda sekonder çürüklere, kırıklara ve endodontik tedaviye bağlanmıştır (Alvanforoush vd.,2017). Kırılma dayanımı restoratif materyallerin her bir bileşeninin fiziksel özelliklerine ve kimyasal bileşimlerine bağlıdır. Yüksek kırılma dayanımına sahip bir materyal, kırılmanın başlamasını ve ilerlemesini önlemektedir. Sonuç olarak, kırılma dayanımı dental materyalin uzun ömürlülüğü açısından önemli bir faktördür (Heintze vd., 2017; Ruddell vd., 2002).

Literatürde son zamanlarda yayınlanan çalışmalar, kalan diş yapısını desteklemeyi ve kompozit rezinlerin kırılma dayanımını artırmayı amaçlamaktadır (Fráter vd.,2020; Lassila vd., 2018). Geleneksel kompozit rezinlerin zayıf mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için kısa fiber içerikli bulk-fill kompozit rezinler üretilmiştir. Kavitenin restorasyonu sırasında biyomimetik bir yaklaşım olan, dentine benzer yapıda dentin replasman materyali olarak kısa fiber ile güçlendirilmiş bulk-fill kompozit rezin kullanılması ve mine yerine ise geleneksel tipte bir kompozit rezin kullanılması önerilmektedir (Keulemans vd., 2017).

Bizim çalışmamızda da, Keulemans, Garoushi & Lassila'nın (2017) yaptığı çalışma ile paralel olarak dentin replasman materyali olarak kısa fiber ile güçlendirilmiş bulk-fill kompozit kullanılmıştır.

Güncel olarak tanıtılan ve kullanılan bulk-fill kompozitler umut vericidir, ancak mekanik özellikleri ve klinik potansiyelleri hakkındaki mevcut bilimsel araştırmalar sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, özellikle iç yapıları ve polimerizasyon

büzülme stresi ile ilgili daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır (Tosco vd., 2022).

Restoratif materyallerde oluşabilecek büyük boşluklar kırılmaya karşı dayanıklılığı azalttığı gibi aynı zamanda marjinal renk değişikliğine ve mikrosızıntıya da sebebiyet verebilmektedir. Meydana gelebilecek hacimsel büzülmenin büyüklüğü ve kompozit rezinlerin polimerizasyon reaksiyonu sırasında oluşan stres miktarı, zayıf marjinal adaptasyona, mikrosızıntıya, postoperatif ağrıya ve sekonder çürüklere neden olan ana faktörlerdir (Patel vd., 1987). Tsujimoto vd. (2016) hacimsel büzülmenin ışık uygulanmasının ardından hemen sonra başladığını ve ışık kesildikten sonra bile devam ettiğini vurgulamıştır. Polimerizasyon tamamlandıktan sonra büzülmenin devam etmesi, monomerlerin polimerizasyon reaksiyonundan kaynaklanabilir (Tsujimoto vd., 2016). Adeziv sistemlerin ve restoratif materyallerin başarılı bir şekilde kullanılması ile diş ve restoratif materyal arasında başarılı bir bağlanma sağlanabilir ve meydana gelebilecek boşluk oluşumunun önüne geçilebilir (Opdam vd., 1996).

Çalışmamızda son zamanlarda mikrosızıntı ve mikroboşluk çalışmaları için tercih edilen, güçlü bir 3D görüntüleme tekniği olan mikro-BT cihazı kullanılmıştır. Mikro-BT ile absorpsiyon veya faz kontrast etkisi prensibine dayalı görüntüler elde edilir (Momose vd., 2005). Araştırma sonuçlarımız tüm gruplar arasında mikroboşluk oluşumu açısından istatistiksel olarak anlamlı fark ortaya koymamış; sadece G-aenial Posterior Self-etch grubunda, Filtek One Bulk-fill Self-etch grubuna göre daha az mikroboşluk oluşumu görülmüştür. Bu nedenle "Restoratif materyal seçimi mikroboşluk oluşumunu etkilemez" şeklindeki Hipotez 1 kısmen kabul edilmiştir. Yapılan farklı bir çalışmada endodontik olarak tedavi edilmiş dişlerde Estelite Posterior, Estelite Flow Quick High Flow, Estelite Flow Quick High Flow, Estelite Bulk-fill Flow ve EverX Posterior kullanılmış ve mikro-BT cihazı ile mikroboşluk potansiyelleri incelenmiştir (Tekçe vd., 2021). Çalışma sonucu, akışkan kompozit rezinlerin geleneksel kompozitlere ve fiber içeren kompozitlere göre daha fazla mikroboşluk oluşum potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar bu sonucun; akışkan kompozitlerin kaviteye gerektiğinden fazla konulmasından ve el aletleri ile çok iyi tepilememesinden kaynaklanabileceğini varsaymışlardır. Akışkan kompozitlerin şiddetli püskürtme ile yerleştirilmesi ve el aleti ile iyi adapte edilmemesi boşluk oluşumuna neden olur (Chuang vd., 2001). Boşluk oluşumu eğiliminin çeşitli akışkan kompozitler arasında önemli ölçüde farklı olduğu ve bunun malzemenin özelliklerine bağlı olduğu gösterilmiştir (Nazari vd., 2013). Tekçe vd

(2021), mikro-BT ölçümleri ile en düşük mikroboşluk hacminin fiber ile güçlendirilmiş kompozit rezin olan EverX Posterior'da bulunduğunu, bunu konvansiyonel mikrohibrit kompozit olan Estelite Posterior'un izlediğini belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda ise, konvansiyonel mikrohibrit kompozit rezin ile fiberle güçlendirilmiş bulk-fill kompozit rezin arasında mikroboşluk oluşumu açısından istatistiksel bir fark bulunmamıştır.

Rezin bazlı restorasyonlarda mikrosızıntı her zaman en büyük sorunlardan biri olmuştur (Sofan vd., 2017). Konu ile ilgili bir çalışma bulk-fill kompozit rezinlerin büzülme stresinin %1,5 ile %3,4 arasında olduğunu, geleneksel kompozit rezinler için ise bu aralığın %2,1 ile %4,3 arasında olduğunu ortaya çıkarmıştır (Yu vd., 2017). Bizim çalışmamızda konvansiyonel kompozit rezin olan G-eanial Posterior, hem self-etch hem de total-etch grupları için bulk-fill kompozitlere göre daha fazla mikrosızıntı göstermiştir. Kavitelelerin 5 mm derinlikte olması ve konvansiyonel kompozit rezinin kaviteye 2 mm'lik tabakalar halinde yerleştirilmesi adaptasyon problemlerine neden olarak daha fazla mikrosızıntı meydana gelmesinin nedeni olarak düşünülebilir.

Yine yapılan bir başka çalışmada, çalışma sonucunda en yüksek mikrosızıntı One-Up Bond F Plus ile yapılan grupta görülmüş, bunu Palfique Bond takip etmiştir. Araştırmacılar, One-Up Bond F Plus'ın en yüksek sızıntıyı göstermesinin nedenini HEMA (Hydroxyethyl Methacrylate) içermemesine bağlamışlardır (Bilal & Bakr, 2021). HEMA'nın hidrofilik özelliği, onu mükemmel bir adezyon destekleyici monomer haline getirerek dentinin ıslanmasını ve bağlanma gücünü önemli ölçüde artırır ve sonuç olarak mikrosızıntıyı azaltır. HEMA ayrıca demineralize dentinin mikroporoziteleri içinde hidrojen bağları oluşturur, polimerizasyondan sonra higroskopik genişlemeye uğrar, mekanik olarak substrata kenetlenir ve dentin yüzeyine daha güçlü bağlarla bağlanır (Sofan vd., 2017). Bu çalışmaya göre, HEMA'nın varlığı 7. nesil (Palfique bond) ve 8. nesil (Palfique universal bond) adeziv sistemde 6. nesil (One up bond F plus) adeziv sisteme kıyasla daha az mikrosızıntıya neden olmuştur (Bilal & Bakr, 2021). Çalışmamızda, total-etch (OptiBond FL, Kerr) adeziv sistemi tüm gruplarda self-etch (Gluma, Kulzer) adeziv sistemine göre daha düşük mikrosızıntı göstermiştir. Her iki adeziv sistem de HEMA içermesine rağmen, HEMA oranlarındaki farklılık bu sonucun bir nedeni olarak gösterilebilir. Ayrıca, total-etch adeziv sistemlerde asit ile pürüzlendirme işleminin

olması, restoratif materyalin diş dokusuna daha iyi bağlanması üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir.

Mikrosızıntı oluşumu açısından tüm gruplarda farklılık bulunmuştur. Buna göre, ‘‘Restoratif materyal seçimi mikrosızıntı oluşumunu etkilemez’’ şeklinde olan Hipotez 2 ve ‘‘Adeziv sistem seçimi (etch-and-rinse veya self-etch) mikrosızıntı oluşumunu etkilemez’’ şeklinde olan Hipotez 4 reddedilmiştir. Adeziv sisteme bağlı olarak, her kompozit rezin grubunda total-etch ve self-etch sistemleri arasında mikrosızıntı açısından anlamlı bir fark gözlenmiştir.

Mikroboşluk oluşumu açısından ise tüm gruplarda anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Bu nedenle ‘‘Adeziv sistem seçimi (etch-and-rinse veya self-etch) mikroboşluk boşluk oluşumunu etkilemez’’ şeklinde olan Hipotez 3 kısmen kabul edilmiştir.

Birçok in vitro çalışmada olduğu gibi bu çalışmanın da bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Sınırlamalardan biri; çalışmanın laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiş olmasıdır. Dişlerin ve restoratif materyallerin sürekli olarak çeşitli streslere maruz kaldığı ve farklı faktörlerden etkilendiği unutulmamalıdır. Bu nedenle klinik koşullar göz önünde bulundurulmalıdır. Dişlerin farklı anatomik formları nedeniyle kavite derinliği ve genişliğinin aynı şekilde ayarlanabilmesi sınırlılıklardan biridir. Sınırlamalar arasında; tüm bulk-fill ve kısa fiber ilave edilmiş kompozit rezin materyallerinin çalışmaya dahil edilmiş olmaması ve sadece iki farklı adeziv sistemin çalışmaya dahil edilmiş olması yer almaktadır. Ancak bulk-fill ve kısa fiber takviyeli kompozit rezin malzemelerin çeşitli adeziv sistemler ile uygulandığında farklı sonuçlar elde edilebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Farklı uygulama prosedürlerine sahip adeziv sistemler kullanılarak in vivo koşullar altında yapılacak çalışmalar sonuçları farklı etkileyebilmektedir. Skyscan sistemleri için çözünürlük nesnenin çapı ile orantılıdır, 10 mm'lik bir görüş alanı için çözünürlük tipik olarak 10 µm'dir. Bu, çalışmanın bir sınırlamasıdır. Çözünürlüğü 10 µm ve üzerinde olan bir dizi görüntüye dayalı kantitatif analizin bir sınırlaması vardır. Çok sayıda olabilen küçük objelerin tespitini yapmaz.

BÖLÜM VI

Sonuç ve Öneriler

1. Geleneksel kompozitlerin tek başına kullanılması 4 mm'yi aşan kavitelere mikroboşluk oluşumuna neden olabilir.
2. Bu çalışmada, inkremental teknikle yerleştirilen kompozit rezinler ile bulk tekniği ile yerleştirilen gruplar arasında mikroboşluk oluşumu açısından anlamlı bir fark gözlenmiştir.
3. Adeziv sistemlerin ve restoratif materyallerin üreticilerin talimatlarına göre uygulanması büyük mikroboşluk oluşumlarını önleyebilir.
4. Total-etch grupları self-etch gruplarına göre daha az mikrosızıntı ile daha iyi sonuçlar göstermiştir. Sonuç olarak, özellikle geniş ve derin kavitelere sahip dişlerde mikrosızıntıyı önlemek için üç aşamalı total-etch adeziv sistemler tercih edilebilir.
5. Çalışmada kullanılan her iki adeziv sistem içinde Filtek One Bulk-fill Posterior en düşük sızıntı değerlerini göstermiş, onu EverX Posterior ve G-aenial Posterior izlemiştir. G-aenial Posterior her iki adeziv grubunda da en yüksek mikrosızıntıyı göstermiştir.

Araştırma sonuçlarımız bulk-fill kompozit rezinlerin derin kavitelere güvenle kullanılabileceğini göstermekle birlikte farklı adeziv sistemlerin uygulanmasıyla farklı sonuçlar elde edilebileceği de klinik çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır. Bulk-fill kompozitler ve inkremental yöntemle yerleştirilen mikrohübrid kompozit rezinlerde mikrosızıntı ve mikroboşluk oluşumlarının engellenebilmesi ve klinik olarak uzun ömürlü restorasyonların elde edilebilmesi için daha ileri in vitro ve in vivo çalışmalara gerek vardır.

Kaynaklar

- Abraham, S., Ghonmode, W. N., Saujanya, K. P., Jaju, N., Tambe, V. H., & Yawalikar, P. P. (2013). Effect of grape seed extracts on bond strength of bleached enamel using fifth and seventh generation bonding agents. *Journal of international oral health: JIOH*, 5(6), 101.
- Al Sunbul, H., Silikas, N., & Watts, D. C. (2016). Polymerization shrinkage kinetics and shrinkage-stress in dental resin-composites. *Dental materials*, 32(8), 998-1006. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.05.006>.
- Alani, A. H., & Toh, C. G. (1997). Detection of microleakage around dental restorations: a review. *Operative Dentistry*, 22(4), 173-85.
- Altun, C. (2005). Kompozit dolgu materyallerinde son gelişmeler. *Gülhane Tıp Dergisi*, 47(1), 77-82.
- Alvanforoush, N., Palamara, J., Wong, R. H., & Burrow, M. F. (2017). Comparison between published clinical success of direct resin composite restorations in vital posterior teeth in 1995–2005 and 2006–2016 periods. *Australian Dental Journal*, 62(2), 132-145.
- Auschill, T. M., Koch, C. A., Wolkewitz, M., Hellwig, E., & Arweiler, N. B. (2009). Occurrence and causing stimuli of postoperative sensitivity in composite restorations. *Operative Dentistry*, 34 (1): 3–10.
- Avcılar, İ. H., & Bakır, Ş. (2023). Diş Hekimliğinde Adeziv Sistemler. *Dicle Dental Journal*, 24(1), 28-29.
- Aw, T. C., & Nicholls, J. I. (2001). Polymerization shrinkage of densely-filled resin composites. *Operative Dentistry*, 26(5), 498-504.
- Baroudi, K., Silikas, N., & Watts, D. C. (2008). Edge-strength of flowable resin-composites. *Journal of Dentistry*, 36(1), 63-68.
- Batalha-Silva, S., de Andrada, M. A. C., Maia, H. P., & Magne, P. (2013). Fatigue resistance and crack propensity of large MOD composite resin restorations: direct

- versus CAD/CAM inlays. *Dental materials*, 29(3), 324-331.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.11.013>.
- Bayne, S. C., Thompson, J. Y., Swift Jr, E. J., Stamatiades, P., & Wilkerson, M. (1998). A characterization of first-generation flowable composites. *The Journal of the American Dental Association*, 129(5), 567-577.
<https://doi.org/10.14219/jada.archive.1998.0274>
- Bektaş, Ö. Ö., Siso, Ş. H., & Eren, D. (2006). Işık kaynakları, polimerizasyon ve klinik uygulamalar.
- Bergenholtz, G., Cox, C. F., Loesche, W. J., & Syed, S. A. (1982). Bacterial leakage around dental restorations: its effect on the dental pulp. *Journal of Oral Pathology & Medicine*, 11(6), 439-450.
- Bhagwat, S., Heredia, A., & Mandke, L. (2016). The smear layer revisited. *Indian Journal of Pharmaceutical Science & Research*, 3(1), 54-65.
- Bilal, B. K., & Bakr, D. K. (2021). Evaluation of composite resin microleakage with using different bonding agents by micro computed tomography. *Erbil Dental Journal (EDJ)*, 4(1), 15-22.
- Blunck, U., & Roulet, J. F. (1999). Marginal adaptation of compomer Class V restorations in vitro. *Journal of Adhesive Dentistry*, 1(2).
- Brackett, M. G., Brackett, W. W., & Haisch, L. D. (2006). Microleakage of Class V resin composites placed using self-etching resins: effect of prior enamel etching. *Quintessence International (Berlin, Germany: 1985)*, 37(2), 109-113.
- Braga, R. R., & Ferracane, J. L. (2002). Contraction stress related to degree of conversion and reaction kinetics. *Journal of Dental Research*, 81(2), 114-118.
<https://doi.org/10.1177/0810114>
- Burgess, J., & Cakir, D. (2010). Comparative properties of low-shrinkage composite resins. *Compendium*, 31(2), 10.
- Cardoso, M. V., de Almeida Neves, A., Mine, A., Coutinho, E., Van Landuyt, K., De Munck, J., & Van Meerbeek, B. (2011). Current aspects on bonding effectiveness

- and stability in adhesive dentistry. *Australian Dental Journal*, 56, 31-44 <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2011.01294.x>
- Carrera, C. A., Lan, C., Escobar-Sanabria, D., Li, Y., Rudney, J., Aparicio, C., & Fok, A. (2015). The use of micro-CT with image segmentation to quantify leakage in dental restorations. *Dental Materials*, 31(4), 382-390. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.01.002>.
- Carvalho, R. M., Manso, A. P., Geraldeli, S., Tay, F. R., & Pashley, D. H. (2012). Durability of bonds and clinical success of adhesive restorations. *Dental materials*, 28(1), 72-86. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.09.011>
- Caughman, W. F., Caughman, G. B., Shiflett, R. A., Rueggeberg, F., & Schuster, G. S. (1991). Correlation of cytotoxicity, filler loading and curing time of dental composites. *Biomaterials*, 12(8), 737-740. [https://doi.org/10.1016/0142-9612\(91\)90022-3](https://doi.org/10.1016/0142-9612(91)90022-3)
- Celikten, B., Uzuntas, C. F., Orhan, A. I., Orhan, K., Tufenkci, P., Kursun, S., & Demiralp, K. Ö. (2016). Evaluation of root canal sealer filling quality using a single-cone technique in oval shaped canals: An In vitro Micro-CT study. *Scanning*, 38(2), 133-140.
- Chan, K. C., & Swift Jr, E. J. (1989). Leakage of chemical and light-cured basing materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 62(4), 408-411. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(89\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0022-3913(89)90171-6)
- Charlton, D. G., & Moore, B. K. (1992). In vitro evaluation of two microleakage detection tests. *Journal of dentistry*, 20(1), 55-58. [https://doi.org/10.1016/0300-5712\(92\)90015-5](https://doi.org/10.1016/0300-5712(92)90015-5)
- Chiang, Y. C., Rösch, P., Dabanoglu, A., Lin, C. P., Hickel, R., & Kunzelmann, K. H. (2010). Polymerization composite shrinkage evaluation with 3D deformation analysis from μ CT images. *Dental Materials*, 26(3), 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.09.013>.
- Chuang, S. F., Liu, J. K., Chao, C. C., Liao, F. P., & Chen, Y. H. M. (2001). Effects of flowable composite lining and operator experience on microleakage and internal

voids in class II composite restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 85(2), 177-183.

<https://doi.org/10.1067/mpr.2001.113780>

Condon, J. R., & Ferracane, J. L. (2000). Assessing the effect of composite formulation on polymerization stress. *The Journal of the American Dental Association*, 131(4), 497-503.

<https://doi.org/10.14219/jada.archive.2000.0207>

Condon, J. R., & Ferracane, J. L. (2002). Reduced polymerization stress through non-bonded nanofiller particles. *Biomaterials*, 23(18), 3807-3815.

Crim, G. A., Swartz, M. L., & Phillips, R. W. (1985). Comparison of four thermocycling techniques. *The Journal of prosthetic dentistry*, 53(1), 50-53.

[https://doi.org/10.1016/0022-3913\(85\)90064-2](https://doi.org/10.1016/0022-3913(85)90064-2)

Cura, M., González-González, I., Fuentes, V., & Ceballos, L. (2016). Effect of surface treatment and aging on bond strength of composite resin onlays. *The journal of prosthetic dentistry*, 116(3), 389-396.

<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.02.016>

Czasch, P., & Ilie, N. (2013). In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. *Clinical oral investigations*, 17, 227-235.

Çınar, Ç. (2011). Çocuk diş hekimliğinde adeziv sistemlerin tarihsel gelişimi ve sınıflandırılması. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences-Special Topics*.

Da Rosa, W. L. D. O., Piva, E., & da Silva, A. F. (2015). Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. *Journal of dentistry*, 43(7), 765-776.

<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.04.003>

Da Veiga, A. M. A., Cunha, A. C., Ferreira, D. M. T. P., da Silva Fidalgo, T. K., Chianca, T. K., Reis, K. R., & Maia, L. C. (2016). Longevity of direct and indirect

- resin composite restorations in permanent posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *Journal of dentistry*, 54, 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2016.08.003>
- Dauvillier, B. S., Feilzer, A. J., De Gee, A. J., & Davidson, C. L. (2000). Visco-elastic parameters of dental restorative materials during setting. *Journal of Dental Research*, 79(3),818-823.
<https://doi.org/10.1177/00220345000790030601>
- Davidson, C. L. (1986). Resisting the curing contraction with adhesive composites. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 55(4), 446-447.
[https://doi.org/10.1016/0022-3913\(86\)90173-3](https://doi.org/10.1016/0022-3913(86)90173-3)
- Dayangaç, B. (2000). Kompozit rezin restorasyonlar. Güneş Kitabevi.
- De Munck, J. D., Van Landuyt, K., Peumans, M., Poitevin, A., Lambrechts, P., Braem, M., & Van Meerbeek, B. (2005). A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: Methods and results. *Journal of Dental Research*, 84(2), 118-132.
<https://doi.org/10.1177/154405910508400204>
- De, J., & Camps, J. (1996). Influence of criteria on the results of in vitro evaluation of microleakage. *Dental Materials*, 12(5-6), 342-349.
[https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(96\)80044-3](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(96)80044-3)
- Dewaele, M., Truffier-Boutry, D., Devaux, J., & Leloup, G. (2006). Volume contraction in photocured dental resins: the shrinkage-conversion relationship revisited. *Dental Materials*, 22(4), 359-365.
- Dieng-Sarr, F., Sharrock, P., Dabsie, F., & Grégoire, G. (2011). Modifications of the organic and mineral fractions of dental tissues following conditioning by self-etching adhesives. *Journal of dentistry*, 39(2), 141-147.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.11.004>
- Dionysopoulos, D., Gerasimidou, O., & Papadopoulos, C. (2022). Current modifications of dental adhesive systems for composite resin restorations: a review in literature. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 36(5), 453-468.

- Donadio-Moura, J., Gouw-Soares, S., de Freitas, P. M., Navarro, R. S., Powell, L. G., & Eduardo, C. D. P. (2005). Tensile bond strength of a flowable composite resin to ER: YAG-laser-treated dentin. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, 36(5), 351-355. <https://doi.org/10.1002/lsm.20176>
- Eick, J. D., Kostoryz, E. L., Rozzi, S. M., Jacobs, D. W., Oxman, J. D., Chappelow, C., & Yourtee, D. M. (2002). In vitro biocompatibility of oxirane/polyol dental composites with promising physical properties. *Dental Materials*, 18(5), 413-421. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(01\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(01)00071-9)
- Ekambaram, M., Yiu, C. K. Y., & Matinlinna, J. P. (2015). An overview of solvents in resin–dentin bonding. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 57, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2014.09.007>
- El-Damanhoury, H. M., & Platt, J. A. (2014). Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Operative dentistry*, 39(4), 374-382. <https://doi.org/10.2341/13-017-L>
- Elliott, J. C., & Dover, S. D. (1982). X-ray microtomography. *Journal of Microscopy*, 126(2), 211-213.
- Erdemir, U., & Yaman, B. C. (2011). Microleakage in Dentistry and Microleakage Evaluation Techniques. *European Oral Research*, 45(1), 25.
- Erdilek D, Dörter C, Koray F, Kunzelmann KH, Efes BG, Gomec Y. Effect of Thermomechanical Load Cycling on Microleakage in Class II Ormocer Restorations. *European Journal of Dentistry*, 2009; 3: 200-205. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1697432>
- Fabianelli, A., Sgarr, A., Goracci, C., Cantoro, A., Pollington, S., & Ferrari, M. (2010). Microleakage in class II restorations: open vs closed centripetal build-up technique. *Operative Dentistry*, 35(3), 308-313.

- Farahat, F., Daneshkazemi, A. R., & Hajiahmadi, Z. (2016). The effect of bulk depth and irradiation time on the surface hardness and degree of cure of bulk-fill composites. *Journal of Dental Biomaterials*, 3(3), 284.
- Feilzer, A. J., De Gee, A. J., & Davidson, C. L. (1990). Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dental Materials*, 6(3), 167-171.
- Feng, L., Suh, B. I., & Shortall, A. C. (2010). Formation of gaps at the filler–resin interface induced by polymerization contraction stress: Gaps at the interface. *Dental Materials*, 26(8), 719-729.
- Ferracane, J. L. (2011). Resin composite—state of the art. *Dental materials*, 27(1), 29-38.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020>
- Ferracane, J. L., Mitchem, J. C., Condon, J. R., & Todd, R. (1997). Wear and marginal breakdown of composites with various degrees of cure. *Journal of dental research*, 76(8), 1508-1516.
<https://doi.org/10.1177/00220345970760081401>
- Ferracane, J. L., & Mitchem, J. C. (2003). Relationship between composite contraction stress and leakage in Class V cavities. *American Journal of Dentistry*, 16(4), 239-243.
- Fontes, S. T., Fernández, M. R., Ogliari, F. A., de Carvalho, R. V., de Moraes, R. R., Pinto, M. B., & Piva, E. (2013). Tetrahydrofuran as solvent in dental adhesives: cytotoxicity and dentin bond stability. *Clinical oral investigations*, 17, 237-242.
- Fráter, M., Lassila, L., Braunitzer, G., Vallittu, P. K., & Garoushi, S. (2020). Fracture resistance and marginal gap formation of post-core restorations: influence of different fiber-reinforced composites. *Clinical Oral Investigations*, 24, 265-276.
<https://doi.org/10.1007/s00784-019-02902-3>
- Freilich, M. A., Karmaker, A. C., Burstone, C. J., & Goldberg, A. J. (1998). Development and clinical applications of a light-polymerized fiber-reinforced composite. *The Journal of prosthetic dentistry*, 80(3), 311-318.
[https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(98\)70131-3](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(98)70131-3)

- Furuse, A. Y., Gordon, K., Rodrigues, F. P., Silikas, N., & Watts, D. C. (2008). Colour-stability and gloss-retention of silorane and dimethacrylate composites with accelerated aging. *Journal of Dentistry*, 36(11), 945-952.
- Garcia, D., Yaman, P., Dennison, J., & Neiva, G. F. (2014). Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Operative dentistry*, 39(4), 441-448.
<https://doi.org/10.2341/12-484-L>.
- Garg, N., & Garg, A. (2010). *Textbook of operative dentistry*. Boydell & Brewer Ltd.
- Garoushi, S., Säilynoja, E., Vallittu, P. K., & Lassila, L. (2013). Physical properties and depth of cure of a new short fiber reinforced composite. *Dental Materials*, 29(8), 835-841.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.04.016>
- Giampaolo, E. T., Jorge, J. H., Machado, A. L., Pavarina, A. C., & Vergani, C. E. (2011). Effect of thermal cycling on microleakage between hard chairside relines and denture base acrylic resins. *Gerodontology*, 28(2), 121-126.
- Giannini, M., Makishi, P., Ayres, A. P. A., Vermelho, P. M., Fronza, B. M., Nikaido, T., & Tagami, J. (2015). Self-etch adhesive systems: a literature review. *Brazilian Dental Journal*, 26, 3-10.
- Going, R. E. (1972). Microleakage around dental restorations: a summarizing review. *The Journal of the American Dental Association*, 84(6), 1349-1357.
<https://doi.org/10.14219/jada.archive.1972.0226>
- Goracci, C., Cadenaro, M., Fontanive, L., Giangrosso, G., Juloski, J., Vichi, A., & Ferrari, M. (2014). Polymerization efficiency and flexural strength of low-stress restorative composites. *Dental Materials*, 30(6), 688-694.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.03.006>.
- Gökçe, K. & Özel, E. (2005). Kompozit restorasyonlardason gelişmeler. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2005(3), 52-60.
- Grassini, S., Sebar, L. E., Baldi, A., Comba, A., Angelini, E., & Berutti, E. (2022, June). Measurements for restorative dentistry: shrinkage and conversion degree of

- bulk-fill composites. In 2022 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-6). IEEE.
- Guldberg, R. E., Lin, A. S., Coleman, R., Robertson, G., & Duvall, C. (2004). Microcomputed tomography imaging of skeletal development and growth. *Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews*, 72(3), 250-259.
- Gwinnett, J. A., Tay, F. R., Pang, K. M., & Wei, S. H. (1995). Comparison of three methods of critical evaluation of microleakage along restorative interfaces. *The Journal of prosthetic dentistry*, 74(6), 575-585.
[https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(05\)80308-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(05)80308-7)
- Hamouda, I. M., Samra, N. R., & Badawi, M. F. (2011). Microtensile bond strength of etch and rinse versus self-etch adhesive systems. *Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 4(3), 461-466.
<https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2010.12.007>
- Hanabusa, M., Mine, A., Kuboki, T., Momoi, Y., Van Ende, A., Van Meerbeek, B., & De Munck, J. (2012). Bonding effectiveness of a new ‘multi-mode’ adhesive to enamel and dentine. *Journal of Dentistry*, 40(6), 475-484.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.02.012>
- Hannig, M., Reinhardt, K. J., & Bott, B. (1999). Self-etching primer vs phosphoric acid: an alternative concept for composite-to-enamel bonding. *Operative Dentistry*, 24, 172-180.
- Hayakawa, T., Kikutake-Sugiyama, K., & Nemoto, K. (2005). Efficacy of water-soluble photoinitiator on the adhesion of composite resin to bovine teeth in all-in-one bonding system. *Dental Materials Journal*, 24(2), 213-218.
- Heintze, S. D. (2007). Systematic reviews: I. The correlation between laboratory tests on marginal quality and bond strength. II. The correlation between marginal quality and clinical outcome. *Journal of Adhesive Dentistry*, 9(1).
- Heintze, S. D., Ilie, N., Hickel, R., Reis, A., Loguercio, A., & Rousson, V. (2017). Laboratory mechanical parameters of composite resins and their relation to fractures and wear in clinical trials—A systematic review. *Dental Materials*, 33(3), e101-e114.

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.11.013>

Holan, G., Chosack, A., Casamassimo, P. S., & Eidelman, E. (1992). Marginal leakage of impregnated Class 2 composites in primary molars: an in vivo study. *Operative Dentistry*, 17(4), 122-128.

Ikeda, I., Otsuki, M., Sadr, A., Nomura, T., Kishikawa, R., & Tagami, J. (2009). Effect of filler content of flowable composites on resin-cavity interface. *Dental Materials Journal*, 28(6), 679-685.

Ilie, N., & Hickel, R. (2009). Macro-, micro-and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites. *Dental Materials*, 25(6), 810-819. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.02.005>

Imai, H., Koizumi, H., Shimoe, S., Hirata, I., Matsumura, H., & Nikawa, H. (2014). Effect of thione primers on adhesive bonding between an indirect composite material and Ag-Pd-Cu-Au alloy. *Dental Materials Journal*, 33(5), 681-688.

Inoue, S., Van Meerbeek, B., Abe, Y., Yoshida, Y., Lambrechts, P., Vanherle, G., & Sano, H. (2001). Effect of remaining dentin thickness and the use of conditioner on micro-tensile bond strength of a glass-ionomer adhesive. *Dental Materials*, 17(5), 445-455.

[https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(01\)00003-3](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(01)00003-3)

Irie, M., Suzuki, K., & Watts, D. C. (2002). Marginal gap formation of light-activated restorative materials: effects of immediate setting shrinkage and bond strength. *Dental Materials*, 18(3), 203-210.

[https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(01\)00083-5](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(01)00083-5)

Jafarnia, S., Valanezhad, A., Shahabi, S., Abe, S., & Watanabe, I. (2021). Physical and mechanical characteristics of short fiber-reinforced resin composite in comparison with bulk-fill composites. *Journal of Oral Science*, 63(2), 148-151.

Jedrychowski, J. R., Bleier, R. G., & Caputo, A. A. (2001). Shrinkage stresses associated with incremental composite filling techniques in conservative Class II restorations. *ASDC Journal of Dentistry for Children*, 68(3), 161-7.

- Kakaboura, A., Rahiotis, C., Watts, D., Silikas, N., & Eliades, G. (2007). 3D-marginal adaptation versus setting shrinkage in light-cured microhybrid resin composites. *Dental Materials*, 23(3), 272-278.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.01.020>.
- Kanca 3rd, J., & Suh, B. I. (1999). Pulse activation: Reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. *American Journal of Dentistry*, 12(3), 107-112.
- Karaman, E., Yazici, A. R., Ozgunaltay, G., & Dayangac, B. (2012). Clinical evaluation of a nanohybrid and a flowable resin composite in non-carious cervical lesions: 24-month results. *Journal of Adhesive Dentistry*, 14(5).
- Kazak, M., & Dönmez, N. (2019). Development of dentin bonding systems from past to present. *Bezmialem Science*, 2019; 7 (4): 322-30.
- Kemp-Scholte, C. M., & Davidson, C. L. (1988). Marginal sealing of curing contraction gaps in class V composite resin restorations. *Journal of Dental Research*, 67(5), 841-845.
- Kemp-Scholte, C. M., & Davidson, C. L. (1990). Complete marginal seal of Class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *Journal of Dental Research*, 69(6), 1240-1243.
<https://doi.org/10.1177/00220345900690060301>
- Kenshima, S., Reis, A., Uceda-Gomez, N., Tancredo, L. D. L. F., Nogueira, F. N., & Loguercio, A. D. (2005). Effect of smear layer thickness and pH of self-etching adhesive systems on the bond strength and gap formation to dentin. *Journal of Adhesive Dentistry*, 7(2).
- Keulemans, F., Garoushi, S., & Lassila, L. (2017). Fillings and core build-ups. In *A Clinical Guide to Fibre Reinforced Composites (FRCs) in Dentistry* (pp. 131-163). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100607-8.00009-5>

- Kılıçarslan, M. A., Çulhaoğlu, A. K., Tanış, M. Ç., Kılıçarslan, M., & Ocak, M. (2023). Comparison of Microleakage and Fracture Strength of Veneering Techniques for Polyetheretherketone Cores. *Current Research in Dental Sciences*, 33(3), 160-166.
- Kidd, E. A. (1976). Microleakage in relation to amalgam and composite restorations. A laboratory study. *British Dental Journal*, 141(10), 305-310.
- Kostoryz, E. L., Y. Tong, P., Chappelow, C. C., Glaros, A. G., Eick, J. D., & Yourtee, D. M. (2000). In vitro toxicity of spiroorthocarbonate monomers designed for non-shrinking dental restoratives. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 11(2), 187-196.
<https://doi.org/10.1163/156856200743643>
- Kugel, G., & Ferrari, M. (2000). The science of bonding: from first to sixth generation. *The Journal of the American Dental Association*, 131, 20S-25S.
<https://doi.org/10.14219/jada.archive.2000.0398>
- Labella, R., Lambrechts, P., Van Meerbeek, B., & Vanherle, G. (1999). Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dental Materials*, 15(2), 128-137.
[https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(99\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(99)00022-6)
- Lacy, A. M., Wada, C., Du, W., & Watanabe, L. (1992). In vitro microleakage at the gingival margin of porcelain and resin veneers. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 67(1), 7-10.
[https://doi.org/10.1016/0022-3913\(92\)90038-C](https://doi.org/10.1016/0022-3913(92)90038-C)
- Lassila, L., Keulemans, F., Säilynoja, E., Vallittu, P. K., & Garoushi, S. (2018). Mechanical properties and fracture behavior of flowable fiber reinforced composite restorations. *Dental Materials*, 34(4), 598-606.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.01.002>
- Lassila, L., Keulemans, F., Vallittu, P. K., & Garoushi, S. (2020). Characterization of restorative short-fiber reinforced dental composites. *Dental Materials Journal*, 39(6), 992-999.
- Lassila, L., Säilynoja, E., Prinssi, R., Vallittu, P., & Garoushi, S. (2019). Characterization of a new fiber-reinforced flowable composite. *Odontology*, 107(3), 342-352.

<https://doi.org/10.1007/s10266-018-0405-y>

Leprince, J. G., Palin, W. M., Hadis, M. A., Devaux, J., & Leloup, G. (2013). Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. *Dental Materials*, 29(2), 139-156.

Li, H., Li, J., Yun, X., Liu, X., & Fok, A. S. L. (2011). Non-destructive examination of interfacial debonding using acoustic emission. *Dental Materials*, 27(10), 964-971.

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.06.002>.

Li, X., Pongprueksa, P., Van Meerbeek, B., & De Munck, J. (2015). Curing profile of bulk-fill resin-based composites. *Journal of dentistry*, 43(6), 664-672.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.01.002>

Lutz, F., Krejci, I., & Barbakow, F. (1991). Quality and durability of marginal adaptation in bonded composite restorations. *Dental Materials*, 7(2), 107-113.
[https://doi.org/10.1016/0109-5641\(91\)90055-4](https://doi.org/10.1016/0109-5641(91)90055-4)

Magne, P., Mahallati, R., Bazos, P., & SO, W. S. (2008). Direct dentin bonding technique sensitivity when using air/suction drying steps. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 20(2), 130-138.

<https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2008.00164.x>.

Manhart, J., Chen, H. Y., Hamm, G., & Hickel, R. (2004). Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Operative Dentistry-University of Washington*, 29, 481-508.

Marchesi, G., Frassetto, A., Mazzoni, A., Apolonio, F., Diolosà, M., Cadenaro, M., & Breschi, L. (2014). Adhesive performance of a multi-mode adhesive system: 1-year in vitro study. *Journal of Dentistry*, 42(5), 603-612.

<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.12.008>

Masarwa, N., Mohamed, A., Abou-Rabii, I., Zaghlan, R. A., & Steier, L. (2016). Longevity of self-etch dentin bonding adhesives compared to etch-and-rinse dentin bonding adhesives: a systematic review. *Journal of Evidence Based Dental Practice*, 16(2), 96-106.

<https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2016.03.003>

- McCabe, J. F., & Walls, A. W. (Eds.). (2013). *Applied Dental Materials*. John Wiley & Sons.
- McInnes, P. M., & Dickinson, G. L. (1992). The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dental Materials*, 8(3), 181-184.
[https://doi.org/10.1016/0109-5641\(92\)90079-R](https://doi.org/10.1016/0109-5641(92)90079-R)
- Misilli, U. (2016). Farklı tekniklerle uygulanan kompozit restorasyonların mikrosızıntı düzeylerinin incelenmesi.
- Mitra, S. B., Wu, D., & Holmes, B. N. (2003). An application of nanotechnology in advanced dental materials. *The Journal of the American Dental Association*, 134(10), 1382-1390.
<https://doi.org/10.14219/jada.archive.2003.0054>
- Momose, A. (2005). Recent advances in X-ray phase imaging. *Japanese Journal of Applied Physics*, 44(9R), 6355.
- Mueninghoff, L. A., Dunn, S. K., & Leinfelder, K. F. (1990). Comparison of dye and ion microleakage tests. *American Journal of Dentistry*, 3(5), 192-194.
- Muñoz, M. A., Luque, I., Hass, V., Reis, A., Loguercio, A. D., & Bombarda, N. H. C. (2013). Immediate bonding properties of universal adhesives to dentine. *Journal of Dentistry*, 41(5), 404-411.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.03.001>
- Musanje, L., & Ferracane, J. L. (2004). Effects of resin formulation and nanofiller surface treatment on the properties of experimental hybrid resin composite. *Biomaterials*, 25(18), 4065-4071.
- Nazari, A., Sadr, A., Saghiri, M. A., Campillo-Funollet, M., Hamba, H., Shimada, Y., & Sumi, Y. (2013). Non-destructive characterization of voids in six flowable composites using swept-source optical coherence tomography. *Dental Materials*, 29(3), 278-286.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.11.004>
- Neves, A. A., Jaecques, S., Van Ende, A., Cardoso, M. V., Coutinho, E., Lührs, A. K., & Van Meerbeek, B. (2014). 3D-microleakage assessment of adhesive interfaces:

- exploratory findings by μ CT. *Dental Materials*, 30(8), 799-807.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.05.003>.
- Occurrence and causing stimuli of postoperative sensitivity in composite restorations. *Operative Dentistry*, 34(1), 3-10.
- Opdam, N. J., Roeters, J. J., Peters, T. C., Burgersdijk, R. C., & Teunis, M. (1996). Cavity wall adaptation and voids in adhesive Class I resin composite restorations. *Dental Materials*, 12(4), 230-235.
[https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(96\)80028-5](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(96)80028-5)
- Pallesen, U., van Dijken, J. W., Halcken, J., Hallonsten, A. L., & Höigaard, R. (2013). Longevity of posterior resin composite restorations in permanent teeth in Public Dental Health Service: a prospective 8 years follow up. *Journal of Dentistry*, 41(4), 297-306.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.11.021>.
- Pameijer, C. H. (1979). Replication techniques with new dental impression materials in combination with different negative impression materials. *Scanning Electron Microscopy*, (2), 571-574.
- Papadogiannis, D., Kakaboura, A., Palaghias, G., & Eliades, G. (2009). Setting characteristics and cavity adaptation of low-shrinking resin composites. *Dental Materials*, 25(12), 1509-1516.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.06.022>
- Park, J., Chang, J., Ferracane, J., & Lee, I. B. (2008). How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling?. *Dental Materials*, 24(11), 1501-1505.
- Pashley, D. H., Tay, F. R., Breschi, L., Tjäderhane, L., Carvalho, R. M., Carrilho, M., & Tezvergil-Mutluay, A. (2011). State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dental Materials*, 27(1), 1-16.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.016>
- Patel, M. P., Braden, M., & Davy, K. W. M. (1987). Polymerization shrinkage of methacrylate esters. *Biomaterials*, 8(1), 53-56.
[https://doi.org/10.1016/0142-9612\(87\)90030-5](https://doi.org/10.1016/0142-9612(87)90030-5).

- Pehlivan, N., & Karacaer, Ö. (2014). Diş hekimliğinde kullanılan kompozit rezinlerin güçlendirilmesi. *Acta Odontologica Turcica*, 31(3), 160-6.
- Perdigão, J., Sezinando, A., & Monteiro, P. C. (2012). Laboratory bonding ability of a multi-purpose dentin adhesive. *American Journal of Dentistry*, 25(3), 153.
- Perdigão, J., & Swift Jr, E. J. (2015). Universal adhesives. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(6), 331-334.
- Peumans, M., Kanumilli, P., De Munck, J., Van Landuyt, K., Lambrechts, P., & Van Meerbeek, B. (2005). Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dental Materials*, 21(9), 864-881.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.02.003>
- Pioch, T., Staehle, H. J., Duschner, H., & Garcia-Godoy, F. (2001). Nanoleakage at the composite-dentin interface: a review. *American Journal of Dentistry*, 14(4), 252-258.
- Pioch, T., Stotz, S., Staehle, H. J., & Duschner, H. (1997). Applications of confocal laser scanning microscopy to dental bonding. *Advances in Dental Research*, 11(4), 453-461.
<https://doi.org/10.1177/08959374970110041201>
- Piva, E., Meinhardt, L., Demarco, F. F., & Powers, J. M. (2002). Dyes for caries detection: influence on composite and compomer microleakage. *Clinical Oral Investigations*, 6, 244-248.
- Powis, D. R., Prosser, H. J., Shortall, A. C., & Wilson, A. D. (1988). Long-term monitoring of microleakage of composites. Part I: Radiochemical diffusion technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 60(3), 304-307.
[https://doi.org/10.1016/0022-3913\(88\)90273-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(88)90273-9)
- Rastelli, A. N., Jacomassi, D. P., Faloni, A. P. S., Queiroz, T. P., Rojas, S. S., Bernardi, M. I. B., ... & Hernandez, A. C. (2012). The filler content of the dental composite resins and their influence on different properties. *Microscopy Research and Technique*, 75(6), 758-765.

- Rees, J. S., Jagger, D. C., Williams, D. R., Brown, G., & Duguid, W. (2004). A reappraisal of the incremental packing technique for light cured composite resins. *Journal of Oral Rehabilitation*, 31(1), 81-84.
<https://doi.org/10.1046/j.0305-182X.2003.01073.x>
- Rhodes, J. S., Ford, T. P., Lynch, J. A., Liepins, P. J., & Curtis, R. V. (1999). Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *International Endodontic Journal*, 32(3), 165-170.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1999.00204.x>
- Rosatto, C. M. P., Bicalho, A. A., Veríssimo, C., Bragança, G. F., Rodrigues, M. P., Tantbirojn, D., ... & Soares, C. J. (2015). Mechanical properties, shrinkage stress, cuspal strain and fracture resistance of molars restored with bulk-fill composites and incremental filling technique. *Journal of Dentistry*, 43(12), 1519-1528.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.09.007>.
- Roulet, J. F., Reich, T., Blunck, U., & Noack, M. (1988). Quantitative margin analysis in the scanning electron microscope. *Scanning Microscopy*, 3(1), 18.
- Ruddell, D. E., Maloney, M. M., & Thompson, J. Y. (2002). Effect of novel filler particles on the mechanical and wear properties of dental composites. *Dental Materials*, 18(1), 72-80.
[https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(01\)00022-7](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(01)00022-7)
- Rueggeberg, F. (1999). Contemporary issues in photocuring. *Compendium of continuing education in dentistry*.(Jamesburg, NJ: 1995). Supplement, (25), S4-15.
- Rueggeberg, F. A., Ergle, J. W., & Mettenburg, D. J. (2000). Polymerization depths of contemporary light-curing units using microhardness. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 12(6), 340-349.
<https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2000.tb00243.x>
- Sampaio, C. S., Pizarro, P. G., Atria, P. J., Hirata, R., Giannini, M., & Mahn, E.(2020). Effect of shortened light-curing modes on bulk-fill resin composites. *Operative Dentistry*, 45(5), 496-505.

- Sarrett, D. C. (2005). Clinical challenges and the relevance of materials testing for posterior composite restorations. *Dental Materials*, 21(1), 9-20.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.10.001>
- Sarrett, D. C., Brooks, C. N., & Rose, J. T. (2006). Clinical performance evaluation of a packable posterior composite in bulk-cured restorations. *The Journal of The American Dental Association*, 137(1), 71-80.
<https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0024>
- Schweickl, H., Schmalz, G., & Weinmann, W. (2004). The induction of gene mutations and micronuclei by oxiranes and siloranes in mammalian cells in vitro. *Journal of Dental Research*, 83(1), 17-21.
<https://doi.org/10.1177/154405910408300104>
- Sebold, M., André, C. B., Sahadi, B. O., Breschi, L., & Giannini, M. (2021). Chronological history and current advancements of dental adhesive systems development: a narrative review. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 35(18), 1941-1967.
<https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1865611>
- Shortall, A. C. (1982). Microleakage, marginal adaptation and composite resin restorations. *British Dental Journal*, 153(6), 223-227.
- Silva e Souza Junior, M. H., Carneiro, K. G. K., Lobato, M. F., Silva e Souza, P. D. A. R., & Góes, M. F. D. (2010). Adhesive systems: important aspects related to their composition and clinical use. *Journal of Applied Oral Science*, 18, 207-214.
- Soares, C. J., Celiberto, L., Dechichi, P., Fonseca, R. B., & Martins, L. R. M. (2005). Marginal integrity and microleakage of direct and indirect composite inlays: SEM and stereomicroscopic evaluation. *Brazilian Oral Research*, 19, 295-301.
- Sofan, E., Sofan, A., Palaia, G., Tenore, G., Romeo, U., & Migliau, G. (2017). Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type. *Annali di Stomatologia*, 8(1), 1.
- Sparks, J. D., Hilton, T. J., Davis, R. D., & Reagan, S. E. (1992). The influence of matrix use on microleakage in Class 5 glass-ionomer restorations. *Operative Dentistry*, 17(5), 192-195.

- Swift, E. J. (2002). Dentin/enamel adhesives: review of the literature. *Pediatric Dentistry*, 24(5), 456-461.
- Tangsgoolwatana, J., Cochran, M. A., Moore, B. K., & Li, Y. (1997). Microleakage evaluation of bonded amalgam restorations: Confocal Microscopy Versus Radioisotope. *Quintessence International*, 28(7).
- Tarle, Meniga, Ristic, Sutalo, & Pichler. (1998). The effect of the photopolymerization method on the quality of composite resin samples. *Journal of Oral Rehabilitation*, 25(6), 436-442.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.1998.00258.x>
- Tay, F. R., Gwinnett, A. J., Pang, K. M., & Wei, S. H. Y. (1996). Resin permeation into acid-conditioned, moist, and dry dentin: a paradigm using water-free adhesive primers. *Journal of Dental Research*, 75(4), 1034-1044.
- Taylor, M. J., & Lynch, E. (1992). Microleakage. *Journal of Dentistry*, 20(1), 3-10.
[https://doi.org/10.1016/0300-5712\(92\)90002-T](https://doi.org/10.1016/0300-5712(92)90002-T)
- Taylor, M. J., & Lynch, E. (1993). Marginal adaptation. *Journal of Dentistry*, 21(5), 265-273.
- Tekçe, N., Aydemir, S., Demirci, M., Tuncer, S., Bozkaya, S., Sevilay Yıldırım, E., & Akman, Ş. (2021). Evaluation of fracture strength and total void amount in composite restorations on endodontically treated teeth. *Odovtos International Journal of Dental Sciences*, 23(3), 75-86.
<http://dx.doi.org/10.15517/ijds.2021.45371>
- Terry, D. A. (2004). Direct applications of a nanocomposite resin system: Part 1--The evolution of contemporary composite materials. *Practical Procedures & Aesthetic Dentistry: PPAD*, 16(6), 417-422.
- Tezvergil-Mutluay, A., Mutluay, M., Seseogullari-Dirihan, R., Agee, K. A., Key, W. O., Scheffel, D. L. S., ... & Pashley, D. H. (2013). Effect of phosphoric acid on the degradation of human dentin matrix. *Journal of Dental Research*, 92(1), 87-91.
<https://doi.org/10.1177/0022034512466264>

Tilbrook, D. A., Clarke, R. L., Howle, N. E., & Braden, M. (2000). Photocurable epoxy–polyol matrices for use in dental composites I. *Biomaterials*, 21(17), 1743-1753.

[https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(00\)00059-4](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(00)00059-4)

Tjäderhane, L., Mehtälä, P., Scaffa, P., Vidal, C., Pääkkönen, V., Breschi, L., ... & Carrilho, M. R. (2013). The effect of dimethyl sulfoxide (DMSO) on dentin bonding and nanoleakage of etch-and-rinse adhesives. *Dental Materials*, 29(10), 1055-1062.

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.07.014>

Tomaszewska, I. M., Kearns, J. O., Ilie, N., & Fleming, G. J. (2015). Bulk fill restoratives: to cap or not to cap—that is the question?. *Journal of Dentistry*, 43(3), 309-316.

<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.01.010>

Toraman, M., Oya, B. A. L. A., & Alasya, D. (2001). Kondense edilebilen kompozit resinlerin radyoopasitelerinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 18(2), 59-62.

Tosco, V., Monterubbianesi, R., Furlani, M., Giuliani, A., Putignano, A., & Orsini, G. (2022). Micro-computed tomography for assessing the internal and external voids of bulk-fill composite restorations: A technical report. *Imaging Science in Dentistry*, 52(3), 303-308.

<https://doi.org/10.5624/isd.20220007>

Tsujimoto, A., Barkmeier, W. W., Takamizawa, T., Latta, M. A., & Miyazaki, M. (2016). Mechanical properties, volumetric shrinkage and depth of cure of short fiber-reinforced resin composite. *Dental Materials Journal*, 35(3), 418-424.

Tüfek, E., & Buket, A. Y. N. A. (2019). Diş Hekimliğinde Adeziv Sistemler. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 29(2), 340-349.

Tyas, M. J., & Burrow, M. F. (2004). Adhesive restorative materials: a review. *Australian dental journal*, 49(3), 112-121.


- Uluakay, M., Hüseyin, İ. N. A. N., Yamanel, K., & Arhun, N. (2011). Kompozit rezinler ve polimerizasyon büzülmesi. *ADO Klinik Bilimler Dergisi*, 5(2), 895-902.
- Vallittu, P. K. (2015). High-aspect ratio fillers: fiber-reinforced composites and their anisotropic properties. *Dental Materials*, 31(1), 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.07.009>
- Van Ende, A., De Munck, J., Lise, D. P., Van Meerbeek, B., & Ermis, B. (2017). Bulk-fill composites: a review of the current literature. *Journal of Adhesive Dentistry*, 19(2), 95-109.
- Van Meerbeek, B., De Munck, J., Yoshida, Y., Inoue, S., Vargas, M., Vijay, P., & Vanherle, G. (2003). Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Operative Dentistry-University of Washington*, 28(3), 215-235.
- Van Meerbeek, B., Van Landuyt, K., De Munck, J., Hashimoto, M., Peumans, M., Lambrechts, P., & Suzuki, K. (2005). Technique-sensitivity of contemporary adhesives. *Dental Materials Journal*, 24(1), 1-13.
- Venturi, M., Prati, C., Capelli, G., Falconi, M., & Breschi, L. (2003). A preliminary analysis of the morphology of lateral canals after root canal filling using a tooth-clearing. *International Endodontic Journal*, 36, 54-63.
- Vinagre, A., Ramos, J., Alves, S., Messias, A., Alberto, N., & Nogueira, R. (2016). Cuspal displacement induced by bulk fill resin composite polymerization: biomechanical evaluation using fiber bragg grating sensors. *International Journal of Biomaterials*, 2016.
- Watson, T. F. (1994). Applications of high-speed confocal imaging techniques in operative dentistry. *Scanning*, 16(3), 168-173.
- Weinmann, W., Thalacker, C., & Guggenberger, R. (2005). Siloranes in dental composites. *Dental Materials*, 21(1), 68-74.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.10.007>
- Williams, P. T., Schramke, D., & Stockton, L. (2002). Comparison of two methods of measuring dye penetration in restoration microleakage studies. *Operative Dentistry*, 27(6), 628-635.

- Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (1993). Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *International Endodontic Journal*, 26(1), 37-43.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1993.tb00540.x>
- Yap, A. U., Ng, S. C., & Siow, K. S. (2001). Soft-start polymerization: influence on effectiveness of cure and post-gel shrinkage. *Operative Dentistry*, 26(3), 260-266.
- Yap, A. U., & Seneviratne, C. (2001). Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. *Operative Dentistry*, 26(5), 460-466.
- Yoshida, Y., Nagakane, K., Fukuda, R., Nakayama, Y., Okazaki, M., Shintani, H., & Van Meerbeek, B. (2004). Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *Journal of Dental Research*, 83(6), 454-458.
- Yu, P., Yap, A. U. J., & Wang, X. Y. (2017). Degree of conversion and polymerization shrinkage of bulk-fill resin-based composites. *Operative Dentistry*, 42(1), 82-89.
<https://doi.org/10.2341/16-027-L>
- Zhang, Z. Y., Tian, F. C., Niu, L. N., Ochala, K., Chen, C., Fu, B. P., & Tay, F. R. (2016). Defying ageing: An expectation for dentine bonding with universal adhesives?. *Journal of Dentistry*, 45, 43-52.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.11.008>
- Zhou, X., Huang, X., Li, M., Peng, X., Wang, S., Zhou, X., & Cheng, L. (2019). Development and status of resin composite as dental restorative materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(44), 48180.
- Zivkovi, S., Bojovi, S., & Pavlica, D. (2001). Bacterial penetration of restored cavities. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 91(3), 353-358.
<https://doi.org/10.1067/moe.2001.113345>

EKLER

Ek 1.

Etik Kurul Raporu



YAKIN DOĞU ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU

Toplantı Tarihi :30.03.2023
Toplantı No :2023/112
Proje No :1697

Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi öğretim üyelerinden Prof. Dr. Nuran Ulusoy'un sorumlu araştırmacısı olduğu, YDU/2023/112-1697 proje numaralı ve **"Bulk-fill Kompozit Rezinlerin Mikro Boşluk Potansiyellerinin Mikro – BT Yöntemi ile Değerlendirilmesi"** başlıklı proje önerisi kurulumuzca değerlendirilmiş olup, etik olarak uygun bulunmuştur.

L. Çalı

Prof. Dr. Şanda Çalı
Yakın Doğu Üniversitesi
Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu Başkanı

Kurul Üyesi	Toplantıya Katılım		Karar	
	Katıldı(✓)/ Katılmadı(X)		Onay(✓)/ Ret(X)	
Prof. Dr. Tamer Yılmaz	✓		✓	
Prof. Dr. Şahan Saygı	✓		✓	
Prof. Dr. Mehmet Özmenoğlu	X		X	
Prof. Dr. İlker Etikan	✓		✓	
Doç. Dr. Mehtap Tınazlı	✓		✓	
Prof. Dr. Nilüfer Galip Çelik	X		X	
Doç. Dr. Dilek Sarpkaya Güder	✓		✓	
Doç. Dr. Gulifeiya Abuduxike	✓		✓	
Doç. Dr. Burçin Şanlıdağ	✓		✓	

<https://etikkurul.neu.edu.tr/>

Article

Evaluation of Microvoid and Microleakage Potential of Bulk-Fill Resin Composites in MOD Restorations

Gözde Canik ^{1,*} , Nuran Ulusoy ¹ and Kaan Orhan ² 

¹ Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Near East University, Nicosia 99138, Turkey; nuran.ulusoy@neu.edu.tr

² Department of Dentomaxillofacial Radiology, Faculty of Dentistry, Ankara University, Ankara 06500, Turkey; call53@yahoo.com

* Correspondence: gozde.canik@neu.edu.tr

Abstract: Background: Polymerization shrinkage and microvoid formation has been a significant problem giving way to resin composite failure. The aim of this study was to evaluate the microvoid potential and microleakage of two bulk-fill and a microhybrid resin composite applied with different adhesive materials. Materials and Methods: MOD cavities were prepared in 60 endodontically treated maxillary premolars. The teeth were divided into six different groups (n = 10) according to adhesive systems (Gluma (Kulzer), OptiBond FL (Kerr) and resin composite materials EverX Posterior (GC) and Filtek One Bulk Fill (3M ESPE). An aging procedure with 5000 cycles of thermal cycling was applied. All teeth were individually scanned with micro-computed tomography. A Shapiro–Wilk test, two-way MANOVA, and Bonferroni analysis were used for statistical tests. Results: Self-etch groups showed more microleakage than total-etch groups. Minimum microleakage was observed in Filtek One Bulk Fill groups, whereas G-aenial Posterior groups showed maximum microleakage. Conclusions: Filtek One Bulk Fill (3M ESPE) resin composite was found to be more effective in reducing microvoid formation in MOD cavities when applied with total-etch adhesive systems. However, EverX Posterior (GC) and G-aenial Posterior (GC) showed less microvoid formation with self-etch adhesive systems.

Keywords: micro computed tomography; fiber composite; microvoids; microleakage; adhesive systems



Citation: Canik, G.; Ulusoy, N.; Orhan, K. Evaluation of Microvoid and Microleakage Potential of Bulk-Fill Resin Composites in MOD Restorations. *Coatings* **2024**, *14*, 329. <https://doi.org/10.3390/coatings14030329>

Academic Editor: Andriy Voronov

Received: 22 January 2024

Revised: 29 February 2024

Accepted: 9 March 2024

Published: 11 March 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Due to increasing aesthetic expectations and advances in bonding methods, dentists often prefer resin composite materials for all teeth that can be treated with composite resin for both anterior and posterior tooth restorations. The clinical outcomes of these restorations are influenced by the application techniques of dental adhesives and composite resins [1].

Large voids within restorative materials can lead to reduced fracture resistance, microleakage, and marginal discoloration [2]. Proper material usage ensures successful adhesion between the restorative material and the tooth, preventing the occurrence of microfissures and voids.

To achieve an optimal resin composite restoration, it is crucial to consider risk factors at the restoration site. Despite a successful adhesive system, shrinkage can occur at the cusp, potentially leading to enamel fractures [3,4]. Among the most common causes of posterior restoration failure, secondary caries and bulk fractures can occur as a result of polymerization shrinkage, which is the main cause of failure [5,6]. Polymerization shrinkage remains a significant challenge, often contributing to resin composite failure [7]. Additionally, the dimensional stability of the restorative material plays a vital role in preventing microleakage at the interface between the tooth and the restorative material [8]. Ensuring proper handling and understanding of these factors is essential for successful

dental restorations. Shrinkage stress can significantly impact the marginal stability of restorative materials, potentially leading to issues such as microleakage, secondary caries, and postoperative sensitivity. The C-factor is defined as the proportion of tissue attached to the unattached surfaces of the tooth cavity, and its value is thought to be directly related to the stress developed at the interfacial attachment site [9]. Moreover, in the case of direct resin composite restorations within large Class I and Class II cavities characterized by a high C-factor, shrinkage stress may result in microcracks and cuspal deflection within the enamel tissue, ultimately reducing fracture resistance [10,11].

Different approaches have been suggested to reduce polymerization shrinkage in dental restorations. These include applying composite resin materials by incremental technique and using dental LED lights with a soft start mode. However, incremental technique can be time-consuming and may lead to gap formation between the cavity wall and the restorative material, as well as disconnection of the bond between composite layers [12]. Since the incremental technique is time-consuming and can cause gap formation between the cavity wall and the restorative material and disconnection between the composite layers, especially in deep cavities, composite resins have been developed to overcome these disadvantages. Considering the drawbacks of conventional resin composite materials applied by incremental technique, bulk-fill resin composites have been introduced to the market in order to prevent the disadvantages that may occur, to save time and to decrease costs [13]. The key advantage of bulk-fill resin composites lies in their ability to be applied as a single bulk layer in cavities with a depth of up to 4 mm. Bulk-fill resin composite has some advantages, such as there is no need for it to be applied in layers for curing, it does not need a longer curing time, and it does not need a higher light intensity [13,14]. With all these properties, manufacturers have emphasized that bulk-fill resin composites have lower polymerization shrinkage than flowable and conventional composites [15]. The improved physical and mechanical properties of bulk-fill resin composites provide ease of use for filling deep cavities.

EverX Posterior is a fiber-reinforced composite that has been developed in recent years. The addition of fiber strengthens the structure of EverX Posterior and increases the durability of the material. EverX Posterior, which is used as a dentin replacement material, increases the fracture strength and prevents crack progression due to the short fibers in its content, especially in large and deep cavities [16]. There are very few studies in the literature evaluating the microleakage and microvoid potential of EverX Posterior, using the micro-CT device. The use of micro-computed tomography provides a detailed 3D reconstruction of teeth, restorations, and surrounding structures that can be sliced in any direction to obtain accurate results that provide information about internal geometric properties and structural parameters [17,18]. One of the advantages of micro-CT is its ability to be non-destructive, especially in temporal assessment [17].

The aim of this study was to evaluate the impact of self-etch and total-etch adhesives on microvoid formation and microleakage of two bulk-fill and a microhybrid resin composite in deep MOD cavities by using micro-CT.

The following hypotheses were determined for this study:

Hypothesis 1. *The choice of restorative material does not influence microvoid formation.*

Hypothesis 2. *The choice of restorative material does not influence microleakage formation.*

Hypothesis 3. *The choice of adhesive system (etch-and-rinse or self-etch) does not influence microvoid formation.*

Hypothesis 4. *The choice of adhesive system (etch-and-rinse or self-etch) does not influence microleakage formation.*

2. Materials and Methods

2.1. Preparation of Specimens

Ethical approval (NEU/2023/112-1697) was granted by the Near East University Scientific Research Ethics Committee on 30 March 2023, ensuring compliance with ethical standards and participant protection. The teeth used in the study were free of cracks, fractures, caries, and restorations and had almost similar buccopalatal length and mesiodistal width. The criteria inclusion and exclusion in the tooth selection are shown in Table 1. A total of 60 maxillary premolars were divided into six groups, each including 10 teeth. The teeth were individually embedded in C-type silicone impression material (Zetaplus, C-silicone putty, Zhermack, Italy) up to the enamel–cement margin. Afterwards, all groups underwent root canal treatment with the help of an endodontist in our faculty. After the access cavity was opened, the working length was determined by passively inserting a number 15 K-type file (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) until it reached the apical foramen, which was 0.5 mm shorter than the measured length. Root canals were prepared with ProTaper Universal rotary instruments (F2, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). At each file change, the root canals were washed with 2 mL of 2.5% sodium hypochlorite (Cerkamed). The root canals were dried using paper points (F2, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland). After the completion of chemomechanical cleaning, the root canals were filled with Endoseal (Prevest DenPro, Jammu, India) root canal paste by lateral compaction technique using gutta-percha (F2, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) points. MOD cavities 5 mm deep and 3 mm wide on the proximal and occlusal surfaces of the teeth were prepared by the same operator using a high-speed handpiece with air/water spray and diamond fissure burs. The proximal walls were straightened with diamond flame-tipped burs. Depth and width were checked with a digital compass to check the standards of the cavities.

Table 1. Inclusion and exclusion criteria for teeth selection.

Inclusion Criteria	Exclusion Criteria
Maxillary first premolar teeth	Presence of dental staining (tetracycline, trauma, fluorosis, and unknown etiology)
Maxillary first premolar teeth having two separate roots	Presence of direct and indirect restorations in the occlusal and approximal region
Maxillary first premolar teeth, usually with a crown length of 8 mm and a root length of 14 mm	Tooth with extensive caries
Maxillary first premolar teeth with little or no caries, no fractures and cracks	Fractured and cracked teeth

After cavity preparation, the teeth were divided into 6 different groups according to the adhesive systems and resin composite materials to be used. The Tofflemire matrix system was used to restore anatomic proximal contours before resin composite application. The study method is shown in Figure 1. Two bulk-fill resin composites, Filtek One Bulk Fill (3M ESPE) and EverX Posterior (GC), and a conventional microhybrid resin composite, G-aenial Posterior (GC), were used in the study. Self-etch (Gluma, Kulzer) and total-etch (OptiBond FL, Kerr) adhesive systems were used for bonding. The composites used in the study and their composition are shown in Table 2. All materials were used according to the manufacturer's instructions.

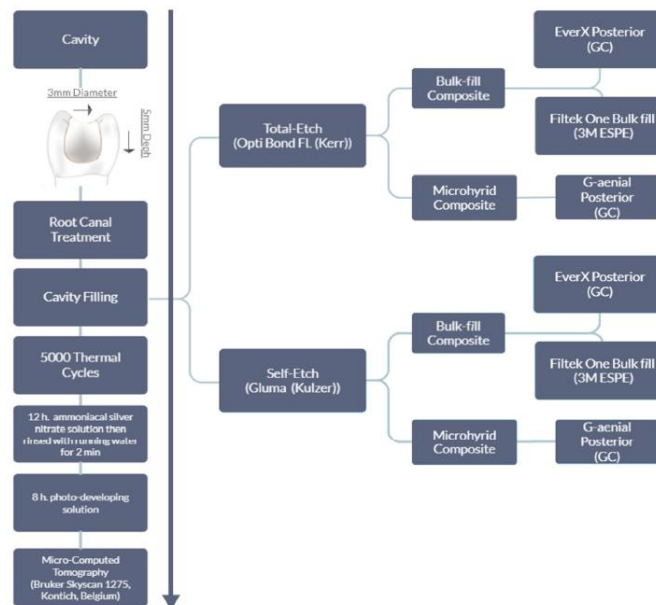


Figure 1. Schematic workflow of the study.

Table 2. Composition of resin composite materials used in the study.

Materials	Manufacturer	Type	Composition
EverX Posterior (EP)	GC Corporation Tokyo, Japan	Bulk-fill	Bis-GMA, PMMA, TEGDMA, Barium glass fillers, and silanated e-glass fibers.
Filtek One Bulk Fill (FBF)	3M ESPE, St. Paul, MN, USA	Bulk-fill	AUDMA, AFM, diurethane-DMA and 1,12-dodecane-DMA, ytterbium trifluoride, zirconia/silica
G-aenial Posterior (GP)	GC Corporation Tokyo, Japan	Conventional Microhybrid	UDMA, dimethacrylates, pre-polymerized fillers, silica, strontium and lanthanide fluoride

Groups (n = 10) were planned as follows:

G-aenial Posterior—Self-etch group (control group): After air drying the cavity floor and walls, the Tofflemire matrix system was adapted to the tooth in such a way that there were no openings at the edges of the cavity. A one-step adhesive system (Gluma, Heraeus Kulzer, South Bend, India) was applied to the cavity surface with a disposable applicator for 20 s and air-dried until a uniform surface was formed. The bonding agent was polymerized by an LED curing light (B-Cure Woodpecker, Guilin, China) at 1000–1200 mW/cm² for 10 s. The proximal wall was first formed with microhybrid composite resin material G-aenial Posterior (GC, Tokyo, Japan) with a thickness of 1 mm and polymerized from the occlusal surface with an LED curing light (B-Cure Woodpecker, Guilin, China) at 1000–1200 mW/cm² for 20 s. Conventional microhybrid resin composite (G-aenial Posterior, GC, Tokyo, Japan) was then placed in the cavity with a thickness of 2 mm using the incre-

mental technique and polymerized with an LED curing light (B-Cure Woodpecker, Guilin, China) at 1000–1200 mW/cm² from the occlusal surface for 20 s for each increment. Finally, the proximal surfaces were polymerized using an LED curing light (B-Cure Woodpecker, Guilin, China) at 1000–1200 mW/cm² for 20 s.

G-aenial Posterior—Total-etch group (control group): In total, 37.5% phosphoric acid was applied to all cavity surfaces for 15 s. During the removal of phosphoric acid from the cavity surface, excess acid was removed using cotton pellets. The cavity surface was then rinsed with water for 15 s. Primer (Optibond FL, Kerr, Orange, CA, USA) was applied with a disposable applicator for 15 s and air-dried until a uniform surface was obtained. Then, the adhesive (Optibond FL, Kerr, Orange, CA, USA) was applied for 15 s, allowed to dry until a uniform surface was obtained and cured with an LED curing light (B-Cure Woodpecker, Guilin, China) at 1000–1200 mW/cm² for 10 s. A resin composite was applied as in group 1.

EverX Posterior—Self-etch group: The adhesive system procedure was applied as in group 1. The approximal wall was formed with SFRC (short-fiber-reinforced composite) resin (EverX Posterior, GC, Tokyo, Japan) and polymerized from the occlusal surface with an LED curing light at 1000–1200 mW/cm² for 20 s. A 3 mm thick layer of EverX Posterior was placed and polymerized from the occlusal surface with an LED curing light at 1000–1200 mW/cm² for 20 s. Microhybrid composite resin material (G-aenial Posterior, GC, Tokyo, Japan) was applied to the remaining part of the cavity and polymerized with an LED curing light at 1000–1200 mW/cm² for 20 s from the occlusal surface. Finally, light was applied from the approximal surfaces and polymerized with an LED curing light (B-Cure Woodpecker, Guilin, China) at 1000–1200 mW/cm² for 20 s. The application procedure is shown in Figure 2, diagram A.

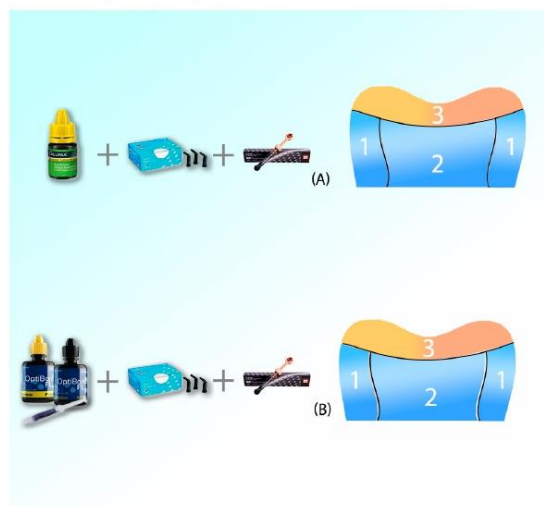


Figure 2. The surfaces 1, 2, and 3 show the order of application of resin composite. The areas colored in blue represent EverX Posterior, and the areas colored in orange represent G-aenial Posterior. (A): Self-etch adhesive + EverX Posterior + G-aenial Posterior, (B): Total-etch adhesive + EverX Posterior + G-aenial Posterior.

EverX Posterior—Total-etch group: The adhesive system procedure was applied as in group 2. A resin composite was applied as in group 3. The application procedure is shown in Figure 2, diagram B.

Filtek One Bulk Fill—Self-etch group: The adhesive system procedure was applied as in group 1. The proximal walls were first formed with bulk-fill composite resin material Filtek One Bulk Fill (3M ESPE, St. Paul, MN, USA) and cured from the occlusal surface with an LED curing light at 1000–1200 mW/cm² for 20 s. Bulk-fill composite resin material Filtek One Bulk Fill (3M ESPE, St. Paul, MN, USA) was applied to all remaining surfaces of the cavity by bulk technique and cured from the occlusal surface with an LED curing light (B-Cure Woodpecker, Guilin, China) at 1000–1200 mW/cm² for 20 s. Finally, a curing light was applied from the approximal surfaces at 1000–1200 mW/cm² for 20 s.

Filtek One Bulk Fill—Total-etch group: The adhesive system procedure was applied as in group 2. Resin composite was applied as in group 5.

2.2. Thermal Cycling

To simulate the samples in vivo for approximately 6 months, an aging procedure was performed with a thermal cycler (SD Mechatronik Thermocycler, SD Mechatronik, Westerham, Germany) for 5000 cycles at Ankara University Faculty of Dentistry [19,20]. Each group was placed and removed in the thermal cycler on the same day and time. Each group was placed separately in thin and transparent socks, and a color code was determined for each group to mix up the groups. The socks were tied with threads that suited the color code. Thermal cycling was performed (5–55 °C) with a dwell time of 25 s. The test specimens were transferred between the two temperatures with a transfer time of 10 s.

2.3. Specimen Preparation for Microleakage and Microvoid Evaluation

A 50% ammonia silver nitrate (AgH₃N₂O₃) solution was prepared at Ankara University, Faculty of Pharmacy, and used to determine the microleakage. After the aging procedure, all specimens were coated with 2 coats of nail polish, leaving 1 mm around the restoration, and kept in ammonia silver nitrate solution in dark conditions for 12 h. Each sample was kept under running water for 2 min. Then, all teeth were immersed in a photo development solution (Konix, Turkuaz Sağlık Hizmetleri, İstanbul, Türkiye) and exposed to daylight Kelvin lamp illumination for 8 h [21]. A toothbrush was used to remove silver debris on the tooth surfaces. Each sample was scanned using a micro-CT (Bruker Skyscan 1275, Kontich, Belgium) with a 100 kVp, 100 mA X-ray source. The samples were rotated 360° within an integration time of 5 min. The average scanning time was 1 h. Reconstructions were performed using reconstruction software (NRecon 1.6.7.2, Skyscan, Kontich, Belgium) with a modified algorithm obtained with a 3D density function based on 2D projection. The entrance of the optimal contrast limits (0–0.1) was set before the reconstruction of the teeth. Contrast limits were applied following the software instructions. The lowest limit was zero, so the intensity scale had zero origin. The maximum limit was at the top of the brightness spectrum, representing the highest intensity value. The data set in the study consisted of approximately 601 axial slice micro-CT images, each slice having 1024 × 1024 pixels and a 16-bit grey value. The CT software device (CTAn, 1.19.11.1, Skyscan, Aartselaar, Belgium) was used for 3D volumetric analysis and μ CT volume of the sample. The reconstructed images were processed for further imaging (Skyscan CTVox, Skyscan, Aartselaar, Belgium, The Dataviewer, Skyscan, Aartselaar, Belgium). After reconstruction, a region of interest (ROI) including the teeth and the entire restoration was drawn using the CTAn software, which uses all the features of the program to analyze the 3D microstructure of each sample. Enamel and dentin were made more translucent, and restorations were brightened. As the software itself allows the user to ‘sculpt’ the desired volume from the 3D structure and by adjusting the brightness and opacity values, unwanted voxels can be removed before voids in and with restorations are visualized and calculated.

2.4. Evaluation of Microvoids with Micro-CT

Original grayscale images were used to calculate cavities in 3D density, and a Gaussian low-pass filter was applied to reduce noise. An automated segmentation threshold was used to distinguish enamel and dentin from restorations and cavities using CT analysis software.

For the calculation of the volumes of the microvoids, an ROI was selected for each cross-section containing the entire restoration within the teeth. The microvoid and restoration volumes were measured for each specimen, and then the microvoid volume was calculated relative to the total restoration volume (mm^3).

2.5. Evaluation of Microleakage with Micro-CT

CTAn (SkyScan) software was used to review and analyze the coronal images. A region of interest (ROI) covering the entire object was selected for each section to enable the calculation of $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ penetration volume throughout the restoration. Grayscale shading thresholds were defined to differentiate dentin from restorative material and penetrated $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$. The volume of ammonia silver penetration was then realized by 3D analysis.

2.6. Statistical Analysis

The data obtained in the study were analyzed using the Statistical Package for Social Sciences 28.0 program [SPSS 28.0, [community.ibm.com](https://www.ibm.com)]. Descriptive statistical methods (mean, standard deviation, minimum, median, and maximum) were used to evaluate the data. The normal distribution of the data used in the study was tested with the Shapiro-Wilk test. The statistical significance of the effect of two variables and their interaction with more than one dependent variable was tested by two-way MANOVA analysis. The difference between the groups was tested with Bonferroni analysis.

For all analyses, the probability of Type I error was set as $\alpha = 0.05$.

In the study, the assumptions of two-way MANOVA analysis were checked. Accordingly, whether the covariance matrix was homogeneous was tested with Box's M test. According to Box's test result, it was seen that the covariance matrices between groups were not homogeneous (Box's M = 259.115, F = 4.171, df1 = 50, df2 = 5351.928, $p = 0.000$). In this case, it would be appropriate to use Hotelling's trace statistic in multivariate test results. The homogeneity of the variances of each variable according to the groups in the variables was tested with Levene's test. Accordingly, it was determined that the variances were homogeneous for microvoid ($p = 0.051 > 0.05$) but not homogeneous for $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ ($p = 0.045 < 0.05$).

3. Results

According to Hotelling's trace values in the multivariate test, the effects of composites, adhesive systems, and composites x adhesive system interaction on variables are significant ($p < 0.05$). Multivariate test results are shown in Table 3.

Table 3. Multivariate test results.

	Multivariate Test					
	Hotelling's Trace	F	Hypothesis df	Error df	p	η^2
Intercept	1605.191	20,466.184	4.000	51.000	0.000 *	0.999
Composites	20.526	128.285	8.000	100.000	0.000 *	0.911
Adhesive Systems	51.465	656.179	4.000	51.000	0.000 *	0.981
Composites x Adhesive systems	3.257	20.354	8.000	100.000	0.000 *	0.620

According to the test of between-subjects effects table, the variable composites have a significant effect on the variable $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ ($p = 0.000 < 0.05$), while it has no significant

effect on the variable void ($p = 0.356 > 0.05$). It was determined that there was a statistically significant difference between $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ values according to Filtek One Bulk Fill, EverX Posterior, and G-aenial Posterior groups, and this difference originated from all groups. Accordingly, the mean value of $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ was highest in the G-aenial Posterior group and lowest in the Filtek One Bulk Fill group. The amount of $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ leakage in the G-aenial Posterior group is shown in Figures 3 and 4. The highest $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ leakage occurred in the G-aenial Posterior self-etch group and is shown in Figure 3. The least $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ leakage occurred in the Filtek One Bulk Fill total-etch group and is shown in Figure 5. The variable adhesive systems had a significant effect on the variable $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ ($p = 0.000 < 0.05$) but not on the variable microvoid ($p = 0.467 > 0.05$). It was determined that the $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ value of the self-etch group was higher than the total-etch group. Tests of between-subjects effects results are shown in Table 4.

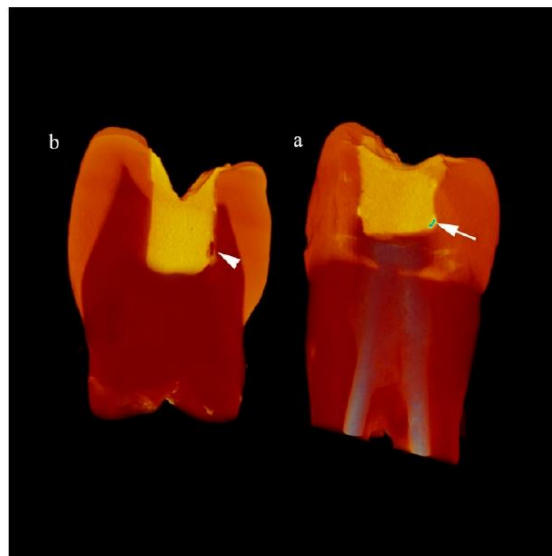


Figure 3. Arrows show microleakage (a) and microvoids (b) in Filtek One Bulk Fill total-etch group prepared with bulk technique.

The effects of composites \times adhesive systems interaction on the variables are statistically significant: $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ ($p = 0.001 < 0.05$) and microvoid ($p = 0.003 < 0.05$). It was determined that there was a statistically significant difference between the $\text{AgH}_3\text{N}_2\text{O}_3$ volume values of the self-etch and total-etch groups in the Filtek One Bulk Fill, EverX Posterior, G-aenial Posterior groups, and the average value of self-etch was higher than total-etch in all groups. There was a statistically significant difference between the microvoid volume values of self-etch and total-etch groups in the Filtek One Bulk Fill and G-aenial Posterior groups. The average microvoid volume value of the Filtek One Bulk Fill self-etch group was higher than the Filtek One Bulk Fill applied with total-etch adhesive. The microvoid volume of the G-aenial Posterior self-etch group showed lower values than the G-aenial Posterior total-etch group. The G-aenial Posterior self-etch group demonstrated lower microvoid formation in comparison to the Filtek One Bulk Fill self-etch group. Microleakage and microvoid values between the groups are shown in Table 5.

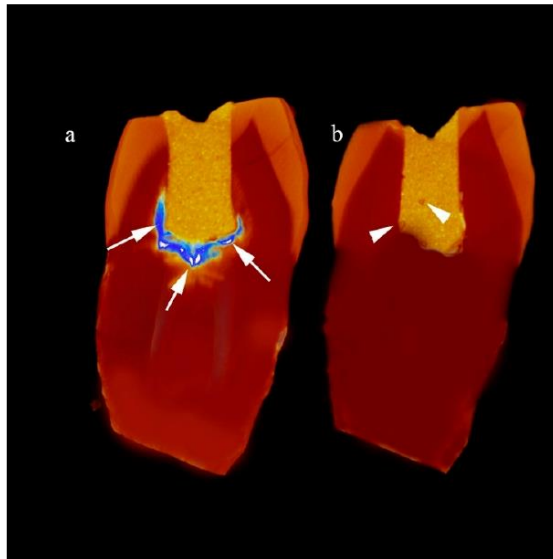


Figure 4. Arrows showing microleakage (a) and microvoids (b) in G-aenial Posterior self-etch group prepared with incremental technique.

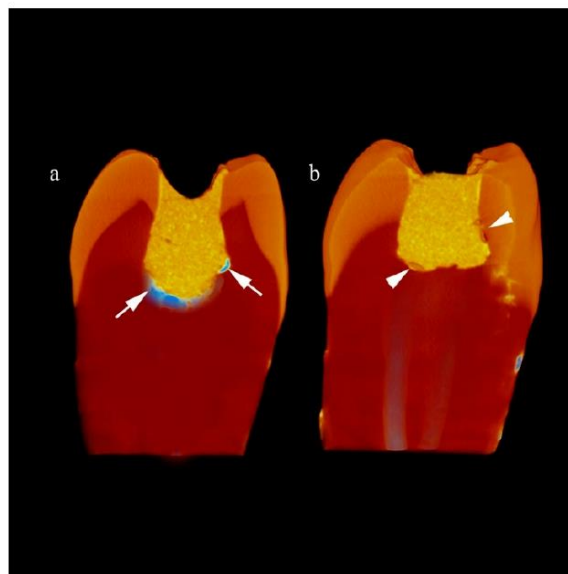


Figure 5. Arrows showing microleakage (a) and microvoids (b) in G-aenial Posterior total-etch group prepared with incremental technique.

Table 4. Tests of between-subjects effects results.

		Tests of between-Subjects Effects					
				F	p	η^2	
Corrected Model	AgH ₃ N ₂ O ₃ Volume			734.227	0.000 *	0.986	
	Microvoid Volume			3.092	0.016 *	0.223	
Intercept	AgH ₃ N ₂ O ₃ Volume			53,038.471	0.000 *	0.999	
	Microvoid Volume			4721.965	0.000 *	0.989	
	Composites	Median (Min–Max)	$\bar{x} \pm Sd$				
AgH ₃ N ₂ O ₃ Volume (mm ³)	Filtek One Bulk Fill	6.5 (4.7–9.01)	6.77 ± 1.89 ^a	511.791	0.000 *	0.950	
	EverX Posterior	7.94 (5.83–9.99)	7.97 ± 1.67 ^b				
	G-aenial Posterior	9.27 (7.38–12.11)	9.51 ± 2.03 ^c				
Microvoid Volume (mm ³)	Filtek One Bulk Fill	52.35 (44.02–84.27)	54.47 ± 8.99	1.051	0.356	0.037	
	EverX Posterior	56.67 (48–65.52)	56.25 ± 4.04				
	G-aenial Posterior	54.81 (42.76–64.49)	53.45 ± 6.13				
	Adhesive Systems	Median (Min–Max)	$\bar{x} \pm Sd$				
AgH ₃ N ₂ O ₃ Volume (mm ³)	Self-etch	9.58 (7.84–12.11)	9.88 ± 1.26 ^a	2630.051	0.000 *	0.980	
	Total-etch	6.4 (4.7–7.65)	6.28 ± 1.1 ^b				
Microvoid Volume (mm ³)	Self-etch	53.81 (42.76–84.27)	54.14 ± 8.08	0.537	0.467	0.010	
	Total-etch	56.23 (45.23–65.52)	55.3 ± 5.01				

* $p < 0.05$, η^2 : partial eta square.

Table 5. Composites x adhesive systems interaction results.

		Composites x Adhesive Systems						
Composites	Adhesive Systems	Median (Min–Max)	$\bar{x} \pm Sd$	p	F	p	η^2	
AgH ₃ N ₂ O ₃ Volume (mm ³)	Filtek One Bulk Fill	Self-etch	8.67 (7.84–9.01)	8.59 ± 0.35	<0.001 *	8.751	0.001 *	0.245
		Total-etch	4.97 (4.7–5.15)	4.94 ± 0.16				
	EverX Posterior	Self-etch	9.58 (9.1–9.99)	9.57 ± 0.26	<0.001 *			
		Total-etch	6.4 (5.83–6.78)	6.36 ± 0.28				
	G-aenial Posterior	Self-etch	11.41 (10.89–12.11)	11.47 ± 0.37	<0.001 *			
		Total-etch	7.55 (7.38–7.65)	7.55 ± 0.09				
	Composites	Adhesive Systems	Median (Min–Max)	$\bar{x} \pm Sd$	p	F	p	η^2
Microvoid Volume (mm ³)	Filtek One Bulk Fill	Self-etch	55.92 (44.02–84.27)	57.45 ± 11.3	0.035 *	6.411	0.003 *	0.192
		Total-etch	50.68 (45.23–61.92)	51.49 ± 4.84				
	EverX Posterior	Self-etch	55.53 (48–62.86)	55.52 ± 4.11	0.601			
		Total-etch	57.17 (49.49–65.52)	56.97 ± 4.06				
	G-aenial Posterior	Self-etch	48.95 (42.76–56.99)	49.45 ± 5.22	0.005 *			
		Total-etch	58.23 (49.64–64.49)	57.45 ± 4.08				

4. Discussion

Resin composites have become materials of choice for directly restoring both anterior and posterior teeth in dentistry. Dentists and patients alike seek materials that can replace missing tooth tissue while closely resembling natural teeth. Additionally, resin composites address the issue of low fracture resistance often encountered in posterior teeth [22,23]. Modifying the particle size and morphology of composite resins to increase fracture resistance and reduce patient chair time have resulted in improved mechanical properties [22]. However, long-term clinical studies have pointed out an increase in the failure rate of resin composite restorations from 1.50% to 2.20% between 2006 and 2016. The causes of failure have been attributed to high rates of secondary caries, tooth fractures, and endodontic treatment [24].

The fracture strength, a crucial physical property of restorative materials, is intricately linked to their chemical composition. The combination of these components plays a pivotal role, as a material endowed with high fracture strength not only impedes the initiation but also hinders the progression of fractures. Consequently, the fracture strength emerges as a key determinant in ensuring the longevity of dental materials [25,26].

As there are studies that argue that the microstructure of conventional composite resins does not resemble dentin, the material used to replace dentin should have similar properties to dentin [27]. Researchers persist in their exploration of innovative materials designed to closely mimic the properties of dentin. These advancements are geared towards improving the efficacy of restorative procedures and ultimately enhancing patient satisfaction. Recent studies featured in the literature are dedicated to reinforcing the remaining tooth structure. In pursuit of this objective, these studies have incorporated fiber-reinforced composites into their investigations, aiming to fortify and support the structural integrity of the tooth [28,29]. Short-fiber-reinforced bulk-fill resin composites have been developed that are claimed to overcome the weak mechanical properties of conventional resin composites. During the restoration of the cavity, a biomimetic approach may be used with a short-fiber-reinforced bulk-fill resin composite as a dentin replacement and a conventional resin composite material as the enamel layer [27]. In parallel with Keulemans, Garoushi, and Lassila (2017), a short-fiber-reinforced composite as a dentin replacement was used in this study. EverX Posterior contains short-fiber particles, and the fiber particles may be exposed during polishing of the restoration. Hence, the final layer was completed using a conventional composite resin, following the manufacturer's instructions, in accordance with a similar research study [16].

The recently introduced bulk-fill composite resins are promising, but current scientific research on their mechanical and clinical potential remains limited. Therefore, more research is needed, especially regarding their internal structure and polymerization shrinkage stress [30].

During the application of restorative material, gaps that form between the material and the tooth, as well as within the material itself, can lead to reduced fracture strength. These gaps, influenced by the adhesive system and type of restorative material used, are also responsible for marginal discoloration and microleakage. The magnitude of volumetric shrinkage and the amount of stress generated during the polymerization reaction of composite resins are the main factors causing poor marginal adaptation, microleakage, postoperative pain, and secondary caries [31]. Tsujimoto et al. (2016) emphasized that volumetric shrinkage starts immediately after light irradiation and continues even after discontinuation. The continuation of shrinkage after the completion of polymerization may be due to the polymerization reaction of the monomers [32]. It is important to use appropriate dental adhesives and restorative materials according to the width and depth of the cavity. By using the appropriate adhesive system and restorative materials, a successful bond between the restorative material and the tooth can be achieved, and microvoid formation can be prevented [2]. In the present study, micro-CT, a widely preferred powerful 3D imaging technique for polymerization shrinkage and microleakage studies, was used [2,17]. Micro-CT acquires images based on the principle of absorption or phase contrast effect [33].

In our study, no statistical difference was found between conventional microhybrid, bulk-fill, and fiber-reinforced bulk-fill resin composites in terms of void formation. However, in the self-etch groups, bulk-fill composite resin showed more microvoids than conventional microhybrid composite. Therefore, Hypothesis 1, "The choice of restorative material does not affect microvoid formation" is partially accepted. Tekçe et al. (2021) used Estelite Posterior, Estelite Flow Quick High Flow, Estelite Flow Quick High Flow, Estelite Bulk Fill Flow, and EverX Posterior on endodontically treated teeth and analyzed microvoid formation with a micro-CT device. The result of the study pointed out that flowable resin composites had more microvoid formation than conventional composites and composites containing fiber. Tekçe et al. (2021) assumed that this result may be due to the undue application of flowable resin composites [16]. Any mixing movement and placement of the flowable composite by violent spraying causes void formation [34]. It has been shown that the propensity for void formation is significantly different between various flowable composites and this is material-dependent [35]. Tekçe et al. (2021) pointed out that the lowest void volume was found in fiber-reinforced composite EverX Posterior, followed by conventional microhybrid composite Estelite Posterior by micro-CT measurements. In our study, there was no statistical difference between the conventional microhybrid resin composite and the fiber-reinforced bulk-fill resin composite in terms of void formation.

Yu et al. (2017) showed that the shrinkage of bulk-fill resin composites was between 1.5% and 3.4%, while this range was between 2.1% and 4.3% for conventional resin composites [36]. In our study, G-aenial Posterior, a conventional resin composite material, showed more microleakage than bulk-fill composites for both self-etch and total-etch groups. The fact that the cavities were 5 mm deep and the placement of conventional resin composite in 2 mm layers in the cavity caused adaptation problems can be considered as the reasons for the microleakage.

Microleakage in resin-based restorations has always been one of the biggest problems [37]. Poggio et al. (2012) stated that self-etch adhesive systems were more successful than total-etch adhesive systems. As a result of the study, the highest microleakage was observed in the One-up Bond F Plus group, followed by Palfique bond [38]. They stated that the reason why One-up Bond F Plus showed the highest leakage was that it does not contain HEMA (hydroxyethyl methacrylate) [39]. Since the hydrophilicity of HEMA makes it an excellent adhesion-promoting monomer and increases the wetting of dentin, it significantly increases the bond strength and reduces microleakage. HEMA also forms hydrogen bonds within the microporosities of demineralized dentin, undergoes hygroscopic expansion after polymerization, mechanically clamps to the substrate, and bonds to the dentin surface with stronger bonds [37]. According to this study, the presence of HEMA resulted in less microleakage in the seventh-generation (Palfique bond) and eighth-generation (Palfique universal bond) adhesive system compared to the sixth-generation (One-up Bond F Plus) adhesive system [39]. In our study, the total-etch (OptiBond FL, Kerr) adhesive system showed lower microleakage than the self-etch (Gluma, Kulzer) adhesive system in all groups. Although both adhesive systems contain HEMA, the difference in HEMA content may be a factor for this result. Furthermore, the separate acid etching step in total-etch adhesive systems has a positive effect on better bonding of the restorative material to the tooth tissue.

Baltacıoğlu et al. (2024) investigated the effect of gravity on the microleakage potential of different bulk-fill composites with micro-CT device [40]. They found that gravity had no effect on microleakage but chemical composition of the composites significantly influenced the occurrence of higher microleakage ratios.

In terms of microleakage formation, a significant difference was found in all groups. In the present study, Hypothesis 2, "The choice of restorative material does not influence microleakage formation" is rejected.

While there was no significant difference between the total-etch systems in terms of microvoid formation in all groups, only the G-aenial Posterior total-etch group had more microvoid formation than the G-aenial Posterior self-etch group. Accordingly, Hypothesis 3,

“The choice of adhesive system (etch-and-rinse or self-etch) does not influence microvoid formation” is partially accepted. Depending on the adhesive system, a significant difference in microleakage was observed between the total-etch and self-etch systems in each restorative material group. According to these results, Hypothesis 4, “The choice of adhesive system (etch-and-rinse or self-etch) does not influence microleakage formation” was rejected. In vitro studies, including this one, have limitations. Notably, this study was conducted in a controlled laboratory setting. However, it is crucial to recognize that teeth and restorative materials experience ongoing stress and are influenced by various factors in real-world clinical conditions. Therefore, clinical conditions should be taken into account. Due to the different anatomical forms of the teeth, the ability to adjust the depth and width of the cavity in the same way is one of the limitations. Limitations include the fact that not all bulk-fill and short-fiber-reinforced resin composite materials and only two different adhesives were included in the study. However, it should be taken into consideration that different results can be obtained when bulk-fill and short-fiber-reinforced resin composite materials are applied with different adhesive systems.

Further studies under in vivo conditions using adhesive systems with different adhesive application procedures are needed for future research.

For Skyscan systems, the resolution is proportional to the diameter of the object; for a field of view of 10 mm, the resolution is typically 10 μm . This is a limitation of the methodology. Quantitative analysis based on a set of images with a resolution of 10 μm and above has a limitation; it does not detect small objects, of which there may be many. The study was conducted on first premolar teeth; this is a limitation. In order to examine the outcomes of posterior teeth, the study may also be performed on posterior teeth.

5. Conclusions

The use of adhesive systems and restorative materials according to the application procedures with appropriate instructions can prevent large microvoid potentials that may occur. MOD cavities showed less microleakage with three-step total-etch adhesive systems than with one-step self-etch adhesive systems. Within the limitations of this study, preliminary conclusions were drawn regarding the microvoid and microleakage potential of a microhybrid and two bulk-fill resin composites used in deep cavities when applied with different adhesive materials. In the present study, a significant difference was observed in terms of microvoid formation between the resin composites prepared with the incremental technique and the groups prepared with the bulk technique. The use of conventional composites alone may result in microvoid formation in cavities exceeding 4 mm. Microvoid formation in resin composites can also be attributed to the dentist’s skill and improper placement of bulk-fill composites in the cavity during the restoration process. Total-etch groups showed better results with less microleakage than self-etch groups. As a consequence, three-step total-etch adhesive systems can be preferred to prevent microleakage, especially in teeth with large and deep cavities. Within both the adhesive systems used in the study, Filtek One Bulk Fill Posterior showed the lowest leakage values followed by EverX Posterior and G-aenial Posterior. G-aenial Posterior showed the highest microleakage in both adhesive groups. These results indicate that bulk-fill resin composites can be used safely in deep cavities. However, it should be taken into consideration that different results can be obtained with the application of different adhesive systems.

Author Contributions: G.C. contributed to the conception and design, acquisition, analysis, and interpretation, and drafted the manuscript. N.U. contributed to the conception and design, acquisition, analysis, and interpretation and critically revised the manuscript. K.O. contributed to the processing of data. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by “Ethics Committee of Near East University Scientific Research (YDU/2023/112-1697 and 30 March 2023)”.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all the patients involved in the study before the extraction of teeth in the Dental School of Near East University.

Data Availability Statement: Data is contained within the article.

Conflicts of Interest: The authors declare no competing interests, and no funding was obtained for this study.

References

- Park, J.; Chang, J.; Ferracane, J.; Lee, I.B. How should composite be layered to reduce shrinkage stress: Incremental or bulk filling? *Dent. Mater.* **2008**, *24*, 1501–1505. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Opdam, N.J.M.; Roeters, J.J.M.; Peters, T.C.R.B.; Burgersdijk, R.C.W.; Teunis, M. Cavity Wall adaptation and voids in adhesive Class I resin composite restorations. *Dent. Mater.* **1996**, *12*, 230–235. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Batalha-Silva, S.; De Andrada, M.A.C.; Maia, H.P.; Magne, P. Fatigue resistance and crack propensity of large MOD composite resin restorations: Direct versus CAD/CAM inlays. *Dent. Mater.* **2013**, *29*, 324–331. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Magne, P.; Mahallati, R.; Bazos, P.; So, W.S. Direct dentin bonding technique sensitivity when using air/suction drying steps. *J. Esthet. Restor. Dent.* **2008**, *20*, 130–138. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Pallesen, U.; Van Dijken, J.W.V.; Halcken, J.; Hallonsten, A.L.; Höigaard, R. Longevity of posterior resin composite restorations in permanent teeth in Public Dental Health Service: A prospective 8 years follow up. *J. Dent.* **2013**, *41*, 297–306. [\[CrossRef\]](#)
- Sarrett, D.C. Clinical challenges and the relevance of materials testing for posterior composite restorations. *Dent. Mater.* **2005**, *21*, 9–20. [\[CrossRef\]](#)
- Alrahlah, A.; Silikas, N.; Watts, D.C. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dent. Mater.* **2014**, *30*, 149–154. [\[CrossRef\]](#)
- Sadyrin, E.V.; Yogina, D.V.; Swain, M.V.; Maksyukov, S.Y.; Vasiliev, A.S. Efficacy of dental materials in terms of apparent mineral density restoration: Composite resin, glass ionomer cement and infiltrant. *Compos. Part C Open Access* **2021**, *6*, 100192. [\[CrossRef\]](#)
- Borges, A.L.S.; Borges, A.B.; Xavier, T.A.; Bottino, M.C.; Platt, J.A. Impact of quantity of resin, C-factor, and geometry on resin composite polymerization shrinkage stress in Class V restorations. *Oper. Dent.* **2014**, *39*, 144–151. [\[CrossRef\]](#)
- Al Sunbul, H.; Silikas, N.; Watts, D.C. Polymerization shrinkage kinetics and shrinkage-stress in dental resin-composites. *Dent. Mater.* **2016**, *32*, 998–1006. [\[CrossRef\]](#)
- Goracci, C.; Cadenaro, M.; Fontanive, L.; Giangrosso, G.; Juloski, J.; Vichi, A.; Ferrari, M. Polymerization efficiency and flexural strength of low-stress restorative composites. *Dent. Mater.* **2014**, *30*, 688–694. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Rosatto, C.M.P.; Bicalho, A.A.; Verissimo, C.; Bragança, G.F.; Rodrigues, M.P.; Tantbirojn, D.; Versluis, A.; Soares, C. Mechanical properties, shrinkage stress, cuspal strain and fracture resistance of molars restored with bulk-fill composites and incremental filling technique. *J. Dent.* **2015**, *43*, 1519–1528. [\[CrossRef\]](#)
- Vinagre, A.; Ramos, J.; Alves, S.; Messias, A.; Alberto, N.; Nogueira, R. Cuspal displacement induced by bulk fill resin composite polymerization: Biomechanical evaluation using fiber bragg grating sensors. *Int. J. Biomater.* **2016**, *2016*, 7134283. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Farahat, F.; Daneshkazemi, A.R.; Hajiahmadi, Z. The Effect of Bulk Depth and Irradiation Time on the Surface Hardness and Degree of Cure of Bulk-Fill Composites. *J. Dent. Biomater.* **2016**, *3*, 284–291.
- García, D.; Yaman, P.; Dennison, J.; Neiva, G.F. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Oper. Dent.* **2014**, *39*, 441–448. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Tekçe, N.; Aydemir, S.; Demirci, M.; Tuncer, S.; Bozkaya, S.; Sevilyay Yıldırım, E.; Akman, Ş. Evaluation of Fracture Strength and Total Void Amount in Composite Restorations on Endodontically Treated Teeth. *Odovtos Int. J. Dent. Sci.* **2021**, *3*, 262–273. [\[CrossRef\]](#)
- Carrera, C.A.; Lan, C.; Escobar-Sanabria, D.; Li, Y.; Rudney, J.; Aparicio, C.; Fok, A. The use of micro-CT with image segmentation to quantify leakage in dental restorations. *Dent. Mater.* **2015**, *31*, 382–390. [\[CrossRef\]](#)
- Li, H.; Li, J.; Yun, X.; Liu, X.; Fok, A.S.L. Non-destructive examination of interfacial debonding using acoustic emission. *Dent. Mater.* **2011**, *27*, 964–971. [\[CrossRef\]](#)
- Giampaolo, E.T.; Jorge, J.H.; Machado, A.L.; Pavarina, A.C.; Vergani, C.E. Effect of thermal cycling on microleakage between hard chairside relines and denture base acrylic resins. *Gerodontology* **2011**, *28*, 121–126. [\[CrossRef\]](#)
- Sampaio, C.S.; Pizarro, P.G.; Atria, P.J.; Hirata, R.; Giannini, M.; Mahn, E. Effect of shortened light-curing modes on bulk-fill resin composites. *Oper. Dent.* **2020**, *45*, 496–505. [\[CrossRef\]](#)
- Kılıçarslan, M.A.; Çulhaoğlu, A.K.; Tanış, M.Ç.; Kılıçarslan, M.; Mert, O.C.A.K. Comparison of Microleakage and Fracture Strength of Veneering Techniques for Polyetheretherketone Cores. *Curr. Res. Dent. Sci.* **2023**, *33*, 160–166. [\[CrossRef\]](#)
- Ferracane, J.L. Resin composite—State of the art. *Dent. Mater.* **2011**, *27*, 29–38. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

23. da Veiga, A.M.A.; Cunha, A.C.; Ferreira, D.M.T.P.; da Silva Fidalgo, T.K.; Chianca, T.K.; Reis, K.R.; Maia, L.C. Longevity of direct and indirect resin composite restorations in permanent posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *J. Dent.* **2016**, *54*, 1–12. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Alvanforoush, N.; Palamara, J.; Wong, R.H.; Burrow, M.F. Comparison between published clinical success of direct resin composite restorations in vital posterior teeth in 1995–2005 and 2006–2016 periods. *Aust. Dent. J.* **2017**, *62*, 132–145. [[CrossRef](#)]
25. Heintze, S.D.; Ilie, N.; Hickel, R.; Reis, A.; Loguercio, A.; Rousson, V. Laboratory mechanical parameters of composite resins and their relation to fractures and wear in clinical trials—A systematic review. *Dent. Mater.* **2017**, *33*, e101–e114. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Ruddell, D.E.; Maloney, M.M.; Thompson, J.Y. Effect of novel filler particles on the mechanical and wear properties of dental composites. *Dent. Mater.* **2002**, *18*, 72–80. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Keulemans, F.; Garoushi, S.; Lassila, L. Fillings and core build-ups. In *Clinical Guide to Principles of Fiber-Reinforced Composites in Dentistry*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017; pp. 131–163.
28. Fráter, M.; Lassila, L.; Braunitzer, G.; Vallittu, P.K.; Garoushi, S. Fracture resistance and marginal gap formation of post-core restorations: Influence of different fiber-reinforced composites. *Clin. Oral. Investig.* **2020**, *24*, 265–276. [[CrossRef](#)]
29. Lassila, L.; Keulemans, F.; Säilynoja, E.; Vallittu, P.K.; Garoushi, S. Mechanical properties and fracture behavior of flowable fiber reinforced composite restorations. *Dent. Mater.* **2018**, *34*, 598–606. [[CrossRef](#)]
30. Tosco, V.; Monterubbianesi, R.; Furlani, M.; Giuliani, A.; Putignano, A.; Orsini, G. Micro-computed tomography for assessing the internal and external voids of bulk-fill composite restorations: A technical report. *Imaging Sci. Dent.* **2022**, *52*, 303–308. [[CrossRef](#)]
31. Patel, M.; Braden, M.; Davy, K. Polymerization shrinkage of methacrylate esters. *Biomaterials* **1987**, *8*, 53–56. [[CrossRef](#)]
32. Tsujimoto, A.; Barkmeier, W.W.; Takamizawa, T.; Latta, M.A.; Miyazaki, M. Mechanical properties, volumetric shrinkage and depth of cure of short fiber-reinforced resin composite. *Dent. Mater. J.* **2016**, *35*, 418–424. [[CrossRef](#)]
33. Momose, A. Recent advances in X-ray phase imaging. *Jpn. J. Appl. Phys.* **2005**, *44*, 6355. [[CrossRef](#)]
34. Chuang, S.F.; Liu, J.K.; Chao, C.C.; Liao, F.P.; Chen, Y.H.M. Effects of flowable composite lining and operator experience on microleakage and internal voids in class II composite restorations. *J. Prosthet. Dent.* **2001**, *85*, 177–183. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Nazari, A.; Sadr, A.; Saghiri, M.A.; Campillo-Funollet, M.; Hamba, H.; Shimada, Y.; Tagami, J.; Sumi, Y. Non-destructive characterization of voids in six flowable composites using swept-source optical coherence tomography. *Dent. Mater.* **2013**, *29*, 278–286. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Yu, P.; Yap, A.U.J.; Wang, X.Y. Degree of conversion and polymerization shrinkage of bulk-fill resin-based composites. *Oper. Dent.* **2017**, *42*, 82–89. [[CrossRef](#)]
37. Sofan, E.; Sofan, A.; Palaia, G.; Tenore, G.; Romeo, U.; Migliau, G. Classification review of dental adhesive systems: From the IV generation to the universal type. *Ann. Stomatol.* **2017**, *8*, 1–17.
38. Poggio, C.; Chiesa, M.; Dagna, A.; Colombo, M.; Scribante, A. Microleakage in class V gingiva-shaded composite resin restorations. *Ann. Stomatol.* **2012**, *3*, 19–23.
39. Bilal, B. Evaluation of composite resin microleakage with using different bonding agents by micro computed tomography. *Erbil Dent. J.* **2021**, *4*, 15–22. [[CrossRef](#)]
40. Baltacıoğlu, B.; Demirel, G.; Kolsuz, M.E.; Orhan, K. The Effect of Gravity on Marginal Integrity of Different Flowable Bulk-Fill Resin Composites. *Medicina* **2024**, *60*, 396. [[CrossRef](#)]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

Ek 3.

İntihal Raporu

MOD Restorasyonlarda Bulk-Fill Kompozit Rezinlerin Mikroboşluk ve Mikrosızıntı Potansiyelinin Değerlendirilmesi

ORIGINALITY REPORT

14%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	dergipark.org.tr Internet	489 words — 4%
2	acikbilim.yok.gov.tr Internet	446 words — 3%
3	doczz.biz.tr Internet	214 words — 2%
4	www.mdpi.com Internet	99 words — 1%
5	acikerisim.dicle.edu.tr Internet	90 words — 1%
6	paperity.org Internet	75 words — 1%
7	docplayer.biz.tr Internet	67 words — 1%
8	openaccess.bezmialem.edu.tr Internet	56 words — < 1%
9	Gözde Canık, Nuran Ulusoy, Kaan Orhan. "Evaluation of Microvoid and Microleakage	49 words — < 1%

Potential of Bulk-Fill Resin Composites in MOD Restorations",
Coatings, 2024

Crossref

- 10 Kayabasi, Mustafa. "Yüksek Miyopili Hastalarda Arka Segment bulgularının Optik Koherens Tomografi Ve Optik Koherens Tomografi Anjiyografi İle Retrospektif Kesitsel değerlendirilmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2023
ProQuest 35 words — < 1%
- 11 acikerisim.akdeniz.edu.tr
Internet 29 words — < 1%
- 12 nek.istanbul.edu.tr:4444
Internet 25 words — < 1%
- 13 DAYI, Burak, KAMALAK, Aliye and KAMALAK, Hakan. "Diş Hekimliğinde Restoratif Tedavilerde Sıklıkla Kullanılan Farklı Bonding Ajanların Bağlanma Dayanımlarının Tespit Edilmesi", Fırat Üniversitesi, 2017.
Publications 21 words — < 1%
- 14 Zeynep Bilge KÜTÜK, Canan ÖZTÜRK, Reza SOLEIMANI, Filiz YALÇIN ÇAKIR, Sevil GÜRGAN. "Clinical Performance of a Glass Hybrid Restorative in Extended Size Class 2 Preparations", Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences, 2020
Crossref 17 words — < 1%
- 15 Gülşah TONGA, Emine ŞİRİN KARAARSLAN, Hüseyin HATIRLI. "Shear Bond Strength of Calcium Silicate-Based Pulp Capping Materials to Composite Resins with Different Adhesive Systems: In Vitro Study", Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences, 2022
Crossref 16 words — < 1%

- 16 Sabrina Grassini, Leila Es Sebar, Andrea Baldi, Allegra Comba, Emma Angelini, Elio Berutti. "Measurements for restorative dentistry: shrinkage and conversion degree of bulk-fill composites", 2022 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2022
Crossref 14 words — < 1%
- 17 acikerisim.baskent.edu.tr:8080
Internet 12 words — < 1%
- 18 www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080
Internet 11 words — < 1%
- 19 abis-files.istanbul.edu.tr
Internet 10 words — < 1%
- 20 acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080
Internet 9 words — < 1%
- 21 books.akademisyen.net
Internet 9 words — < 1%
- 22 www.ncbi.nlm.nih.gov
Internet 9 words — < 1%
- 23 Bostanci, Busra. "Farkli Yuzey Hazirlama Tekniklerinin Minenin Yuzey ozellikleri ve Baglanma Dayanimi uzerine Etkileri", Necmettin Erbakan University (Turkey)
ProQuest 8 words — < 1%
- 24 Durkan, Meral. "Self-Adeziv Rezin Simanlarla Yapistirilan Seromerlerin Dentin Yuzeyine Baglantisinin Incelenmesi", Marmara Universitesi (Turkey)
ProQuest 8 words — < 1%

25 Ozcan, Isil. "Bilimin dogasi inanislarina yonelik Bir olcegin gelistirilmesi Ve Fen Bilgisi ogretmen adayalarinin Bilimin dogasi inanislarninin Tespiti", Marmara Universitesi (Turkey), 2021 7 words — < 1%

ProQuest

26 Guleryuz, Neslihan. "Beyazlatma islemi Sonrasi Yapilan Kompozit Restorasyonlarnin Baglanma Dayanimina Antioksidan Ajan Ve Bekletme Suresinin Etkisi.", Marmara Universitesi (Turkey), 2021 6 words — < 1%

ProQuest

EXCLUDE QUOTES OFF
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY OFF

EXCLUDE SOURCES OFF
EXCLUDE MATCHES OFF

Özgeçmiş

Adı	Gözde	Soyadı	Canik
Doğum Yeri	Gazimağusa	Doğum Tarihi	12.07.1997
Uyruğu	KKTC	Tel	0533 821 36 76
E-Mail	gozde.canik@neu.edu.tr		

Eğitim Düzeyi	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Lisans	Yakındoğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2020
Yüksek Lisans	Yakındoğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2020
Doktora	Restoratif Diş Tedavisi	2020-Halen

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre
Araştırma Görevlisi	Yakındoğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı	2020 – Halen

Yabancı Dil	Okuduğunu Anlama	Konuşma	Yazma
İngilizce	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi

Program	Kullanma Becerisi
Microsoft Office	Çok İyi