



**T.C.
GAZI ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**UZMANLIK
TEZİ**

**FARKLI MATERYAL VE TEKNİK KULLANILARAK
RESTORE EDİLEN ENDODONTİK TEDAVİ GÖRMÜŞ
KÜÇÜK AZI DİŞLERİN POLİMERİZASYON BÜZÜLMESİ,
KIRILMA DAYANIMI VE MİKROSIZINTISININ IN VİTRO
OLARAK İNCELENMESİ**

CEYDA GÜNDOĞDU

RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

KASIM 2020



**FARKLI MATERYAL VE TEKNİK KULLANILARAK RESTORE EDİLEN
ENDODONTİK TEDAVİ GÖRMÜŞ KÜÇÜK AZI DİŞLERİN
POLİMERİZASYON BÜZÜLMESİ, KIRILMA DAYANIMI VE
MİKROSIZINTISININ *IN VİTRO* OLARAK İNCELENMESİ**

Dt. Ceyda GÜNDOĞDU

**UZMANLIK TEZİ
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

KASIM 2020

Ceyda GÜNDOĞDU tarafından hazırlanan “FARKLI MATERYAL VE TEKNİK KULLANILARAK RESTORE EDİLEN ENDODONTİK TEDAVİ GÖRMÜŞ KÜÇÜK AZI DIŞLERİN POLİMERİZASYON BÜZÜLMESİ, KIRILMA DAYANIMI VE MİKROSIZINTISININ *IN VİTRO* OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalında UZMANLIK TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman ve Başkan :Prof. Dr. Oya BALA

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Uzmanlık Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Prof. Dr. Mine Betül ÜÇTAŞLI

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Uzmanlık Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Prof. Dr. Arzu MÜJDECİ

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Uzmanlık Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Yedek Üye : Prof. Dr. Adil NALÇACI

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Uzmanlık Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Yedek Üye : Doç. Dr. Suat ÖZCAN

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Uzmanlık Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi:

Jüri üyeleri tarafından UZMANLIK TEZİ olarak uygun görülmüş olan bu tez Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Dekanlığı Yönetim Kurulu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Kahraman GÜNGÖR

Gazi Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi Dekanı

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ceyda GÜNDOĞDU

04.11.2020

FARKLI MATERYAL VE TEKNİK KULLANILARAK RESTORE EDİLEN
ENDODONTİK TEDAVİ GÖRMÜŞ KÜÇÜK AZI DIŞLARIN POLİMERİZASYON
BÜZÜLMESİ, KIRILMA DAYANIMI VE MİKROSIZINTISININ *IN VİTRO* OLARAK
İNCELENMESİ
(Uzmanlık Tezi)

CEYDA GÜNDOĞDU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DIŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

Kasım, 2020

ÖZET

Bu *in vitro* çalışmanın amacı, endodontik tedavi görmüş MOD kaviteli üst küçük azı dişlerin farklı materyaller ve farklı tekniklerle restore edilmesinin tüberkül hareketi, kırılma dayanımı ve mikrosızıntı üzerine etkilerini *in vitro* olarak incelemektir. Çalışmada 240 adet küçük azı dişi kullanıldı. Dişlerin yüzeyleri temizlendikten sonra, MOD kaviteler hazırlanıp, endodontik tedavileri yapıldı. Takiben dişler 10 gruba ayrılarak, Filtek Z250, Filtek Bulk-fill Posterior, EverX Posterior, Surefill SDR, restoratif materyalleri ile farklı teknikler kullanılarak dişler restore edildi. Daha sonra, tüberkül hareketleri Dijital Mikrometre Cihazı (BPX44, TESA, Spain) ile hemen, 30sn, 180 sn, 240 sn ve 300 sn sonra ölçümleri yapıldı. Polimerizasyon büzülmesi değerlendirilen restorasyonlar %0,5'lik bazik fuksin solüsyonu içinde 24 saat bekletildikten sonra mezio-distal olarak elmas separe ile ikiye ayrılıp skorlandı. Kırılma dayanımı örnekleri hazırlandıktan sonra, üniversal test cihazı (Shimadzu, Tokyo, Japan) ile örneklere kuvvet uygulandı. Restorasyon veya dişin kırıldığı değer Newton (N) cinsinden kaydedildi. Kırılan örneklerin kırık tipleri, ışık mikroskobu (Olympus SZ40, Japan) altında incelenerek, kırılma tipleri kaydedildi. Verilerin analizi istatistiksel olarak gerçekleştirildi. Çalışmadan elde edilen bulgular sonucunda, endodontik tedavi görmüş MOD kaviteli dişlerin tüberkül hareketi, kırılma dayanımı ve mikrosızıntısına üzerine kullanılan restoratif materyal ve tekniğin değişik etkileri olduğu görüldü. Tüberkül hareketi ölçümü sonuçlarına göre en az tüberkül hareketini Grup 3 ve en fazla tüberkül hareketini Grup 7 gösterirken, mikrosızıntının ise en fazla Grup 3'te görüldüğü tespit edildi. Kırılma dayanımının incelendiği gruplar karşılaştırıldığında ise Grup 10 en yüksek kırılma dayanımı gösterdiği saptandı. Örneklerin kırılma tipleri incelendiğinde; Filtek Bulk-fill materyali ile capping (tüberkül kaplaması) yapılan gruplarda daha az mine-sement birleşimi altında kırık izlendiği görüldü. Tüm bu bulgular doğrultusunda, fazla madde kaybı olan endodontik tedavili dişlerin restorasyonunda kullanılacak restoratif materyal ve uygulanacak restoratif tekniğin seçiminin önemli olduğu söylenebilir.

Bilim Kodu : 1015

Anahtar Kelimeler : Polimerizasyon Büzülmesi, Kırılma Dayanımı, Mikrosızıntı

Sayfa Adedi : 124

Danışman : Prof. Dr. OYA BALA

IN VITRO EXAMINATION OF POLYMERIZATION SHRINKAGE, FRACTURE
STRENGTH AND MICROLEAKAGE OF ENDODONTICALLY TREATED
PREMOLARS RESTORED USING DIFFERENT MATERIALS AND TECHNIQUES

(Thesis Residency)

CEYDA GÜNDOĞDU

GAZI UNIVERSITY

FACULTY OF DENTISTRY

November, 2020

ABSTRACT

The aim of this *in vitro* study is to investigate the effects of restorations performed with different materials and methods on tubercle movement, fracture strength and microleakage of the endodontically treated maxillary premolar with a MOD cavity as *in vitro* study. 240 sound premolars were used in this study. After cleaning surfaces of the teeth, MOD cavities were prepared and endodontic treatments were completed. Samples were then divided into 10 groups and restored with different methods using materials such as Filtek Z250, Filtek Bulk-fill Posterior, EverX Posterior, Surefill SDR. Afterwards, tubercle movement was measured at 30s, 180s, 240s and 300s monitoring times using Digital Micrometre (BPX44, TESA, Spain). Restorations that were used to evaluate polymerization shrinkage were kept in 0.5% basic fuchsin solution for 24 hours, sectioned in a mesiodistal direction at the center of the crowns with a diamond disc and scored. After fracture strength specimens were prepared, force was applied to the samples with universal testing machine (Shimadzu, Tokyo, Japan). The force at which each restoration or tooth fracture was recorded in Newton (N). The samples that were fractured are examined under a light microscope (Olympus SZ40, Japan) to capture the fracture type. Data was analysed using statistical tools. The result of the statistical study showed that the restorations performed with different materials and methods have a significant effect on tubercle movement, fracture strength and microleakage of the endodontically treated maxillary premolar with a MOD cavity. Based on the measurement results Group 3 showed the lowest and Group 7 showed the highest tubercle movement where microleakage was mostly observed in Group 3. Groups are also compared for fracture strength and Group 5 and 10 are observed to have the highest fracture strength. When the fracture types of the samples were examined, the groups that were capped with Filtek Bulk-fill material were observed to have less fractures below the cemento enamel junction . Data analysis shows that the chosen type of restorative material and type of the restorative method was significant for the endodontic treated maxillary premolar that has excessive material loss.

Science Code : 1015

Key Words : Polymerization Shrinkage, Fracture Toughness, Microleakage

Page Number : 124

Advisor : Prof. Dr. OYA BALA

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca, vizyonuyla yoluma ışık olan, sevgisi ve desteğini her adımda hissettiğim, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Prof. Dr. Oya Bala'ya,

Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı öğretim üyeleri, Prof.Dr. Hüma Ömürlü, Prof. Dr. Hülya Erten, Prof. Dr. Mine Betül Üçtaşlı, Prof. Dr. Hacer Deniz Arısu, Doç. Dr. Suat Özcan'a,

Uzmanlık eğitimime başladığım ilk günden itibaren her zaman desteğini hissettiğim Dr. Öğr. Üyesi Cemile Kedici Alp'e,

Tanıdığım günden itibaren tüm zorlukları beraber aştığımız, her yorulduğumda elimden tutup beni ayağa kaldıran, yan yana olabildiğimiz her anı bir şans bildiğim Fatoş Boydaş'a

Bana ailemin eksikliğini bir an olsun hissettirmeyen, her kararında yanımda olan, Sinem Akgül'e ve Emre Akgül'e

Uzmanlık eğitimin boyunca, bana bir aile ortamı sıcaklığı yaşatan çok sevgili asistan arkadaşlarım, Dr. Hanife Altınışik, Dt. Zeynep Gül, Dt. Cansu Yıkıcı, Dt. Zuhale Kam, Dt. Seden Tüzel, Dt. Rümeyza Battal, Dt. Merve Aksoy ve diğer tüm asistan arkadaşlarıma,

Hayatın bana sunduğu en büyük şans olan, üzerimde annem kadar emeği olan ablam Cenay Gündoğdu'ya

Kızları olmaktan gurur duyduğum, bana dik durmayı ve kendim olmayı öğreten hayat ışığım canım annem Hümeysra Gündoğdu ve canım babam Yılmaz Gündoğdu'ya

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Rezin Kompozitler	5
2.1.1. Rezin Kompozitlerin Yapısı	5
2.1.2. Polimerizasyon Reaksiyonu	11
2.1.3. Polimerizasyonun Basamakları	12
2.1.4. Rezin Kompozit Materyallerin Sınıflandırılması	15
2.2. Bulk-fill Rezin Kompozitler.....	20
2.2.1. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	20
2.2.2. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Yapısı	22
2.2.3. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Polimerizasyon Derecesi.....	23
2.2.4. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Polimerizasyon Büzülmesi.....	24
2.2.5. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Kavite Duvarlarına Uyumu	25
2.2.6. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Mekanik Özellikleri	25
2.2.7. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Klinik Performansı	26
2.2.8. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Polimerizasyon Derecesi ve Toksisitesi.....	27

	Sayfa
2.3. Fiberler	28
2.3.1. Fiber Tipleri	28
2.3.2. Fiberlerin Klinik Kullanımları	30
2.4. Polimerizasyon Büzülmesi	32
2.4.1. Polimerizasyon Büzülmesini Etkileyen Faktörler	33
2.4.2. Polimerizasyon Büzülmesi Ölçüm Yöntemleri	43
2.5. Mikrosızıntı	49
2.5.1. Mikrosızıntı Ölçüm Yöntemleri	49
2.6. Mekanik Özellikler / Kırılma Dayanımı	56
3. GEREÇ VE YÖNTEM	59
3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller	60
3.2. Çalışmada Kullanılacak Dişlerin Hazırlanması	60
3.3. Çalışmada Kullanılacak Dişlerin Restorasyonu	63
3.4. Tüberkül Hareketinin Ölçümü	65
3.5. Kırılma dayanımının ölçülmesi	66
3.6. Mikrosızıntı değerlendirilmesi	67
3.7. İstatistiksel Analiz	69
4. BULGULAR	71
4.1. Tüberkül Hareketi Ölçüm Bulguları	71
4.2. Kırılma Dayanımı Bulguları	75
4.3. Mikrosızıntı Bulguları	79
5. TARTIŞMA	81
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	99
EKLER	121
Ek-1. Etik Kurul Onayı	122

ÖZGEÇMİŞ..... 123



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Rezin kompozitlerin sınıflandırılması	15
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan materyallerin özellikleri	60
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan dişlerin bukko-palatinal genişlikleri	61
Çizelge 4.1. Çalışmada deney gruplarının tüberkül hareketlerinin ölçüm değerleri (μm)	71
Çizelge 4.2. Çalışmada incelenen tüm deney gruplarının bazal ölçümlere göre ortalama tüberkül hareketi değişim miktarları (μm) ve standart sapma değerleri....	73
Çizelge 4.3. Çalışmanın kırılma testi sonucunda, tüm deney gruplarından elde edilen kırılma değerlerinin ortalama değerleri ve standart sapmaları	75
Çizelge 4.4. Çalışmada incelenen deney gruplarının kırılma tiplerinin dağılımları	77
Çizelge 4.5. Çalışmada tüm deney gruplarından elde edilen mikrosızıntı skorlarının dağılımı.....	79

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bis-GMA monomerinin yapısal formülü.....	6
Şekil 2.2. UDMA molekülünün yapı formülü	6
Şekil 2.3. TEGDMA molekülünün yapı formülü	7
Şekil 2.4. Bis-EMA molekülünün yapı formülü.....	7
Şekil 2.5. Kamforokinon molekülünün yapı formülü.....	9
Şekil 2.6. PPD, BD, PA moleküllerinin yapı formülleri.....	9
Şekil 2.7. Serbest radikal oluşumu.....	13
Şekil 2.8. Polimerizasyonun başlama aşaması.....	13
Şekil 2.9. Polimerizasyonun yayılma aşaması.....	14
Şekil 2.10. Polimerizasyonun zincir transferi aşaması	14
Şekil 2.11. Polimerizasyonun sonlanma aşaması	15
Şekil 3.1. Çalışmanın akış şeması.....	59
Şekil 4.1. Çalışmada incelenen tüm deney gruplarının kırılma dayanımı (MPa).....	77
Şekil 4.2. Çalışmada tüm deney gruplarının kırılma tiplerinin dağılımı	78
Şekil 4.3. Çalışmada incelenen tüm deney gruplarının mikrosızıntı skorlarının dağılımı.....	80

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Dişlerin boyutlarının dijital kumpas ile kontrolü.....	62
Resim 3.2. A. Endodontik tedavisi tamamlanmış MOD kaviteli dişin radyografik görüntüsü B. Endodontik tedavisi tamamlanmış MOD kaviteli dişin görüntüsü.....	63
Resim 3.3. Çalışmada kullanılan restorasyonların şematik gösterimi	65
Resim 3.4. Tüberkül hareketinin ölçümü.....	66
Resim 3.5. Tesa Interface Software ile tüberkül hareketinin ölçümü.....	66
Resim 3.6. Kırılma dayanımının ölçümü.....	67
Resim 3.7. A. Örneklerin restorasyon sınırlarının tırnak cilası ile kaplanması B. Örneklerin %0,5'lik bazik fuksin solüsyonu içinde bekletilmesi.....	68
Resim 3.8. Mikrosızıntı skorları	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
%	Yüzde
μm	Mikrometre
Å^0	Angström
Gpa	Gigapascal
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
N	Newton
n	Örnek sayısı
nm	Nanometre
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
p	İstatistiksel anlamlılık değeri

Kısaltmalar	Açıklamalar
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
AUDMA	Aromatic Urethane Dimethacrylate
Bis-DMA	Bisphenol A Dimethacrylate
Bis-EMA	Bisphenol A diglycidyl methacrylate ethoxylated
Bis-GMA	Bisphenol A diglycidyl methacrylate
C^{14}	Karbon
Ca^{45}	Kalsiyum
C-Faktörü	Konfigürasyon Faktörü
CT	Bilgisayarlı Tomografi
DMA	Dimethacrylate
EBADMA	Ethoxylated Bisphenol A Dimethacrylate
EGDMA	Ethylene glycol dimethylacrylate
HEMA	Hydroxyethylmethacrylate

Kısaltmalar**Açıklamalar****I¹³¹**

İyot

MDP

10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate

MMA

Metil Metakrilat

Na²²

Sodyum

O

Oksijen

OCT

Optik Koherens Tomografi

OH

Hidroksil

P³²

Fosfor

PAC

Plazma Ark

S³⁵

Sülfür

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

TEGDMA

Triethylene glycol dimethacrylate

UDMA

Üretan dimetakrilat

1. GİRİŞ

Geçtiğimiz yüzyılda, çürük tedavisine yaklaşımda G.V. Black tarafından prensipleri belirlenmiş olan kavite dizaynları kullanılmış ve bu amaçla “korumak için genişlet” prensibi benimsenmiştir. Adeziv materyallerin keşfi ile dişin sert dokularında meydana gelen kayıplar estetik, fonksiyonel ve biyolojik olarak yeterli materyaller ile minimal invaziv yaklaşımla tedavi edilmeye başlanmıştır.

Hastaların estetik kaygısındaki artış ve toplumda amalgamın içerisinde bulunan cıvanın yarattığı endişeler rezin kompozitlerin kullanımını arttırmıştır (Karaman ve Ozgunaltay, 2013). İlk geliştirilen rezin kompozitler günümüzde kullanılanlara göre daha ilkel yapıda olmalarına rağmen, diş renginde olan bu materyallerin kullanımına yönelik talebin fazla olması materyalin büyük gelişim göstermesine neden olmuştur (Maas ve diğerleri, 2017).

Günümüzde rezin kompozitlerin estetik, fonksiyonel ve biyolojik olarak uyumlu materyaller olduğu kabul edilmesine rağmen, polimerizasyon esnasında yapısında hacimsel olarak büzülme göstermesi, hala önemli bir problemdir. Polimerizasyon büzülmesi sonucu oluşan polimerizasyon büzülme stresi, eğer materyalin dişe bağlanma dayanımından fazla ise diş ile restorasyon arasındaki bağlanma bozulur. Bunun sonucunda diş ile restorasyon arayüzeyinde mikroaralık ve dolayısıyla da restorasyon kenarlarında mikrosızıntı oluşumu meydana gelir. Başarısız endodontik tedavilerin sebepleri incelendiğinde, apikal sızıntıya kıyasla koronal mikrosızıntının tedavinin başarısında daha etkili olduğu rapor edilmiştir (Ji ve diğerleri, 2020). Mikrosızıntı nedeni ile sekonder çürük, restorasyon kenarlarında renklenme, restoratif materyal ve dişte kırılma, restorasyon kaybı gibi problemlerin ortaya çıktığı birçok *in vitro* ve *in vivo* çalışmada rapor edilmiştir (Kidd ve Beighton, 1996; Sarrett, 2005).

Eğer diş ile restorasyon arasındaki bağlanma dayanımı polimerizasyon büzülmesi stresinden daha büyükse, o zaman da büzülmeyle beraber tüberküllerde hareket oluşumu meydana gelir (Perdigão ve diğerleri, 2009). Tüberküllerin materyalin büzülmesi nedeniyle hareketinin, oklüzyonda değişimlere, mine çatlaklarına ve diş kırıklarına sebep olduğu bildirilmiştir (Soares ve diğerleri, 2017).

Polimerizasyon sonucu oluşan büzülme streslerinin oluşturacağı etkiler, materyalin özellikleri ve prepare edilmiş kavitenin tipiyle ilişkilidir. Restorasyonun hacmi, kullanılan restorasyon tekniği, restorasyonun dişe bağlanma özellikleri de bu stresin oluşumunda önemli rol oynar (Buch ve diğerleri, 2015).

Restorasyon içerisinde oluşan polimerizasyon streslerinin miktarı; rezin kompozitin matriks tipi, doldurucu içeriği, polimerizasyon kinetiği, dönüşüm derecesi, elastik modülüsü gibi özelliklerinden etkilenir (Chen ve diğerleri, 2001). Bu nedenle üreticiler materyal içeriğini değiştirerek polimerizasyon streslerini azaltmayı hedeflemişlerdir.

Metakrilat esaslı rezin kompozitler polimerizasyon süresince %2-5 arasında hacimsel olarak büzülme gösterirler (Elsharkasi ve diğerleri, 2018). Polimerizasyon büzülme streslerini azaltmak için rezin kompozite ilave edilen doldurucu içeriğini arttırmak, doldurucuların boyutunu azaltmak (nanometre boyutuna) ve materyalin yapısında bulunan düşük molekül ağırlıklı monomer TEGDMA'nın UDMA ve Bis-EMA ile birlikte kullanılmasının yanısıra halka açılma reaksiyonu ile polimerize olan silorane esaslı rezin kompozitlerin kullanılması gibi stratejiler geliştirilmiştir (Neeraj Malhotra ve Kundabala Mala, 2010).

Son yıllarda, polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla modifiye edilmiş başlatıcı ve içeriğiyle dönüşüm derecesi etkilenmeden 4 mm kalınlığında uygulamalara izin veren bulk-fill materyaller piyasa sunulmuştur (El-Damanhoury, 2014). Bu materyallerin daha düşük polimerizasyon büzülmesi göstermesinin nedeninin, düşük doldurucu partikül içeriğine bağlı olarak translsensilerinin yüksek olması, dolayısıyla materyal içerisine penetre olan ışığın artması ve ek fotoaktivasyon sistemlerinin kullanılması olduğu bildirilmiştir (Cidreira Boaro ve diğerleri, 2019).

Endodontik tedavi görmüş dişler, mekanik olarak vital dişlere kıyasla daha zayıf özellik gösterirler. Bunun sert doku kaybı, çürük lezyonun yarattığı hasar, endodontik giriş kavitesi, ve restorasyon için yapılan preparasyonlardan kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Lazari ve diğerleri, 2018).

Üst ene küçük azı dişler arktaki spesifik konumlarından dolayı kesme ve sıkıştırma kuvvetlerine daha çok maruz kalırlar. Yapılan alışmalar mezio-okluzo-distal (MOD)

kaviteli endodontik tedavili küçük azı dişlerin kırılmaya yatkınlığının diğer dişlere kıyasla daha fazla olduğunu ortaya koymuştur (Mohammadi ve diğerleri, 2009).

Kabul edilebilir bir koronal tıkama ve diş yapısının dayanıklılığının artırılması ile endodontik tedavi görmüş dişlerin ağız içerisinde kalım süresini arttırılmaya çalışılır (Torabzadeh ve diğerleri, 2014). Bu amaçla, değişik materyallerin kullanımı yanısıra post kor, parsiyel kron, direkt kompozit restorasyonlar, amalgam ve seramik restorasyonlar gibi restoratif tedavi yöntemleri denenmektedir (Mergulhão ve diğerleri, 2019).

Sızdırmaz, estetik ve fonksiyonel bir koronal restorasyon, endodontik tedavinin prognozunu etkileyen en önemli faktörlerdendir (Stenhagen ve diğerleri 2020). Endodontik tedavi görmüş dişlerin kırılma dayanımı; kavite dizaynı, uygulanan stresin tipi ve miktarı, kullanılan rezin kompozitin içeriği ve restorasyon şekli gibi birçok değişik faktörden etkilenir (Hegde ve Sali, 2017). İntrakoronal güçlendirmenin endodontik tedavi görmüş dişlerin kırılma riskini azalttığını bildiren çalışmalar bulunmaktadır (Eapen ve diğerleri, 2017). Bu nedenle, endodontik tedavi görmüş dişlerin koronal restorasyonunda dentine yakın elastik modülü'sü'na sahip fiberlerin kullanımı günümüzde gündeme gelmiştir (Mohammadi ve diğerleri, 2009; Yamada ve diğerleri, 2004).

Fiber ile güçlendirilmiş rezin kompozitler, polimerizasyon nedeniyle oluşan streslere karşı yapıya yüksek dayanım sağlaması, yorulma dayanımlarının yüksek olması, polimerizasyon sırasında az büzülme göstermeleri ve termal özellikleri nedeniyle kullanılmaktadırlar (Vallittu, 2015). Ayrıca, fiberle güçlendirilmiş rezin kompozitlerin yapısında bulunan kısa fiber'lerin, restorasyonda oluşan çatlağın ilerlemesini durdurduğu ve oklüzal yüklerin dağılımını sağladığı bildirilmiştir (Gürel ve diğerleri, 2016).

Dental literatürde endodontik tedavi görmüş dişlerin ömrünü arttırmak amacıyla değişik tedavi alternatiflerinin etkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Gillen, 2011; Tronstad ve diğerleri 2000). Bu çalışmaların bazılarında endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonunda kullanılan materyallerin polimerizasyon büzülmesi üzerine etkisi incelenirken, bazılarında farklı tedavi yöntemlerinin endodontik tedavi görmüş dişlerin dayanımı üzerine etkileri incelenmiştir (Taha, 2009; Teixeira ve diğerleri; 2004). Ancak, polimerizasyon büzülmesi karmaşık bir olaydır ve oluşumunu sadece materyal veya sadece tekniğe bağlı kalarak değerlendirilmek, hatalı klinik sonuçların ortaya çıkmasına neden

olabilir. Bu nedenle, farklı materyal ve farklı teknikler ile restorasyonların yapımının polimerizasyon büzülmesinin olumsuz etkileri olan tüberkül hareketi ve mikrosızıntı üzerine etkilerinin birlikte incelenmesi, hatta restorasyonun ömrünü etkileyen kırılma dayanımının da aynı çalışma içinde değerlendirilmesi klinik olarak daha yol gösterici sonuçların alınmasına fayda sağlayacaktır. Günümüzde endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonunda bulk-fill rezin kompozitler ve gerek fiber ile güçlendirilen rezin kompozit ve gerekse de fiber içeren rezin kompozitlerin kullanımının polimerizasyon büzülmesi nedeniyle oluşan tüberkül hareketi, mikrosızıntı ve kırılma dayanımını üzerine etkisinin karşılaştırılması ile ilgili yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Bu nedenle, *in vitro* olarak planlanan bu tez çalışmamızda, endodontik tedavi görmüş MOD kaviteli üst küçük azı dişlerin, farklı materyaller ve farklı tekniklerle restore edilmesinin polimerizasyon büzülmesi nedeniyle oluşan tüberkül hareketi üzerine etkisini incelemek, ilk amacımız olmuştur. İkinci amacımız ise yine endodontik tedavi görmüş MOD kaviteli üst küçük azı dişlerin mikrosızıntısı ve kırılma dayanımı üzerine farklı materyal ve yöntemlerle yapılan restorasyonların etkilerini incelemektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Rezin Kompozitler

2.1.1. Rezin Kompozitlerin Yapısı

Kompozit terimi; iki veya daha fazla materyalin birleşimi sonucu oluşan yeni bir materyal olarak tanımlanmaktadır. Dental rezin kompozitler ise dimetakrilat rezin monomer'lerin oluşturduğu çapraz bağlı polimer matriks ile bu yapıya bağlanmış güçlendirici inorganik doldurucular ve silanın bir karışımıdır (Nicholson J. W., 2020).

Modern diş hekimliğinde tatmin edici estetik, fiziksel ve mekanik özelliklerinden ötürü yaygın olarak kullanılan rezin kompozitler üç ana yapıdan oluşur (Alzraikat, 2018; Braga ve diğerleri, 2005)

Bunlar;

1. Organik matriks
2. İnorganik doldurucular
3. Ara bağlayıcılardır.

Organik matriks

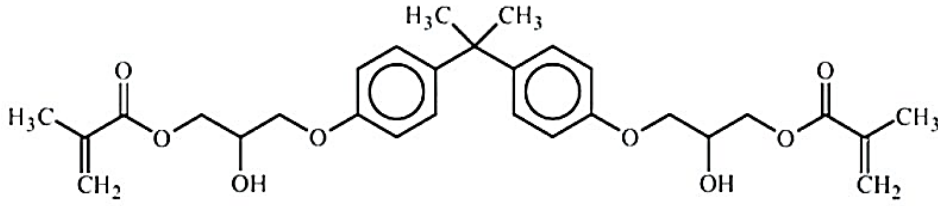
Organik matriksi, monomerler ve ko-monomerler, inhibitörler, polimerizasyon başlatıcılar ve ultraviyole stabilizatörler oluşturur.

Monomer ve Ko-monomerler

Polimer, monomer adı verilen küçük birimlerin tekrar tekrar birleştirilmesiyle oluşan büyük moleküllerdir. Monomer'lerin bir araya getirildiği ve polimerlere dönüştürüldüğü sürece *polimerizasyon* denir. Diş hekimliğinde kullanılan materyaller genelde likit yapıdadır, polimerizasyon sonrasında katı forma dönüşürler (Peutzfeldt, 1997).

Bis-GMA monomeri, Bowen tarafından 1960'lı yılların başında epoksi (bisfenol A) ve metakrilat (glisidil metakrilat) sistemlerin kimyasının birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan

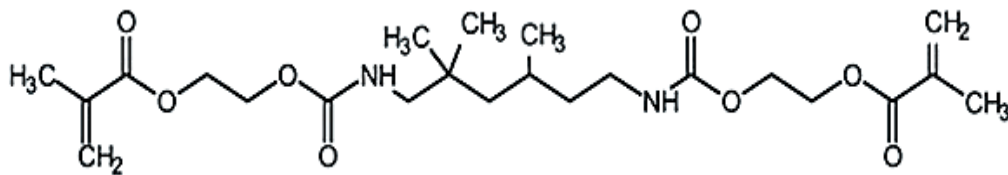
bifonksiyonel aromatik bir biglisidil metakrilattır (Patodiya ve Mithra, 2012). Bu monomerin viskozitesi yüksektir. Büyük molekül çapı ve aromatik yapısı sayesinde materyale üstün mekanik özellikler katar (Nicholson ve Czarnecka, 2016; Marghalani ve Hanadi, 2016). Bis-GMA'nın yoğun visküz özelliği, akışkanlık sağlayan monomerlerle seyreltilerek kullanılmasını gerektirmektedir. Bis-GMA formülündeki OH uçları, özellik gösterir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Bis-GMA monomerinin yapısal formülü (R. Sakaguchi ve diğerleri 2019)

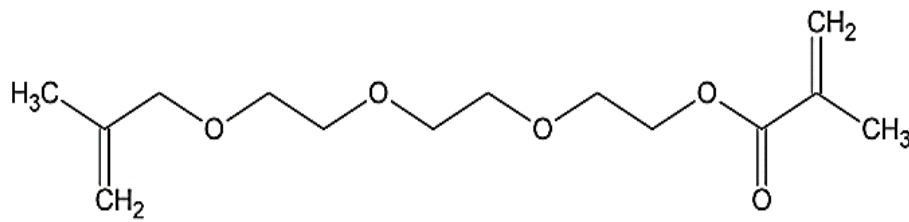
Hidrofilik özelliği azaltmak için yıllar içerisinde hidroksil gruplarını hidrofobik moleküllerle örtmek, aromatik ve alifatik dimetakrilatlar sentezlemek ve metakrilat sonlu bütadien terpolimerleriyle birleştirmek gibi yöntemler denenmiştir (Kerby ve diğerleri, 2009).

Bis-GMA'nın keşfinden sonra, rezin yapısında, molekül ağırlığı neredeyse Bis-GMA'ya eşit ama daha az visküz bir monomer olan üretan dimetakrilat (UDMA) kullanılmaya başlamıştır. UDMA, düşük viskozitesi nedeniyle, Bis-GMA gibi ek seyreltici monomerlere ihtiyaç duymaz (Şekil 2.2). Bu sayede, rezin matrisi içerisindeki doldurucu miktarı daha fazla olur ve üretan bağlarındaki esneklik sayesinde daha dayanıklı bir rezin oluşmasını sağlar (Peutzfeldt, 1997). UDMA esaslı rezin kompozitler, bu monomerin düşük viskozitesine ve daha kısa moleküler uzunluğuna bağlı olarak Bis-GMA esaslı rezin kompozitlere göre daha fazla polimerizasyon büzülmesi gösterirler (Floyd ve Dickens, 2006). UDMA, rezin kompozitlerin içerisinde tek başına kullanılabilirdiği gibi başka monomerler tarafından seyreltilerek de kullanılabilir. Bis-GMA'ya kıyasla UDMA içerikli rezinler daha az su emilimi gösterirler (Venz ve Dickens, 1991).



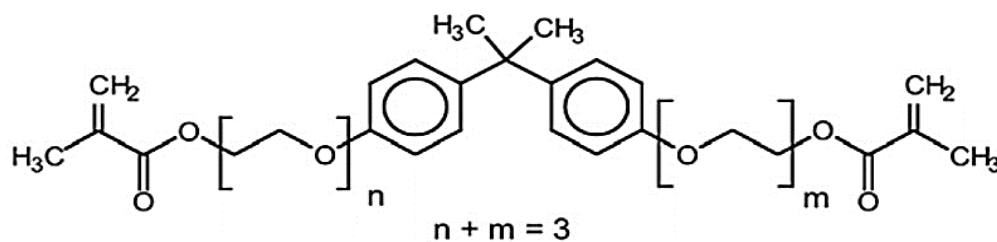
Şekil 2.2. UDMA molekülünün yapı formülü (R. Sakaguchi ve diğerleri, 2019)

Bis-GMA ve UDMA'nın yüksek visköz özelliği, rezin matrisi içine ilave edilen doldurucu miktarının azalmasına neden olmaktadır. Trietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA), bu bileşenlerin seyreltilerek doldurucu miktarının artmasını sağlayan bir ko-monomerdir (Şekil 2.3). Resin kompozitin TEGDMA ile seyreltilmesinin, materyalde su emilimi ve polimerizasyon büzülmesini arttırması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Marghalani ve Hanadi, 2016).



Şekil 2.3. TEGDMA molekülünün yapı formülü (R. Sakaguchi et al., 2019)

Organik matrisi oluşturan diğer bir monomer, toksillenmiş bisfenol-A-dimetakrilat (Bis-EMA)'dır (Şekil 2.4). Yapısal olarak Bis-GMA'ya benzer, ancak açıkta iki hidroksil grubu bulunmayan bir monomerdur. Bu monomer, resinin daha az su emilimini sağladığından, Bis-GMA'nın yerine kullanılmasına neden olmuştur (Kerby ve diğerleri, 2009). Bununla birlikte, UDMA, -NH ve C = O grupları arasındaki hidrojen bağından dolayı, TEGDMA ve Bis-EMA'dan daha viskozdur, ancak imino grupları hidroksil gruplarına kıyasla daha zayıf hidrojen bağları oluşturduğundan, Bis-GMA'dan daha az viskozdur (Sideridou ve diğerleri, 2002).



Şekil 2.4. Bis-EMA molekülünün yapı formülü (R. Sakaguchi et al., 2019)

Viskoziteyi azaltmak için kullanılan diğer bir ko-monomerler ise bisfenol A dimetakrilat (Bis-DMA), etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) ve metil metakrilat'tır (MMA) (Hervás-García ve diğerleri, 2005).

İnhibitörler

Polimerizasyonun gerçekleşmesinde önemli rolleri olan serbest radikaller, tüm rezin kompozitlerde kendiliğinden oluşur. Bu nedenle, polimerizasyonun spontan başlamasını önlemek için rezin kompozit içerisine inhibitörler eklenir. İnhibitör, serbest radikallerle reaksiyona girer ve bu radikalleri nötralize eder. Bu nedenle, polimerizasyon zinciri sadece tüm inhibitör moleküllerinin tükenmesinden sonra büyür. Rezin kompozitlerin çalışma süresi, yapısında bulunan inhibitörün konsantrasyonu ile kontrol edilebilir (Marghalani ve Hanadi, 2016).

İnhibitör olarak genellikle rezin kompozit içerisine hidrokinon ilave edilir. Atmosferde bulunan oksijen de rezin kompozitin polimerizasyonunu inhibe eder. Rezin kompozitlerde oksijenin inhibitör olarak kullanılmasında, oksijen restorasyon sırasında iki kompozit tabakası arasında adeziv gibi davranarak avantaj sağlar (Schmidseder, 2000).

UV Stabilizatörleri

Rezin kompozitlerde polimerizasyonun ardından reaksiyona girmeyen artık ürünler, ultraviyole ışığın etkisiyle parçalanarak kahverengi renklere neden olabilir. UV stabilizatörleri, rezinin renginin bozulmasına neden olabilecek, elektromanyetik radyasyonu emerek renk stabilitesini artırmak amacıyla yapıya eklenir. Bu amaçla en çok kullanılan stabilizatör; 2-hidroksi-4-metoksi benzofenon ve 2-hydroxy-4-metoksi benzofenon'dur (Bowen, 1979).

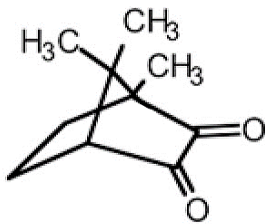
Polimerizasyon Başlatıcılar

Ağız ortamında hızlı bir polimerizasyon reaksiyonunun başlamasına gerek duyulduğu durumlarda, rezin kompozit içerisine polimerizasyon başlatıcılarını ilave etmek gerekir. Polimerizasyon başlatıcılar, serbest radikaller oluşturmak üzere ayrışmaya neden olmak için benzoil peroksit ile etkileşime giren bileşiklerdir.

Kimyasal olarak polimerize olan rezin kompozitlerde, N,N-dimetil-p-toludin, N,N-dihidroksietil-p-toludin gibi bileşikler kullanılmaktadır. İki patın karıştırılarak hazırlandığı kimyasal olarak polimerize olan rezin kompozitlerde, bileşenlerden birinde benzoil peroksit

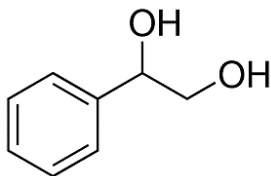
diğerinde başlatıcı bulunur. Karıştırıldıklarında başlatıcı benzoil peroksitle etkileşime girer ve serbest radikaller oluşur (Schmidseder, 2000).

Görünür ışıkla polimerize olan rezin kompozitlerde ise 450-500 nm dalga boyundaki ışığı absorbe ederek polimerizasyonu başlatan başlatıcılar kullanılmaktadır. Bu amaçla sıklıkla kullanılan fotobaşlatıcı, bir α -diketon olan kamforokinon'dur (Şekil 2.5). Işığın etkisiyle kamforokinon, amin ile reaksiyona girip serbest radikaller oluşturmaktadır.

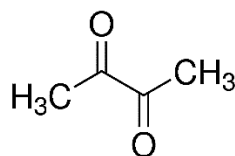


Şekil 2.5. Kamforokinon molekülünün yapı formülü (R. Sakaguchi ve diğerleri, 2019)

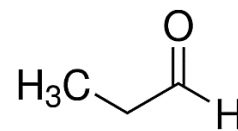
Kamforokinon'a alternatif olarak yapısına aldehit ve keton eklenmiş polimerizasyon başlatıcılar da bulunmaktadır. Bunlar 1-fenil-1,2-fenilpropanedion (PPD), propional aldehit (PA), butanedion (BD)'dur (Şekil 2.6) (Stansbury, 2000).



PPD



BD



PA

Şekil 2.6. PPD, BD, PA moleküllerinin yapı formülleri (R. Sakaguchi ve diğerleri, 2019)

Kamforokinon yerine fosfinoksid kullanılan monoaçilfosfin oksit (Lucirin TPO) ve biaoçilfosfin oksit (Irgacure 819) gibi fotobaşlatıcılar da polimerizasyon başlatıcı olarak kullanılmaktadır. Bu monomerlerin kamforokinon'a göre daha az sarı renkte olduğu ve renk stabilitelelerinin daha iyi olduğu rapor edilmiştir (Ferracane, Resin composite—State of the art, 2011). Ayrıca, p-oktiloksifenil-fenil iodoniyum heksafloroantimonat (OPPI) gibi deneysel olarak kullanılan polimerizasyon başlatıcılar da literatürde mevcuttur (Shin ve Rawls, 2009).

Renk Pigmentleri

Rezin kompozitleri renklendirmek amacıyla metal oksitler, çoğunlukla da demir oksitler kullanılır. Restorasyonun daha doğal ve dişe benzer yapıda görünebilmesi için de florasan ajanlar rezin kompozit içerisine ilave dilmektedir (Sakaguchi ve diğerleri, 2019). Travma gibi nedenlerle koyulaşan dişlerin rengini maskeleyerek için opak renkteki rezin kompozitler kullanılır. Bu tip rezin kompozitlerde opaklığın sağlanabilmesi için rezine titanyum oksit gibi ağır metal oksitler eklenir. Rezin kompozitlerin ışığı kırma indeksleri mine ve dentinin ışığı kırma indekslerine yakın olmalıdır. Doldurucu partikül ve rezinin kırılma indekslerinin farklı olması, ışığın doldurucu partikül tarafından kırılmasına, böylece rezinin daha opak görünmesine neden olur (Schmidseder, 2000).

Rezin kompozite ilave edilen doldurucu partiküllerin boyutunun küçülmesi de (400 nm) rezin kompozitin saydamlığını dolayısıyla da estetik özelliklerinin gelişmesini sağlar (Marghalani ve Hanadi, 2016).

İnorganik Doldurucu Partiküller

Doldurucu partiküller, rezin kompozit materyalin mekanik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. İlk üretilen rezinlerin yapısında doldurucu partikül olarak quartz tozları bulunurken, günümüzde çoğunlukla cam, fiber cam, seramik ya da minerallerden elde edilen doldurucular kullanılmaktadır (Marghalani & Hanadi, 2016). Doldurucu partiküllerin üretimi; partiküllerin öğütülmesi veya doldurucu partiküllerin moleküler boyuttan parçacık boyutuna değişmesine neden olan sol-jel çöktürme tekniğiyle gerçekleştirilir (Marghalani & Hanadi, 2016). Bowen'ın formülüne göre hazırlanan bir rezin kompozit, hacimsel olarak %55 doldurucudan oluşmaktadır (Bowen, 1963).

Doldurucu partiküllerin ana görevi, rezin yapısındaki kompozit yapıyı sağlamlaştırmak ve organik matriks miktarını azaltmaktır. Doldurucu partiküller; rezin kompozitin sertlik, aşınma direnci, elastikiyet modülü, polimerizasyon büzülmesi, su emme ve termal genişleme, estetik, parlaklık, radyoopasite gibi özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Rezin kompozit yapısındaki doldurucu partikül miktarı arttıkça, dayanıklılık ve sertlik artar, aşınma azalır.

Rezin kompozitin yapısında organik matriks oranının azalması, polimerizasyon büzülmesinin, ısısız genleşmenin, su emiliminin azalmasına, viskozitenin ise artmasına neden olur (Ikejima ve diğ rleri, 2003).

Ara Bağlayıcılar

Doldurucu partiküller, organik rezin matriksine iyi bağlanamaz ise materyalin yapısı zayıflayabilir. Bu bağlantının daha başarılı ve kuvvetli olmasını bağlayıcı ajanlar sağlarlar. Bağlayıcı ajanlar, doldurucu partiküller ve organik rezin matriks arasında sıkı bağlanma sağlayarak, rezin-doldurucu ara yüzüne suyun penetrasyonunu engellerler. Ayrıca hidrofobik bir ortam oluşturarak, rezin kompozitin su emilimini azaltırlar, böylece kompozit materyalin fiziksel ve mekanik özelliklerinin gelişimine neden olurlar (Schmidseder, 2000).

Bağlayıcı ajan olarak zirkonat, titanat ve organosilikatlar kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan bağlayıcı ajan, 3-metakriloksipropiltrimetoksisilan (MPTS)'dir. Bu molekülün bir ucu silika parçacıklarının hidroksil gruplarına bağlanırken, diğ r ucu polimer matriksine bağlanır (Chen, 2010). Polimerizasyon sürecinde, organosilan ile metakrilat grupları kovalent bağ yapar. Ara bağlayıcıların kullanımı, rezin esaslı kompozitlerde klinik performansı büyük  l de etkiler (Marghalani ve Hanadi, 2016).

2.1.2. Polimerizasyon Reaksiyonu

Polimerizasyon, monomerlerin polimerlere dönüştüğü kimyasal bir reaksiyondur. Rezin kompozitin polimerizasyonu, diğ r bir deyişle yapısında mevcut monomerlerin g cl  çapraz bağlı polimer ağlarını oluşturması serbest radikal reaksiyonu ile gerçekleşir. Monomerler, kondensasyon ve ilave (katılma) polimerizasyonu ile polimer yapıyı oluştururlar (Marghalani ve Hanadi, 2016).

Kondensasyon Polimerizasyon Reaksiyonu

Kondensasyon polimerizasyon reaksiyonunda, bileşenler çok işlevlidir ve hepsi eş zamanlı olarak reaktif yapıya sahiptirler. Polimerizasyon esnasında, zincirler, iki fonksiyonlu monomerlerin kademeli olarak bağlanmasıyla büyür ve bu esnada genellikle düşük moleküler ağrlıklı su, alkol gibi bir yan ürün ortaya çıkar. Diş hekimliğinde kullanılan bazı

silikon ölçü materyallerinde, bu tip polimerizasyon reaksiyonu gözlenir (Anusaviceve diğerleri, 2003).

İlave (Katılma) Polimerizasyon Reaksiyonu

İlave polimerizasyon reaksiyonu, zincirin uzaması esnasında hiçbir yan ürünün oluşmadığı polimerizasyondur. Bu tip polimerizasyonun, serbest radikal (Bis-GMA içerikli rezin kompozitlerde), halka açma ve iyonik reaksiyonlar olmak üzere tipleri bulunmaktadır (Marghalani ve Hanadi, 2016).

Polimerizasyon sırasında oluşan zincirin uzamasını sağlayan aktif merkezler, iyonik karakterde ise bu polimerizasyon tipine “iyonik polimerizasyon” adı verilmektedir. İyonik polimerizasyon da kendi içerisinde katyonik ve anyonik polimerizasyon olarak iki gruba ayrılır. İyonik polimerizasyonda reaksiyon yüksek hızda gerçekleşir.

Serbest radikal polimerizasyonu ya da “katılma polimerizasyonu”, doymamış yapıda olan monomerlerin serbest radikal başlatıcılarla veya iyonik başlatıcılarla reaksiyonuyla gerçekleşir. Bu tür polimerizasyonda serbest radikallerin oluşumu; ısı, radyasyon, fotokimyasal reaksiyon veya çeşitli başlatıcılar tarafından sağlanmaktadır. Diş hekimliğinde kullanılan rezin esaslı materyallerin polimerizasyonu genellikle serbest radikal polimerleşmesiyle gerçekleşmektedir (Görge ve Güler, 2015).

Serbest radikallerle oluşan polimerizasyonda başlatıcı olarak günümüzde 400 nm’den daha büyük dalga boylarında görünür ışık kullanılmaktadır. Reaksiyondaki radikaller, monomer molekülleri ile reaksiyona girerek monomeri aktif hale getirirler (Schmidseder, 2000).

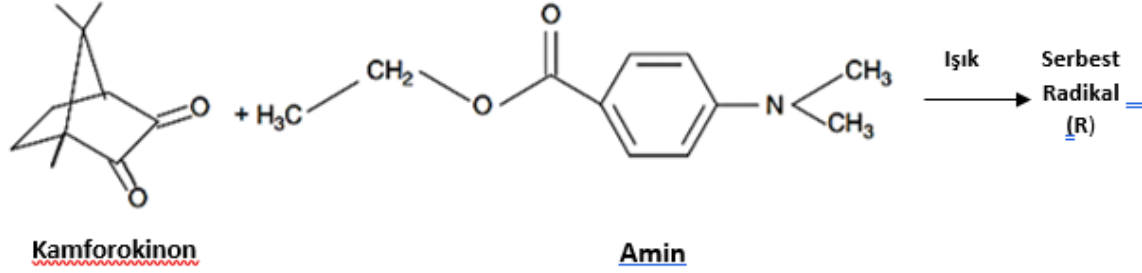
2.1.3. Polimerizasyonun Basamakları

İlave tip polimerizasyon; başlama, yayılma, zincir transferi ve sonlanma olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır.

Başlama reaksiyonu (İnisiyasyon)

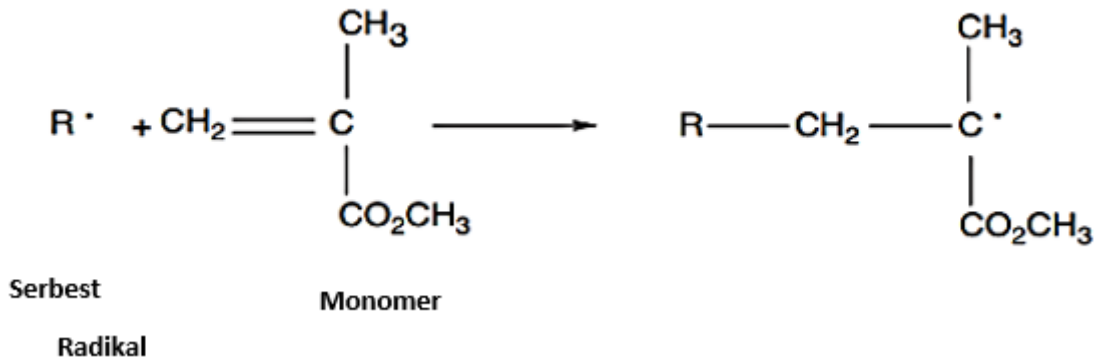
Reaksiyonun başlamasının ilk aşaması, ortamda serbest bir radikal (R) oluşturulmasıdır (Şekil 2.7). Serbest radikalın oluşabilmesi için radikal kaynağı olarak kullanılacak olan

molekülün ısı, görünür ışık, ultraviyole, enerji transferi ya başka bir kimyasal ile aktivasyonu gereklidir. Diş hekimliğinde bu amaçla genellikle ışık, ultraviyole ve kimyasal aktivasyon kullanılır.



Şekil 2.7. Serbest radikal oluşumu

İlave polimerizasyonun gerçekleşebilmesi için diğere bir gereklilik ise materyalin yapısında doymamış grupların bulunmasıdır. Reaksiyonun başında üretilen serbest radikaller monomerin kararsız bölgesine bağlanırlar, elektron alışverişi sonrasında oluşan yapının kendisi de kararsız özellik gösterir ve reaksiyon başlamış olur (Şekil 2.8) (Anusavice ve diğere, 2003).

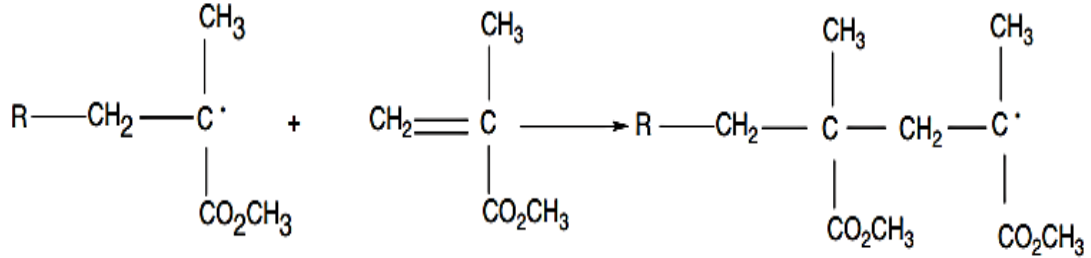


Şekil 2.8. Polimerizasyonun başlama aşaması

Yayıma reaksiyonu (Propagasyon)

Başlama aşamasını, polimer zincirinin büyümesi için diğere monomer moleküllerinin aktif merkeze hızlı bir şekilde eklendiği yayıma aşaması takip eder (Şekil 2.9). Polimer zincirinin büyümesi ortamda monomer kalmayana kadar ya da hidrokinon veya oksijen gibi ajanlar ile

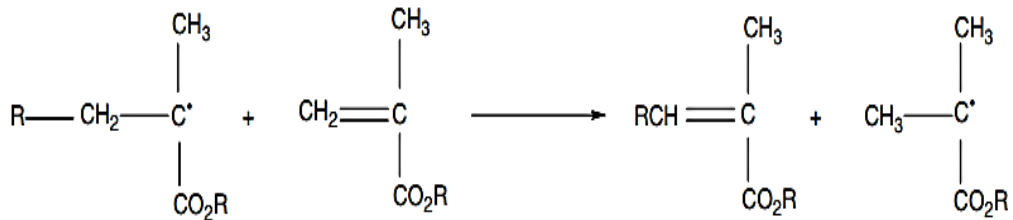
etkileşim sonucunda sonlanabilir. Oluşan farklı iki zincirin serbest radikal kalmayacak şekil de birleşmesi de sonlanmayı sağlar (Nicholson ve Czarnecka, 2016).



Şekil 2.9. Polimerizasyonun yayılma aşaması

Zincir transferi

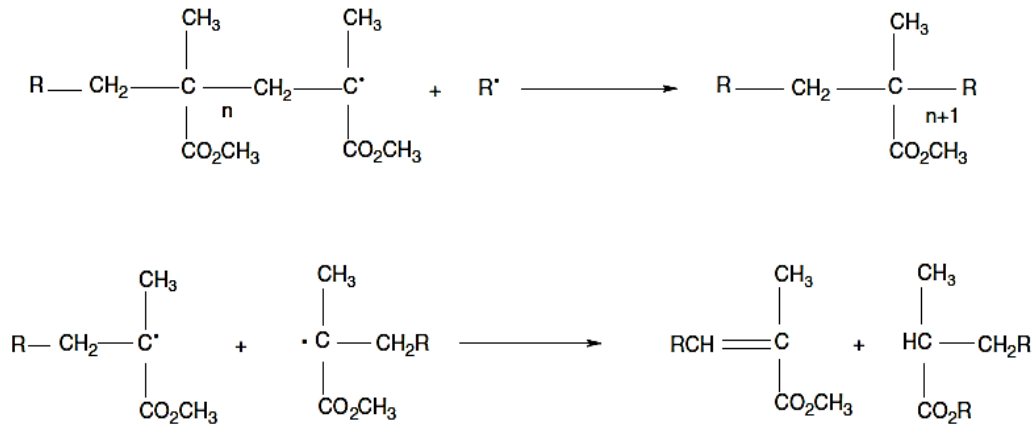
Bu aşamada, büyümeye devam eden zincirdeki hidrojen atomu başka bir moleküle transfer olur, böylece gelecekte oluşacak molekül büyümesi için serbest radikal üretilmiş olur. Zincir transferi sayesinde daha önceden reaksiyonu sonlanmış olan bir molekül tekrardan reaksiyona girerek büyümeye devam edebilir (Şekil 2.10) (Anusavice ve diğerleri, 2003).



Şekil 2.10. Polimerizasyonun zincir transferi aşaması

Sonlanma reaksiyonu (Terminasyon)

Reaksiyonun sonlanması, zincirdeki aktif radikalın başka bir zincire transferi sonucunda ortamda monomer kalmamasıyla ya da uzun süre kararlı kalamayan serbest radikallerin monomerin bitmesi ile ya da oksijen, karbondioksit, su gibi maddelerle etkileşime gitmesiyle gerçekleşir (Şekil 2.11) (Sakaguchi ve diğerleri, 2019).



Şekil 2.11. Polimerizasyonun sonlanma aşaması

2.1.4. Rezin Kompozit Materyallerin Sınıflandırılması

Rezin kompozitler bileşenlerine göre hekimlerin kullanımlarını kolaylaştırmak için farklı şekillerde sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmalardan en eski ve popüler olanı 1983 yılında Lutz ve Philips'in (Lutz ve Phillips, 1983) doldurucu partikül boyutunu esas alarak yapmış olduğu sınıflandırmadır. Daha sonra birçok araştırmacı tarafından rezin kompozitler doldurucularının bileşimlerine, boyutlarına ve miktarlarına göre sınıflandırılmışlardır (Dayangaç, 2000).

Çizelge 2.1. Rezin kompozitlerin sınıflandırılması

Doldurucu Partikül Boyutuna Göre	
Megadoldurucu	50 - 100 µm
Makrodoldurucu	10 - 100 µm
Mididoldurucu	1 - 10 µm
Minidoldurucu	0,01 - 0,1 µm
Mikrodoldurucu	0,001 - 0,1 µm
Nanodoldurucu	0,005 - 0,01 µm
Doldurucu Partikül Türüne Göre	
Homojen rezin kompozitler	
Heterojen rezin kompozitler	
Viskozitelerine Göre	
Akışkan rezin kompozitler	
Tepilebilir rezin kompozitler	
Polimerizasyon Yöntemlerine göre	
Kimyasal aktivasyon ile polimerize olan rezin kompozitler	
Işık aktivasyonu ile polimerize olan rezin kompozitler	
Kimyasal ve ışık aktivasyonu yolu ile polimerize olan rezin kompozitler (Dual-cured)	

Doldurucu Partikül Boyutuna Göre Rezin Kompozitlerin Sınıflandırılması

Megadolduruculu Rezin Kompozitler

Megadolduruculu rezin kompozitler; 50 - 100 µm büyüklüğünde inorganik doldurucu partikül içeren rezin kompozitlerdir. Bu tip kompozitlerin aşırı yük alan bölgelerde kullanılması önerilirken, rezin kompozitlerde bulunan cam insertler de (0,5 - 2 µm) mega doldurucu partiküller olarak değerlendirilir (Dayangaç, 2000).

Makrodolduruculu Rezin Kompozitler

Makrodolduruculu rezin kompozitler, 1960'larda geliştirilmiştir ve boyutları 10 - 100 µm arasında değişen doldurucu partiküller içerirler. Bu rezin kompozitler, geleneksel veya büyük dolduruculu olarak adlandırılan ilk rezin esaslı kompozitlerdir (Burgess ve diğerleri, 2002). Bu tip kompozitlerde ağırlık olarak doldurucu miktarı %70-80 arasındadır (Marghalani ve Hanadi, 2016).

Bu rezin kompozitler, mekanik olarak güçlü yapıda olmalarına karşın polisajlanabilirliklerinin az olması, aşınmaları sonrasında yüzey pürüzlülüğünün artması gibi estetik problemlere sahiptirler (Nicholson ve Czarnecka, 2016) . Günümüzde yüksek dayanıklılık özelliklerinden dolayı, kron alt yapısının restorasyonunda kullanılabilirler (Marghalani ve Hanadi, 2016).

Mididolduruculu Rezin Kompozitler

Doldurucu partikül boyutları 1 - 10 µm arasında olan ve rezinin ağırlık olarak %70-80'ini oluşturan rezin kompozitlerdir. Mididolduruculu rezin kompozitlerin arka grup dişlerin restorasyonunda kullanımı kabul edilebilir olsa da estetik özelliklerin ve polisajın önemli olduğu ön bölge restorasyonlar için kullanımı önerilmez (Pfeifer, 2017).

Minidolduruculu Rezin Kompozitler

Bu tür rezin kompozitlerin partikül boyutları 0,1- 1 µm arasındadır ve doldurucu partikül oranı mididolduruculu ve makrodolduruculu rezin kompozitlere göre ağırlık olarak daha fazladır (%75-85). İnorganik doldurucu partikül miktarının fazla olması ve partikül

boyutunun küçük olması bu rezin kompozitlerin makrodoldurucu rezin kompozitlere göre daha iyi polisajlanabilir olmasını sağlar. Arka grup dişlerin restorasyonunda yeterli dayanıma sahip değillerdir (Ferracane, 1995).

Mikrodoldurucu Rezin Kompozitler

Mikrodoldurucu rezin kompozitlerin polisajlanabilme özellikleri iyidir, ancak nispeten düşük doldurucu oranına sahip olmaları nedeniyle mekanik özellikleri zayıftır (Ferracane, 2011). Mikrodoldurucu rezin kompozitlerin Sınıf V, stres almayan Sınıf III restorasyonlarda kullanımlarının uygun olduğu bildirilmiştir. Hastanın brüksizm gibi parafonksiyonel alışkanlıkları yoksa Sınıf IV ve direkt kompozit veneer restorasyonlarda hibrit rezin kompozitlerle birlikte de kullanılabilirler. Mikrodoldurucu rezin kompozitlerin düşük kırılma dayanıklılıkları nedeniyle Sınıf II ve geniş Sınıf I restorasyonlarda kullanımları kontrendikedir (Schmidseder, 2000).

Nanodoldurucu Rezin Kompozitler

Nano teknolojideki gelişmeler, doldurucu partikül boyutu görünür ışık dalga boyundan daha küçük (0,005 - 0,01 μm) olan nanodoldurucu rezin kompozitlerin gelişimine neden olmuştur. Nanodoldurucu rezin kompozitlerden önce geliştirilen rezin kompozitler, doldurucu partiküllerin öğütülmesi gibi mekanik yöntemlerle üretilirken, nanodoldurucu rezin kompozitlerin doldurucuları alev piroliz, alev sprej piroliz veya sol-jel reaksiyonu ile üretilmiştir (Cramer ve diğerleri, 2011). Nano boyuttaki silika ve zirkonyum kökenli inorganik doldurucu partiküller “*nano-clusters*” denen 20 - 75 nm boyutunda kümecikler oluşturur, bu kümeler arasındaki boşlukların nano partiküllerle doldurulması materyalin özelliklerini iyileştirir. Nanodoldurucu rezin kompozitlerin küçük partiküller içermesi, rezin kompozitteki doldurucu miktarını artırır (%90-95 oranında), bu da polimerizasyon büzülmesinin azalmasına neden olur (Bayne ve diğerleri, 1994). Ayrıca, doldurucu partiküllerinin çok küçük olması, rezinin içerisine ilave edilen doldurucu miktarının artmasına ve dolayısıyla materyalin polisajlanabilirliğinin iyi olması yanında mekanik özelliklerinin de daha iyi olmasını sağlar (Khurshid ve diğerleri, 2015).

Doldurucu Partikül Türüne Göre Sınıflandırılma

Yapısında sadece organik matriks ve aynı boyutta doldurucu partiküller bulunan rezin kompozitlere “homojen kompozitler” denir. Üretimleri çok zordur, materyal aşınsa dahi yüzey pürüzlülüğü azdır (Willems ve diğerleri, 1992). Yapısında önceden polimerize edilmiş kompozit parçacıkları veya farklı doldurucular bulunan rezin kompozitlere ise “heterojen kompozitler” denir.

Büyük çaplı doldurucu partiküllerin ilavesi rezin kompozitin mekanik özelliklerinin, küçük çaplı partiküller ise estetik özelliklerin gelişimine neden olur. Bu amaçla üretilen ve farklı büyüklükte doldurucu partikül içeren rezin kompozitlere “hibrit rezin kompozitler” adı verilmiştir (McCabe ve Walls, 2008). Hibrit rezin kompozitler, 10-50 µm boyutlu doldurucu partiküllere ek 40 nm büyüklüğünde partiküllerden oluşur.

Mididolduruculu hibrit rezin kompozitler, 1 µm’den büyük doldurucu partiküllere ek olarak 40 nm büyüklüğünde partiküller içerirler. Doldurucu partikül miktarının artırılmasıyla, “mikrohibrit rezin kompozitler” (0.6-1µm + 40nm) geliştirilmiştir (Alzraikat ve diğerleri, 2018).

Tarihsel gelişimde, ilk olarak mididolduruculu hibrit rezin kompozitler üretilmiştir. Ancak, aşınma ve yüzey özelliklerinin yeterli olmadığına dair çalışma sonuçlarının yayınlanmasıyla, “üniversal rezin kompozitler” olarak da adlandırılan ve hem arka hem de ön grup dişlerin restorasyonunda kullanılabilen “mikrodolduruculu hibrit rezin kompozitler” ortaya çıkmıştır. Mikrodolduruculu hibrit rezin kompozitler, ortalama 50 nm büyüklüğünde kolloidal silika parçacıkları içerir. Doldurucu miktarını arttırabilmek için rezin içerisine yüksek oranda kolloidal silika ilave edilir ve ısı ile polimerize edilir. Bu yeniden polimerize edilmiş rezin kompozitler, daha sonra 50 nm büyüklüğünde ince bir toz haline getirilir ve rezin kompozitin ağırlıkça %70’ini oluşturacak şekilde rezin içerisine katılır (Pfeifer, 2017). Bu tip rezin kompozitler, makrodolduruculu rezin kompozitlerin iyi mekanik özelliklerini, mikrodolduruculu rezin kompozitlerin ise iyi estetik özelliklerini tek bir bünyede toplarlar (Marghalani ve Hanadi, 2016).

Nano doldurucu partiküllerin geliştirilmesi ve geleneksel rezin kompozitlere nano doldurucuların eklenmesiyle “nanohibrid rezin kompozitler” geliştirilmiştir. Bu rezin

kompozitler, estetiğin önemli olduğu Sınıf III, Sınıf IV, Sınıf V restorasyonlarda kullanılabilir (Alzraikat ve diğerleri, 2018).

Viskozitelerine Göre Sınıflandırılma

Akışkan Rezin Kompozitler

İğneler veya kanüller aracılığıyla, preparasyona yerleştirilebilen, hacimsel olarak %37-53 arasında doldurucu partikül içeren rezin kompozitlere “akışkan rezin kompozitler” denir (Conte ve Goodchild, 2013). Doldurucu miktarının azaltılmasının, daha iyi kenar adaptasyonu ve akışkanlığı arttırmak gibi avantajları bulunmaktadır. Ancak doldurucunun miktarının azaltılması, materyalin aşınma direncinin azalmasına, polimerizasyon büzülmesinin daha fazla olmasına ve mekanik özelliklerin zayıflamasına neden olduğu rapor edilmiştir. Bu tip rezin kompozitlerin minimal invaziv Sınıf I kaviteelerde pit ve fissür örtücü olarak, liner materyali olarak, Sınıf V abfraksiyon lezyonlarında ve Sınıf II kaviteelerin proksimal kavite tabanlarında kullanılması önerilmektedir (Baroudi ve Rodrigues, 2015).

Tepilebilir Rezin Kompozitler

1990’ların sonlarında, rezin kompozitlerle ilgili büzülme, aşınma ve özellikle arka grup dişlerde kullanımlarıyla ilgili problemleri azaltmak amacıyla, “kondanse edilebilir kompozitler” adı verilen rezin kompozitler üretilmiştir. Bu materyalin doldurucu oranı yüksek olduğundan, amalgama benzer şekilde kaviteye yerleştirilebilmesi kondanse edilebilir kompozitler adıyla ilk tanımlarının yapılmasına neden olmuştur. Ancak, gerçekte bu tip rezin kompozitlerin kondanse edilememesi, kondanse edilebilir tanımının hatalı olarak kullanıldığını ortaya çıkarmış ve daha sonraki yıllarda “tepilebilir rezin kompozitler” olarak tanımları yapılmıştır. Bu tip rezin kompozitlerin viskoziteleri oldukça yüksektir. Viskozite artışı, geleneksel kompozitlerden daha yüksek oranda (%80’den fazla) düzensiz veya pöröz yapıda doldurucu partikül içermesiyle sağlanır. Bu viskozite artışı ile materyalin mekanik özelliklerinin ve proksimal temas kalitesinin artırılması hedeflenmiştir (Fortin ve Vargas, 2000).

2.2. Bulk-fill Rezin Kompozitler

Günümüze kadar rezin esaslı kompozitler büyük gelişim göstermesine rağmen, polimerizasyon büzülmesi hala ciddi bir problem olarak yerini korumaktadır. Bu problemi azaltmak veya ortadan kaldırmak amacıyla, rezin kompozitin ikişer milimetrelik tabakalar (inkremental) halinde kaviteye yerleştirilmesi önerilmiştir (Chandrasekhar ve diğerleri, 2017). Rezin kompozitin tabakalar halinde kaviteye yerleştirilmesinin, polimerizasyon büzülmesini azaltacağı ve her tabakanın yeterli şekilde polimerize olacağı bildirilmiştir. Ancak bu uygulamanın zaman alıcı olduğu, tabakalar arasında kontaminasyon riski ve tabakalar arasında hava kabarcığı kalması gibi restorasyonun kalitesini bozabilecek durumlara yol açabileceği rapor edilmiştir (Corral-Núñez ve diğerleri, 2015).

Bu sorunların önüne geçebilmek adına daha kalın tabakalar halinde yerleştirilme imkânı sağlayan, translusensisi azaltılarak polimerizasyon derinliği arttırılmış bir rezin kompozit tipi olan “bulk-fill rezin kompozitler” piyasaya sürülmüştür. Bu tip rezin kompozitlerin, 4-5 mm’lik tabakalar halinde kullanılsa bile yeterli polimerizasyon derinliği elde edilebildiği rapor edilmiştir (Karadaş ve Demirbuğa, 2017).

2.2.1. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Sınıflandırılması

Genel olarak bulk-fill rezin kompozitler viskozitelerine göre ve polimerizasyon şekillerine göre iki grupta sınıflandırılırlar.

Bulk-Fill Rezin Kompozitlerin Viskozitelerine Göre Sınıflandırılması

Düşük Viskoziteli (Akışkan) Bulk-Fill Rezin Kompozitler

Düşük viskoziteli bulk-fill rezin kompozitler, ulaşılması güç bölgelerde kaviteye şırınga veya özel uçlar ile uygulanır. Bu tip rezin kompozitler, düşük oranda doldurucu içerirler. Doldurucu miktarının az olması, düşük aşınma direnci, yüksek su emilimi ve azalmış mekanik özelliklere neden olduğundan, bu materyaller kullanıldığında üzerine mutlaka geleneksel bir rezin kompozit yerleştirilmelidir (Van Ende ve diğerleri, 2017).

Bu tip rezin kompozitlere; Filtek Bulk-fill Flowable (3M ESPE, Germany), Surefil SDR Flow (Dentsplay, Germany), Venus Bulk-fill (Heraus Kulzer, Germany), X-tra Base (Voco, Germany) örnek olarak verilebilir.

Yüksek Viskoziteli Bulk-Fill Resin Kompozitler

Doldurucu oranı yüksek olan bu tip rezin kompozitler kullanıldığında, üzerine geleneksel bir rezin kompozit yerleştirilmesi gerekliliği yoktur. Yüksek viskozitesinden dolayı tek bir parça halinde uygulanabilir ve şekillendirilebilirler (Van Ende ve diğerleri, 2017).

Bu tip rezin kompozitlere; Tetric EvoCeram Bulk-fill (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), X-tra Fill (Voco, Germany) örnek olarak verilebilir.

Yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozitlerin istisna ürünü, özel titreşimle uygulanan Sonicfill (Kerr, USA)'dir. Sonicfill, %84 oranında doldurucu içerir ve bu yüksek doldurucu içeriği sayesinde polimerizasyon büzülmesinin daha az gerçekleştiği bildirilmiştir (Gupta ve diğerleri, 2017). Üretici firma, bu rezin kompozitin kaviteye yerleştirilmesi esnasında sonik vibrasyonun uygulanmasının, doldurucu oranının yüksekliğinden kaynaklanan yüksek viskoziteyi azalttığı ve bunun da materyalin kavite duvarlarına adaptasyonu arttırdığını bildirmiştir (Chesterman ve diğerleri, 2017). Bu materyale uygulanan sonik enerji durdurulduğunda ise viskozite eski haline döner.

Bulk-Fill Resin Kompozitlerin Polimerizasyon Şekillerine Göre Sınıflandırılması

Işık İle Polimerize Olan Bulk-Fill Resin Kompozitler

Bulk-fill rezin kompozitler, geleneksel kompozitler gibi 420- 470 nm dalga boyunda görünür ışık ile polimerize olurlar (Gupta ve diğerleri, 2017). Geleneksel rezin esaslı kompozitlere kıyasla daha kalın tabakalar halinde kullanılması, doldurucu miktarının azaltılması (ışığın restorasyonun daha derin bölgelerine ulaşabilmesi amacıyla), doldurucu partiküllerin boyutunun artırılması, ek foto-başlatıcıların kullanılmasıyla gerçekleşmektedir (Chesterman ve diğerleri, 2017). Çoğu bulk-fill rezin kompozitlerde, foto-başlatıcı olarak geleneksel rezin esaslı kompozitlerde olduğu gibi kamforokinon ve eş başlatıcı olarak tersiyer amin kullanılmaktadır.

Tetric EvoCeram Bulk-fill'de, kamforokinon yanısıra "ivoserin" adı verilen farklı bir foto-başlatıcı organik matriks yapısına ilave edilmiştir. Ivoserin, kamfarakinonla yaklaşık aynı spektrumdaki dalga boyuna sahip (370- 460 nm) ışıktan etkilenir. Ivoserin ilavesinin, ışığın daha fazla absorbe edilmesine ve dolayısıyla rezin materyalin polimerizasyon derecesinin artmasına neden olduğu rapor edilmiştir (Ilie ve diğerleri, 2013).

Dual Cure Bulk-Fill Rezin Kompozitler

Dual cure bulk-fill rezin kompozitlerin polimerizasyonu, ışık ile başlar ve restorasyonun derin kısımlarında polimerizasyon kimyasal olarak devam eder. Dual cure bulk-fill rezin kompozitlerin avantajı, 10 mm ve daha fazla kalınlıklarda dahi uygulanabilmesidir (Aydın, ve diğerleri, 2019).

Bu tip kompozitlere örnek olarak HyperFIL (Parkell, USA) ve Injectafil DC (Apex Dental Materials, USA) verilebilir.

2.2.2. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Yapısı

Monomer Yapısı

Bulk-fill rezin kompozitlerin kimyasal yapısı geleneksel rezin kompozitlerle karşılaştırıldığında, çok farklılık göstermemektedir. Bu materyalin de organik bileşenleri Bis-GMA, UDMA, TEGDMA ve EBPDMA gibi monomerlerden oluşur.

Smart Dentin Replacement (SDR, Dentsply Sirona, USA), UDMA ile polimerizasyon reaksiyonunu kontrol eden patentli bir molekül içerir. Üretici firma, bu molekülün polimerizasyon mekanizmasını kontrol ederek, polimerizasyon streslerini azalttığını ileri sürmüşlerdir (Ilie ve Hickel, 2011).

Filtek Bulk-fill'in (3M ESPE, Germany) yapısında ise Bis-GMA, UDMA, pirokriyat ve bis-EMA gibi monomerler bulunmaktadır. Bu monomerlerden Bis-EMA'nın, yüksek moleküler ağırlığından dolayı polimerizasyon büzülmesini azalttığı, pirokriyat'ın ise yapıya akışkanlık sağlayarak polimerizasyon streslerini azalttığı bildirilmiştir (Corral-Núñez ve diğerleri, 2015).

Doldurucu Yapısı

Bulk-fill rezin kompozitlerin genel olarak yapısındaki doldurucu partiküllerin boyutu (20 µm), geleneksel rezin kompozitlerin içerdiği doldurucu partiküllerin boyutundan daha büyüktür (Corral-Núñez ve diğerleri, 2015). Partikül boyutunun büyük olması rezin içerisine ilave edilen doldurucu partikül miktarının hacimsel olarak azalmasına, böylece partikül rezin ara yüzü miktarının azalmasına ve dolayısıyla ışığın daha derinlere penetre olarak polimerizasyonun artmasına neden olduğu rapor edilmiştir (Zorzin ve diğerleri, 2015).

Akışkan bulk-fill rezin kompozitlerde, ağırlık olarak doldurucu miktarı %64 ile %75 arasındayken, yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozitlerde bu oran %79 ile %86 arasındadır (González López ve diğerleri, 2006). Doldurucu miktarındaki bu değişiklikler polimerizasyon büzülmesi streslerini azaltır, materyalin elastikiyet modülüsü'nu artırır. Ayrıca, zirkonya partiküllerinin yapıya ilavesi translusensinin artmasına ve dolayısıyla ışığın daha derinlere penetre olarak polimerizasyon derecesinin artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Ilie ve diğerleri, 2013).

2.2.3. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Polimerizasyon Derecesi

Bulk-fill rezin kompozitlerin piyasaya sürüldüğü günden beri polimerizasyon dereceleri tartışma konusu olmuştur. Polimerizasyon derecesi, rezin kompozitlerin mekanik, fiziksel ve estetik özelliklerini doğrudan etkiler. Geleneksel rezin kompozitler için kabul edilen polimerize edilebilir rezin kalınlığı 2 mm'dir. Polimerizasyon derecesi, renk tonundan ve translüsensiden etkilenir. Koyu renkli rezin kompozitler, daha opak oldukları için açık renkli ve daha translüsent rezin kompozitlere göre daha düşük dönüşüm derecesi gösterirler (Chesterman ve diğerleri, 2017). Bulk-fill rezin kompozitlerin (Sonicfill hariç) polimerizasyon derecelerini arttırmak amacıyla translüsensileri arttırılmıştır (Van Ende ve diğerleri, 2017).

Doldurucu tipi ve miktarı ile organik matriksin yapısı gibi materyalin yapısına bağlı özellikler de polimerizasyon derecesini etkiler. Yapılan araştırmalarda, Bis-GMA ve silika içeren partiküllerin yapıya eklenmesi ile rezin kompozitlerin translüsensisinin arttığı bildirilmiştir (Ilie ve diğerleri, 2013).

Bazı çalışmalar, üreticilerin önerdiği ışık uygulama sürelerinin yeterli bir polimerizasyon için kısa olduğunu, ışık uygulama sürelerinin daha uzun olması gerektiğini öne sürmüşlerdir (Tarle ve diğerleri, 2015).

Garcia ve arkadaşları (2014), Yap ve arkadaşları (2016), bulk-fill rezin kompozitlerin 4 mm kalınlıkta yerleştirildiğinde optimum polimerizasyona ulaşabileceğini öne sürse de literatürde bunun tam tersini savunan çalışmalar da bulunmaktadır (Zorzin, 2015; Alshali ve diğerleri, 2013).

2.2.4. Bulk-fill Resin Kompozitlerin Polimerizasyon Büzülmesi

Resin kompozitlerin en önemli dezavantajlarından biri de polimerizasyon nedeniyle büzülmesi ve bunun sonucunda materyal içinde stres oluşmasıdır (González ve diğerleri, 2006). Geleneksel resin kompozitlerin aksine bulk-fill resin kompozitlerin 4 mm'lik tabakalar halinde uygulanması önerilmesine rağmen, bu durum tabakalama yöntemi ile çelişmektedir (Corral-Núñez ve diğerleri, 2015).

Jang ve arkadaşları'nın (Jang ve diğerleri, 2015) düşük viskoziteli akışkan bulk-fill resin kompozitlerin polimerizasyon büzölmelerini akışkan resin kompozitlerin polimerizasyon büzölmeleri ile karşılaştırdıkları çalışmada, bulk-fill resin kompozitlerin (SDR, Venus Bulk Fill) akışkan resin kompozitlerden (G-aenial Universal Flo ve Tetric N-Flow) daha az büzöldüğü bildirilmiştir. Diğer bir çalışmada ise yüksek viskoziteli bulk-fill resin kompozitlerin (Tetric N-Ceram Bulk Fill, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) nanodoldurucu resin kompozitlerle (Filtek Supreme Ultra, 3M ESPE, USA) benzer oranlarda büzölme gösterdiği belirtilmiştir (Benett ve diğerleri, 2015).

Resin kompozit içinde oluşan büzölme stresi, polimerizasyon büzölmeleri ile doğrudan ilişkili değildir. Dolayısıyla bulk-fill resin kompozitlerde polimerizasyon büzölmeleri fazla olsa dahi materyal içinde oluşan streslerin, materyalin düşük elastik modülü'sünden ötürü daha az olduğu ve bundan dolayı da kavite duvarlarına adaptasyonlarının daha fazla olduğu rapor edilmiştir (El-Damanhoury, 2014).

2.2.5. Bulk-fill Rezin Kompoziterin Kavite Duvarlarına Uyumu

Rezin esaslı materyallerin, kavite duvarlarına uyumunun iyi olması istenen bir özelliktir. Kavite duvarlarına uyum, adezyon kalitesi, polimerizasyon büzülmesi, polimerizasyon derecesi gibi restorasyona bağlı özelliklerden etkilenir. Kavite duvarlarına adaptasyonu yetersiz olan rezin kompozit restorasyonlarda, restorasyon kenarlarında mikrosızıntı, sekonder çürük oluşumu ve kenar renklenmeleri görülebilir (Benett ve diğerleri, 2015).

Polimerizasyon büzülmesi nedeniyle rezin kompozit ve kavite duvarı arasında mikroaralık oluşmasının, polimerizasyon esnasında rezin kompozitte görülen hacimsel değişiklik sonucu ortaya çıktığı rapor edilmiştir (Giachetti ve diğerleri, 2006). Restorasyon kenarlarında mikroaralık oluşumunda kullanılan adeziv sistemin de rolü bulunmaktadır. Nitekim, Fronza ve arkadaşları (Fronza ve diğerleri, 2015), restorasyon kenarlarında mikroaralık oluşumu ile adeziv sistemin polimerizasyon esnasında oluşan kuvvetlere karşı direnci arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu bildirmişlerdir.

Bulk-fill rezin kompozitlerin daha az doldurucu partikül içermesi, doldurucu partiküllerin boyutunun daha büyük olması ve daha fazla translusensiye sahip olması nedenleriyle, bu materyallerde polimerizasyon büzülmesi ve mikrosızıntının daha az görüldüğü ileri sürülse de bulk-fill rezin kompozitlerin kavite duvarlarına adaptasyonu hala tartışmalı konulardandır (Mosharrafian ve diğerleri, 2017).

Al-Harbi ve arkadaşları'nın (2016) mikrohibrit (Tetric Ceram HB), akışkan (Tetric EvoFlow), düşük viskoziteli bulk-fill (Surefill SDR), yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozitlerin (Sonicfill, Tetric-N Ceram ve Tetric EvoCeram) kavite duvarlarına adaptasyonlarını inceledikleri bir çalışmada, kavite duvar adaptasyonları açısından test edilen tüm materyallerin arasında istatistiksel olarak bir farklılık bulunmadığı rapor edilmiştir.

2.2.6. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Bulk-fill rezin kompozitlerin üretim amacı arka grup dişlerin restorasyonunda kullanım olduğundan, materyalin yeterli dayanım göstermesi beklenmektedir (Leprince ve diğerleri, 2014). Akışkan rezin kompozitlerin arka grup dişlerin restorasyonunda kullanımı

önerilmezken, düşük viskoziteli akışkan bulk-fill rezin kompozitlerin üretimi ile bu ürünlerin arka grup dişlerin restorasyonunda kullanımı mümkün olmuştur (Gupta ve diğerleri, 2017).

Rezin materyallerin mekanik özellikleri, yapısını oluşturan bileşenlere göre değişkenlik göstermektedir. Arka grup dişlerin restorasyonunda kullanılan materyallerin sertlik, aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinin iyi olması istenir.

Diş hekimliğinde kullanılan rezin kompozitlerin gelişim sürecinde, organik matriks içine ilave edilen doldurucu partiküllerin boyutu küçültülmüş, miktarı ise artırılarak rezin kompozitlerin özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bulk-fill rezin kompozitlerde ise tam tersine, doldurucu partiküllerin boyutları büyük, miktarı ise daha azdır (Ilie, 2013). Yapılan çalışmalar düşük viskoziteli bulk-fill rezin kompozitlerin sertliğinin, yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozitler, nanohibrit rezin kompozitler ve akışkan rezin kompozitlere kıyasla daha düşük olduğu, yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozitlerin ise nanohibrit rezin kompozitler ile benzer sertlik değerleri gösterdiği bildirilmiştir (Bucuta ve Ilie, 2014).

2.2.7. Bulk-fill Resin Kompozitlerin Klinik Performansı

Farklı polimerizasyon özellikleri olan bulk-fill rezin kompozitlerin polimerizasyon büzülmesinin ve dolayısıyla kavite duvarlarında oluşturduğu stresin daha az olması, kavite duvarlarına daha iyi adapte olmasına ve daha az tüberkül hareketinin oluşmasına neden olduğu rapor edilmiştir (Gaintantzopoulou ve diğerleri, 2017). Bu özellikler ile birlikte, translüsens özelliğe sahip olmaları, elastikiyet modülüs'larının düşük olması da bu materyallerin mekanik ve klinik performanslarının iyi olmasına neden olduğu belirtilmiştir (Corral-Núñez, 2015; Chesterman, 2017; Ilie, 2013). Düşük viskoziteli bulk-fill rezin kompozitlerin fiziksel özelliklerindeki yetersizlikler, bu materyallerin arka grup dişlerin restorasyonunda kullanımı konusunda soru işaretleri oluşturmaktadır. Bu tip rezin kompozitlerle ilgili oluşabilecek problemlerin oluşması önlenmek amacıyla, materyalin üzerinin hibrit veya nanodolduruculu bir rezin kompozitle örtülmesi (capping yöntemi) tavsiye edilmektedir.

Endodontik tedavi görmüş dişler ile yapılan *in vivo* bir çalışmada, kavite tabanına akışkan rezin kompozit veya düşük viskoziteli bulk-fill rezin kompozit kullanılmış, üst restorasyon ise geleneksel rezin kompozit ile bitirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, retansiyon, kavite

duvarlarında renklenme, adaptasyon, renk uyumu, yüzey uyumu, anatomik form ve sekonder çürük açısından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir (Karaman, 2016).

Bulk-fill rezin kompozitlerin geleneksel rezin kompozitlere veya amalgam restorasyonlara alternatif olup olamayacağı yönünde çalışmalar devam etmektedir, az sayıda yayınlanmış *in vivo* çalışma olduğundan, bu materyallerle ilgili araştırmaların devam edilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

2.2.8. Bulk-fill Rezin Kompozitlerin Polimerizasyon Derecesi ve Toksisitesi

Rezin kompozitlerin polimerizasyonu, monomerlerin polimere dönüşmesi ile gerçekleşir ve bu dönüşüm sırasında polimer yapıya katılmayan monomerlere “*artık monomer*” denir. Artık monomerler, polimerizasyon sırasında ortaya çıkabileceği gibi materyalin zaman içerisinde erozyonu ve bozulması ile de ortaya çıkabilirler (Gupta, 2012). Bu monomerler zaman içerisinde ağız boşluğunda yumuşak dokulara ve dentin-pulpa kompleksine zarar verebilir. Polimerizasyon derecesi, restorasyonun kalınlığı, kimyasal bileşimi, doldurucu tipi ve yapısı, pörözite ve çözücüler gibi birçok faktör artık monomer miktarını dolayısıyla da toksisiteyi etkiler (Lempel ve diğerleri, 2016).

Rezin kompozitlerin ikişer mm’lik tabakalar halinde uygulanmasının nedenlerinden biri de yeterli polimerizasyonu sağlanması dolayısıyla artık monomer miktarını azaltmaktır. Yapılan bazı *in vitro* çalışmalarda (Abed, 2015; Gonçalves ve diğerleri, 2018) bulk-fill rezin kompozitlerin polimerizasyon derecelerinin yeterli olmadığı bildirilmiştir. Bu durumda bulk-fill rezin kompozitlerin sitotoksitesinin yüksek olması beklenir ve bu da şaşırtıcı değildir. Ancak, üretici firmalar farklı polimerizasyon başlatıcılarını kullanarak ve translusensiyi arttırarak, bu durumu önlemeye çalışmışlar ve sitotoksitesilerinin geleneksel rezin kompozitlerden daha az olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Bulk-fill rezin kompozitlerin sitotoksitesini inceleyen bir çalışmada, akışkan rezin kompozitler ve düşük viskoziteli bulk-fill rezin kompozitlerinin toksisitesi arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmadığı rapor edilmiştir (Marigo ve diğerleri, 2015).

Bulk-fill rezin kompozitlerin fare nöronları üzerindeki sitotoksik etkisinin incelendiği diğer bir çalışmada, kullanılan bulk-fill rezin kompozitlerin fare nöronları üzerinde hafif toksik etki gösterdiği bildirilmiştir (Kamalak ve diğerleri, 2018).

2.3. Fiberler

Fiberler, doğada bitkilerin ve ağaçların hücre duvarlarında bulunurlar. Hücre duvarlarına esneklik ve dayanıklılık sağlarlar. Fiberler, endüstrinin birçok alanında kullanıldığı gibi mekanik ve bağlayıcı özellikleri nedeniyle diş hekimliğinde de kullanılmaktadır (Oktay ve diğerleri, 2016). Diş hekimliğinde, parsiyel protezlerden, intrakoronal restorasyonlara kadar geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır.

Rezin kompozitlerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar genellikle doldurucu partiküllerin özellikleri üzerine odaklanmış ve doldurucu yapısına insertler, seramik whiskerlar veya flamanlar eklenmiştir (Kumar, 2015). Son yıllarda, rezin kompozitlerin özelliklerini geliştirmek amacıyla eklenen en popüler bileşenlerden biri fiber'lerdir. Fiber'lerin, yüksek elastisite modülü'sü'na sahip olmaları yanı sıra düşük kırılma dayanımlarıyla rezin ve diş yapısı arasında oluşan stresleri azaltarak materyalin dayanımını artırma özellikleri bulunmaktadır (Akman ve diğerleri, 2011). Ayrıca, restorasyonda oluşan kırık hattının ilerlemesini de durdurarak stresi absorbe etme özellikleri vardır (Eronat ve diğerleri, 2009).

Fiber'in etkinliğini arttırabilmek için rezinle yeterince doyurulmaları gerekmektedir. Fiber'in rezinle doyurulması, materyalin mekanik özelliklerini, viskozitesini etkiler. Yüzey özellikleri ve su emilimi, fiber'in rezin ile doyurulma oranına bağlı değişkenlik gösterir ve rezinle doyurulmadığı için su emilimi olan fiber, materyal içerisinde yük taşıma görevini yerine getiremez, çatlak ve kırıkların oluşumuna yol açar (Varley,2019; Khan ve diğerleri, 2015).

2.3.1. Fiber Tipleri

Kullanılan fiber'in tipi, fiberlerin uygulanmadan önce bir uygulama görmesi gibi faktörler fiber ile güçlendirilmiş rezin kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir.

Diş hekimliğinde kullanılan üç tip fiber vardır. Bunlar cam, karbon ve polietilen fiber'lerdir (Bonchev ve diğerleri, 2015).

Cam Fiberler

Cam fiberler; silika, oksijen ve diğer atomlardan oluşan, homojen yapıda, üç boyutlu bir materyaldir. Cam fiberin avantajları; düşük maliyetli olması, yüksek baskı dayanımı, iyi yalıtım özellikleri, yüksek kimyasal direncidir. Dezavantajları ise düşük gerilme dayanımı, düşük yorulma direnci ve kolay aşınmalarıdır (Bonchev ve diğerleri, 2015).

Kullanım Amaçlarına Göre Cam Fiberler

Farklı amaçla kullanılan beş tip cam fiber bulunmaktadır. Bunlar;

Cam A: Diş hekimliğinde kullanılmayan, su absorpsiyonu ve aşınması fazla olan en basit yapıdaki cam fiber'dir. Genellikle plastik materyallerde doldurucu olarak kullanılır.

Cam C: Korozyona dirençli bir fiber tipidir, materyalin kimyasal olarak dirençli olmasını sağlamak amacıyla yüzey kaplamasında kullanılır.

Cam E: Su absorpsiyonuna karşı dirençlidir. İyi elektriksel ve mekanik özelliklerinden dolayı diş hekimliğinde kullanılan fiber tipidir.

Cam R: Yüksek dayanıklılık ve asit korozyonuna direnç istendiğinde kullanılan, kalsiyum aluminosilikat içerikli fiberdir.

Cam S: Yüksek dayanımı ve elastisitesi olan bu tip fiberler, çoğunlukla havacılıkta kullanılır ve çok pahalıdır (Varley ve diğerleri, 2019).

Oryantasyonlarına Göre Cam Fiberler

Cam fiberler, yapı içerisine ilave edilme şekillerine göre tek yönlü fiber laminalar (unidirectional), aralıklı kısa ve uzun fiberler (discontinuous/bidirectional), tekstil dokuma (woven), örgü (knitted) ve şerit (braided fabric) şeklinde olmak üzere sınıflandırılırlar (Khan ve diğerleri, 2015).

Tek yönlü fiberler, rezin kompozite anizotropik özellik kazandırır. Resin kompozitlerin dayanımını, tek yönlü kuvvetlerde güçlendirir. Lateral kuvvetlerde matrikste başarısızlık oluşması ihtimali yüksektir. Dolayısıyla güçlendirici olarak, çok yönlü fiberlerin kullanımına yoğunlaşılmalıdır (Arhun, 2017).

Karbon Fiberler

Karbon fiberler, resin kompozitlerin güçlendirilmesi amacıyla piyasaya sürülen ilk fiberlerdir. Karbon fiberler, ince tabakalardan oluşmuş grafitlerin birbiri içerisinde dağılmasından meydana gelirler (Baysal ve Ayyıldız, 2014). Karbon fiberlerin baskı dayanımı yüksekken, elastikiyet modülüsü ve kesme dayanımı (shear) düşüktür. Dezavantajlarından biri de radyografilerde radyolüsent görüntü vermesidir (Quintas ve diğerleri, 2000).

1990'lı yılların başında, metal fiber postlar yerine prefabrike karbon fiber postların kullanımı önerilmiş, ancak koyu renklerinden ötürü yeterli estetiği sağlayamamasından dolayı ve *in vivo* çalışmalarda hastalarda osteolizis izlendiğinden zamanla yerini cam ve polietilen fiber postlara bırakmıştır (Murali Mohan, 2015; Migliaresi ve diğerleri, 2004).

Polietilen Fiberler

Polietilen fiberler leno ya da triaxial örgü şeklinde dokunmuş, üç boyutlu ultra yüksek moleküler ağırlıklı güçlendirici materyallerdir. Bu tip fiberlerin çapraz bağları, fiber'e özel bir mekanik avantaj sağlarken, materyalin yüzey enerjisini düşürmek ve rezinle bağlantısını arttırmak için polietilen fiberlerin yüzeylerine soğuk plazma gazı uygulaması yapılmaktadır. Materyalin örgü şeklindeki yapısı, resin tarafından ıslatılabilirliğini artırır (Bonchev ve diğerleri, 2015).

2.3.2. Fiberlerin Klinik Kullanımları

Fiber Postlar

Koronal bölgede, az miktarda sağlam diş dokusu kalmış endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonunda post kullanılması gerekebilir. Geleneksel olarak bu postlar, metalden

yapılabilir, ancak yapılan çalışmalar metal postların kökleri zayıflattığı ve kök kırıklarına yol açtığını göstermiştir (Guzy ve Nicholls, 1979) .

1990'lı yılların başında, karbon fiber postlar metal postlara alternatif olarak piyasaya sunulmuştur. Bu postların avantajı, metal postlardan farklı yüksek baskı dayanımı ve lateral kuvvetlere karşı metalin gösteremediği distorsiyonu göstererek köke gelen kuvvetleri azaltmasıdır (Asmussen ve diğerleri, 1999). Karbon postların en büyük dezavantajı, koyu renkli olduklarından estetik olmamasıdır. Bu da diş renginde ve translusent olan cam fiber postların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Cam fiber postlar, karbon postlar ile aynı mekanik özellikleri taşırlar (Bateman ve diğerleri, 2003).

Fiber Köprüler

Adeziv teknolojilerdeki gelişmeler, tek diş eksikliğinin tedavisinde fiber ve rezin kompozitin birlikte kullanımına imkan sağlamıştır. Estetik ve konservatif bir tedavi olan fiber köprü uygulamaları hem tedavi süresini kısaltır hem de alternatif tedavilere kıyasla ucuz seçeneklerdir (Eskitascioğlu ve diğerleri, 2004). Fiber köprülerde, pontik olarak hastanın kendi çekilmiş dişi ya da rezin kompozitten yapılmış dişler kullanılabilir.

Yapılan çalışmalarda ön bölge tek diş eksikliğinde uygulanan fiber destekli adeziv köprülerin başarı oranının %86 olduğu bildirilmiştir (Frese ve diğerleri, 2014).

Fiberle Güçlendirilmiş Resin Kompozitler

Fiber ile güçlendirilmiş resin kompozitler, resin kompozit ve cam fiberlerden oluşmuştur. Bu materyaller hava ve formula araçlarında sağlamlık ve esneklik sağlamak amacıyla kullanılırlar (Varley ve diğerleri, 2019).

Fiberle güçlendirilmiş resin kompozitlerin üç yapısal bileşeni vardır. Bunlardan birincisi fiber parçacıklarının yerleştirildiği resin matriks, ikincisi güçlendirici yapıdır. Güçlendirici yapı polietilen, karbon ya da cam fiberlerden oluşur ve materyale sağlamlık ve yüksek modülüs sağlarlar. Üçüncü bileşen ise ara fazdır. Bu faz, resin kompozite gelen kuvvetlerin matriksten fiber'e iletimini sağlar (Varley ve diğerleri, 2019).

Son yıllarda, rezin kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve oluşan çatlakların ilerlemesinin engellemek amacı ile cam fiber içerikli bulk-fill rezin kompozitler de piyasaya sürülmüştür. Fiber ile güçlendirilmiş rezin kompozitler kaybolan dentin dokusunu yerine koymak amacı ile kullanılırken, üstlerine uygulanan geleneksel kompozitler mine dokusunu onarmak amacıyla kullanılırlar. Fiber içerikli yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozitler, genellikle kron alt yapısında kor oluşturmak için kullanılırlar ve parlatılabilirlikleri çok iyi değildir (Chesterman ve diğerleri, 2017).

Fiber içerikli yüksek viskoziteli bulk-fill kompozitlere örnek olarak EverX Posterior (GC, Belgium) verilebilir.

Fiberlerin Klinikteki Diğer Kullanım Alanları

Fiberler, günümüzde periodontal hastalıklarda periodontal splint olarak, ortodontide ve pedodontide yer tutucu olarak ya da protezlerin metakrilat yapılarında güçlendirici materyal olarak da kullanılabilirler (Arhun, 2017).

2.4. Polimerizasyon Büzülmesi

Rezin kompozitler dünya çapında yaygın olarak kullanılan restoratif materyallerden olmasına rağmen, bu materyallerin polimerizasyon sırasında gösterdiği büzülme, klinik başarısızlıklara ve olumsuz sonuçlara yol açabilir. Polimerizasyon öncesi rezin kompozitleri oluşturan monomerler arasındaki mesafe yaklaşık 4 Angström (A^0)'dür. Polimerizasyon esnasında monomerler polimer ağlara dönüşür ve monomer moleküllerinin arasındaki mesafe kovalent bağ oluşumu sırasında azalır ve yaklaşık 1,5 A^0 'a düşer (Narene ve diğerleri, 2014).

Monomer, polimer ağlara dönüşürken yapının içinde ekzotermik bir reaksiyon oluşur ve polimerde hacimsel küçülme meydana gelir. Bu da moleküler titreşimin azalmasıyla beraber moleküller arası mesafenin azalmasına da neden olur. Polimer oluştuğça, rezin matris pre-jel yapıdan viskoz bir katıya dönüşür ve rezin kompozit yaklaşık %1,5 ile %6 oranında büzülür (Schneider ve diğerleri, 2010). Jel noktasına ulaşıldığında, rezin kompozitin içerisinde oluşan stres çevresindeki diş yapılarına iletilir. Polimerizasyon başladığı zaman, materyal büzülmeye uyum sağlamak için bağlanmamış yüzeylerden akar (El-Korashy,

2010). Rezin kompozit, artan elastikiyet modülüsü nedeniyle daha sert hale geldiğinde akış durur ve bağlanan rezin kompozit çevresindeki diş büzülme streslerini iletir (Narene ve diğerleri, 2014).

Polimerizasyon büzülmesinden kaynaklanan stres, bağlanma kuvvetinin azalmasına restorasyon diş ve adeziv arasında aralık oluşumuna ve bunun sonucunda mikrosızıntı, sekonder çürük oluşumu, postoperatif hassasiyet gibi problemlere yol açabilir. Eğer kompozit ile diş arasındaki bağlanma sağlam kalırsa, diş yapısına aktarılan stres *kaspal defleksiyon* dediğimiz tüberküllerin hareketine ve dolayısıyla, mine veya tüberkül kırıklarına neden olabilir (Palin ve diğerleri, 2005).

Tüberküllerin hareketi rezin kompozit ile restore edilmiş dişlere ait bir biomekanik fenomendir ve kavite duvarları ve rezin kompozit arasındaki polimerizasyon büzülmesinin oluşturduğu stres sonucu oluşur (González López ve diğerleri, 2006).

2.4.1. Polimerizasyon Büzülmesini Etkileyen Faktörler

Restorasyonun Hacmi

Polimerizasyon büzülmesini, kavitenin genişliği ve derinliği etkileyebilir. Kavite ne kadar sığ ve rezin materyal miktarı ne kadar az ise büzülme o kadar az olur. Rezin restorasyon altına düşük viskoziteli bulk-fill rezin kompozit veya kaide materyallerinin yerleştirilmesi de kullanılacak rezin miktarını azalttığı için büzülme miktarını azaltır (Ölmez ve Tuna, 2002).

Konfigürasyon / C- faktörü

Konfigürasyon veya C faktörü, kavitedeki bağlı yüzey alanlarının serbest yüzey alanlarına oranının ifadesidir. C faktörü ne kadar yüksekse, dişin polimerizasyon büzülmesinden etkilenme riski de o kadar fazladır. Bağlanmış yüzeylerin serbest yüzeylere oranı belirli bir sınırı aştığında, sertleşme öncesi materyalin akıcılığı engellenir ve büzülme stresleri artar. C faktörü 1,0'in altındaysa, büzülme stresleri azalır, 3,0'ün üzerinde ise stres değerleri hızla artar (Tarle ve diğerleri, 1998). C faktörü arttıkça, restorasyonun yüzeyden ayrılması ve diş ile restorasyon arasında aralık oluşması o kadar fazla olacaktır.

Rezin kompozit restorasyonlarda C faktörün etkisinin azaltılması demek aynı zamanda polimerizasyon büzülmesinin etkilerinin de azaltılması demektir. Bunun için rezin kompozitin tabakalar halinde yerleştirilmesi ve polimerize edilmesi, doldurucu partikül içeren bir adezivin kullanılması, stres kırıcı bir tabaka fonksiyonu göstermesi için kaide materyali veya akışkan rezin kompozitin tabana uygulanması gibi yöntemler önerilmektedir (Pitel, 2013).

Işık Konfigürasyonu ve Şiddeti

Işık kaynağının pozisyonu, ışığın şiddeti üzerindeki etkisi nedeniyle oldukça önemli bir faktördür. Geçmişte ışık gücünün, ışığın ucu ile restorasyon arasındaki mesafenin karesi ile ters orantılı olduğu düşünülse de yapılan çalışmalar bu kuralın tam olarak doğru olmadığını ortaya koymuştur. Işığın gücü, restorasyon ile ışık ucu arasındaki mesafenin ilk 1 milimetresinde %30 azalırken, sonraki her 1 mm'lik artışta %10 oranında azalmaktadır (Segal ve diğerleri, 2015). Işığın gücünün iletilirken kayba uğraması, ışığın yüzeyden yansması, ışığın ışık geçirmeyen matriksler ve kamalar yüzünden engellenmesi veya ışığın restorasyon yüzeyinden uygulanamaması nedenleriyle ortaya çıktığı bildirilmiştir (Moazzami ve Noorollahian, 2007).

Işık Uygulama Yöntemleri

Günümüzde rezin kompozitlerin polimerizasyonunda değişik ışık uygulama yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Yüksek ışık şiddetli polimerizasyon,
2. Soft- start polimerizasyon ve
3. Pulse-delay polimerizasyon yöntemidir (Price, 2017).

Plasma ark (PAC) ve lazer (Xenon) gibi yüksek şiddette ışık veren ışık kaynakları polimerizasyon hızını artırarak, polimerizasyon süresinin kısılmasını sağlar. Polimerizasyon hızının artmasıyla, pre-jel oluşum süresinin azaldığı, rezin kompozitin akışına zaman kalmadığı ve buna bağlı olarak da polimerizasyon büzülme streslerinin arttığı belirtilmiştir (Hofmann ve diğerleri, 2003). Plazma ark ışık kaynakları, 470 nm dalga

boyunda ışık verir ve geleneksel ışık kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, polimerizasyon süresini 40 saniyeden 3-10 saniyeye düşürür (Rueggeberg, 2017).

Argon lazer, rezin kompozitlerin polimerizasyonunda kullanılan bir lazer tipidir. 480 nm dalga boyunda ışık veren bu lazerle rezin kompozitlerin polimerizasyon süresinin kısaldığı (3-5 sn), polimerizasyon sonucunda kalan artık monomer miktarının azaldığı ve görünür ışık polimerizasyonu ile karşılaştırıldığında eşit fiziksel özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir (Kelsey ve diğerleri, 1991). Ancak, cihazın pahalı olması ve kısa sürede polimerizasyonun oluşturduğu streslerin olumsuz etkileri nedeniyle, argon lazer günümüzde rezin kompozitlerin polimerizasyonunda çok tercih edilmemektedir (Shin, 2011; Fleming ve Maillet, 1999).

Excimer lazer ve dye lazer gibi pulse lazerler de rezin kompozitin polimerizasyonunda kullanılan diğer lazerlerdir (Tarle ve diğerleri, 1995). Tarle ve arkadaşları'nın (1997) pulse lazer kullanımının farklı hibrit rezin kompozitlerin polimerizasyon derecesi ve polimerizasyon büzülmesi üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında, pulse lazerle polimerize edilen rezin kompozitlerin polimerizasyon derecelerinin daha yüksek ve polimerizasyon büzülmesinin ise daha az olduğu rapor edilmiştir.

Polimerizasyonun başlangıç aşamasında oluşan stres, rezin kompozitin pre-jel safhadaki akışkanlık özelliğiyle azaltılabilir. Çünkü bu safhada rezin kompozit elastik yapıya sahiptir. Bu safhadan sonra, rezin kompozit diş dokularına iletilen büzülme streslerini tolere edemez. Pre-jel safhasının daha uzun sürede oluşmasının, post-jel safhada daha az stres oluşumuna neden olduğu ileri sürülmektedir (El-Korashy, 2010).

Polimerizasyon hızını azaltmak ve viskoz akışa zaman tanımak amacıyla (dolayısıyla rijit olmayan büzülmeyi sağlayabilmek için) sürekli yüksek yoğunluklu ışık uygulamaya alternatif olarak çeşitli ışık uygulama yöntemleri önerilmiştir. Genel olarak "soft-start" olarak adlandırılan bu yöntemde, ışık ile aktivasyonun ilk birkaç saniyesinde düşük güçte ve daha sonra yüksek güçte ışık uygulanır (Price, 2017). Soft-start polimerizasyonun, sürekli yüksek şiddette ışık uygulanan yöntemlere kıyasla polimerizasyon büzülmesinde önemli azalmaya neden olduğunu bildiren çalışmalar bulunmaktadır (Price, 2017; Ernst ve diğerleri, 2003). Bununla birlikte, reaksiyon hızının azaltılması, büzülme stresinde önemli miktarlarda azalma olacağı anlamına gelmez. Pulse-delay polimerizasyon ise başlangıçta düşük enerjili

ışık uygulanmasını takiben kısa bir bekleme süresi verilmesi ve sonrasında yüksek şiddette ışığın uygulandığı bir ışık uygulama yöntemidir. Pulse-delay yöntemi, polimerizasyon büzülmesinden kaynaklanan mikroaralık oluşumunu, rezin kompozitin mekanik özelliklerini tehlikeye sokmadan azaltır (Pfeifer ve diğerleri, 2006).

Adeziv ve Stres Absorbe Eden Kavite Taban Materyallerinin Kullanımı

Kavite tabanında oluşan stresleri absorbe edebilen, elastik özelliğe sahip kavite taban materyali kullanımı, polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla önerilen diğer bir yöntemdir. Kavite tabanında liner kullanımı, büzülme streslerine karşı elastik bir yapı oluştururken, adeziv yüzeylerinde oluşan streslerin daha eşit dağıtılmasını da sağlarlar (Malhotra ve diğerleri, 2010).

Düşük viskoziteli adezivlerin birkaç kat veya yüksek viskoziteli adezivlerin tek kat olarak rezin kompozitlerin altına liner olarak uygulanması, büzülme streslerini azaltan stres kırıcı bir tampon gibi görev görür. Kullanılan liner'ın elastikiyet modülü'sunun düşük olması bunda önemli rol oynar. Buna bağlı olarak da kavite kenar uyumu daha iyi elde edilmiş olur (Labella, 1999; Choi, Condon ve Ferracane, 2000).

Liner'ın elastik modülü'sünün yanısıra uygulama kalınlığı da stresin absorbe edilmesini etkileyebilir. Liner ne kadar kalın bir tabaka halinde uygulanırsa, stresin absorbe edilmesinin o kadar artacağı bildirilmiştir (Braga ve Ferracane, 2004).

Cam iyonomer siman da rezin kompozit altında kaide materyali olarak kullanılabilir. Cam iyonomer simanın rezin kompozit altında kavite taban materyali olarak kullanılmasına "sandviç teknik" adı verilmektedir. Cam iyonomer simanın liner olarak etkinliği, başlangıçtaki elastik özellikleri ile açıklanabilir (Malhotra ve diğerleri, 2010).

Allomari ve arkadaşları (2001) düşük elastikiyet modülü'süne sahip linerların kullanımının, büzülme sonucu oluşan deformasyonları azalttığını ve bu konuda rezin modifiye cam iyonomerlerin akışkan rezin kompozitlerden daha etkin olduklarını bildirmişlerdir.

Rezin Kompozitin Yerleştirilme Tekniği

Arka grup dişlere rezin kompozitin küçük tabakalar halinde yerleştirilmesi, diğer bir deyişle rezin kompozitin inkremental olarak yerleştirilmesi birçok araştırmacı tarafından polimerizasyon için önerilmektedir, böylece polimerizasyon büzülmesinin etkisinin azaltılabildiği bildirilmiştir (Dayangaç, 2000).

Rezin kompozitin tabakalar halinde yerleştirilmesinde de değişik alternatifler kullanılmıştır. Bunlardan biri horizontal yani “yatay tabakalama” yöntemidir. Bu yöntemde, rezin kompozit her biri 2,0 mm ya da daha az kalınlıkta olacak şekilde kavite tabanına yatay olarak yerleştirilir. Bu yerleştirme yönteminin, C faktörünü ve karşılıklı kavite duvarları arasındaki büzülme streslerini arttırdığı bildirilmiştir (Yadav ve diğerleri, 2019).

“Oblik tabakalama” yönteminde, rezin kompozit bir dizi kama şeklinde uygulanarak, tabakalar birbirine oblik olacak şekilde yerleştirilir. Her bir tabaka sadece bir kavite duvarı ile temas halindedir. Bu sayede serbest yüzey alanı artar ve C faktörü azalmış olur (Chi, 2006).

Küçük tabakaların bir duvardan başlayarak, bukkal veya lingual olarak dikey düzende yerleştirildiği yöntem ise “vertikal tabakalama” yöntemidir. Polimerizasyon kavite duvarlarının arkasından başlatılır. Eğer bukkal tabaka lingual tabakanın üzerine yerleştirildiyse bu tabakaya lingual duvarın dışından ışık uygulanmalıdır. Bu yöntem, polimerizasyon büzülmesi nedeniyle gingival duvarda boşluk oluşumuna ve sonrasında da postoperatif hassasiyete ve sekonder çürüklere yol açabilir (Appleguist ve Meiers, 1996).

“Katmanlı tabakalama”, dentin ve mine tonlarının yanı sıra translusensi farklı renk tonlarının kullanıldığı bir yerleştirme yöntemidir. Daha çok estetik rezin kompozit restorasyonların yapımında uygulanır. Tabakalama yöntemlerindeki hatalar yarı saydam veya opak restorasyonların ortaya çıkması ile sonuçlanır. Bu nedenle, estetik açıdan memnuniyet verici sonuçlar elde etmek için tabakalama yönteminin kullanımı net, standart ve tekrarlanabilir olmalıdır (Giachetti ve diğerleri, 2006).

“Sentripedal tabakalama” yöntemi, arka grup dişlerin restorasyonlarında birtakım avantajlar sunar. Bu yöntem, rijid temas alanları ve anatomik proksimal kontürlerin şeffaf matriks

bantları ile sağlanamadığı durumlarda uygulanabilir. Bu amaçla ince metal matris bantları ve kamalar kullanır. Bu yöntemin en önemli faydası, ilk önce çok ince bir proksimal kenar oluşturulmasıdır, bu tabaka rezin kompozit yapıyı kuvvetlendirir ve olası bir servikal aralığın oluşumunu önler. Ayrıca, restorasyon sırasında servikalde aralık oluşsa bile gingival zemine doğru yerleştirilen bir sonraki tabakanın, oluşturulan boşluğu kapatması muhtemeldir (Szep ve diğerleri, 2001). Sentripedal yerleştirme, polimerizasyon büzülmesinin etkilerini azaltmak için kullanılan yöntemlerdendir. Proksimal kenar oluşturulması ile kavite Sınıf I kaviteye dönüştürülmüş olur ve daha sonra restorasyon tamamlanır. Bu yöntemin avantajı, proksimal kenarda bulunan rezin kompozit kenarın aksial duvarlarla kontağının olmaması ve bu nedenle polimerizasyon sırasında dişeti kenarında boşluk oluşturma ihtimalinin daha düşük olmasıdır (Chandrasekhar ve diğerleri, 2017).

Ön Isıtma

Son zamanlarda rezin kompozitlere ön ısıtma yapılması, rezin kompozitin pre-jel safhasında akışını arttırmak, kenar adaptasyonu ve monomer dönüşümünü arttırmak için uygulanmaktadır. Resin kompozitlerde ön ısıtma yapılması, ön ısıtma yapılmamış resin kompozitlere kıyasla klinikte daha kısa ışık uygulama süresi ile polimerize edilmelerini sağlayabilir. Polimerizasyon derecesindeki artış birçok faktöre bağlıdır (Nikolaos-Stefanos, 2018).

Artan ısı, resin kompozitin viskozitesini azaltır ve serbest radikal hareketliliğini arttırarak daha fazla polimerizasyon oluşmasını sağlar. Reaksiyona girmemiş aktif grupların ve radikallerin çarpışma frekansı, ısı artışı ile artırılabilir. Teorik olarak ısı artışı ile vitrifikasyon noktasından önce daha yüksek bir polimerizasyon derecesi elde etmek ve stresi azaltmak mümkün olacaktır. Ancak, gerçek faydalar tam olarak gösterilememiştir (Langalia ve diğerleri, 2015).

Su Emilimi

Resin kompozitlerin su emilimi sonucunda genişmesine “higroskopik genişme” denir. Higroskopik genişme nedeniyle, resin kompozitlerin polimerizasyonu sırasındaki büzülmeyi tolere edebileceği belirtilmiştir (Smith ve Schoonover, 1953). Her ne kadar higroskopik genişme, polimerizasyon büzülmesinin etkisini azaltsa da kavitede bağlanan

yüzeylerin su ile doğrudan teması bulunmadığından, genişleme miktarının sınırlı kalacağı bildirilmiştir. Oldukça hızlı oluşan polimerizasyon büzülmesine kıyasla, higroskopik genişleme daha yavaş ilerler ve günlerce sürebilir. Büzülme stresi ve higroskopik genişleme restorasyonun ağızda kaldığı sürece uniform bir şekilde oluşmaz. Su emiliminin, polimerizasyon büzülme streslerini azaltmasına rağmen, rezin kompozitin mekanik özelliklerinin bozulması ve renk stabilitesinin değişmesine neden olduğu unutulmamalıdır (Giachetti ve diğerleri, 2006).

Kompozitin Fiziksel Özellikleri

Elastisite Modülüsü

Elastisite modülüsü, malzemenin kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin ölçüsüdür. Tanımı gereği birim kesit alanına sahip bir materyalde birim boyu bir kat arttırmak için uygulanması gerekli kuvveti ifade eder. Doldurucu partikül miktarı fazla olan rezin kompozitlerin elastisite modülüs'leri yüksek olduğu için hacimsel büzülme miktarı azalmış, buna bağlı olarak da rezin kompozit ve diş ara yüzünde büzülme stresleri artmıştır (Edward ve Rodrigo, 2018). Diğer bir deyişle, yüksek elastisite modülüsü'ne sahip rezin kompozitler polimerizasyon sırasında daha yüksek polimerizasyon stresleri oluşturmaktadır. Daha yüksek elastisite modülüsü, kenar uyumunun uzun süreli stabil kalabilmesi ve okluzal kuvvetler altındaki dayanıklılık ve yorgunluğun azaltılabilmesi için istenen bir özelliktir. Stres, hacimsel büzülme ile tanımlanır ve elastisite modülüsü ile artar (Giachetti ve diğerleri, 2006).

Labella ve arkadaşları'nın (1999), rezin kompozitlerin elastisite modülüs'leri ve polimerizasyon büzölmelerini incelediği bir çalışmada, akışkan rezin kompozitlerin hibrit rezin kompozitlere göre daha fazla polimerizasyon büzölmesi göstermesinin, diş kompozit ara yüzeyinde daha yüksek stresler oluşumuna neden olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca, bu materyallerin daha düşük sertlikte olmalarının bu olumsuz durumu tolere edebileceğini, mikrodolduruculu rezin kompozitlerin daha düşük büzölme ve sertlik değerleri gösterdiklerini ve bu iki özelliğin bir arada bulunmasının rezin kompozit ile diş ara yüzeylerinde daha az deformasyon oluşmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Polimerizasyonun Başlatılma Şekli

Polimerizasyonları kimyasal yolla gerçekleşen rezin kompozitlerde, polimerizasyon vücut ısısına bağlı olarak restorasyonun en derin bölgesinden başlar ve rezin kitlesinin merkezine doğru bir büzülme görülür. Polimerizasyonları ışık ile gerçekleşen rezin kompozitlerde ise polimerizasyon ışık kaynağına en yakın yerden başlar ve bu yüzeye doğru bir büzülme gösterir. Işık kaynağının gücü, uzaklığı, rezin kompozitin rengi ve kalınlığı büzülmede rol oynayan etkenlerdir (Dayangaç, 2000).

Versluis ve arkadaşları (Versluis ve diğerleri, 1996) yaptıkları çalışmada, ışıkla polimerize olan rezin kompozitlerde büzülmenin yönünün ışığın doğrultusundan etkilenmediğini ve büzülme stresinin yönünün kavite şekli ve bağlanma kalitesiyle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Leinfelder (Leinfelder, 2001), ışıkla polimerizasyon ve kimyasal polimerizasyon yöntemlerinin her ikisinde de asitle pürüzlendirme ve adeziv uygulaması yapıldığında restorasyonun merkezine doğru büzülme eğilimi görüldüğünü rapor etmişlerdir.

Kinomoto ve arkadaşları (1998), polimerizasyon büzülmesi streslerinin büyüklüğü ve dağılımı açısından kimyasal ve ışıkla polimerize olan rezin kompozitleri karşılaştırdıkları çalışmalarında, her iki rezin kompozitte de stres dağılımlarının benzer olduğunu, ancak ışıkla polimerize olan rezin kompozitlerin kimyasal olarak polimerize olan kompozitlere göre daha hızlı polimerize olmaları nedeniyle daha fazla büzülme stresi oluşturduklarını bildirmişlerdir.

İnorganik Doldurucu Partikül Oranı ve Boyutu

Kompozit rezinin içerisindeki inorganik partiküllerin oranı polimerizasyon büzülmesini etkileyen bir faktördür. Genel olarak, daha yüksek oranda doldurucu partikül içeren rezin kompozitlerde daha az polimerizasyon büzülmesi meydana gelir. Bu durum, doldurucu partikül hacminin daha az, rezin matriks hacminin ise daha fazla olmasıyla açıklanabilmektedir (Kinomoto, ve Torii, 1998).

Polimerizasyon büzülmesini etkileyen diğer bir faktör de doldurucu partiküllerin büyüklüğüdür. Daha büyük partikül boyutu içeren rezin kompozitlerde daha fazla büzülme

meydana gelirken, küçük partikül içeren rezin kompozitlerde daha az polimerizasyon büzülmesi görülmektedir (Nicholls ve Aw, 2001).

Küçük partiküller, küçük bir yüzey alanı / hacim oranına sahip olan büyük bir partikül ile karşılaştırıldığında, büyük bir yüzey alanı / hacim oranına sahiptir. Küçük partiküllerin geniş yüzey alanlarına sahip olması ve partiküller arası mesafenin az olmasından dolayı materyallerin polimerizasyonu sırasında partiküller arası bağlar daha kısa olur. Partiküller arasındaki rezin matriks miktarı, büyük partiküllü rezin kompozitlere kıyasla daha azdır ve bu bağlamda küçük partiküllü rezin kompozitler sertleşirken daha az polimerizasyon büzülmesi gösterirler (Nicholls ve Aw, 2001).

İnorganik İnsertler

Doldurucu partiküller katı oldukları için boyutsal değişikliğe uğramazken, organik matriks jel formdan katı forma geçiş sırasında monomerlerin birbirine bağlanması ve fiziksel deformasyon nedeniyle büzülürler. Doldurucu partiküllerin miktarı artırılarak, rezin matriks hacminin azaltılması bazı fiziksel özelliklerin geliştirilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte, çalışma özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden rezine eklenebilecek partikül miktarı sınırlıdır (Fagin, 2000).

Son yıllarda doldurucu partikül ile organik matriks oranındaki problemlerin çözümü için rezin kompozit restorasyonların içerisine diş rengindeki cam ve seramik insertlerin yerleştirilmesini içeren restoratif yöntemler gündeme gelmiştir. Restorasyona eklenen beta-quartz insertler, mega doldurucu partiküller gibi işlev görererek kaviteyi dolduran rezin kompozit materyalinin %50-75'ni kaplayabilmektedir. Resin kompozit restorasyonlara eklenen büyük insertler organik matriks oranını azaltır ve resinin ısıl genişleme katsayısını düşürür. Resin matriksin azalmasıyla, polimerizasyon büzülmesinde azalma ve buna bağlı olarak kenar uyumunun devamlılığında gelişme sağlanacağı belirtilmektedir (Appleguist ve Meiers, 1996).

Organik Resin Matriksin Kimyası

Resin matriksin yapısında kullanılan monomerlerin tipi polimerizasyon büzülmesini etkileyen faktörlerdendir (Pitel, 2013).

Bis-GMA, rezin kompozitlerin yapısında en fazla kullanılan monomerdır ve yüksek viskozite özelliklerinden dolayı daha az büzülmeye neden olur.

TEGDMA, Bis-GMA ile karşılaştırıldığında, daha düşük moleküler ağırlıklı bir monomerdır ve daha akışkandır. Viskozite özelliklerindeki bu farklılık TEGDMA'nın daha fazla polimerizasyon büzülmesi oluşturması ile sonuçlanır (Nicholls ve Aw, 2001). Büyük moleküler ağırlıklı monomerlerin karışıma eklenmesi rezin kompozitin büzülme oranını azaltabilmektedir (Damineni ve diğerleri, 2014).

UDMA, Bis-GMA ile karşılaştırıldığında, daha düşük moleküler ağırlığa sahiptir ve daha akışkan özelliğindedir. Yapılan çalışmalarda UDMA içerikli kompozitlerin Bis-GMA içerikli kompozitlerle karşılaştırıldığında, daha fazla büzülme gösterdikleri tespit edilmiştir (Ellakwa ve diğerleri, 2007).

Polimerizasyon Sırasında Açığa Çıkan Isı

Polimerizasyon sırasında ortaya çıkan ekzotermik ısı da polimerizasyon reaksiyonunu hızlandırarak büzülmeyi artırır. Oluşan ısı, reaksiyona giren monomer miktarına bağlıdır. Bu bağlamda ışık kaynağından yayılan ısı da büzülmeyi artırır. İlk 20 saniye içinde hızla artan ısı (42°C) yaklaşık 50 saniye sonra ortadan kalkar (Dayangaç, 2000).

Polimerizasyon Derecesi

Polimerizasyon derecesi, ışıkla polimerize olan rezin kompozitlerin fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklerini belirlemede önemli bir parametredir. Polimerizasyon derecesi, sertleşmiş bir rezin kompozit örnekte alifatik karbon çift (C=C) bağlarının, sertleşmemiş örnekteki aromatik karbon çift bağlarına oranıyla hesaplanır (Alshali ve diğerleri, 2013).

Polimerizasyon büzülme stresi, polimerizasyon oranı ve derecesiyle doğrudan ilişkilidir. Ek olarak, rezin kompozitin klinik performansı rezin kompozitin yapısındaki monomerlerin polimere dönüşüm derecesine bağlıdır. Monomer dönüşüm miktarı hiçbir zaman yüzde yüz ulaşmaz ve polimer ağın içerisinde hiç reaksiyona girmemiş olarak kalan monomerler restorasyonun mekanik kalitesini bozar ve çevre dokulara karşı toksik etki göstermesine neden olur (Oliveira ve diğerleri, 2012).

Rezin kompozitlerin daha iyi mekanik özellikleri, kimyasal stabilitesi ve uzun süre dayanıklı olması yüksek polimerizasyon derecesine sahip olmasıyla yakın ilişkilidir. Polimerizasyon derecesi arttıkça materyalin fiziksel özellikleri iyileşir, polimerizasyon büzülmesi azalır. Işıkla polimerize olan rezin kompozitlerin polimerizasyon derecesi ışığın gücü ve ışığa maruz kalma süresinden etkilenir. Bu materyallerdeki hızlı reaksiyon materyalin viskoz akışı için izin verilen süreyi neredeyse tamamen ortadan kaldırır ve rezin kompozit saniyeler içerisinde polimerize olurken, nispeten düşük bir polimerizasyon derecesi elde edilebilir (Kannurpatti ve diğerleri, 1997).

2.4.2. Polimerizasyon Büzülmesi Ölçüm Yöntemleri

Materyallerin polimerizasyon büzülme ölçümlerini ölçmek için literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Polimerizasyon büzülmesi, ölçüm tekniğine ve ölçüm yapılan cihaza ve ölçümü yapan uygulayıcıya göre değişkenlik gösterebilir (Sakaguchi ve diğerleri, 2004).

Polimerizasyon büzülmesi ölçüm yöntemleri; polimerizasyon büzülme gerilimini ölçen yöntemler, polimerizasyon büzülme stresini ölçen yöntemler ve tüberkül hareketini ölçen yöntemler olmak üzere üç ana başlık halinde değerlendirilebilir.

Polimerizasyon Büzülme Gerilimini Ölçen Yöntemler

Dilatometri

Dilatometri ile polimerizasyon gerilimi ölçümü, materyalin pre ve post jel safhasında hacimsel olarak büzülme miktarını ölçer. Bu ölçüm, reaksiyona girmeyen civa, su gibi bir likitin içerisine yerleştirilen materyalin polimerizasyonu esnasında, likitin göstergedeki hareketinin ölçülerek yapılır. Cihazın elle kontrol edilenleri olduğu gibi elektronik tipleri de vardır. Her 0,5 saniyede bir ölçüm yapılır. Bu yöntemin dezavantajı, ölçüm sonuçlarının ortamdaki özellikle de hava sıcaklığından çok etkilenmesidir (Mulder ve diğerleri, 2013).

Linometri

Bu yöntemde, polimerizasyon gerilimi ölçülecek rezin örnek, alüminyum bir plaka ile cam arasına sıkıştırılır ve cam üzerinden polimerize edilir. Linometri ile dilatometri yöntemleri benzer sonuçlar verir. Materyalin alüminyum plakaya oturduğu yüzeyde bir sensör bulunur

ve bu sensör sayesinde materyalin yüzeydeki lineer hareketi ölçülür. Büzülme miktarı özel denklemler ile hesaplanır (Kwon ve diğerleri, 2014).

Gaz Piknometri

Gaz piknometri yönteminde; cihaza yerleştirilen örneğin polimerizasyon öncesi ve sonrası boyutsal farkı, cihazın içindeki özel gazlar yardımı ile ölçülür. Materyal boyutsal değişime uğradığında, gazlar yer değiştirir. Cihazın hassas sensörü, bu hareketi sayısal değer olarak gösterir. Bu yöntemin avantajı, dilatometre ve lineometre gibi ısı ve ortama duyarlı olmamasıdır (Amore ve diğerleri, 2003).

Arşimed Prensibi (Sıvı İçerisinde Materyale Uygulanan Kaldırma Kuvveti)

Polimerizasyon büzülmesini, sıvıların kaldırma kuvveti aracılığıyla ölçen bu yöntemde, polimerizasyon öncesi ve sonrası materyalin sıvı içerisindeki öz kütle değişiminden faydalanır. Materyalin sıvı içerisindeki konumu, polimerizasyon sonrasındaki hacimsel değişikliğe ve dolayısıyla yoğunluk değişikliğine göre farklılık gösterir. Büzülme öncesi ve sonrası yapılan ölçümlerin sonucu, büzülme miktarı matematiksel olarak hesaplanır. Bu ölçüm yönteminde likit olarak civa, silikon yağı, distile su, sodyum lauril sülfat gibi sıvılar kullanılabilir. Yöntem ucuz, ancak çok aşamalı ve zaman alıcıdır. Hazırlanan örneğin boyutu ve şeklinin ölçümlerde etkisi yoktur (De Melo Monteiro ve diğerleri, 2011).

Gerilim Ölçer (Strain Gauges)

Gerilim ölçer, materyalin bağlı olduğu yüzeyler üzerindeki stresi rezistans içeren probalar aracılığıyla ölçen bir sistemdir. Materyalin polimerizasyonu sırasında oluşturduğu gerilim miktarını ölçtüğü gibi simetrik olarak genişmesini de ölçebilmektedir. Bu ölçümler, lineer ölçümlerdir (Soares, 2017; Sakaguchi ve diğerleri, 1991).

Bağlı Disk Büzülme- Şekil Değiştirme Ölçümü

Bu yöntem, lineer aksiyal polimerizasyon ölçümü için en çok kullanılan yöntemdir. Yöntemde, iki camın arasına materyal yerleştirilir, camın üstünde bulunan mikroskop aracılığıyla materyalin hareketi izlenir. Camlar, sürtünmenin arttırılması için bazen kumlanarak pürüzlendirilir. Lineer büzülme, özel sensörler ile bilgisayar programına

aktarılır ve bu program aracılığıyla sonuçlar hesaplanır. Bu yöntemin; materyalin ince olarak uygulanması, yeterli ışık uygulanabilmesi ve ısının kontrol edilebilmesi gibi avantajları vardır (Lee, 2012; Ghavami-Lahiji ve diğerleri, 2017).

Optik Koherens Tomografi (OCT)

OCT, non invaziv ve yüksek çözünürlüklü bir görüntüleme yöntemidir. Diğer görüntüleme yöntemlerinin aksine, OCT’de manyetik rezonans, x-ray ışını ve ses dalgaları yerine kızıl ötesi ışık kullanarak görüntüleme yapılır. Örneklerin ölçümü, polimerizasyon öncesi ve sonrasında yapılır, matematiksel hesaplamalarla sonuç elde edilir (Baek ve diğerleri, 2009; Ghavami-Lahiji, 2017).

X-Ray Bilgisayarlı Tomografi (μ CT)

Mikro CT, x-ray ışınlarının kullanıldığı bir görüntüleme yöntemidir. Restoratif diş hekimliğinde yaygın kullanılan bu yöntemde, genelde restoratif materyallerin kenar adaptasyonları incelenmiştir. Bu da materyalin polimerizasyondan önce ve sonrasında μ CT görüntülerinin alınması ve daha sonra bu görüntülerin üç boyutlu incelenmesi ve hacimsel değişikliklerin izlenebilmesi ile gerçekleştirilir (Sun ve Lin-Gibson, 2008).

AcuVol

AcuVol (Bisco, USA), rezin kompozitin polimerizasyon aşamasındaki büzülmesini ölçen bir cihazdır. AcuVol’ün en büyük avantajı, materyalin büzülme hareketini büzülmenin öncesinde, sırasında ve sonrasında izleyebilmesidir. Bu durum materyalin hacimsel büzülme hareketinin takibini sağlar. Bu cihaz bilgisayara bağlı, kullanımı kolay, masaüstü bir cihazdır (Tiba ve diğerleri, 2005).

Dijital Görüntülerin Karşılaştırılması

Polimerizasyon büzülmesi ölçüm yöntemlerinden biri de dijital görüntülerin karşılaştırılması yöntemidir. Nonkontakt ve non invaziv bir yöntemdir. Büzülmenin düzlemsel ve üç boyutlu olarak incelenmesini sağlar. Yöntem, esasen örneklerin üzerinde bulunan boyaların büzülme sırasındaki hareketinin mikroskopik görüntüleme cihazlarıyla kaydedilmesi ve bu

hareketlerin bilgisayar programına bağlı bir algoritmayla yorumlanmasını içerir (Chuang ve diğerleri, 2011).

Polimerizasyon büzülme stresini olen yöntemler

Stres Analizi (Tensilometre)

Cihaz, iki çubuğun arasına bağlanmış rezin kompozitin polimerizasyon sırasında yarattığı streslerin ollmesi prensibi ile çalışır. Ollen değerlerin, başlangıç kesit alanına bölünmesiyle polimerizasyon stresi hesaplanmaktadır. Cihaza ek olarak bağlanmış devamlı geri bildirim yapan bir ekstensometre vardır (Ağaioğlu ve diğerleri, 2019). Cihazda bulunan çubuklara rezin kompoziti bağlamanın deformasyonu azaltacağı, dolayısıyla örneklerden ollen değerlerin normalden az olacağını savunan araştırmacılar da vardır (Witzel ve diğerleri, 2005).

Bioman Stres Olm Yöntemi

Watts ve arkadaşları (2003), ışıkla sertleşen rezin kompozitlerin polimerizasyon stresini olmek için özel bir cihaz geliştirmişlerdir. Cihazın bir yüzeyine elik bir çubuk, diğer yüzeyine ise cam bir plaka yerleştirilir ve cihaz C faktör oluşturacak şekilde pozisyonlandırılır. Polimerizasyon için ışık uygulanmasıyla, örnek materyal elik çubuğun ucunda harekete neden olur ve bu hareket hesaplanarak polimerizasyon ollr. Bu cihaz doldurucu partiküllerin şeklinin, büyüklüğünün kinetiğini olmek için de kullanılabilir (Soares ve diğerleri, 2017).

Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu elemanlar analizi genellikle materyallerin yüzey özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılsa da diş hekimliğinde μ CT'nin sonlu elemanlar analizi ile birlikte kullanımı, değerlendirmenin  boyutlu yapılmasını sağlar. Bu yöntem ile mine, dentin ve kompozit ara yüzeyindeki hangi alanların en çok başarısızlığa eğilimli olduğunu ve pre-stres alanlarını en aza indirmek için restorasyonların nasıl yapılması gerektiği analiz edilebilir. Bunun için örneklerin polimerizasyon öncesinde ve sonrasında görüntüleri alınır. Takiben, görüntüler bilgisayar programına aktarılır ve özel ara yüzler ile stres analizleri yapılır (Versluis ve diğerleri, 2004; Barinka ve diğerleri, 2003).

Kırık Analiz Yöntemi

Kırık analiz yöntemi, bir materyale ait polimerizasyon sonrası büzülmenin cam, seramik gibi kırılğan bir materyal üzerindeki çatlağın ilerlemesini arttırması prensibine dayanır. Cam veya seramik gibi bir materyalin üzerinde kaviteler / çatlaklar oluşturulur, üzerine rezin kompozit materyal yerleştirilir. Resin kompozit materyal polimerize edildikten hemen sonra çatlakların genişlemesi ve ilerlemesi incelenerek, materyalin polimerizasyonu hakkında yorum yapılır (De Melo Monteiro ve diğerleri, 2011; Ağaçoğlu ve Aytaç, 2019).

Tüberkül hareketi

Polimerizasyon büzülmesi, bağlanan yüzeyler arasındaki bağlantının kalitesine bağlı olarak tüberküllerin hareketine neden olabilir. Tüberkül hareketi, dişlerin dış yüzeyindeki tüberküllerin deformasyonunu ölçen gerilimölçerler, üç boyutlu optik tarayıcılarla dişlerin taranması ve mikrometreler ile ölçülebilir (Soares ve diğerleri, 2017).

Gerilimölçer

Gerilimölçer cihazının problemleri, dişlerin bukkal ve lingual duvarlarına yerleştirilerek resin kompozit materyalin polimerizasyonu sonrasında tüberküllerde oluşan gerilim ölçülür. Gerilimölçer, materyalin büzülmesini ölçtüğü gibi genişlemesini de ölçebilir (Sakaguchi ve diğerleri, 1991).

Üç Boyutlu Optik Tarayıcı

Üç boyutlu optik tarayıcı ile tüberküllerin hareketinin ölçümü için ilk önce dişler restorasyon öncesi ve sonrasında özel tarayıcılarla taranır. Görüntüler bir program ile bilgisayar ortamına aktarılır ve özel yazılımlar ile karşılaştırılır. Polimerizasyon öncesi ve sonrasında karşılaştırma yapabilmek için paslanmaz çelik küreler tarayıcıyla referans olarak taranır (Tantbirojn ve diğerleri, 2011).

Mikrometre

Mikrometreler, tüberkül hareketinin ölçümü için kullanılan pratik ve basit cihazlardır. Cihazın, iki ayrı ölçüm ucu vardır ve bu uçlar örneklerin tüberkül tepelerine yapıştırılan

çeşitli referans noktaları ile temastadır. Cihazın doğru ölçüm yapabilmesi için bir platforma sabitlenmelidir. Polimerizasyon öncesi ve sonrasında yapılan ölçümlerin istatistiksel analizi ile tüberkül hareketinin miktarı analiz edilir (Behery ve diğerleri, 2016).

Fotomikrometre

Fotomikrometre ile tüberkül hareketinin ölçümünün yapılmasında, örneklerin polimerizasyon öncesi ve sonrasında belirli büyütme oranlarında referans noktaları işaretlenerek fotomikrometrelerle fotoğrafları çekilir. Fotoğraflar, tungsten filmlere basılır. Sonra belirli oranlarda büyütme yapılarak referans noktaları arasında ölçümlerdeki değişim hesaplanır (Segura ve Donly, 1993).

Mikroskopi

Polimerizasyonun tüberkül hareketine etkisini ölçmek için kullanılan yöntemlerden biri olan mikroskopi yönteminde, örnekler mikroskobun inceleme tablasına konur ve oküler merceğinin retikülü ile örneklerin tüberkülleri üzerindeki referans noktaları çakıştırılır ve ölçümler yapılır. Polimerizasyon öncesi ve sonrası ölçümler karşılaştırılarak istatistiksel analiz yapılır (Suliman, Boyer ve Lakes, 1993).

Lazer Tarama

Tüberkül hareketinin ölçülmesinde kullanılan diğer bir yöntem de lazer tarama cihazının kullanılmasıdır. Bu cihazda, kırmızı diod lazer kullanılır. Taramalarla tüberkül hareketi hesaplanır (Miyasaka ve Okamura, 2009).

Interferometre

Interferometre, aşırı hassas ölçümlerde kullanılır. Interferometre, ışığı ışık bölücü gümüş bir tablaya yansıtıp, ikiye bölerek iki ayrı ışık kaynağı oluşturur. Her bir ışığın yol aldığı mesafenin farkı sensör tarafından algılanır, bilgisayar programına aktarılarak tüberkül hareketi hesaplanır (Suliman ve diğerleri, 1993).

2.5. Mikrosızıntı

Mikrosızıntı ilk olarak 1976 yılında Kidd tarafından “kavite duvarları ve restoratif materyal arasına ağız ortamındaki bakteriler ve ürünlerinin, tükürük, iyon ve enzimlerin geçişi” olarak tanımlanmıştır (Kidd , 1976). Bir restorasyonun başarısı ve klinik ömrünü etkileyen en önemli faktörlerden biri restorasyon kenarlarının sızdırmazlığıdır (Mirosořłowski ve diğerleri, 2015). Kavite duvarı ve restorasyon arasında oluşan mikroaralık, mikrosızıntıya neden olur ve bunun sonucunda restorasyon kenarlarında renklenme, sekonder çürük, pulpal inflammasyon, postoperatif ağrı gibi problemler ortaya çıkabilir (Bhatti, 2019).

Rezin esaslı restoratif materyallerin polimerizasyonu sırasında polimerizasyon büzülmesi, materyallerin su emmesi, dokular arasındaki fiziksel farklılıklar mikrosızıntı açısından başarıyı etkileyen faktörler olarak bildirilmiştir (Erdemir ve Yaman, 2011).

In vivo ve *in vitro* olarak mikrosızıntının değerlendirilmesi amacıyla literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak, bu yöntemlerin çoğu *in vitro*'dur. *In vitro* yöntemler ile moleküllerin, bakterilerin, radyoaktif maddelerin restorasyon ile kavite ara yüzeyindeki hareketini tespit edilebilmek mümkündür (Fabianelli ve diğerleri, 2007).

2.5.1. Mikrosızıntı Ölçüm Yöntemleri

Mikrosızıntının klinik ölçüm yöntemleri

USHPS Kriterleri

Diş hekimliğinde kullanılan restoratif materyallerin klinik performansını değerlendirmek için standart ölçütler gereklidir. Bu nedenle, 1971 yılında Ryge (Ryge, 1980) restoratif materyallerin estetik ve fonksiyonel performansını değerlendirmek amacıyla bazı kriterler yayınlamıştır. Bu kriterler; renk uyumu, kenar renklenmesi, anatomik form, kenar uyumu ve sekonder çürüktür. Aynı zamanda bu kriterler USPHS kriterleri olarak da adlandırılır (Ryge, 1980). Bu kriterlere göre restorasyonun klinik durumu alfa (ideal restorasyonlar), bravo (klinik olarak kabul edilebilir restorasyonlar), charlie (restorasyonun çevre dokulara zarar vermesi durumunda kısa süre de değiştirilmesi gereken restorasyonlar) ve delta (hemen değiştirilmesi gereken restorasyonlar) olarak sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma sonucunda

ise restorasyonların klinik olarak kabul edilebilir olup olmadığına karar verilir, ama bu kriterler restorasyonların başarısını değerlendirmez (Moncada ve diğerleri, 2014).

USPHS kriterlerinin restorasyonda meydana gelen küçük değişiklikleri ortaya çıkarmasındaki eksiklikler sonucu daha sonra modifiye USPHS kriterleri yayınlanmıştır (Arhun diğerleri, 2010).

FDI Kriterleri

Hickel ve arkadaşları (2010), 2007 yılında FDI kriterleri olarak tanımlanan yeni kriterler yayınlamıştır. Bu kriterler bir restorasyonun değerlendirilmesini estetik, fonksiyonel ve biyolojik kriterler olmak üzere üç gruba ayırır. Her grubun alt kategorileri vardır ve genel derecelendirme alt kategori puanlarına göre belirlenir. Alt kategoriler arasında en yüksek skor, ait olduğu ana kategorinin skorunu belirlemektedir (Hickel ve diğerleri, 2010). Eğer bir kriter ile ilgili klinik olarak kabul edilemez kararına varıldıysa, başarısızlıktaki gerçek neden kaydedilmeli ve “restorasyon tamir edilebilir mi?” yoksa “yeniden mi restore edilmeli?” kararı verilmelidir (Hickel ve diğerleri, 2010).

Boya Penetrasyonu Yöntemi

Sızıntının ölçümünde boyaların kullanımı en eski ve en yaygın kullanılan yöntemdir. 1895’lerin başlarında Fletcher amalgamın büzülmesini ölçmek amacıyla boya kullanmıştır (Going, 1972). Bu yöntemde kullanılan boyalar solüsyon veya farklı partikül içeren süspansiyonlar şeklindedir ve boyanın partikül büyüklüğünün dentin kanallarının çapından daha büyük (1-4 µm) olması tercih edilmektedir (Ayyıldız ve diğerleri, 2009).

Boya penetrasyon yönteminde kullanılan boyalar; metilen mavisi (%0.2-2), bazik fuksin (%0.5-2), floresan (%2-20), kristal viyole (%0.05), anilin mavisi (%2), gümüş nitrat (%50), toluidin mavisi (%0.25), eritrosin (%2) ve rodamin B (%0.2)’dir (Yavuz, Aydın, & Kaya, 2009).

Bu yöntem restore edilmiş dişin apeksinin tıkanması ile restorasyon dışında kalan tüm yüzeylerin cila veya mum ile kaplanmasından sonra, örneklerin belirli bir süre boya solüsyonu içerisinde bekletilmesi ile uygulanır. Sonrasında örnekler su altında yıkanır ve farklı yöntemler ile sızıntı miktarları değerlendirilir (Kidd, 1976; Erdemir ve Yaman, 2011).

Kesit Alma Yöntemi

Örneklerden kesit alınarak arzu edilen bölgeler mikroskop altında incelenir ve boyanın ne kadar penetre olduğuna dair ölçüm yapılır (Ayyıldız ve diğerleri, 2009).

Şeffaflaştırma Yöntemi (Dehidratasyon- Deminerilizasyon)

Bu yöntemde, dişler önce 48 saat kadar %5'lik nitrik asitte bırakılarak dekalsifiye edilir. Dehidratasyon aşaması ise dekalsifikasyondan sonra dişlerin 24 saat boyunca %80'lik etil alkolde, ardından 2 saat %90'lık etil alkolde ve son olarak 3 saat %100'lük etil alkolde bırakılmasıyla yapılır. Bu aşamadan sonra 24 saat metil salisilatta bırakılan dişler tamamen şeffaflaşır. Şeffaflaşan örneklerde boya penetrasyonu izlenebilir hale gelir ve bu örneklerin kayıt altına alınabilmesi için örnekler fotoğraflanır (Robertson, 1980).

Volümetrik Ölçüm Yöntemi (Boya Çıkarma Yöntemi)

Bu yöntemde, dişler %2'lik metilen mavisinde 72 saat süreyle bekletildikten sonra distile su ile yıkanır ve daha önceden dişlere uygulanmış olan tırnak cilası kazınır. Örnekler daha sonra %35'lik nitrik asit solüsyonunda 72 saat bekletildikten sonra tüpler santifrüj edilerek solüsyondaki katı parçacıkların çökmesi sağlanır. Yüzeydeki solüsyondan bir miktar alınarak spektrofotometrik analiz yapılır ve penetre olan boya miktarı özel denklemlerle kimyager eşliğinde ölçülür (Yavuz ve diğerleri, 2009).

Mikroskobik İnceleme Yöntemleri

SEM (Taramalı elektron mikroskobu)

Taramalı elektron mikroskobu, materyallerin yüzey özelliklerinin incelenmesini sağladığı gibi restorasyonların kenar adaptasyonlarının istenen büyütme ile izlenmesini de sağlar (Lee ve Swartz, 1970). Diğer sızıntı inceleme yöntemleri ile beraber kullanılarak elde edilen sonuçların yorumlanması için kullanılır (Ayyıldız ve diğerleri, 2009). Kesit alma sırasında örneklerde boşluk oluşturulması sonuçların yanlış yorumlanmasına yol açabilir. Direkt ve indirekt olmak üzere iki yöntem ile uygulanır.

Direkt yöntemde, yapılan restorasyondan alınan kesitlerin direkt SEM altında incelenmesi ve elde edilen verilerin yorumlanması yöntemidir. *In vitro* çalışmalarda uygulanabilir. Örneklerin mikroskobu için hazırlanması sırasında bozulmalar oluşabilir (Erdemir ve Yaman, 2011).

İndirekt yöntemde, *in vivo* çalışmaların incelenmesi için uygulanabilecek bir yöntemdir. Ağız içinde oluşturulan restorasyonların replikaları oluşturulup bu replikaların SEM ile incelenmesi prensibini temel alır. Bu yöntemle, örnek hazırlama sırasında oluşabilecek hataların önüne geçilmiş olur (Going, 1972).

Konfokal Lazer Tarama Elektron Mikroskobu

Konfokal mikroskopi, materyallerin yüzeylerinin altındaki ince optik bölümlerin incelenmesi için kullanılır. Materyallerin incelenmesinde floresan (rodamin) boyalar kullanılır. Mikroskop lensi ile incelenecek yüzey arasında inceleme sırasında özel bir likit kullanılır (Watson, 1994). Ayrıca, floroforlar diş ve restorasyon arasındaki ara yüzeyde sıvı penetrasyonu için marker olarak da işlev görebilir (Mannocci, 2001). Bu yöntemle materyalin yüzey altındaki özelliklerinin izlenebilmesi, kesilerek örnek hazırlanan yöntemlere kıyasla boyanın dokulara bulaşmasını engellerken polisaj sebebiyle oluşabilecek boya penetrasyonu artefaktını da önler (Lopes ve diğerleri, 2009). Tarayıcı lazer ışını 488 nm dalga boyuna sahip argon-ion lazerdir. Cihazın reflection (yansıma) modunda mine, dentin ve restoratif materyal gibi spesifik optik özelliklere sahip yapıların ayrımı yapılırken, floresan modunda boyayıcı ajanın dağılımı incelenebilmektedir (Erdemir ve Yaman, 2011).

Bakteriyel Sızıntı

Mikrosızıntı inceleme yöntemlerinde kullanılan testlerden olan bakteriyel sızıntı testi, incelenecek restorasyon kenarlarına spesifik mikroorganizmaların penetrasyonunun incelenerek, skorlanması prensibi ile çalışır. İncelenecek örnekler aseptik yöntemler kullanılarak hazırlanır, belirli sürelerle spesifik mikroorganizma içeren solüsyonlarda bekletilir. Bu örneklerden alınan kesitler gram boyamaya tabi tutulduktan sonra mikroskop altında incelenerek mikroorganizma penetrasyonları incelenir (Cobanoğlu ve diğerleri, 2014). Bakteri sızıntısının incelenebilmesi için kavite duvarlarıyla restorasyon materyali arasındaki 0,5-1 µm arasında mikroaralık olması gereklidir. Bundan daha küçük boşluklar

bakteri toksinlerinin ve diğerk bakteri ürünlerinin geçmesine izin vermezler. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar kantitatif değil kalitatiftir (Lynch ve Taylor, 1992).

Radyoizotop Kullanımı

Bu yöntemle göre restorasyon yapılmış örnekler hazırlandıktan sonra, restorasyon bölgesi dışında kalan alanlar örtülür. Örnekler özel boyaların içerisinde belirli süreler bekletildikten sonra yıkanır, kurutulur ve restorasyon olan bölgelerden kesitler alınır. Kesiti alınmış olan örneklerin radyografilerinin çekilmesinin ardından boyanın sızdığı bölgeler radyografi filmlerinde incelenir ve skorlanır (Charlton ve Moore, 1992). Kenar sızıntısı çalışmalarında en yaygın kullanılan izotop, kalsiyum klorür (CaCl_2)'dür. CaCl_2 kolay elde edilir, zayıf bir beta yayıcısıdır ve radyografilerde keskin bir görünümü verir. Diğerk kullanılan izotoplar; I^{131} , Ca^{45} , S^{35} , Na^{22} , C^{14} , P^{32} radyoizotoplarıdır (Delivanis ve Chapman, 1982). Tekniğın en büyük dezavantajı, değerklendirmelerin subjektif olarak yapılabilmesidir.

Nötron Aktivasyon Testi

Bu yöntem ilk kez Going ve arkadaşları (Going ve diğerkleri, 1968) tarafından manganez işaretleyicileri kullanılarak *in vivo* ve *in vitro* çalışmalarda kullanılmıştır. Sonrasında bu yöntem Meyer tarafından geliştirilmiş ve işaretleyici olarak dysprosium kullanılmaya başlanmıştır. Restorasyon kenarlarına işaretleyici yerleştirildikten sonra kenarlarından sızması sağlanır ve nükleer bir reaktörün çekirdeğine yerleştirilerek nötron akışı ile bombardımana uğratılıp örneklerin sızıntısı foton spektrofotometresiyle ölçülür. Standart hazırlanmış solüsyonların ölçümleri ile bu ölçümler karşılaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılır ve karşılaştırılır (Douglas ve diğerkleri, 1980). Bu yöntem ile elde edilen sonuçlar kantitatifdir. Ancak bu yöntem pahalı ve karmaşıktır, hangi noktadan sızıntı olduğu, restorasyon kenarları dışında nereden izotop emilimi olduğunu göstermediğı bildirilmiştir (Erdemir ve Yaman, 2011).

Elektrokimyasal Yöntem

Mikrosızıntı ölçümünde, elektrokimyasal yöntemin uygulanması için restore edilmiş dişin kökünden restorasyonun tabanına temas edecek şekilde bir elektrodun yerleştirilmesinin ardından dişin elektrolit banyoya yerleştirilmesi gerekmektedir. Dişin, elektrolit banyo

solüsyonunun ve sızıntının olduğu bölgedeki elektrik akışı ölçülüp var olan sapmalar kaydedilir. Sapmalar ile mikrosızıntının miktarı değerlendirilir. Bu ölçüm yöntemi metalik restorasyonlarda uygulanamaz. Hızlı sonuç verir, tekrarlanabilir (Pradelle-Plasse ve diğerleri, 2004).

Sıvı Filtrasyon Yöntemi

Sıvı filtrasyon yönteminin çalışma prensibi, restore edilmiş diş uygulanan sıvının sızıntı yapan bölgelerden kaçış göstermesi ile mikrosızıntının tespitidir. Bunun için ilk önce kavite açılmış diş cihaza yerleştirilir, kavite açılmış dişin sıvı seviyesi kaydedilir, sonrasında restorasyon yapılmış dişin sıvı seviyesi kaydedilir. Zaman içinde sıvı seviyesinde oluşan değişim sistemdeki borunun içerisinde bulunan hava baloncuğunun hareketi ile takip edilir ve bu hareket mikrosızıntı olarak kaydedilir (Derkson ve diğerleri, 1986). Bu yöntem ile kantitatif sonuçlar elde edilebilir, sonuçlar tekrarlanabilir ve örneklere zarar verilmeden ölçüm yapılabilir (Orucoğlu ve diğerleri, 2005).

İnsan Serum Sızıntı Yöntemi

Genelde kök kanal dolgusunun ya da retrograd dolgunun sızdırma başarısının ölçüldüğü bu yöntemde, dişlerin kök kanal preparasyonu yapıldıktan sonra sızdırmanın ölçülmeyeceği bölgeler tırnak cilası ile örtülür. Kanal dolgusunun sızdırmazlığı ölçülecek ise apikal üçlü retrograd dolgunun sızdırmazlığı ölçülecek ise kanal içi tamamen boş bırakılarak örnekler hazırlanır. Örnekler en az 5 mm kök albümin içerikli sıvı ile temasta olacak şekilde sızdırmaz bir sistemin içine yerleştirilir ve sistemin dışında kalan kısımdan kök içerisine radyoizotoplar enjekte edilir. İstenilen zaman dilimlerinde albümin içerikli sıvıdan örnekler alınır ve albümin içerikli sıvıya geçen radyoizotop miktarı beta spektrofotometre ile ölçülür (Danin ve diğerleri, 1992).

Hava Basıncı

Hava basıncı yöntemi Harper (1912) tarafından, ilk olarak 1912 yılında uygulanan bir yöntemdir. Bu ölçüm yöntemi su altına yerleştirilen restorasyona uygulanan basınç sonrasında hava kabarcıklarının çıkışının mikroskopik olarak incelenmesi prensibine dayanır. Bu yöntemle, örnekler zarar görmese de basınçlı havanın restorasyon boyunca

geçerken oluşturduğu kurutma etkisi göz ardı edildiği için klinik durumu tam olarak yansıtmaz (Going, 1968; Kidd , 1976).

Micro BT

Mikro BT, geleneksel bilgisayarlı tomografinin daha da geliştirilmesiyle uygulanan invaziv olmayan bir yöntemdir. Bu yöntem ile restorasyonların kaviteye adaptasyonları ve internal boşlukları görüntülenip değerlendirilebilmektedir. Cihaz ile bir kaynak etrafında dönen objenin çoklu projeksiyonları alınır ve X-ray'e bağlı sensörler ile bilgisayara aktarılır (Swain ve Xue, 2009). Restorasyonlar uygulandıktan sonra örnekler gümüş nitrat muamelesi yapılır. X-ray ışınları kullanılarak görüntüleme yapıldıktan sonra, gümüş nitrat'ın infiltre olduğu alan incelenir. Hacimsel olarak da ölçüm yapılabilir. Bu yöntemin avantajı, örneklerin zarar görmeden incelenebilmesi ve kesitsel birden fazla görüntü alınabilmesidir (Neves ve diğerleri, 2014).

Kimyasal İşaretleyici

Bu yöntemde, radyoaktif olmayan iki bileşenli renksiz boyalar kullanılmaktadır. Kullanılan bileşenler birbirleriyle reaksiyona girerek sızıntı olan bölgelere çöker ve o bölgelerde boyama sağlanır. Kullanılan kimyasal işaretleyiciler, radyoaktif özellik taşımazlar (Lynch ve Taylor, 1992). Sızıntının incelenebilmesi için kullanılan her iki bileşenin de penetrasyon yeteneğinin olması gerekmektedir. Boyama yapılırken en çok %50'lik gümüş nitrat kullanılmaktadır (Erdemir ve Yaman, 2011). Gümüş iyonları bakterilerden daha küçük boyuttadır ve oluşan mikroaralıktan sızabilir. Bu nedenle bu yöntem objektif ölçüm sağlar, kantitatif veriler elde edilebilir ve hassas ölçümler sağlayabilir. Sonuçların subjektif değerlendirilmesi ise bu tekniğin dezavantajıdır (Ayyıldız ve diğerleri, 2009).

Gümüş nitrat kullanıldığında cam iyonmer restorasyonların gümüşü yapısına aldığı ve boyandığı, amalgam restorasyonlarda ise gümüş iyonlarının amalgam bileşenleriyle reaksiyona girerek, mikroaralık boyunca yayılamadığı tespit edilmiştir (Erdemir & Yaman, 2011).

Yapay Çürük Oluşturma Yöntemi

1960'ların sonunda, amalgam restorasyon ve kavite arasındaki mikrosızıntının tespiti için restorasyon kavite ara yüzeyinde deneysel çürük lezyonu oluşturulması öne sürülmüştür. Bu bölgede çürük oluşması, materyalin mikrosızıntısı ile ilişkilendirilmiş, ancak oluşturulan çürüğün histolojik yapısından bahsedilmemiştir (Ellis ve Brown, 1967).

Bazı araştırmacılar asidifiye jelatin jel tekniği ile restorasyon çevresinde çürük oluşturmuş, lezyonu kavite duvar lezyonu ve dış lezyon olmak üzere iki ayrı grupta incelemiştir. Polarize ışıktaki görülen deneysel çürüğün kavite duvarındaki kısmını mikrosızıntıyla ilişkilendirmişlerdir. Lezyonun derinliğinin, ölçülebilir bir değer olarak kabul edilebilir olması yanında demineralizasyon miktarı subjektif olarak değerlendirilebilir (Kidd , 1976).

2.6. Mekanik Özellikler / Kırılma Dayanımı

Diş çürüğü mine ve dentine hasar verir ve diş restore edilse dahi dişin fonksiyonu ve şekli bu hasar sebebiyle kalıcı olarak zayıflar. Restoratif materyaller, hasarlı dişlerin tedavisinin yanı sıra fonksiyonlarının iyileştirilmesi için kullanılır (Chun ve Lee, 2014).

Vücuda belirli bir kuvvet veya yük uygulandığında, aynı yoğunlukta ve zıt yönde bir karşı bir kuvvet (tepki) üretilir. Bu durum da internal stres ile sonuçlanır. Uygulanan bu kuvvetin yarattığı cevabın ölçülmesi mümkündür. Uygulanan yükün karakteristiğine göre test edilen materyalin cevabı değişkenlik gösterirken bazen bu durum materyalin deformasyonu ile sonuçlanabilir (Wang ve diğerleri, 2003).

Endodontik tedavi görmüş dişler, çürüğün temizlenmesi ve giriş kavitesi açılması nedeniyle fazla diş dokusu kaybı, önceki büyük restorasyonlar, agresif şekillendirilmiş kanallar sebebiyle kırılmaya daha yatkındır (Gürel, 2016). Endodontik tedavi görmüş dişler arasında en çok kırılan dişler üst çene küçük azılar olduğu birçok çalışmada ortaya konmuştur (Tamse ve diğerleri, 1999; Testori ve diğerleri, 1993). Üst çene küçük azıların kırık analizi, lingual tüberküllerin sıkıştırma kuvveti altında daha sık kırıldığını ortaya çıkarmıştır (Gürel ve diğerleri, 2016).

Dişler, çiğnemenin sıkıştırma (compressive) fonksiyonu esnasında lingual/palatinalden yatay, oklüzalden vertikal kuvvetlere maruz kalır. Bu ağız içerisindeki dinamik durum

restorasyonlar ve dişler üzerinde olumsuz etkiler göstererek deformasyonlara yol açabilir (Wang ve diğerleri, 2003).

Her farklı durum için restorasyonlar farklı özellikler gösterebilirler, bu nedenle farklı özellikleri değerlendirmek için literatürde farklı *in vitro* testler bulunmaktadır. Her testin kendine has bir tasarımı vardır ve belirli özellikleri değerlendirilir. Çiğneme kuvvetlerinin sıkıştırma özelliğinden dolayı restoratif materyallerin sıkıştırma tipi kuvvetlerle test edilmesi önemlidir (Wang ve diğerleri, 2003).

Materyallerin testinde kullanılan en önemli cihaz universal test cihazıdır bu cihazla bükülme, sıkıştırma, kesme ve çekme dayanımı ölçülebilir. Sıkıştırma dayanımı ölçülürken, örneğe yüklenen aksiyal yük materyalin sıkıştırma dayanımını ve elastik modülüsünü ortaya çıkartır. Testin uygulanması sırasında materyale önemli olan uygulanan kuvvetle beraber örneğin içerisindeki gerininin uniform olmasıdır, uygulanan yükün örneğin eksenine paralel olmaması durumunda materyalin içerisinde bükülme tipi stresler oluşabilir (Vitalariu ve diğerleri, 2015).



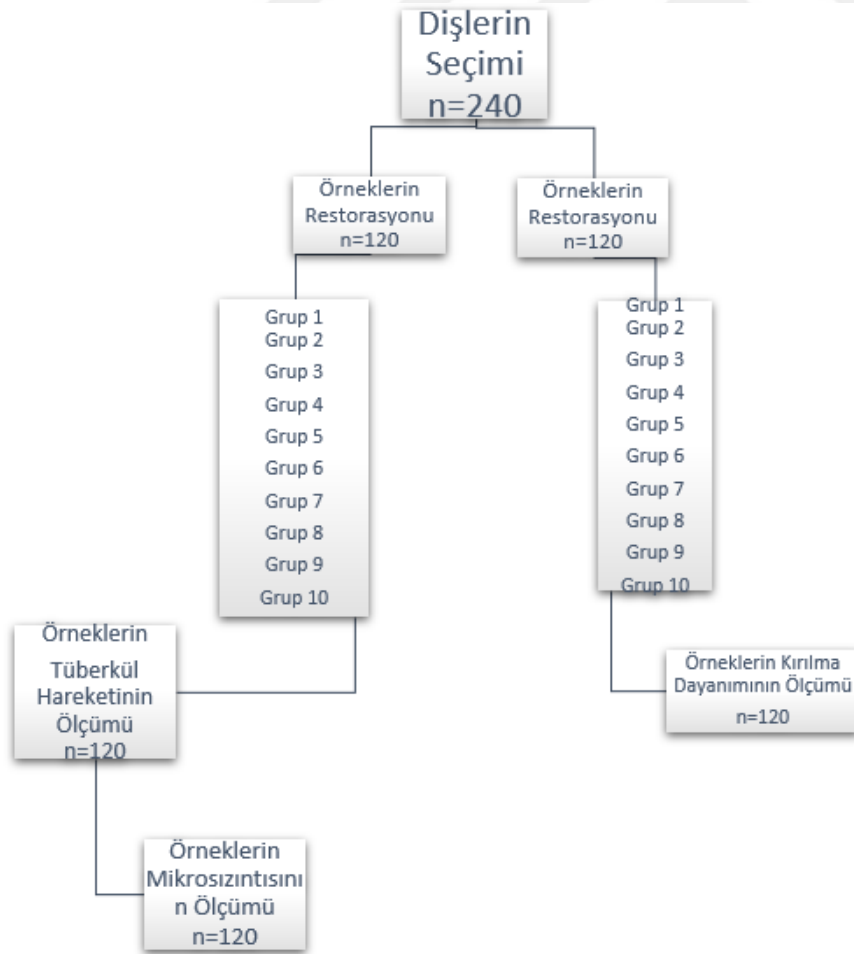
3. GEREÇ VE YÖNTEM

In vitro olarak planlanan tez çalışmamıza, Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurul'u tarafından 21.03.2019 tarihli GÜDHKAEK.19.06/1 karar no'lu etik kurul onayı alınarak başlandı.

Çalışmanın tüm deney aşamaları, Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi.

Çalışmanın deney aşaması;

1. Tüberkül hareketinin ölçümü
2. Kırılma dayanımının ölçülmesi ve
3. Mikrosızıntının değerlendirilmesi olmak üzere üç ayrı bölümde gerçekleştirildi (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışmanın akış şeması

3.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller

Çalışmada kullanılan materyallerin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan materyallerin özellikleri

Çalışmada kullanılan materyaller	Renk	Tipi	Rezin matriks yapısı	İnorganik doldurucu
Filtek Z250 Universal (3M ESPE, St. Paul, MN, ABD)	A2	Mikrohibrit rezin kompozit	Bis-GMA, UDMA, BisEMA	Zirkonya/Silika
Surefill SDR (Dentsply, Milford, DE, USA)	A2	Düşük viskoziteli bulk-fill rezin kompozit	TEGDMA, EBADMA, UDMA	Baryum borosilikat cam
Ever-X Posterior (GC, Leuven, Belgium)	A2	Fiber içerikli yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozit	Bis-GMA, PMMA, TEGDMA	Kısa E-tipi cam fiber doldurucu, baryum cam
Filtek Bulk-fill Posterior (3M ESPE, St. Paul, MN, ABD)	A2	Yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozit	Bis-EMA, UDMA	Zirkonya
Single Bond Universal (3M ESPE, St. Paul, MN, ABD)	A2	Adeziv	Bis-GMA, MDP, dimetakrilat rezin, HEMA, Vitrebond kopolimer, silan, etanol, su	
İnterlig (Angelus, Londrina, PR, Brazil)	-	Kompozitle Doyurulmuş Örgü Cam Fiber	%60±5 Cam Fiber %40±5 Bis-GMA, diüretan, barium cam içerikli rezin ile doyurulmuş	

3.2. Çalışmada Kullanılacak Dişlerin Hazırlanması

Çalışmada ortodontik tedavi veya periodontal hastalık nedeniyle çekilmiş 240 adet sağlam insan üst çene ikinci küçük azı dişi kullanıldı. Dişlerin çürüklü, restorasyonlu, çatlak ya da defektli olup olmadığı loop (EyeMag Pro, Carl Zeiss Meditec, Inc., USA) ile kontrol edilerek çürüklü, restorasyonlu veya çatlak bulunan dişler çalışmaya dahil edilmedi. Dişlerin üzerindeki eklentiler keskin el aletleri ile uzaklaştırıldıktan sonra, dişler düşük devirde çalışan mikromotor (Kavo, Germany) ile fırça ve pomza yardımıyla temizlendi.

Takiben, çalışmada kullanılacak dişler her birinde 12 adet olacak şekilde rastgele on gruba ayrıldı. Her bir gruptaki dişlerin boyutlarının standart olması amacıyla dişlerin bukko-

palatinal genişlikleri ölçülerek (Çizelge 3.2), her grup için ortalama bukko-palatinal boyutları hesaplandı. Daha sonra, grupların ortalama bukko-palatinal boyutları arasındaki farklılık tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) ile incelenerek, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı doğrulandı ($p>0.999$).

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan dişlerin bukko-palatinal genişlikleri

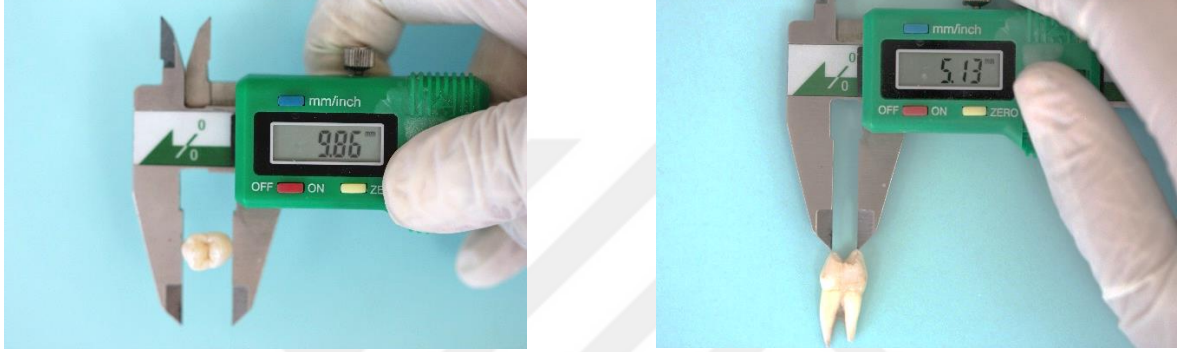
	Denek sayısı	Ortalama \pm Standart sapma
Grup 1	12	9.126 \pm 0.936
Grup 2	12	9.132 \pm 0.711
Grup 3	12	9.113 \pm 0.655
Grup 4	12	9.112 \pm 0.635
Grup 5	12	9.109 \pm 0.552
Grup 6	12	9.113 \pm 0.601
Grup 7	12	9.113 \pm 0.601
Grup 8	12	9.112 \pm 0.586
Grup 9	12	9.110 \pm 0.586
Grup 10	12	9.108 \pm 0.588
F istatistiği		0.002
p-değeri [†]		>0.999

Dişlerin çalışmada kullanılıncaya kadar bekleme sürelerini standardize edebilmek için çalışmaya başlama sürecinden en fazla 6 ay önce çekilen dişler çalışmaya dahil edildi. Çalışmaya başlamadan önce, dişler çalışmada kullanılıncaya kadar distile su içerisinde 37⁰C’de bekletildiler. Distile su periyodik olarak her hafta tazelandi. İşlem yapılmadan önce dişler dezenfeksiyon amacıyla 37⁰C’de %0,1’lik timol solüsyonunda bir hafta bekletildi.

Kavitelerin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan tüm dişlerde kavite boyutlarını standardize etmek amacıyla, kavite genişliği dişlerin bukkal ve palatinal tüberküller arası mesafenin 2/3’ü, okluzal isthmus

bukko-palatinal genişliğin ortasında, gingival basamak mine-sement sınırının 1 mm yukarısında olacak şekilde suya dayanıklı kalem (Faber-Castell, Germany) ile işaretlendi. İşaretlenmesi yapılmış tüm dişlere, yüksek devirli aeratör ile su soğutması altında elmas fissür frezler (Diamond Bur, Dentsply Sirona, Switzerland) kullanarak MOD kavite hazırlandı. Bukkal ve palatinal duvarların birbirlerine paralel olmasına dikkat edildi ve frezler her beş kavite preparasyonundan sonra değiştirildi. Kavite boyutları, işaretlemelere ek olarak, kavite preparasyonu süresince periodontal sond ile kontrol edildi.



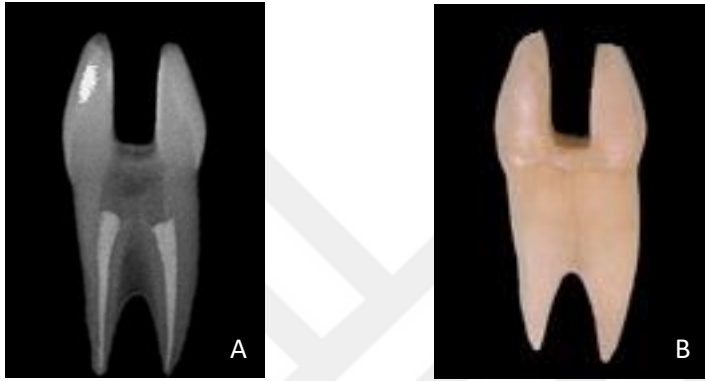
Resim 3.1. Dişlerin boyutlarının dijital kumpas ile kontrolü

Kök Kanal Tedavilerinin Yapılması

Kök kanal tedavisi için dişlere, dişlerin uzun aksına dik olacak şekilde elmas frezler (Diamond bur, Dentsply Sirona, Switzerland) ile su soğutması altında kanal giriş kavitesi açıldı. Her dişin çalışma boyutu, 10 numaralı K tipi eğe (Kendo, VDW, Germany) ile foramen apikale'den 1 mm kısa olacak şekilde hesaplandı.

Tüm dişlerin pulpa dokuları tirnerf (Dentsply Maillefer, Switzerland) ile uzaklaştırıldıktan sonra, kök kanalları endodontik mikromotor (DentaPort ZX, Morita, Japan) ve Protaper Universal NiTi döner aleti (Dentsplay Maillefer, Switzerland) ile üretici firmanın önerisi doğrultusunda (sırayla SX, S1, S2, F1 ve en son F2 eğesi kullanılarak) crown-down yöntemine göre şekillendirildi. Her kanal aletinden sonra, kanallar 10 saniye boyunca %2,5'lük sodyum hipoklorit (NaOCl, Endosolve HP, Imycril, Turkey) ile yıkandı. Kök kanallarının genişletme işlemi tamamlandıktan sonra, son kez kök kanalları yine %2,5'lük sodyum hipoklorit ile yıkanarak, kök kanalları kâğıt konlarla (Diadent, Chongchong Buk Do, South Korea) kurutuldu.

Takiben, kök kanallarına kanal dolgu patı (AH Plus, Dentsply, De Trey, Germany) ve F2 boyuttaki eğe ile uyumlu ana kon (Dentsply Maillefer, Switzerland) yerleştirildi. Ana kon ile kök kanal duvarı arasındaki boşluk ise daha ince guta-perkalar ile dolduruldu. Kök kanallarına yerleştirilen konlar, guta-perka kesici aleti (Gutta Percha Cutter, Dentsply Maillefer, Switzerland) ile kök kanal ağızlarında kesildikten sonra, guta-perkalar kanal ağızlarında kondense edildi. Kök kanalları doldurulduktan sonra, her dişten radyografi alınarak, kanal dolguları kontrol edildi (Resim 3.2).



Resim 3.2. A. Endodontik tedavisi tamamlanmış MOD kaviteli dişin radyografik görüntüsü
B. Endodontik tedavisi tamamlanmış MOD kaviteli dişin görüntüsü

Kök kanal tedavisi tamamlanan dişler, polivinil klorür (PVC) borular içine dökülmüş akrilik rezinlere (Paladent RR, Heraeus Kulzer, GmbH Co., Germany) köklerin uzun eksenleri yere dik gelecek ve mine-sement bileşiminin 2 mm altında olacak şekilde gömüldü.

3.3. Çalışmada Kullanılacak Dişlerin Restorasyonu

Akrile gömülen dişlerin restorasyonu aşamasında, ilk olarak kavitelerin mine yüzeylerine 30 saniye, dentin yüzeylerine 15 saniye %37'lik fosforik asit (Scotchbond Universal Etchant, 3M ESPE, USA) uygulandı. Takiben, kaviteler 30 saniye su ile yıkandı, 5 saniye basınçlı hava ile kurutuldu. Kurutulan kavitelere adeziv rezin (Single Bond Plus, 3M ESPE, USA) üreticinin talimatlarına göre 20 saniye uygulandı ve LED ışık cihazıyla (Elipar FreeLight S10, 3M ESPE) 20 saniye ışık uygulanarak polimerize edildi. Restorasyondan önce, aproksimal kutunun restore edilmesini kolaylaştırmak için restorasyonun gingival tabanını örtecek şekilde teflon band ile kron çevrelendi (tüberkül hareketi ölçümleri üzerinde olumsuz etkileri olabileceğinden matriks kullanılmadı). Takiben, dişler, aşağıda tanımlanan şekillerde restore edildi.

Grup 1'deki dişlere; hiçbir restorasyon uygulanmadı (sağlam diş - pozitif kontrol grubu).

Grup 2'deki dişlere; MOD kavite açıldı, endodontik tedavi uygulandı, ama herhangi bir restorasyon yapılmadı (negatif kontrol grubu). Bu iki grup sadece tez çalışmamızın kırılma dayanım testinde kullanıldı.

Grup 3'deki dişler; Filtek Z250 ile üretici firmanın önerisi doğrultusunda ikişer milimetrelik tabakalar halinde inkremental teknik ile kaviteye yerleştirildi ve her tabaka 20 saniye LED ışık cihazı ile polimerize edilerek restorasyonlar tamamlandı.

Grup 4'deki dişler; 2 mm genişliğinde 6.5 mm uzunluğunda örgü cam fiber şeritlere (Angelus Interlig, Angelus, Brazil) adeziv emdirilerek, kavite tabanına bukkal-palatinal yönde (-U- şeklinde) yerleştirildi ve 20 saniye LED ışık cihazı ile polimerize edildi. Takiben, dişler Grup 3'te olduğu gibi Filtek Z250 ile restore edildi.

Grup 5'deki dişler; Filtek Bulk-fill Posterior üretici firmanın önerisi doğrultusunda 4'er milimetrelik tabakalar halinde kaviteye yerleştirildi ve her tabaka 20 saniye LED ışık cihazı ile polimerize edilerek restorasyonlar tamamlandı.

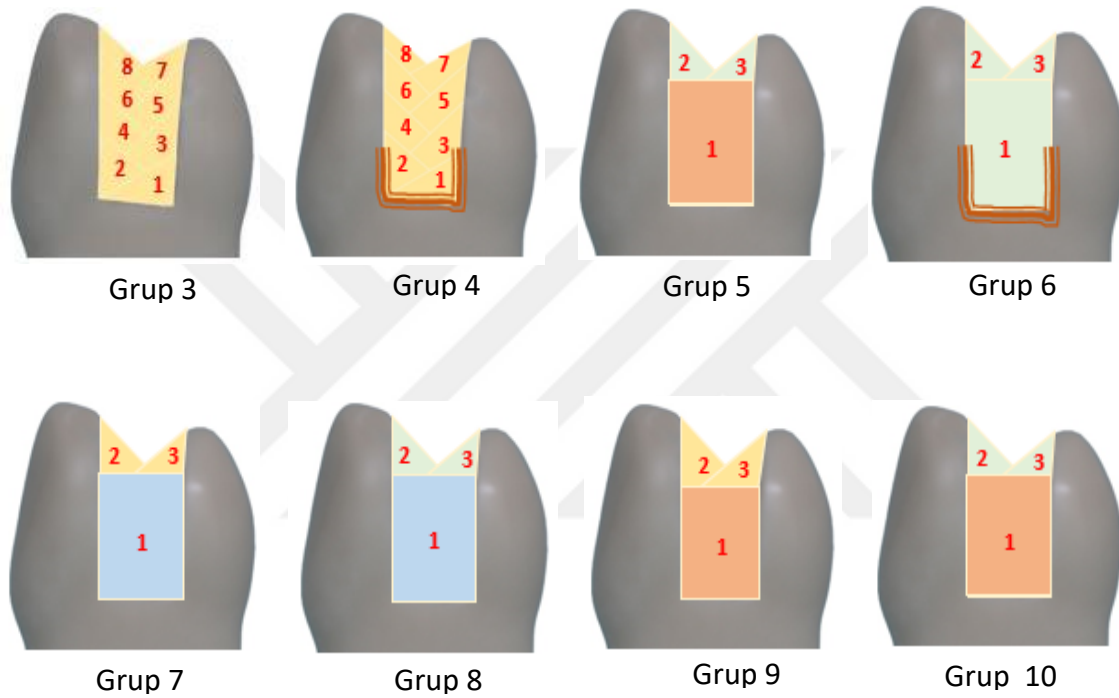
Grup 6'deki dişler; 2 mm genişliğinde 6.5 mm uzunluğunda örgü cam fiber şeritlere adeziv emdirilerek, kavite tabanına bukkal-palatinal yönde (-U- şeklinde) yerleştirildi ve 20 saniye LED ışık cihazı ile polimerize edildi. Daha sonra, dişler Grup 5'te olduğu gibi Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edildi.

Grup 7'deki dişlerin proksimal kavitelerinin eksternal duvarları Filtek Z250 ile çevresel olarak restore edildi. Daha sonra, kavitenin tabanına EverX Posterior 4 mm kalınlığında, üretici firmanın önerisi doğrultusunda yerleştirildi ve 20 saniye LED ışık cihazı ile polimerize edildi. EverX Posterior'un üzerine ise tek bir tabaka Filtek Z250 yerleştirilerek restorasyon tamamlandı.

Grup 8'deki dişler de Grup 7'deki dişler ile aynı şekilde restore edildi. Sadece Filtek Z250 yerine Filtek Bulk-fill Posterior kullanıldı.

Grup 9'daki dişlerin; kavite tabanına Surefill SDR 4 mm kalınlığında yerleştirildikten sonra, 20 saniye LED ışık cihazı ile polimerize edildi. Takiben, kavite Filtek Z250 ile restore edildi.

Grup 10'daki dişlerin; kavite tabanına Surefill SDR 4 mm kalınlığında yerleştirildikten sonra 20 saniye LED ışık cihazı ile polimerize edildi. Takiben, kavite Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edildi.



Resim 3.3. Çalışmada kullanılan restorasyonların şematik gösterimi

3.4. Tüberkül Hareketinin Ölçümü

Çalışmada test edilen deney gruplarında polimerizasyon büzülmesine bağlı olarak oluşan tüberkül hareketinin ölçülmesi amacıyla Dijital Mikrometre Cihazı (BPX44, TESA, Hexagon, Spain) ve bu cihazın bağlı olduğu Tesa Interface Software yazılımı kullanıldı. Deneylere başlamadan önce, cihazın ölçümlerini standardize edebilmek amacıyla, cihaz 35x25x3cm boyutlarında ahşap bir tablaya sabitlendi.

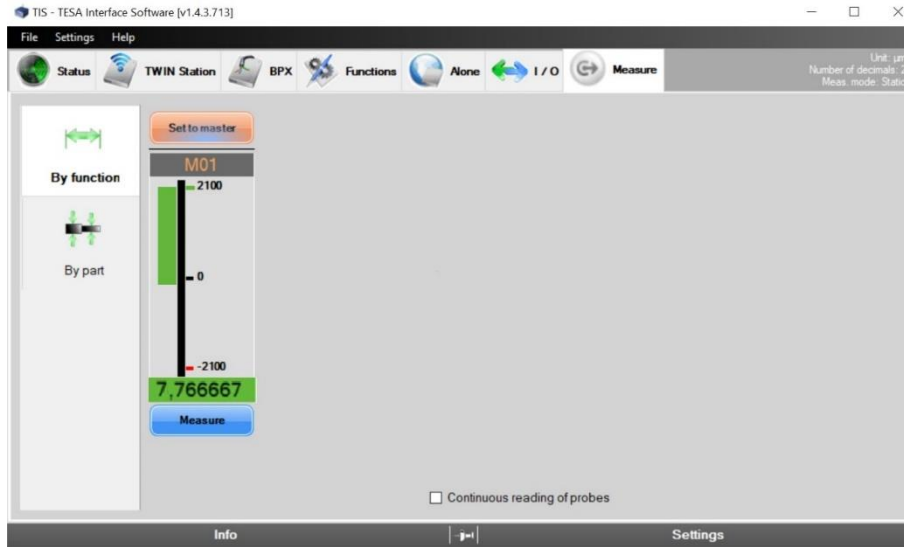
Polimerizasyon büzülmesinden dolayı oluşan tüberkül hareketini ölçmek için dişlerin bukkal ve palatinal tüberkül tepelerine silika boncuklar yapıştırıcı (Pattex Ultra, Pattex, Germany) ile yapıştırıldı. Takiben, dişlerin restorasyon öncesi tüberkülleri arasındaki mesafe ölçüldü.

ve bu değer bazal ölçüm olarak kaydedildi. Her ölçümünden önce de ölçümün standardizasyonu için cihaza ait master blok kullanılarak ölçümün kalibrasyonu sağlandı.

Daha sonra, dişler yukarıda tanımlandığı şekilde restore edildi. Restorasyonları tamamlanan dişlerin tüberkül hareketleri, son tabakaya ışık uygulanmasından 30 saniye, 180 saniye, 240 saniye ve 300 saniye sonra hata payı 0.05 µm olan dijital mikrometre cihazı ile ölçüldü ve elde edilen veriler kaydedildi.



Resim 3.4. Tüberkül hareketinin ölçümü



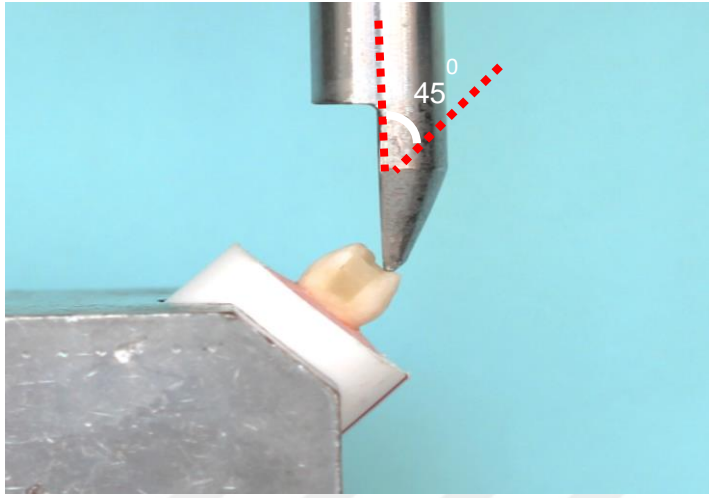
Resim 3.5. Tesa Interface Software ile tüberkül hareketinin ölçümü

3.5. Kırılma Dayanımının Ölçülmesi

Kırılma dayanımını ölçmek için universal test cihazı (Shimadzu, Tokyo, Japan) ve Trapezium bilgisayar yazılımı kullanıldı. Bunun için test cihazına monte edilen dişlerin

kronlarına 4 mm çaplı çelik küresel uç restorasyon diş arayüzü üzerinden 45° lik açı ile dişlerin palatinal tüberkülüne 1 N'luk yük uygulandı. Yükün uygulama hızı 0,5 mm/dk olacak şekilde ayarlama yapıldı. Restorasyon veya dişin kırıldığı değer Newton (N) cinsinden kaydedildi.

Kırılan örneklerin kırık tipleri, ışık mikroskopunda (Olympus SZ40, Tokyo, Japan) x40 büyütmede incelendi ve kırılma tipleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılarak kaydedildi.



Resim 3.6. Kırılma dayanımının ölçümü

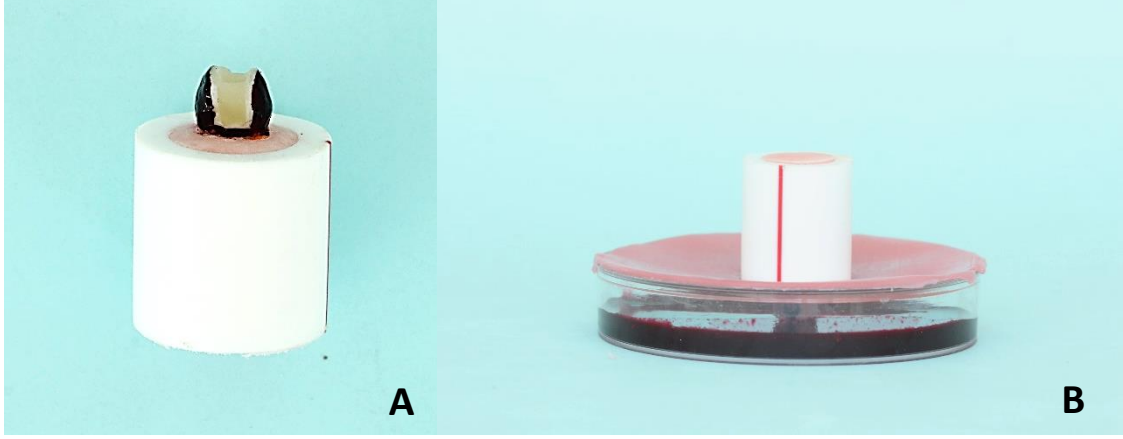
Kırılma tipleri

Restore edilebilir - kırık hattı mine-sement birleşiminin 1 mm altında ya da üzerindedir.

Restore edilemez - kırık hattı mine-sement birleşiminin 1 mm'den daha fazla altındadır.

3.6. Mikrosızıntı Değerlendirilmesi

Tüberkül hareketi ölçümü tamamlanan restorasyonların bitirme ve polisaj işlemleri sarı kuşak elmas bitirme frezleri (Diamond Bur, Dentsply Sirona, Switzerland) ve üç aşamalı bitirme ve polisaj lastikleri (Astropol, Ivoclar Vivadent, Switzerland) kullanılarak gerçekleştirildi. Takiben, restorasyon sınırları 2 mm açıkta kalacak şekilde dişlerin yüzeyleri tırnak cilası ile kaplandıktan sonra, apeksleri mum ile kapatıldı. Daha sonra, örnekler %0,5'lik bazik fuksin solüsyonu içinde 24 saat bekletildi.



Resim 3.7. A. Örneklerin restorasyon sınırlarının tırnak cilası ile kaplanması B. Örneklerin %0,5'lik bazik fuksin solüsyonu içinde bekletilmesi

Bu sürenin sonunda, solüsyon içerisinden çıkarılan tüm dişler, çeşme suyu altında yıkandı. Takiben, elmas separe (Horico, Diamond Instruments, Germany) yardımıyla su soğutması altında dişler restorasyonun ortasından geçecek şekilde mesio-distal yönde iki eşit parçaya ayrıldı. Kesilen diş yüzeyleri ışık mikroskopunda (Olympus SZ40, Tokyo, Japan) x40 büyütmede incelenerek, diş ve restorasyon ara yüzeyindeki boya penetrasyonu aşağıdaki şekilde skorlandı (Resim 3.8).

Mikrosızıntı Skorları

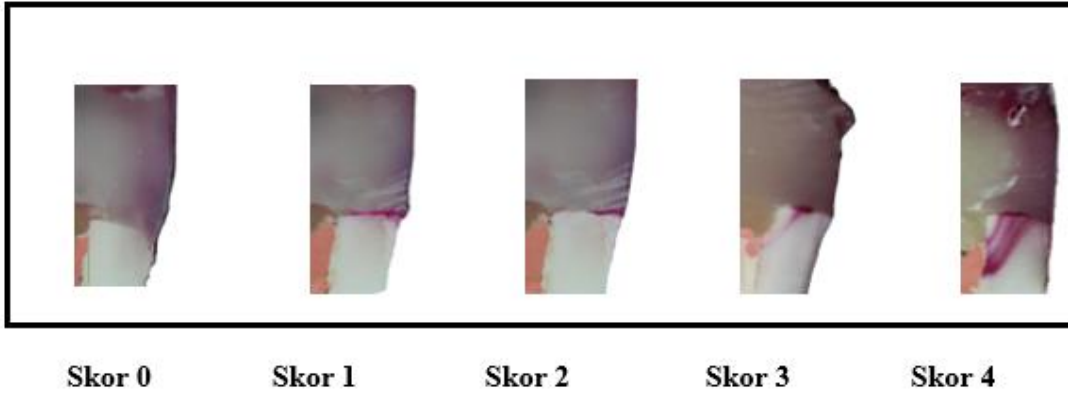
Skor 0 - Boya penetrasyonu yok

Skor 1 - Mine-dentin bileşimini geçmeyen yüzeyel boya penetrasyonu

Skor 2 - Gingival taban boyunca ve aksiyal duvarın üzerinde boya penetrasyonu

Skor 3 - Aksial duvar boyunca ve pulpal tabanın ötesinde boya penetrasyonu

Skor 4 - Önceden kullanılan bir protokole uygun olarak pulpal tabandan pulpa odasına kadar boya penetrasyonu



Resim 3.8. Mikrosızıntı skorları

3.7. İstatistiksel Analiz

Verilerin analizi IBM SPSS Statistics 17.0 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA) paket programında yapıldı. Sürekli sayısal değişkenlerin dağılımının normale yakın dağılıp dağılmadığı Kolmogorov-Smirnov testiyle incelenirken, varyansların homojenliği, varsayımının sağlanıp sağlanmadığı Levene testiyle araştırıldı. Tanımlayıcı istatistikler; sürekli sayısal değişkenler için ortalama \pm standart sapma biçiminde ifade edilirken kategorik değişkenler örnek sayısı ve (%) şeklinde gösterildi. Aksi belirtilmedikçe $p < 0.005$ için sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Ancak, olası tüm çoklu karşılaştırmalarda Tip I hatayı kontrol edebilmek için Bonferroni Düzeltmesi yapıldı.

Gruplar arasında diş boyutu ve kırılma dayanımı ortalamaları yönünden farkların önemliliği tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) ile değerlendirilirken, mikrosızıntı skorları açısından farkların önemliliği ise Kruskal Wallis testi ile incelendi. Tek yönlü varyans analizi veya Kruskal Wallis test istatistiği sonuçlarının önemli bulunması halinde post-hoc Tukey HSD veya Dunn-Bonferroni çoklu karşılaştırma testi kullanılarak söz konusu farka neden olan grup(lar) tespit edildi.

Tüberkül hareketine ilişkin veriler tekrarlayan ölçümlerde varyans analizi ile değerlendirildi. Grup x Zaman etkileşim etkisinin önemliliği Greenhouse-Geisser test istatistiği ile incelendi. Bazale göre ardışık diğer tüm izlem zamanlarında tüberkül hareketinde meydana gelen değişimler μm cinsinden hesaplanarak gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup olmadığı Kruskal Wallis testiyle değerlendirildi. Gruplar içerisinde zamana göre tüberkül hareketlerinde anlamlı değişimin olup olmadığı ise Wilks'in Lambda testi

kullanılarak incelendi. Wilks'in Lambda test istatistiği sonuçlarının önemli bulunması halinde Bonferroni Düzeltmeli çoklu karşılaştırma testi kullanılarak farka neden olan takip zaman(lar)ı tespit edildi.

2x2'lik çapraz tablolarda gözelerin en az ¼'ünde beklenen frekansın 5'in altında olması durumunda söz konusu kategorik veriler Fisher'in kesin sonuçlu olasılık testiyle incelenirken, beklenen frekansın 5-25 arasında olduğu durumlarda Süreklilik düzeltmeli χ^2 testi kullanıldı. RxC (sadır ya da kolondaki kategorik değişkenlerden en az birinin ikiden fazla sonuçlu olması durumunda) çapraz tablolara ilişkin kategorik veriler Pearson'un χ^2 testiyle değerlendirildi.



4. BULGULAR

4.1. Tüberkül Hareketi Ölçüm Bulguları

Çalışmada deney gruplarının restorasyon aşamasında son tabakaya ışık uygulanmasından hemen sonra, 30 saniye, 180 saniye, 240 saniye ve 300 saniye sonra dijital mikrometre cihazıyla ölçülen tüberkül hareketlerindeki değişim (μm) Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Çalışmada deney gruplarının tüberkül hareketlerinin ölçüm değerleri (μm)

Deney Grupları	Tüberkül hareketi değişim miktarı (μm)					
	Hemen sonra	30 sn	180 sn	240 sn	300 sn	p-değeri†
Grup 3 Filtek Z250	14.7±3.5 ^A	1.9±0.9 ^{AB}	1±0.7 ^{ABC}	≅0 ^{ABC}	≅0 ^{ABC}	<0.001
Grup 4 Fiber + Filtek Z250	9.9±4.9 ^A	3.1±0.9 ^{AB}	2±1.1 ^{ABC}	≅0 ^{ABC}	≅0 ^{ABC}	<0.001
Grup 5 Filtek Bulk-fill Posterior	11.0±6.0 ^A	4.9±1.5 ^{AB}	4.1±1.4 ^{AB} C	≅0 ^{ABC}	≅0 ^{ABC}	0.003
Grup 6 Fiber + Filtek Bulk-fill Posterior	14.1±5.2 ^A	4.2±1.7 ^{AB}	4.4±1.4 ^{AB} C	≅0 ^{ABC}	≅0 ^{ABC}	<0.001
Grup 7 EverX Posterior + Filtek Z250	19.0±5.0 ^A	3.8±0.7 ^{AB}	3.1±1 ^{ABC}	≅0 ^{ABC}	≅0 ^{ABC} D	<0.001
Grup 8 EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior	14.0±5.1 ^A	5.4±3.1 ^{AB}	3.7±1.1 ^{AB} C	1±0.5 ^{ABCD}	≅0 ^{ABC} D	<0.001
Grup 9 Surefill SDR + Filtek Z250	10.0±6.0	4.6±1.2 ^{AB}	5.1±3.2 ^{AB} C	≅0 ^{ABC}	≅0 ^{ABC}	0.002
Grup 10 Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior	8.6±4.0	5.4±2.4 ^A	3.2±1.3 ^{AB} C	≅0 ^{ABC}	≅0 ^{ABC}	<0.001

A: Bazal ile arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.005$), B: Hemen yapılan ölçüm ile arasındaki fark istatistiksel olarak ($p<0.005$), C: 30 sn ile arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.005$), D:180 sn ile arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.005$).

Deney gruplarının her birinde, farklı izlem süreçlerinde ölçülen tüberkül hareketlerinin değişim miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0.005$). Diğer bir deyişle, her bir deney grubunda son rezin kompozit tabakasının uygulanmasından hemen sonra ölçülen tüberkül hareketi miktarı ile diğer izlem süreçlerinde ölçülen tüberkül hareketi miktarları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulundu ($p<0.005$).

Bu farklar farklı tüberköl hareketi ölçüm zamanlarına göre değerlendirildiğinde; restorasyona son ışık uygulamasından hemen sonra yapılan ölçümler bazal ölçümlerle karşılaştırıldığında; Surefill SDR + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 9 ve Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10 dışındaki tüm gruplarda istatistiksel olarak anlamlı tüberköl hareketlerinin olduğu izlendi ($p<0.005$). Surefill SDR + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 9 ve Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10'da ise istatistiksel olarak anlamlı olmasa da tüberköl hareketi izlendiği gözlemlendi ($p>0.005$).

Tüm deney gruplarında son ışık uygulamasından hemen sonra ölçülen tüberköl hareketi miktarı ile 30 saniye sonra ölçülen tüberköl hareketi miktarları arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelendiğinde; Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10 dışındaki tüm gruplarda, tüberküller arası mesafelerde istatistiksel olarak anlamlı azalma gözlemlendiği görüldü ($p<0.005$).

Tüm deney gruplarında, son ışık uygulamasından hemen sonra ölçülen tüberköl hareket miktarı ile 180, 240, 300 saniye sonra ölçülen tüberköl hareket miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığın olduğu saptandı ($p<0.005$).

180 Saniye ve 240 saniye sonra deney gruplarının tüberköl hareketi ölçüm değerleri karşılaştırıldığında; sadece EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 8'in bu iki izlem süreçlerinde elde edilen tüberköl hareketi ölçüm değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu tespit edildi ($p<0.005$).

180 Saniye ve 300 saniye sonra tüm deney gruplarında tüberköl hareketi ölçüm değerleri karşılaştırıldığında ise sadece EverX Posterior + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 7'de ölçülen tüberköl hareketi ölçüm değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlemlendi ($p<0.005$).

Bonferoni düzeltmesine göre, yukarıda bahsedilen istatistiksel farklılıkların saptandığı durumlar dışındaki diğer izlem süreçlerinde elde edilen tüberköl hareketi ölçüm değerleri arasında ise anlamlı bir farklılık olmadığı saptandı ($p>0.005$).

Tekrarlayan ölçümlerde varyans analizi sonucunda Greenhouse-Geisser düzeltilmeli test istatistiğine göre Zaman x Grup etkileşimin istatistiksel olarak önemli olduğu gözlemlendi ($p=0.004$). Başka bir ifade ile herhangi iki ölçüm zamanı arasında tüberkül hareketi ölçümlerinde meydana gelen değişim çalışma gruplarına göre farklılık gösterdi.

Bazal ölçüme göre, sırasıyla 30 saniye, 180 saniye, 240 saniye ve 300 saniye’de tüberkül hareketi ölçümlerinin değişim miktarlarının gruplar arasında karşılaştırmalarına ait bulgular Çizelge 4.2.’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Çalışmada incelenen tüm deney gruplarının bazal ölçümlere göre ortalama tüberkül hareketi değişim miktarları (μm) ve standart sapma değerleri

Deney Grupları	Örnek Sayısı	Ortalama \pm Standart sapma
Grup 3 Filtek Z250	12	19.2 \pm 3.4 ^A
Grup 4 Fiber + Filtek Z250	12	15.8 \pm 5.1 ^{BCE}
Grup 5 Filtek Bulk-fill Posterior	12	21.0 \pm 0.7
Grup 6 Fiber + Filtek Bulk-fill Posterior	12	23.4 \pm 6.0 ^C
Grup 7 EverX Posterior + Filtek Z250	12	27.2 \pm 5.2 ^{ABD}
Grup 8 EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior	12	24.5 \pm 4.8 ^{BE}
Grup 9 Surefill SDR + Filtek Z250	12	21.4 \pm 6.1
Grup10 Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior	12	18.8 \pm 5.3 ^D

Bazal ölçümlere göre, ışık uygulanımından hemen sonra ile 300 saniye sonra ölçülen tüberkül hareketi değişim miktarı arasında, tüm gruplarda istatistiksel olarak anlamlı farklılığın olduğu tespit edildi ($p<0.005$).

Bazal ölçümlere göre, en düşük tüberkül hareketi değişim miktarının Fiber + Filtek Z250’nin kullanıldığı Grup 4’den elde edildiği (15.8 μm) gözlemlendi. Bunu sırasıyla Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior’un kullanıldığı Grup 10 (18.8 μm), Filtek Z250’nin inkremental teknik ile kullanıldığı Grup 3 (19.2 μm), Filtek Bulk-fill Posterior’un kullanıldığı Grup 5 (21.0 μm), Surefill SDR + Filtek Z250’nin kullanıldığı Grup 9 (21.4 μm), Fiber + Filtek Bulk-fill Posterior’un kullanıldığı Grup 6 (23.4 μm), EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior’un kullanıldığı Grup 8’in (24.5 μm) izlediği, en fazla tüberkül hareketi değişim

miktarının ise EverX Posterior + Filtek Z250'nin kullanıldığı Grup 7'deki (27.2 µm) örneklerden elde edildiği görüldü.

Filtek Z250'nin inkremental teknik ile uygulandığı Grup 3 ile diğer gruplar karşılaştırıldığında; sadece EverX Posterior + Filtek Z250'nin kullanıldığı Grup 7'de elde edilen tüberkül hareketi ölçüm değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark elde edildi ($p<0.005$).

Yine, Filtek Bulk-fill Posterior'un restoratif materyal olarak kullanıldığı grupların (Grup 6, Grup 8 ve Grup 10) tüberkül ölçüm miktarları birbiriyle karşılaştırıldığında; gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edildi ($p<0.005$).

Fiber kullanımının, Filtek Bulk-fill Posterior ve Filtek Z250 ile restore edilen Grup 4 ve Grup 6'nın tüberkül hareketi üzerine etkisi istatistiksel olarak incelendiğinde; Fiber + Filtek Bulk-fill'in kullanıldığı Grup 6'dan elde edilen tüberkül hareketinin Fiber + Filtek Z250'nin kullanıldığı Grup 4'den anlamlı derecede daha yüksek olduğu gözlemlendi ($p<0.005$).

Fiber içeren yüksek viskoziteli bir bulk-fill rezin kompozit olan EverX Posterior ile restore edilen Grup 7 ve Grup 8'in tüberkül hareketleri, fiber kullanılan Grup 4 ve Grup 6 ile karşılaştırıldığında; hem Grup 7 hem de Grup 8'den elde edilen tüberkül hareketinin Grup 4 ve Grup 6'dan elde edilen tüberkül hareketi miktarından anlamlı derece yüksek olduğu görüldü ($p<0.005$). Ayrıca EverX Posterior + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 7'den elde edilen tüberkül hareketi miktarının Filtek Z250'nin inkremental teknik ile kullanıldığı Grup 3'den istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek olduğu gözlemlendi ($p<0.005$).

EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 8 ile Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10'daki örneklerin tüberkül hareketi miktarları karşılaştırıldığında, aralarında istatistiksel olarak anlamlı farkın olduğu görüldü ($p<0.005$).

4.2. Kırılma Dayanımı Bulguları

Çalışmanın kırılma testi sonucunda, tüm deney gruplarından elde edilen kırılma değerlerinin ortalama değerleri ve standart sapmaları Çizelge 4.3.'de verilmektedir.

Çizelge 4.3.Çalışmanın kırılma testi sonucunda, tüm deney gruplarından elde edilen kırılma değerlerinin ortalama değerleri ve standart sapmaları

Deney grupları	Denek sayısı	Ortalama ± Standart sapma
Grup 1 Pozitif kontrol grubu	12	365.25 ± 40.91 ^A
Grup 2 Negatif kontrol grubu	12	186.83 ± 46.52 ^B
Grup 3 Filtek Z250	12	275.82 ± 25.29 ^{AB}
Grup 4 Fiber + Filtek Z250	12	281.00 ± 37.18 ^{AB}
Grup 5 Filtek Bulk-fill Posterior	12	316.00 ± 39.34 ^A
Grup 6 Fiber + Filtek Bulk-fill Posterior	12	301.92 ± 24.81 ^{AB}
Grup 7 EverX Posterior + Filtek Z250	12	296.92 ± 30.53 ^{AB}
Grup 8 EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior	12	284.42 ± 96.50 ^{AB}
Grup 9 Surefill SDR + Filtek Z250	12	298.17 ± 51.22 ^{AB}
Grup10 Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior	12	308.75 ± 44.05 ^A
F istatistiği		8.831
p-değeri		<0.001
A: Grup 1 ile deney grupları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı (p<0.01), B: Grup 2 ile deney gruplarının arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı (p=0.038).		

Kırılma testi sonucunda, en düşük kırılma dayanım değerlerinin negatif kontrol grubundaki örneklerden, en yüksek kırılma dayanım değerlerinin ise pozitif kontrol grubundaki örneklerden elde edildiği görüldü. Bu iki grubun dışındaki deney gruplarının kırılma dayanımları ortalamaları incelendiğinde; en yüksek kırılma dayanımının Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 5'deki örneklerden elde edildiğini (316MPa), bunu sırasıyla Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10 (308.75 MPa), Surefill SDR + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 9 (298.17 MPa), EverX Posterior + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 7 (296.92 MPa), EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 8 (284.42 MPa), Fiber + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 4'ün (281

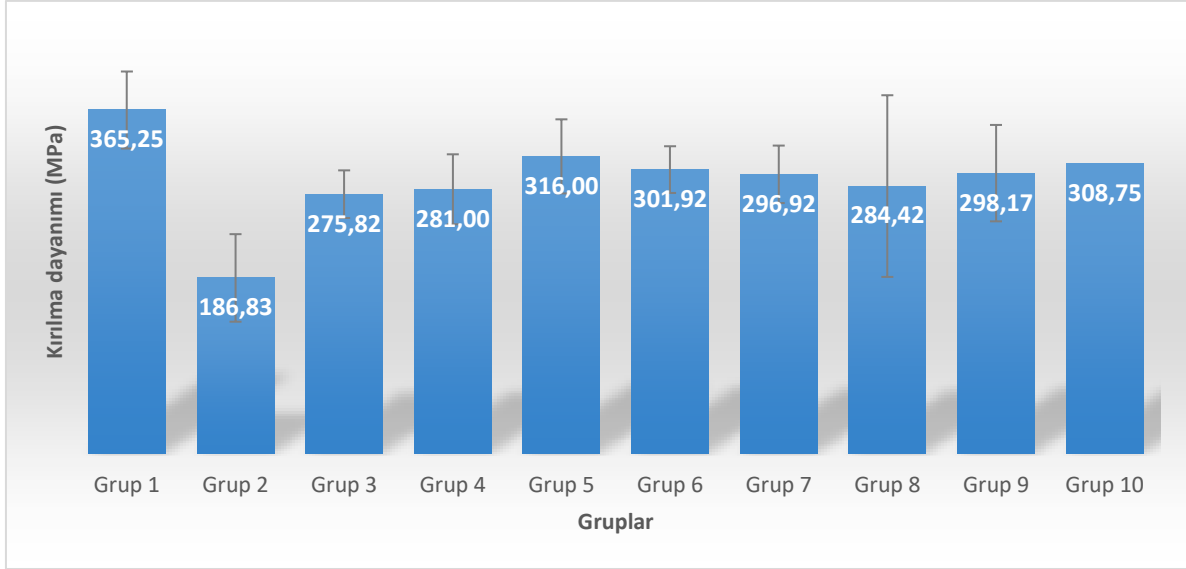
MPa) izlediđi, en dűşűk kırılma dayanım deđerlerinin ise Filtek Z250 ile restore edilen Grup 3'den (275,82 MPa) elde edildiđi gűrűldű.

Kırılma dayanımı testi bulguları arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelendiğinde; tűm deney grupların ortalama kırılma dayanımları arasında anlamlı fark olduğu gűzlendi ($p<0.001$).

Anlamlılıđın hangi gruplardan kaynaklandıđı incelendiđinde; tűm deney grupların kırılma dayanımlarının restorasyon uygulanmayan kanal tedavili MOD kaviteli űst kűçük azı diřlerin oluřturduđu Grup 2'deki (negatif kontrol grubu) űrneklerden elde edilen kırılma dayanımlarına gűre daha yűksek olmasından kaynaklandıđı tespit edildi ($p<0.01$).

Sađlam dişlerden oluşan Grup 1'in (pozitif kontrol grubu) kırılma dayanımları diğer grupların kırılma dayanımları ile karşılaştırıldığında ise Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 5 ve Surefill SDR + Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10 dışındaki çalışma gruplarından elde edilen kırılma dayanımı değerlerinin Grup 1'den elde edilen kırılma dayanım değerlerinden istatistiksel olarak anlamlı derecede dűřűk olduğu gűrűldű ($p=0.038$).

Diğer deney gruplarının kırılma dayanımları istatistiksel olarak birbirleriyle karşılaştırıldığında ise aralarında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edildi ($p>0.05$) (şekil 4.1).



Şekil 4.1. Çalışmada incelenen tüm deney gruplarının kırılma dayanımı (MPa)

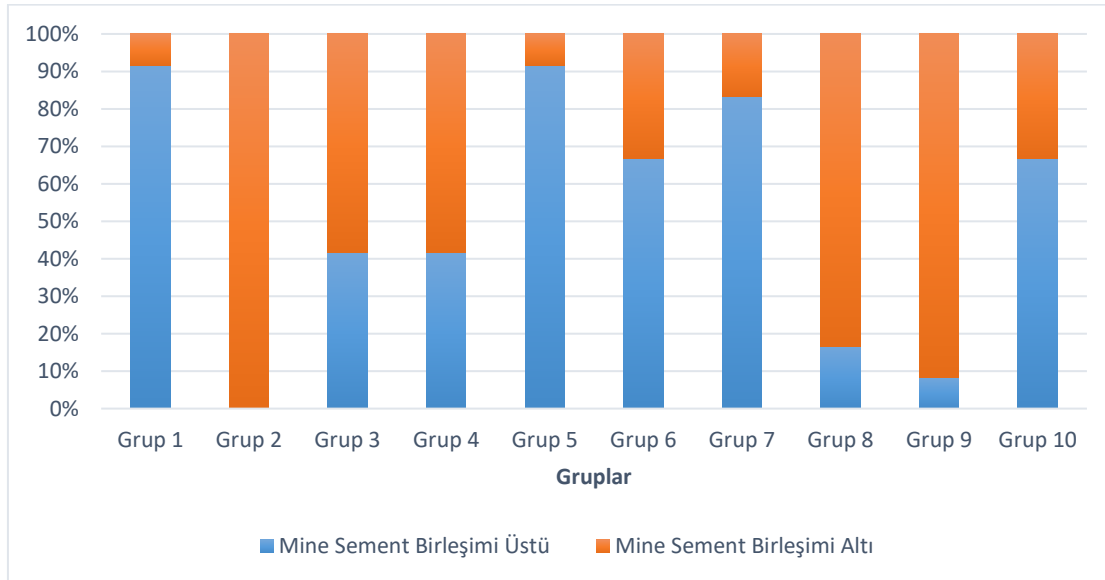
Çalışmada deney gruplarının kırılma tiplerinin dağılımı Çizelge 4.4 ve Şekil 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.4. Çalışmada incelenen deney gruplarının kırılma tiplerinin dağılımları

Deney grupları	Mine-sement bileşiminin altı (%)	Mine-sement bileşiminin üstü (%)
Grup 1 Pozitif kontrol grubu	1 (8.3)	11 (91.7)
Grup 2 Negatif kontrol grubu	12 (100.0)	0 (0.0)
Grup 3 Filtek Z250	7 (58.3)	5 (41.7)
Grup 4 Fiber + Filtek Z250	7 (58.3)	5 (41.7)
Grup 5 Filtek Bulk-fill Posterior	1 (8.3)	11 (91.7)
Grup 6 Fiber + Filtek Bulk-fill Posterior	4 (33.3)	8 (66.7)
Grup 7 EverX Posterior + Filtek Z250	2 (16.7)	10 (83.3)
Grup 8 EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior	10 (83.3)	2 (16.7)
Grup 9 Surefill SDR + Filtek z250	11 (91.7)	1 (8.3)
Grup10 Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior	4 (33.3)	8 (66.7)

Kırılma tiplerinin tüm deney gruplarında dağılımı istatistiksel olarak incelendiğinde, deney gruplarının kırılma tipleri arasında anlamlı fark olduğu bulundu ($p<0.001$). Bu fark, sağlam dişlerin bulunduğu Grup 1 ile diğer gruplar karşılaştırıldığında; Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 5, Fiber + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 6, EverX Posterior + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 7, Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10 dışındaki gruplarda kırılmanın sağlam dişlerin bulunduğu Grup 1'deki örneklerin (pozitif kontrol grubu) aksine daha sıklıkla mine-sement bileşiminin altında olmasından kaynaklandığı görüldü ($p<0.05$).

Restorasyon yapılmayan kanal tedavili MOD kaviteli Grup 2'deki (negatif kontrol grubu) dişler ile diğer grupların kırılma tipleri istatistiksel olarak karşılaştırıldığında ise mine-sement bileşiminin altında olan kırılmanın en çok restorasyonun yapılmadığı Grup 2'deki örneklerde (negatif kontrol grubu) olduğu izlendi ve bu durumun Filtek Z250 ile restore edilen Grup 3, Fiber + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 4, EverX + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 8, Surefill SDR + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 9 grupları dışındaki gruplarda kırılmanın restorasyonun yapılmadığı Grup 2'deki örneklerin (negatif kontrol grubu) aksine daha sıklıkla mine-sement bileşiminin üstünde olmasından kaynaklandığı görüldü ($p<0.05$).



Şekil 4.2. Çalışmada tüm deney gruplarının kırılma tiplerinin dağılımı

4.3. Mikrosızıntı Bulguları

Çalışmamızda kesit alınan diş örneklerinin stereomikroskop altında x40 büyütmede incelenmesi sonucu, tüm deney gruplarından elde edilen mikrosızıntı skorlarına ait değerlendirme sonuçları Çizelge 4.5’de verilmektedir.

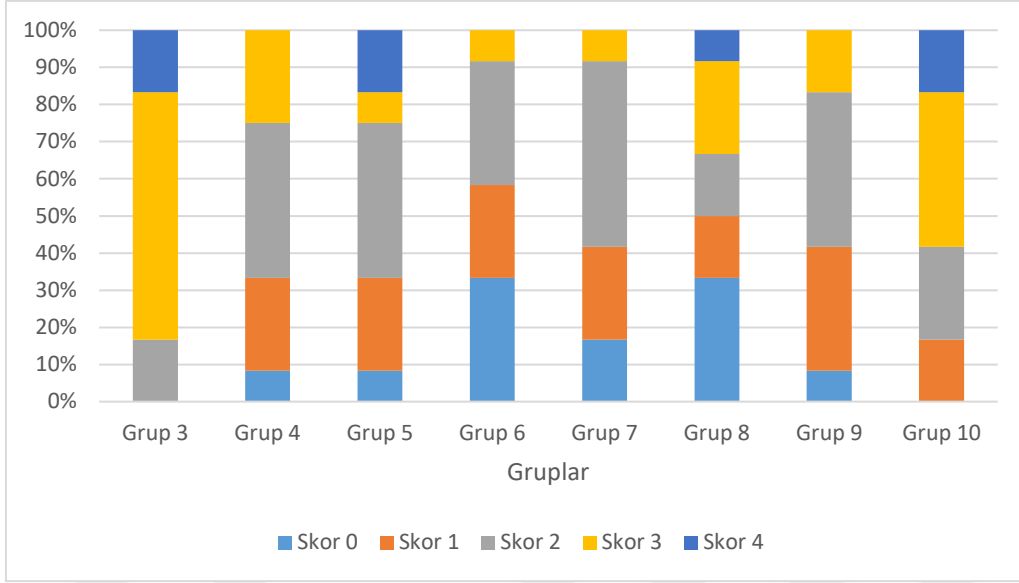
Çizelge 4.5. Çalışmada tüm deney gruplarından elde edilen mikrosızıntı skorlarının dağılımı

Deney Grupları	Skor (%)				
	0	1	2	3	4
Grup 3 Filtek Z250	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (16.7)	8 (66.7) ^{AB}	2 (16.7)
Grup 4 Fiber + Filtek Z250	1 (8.3)	3 (25.0)	5 (41.7) ^A	3 (25.0)	0 (0.0)
Grup 5 Filtek Bulk-fill Posterior	1 (8.3)	3 (25.0)	5 (41.7)	1 (8.3)	2 (16.7)
Grup 6 Fiber + Filtek Bulk-fill Posterior	4 (33.3)	3 (25.0) ^B	4 (33.3)	1 (8.3)	0 (0.0)
Grup 7 EverX Posterior + Filtek Z250	2 (16.7)	3 (25.0)	6 (50.0)	1 (8.3)	0 (0.0)
Grup 8 EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior	4 (33.3)	2 (16.7)	2 (16.7)	3 (25.0)	1 (8.3)
Grup 9 Surefill SDR + Filtek Z250	1 (8.3)	4 (33.3)	5 (41.7)	2 (16.7)	0 (0.0)
Grup10 Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior	0 (0.0)	2 (16.7)	3 (25.0)	5 (41.7)	2 (16.7)
p-değeri †	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

A: Grup 3 ile Grup 4 arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı (p=0.003), B: Grup 3 ile Grup 6 arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı (p=0.032).

Çalışmanın mikrosızıntı testi sonucunda, tüm deney gruplarından elde edilen skorlar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olduğu gözlemlendi (p<0.001). Anlamlılığın hangi gruplardan kaynaklandığı istatistiksel olarak incelendiğinde; Filtek Z250 ile restore edilen Grup 3’teki örneklerden elde edilen mikrosızıntı skorları ile Fiber + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 4 ve Fiber + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 6’dan elde edilen mikrosızıntı skorlarının bu farklılığa neden olduğu saptandı (p=0.003 ve p=0.032).

Diğer grupların mikrosızıntı skorları arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edildi (p>0.05) (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Çalışmada incelenen tüm deney gruplarının mikrosızıntı skorlarının dağılımı

5. TARTIŞMA

Günümüzde rezin kompozitlerin diş yapısına bağlanması, estetik olması, hasta başında geçen zamanı azaltması, minimal invaziv yöntemlerin kullanımına olanak vermesi gibi avantajları nedeniyle, endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Torabzadeh ve diğerleri, 2014).

Rezin kompozitlerin endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonunda klinik olarak başarılı olmasında, dişteki madde kaybı miktarının önemli rolü bulunmaktadır. Eğer endodontik tedavi görmüş küçük azı dişlerde madde kaybı az ve özellikle palatinal tüberkül sağlam ise rezin kompozit ve günümüz adeziv teknolojisi ile bu dişleri restore etmek mümkündür (Miao ve diğerleri, 2016).

Ancak MOD kavite gibi özellikle aproksimal kenarların ortadan kaldırıldığı geniş kavitelere, rezin kompozitlerle her zaman başarılı sonuç alınmayabilir, hatta daha komplike tedavi yaklaşımlarına gereksinim olabilir. Böyle bir durumun ortaya çıkması, rezin kompozitlerin polimerizasyon esnasında büzülmesinden ileri gelebilir. Polimerizasyon büzülmesinin özellikle madde kaybı fazla endodontik tedavi görmüş küçük azı dişlerinde bariz tüberkül hareketinin oluşumuna neden olabileceği ve bunun sonucunda da dişte çatlama ve kırılmalar oluşabileceği birçok çalışmada rapor edilmiştir (Behery ve diğerleri, 2016).

Polimerizasyon büzülmesinin ayrıca rezin kompozitin diş yüzeyinden ayrılması sonucu diş dokusu ile restorasyon arasında aralık oluşumu, dolayısıyla da restorasyon kenarlarında mikrosızıntı oluşumuna neden olacağı diş hekimliğinde kabul edilen bir gerçektir (Jlekh ve Abdul-Ameer, 2018). Mikrosızıntının ise sekonder çürük, restorasyon kenarlarında renklenme ve pulpa patolojilerinin gelişiminde önemli rol oynadığı bilinmektedir (Yarmohamadi ve diğerleri, 2018).

Endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonunda amalgam restorasyonlardan tam kron restorasyonlara kadar uzanan birçok tedavi seçeneği bulunmaktadır. Cam fiber postların kanal tedavili dişlerin restorasyonunda kullanımı dentine benzer elastik modülüsü'ne (16-40 GPa) sahip olduklarından önerilmektedir (Moosavi ve diğerleri, 2017).

Ancak fiber post kullanımının, post için yuva açılırken dişin kök yapısını zayıflatması ve ayrıca kökün apikaline doğru dentin post bağlantısının zayıf olması gibi sınırlamaları bulunmaktadır (Scotti ve diğerleri, 2016). Yapılan çalışmalar, küçük azı dişlerin post kullanılarak onarılmasının, kök yapılarının zayıf olmasından dolayı önerilmediğini rapor etmişlerdir (Tamse ve diğerleri, 1998). Tüm bu bilgilerin ışığında, endodontik tedavi görmüş küçük azı dişlerin restorasyonunda estetik özelliklerinin yanısıra uygulanımı kolay ve yüksek dayanıklılığı olan materyallerin kullanılmasının tercih edilmesi gerektiği bildirilmiştir. Fazla madde kaybı olan dişlerde 4 mm kalınlığında uygulanmaya izin veren ve polimerizasyon büzülmesinin daha az olduğu bildirilen bulk-fill rezin kompozitler son yıllarda bu amaçla kullanılan materyallerden biridir (Behery ve diğerleri, 2016).

Geçmişten günümüze kadar rezin kompozitler geliştirilirken üzerine çalışılan bir konu da rezin kompozitlerin dayanımını arttırmaktır. 2003 yılında, üreticiler kısa fiber içeren bir bulk-fill rezin kompozit olan EverX Posterior'u piyasaya sürmüşlerdir. Bu materyalin rezin matriksinde, E tipi cam fiber'ler ve inorganik partiküller bulunur (Garoushi ve diğerleri, 2013). Materyallerin istenilen mekanik özelliklere sahip olabilmesi için içeriğine eklenen fiber'lerin kritik fiber uzunluğunda (3 mm) olması gerektiği belirtilmiştir (Petersen, 2005). EverX Posterior'un yapısında bulunan fiber'lerin uzunluklarının kritik uzunluk değeri olan 3mm'nin üzerinde olması nedeniyle, gelen kuvvetlerin matriks üzerinden fiber'lere iletimi ile rezin yapının güçlendirilmesi sağlanır. Aynı zamanda, fiber oryantasyonları sayesinde yapı içerisinde oluşan çatlakların ilerlemesi de engellenir (Goracci ve diğerleri, 2014).

Rezin kompozit yapıların cam ya da polietilen fiberlerle güçlendirilmesi, kenar adaptasyonunun iyileştirilmesi ve kırılma dayanımının artırılması için kullanılan bir yöntemdir (Eapen ve diğerleri, 2017). Endodontik tedavi görmüş küçük azı dişler gülüş hattında bulunduğu estetik şekilde restore edilmesi gerekirken, aynı zamanda arktaki pozisyonlarından dolayı kombine kuvvetlere maruz kalır. Bu tip restorasyonlarda fiber ağlarla restorasyon yapısını estetik şekilde restore edebilmek mümkündür (Oskoe ve diğerleri, 2009). Dyer ve arkadaşları'nın (2004) çalışması, gelen kuvvetlerin rezin matriksten fiberlere aktarılmasının yapının mekanik özelliklerinin gelişimine neden olduğunu rapor etmiştir.

Kolbek (2002), Belli ve arkadaşları'nın (2006) yaptıkları çalışmalarda, rezin kompozitle restorasyonun yapısına fiber eklemenin restorasyonu güçlendirirken, fiber'in gingival ya da

orta üçlü de konumlandırılması arasında yapının kırılma dayanımını açısından fark olmadığını bildirmişlerdir.

Bu tez çalışmamızın amacı endodontik tedavi görmüş MOD kaviteli üst küçük azı dişlerin farklı materyaller ve farklı tekniklerle restore edilmesi sonucu oluşan polimerizasyon büzülmesini tüberkül hareketlerinin ölçülmesi ile değerlendirmektir. İkinci bir amacımız ise yine endodontik tedavi görmüş MOD kaviteli üst küçük azı dişlerin mikrosızıntısı ve kırılma dayanımı üzerine farklı materyal ve teknik kullanımının etkilerini *in vitro* olarak incelemektir.

Yapılan *in vitro* çalışmalarda, insan dişleri veya sığır dişlerinin kullanılabilceği belirtilmektedir (Krifka, 2008; Campos, 2014). Küçük azı dişler sahip oldukları spesifik morfoloji ve arktaki pozisyonları sebebiyle çiğneme kuvvetlerinden ön dişlere kıyasla daha çok etkilenirler. Ayrıca, büyük azı dişler kadar büyük kronlara sahip değillerdir. Ferrari ve arkadaşları (Ferrari ve diğerleri, 2012), küçük azı dişlerin endodontik tedavi sonrası kırılmaya daha fazla meyilli olduğunu rapor etmişlerdir. Bu nedenlerle, üst çene küçük azı dişlerin tez çalışmamızda kullanılması tercih edildi.

Gonzales ve arkadaşları (2006), dişteki madde kaybı artkça tüberküllerin hareket miktarının da arttığını, bunlara ek olarak da en yüksek tüberkül hareketinin MOD kaviteli dişlerde oluştuğunu ortaya koymuşlardır.

MOD kavitenin, tüberküllerin %63 oranında sertliğini kaybetmesine ve klinik durumu taklit ederek tüberküllerin hareketinin izlenmesine olanak sağladığı rapor edilmiştir (Harsha ve diğerleri, 2017). Ayrıca, MOD kavitenin mevcudiyeti, C-faktörünün de artmasına da neden olduğu, mezio-okluzal (MO) veya disto-okluzal (DO) kaviteletin, daha az restoratif materyal kullanılmasına ve daha az tüberküllerin hareketine neden olacağı da bildirilmiştir (Jlekh ve Abdul-Ameer, 2018). Çalışma bulguları doğrultusunda, çalışmamızda üst küçük azı dişlere MOD kavite açarak daha fazla madde kaybının oluşması amaçlandı.

Çalışmamızda küçük azı dişlere açılan MOD kaviteletin boyutlarını standardize edebilmek amacıyla, kavite genişliği dişlerin bukkal ve palatinal tüberküller arası mesafenin 2/3'ü, okluzal isthmus bukkal-palatinal genişliğin ortasında, gingival basamak mine-sement sınırının 1 mm yukarısında olacak şekilde suya dayanıklı kalem (Faber-Castell, Germany)

ile işaretlenerek gerçekleştirildi. Ayrıca, kavite preparasyonu süresince periodontal sond ile de kavite boyutları kontrol edilerek hata payı kontrol edilmiş oldu.

In vitro çalışma sonuçlarını etkileyen diğer bir faktör de çalışmada kullanılacak dişlerin saklanma koşullarıdır (Lee ve diğerleri, 2007). Çalışmamızda kullanılacak olan dişler, test işlemleri uygulanıncaya kadar distile su içinde bekletildi. Böylece dişlerin saklama koşullarından etkilenmesi önlenmiş oldu. Distile su, periyodik olarak her hafta tazeleni. İşlem yapılmadan önce, dişler dezenfeksiyon amacıyla 37 °C’de % 0.1’lik timol solüsyonunda bir hafta bekletildi.

In vitro çalışmalarda örnek sayısı da çalışma sonuçlarını etkileyen önemli bir faktördür. Literatürde tez konumuz ile ilgili çalışmalarda farklı sayıda örnekler kullanılmıştır (García, 2018; Al-Harbi, 2016; Garapati, ve diğerleri,2014). Çalışmamız planlanırken G*Power 3.0.10 programı kullanılarak yapılan “*Power analizi*” sonucunda, tüberkül hareketi düzeyi için 0.95 güç ve %5 yanılma düzeyi için tespit edilen örneklem sayısının her grup için minimum 12 olması gerektiği saptandığından, deney gruplarımızın örnek sayısı 12 olarak belirlendi (etki büyüklüğü:1.481 ve standart sapma: 4,4 olarak alındığında).

Literatürde endodontik tedavi görmüş küçük azı dişlerin bulk-fill rezin kompozit ve geleneksel rezin kompozitlerle restorasyonunun değişik faktörler üzerindeki etkisini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır (Behery, 2016; García Marí, 2018; Kemalglu ve diğerleri, 2015). Düşük viskoziteli bulk-fill rezin kompozitlerin akışkan özellikleri mekanik özelliklerinin daha zayıf olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de bu tip bulk-fil rezin kompozitlerin üzerine mutlaka geleneksel tip bir rezin kompozit ile örtülmesi yani capping yapılması gerektiği belirtilmiştir. Yüksek viskoziteli rezin kompozitlerde ise bu uygulamaya gerek yoktur ve direkt olarak restoratif amaçla kullanılabilirler. Capping gerektiren bulk-fill rezin kompozitlerin endodontik tedavili MOD kaviteli dişlerde başarıları ile ilgili literatürde çok az bilgi bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda yüksek viskoziteli bir rezin kompozit olan Filtek Bulk-fill Posterior’un yanısıra capping gerektiren düşük viskoziteli bir bulk-fill rezin kompozit olan Surefill SDR’nin de çalışmamızın test parametreleri üzerine etkisini incelemek amacıyla kullanılmasına karar verildi.

Dönüşüm derecesi rezin kompozitin translusensisi ve renginden etkilenir (Galvão ve diğerleri, 2013). Bu nedenle bu çalışmada standardizasyonun sağlanabilmesi amacıyla tüm örnekler A2 renkli rezin kompozitler ile restore edildi.

Tüberkül hareketi, mikroskop, strain gauge, dijital mikrometre gibi değişik yöntemler kullanılarak ölçülebilir. Dijital mikrometre ile tüberkül hareketinin ölçümünün daha kolay yapıldığı, doğru ve güvenilir sonuçların alınabildiği rapor edilmiştir (Yarmohamadi ve diğerleri, 2018). Bu nedenle çalışmamızda tüberkül hareketini ölçmek için dijital mikrometre cihazı kullanıldı. Ölçüm esnasında standardizasyon sağlamak için Garapati ve arkadaşları'nın (Garapati ve diğerleri, 2014) çalışmasına benzer şekilde bukko-palatinal genişliklerindeki farklılıkları <0.05 geçmeyen dişlerin seçilmesine dikkat edildi.

Tüberkül hareketinin dijital mikrometre cihazı ile ölçülmesinde, dişin restore edilmesi aşamasında matriks kullanımı ile ilgili problemler söz konusu olabilir. Arka grup dişlerin interproksimal temas alanı genellikle orta üçlü ya da orta üçlü ile oklüzal üçlünün birleşim yerinde bulunmaktadır. Arayüz kavitelelerin restorasyonunda dişin doğal anatomik formunun oluşturulmasında matriks vazgeçilemez bir gereçtir. Matriks kullanımı ile dişeti sağlığının korunması ve periodontal hastalıkların önlenmesi sağlanır (Peña ve Garcia, 2016). Ancak matriks kullanımının oluşturduğu gerilimin tüberkül hareketi ölçümünü etkilemesi söz konusudur. Bu nedenle, Nguyen ve arkadaşları (2016), tüberkül hareketi ölçümünü yaptıkları çalışmalarında, matriks yerine teflon bantlar kullanmışlardır. Bu çalışma esas alınarak, çalışmamızda dişlerin restorasyonu matriks yerine teflon bantlar kullanılarak gerçekleştirildi.

Tüberkül hareketi üzerine yapılan çalışmalar, Sınıf II kavitelere uygulanan rezin materyallerin tüberküller arasında bizim çalışmamızda olduğu gibi 15-50 μm değişen bir hareketin oluştuğunu ortaya koymuşlardır (Lee, 2007; Park, 2008; Suliman ve diğerleri, 1993).

Çalışmamızda test gruplarının son izlem zamanındaki (300 saniye) nihai tüberkül hareketi miktarları, en fazladan en aza doğru EverX Posterior + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 7 (27.2 μm), EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 8 (24.5 μm), Fiber + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 6 (23.4 μm), Surefill SDR + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 9 (21.4 μm), Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 5

(21 µm), Filtek Z250 ile restore edilen Grup 3 (19.2 µm), Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10 (18.8 µm) ve Fiber + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 4 (15.8 µm) şeklinde sıralandığı tespit edildi.

Tüberkül hareketlerinin sonuçları incelendiğinde; en fazla hareket gösteren grubun EverX Posterior'un Filtek Z250 ile beraber kullanıldığı Grup 7'de, en az tüberkül hareketinin ise Filtek Z250'nin fiber ile beraber uygulandığı Grup 4'de izlendiği görüldü. Xu ve arkadaşları'nın (2003) yaptıkları çalışma, Sınıf II restorasyonların inkremental teknik ile restorasyonunda ilk tabakaya ışık uygulanması sırasında ortaya çıkan büzülme tabana eklenen fiber materyalin engellediğini bildirmişlerdir. Bir başka çalışma da rezin kompozitin inkremental teknik ile uygulanması sırasında, eklenen fiber ağların polimerizasyon büzülmesini azalttığını rapor etmiştir (Ozel ve Soyman, 2009).

Fronza ve arkadaşları (2015), Surefil SDR, Filtek Bulk-fill, Tetric EvoCeram Bulk-Fill ve EverX Posterior'un polimerizasyon özelliklerini değerlendirmiş oldukları çalışmalarında, bizim çalışmamıza benzer şekilde EverX Posterior'un en çok büzülme gösteren grup olduğunu bildirmişlerdir. EverX Posterior'un en çok büzülen materyal olması, yüksek elastik modülüsü ve yüksek oranlarda inorganik doldurucu içermesi kaynaklı olabilir (Leprince ve diğerleri, 2014).

Rezin kompozitlerin inkremental teknik ile kama şeklinde 2 mm kalınlığında kaviteye yerleştirilmesinin C-faktörünü azaltacağı ve bundan dolayı diş sert dokularının deformasyonunu engelleyeceği rapor edilmiştir (Deliperi ve diğerleri, 2005). İnkremental tekniğin bu avantajları yanısıra klinik kullanımının yaygın olması nedeniyle tez çalışmamızın test edilen gruplarından biri olan Grup 3'deki dişlerin restorasyonu mikrohibrit yapıdaki bir rezin kompozit olan Filtek Z250 ile inkremental teknik kullanılarak gerçekleştirildi. Grup 4'de ise bu materyalin fiber ile kullanımının, tez çalışmamızın inceleme kriterlerine (tüberkül hareketi, mikrosızıntı ve kırılma dayanımı) etkisi değerlendirildi. Fiber + Filtek Z250 ile restore edilen Grup 4'deki örneklerin tüberkül hareketi, Filtek Z250'nin inkremental teknik ile kullanıldığı Grup 3'ün sonuçları ile karşılaştırıldığında, sonuçların birbirine benzer olduğu görüldü. Bu bulgumuz Filtek Z250'nin gerek inkremental gerekse de fiber ile güçlendirilmesinin polimerizasyon büzülmesi nedeniyle oluşan tüberkül hareket miktarı üzerine bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Ancak çalışmamızdan elde ettiğimiz bu bulgumuz, literatürde Filtek

Z250'nin yalın inkremental teknik veya fiber ile güçlendirilerek kullanımının tüberkül hareketine etkisini inceleyen başka bir çalışma bulunmadığından, bu materyalin kullanıldığı Grup ve Grup 4'den elde ettiğimiz bulguların karşılaştırılması yapılamadı.

Bulk-fill rezin kompozitlerin büzölmeleri sonrasında oluşturdukları tüberkül hareketi ile ilgili literatürdeki bilgiler oldukça karmaşıktır. Rosatto ve arkadaşları'nın (Rosatto ve diğerleri, 2015) farklı tekniklerle uygulanan restorasyonların dişlerin iç yapısında oluşturdukları streslerin analizini yaptıkları bir çalışmada, bulk-fill rezin kompozitlerin inkremental teknikle uygulanan rezin kompozitlere kıyasla daha az polimerizasyon stresi oluşturduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmanın aksine bir başka çalışmada ise bulk-fill rezin kompozitlerin inkremental teknikle uygulanan rezin kompozitlerden daha çok büzöldüğü rapor edilmiştir (Elsharkasi ve diğerleri, 2018). Tsujimoto ve arkadaşları (2018) bulk-fill rezin kompozitlerle geleneksel rezin kompozitlerin tüberkül hareketlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, hangi teknik ile ölçülürse ölçülsün bulk-fill rezin kompozitlerin geleneksel rezin kompozitlerle bizim çalışmamızda olduğu gibi benzer oranlarda tüberkül hareketine neden olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmamızda Filtek Bulk-fill Posterior ve Filtek Z250'nin tüberkül hareketlerini restorasyon sırasında pulpal tabana fiber yerleştirilmesinin etkisi incelediğinde ise iki gruptaki (Grup 4 ve Grup 6) tüberkül hareketi değerlerinin sadece Filtek Z250'nin inkremental teknikle uygulandığı Grup 3 ile ve sadece Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 5'den elde edilen tüberkül hareketi miktarlarının birbirine benzer olduğu saptandı. Fiber destekli rezin kompozitler ile yapılan restorasyonlar birçok çalışmaya konu olmuş ve günümüzde restoratif tedavilerde alternatif bir yöntem olarak kullanılmaya başlanmıştır (Deliperi, 2005; Sharafeddin ve diğerleri, 2014). Fiber ağlar, günümüzde ortodontik uygulamalarda, adeziv köprülerde ve periodontal splint olarak kullanılabilir (Miao ve diğerleri, 2016). Fiber materyaller uygulandıkları yapının içerisindeki streslerin iletimini düzenler, çatlakların ilerlemesini engeller ve yapıya fleksural özellikler katarlar (Kolbeck ve diğerleri, 2002). Materyallerin yapısı ve içeriği polimerizasyon sırasındaki davranışlarını da etkiler (Kaisarly ve Gezawi, 2016). Fiberin materyallere uygulanması sonrasındaki etkinliği kullanılan rezinin özellikleri dahil, fiberin miktarı, uzunluğu, biçimi ve yönü, çevresel yapılara adezyonu ve rezin matrikse fiberlerin adaptasyonu gibi birçok faktörden etkilenir (Eapen ve diğerleri, 2017). Restorasyon sırasında fiber gibi anizotropik bir

materyalin kullanılması durumunda fiber ve rezin kompozitin sahip oldukları farklı fleksural modülüs'lar yapının farklı özellikler göstermesine yol açabilir.

Polimerizasyon büzülmesi ile tüberkül hareketinin başlamasının ışık uygulanımından sonra ne kadar süre devam ettiği önemli bir sorudur. Tüberkül hareketi ölçümü yapan çalışmalarda, ölçüm süreleri arasında farklılıklar söz konusudur.

Restorasyon tamamlanıp son ışık uygulanması bittikten hemen sonra yapılan ölçümler bazal ölçümlerle karşılaştırıldığında, Surefill SDR'nin kullanıldığı Grup 9 ve Grup 10 dışındaki diğer tüm gruplarda anlamlı miktarda tüberkül hareketinin izlendiği görüldü. Ancak, Surefill SDR'nin kullanıldığı Grup 9 ve Grup 10'da istatistiksel olarak anlamlı olmasa da bir miktar büzülmenin olduğu tespit edildi. Çalışmada kullanılan materyallerin tüberkül hareket miktarları karşılaştırıldığında; Surefill SDR'nin rezin matrisi büzülme streslerini azaltmayı amaçlayan modifiye UDMA, TEGDMA ve EBADMA monomerlerinden oluşur (Garoushi, ve diğerleri, 2013). Dickens ve arkadaşları (2003) rezin kompozitlere eklenen monomerlerin ışık ile reaksiyonunun aktivitesini inceledikleri bir çalışmada, yüksek oranlardaki EBADMA monomerlerinin ışık ile aktivasyonunun diğer monomerlerle karşılaştırıldığında daha az olduğunu öne sürmüşlerdir. Materyalin içerisinde polimerizasyon streslerinin azaltılmasını amaçlayan modifiye UDMA'da Surefill SDR'nin kullanıldığı Grup 9 ve Grup 10'nun bazal ölçüme göre anlamlı büzülmeyi 30. saniyede göstermiş olmasını açıklayabilir (Łagocka ve diğerleri, 2018).

Tüberkül hareketlerinin 180. saniyede yapılan ölçümleri ile 240. ve 300. saniyede yapılan ölçümler karşılaştırıldığında; hareketin istatistiksel olarak anlamlı devam ettiği tek grup EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior'un kullanıldığı Grup 8'dir. EverX Posterior + Filtek Z250'nin kullanıldığı Grup 7'de ise anlamlı olmasa da büzülmenin 180-300 saniye arasında devam ettiği görüldü. EverX Posterior çalışmada kullanılan diğer bulk-fill rezin kompozitlerle kıyaslandığında, yüksek doldurucu partikül içeriği ve yüksek molekül ağırlıklı Bis-GMA gibi monomerler içerir (Abouelleil ve diğerleri, 2015). Moleküler ağırlığın arttırılması uzamış pre-jel safhasına neden olabilir (Tsujiimoto ve diğerleri, 2018).

Moorty ve arkadaşları'nın (2012) farklı izlem zamanlarında bulk-fill rezin kompozitlerin tüberkül hareketine etkisini inceledikleri bir çalışmada, son tabakaya ışık uygulanmasının bitiminde 30, 60 ve 180 saniye sonra ölçüm yapmışlar ve 180 saniye sonuna kadar

örneklerde büzülme izleyip tüberküller arası mesafede artış izlememişlerdir. Bizim çalışmamızda da farklı izlem zamanlarında yapılan ölçümler incelendiğinde, 30 saniye ve 180 saniyelik izlem zamanları karşılaştırıldığında, tüm gruplar arasında anlamlı tüberkül hareketinin olduğu izlendi.

Çalışmamızda da en çok büzülme yani en fazla tüberkül hareketi son tabakaya ışık uygulanması sonrasında 30 saniyeye kadar geçen dönemde olduğu görüldü. Bu bulgumuz tüberkül hareketinin 240 saniye kadar sürdüğünü bu hareketin yaklaşık %50'sinin ilk 40 saniyede olduğunu bildiren Bouillaguet ve arkadaşları'nın (2006) çalışma bulgularıyla paralellik göstermektedir.

Tüberkül hareketi ile ilgili yapılan çalışmalarda, tüberkül hareketleri restorasyon tamamlandıktan 300 saniye sonra ölçülmüş ve tüberkül hareketinin en yüksek oranda restorasyonun tamamlanması ile 300 saniye sonrasındaki izlem zaman aralığında olduğu rapor edilmiştir (Karaman ve Ozgunaltay, 2013; González López ve diğerleri, 2006). Biz de çalışmamızda farklı materyaller ve tekniklerle restore edilen endodontik tedavi görmüş MOD kaviteli dişlerin tüberkül hareketlerinin belirli izlem zamanlarındaki takibini yapabilmek amacıyla ışık uygulamasından hemen sonra, 30, 180, 240 ve 300 saniye sonra tüberküller arasındaki mesafe ölçüldü. 300 saniye sonrasında çalışmanın tüm grupların tüberkül hareketi miktarının bazal ölçümlere ve restorasyondan hemen sonraki ölçümlere göre anlamlı olarak değişim gösterdiği saptandı.

Rezin kompozit ile yapılan restorasyonlarda polimerizasyon büzülmesi nedeniyle kavite kenarlarında mikroaralık oluşmasına ve bunun sonucunda restorasyon kenarlarında mikrosızıntı oluşmasına neden olan faktörler arasında zayıf adezyon, ısıya bağlı oluşan değişimler, büzümle kuvvetleri, yetersiz nem kontrolü ve çiğneme kuvvetleri yer alır (Lokhande ve diğerleri, 2014). Rezin kompozitler estetik özellikleri, kolay uygulanabilmeleri, arttırılmış fleksural modülüs'ları sayesinde günümüzde en çok tercih edilen materyaller olsa da bağlanmanın zaman içerisinde bozulmaya uğraması, aşınmaları, polimerizasyon sırasında büzülmeleri ve yetersiz polimerizasyonları gibi özellikle Sınıf II restorasyonların gingival bölgelerinde soruna yol açacak dezavantajları hala mevcuttur (Dhingra ve diğerleri, 2014). Bu problem özellikle sement ve dentin dokusunun fazla olduğu ve bağlanmanın çok başarılı olamadığı gingival taban gibi bölgelerde daha sık görülür (Berry ve Osborne, 1989).

Endodontik tedavi görmüş dişler yapısal olarak restore edilmemiş vital dişlerden farklıdır ve özel restoratif tedavi yöntemleri gerektirirler (Oskoeve, ve diğerleri, 2009). Endodontik tedavi görmüş dişler dentin dehidratasyonu, sert doku kaybı nedeniyle kırılmaya daha yatkındır, özellikle MOD kaviteli endodontik tedavili dişlerde daimi restorasyon yapıncaya kadar tedavi tamamlanmış olarak düşünülmemelidir (Hshad ve diğerleri, 2018). Adeziv teknolojilerdeki gelişmeler, endodontik tedavili arka grup dişlerin rezin kompozitlerle konservatif bir şekilde restorasyonuna olanak sağlar (Belli ve diğerleri, 2006). Bizim çalışmamızda da önceki çalışmalara benzer şekilde endodontik tedavili dişler sağlam ve restore edilmiş dişlere kıyasla istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha düşük değerlerde kırılma gösterdiler.

In vitro kırılma dayanımı çalışmalarında, örneklerin gömüldükleri materyaller ve periodontal ligament'in taklit edilmesi önemlidir. İntraoral ortamda dişler çene kemiği içerisinde periodontal ligament vasıtası ile bulunur. Kuvvet dişe geldiğinde, periodontal ligament'te minimal bir sıkışma olur, bu durum da dişin az oranda yer değiştirmesi ile sonuçlanır. Kuvvet arttıkça periodontal ligament'in gösterdiği direnç artar ve kuvvet kök yüzeyi boyunca dağılır (Picton ve Davies, 1967). Periodontal ligament'in verdiği bu yanıt viskozdur ve elastomerik ölçü materyallerine benzer.

In vitro kırılma dayanımı çalışmalarında; örnekler genelde alçı, akrilik ve polisitrene gömülmektedir (De Souza, 2001; Al-Wahadni ve Gutteridge, 2002; Mezzomo ve diğerleri, 2003). Soares ve arkadaşları'nın (2005) yaptıkları bir çalışmada, örneklerin gömüldüğü rezin materyalin kırılma dayanımı sonuçlarını etkilemediği, ancak periodontal ligament'in taklit edilmesinin sonuçları etkilediğini bildirmişlerdir.

Biz de çalışmamızda periodontal ligament ve kemiğin mevcudiyetini taklit etmek amacıyla dişlerin köklerini streç film kalınlığında A tipi silikon ile kapladıktan sonra, akrilik rezine mine-sement bileşiminin 1 mm apikalinde olacak şekilde gömerek, kırılma testimizi gerçekleştirdik (Kemaloglu, 2015).

Sağlam dişler ile endodontik tedavi yapılmış ve restore edilmiş dişler karşılaştırıldığında, Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 5 ve Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10 dışındaki tüm gruplarda kırılma dayanımının sağlam dişlere göre istatistiksel olarak daha düşük elde edildiği görüldü. Filtek Bulk-fill Posterior ile restore

edilen Grup 5 ve Surefill SDR + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 10'daki örneklerin kırılma dayanımının ise sağlam dişlere benzer değerlerde olduğu tespit edildi. Restore edilen tüm gruplar sağlam dişe yakın değerler sergilerken, istatistiksel olarak anlamlı olmasa da Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen gruplar Filtek Z250 ile restore edilen gruplara kıyasla daha yüksek kırılma dayanımı sergilediği görüldü (EverX Posterior + Filtek Bulk-fill Posterior ile restore edilen Grup 8 dışında).

Kalburge ve arkadaşları'nın (2003) endodontik tedavili dişlerin farklı kompozitlerle restorasyonu sonrasında kırılma dayanımını ölçtükleri çalışmalarında, üst ve alt çene küçük azı dişlerin ağız ortamındaki temasını taklit edilebilmesi amacıyla örnekleri 45⁰'lik açı ile ve dişin uzun aksı ile cihazın ucu arasındaki açı 150⁰ olacak şekilde cihaza yerleştirmişlerdir. Burke ve arkadaşları'nın (1993) yaptıkları çalışmada, küçük azı dişlerin kırılma dayanımının ölçülmesinde en doğru yöntemin kuvvetin küre şeklinde bir uç ile uygulanmasını önermişlerdir. Bu nedenle, çalışmamızın kırılma dayanımı testi aşamasında Burke ve arkadaşları'nın önerdiği şekilde 4 mm çapında küre şekilli paslanmaz çelik uçlar kullanıldı ve universal test cihazı 0,5 mm/dk başlık hızı ile çalıştırıldı.

Materyallerin mekanik özellikleri materyali test etmek için uygulanan kuvvetin yönü ile ilişkilidir (Torabzadeh ve diğerleri, 2014). Küçük azı dişlerin arktaki spesifik pozisyonu ve çiğneme anındaki okluzal yükleri taklit etmek için çalışmamız da Taha ve arkadaşlarının (2011) yaptığı gibi kuvvet 45⁰'lik açı ile palatinal tüberkülden uygulandı. Kuvvetin sadece bu bölgeden uygulanması, kırılma dayanımı değerlerinin, üzerine uygulanan capping materyalinin elastisitesinden daha çok etkilenmiş olmasını açıklayabilir. Filtek Z250'nin doldurucu partikül oranı Filtek Bulk-fill Posterior'dan daha fazladır ve matriks içeriğinde ağır monomer ağırlığına sahip Bis-GMA bulunur (Zorzin ve diğerleri, 2015). Rezin kompozitlerin elastisite modülüsü, doldurucu partikül ağırlığı ve monomerlerin molekül ağırlığından etkilenir ve rezin kompozitin düşük elastisite modülüsü rezin kompozitin gelen kuvvetleri absorbe etmesini mümkün kılar (Masouras, 2008; Görücü ve Ozgünaltay, 2003).

Çalışmalar (Belli ve diğerleri, 2006;2005) fiber kullanımının endodontik kaviteli dişlerde kırılma dayanımını arttırdığını bildirse de Oskoe ve arkadaşları'nın (2009) yaptıkları çalışmanın ve bizim çalışmamızın sonuçlarından gingival bölgeye fiber eklemenin kırılma dayanımına etkisinin olmadığı gözlemlendi. Çalışmalar arası farklılık kullanılan fiber tiplerinin farklılığından olabilir.

Endodontik tedavi sonrasında kalan dentin miktarı ve yapısal özellikleri dişe uygulanan kuvvetler sırasında dişte oluşan kırıkların tipini belirler (Reeh ve diğerleri, 1989). Adeziv restorasyonlar endodontik tedavi görmüş MOD kaviteli dişlerin restorasyonunda ideal olarak kullanılabilir. Bu materyallerle yapılan restorasyonlar hem estetik hem de dişe gelen stresleri diş-restorasyon arayüzüne aktararak diş yapısını güçlendirir (Eakle, 1986). Soares ve arkadaşları'nın (2008) endodontik tedavi görmüş dişlerin sonlu elemanlar analizi ile kırılma dayanımı ve stres dağılımını inceledikleri çalışmalarında, en çok katastrofik kırığın bizim çalışmamızda olduğu gibi kanal tedavili restore edilmemiş MOD kaviteli dişlerde olduğu görüldü.

Materyallerin mekanik özellikleri oluşan kırığın tipinde etkilidir (Trabert ve diğerleri, 1978). Rezin kompozitlerin dönüşüm derecesi materyalin içerisindeki monomerik C=C bağlarının polimerik C=C bağlarına dönüşmesini ifade eder (Ferracane, 1985). Dönüşüm derecesinin artırılması materyalin mekanik ve yapısal özelliklerinde iyileşme sağlar. Bulk-fill rezin kompozitlerde doldurucu partikül içeriği düşürülüp partikül boyutları artırılarak materyalin translusensisi ve aynı zamanda da dönüşüm dereceleri arttırmaya çalışılmıştır. Gonçalves ve arkadaşları (2018) farklı kalınlıklardaki bulk-fill rezin kompozitlerin dönüşüm derecelerini geleneksel rezin kompozitlerle karşılaştırdığı çalışmada, 2 mm kalınlığındaki Filtek Bulk-fill Posterior'un dönüşüm derecesinin geleneksel rezin kompozitlere kıyasla daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Filtek Bulk-fill Posterior yapısında bulundurduğu yeni AUDMA ve AFM monomerleri sayesinde, ilave parçalı zincir transferi özelliğine sahiptir (Jlekh ve Abdul-Ameer, 2018). İlave parçalı zincir transferi özelliğinin avantajı bir alil disülfür bağı yoluyla çapraz bağlanmada net bir kayıp olmadan, bağ kırılması ve yeniden biçimlendirilmesi yoluyla materyalin içerisinde oluşan streslere adaptasyon sağlayabilme kapasitesidir (Park ve diğerleri, 2012). Filtek Bulk-fill Posterior'un sahip olduğu dönüşüm derecesindeki ve monomer yapısındaki farklılıklar capping olarak Filtek Bulk-fill Posterior kullanılan gruplarda daha az mine-sement bileşiminin altında kırık görülmesini açıklayabilir.

Restorasyon kenarlarında mikrosızıntının değerlendirilmesinde; bakteriyel sızıntı, radyoizotop, nötron aktivasyon testi, SEM analizi, boya penetrasyon yöntemi gibi değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan yöntemlerden biri maliyetinin az ve uygulanabilirliğinin kolay olmasından dolayı boya penetrasyon testidir. (Raskin ve diğerleri, 2001).

Boya penetrasyonu yöntemi, kontrast boyaların içerisinde örneklerin daldırılması sonrası diş restorasyon arayüzündeki sızıntının işaretleyici boyalar sayesinde incelenmesini sağlar. Bu yöntemde en çok %0,5'lik bazik fuksin, %2'lik metilen mavisi ve %50'lik gümüş nitrat kullanılır (AlHabdan, 2017). Literatürde boya penetrasyon yönteminde kullanılan boya tipi ve boyada bekletme süreleri farklılık göstermektedir (Gerdolle, 2005; AlSagob, 2018; García Marí ve diğerleri, 2018). Tez çalışmamızda endodontik tedavi görmüş üst küçük azı dişlerde farklı materyal ve teknikler kullanılarak restore edilmesinin mikrosızıntı üzerine etkisini incelediğimiz aşamasında, kullanımı daha kolay ve yaygın olduğundan %0,5'lik bazik fuksin boyası kullanıldı ve örnekler boya içinde 24 saat bekletildi.

Boya penetrasyonu ile mikrosızıntının tespitinin yapıldığı birçok çalışmada olduğu gibi, bizim çalışmamızda da dişler mesio-distal olarak iki parçaya ayrıldı ve parçaların her ikisi de stereomikroskop altında x 40 büyütmede incelendi (Gyanani, 2016; Aranha ve Pimenta, 2004).

Örneklerden alınan kesitlerdeki boyanın penetrasyon oranları görüntülerin dijital ortama aktarılması sonrasında hesaplanabildiği gibi, skorlanarak da değerlendirme yapılabilir (Cehreli, 2006; Mosharrafian ve diğerleri, 2017). Bu çalışmamızda mikrosızıntının tespiti için 0 ile 4 arasında değişen skorlama yöntemi kullanıldı.

Heintz (2013) mikroskop ile yapılan çalışmalarda, kalibrasyon altında aynı kişinin aynı örneği iki kez incelemesinde değerlendirmeler arasında %2 ile %8 değişkenlik gösterdiğini, aynı örneği farklı iki kişinin incelemesinde ise bu değişikliğin %10 ile %20 oranına çıktığını belirtmiştir. Bu nedenle, çalışmamızda örnekler aynı kişi tarafından aynı kalibrasyon altında iki kez skorlanarak mikrosızıntı değerlendirmesi yapıldı.

İnkremental teknik yeterli ışık penetrasyonu ve yapı içerisindeki büzülme kaynaklı stresleri azaltmak için önerilirken, restorasyonun yapılma süresinin artmasına neden olması, tabakalar arası boşluk veya kontaminasyon oluşma riski gibi dezavantajları bulunmaktadır (Singhal ve diğerleri, 2017). Bu duruma ek olarak tabakalama yöntemiyle uygulanan Filtek Z250 diğer rezin kompozitlerle karşılaştırıldığında elastik modülüsü daha yüksektir ve elastik modülüsü yüksek rezin kompozitler arka grup dişlerin restorasyonlarında daha iyi kontaklar sağlamasına rağmen marjinal kenarlarda ve gingival tabanda yeterince iyi adaptasyon sağlayamayabilir (Leinfelder, 1991).

Fiber, rezin kompozitin içerisine yerleştirilirken yapıyı sağlamlaştırmak ya da polimerizasyon büzülmesini azaltmak amaçlarının dışında yapı içerisindeki kuvvetleri eşit dağıtmayı da amaçlar (Belli ve diğerleri, 2005). Filtek Bulk-fill Posterior ile capping yapılmış gruplar arasında yapısına fiber eklenmiş grupta fark olması, yapının büzülürken homojen büzülerek diş restorasyon arayüzünde daha az mikroaralık oluşmasına neden olmuş olabilir.

EverX Posterior piyasaya kısa fiber içeren rezin kompozit olarak sunulmuş ve su emilimi özelliklerinden dolayı materyallerin kor yapısında ya da rezin kompozitlerin tabanlarında dış ortamla temas etmeyecek şekilde kullanımları önerilmiştir (EverX Posterior, 2013). Çalışmamızda da EverX Posterior'un kullanıldığı Grup 7 ve Grup 8'de bu materyalin üzerine capping materyali olarak mikrohibrit yapıya sahip Filtek Z250 veya bir bulk-fill rezin kompozit olan Filtek Bulk-fill Posterior kullanıldı. Çalışmamızın ilk aşamasında tespit edilen bulgulara göre EverX Posterior'un büzülme miktarının diğer tüm gruplara kıyasla fazla olmasının, bu materyalin gingival tabanda stresten daha fazla etkilenmesi ile açıklanabilir.

Mikrosızıntı birçok faktörden etkilendiği gibi polimerizasyon büzülmesi arttıkça gingival mikrosızıntıda da artış beklenir (Kaisarly ve Gezawi, 2016). Çalışmamızda EverX Posterior ile restore edilen Grup 7 ve Grup 8'de en çok tüberkül hareketinin izlendiği gruplardı. Bu gruplar tüberkül hareketleri esas alınarak karşılaştırıldığında, en çok büzülen gruplarken mikrosızıntı skorları esas alınarak karşılaştırıldığında ise en çok mikrosızıntı Filtek Z250'nin inkremental yöntem ile kullanıldığı Grup 3'deki örneklerden tespit edildi.

Gruplar arasında tüberkül hareketlerinin miktarlarının benzer olması mikrosızıntı skorları arasında da benzerliğe yol açmış olabilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu *in vitro* çalışmanın sınırları dahilinde;

1. Polimerizasyon bütülmesi sonucunda oluşan tüberkül hareketinin, ışık uygulamasından hemen sonra başladığı ve fiberle güçlendirilmiş bulk-fill rezin kompozit, EverX Posterior'un Filtek Bulk-fill Posterior ile kullanıldığı grup dışında 180 saniye sonra sonlandığı tespit edildi. EverX Posterior'un Filtek Bulk-fill Posterior ile kullanıldığı grupta ise tüberkül hareketinin 240 saniyelik izlem aralığına kadar devam ettiği görüldü.
2. Ortalama tüberkül hareketi miktarları tüm deney gruplarında incelendiğinde, en düşük tüberkül hareketinin mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250'nin fiber ile birlikte kullanılmasıyla, en yüksek tüberkül hareketinin ise fiberle güçlendirilmiş bulk-fill rezin kompozit, EverX Posterior'un mikrohibrit rezin kompozit Z250 ile kullanılması sonucu elde edildiği görüldü.
3. Tüberkül hareketinin kullanılan materyal veya teknikle ilişkisi incelendiğinde,
 - a. Mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250'nin fiber ile birlikte kullanımının tek başına inkremental teknikle, fiberle güçlendirilmiş bulk-fill rezin kompozit, EverX Posterior ile veya düşük viskoziteli bulk-fill rezin, Surefill SDR ile kullanımına göre daha az tüberkül hareketi oluşumuna neden olduğu görüldü.
 - b. Yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozit, Filtek Bulk-fill Posterior'un düşük viskoziteli bulk-fill rezin kompozit, Surefill SDR ile birlikte kullanımının tek başına, fiber ile veya fiberle güçlendirilmiş bulk-fill rezin kompozit, EverX Posterior ile kullanımına göre daha az tüberkül hareketi oluşumuna neden olduğu saptandı.
4. Endodontik tedavi görmüş MOD kaviteli dişlerin farklı materyallerle restorasyonunda, pulpal tabana fiber yerleştirmenin tüberkül hareketine etkisi incelendiğinde; mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250 ile yapılan restorasyonlarda fiber yerleştirmenin tüberkül hareketinin azalması yönünde olumlu etkisinin olduğu tespit edilirken, yüksek viskoziteli bulk-fill rezin kompozit, Filtek Bulk-fill Posterior'un fiber ile birlikte kullanımının tüberkül hareketini azaltma yönünde etkisinin olmadığı saptandı.
5. Fiberle güçlendirilmiş bulk-fill rezin kompozit, EverX Posterior veya düşük viskoziteli bulk-fill rezin, Surefill SDR'nin kullanıldığı gruplarda capping materyali

olarak yüksek viskositeli bulk-fill rezin kompozit, Filtek Bulk-fil Posterior'un mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250'ye göre daha az tüberkül hareketinin oluşumuna neden olduğu tespit edildi. Diğer bir deyişle, fiberle güçlendirilmiş bulk-fill rezin kompozit, EverX Posterior veya düşük viskositeli bulk-fill rezin, Surefill SDR'nin kullanıldığı gruplarda tüberkül hareketinin oluşumunda capping materyalinin etkisinin olduğu saptandı.

6. Kırılma dayanım testine göre, yüksek viskositeli bulk-fill rezin kompozit, Filtek Bulk-fil Posterior'un düşük viskositeli bulk-fill rezin, Surefill SDR ile kullanımı sonucu sağlam dişlere benzer kırılma dayanımı elde edildi.
7. Kırılma tipleri incelendiğinde,
 - a. Mine-sement bileşiminin altında en fazla kırık oluşumunun düşük viskositeli bulk-fill rezin, Surefill SDR'nin mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250 ile kullanılmasıyla, en az ise yüksek viskositeli bulk-fill rezin kompozit, Filtek Bulk-fill Posterior'un tek başına kullanılmasıyla elde edildiği tespit edildi.
 - b. Fiber kullanımının kırık tipine etkisi incelendiğinde, fiber'in yüksek viskositeli bulk-fill rezin kompozit, Filtek Bulk-fill Posterior ile kullanımının mine-sement bileşiminin üzerinde kırık oluşumuna neden olduğu, mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250'nin ise mine-sement bileşiminin altında kırık oluşumuna neden olduğu görüldü.
 - c. Yüksek viskositeli bulk-fill rezin kompozit, Filtek Bulk-fill Posterior'un fiberle güçlendirilmiş bulk-fill rezin kompozit, EverX Posterior ile kullanımının mine-sement bileşiminin altında kırık oluşumuna neden olurken, mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250 ile kullanımının mine-sement bileşiminin üzerinde kırık oluşumuna neden olduğu saptandı.
 - d. Düşük viskositeli bulk-fill rezin, Surefill SDR'nin mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250 ile kullanımının mine-sement bileşiminin altında, yüksek viskositeli bulk-fill rezin kompozit, Filtek Bulk-fill Posterior ile kullanımının ise mine-sement bileşiminin üzerinde kırık oluşumuna neden olduğu görüldü.
8. Mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250'nin inkremental teknikle uygulandığı örneklerde daha fazla mikrosızıntı oluştuğu görüldü.

Tüm bu bulgular doğrultusunda, endodontik tedavi gören MOD kaviteli dişlerin restorasyonunda mikrohibrit rezin kompozit, Filtek Z250 veya yüksek viskositeli bulk-fill

rezin kompozit, Filtek Bulk-fill Posterior gibi restoratif materyallerin kullanımının tüberkül hareketi, kırılma dayanımı ve mikrosızıntı üzerine değişik etkilerinin olduğu görüldü. Bu restoratif materyallerle birlikte fiber veya fiberle güçlendirilmiş bulk-fill rezin kompozit, EverX Posterior'un restorasyonu güçlendirmek amacıyla kullanılmasının da tüberkül hareketi, kırılma dayanımı ve mikrosızıntı üzerine etkilerinin olduğu tespit edildi. Ayrıca, polimerizasyon büzülme miktarı düşük olduğu ileri sürülen düşük viskoziteli bulk-fill rezin, Surefill SDR'nin fazla madde kaybı olan endodontik tedavili dişlerde restoratif materyal altında kullanımının da çalışmamız test kriterleri üzerinde etkilerinin olduğu gözlemlendi. Bu nedenle, klinik olarak restore edilecek dişin madde kaybı ve bulunduğu pozisyona dikkat edilerek restoratif materyal ve kullanılacak teknik seçimi yapılması önerilebilir.





KAYNAKLAR

- A, L., Buch, A., Khamar, M. and Patel, P. (2015). Polymerization shrinkage of composite resins: a review. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research*, 2(10), 23-27.
- Abed, Y. A. and Sabry, H. A. (2015). Degree of conversion and surface hardness of bulk-fill composite versus incremental-fill composite. *Tanta Dental Journal*, 12(2), 71-80.
- Abouelleil, H., Pradelle, N., Villat, C., Attik, N., Colon, P. and Grosgeat, B. (2015). Comparison of mechanical properties of a new fiber reinforced composite and bulk filling composites. *Restorative Dentistry and Endodontics*, 40(4), 262-270.
- Ağaççioğlu, M. and Aytaç, F. (2019). Kompozit rezinlerin polimerizasyon özellikleriyle ilgili analiz yöntemleri. *Turkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 25(2), 201-212.
- Akman, S., Akman, M., Eskitascioglu, G. and Belli, S. (2011). Influence of several fibre-reinforced composite restoration techniques on cusp movement and fracture strength of molar teeth. *International Endodontic Journal*, 44, 407-415.
- AlHabdan, A. A. (2017). Review of microleakage evaluation tools. *Journal of International Oral Health*, 9(4), 141-145.
- Al-Harbi, F., Kaisarly, D., Bader, D. and El Gezawi, M. (2016). Marginal integrity of bulk versus incremental fill class II composite restorations. *Operative Dentistry*, 41(2), 146-156.
- Alomari, Q., Reinhardt, J. and Boyer, D. (2001). Effect of liners in cusp deflection and gap formation in composite restoration. *Operative Dentistry*, 26, 406-411.
- AlSagob, E. I., Bardwell, D. N., Ali, A. O., Khayat, S. G. and Stark, P. C. (2018). Comparison of microleakage between bulk-fill flowable and nanofilled resin-based composites. *Interventional Medicine and Applied Science*, 10(2), 102-109.
- Alshali, R. Z., Silikas, N. and Satterthwaite, J. D. (2013). Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. *Dental Materials*, 29(9), 213-217.
- Al-Wahadni, A. and Gutteridge, D. L. (2002). An in vitro investigation into the effects of retained coronal dentine on the strength of a tooth restored with a cemented post and partial core restoration. *International Endodontic Journal*, 35(11), 913-918.
- Alzraikat, H., Burrow, M., Maghaireh, G. and Taha, N. (2018). Nanofilled Resin Composite Properties and Clinical Performance: A Review. *Operative Dentistry*, 43(4), 173-190.
- Amore, R., Pagani, C., Youssef, M., Netto, C. and Lewgoy, H. (2003). Polymerization shrinkage evaluation of three packable composite resins using a gas pycnometer. *Pesquisa Odontologica Brasileira*, 17(3), 273-277.
- Anusavice, K., Shen, C. and Rawls, H. (2003). *Philip's science of dental materials elsevier science*. St. Louis: Saunders,

- Appleguist, E. and Meiers, J. (1996). Effect of bulk insertion, prepolymerized resin composite balls, and beta-quartz inserts on microleakage of Class V resin composite restorations. *Quintessence International*, 27(4), 253-258.
- Aranha, A. C. and Pimenta, L. A. (2004). Effect of two different restorative techniques using resin-based composites on microleakage. *American Journal of Dentistry*, 17(2), 99-103.
- Arhun, N. (2017). Restoratif tedavide fiber uygulamaları. *Türkiye Klinikleri Restoratif Diş Tedavisi - Özel Konular*, 3(2), 93-103.
- Arhun, N., Çelik, C. and Yamanel, K. (2010). Clinical evaluation of resin-based composites in posterior restorations: two-year results. *Journal of Operative Dentistry*, 35(4), 397-404.
- Asmussen, E., Peutzfeldt, A. and Heitmann, T. (1999). Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. *Journal of Dentistry*, 27, 275-278.
- Aydın, N., Karaoğlanoğlu, S., Oktay, E., Topçu, F. and Demir, F. (2019). Diş hekimliğinde bulk fill kompozit rezinler. *Selçuk Dental Journal*, 6, 229-238.
- Ayyıldız, S., Uyar, A. and Yüzügüllü, B. (2009). Diş hekimliğinde mikrosızıntı ve inceleme yöntemleri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 19(3), 219-226.
- Baek, J. H., Na, J., Lee, B. H., Choi, E. and Son, W. S. (2009). Optical approach to the periodontal ligament under orthodontic tooth movement: A preliminary study with optical coherence tomography. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(2), 252-259.
- Barinka, M., Van der Marka, P., Fennis, W., Kuijse, R., Kreulenb, C. and Verdonschota, N. (2003). A three-dimensional finite element model of the polymerization process in dental restorations. *Biomaterials*, 24(8), 1427-1435.
- Baroudi, K. and Rodrigues, J. (2015). Flowable resin composites: A systematic review and clinical considerations. *Journal of Clinical and Diagnostic Research for Doctors*, 9(6), 18-24.
- Bateman, G., Ricketts, D. and Saunder, W. (2003). Fibre-based post systems: A review. *British Dental Journal*, 195, 43-48.
- Bayne, S., Heymann, H. and Swift, E. (1994). Update on dental composite restorations. *Journal of American Dental Association*, 125(6), 687-701.
- Baysal, N. and Ayyıldız, S. (2014). Sabit bölümlü protezlerde fiberle güçlendirilmiş kompozit rezin kullanımı. *The Journal of Faculty of Dentistry of Ataturk University*, 24(2), 315-325.
- Behery, H., El-Mowafy, O., El-Badrawy, W., Saleh, B. and Nabih, S. (2016). Cuspal deflection of premolars restored with bulk-fill composite resins. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 28(2), 122-130.

- Belli, S., Erdemir, A. and Yildirim, C. (2006). Reinforcement effect of polyethylene fibre in root-filled teeth: comparison of two restoration techniques. *International Endodontic Journal*, 39(2), 136-142.
- Belli, S., Erdemir, A., Ozcopur, M. and Eskitascioglu, G. (2005). The effect of fibre insertion on fracture resistance of root filled molar teeth with MOD preparations restored with composite. *International Endodontic Journal*, 38(2), 73-80.
- Benett, A., Havndrup-Pedersen, C., Honoré, D., Pedersen, M. and Pallesen, U. (2015). Bulk-fill resin composites: Polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. *Operative Dentistry*, 40(2), 190-200.
- Berry, T. G. and Osborne, J. W. (1989). Dentin bonding vs. enamel bonding of composite restorations: A clinical evaluation. *Dental Materials*, 5(2), 90-92.
- Bhatti, U. (2019). The phenomenon of postoperative sensitivity and composite restorations - a review. *Journal of The Pakistan Dental Association*, 28(1), 33-40.
- Bonchev, A., Radeva, E. and Tsvetanova, N. (2015). Fiber reinforced composite posts - a review of literature. *International Journal of Science and Research*, 6(10), 1887-1893.
- Bouillaguet, S., Gamba, J., Forchelet, J., Krejci, I. and Wataha, J. C. (2006). Dynamics of composite polymerization mediates the development of cuspal strain. *Dental Materials*, 22(10), 896-902.
- Bowen, R. (1963). Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. *Journal of American Dental Association*, 66, 57-64.
- Bowen, R. (1979). Compatibility of various materials with oral tissues. 1: the components in composite restorations. *Journal of Dental Research*, 58(5), 1493-1503.
- Braga, R. R., Ballester, R. Y. and Ferracane, J. L. (tarih yok). Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dental Materials*, 21(10), 962-970.
- Braga, R. and Ferracane, J. (2004). Alternatives in polymerization contraction stress management. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine*, 15(3), 176-184.
- Bucuta, S. and Ilie, N. (2014). Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clinical Oral Investigations*, 18(8), 1991-2000.
- Burgess, J., Walker, W. and Davidson, J. (2002). Posterior resin-based composite: Review of the literature. *Pediatric Dentistry*, 24, 465-479.
- Burke, F. J., Wilson, N. H. and Watts, D. C. (1993). The effect of cavity wall taper on fracture resistance of teeth restored with resin composite inlays. *Operative Dentistry*, 18(6), 230-236.
- Campos, E., Ardu, S., Lefever, D., Jassé, F., Bortolotto, T. and Krejci, I. (2014). Marginal adaptation of class II cavities restored with bulk-fill composites. *Journal of Dentistry*, 42(5), 575-581.

- Cehreli, S. B., Gungor, H. C. and Karabulut, E. (2006). Er,Cr:YSGG laser pretreatment of primary teeth for bonded fissure sealant application: a quantitative microleakage study. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 8(6), 381-386.
- Chandrasekhar, V., L., R., V., B. and M., T. (2017). Incremental techniques in direct composite restoration. *Journal of Conservative Dentistry*, 20(6), 386-391.
- Charlton, D. G. and Moore, B. K. (1992). In vitro evaluation of two microleakage detection tests. *Journal of Dentistry*, 20(1), 55-58.
- Chen, H. Y., Manhart, J., Hickel, R. and Kunzelmann, K. H. (2001). Polymerization contraction stress in light-cured packable composite resins. *Dental Materials*, 17(3), 253-259.
- Chen, M. (2010). Update on dental nanocomposites. *Journal of Dental Research*, 89(6), 549-560.
- Chesterman, J., Jowett, A., Gallacher, A. and Nixon, P. (2017). Bulk-fill resin-based composite restorative materials: A review. *British Dental Journal*, 222, 337-344.
- Chi, H. (2006). A posterior composite case utilizing the incremental and stratified layering technique. *Operative Dentistry*, 31(4), 512-516.
- Choi, K., Condon, J. and Ferracane, J. (2000). The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *Journal of Dental Research*, 79(3), 812-817.
- Chuang, S., Chang, C. and Chen, T. (2011). Spatially resolved assessments of composite shrinkage in MOD restorations using a digital-image-correlation technique. *Dental Materials*, 27(2), 134-143.
- Chun, K. J. and Lee, J. Y. (2014). Comparative study of mechanical properties of dental restorative materials and dental hard tissues in compressive loads. *Journal of dental Biomechanics*, 5, 1-6.
- Cidreira Boaro, L. C., Pereira Lopes, D., de Souza, A., Lie Nakano, E., Ayala Perez, M. D., Pfeifer, C. S. and Gonçalves, F. (2019). Clinical performance and chemical-physical properties of bulk fill composites resin -a systematic review and meta-analysis. *Dental Materials*, 35(10), 249-264.
- Cobanoglu, N., Ozer, F., Demirci, M., Erganis, O. and Imazato, S. (2014). Bacterial penetration of restored cavities using two self-etching bonding systems. *European Journal of Dentistry*, 8(2), 166-171.
- Conte, R. and Goodchild, J. (2013). Flowable composite resins: do they decrease microleakage and shrinkage stress? *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 34.
- Corral-Núñez, C., Vildósola-Grez, P., Bersezio-Miranda, C., Alves-Dos Campos, E. and Godoy, E. (2015). State of art of bulk-fill resin based composites: A review. *Revista Facultad De Odontologica Universidad Antioquia*, 27(1), 425-441.

- Cramer, N., Stansbury, J. and C.N., B. (2011). Recent advances and developments in composite dental restorative materials. *Journal of Dental Research*, 90(4), 402-416.
- Damineni, R., Abhilash, Shailendra, M. and Reddy, G. (2014). Evaluation of polymerization shrinkage of light cured composite resins. *Advances in Human Biology*, 4(3), 26-30.
- Danin, J., Linder, L., Sund, M.-L., Strömberg, T., Torstenson, B. and Zetterqvist, L. (1992). Quantitative radioactive analysis of microleakage of four different retrograde fillings. *International Endodontic Journal*, 25(4), 183-188.
- Dayangaç, B. (2000). *Kompozit Restorasyonlar*. İstanbul: Quintessence,
- De Melo Monteiro, G., Montes, M., Rolim, T., de Oliveira Mota, C., de Barros Correia Kyotoku, B., Gomes, A. and de Freitas, A. (2011). Alternative methods for determining shrinkage in restorative resin composites. *Dental Materials*, 27(8), 176-185.
- De Souza, G., Pereira, G., Dias, C. and Paulillo, L. (2001). Fracture resistance of teeth restored with the bonded amalgam technique. *Operative Dentistry*, 26(5), 511-515.
- Deliperi, S., Bardwell, D. N. and Coiana, C. (2005). Reconstruction of devital teeth using direct fiber-reinforced composite resins: A case report. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 7(2), 165-171.
- Delivanis, P. and Chapman, K. (1982). Comparison and reliability of techniques for measuring leakage and marginal penetration. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 53(4), 410-416.
- Derkson, G. D., Pashley, D. H. and Derkson, M. E. (1986). Microleakage measurement of selected restorative materials: A new in vitro method. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 56(4), 435-440.
- Dhingra, V., Taneja, S., Kumar, M. and Kumari, M. (2014). Influence of fiber inserts, type of composite, and gingival margin location on the microleakage in Class II resin composite restorations. *Operative Dentistry*, 39(1), 9-15.
- Dickens, S. H., Stansbury, J. W., Choi, K. M. and Floyd, C. J. (2003). Photopolymerization kinetics of methacrylate dental resins. *Macromolecules*, 36(16), 6043-6053.
- Douglas, W. H., Chen, C. J. and Craig, R. G. (1980). Neutron activation analysis of microleakage around a hydrophobic composite restorative. *Journal of Dental Research*, 59(9), 1507-1510.
- Dyer, S. R., Lassila, L. V., Jokinen, M. and Vallittu, P. K. (2004). Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. *Dental Materials*, 20(10), 947-955.
- Eakle, W. S. (1986). Fracture resistance of teeth restored with class II bonded composite resin. *Journal of Dental Research*, 65(2), 149-153.

- Eapen, A. M., Amirtharaj, L. V., Sanjeev, K. and Mahalaxmi, S. (2017). Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with 2 different fiber-reinforced composite and 2 conventional composite resin core buildup materials: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 43(9), 1499-1504.
- Edward, S. and Rodrigo, F. (2018). *Dental biomaterials*. USA: World Scientific,
- El-Damanhoury, H. (2014). Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Operative Dentistry*, 39(4), 374-382.
- El-Korashy, D. (2010). Post-gel shrinkage strain and degree of conversion of preheated resin composite cured using different regimens. *Operative Dentistry*, 35(2), 172-179.
- Ellakwa, A., Cho, N. and Lee, I. (2007). The effect of resin matrix composition on the polymerization shrinkage and rheological properties of experimental dental composites. *Dental Materials*, 23(10), 1229-1235.
- Ellis, J. and Brown, L. (1967). Application of an in vitro cariogenic technic to study the development of carious lesions around dental restorations. *Journal of Dental Research*, 46(2), 403-408.
- Elsharkasi, M. M., Platt, J. A., Cook, N. B., Yassen, G. H. and Matis, B. A. (2018). Cuspal deflection in premolar teeth restored with bulk-fill resin-based composite materials. *Operative Dentistry*, 43(1), 1-9.
- Erdemir, U. and Yaman, B. (2011). Diş hekimliğinde mikrosızıntı ve mikrosızıntı ölçüm yöntemleri. *İstanbul Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 45(1), 25-35.
- Ernst, C. P., Brand, N., Frommator, U., Rippin, G. and Willershausen, B. (2003). Reduction of polymerization shrinkage stress and marginal microleakage using soft-start polymerization. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 15(2), 93-104.
- Eronat, N., Candan, U. and Turkun, M. (2009). Effects of glass fiber layering on the flexural strength of microfill and hybrid composites. *The Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 21(3), 171-181.
- Eskitascioğlu, G., Eskitascioğlu, A. and Belli, S. (2004). Use of polyethylene ribbon to create a provisional fixed partial denture after immediate implant placement: A clinical report. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 91(1), 11-14.
- Fabianelli, A., Pollington, S., Davidson, C., Cagidiaco, M. and Goracci, C. (2007). The relevance of micro-leakage studies. *International Dentistry South Africa*, 9(3), 64-74.
- Fagin, M. (2000). *Color atlas of dental medicine-aesthetic dentistry*. New York: Thieme,
- Ferracane, J. (1985). Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dental Materials*, 1(1), 11-14.
- Ferracane, J. (1995). Current trends in dental composites. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine*, 6(4), 302-318.
- Ferracane, J. (2011). Resin composite-State of the art. *Dental Materials*, 27, 29-38.

- Ferrari, M., Vichi, A., Fadda, G., Cagidiaco, M., Tay, F., Breschi, L. Goracci, C. (2012). A randomized controlled trial of endodontically treated and restored premolars. *Journal of Dental Research*, 91(7), 72-78.
- Fleming, M. G. and Maillet, W. A. (1999). Photopolymerization of composite resin using the argon laser. *Journal-Canadian Dental Association*, 65, 447-452.
- Floyd, C. J. and Dickens, S. H. (2006). Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. *Dental Materials*, 22(12), 1143-1149.
- Fortin, D. and Vargas, M. A. (2000). The spectrum of composites: New techniques and materials. *The Journal of the American Dental Association*, 131, 26-30.
- Frese, C., Schiller, P., Staehle, H. and Wolff, D. (2014). Fiber-reinforced composite fixed dental prostheses in the anterior area: A 4.5-year follow-up. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 112, 143-149.
- Fronza, B., Rueggeberg, F., Braga, R., Mogilevych, B., Soares Martin, A., Ambrosano, G. and Giannini, M. (2015). Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dental Material*, 31(12), 1542-1551.
- Gaintantzopoulou, M. D., Gopinath, V. K. and Zinelis, S. (2017). Evaluation of cavity wall adaptation of bulk esthetic materials to restore class II cavities in primary molars. *Clinical Oral Investigations*, 21(4), 1063-1070.
- Galvão, M. R., Caldas, S. G., Bagnato, V. S., de Souza Rastelli, A. N. and de Andrade, M. F. (2013). Evaluation of degree of conversion and hardness of dental composites photo-activated with different light guide tips. *European Journal of Dentistry*, 7(1), 86-93.
- Garapati, S., Das, M., Mujeeb, A., Dey, S. and Kiswe, S. P. (2014). Cuspal movement and microleakage in premolar teeth restored with posterior restorative materials. *Journal of International Oral Health*, 33(2), 47-50.
- García Marí, L., Climent Gil, A. and LLena Puy, C. (2018). In vitro evaluation of microleakage in class II composite restorations: High-viscosity bulk-fill vs conventional composites. *Dental Material Journal*, 160.
- Garcia, D., Yaman, P., Dennison, J. and Neiva, G. (2014). Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Operative Dentistry*, 39(4), 441-448.
- Garoushi, S., Sääilynoja, E., Vallittu, P. K. and Lassila, L. (2013). Physical properties and depth of cure of a new short fiber reinforced composite. *Dental Materials*, 29(8), 835-841.
- Gerdolle, D., Mortier, E., Loos-Ayav, C., Jacquot, B. and Panighi, M. (2005). In vitro evaluation of microleakage of indirect composite inlays cemented with four luting agents. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 93(6), 563-570.

- Ghavami-Lahiji, M. and Hooshmand, T. (2017). Analytical methods for the measurement of polymerization kinetics and stresses of dental resin-based composites: A review. *Dental Research Journal*, 14(4), 225-240.
- Giachetti, L., Scaminaci, R., Bambi, C. and Grandini, R. (2006). A review of polymerization shrinkage stress: Current techniques for posterior direct resin restorations A review of polymerization shrinkage stress: Current techniques for posterior direct resin restorations. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 7(4), 79-88.
- Gillen, B. M., Looney, S. W., Gu, L. S., Loushine, B. A., Weller, R. N., Loushine, R. J Tay, F. R. (2011). Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 37(7), 895-902.
- Going, R. (1972). Microleakage around dental restorations: A summarizing review. *The Journal of the American Dental Association*, 84(6), 1349-1357.
- Going, R., Myers, H. and Prussin, S. (1968). Quantitative method for studying microleakage in vivo and in vitro. *Journal of Dental Research*, 47(6), 1128-1132.
- Gonçalves, F., Campos, L. M., Rodrigues-Júnior, E. C., F. V., M. P., Francci, C. E., Braga, R. and Boaro, L. C. (2018). A comparative study of bulk-fill composites: degree of conversion, post-gel shrinkage and cytotoxicity. *Brazilian Oral Research*, 32(17),
- González López, S., Sanz Chinesta, M., Ceballos García, L., de Haro Gasquet, F. and González Rodríguez, M. (2006). Influence of cavity type and size of composite restorations on cuspal flexure. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal*, 11(5), 36-40.
- Goracci, C., Cadenaro, M., Fontanive, L., Giangrosso, G., Juloski, J., Vichi, A. and Ferrari, M. (2014). Polymerization efficiency and flexural strength of low-stress restorative composites. *Dental Materials*, 30(6), 688-694.
- Görge, V. and Güler, C. (2015). Residual monomer in dentistry: A literature review. *Medicine Science*, 4(1), 2024-2038.
- Görücü, J. and Özgünlaltay, G. (2003). Fracture resistance of teeth with Class II bonded amalgam and new tooth-colored restorations. *Operative Dentistry*, 28(5), 501-507.
- Gupta, R., Tomer, A. K., Kumari, A., Mullick, S. and Dubey, S. (2017). Bulkfill flowable composite resins – A review. *International Journal of Applied Dental Sciences*, 3(2), 38-40.
- Gupta, S., Saxena, P., Pant, V. and Pant, A. (2012). Release and toxicity of dental resin composite. *Toxicology International*, 3(225), 19.
- Guzy, G. E. and Nicholls, J. I. (1979). In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 42, 39-44.

- Gürel, M. A., Kivanç, B. H., Ekici, A. and Alaçam, T. (2016). Evaluation of crown discoloration induced by endodontic sealers and colour change ratio determination after bleaching. *Australian Endodontic Journal*, 42(3), 119-123.
- Gyanani, H. C., Chhabra, N., Shah, N. C. and Jais, P. S. (2016). Microleakage in Sub-Gingival Class II Preparations Restored Using Two Different Liners for Open Sandwich Technique Supplemented With or Without Ultrasonic Agitation: An In Vitro Study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(3), 70-73.
- Harper, W. (1912). The character of the adaptation of amalgam to the walls of cavities attained by present methods of instrumentation and the use of the best known alloys, as indicated by the air pressure test. *Dental-Review*, 26, 1179-1198.
- Harsha, M. S., Praffulla, M., Babu, M. R., Leneena, G., Krishna, T. S. and Divya, G. (2017). Harsha, M. S., Praffulla, M., Babu, M. R., Leneena, G., Krishna, T. S. and Divya, G. The Effect of Cavity Design on Fracture Resistance and Failure Pattern in Monolithic Zirconia Partial Coverage Restorations - An In vitro Study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11(5), 45-48.
- Hegde, V. and Sali, A. V. (2017). Fracture resistance of posterior teeth restored with high-viscosity bulk-fill resin composites in comparison to the incremental placement technique. *Journal of Conservative Dentistry*, 20(5), 360.
- Heintze, S. D. (2013). Clinical relevance of tests on bond strength, microleakage and marginal adaptation. *Dental Materials*, 29(1), 59-84.
- Hervás-García, A., Martínez-Lozano, M., Cabanes-Vila, J., Barjau-Escribano, A. and FosGalve, P. (2005). Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal*, 11, 215-220.
- Hickel, R., Peschke, A., Tyas, M. M., Bayne, S., Peters, M., Hiller, K., Heintze, S. (2010). FDI World Dental Federation: clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations-update and clinical examples. *Clinical Oral Investigations*, 14(4), 349-366.
- Hofmann, N., Denner, W., Hugo, B. and Klaiber, B. (2003). The influence of plasma arc vs. halogen standard or soft-start irradiation on polymerization shrinkage kinetics of polymer matrix composites. *Journal of Dentistry*, 31(6), 383-393.
- Hshad, M. E., Dalkılıç, E. E., Ozturk, G. C., Dogruer, I. and Koray, F. (2018). Influence of Different Restoration Techniques on Fracture Resistance of Root-filled Teeth: In Vitro Investigation. *Operative Dentistry*, 43(2), 162-169.
- Ikejima, I., Nomoto, R. and McCabe, J. (2003). Shear punch strength and flexural strength of model composites with varying filler volume fraction, particle size and silanation. *Dental Materials*, 19(3), 206-211.
- Ilie, N. and Hickel, R. (2011). Investigations on a methacrylate-based flowable composite based on the SDR™ technology. *Dental Materials*, 27(4), 348-355.
- Ilie, N., Bucuta, S. and Draenert, M. (2013). Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. *Operative Dentistry*, 38(6), 618-625.

- Jang, J., Park, S. and Hwang, I. (2015). Polymerisation Shrinkage and Depth of Cure of Bulk-Fill Resin Composites and Highly Filled Flowable Resin. *Operative Dentistry*, 40(2), 172-80.
- Ji, T. Y., Ghani, N. R., Baharin, F., Luddin, N., Noorani, T. Y. and Karobari, M. I. (2020). Coronal Seal Microleakage Effect of the Four Different Types of Restorative Materials on Endodontically Treated Lower Premolar. *World*, 11(4), 256-260.
- Jlekh, Z. A. and Abdul-Ameer, Z. M. (2018). Evaluation of the cuspal deflection of premolars restored with different types of bulk fill composite restoration. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 11(2), 751-757.
- Kaisarly, D. and Gezawi, M. E. (2016). Polymerization shrinkage assessment of dental resin composites: a literature review. *Odontology*, 104(3), 257-270.
- Kalburge, V., Yakub, S., Kalburge, J., Hiremath, H. and Chandurkar, A. (2013). A comparative evaluation of fracture resistance of endodontically treated teeth, with variable marginal ridge thicknesses, restored with composite resin and composite. *Indian Journal of Dental Research*, 193-198.
- Kamalak, H., Kamalak, A., Taghizadehghalehjoughi, A., Hacımuftüoğlu, A. and Nalcı, K. (2018). Cytotoxic and biological effects of bulk fill composites on rat cortical neuron cells. *Odontology*, 106(4), 377-388.
- Kannurpatti, A., Anderson, K., Anseth, J. and Bowman, C. (1997). Use of living radical polymerizations to study the structural evolution and properties of highly crosslinked polymer networks. *Journal of Polymer Science*, 35(14), 2297-2307.
- Karadaş, M. and Demirbuğa, S. (2017). Evaluation of color stability and surface roughness of bulk-fill resin composites and nanocomposites. *Meandros Medical and Dental Journal*, 18, 199-205.
- Karaman, E. and Ozgunaltay, G. (2013). Cuspal deflection in premolar teeth restored using current composite resins with and without resin-modified glass ionomer liner. *Operative Dentistry*, 38(3), 282-289.
- Karaman, E., Keskin, B. and Inan, U. (2016). Three-year clinical evaluation of class II posterior composite restorations placed with different techniques and flowable composite linings in endodontically treated teeth. *Clinical Oral Investigations*, 19, 1-8.
- Kelsey III, W. P., Blankenau, R. J. and Powell, G. L. (1991). Application of the argon laser to dentistry. *Lasers in Surgery and Medicine*, 11(6), 495-498.
- Kemaloglu, H., Emin Kaval, M., Turkun, M. and Micoogullari Kurt, S. (2015). Effect of novel restoration techniques on the fracture resistance of teeth treated endodontically: An in vitro study. *Dental Materials Journal*, 34(5), 618-622.
- Kerby, R. E., Knobloch, L. A., Schricker, S. and Gregg, B. (2009). Synthesis and evaluation of modified urethane dimethacrylate resins with reduced water sorption and solubility. *Dental Materials*, 25(3), 302-313.

- Khan, A., Azam, M., Khan, M., Mian, S. and Ur Rehman, I. (2015). An update on glass fiber dental restorative composites: A systematic review. *Materials Science and Engineering*, 47, 26-39.
- Khurshid, Z., Zafar, M., Qasim, S., Shahab, S., Naseem, M. and AbuReqaiba, A. (2015). Advances in Nanotechnology for Restorative Dentistry. *Materials*, 8, 717-731.
- Kidd, E. (1976). Microleakage: a review. *Journal of Dentistry*, 4(5), 199-206.
- Kidd, E. and Beighton, D. (1996). Prediction of secondary caries around tooth-colored restorations: a clinical and microbiological study. *Journal of Dental Research*, 75(12), 1942-1946.
- Kinomoto, Y. and Torii, M. (1998). Photoelastic analysis of polymerization contraction stresses in resin composite restoration. *Journal of Dentistry*, 26, 165-171.
- Kolbeck, C., Rosentritt, M., Behr, M., Lang, R. and Handel, G. (2002). In vitro study of fracture strength and marginal adaptation of polyethylene-fibre-reinforced-composite versus glass-fibre-reinforced-composite fixed partial dentures. *Journal of oral rehabilitation*, 29, 668-674.
- Krifka, S., Börzsönyi, A., Koch, A., Hiller, K., Schmalz, G. and Friedl, K. (2008). Bond strength of adhesive systems to dentin and enamel--human vs. bovine primary teeth in vitro. *Dental Materials*, 24(7), 888-894.
- Kumar, T., Bhargava, K., Sanap, A. and S., A. (2015). Advances in Reinforced Restorations: A Review. *International Journal of Dental Health Concerns*, 1, 1-5.
- Kwon, T., Ha, J., Chun, J., Son, J. and Kim, K. (2014). Effects of Prepolymerized Particle Size and Polymerization Kinetics on Volumetric Shrinkage of Dental Modeling Resins. *BioMed Research International*, 1-6.
- Labella, R., Lambrechts, P., Van Meerbeek, B. and Vanherle, G. (1999). Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dental Materials*, 15(2), 128-137.
- Łagocka, R., Mazurek-Mochol, M., Jakubowska, K., Bendyk-Szeffer, M., Chlubek, D. and Buczkowska-Radlińska, J. (2018). Analysis of Base Monomer Elution from 3 Flowable Bulk-Fill Composite Resins Using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 24, 4679-4690.
- Langalia, A., Buch, A., Khamar, M. and Patel, P. (2015). Polymerization Shrinkage of Composite Resins: A Review. *Journal of Medical and Dental Science Research*, 2(10), 23-27.
- Lazari, P. C., de Carvalho, M. A., Cury, A. A. and Magne, P. (2018). Survival of extensively damaged endodontically treated incisors restored with different types of posts-and-core foundation restoration material. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(5), 769-776.

- Lee, H. L. and Swartz, M. L. (1970). Scanning Electron Microscope Study of Composite Restorative Materials. *Journal of Dental Research*, 49(1), 149-158.
- Lee, I., Min, S. and Seo, D. (2012). A new method to measure the polymerization shrinkage kinetics of composites using a particle tracking method with computer vision. *Dental Materials*, 28(2), 212-218.
- Lee, M. R., Cho, B. H., Son, H. H. and Um, C. M. (2007). Influence of cavity dimension and restoration methods on the cusp deflection of premolars in composite restoration. *Dental Materials*, 23(3), 288-295.
- Leinfelder and F.K. (1991). Using composite resin as a posterior restorative material. *Journal of the American Dental Association*, 122(4), 65-70.
- Leinfelder, K. (2001). Is it possible to control the directional shrinkage of resin-based composites? *Journal of the American Dental Association*, 132(6), 782-783.
- Lempel, E., Czibulya, Z. K., B., S. J., Tóth, Á., Kunsági-Máté, S., Varga, Z. and Böddi, K. (2016). Degree of Conversion and BisGMA, TEGDMA, UDMA Elution from Flowable Bulk Fill Composites. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(5), 732.
- Leprince, J. G., Palin, W. M., Vanacker, J., Sabbagh, J., Devaux, J. and Leloup, G. (2014). Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *Journal of Dentistry*, 42(8), 993-1000.
- Lokhande, N. A., Padmai, A. S., Rathore, V. P., Shingane, S., Jayashankar, D. N. and Sharma, U. (2014). Effectiveness of flowable resin composite in reducing microleakage. *Journal of International Oral Health*, 6(3), 111-114.
- Lopes, M. B., Consani, S., Gonini-Júnior, A., Moura, S. K. and McCabe, J. F. (2009). Comparison of microleakage in human and bovine substrates using confocal microscopy. *The Bulletin of Tokyo Dental College*, 50(3), 111-116.
- Lutz, F. and Phillips, R. (1983). A classification and evaluation of composite resin systems. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 50(4), 480-488.
- Lynch, E. and Taylor, M. (1992). Microleakage. *Journal of Dentistry*, 20(1), 3-10.
- Maas, M. S., Alania, Y., Natale, L. C., Rodrigues, M. C., Watts, D. C. and Braga, R. R. (2017). Trends in restorative composites research: What is in the future? *Brazilian Oral Research*, 31.
- Malhotra, N., Kundabala, M. and Shashirashmi, A. (2010). Strategies to overcome polymerization shrinkage--materials and techniques. A review. *Dental Update*, 37(2), 120-122.
- Mannocci, F., Ferrari, M. and Watson, T. F. (2001). Microleakage of endodontically treated teeth restored with fiber posts and composite cores after cyclic loading: A confocal microscopic study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 85(3), 284-291.

- Marghalani, Y. and Hanadi. (2016). Resin-based dental composite materials. *Handbook of bioceramics and biocomposites*. Switzerland: Springer, Cham, 357-405).
- Marigo, L., Spagnuolo, G., Malara, F., Martorana, G., Cordaro, M., Lupi, A. and Nocca, G. (2015). Relation between conversion degree and cytotoxicity of a flowable bulk-fill and three conventional flowable resin-composites. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 19, 4469-4480.
- Masouras, K., Silikas, N. and Watts, D. C. (2008). Correlation of filler content and elastic properties of resin-composites. *Dental materials*, 24(7), 932-939.
- McCabe, J. F. and Walls, A. (2008). *Applied dental materials: Ninth edition*. UK, Oxford: Blackwell
- Mergulhão, V. A., de Mendonça, L. S., de Albuquerque, M. S. and Braz, R. (2019). Fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars restored with different methods. *Operative Dentistry*, 44(1), 1-11.
- Mezzomo, E., Massa, F. and Libera, S. (2003). Fracture resistance of teeth restored with two different post-and-core designs cemented with two different cements: an in vitro study. Part I. *Quintessence International*, 34(4), 301-306.
- Miao, Y., Liu, T., Lee, W., Fei, X., Jiang, G. and Jiang, Y. (2016). Fracture resistance of palatal cusps defective premolars restored with polyethylene fiber and composite resin. *Dental Materials Journal*, 35(3), 498-502.
- Migliaresi, C. and Alexander, H. (2004). Biomaterials Science. *Academic Press*, 2, 181-197.
- MirosOrłowski, M., Tarczydło, B. and Chałas, R. (2015). Evaluation of marginal integrity of four bulk-fill dental composite materials: In vitro study. *The Scientific World Journal*,
- Miyasaka, T. and Okamura, H. (2009). Dimensional change measurements of conventional and flowable composite resins using a laser displacement sensor. *Dental Materials Journal*, 28(5), 544-551.
- Moazzami, S. M. and Noorollahian, S. (2007). A new improved design of interdental transparent wedges. *Journal of Mashhad Dental School*, 29-34.
- Mohammadi, N., Kahnamoii, M. A., Yeganeh, P. K. and Navimipour, E. J. (2009). Effect of fiber post and cusp coverage on fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars directly restored with composite resin. *Journal of Endodontics*, 35(10), 1428-1432.
- Moncada, G., Silva, F., Angel, P., Oliveira, O., Fresno, M., Cisternas, P., Martin, J. (2014). Evaluation of dental restorations: A comparative study between clinical and digital photographic assessments. *Journal of Operative Dentistry*, 39(2), 45-56.
- Moorthy, A., Hogg, C. H., Dowling, A. H., Grufferty, B. F., Benetti, A. R. and Fleming, G. J. (2012). Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. *Journal of Dentistry*, 40(6), 500-505.

- Moosavi, H., Afshari, S. and Manari, F. (2017). Fracture resistance of endodontically treated teeth with different direct corono-radicular restoration methods. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 9(3), 454-459.
- Mosharraffian, S., Heidari, A. and Rahbar, P. (2017). Microleakage of Two Bulk Fill and One Conventional Composite in Class II Restorations of Primary Posterior Teeth. *Journal of Dentistry*, 14(3), 123-131.
- Mulder, R., Grobler, S. and Osman, Y. (2013). Volumetric change of flowable composite resins due to polymerization as measured with an electronic mercury dilatometer. *Oral Biology and Dentistry*, 1-5.
- Murali Mohan, S., Mahesh Gowda, E. and Shashidhar, M. (2015). Clinical evaluation of the fiber post and direct composite resin restoration for fixed single crowns on endodontically treated teeth. *Med J Armed Forces India*, 71, 259-264.
- Narene, A., Veniashok, B., Subbiya, A., Vivekanandhan, P. and Sukumaran, V. (2014). Polymerisation shrinkage in resin composites-a review. *Vivekanandhan and V.G. Sukumaran Middle-East Journal of Scientific Research*, 21, 107-112.
- Neeraj Malhotra, M. D. and Kundabala Mala, M. D. (2010). Light-curing considerations for resin-based composite materials: a review. Part I. *Compendium*, 31(7),
- Neves, A. A., Jaecques, S., Van Ende, A., Cardoso, M. V., Coutinho, E., Lührs and Meerbeek, A.-K. V. (2014). 3D-microleakage assessment of adhesive interfaces: Exploratory findings by μ CT. *Dental Materials*, 30(8), 799-807.
- Nguyen, K., Wong, R. P. and Burrow, M. (2016). The Effect of Resin-modified Glass-ionomer Cement Base and Bulk-fill Resin Composite on Cuspal Deformation. *Operative Dentistry*, 41(2), 208-216.
- Nicholls, J. and Aw, T. (2001). Polymerization shrinkage of densely-filled resin composites. *Operative Dentistry*, 26, 498-504.
- Nicholson, J. W. (2020). *The Chemistry of Medical and Dental Materials* (2nd Edition). UK: Royal Society of Chemistry,
- Nicholson, J. and Czarnecka, B. (2016). *Materials for the direct restoration of teeth*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing,
- Nikolaos-Stefanos, K. (2018). Resin Composite Pre-Heating-A Literature Review of the Laboratory Results. *International Journal of Oral and Dental Health*, 4(074)
- Oktay, E., Topçu, F. and Tort, H. (2016). A minimally invasive treatment approach: Fiber reinforced adhesive bridges. *Gülhane Tıp Dergisi*, 58, 320-322.
- Oliveira, K., Lancellotti, A., Ccahuana-Vásquez, R. and Consani, S. (2012). Shrinkage stress and degree of conversion of a dental composite submitted to different photoactivation protocols. *Acta Odontologica Latinoamericana*, 25(1), 115-122.

- Orucoğlu, H., Engün, A., Yılmaz, N. and Kont, Ç. (2005). Yeni Bir Bilgisayarlı Sıvı Filtrasyon Ölçüm Cihazının Güvenilirlik Analizi. *Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Dergisi*, 8(2), 98-104.
- Oskoe, P. A., Ajami, A. A., Navimipour, E. J., Oskoe, S. S. and Sadjadi, J. (2009). The effect of three composite fiber insertion techniques on fracture resistance of root-filled teeth. *Journal of Endodontics*, 35(3), 413-416.
- Ozel, E. and Soyman, M. (2009). Effect of fiber nets, application techniques and flowable composites on microleakage and the effect of fiber nets on polymerization shrinkage in class II MOD cavities. *Operative Dentistry*, 34(2), 174-180.
- Ölmez, A. and Tuna, D. (2002). Polimerizasyon Büzülmesine Etki Eden Faktörler. *Cumhuriyet Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Dergisi*, 5(1), 52-7.
- Palin, W., Fleming, G., Nathwani, H., Burke, F. and Randall, R. (2005). In vitro cuspal deflection and microleakage of maxillary premolars restored with novel lowshrink dental composites. *Dental Materials*, 21(4), 324-335.
- Park, H. Y., Kloxin, C. J., Abuelyaman, A. S., Oxman, J. D. and Bowman, C. N. (2012). Novel dental restorative materials having low polymerization shrinkage stress via stress relaxation by addition-fragmentation chain transfer. *Dental Materials*, 28(11), 1113-1119.
- Park, J., Chang, J. and Ferracane, J. L. (2008). How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling? *Dental Materials*, 24(11), 1501-1505.
- Patodiya, A. and Mithra, N. (2012). Dental composites: past, present and future. *National Journal of Community Medicine*, 3(4), 754-756.
- Peña, V. A., García, R. P. and García, R. P. (2016). Sectional matrix: Step-by-step. *British Dental Journal*, 220(1), 11-14.
- Perdigão, J., Duarte, S. and Gomes, G. (2009). Direct resin-based composite restorations—clinical challenges. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 23(7), 1201-1214.
- Petersen, R. C. (2005). Journal of dental research. *Discontinuous Fiber-Reinforced Composites Above Critical Length*, 84(4), 365-370.
- Peutzfeldt, A. (1997). Resin composites in dentistry: the monomer systems. *European Journal of Oral Sciences*, 105(2), 97-116.
- Pfeifer, C. (2017). Polymer-based direct filling materials. *Dental Clinics of North America*, 61(4), 733-750.
- Pfeifer, C., Braga, R. and Ferracane, J. (2006). Pulse-delay curing: Influence of initial irradiance and delay time on shrinkage stress and microhardness of restorative composites. *Operative Dentistry*, 31(5), 610-615.
- Picton, D. and Davies, W. (1967). Dimensional changes in the periodontal membrane of monkeys (*Macaca irus*) due to horizontal thrusts applied to the teeth. *Archives of Oral Biology*, 12(12), 1635-1643.

- Pitel, M. (2013). Low-shrink composite resins: a review of their history, strategies for managing shrinkage, and clinical significance. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 34(8), 578-590.
- Pradelle-Plasse, N., Wenger, F., Picard, B. and Colon, P. (2004). Evaluation of microleakage of composite resin restorations by an electrochemical technique: the impedance methodology. *Dental Materials*, 20(5), 425-434.
- Price, R. B. (2017). Light curing in dentistry. *Dental Clinics*, 61(4), 751-758.
- Quintas, A., Dinato, J. and Bottino, M. (2000). Aesthetic posts and cores for metal-free restoration of endodontically treated teeth. *practical periodontics and aesthetic dentistry*, 12(9), 875-884.
- Raskin, A., D'Hoore, W., G. S., Degrange, M. and Déjou, J. (2001). Reliability of in vitro microleakage tests: A literature review. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 3(4), 295-308.
- Reeh, E. S., Messer, H. H. and Douglas, W. H. (1989). Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *Journal of Endodontics*, 15(11), 512-516.
- Robertson, D. L. (1980). A clearing technique for the study of root canal systems. *Journal of Endodontics*, 6(1), 421-424.
- Rosatto, C. M., Bicalho, A. A., Veríssimo, C., Bragança, G. F., Rodrigues, M. P., Tantbiroj, D., Soares, C. J. (2015). Mechanical properties, shrinkage stress, cuspal strain and fracture resistance of molars restored with bulk-fill composocomposites and incremental filling technique. *Journal of Dentistry*, 43(12), 1519-1528.
- Rueggeberg, F. G. (2017). Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Brazilian Oral Research*, 31(61), 64-91.
- Ryge, G. (1980). Clinical criteria. *International Dental Journal*, 30(4), 347-358.
- Sakaguchi, R., Ferracane, J. and Powers, J. (2019). *Craig's restorative dental materials*. Missouri, USA: Mosby,
- Sakaguchi, R., Sasik, C., Bunczak, M. and Douglas, W. (1991). Strain gauge method for measuring polymerization contraction of composite restoratives. *Journal of Dentistry*, 19(5), 312-316.
- Sakaguchi, R., Wiltbank, B. and Shah, N. (2004). Critical configuration analysis of four methods for measuring polymerization shrinkage strain of composites. *Dental Materials*, 20(4), 388-396.
- Sarrett, D. C. (2005). Clinical challenges and the relevance of materials testing for posterior composite restorations. *Dental Materials*, 21(1), 9-20.
- Schmidseeder, J. (2000). *Color atlas of dental medicine-aesthetic dentistry*. NewYork: Thieme,

- Schneider, L., Cavalcante, L. and Silikas, N. (2010). Shrinkage stresses generated during resin-composite applications: A review. *Journal of Dental Biomechanics*,
- Scotti, N., Forniglia, A., Tempesta, R. M., Comba, A., Saratti, C. M., Pasqualini, D, Berutti, E. (2016). Effects of fiber-glass-reinforced composite restorations on fracture resistance and failure mode of endodontically treated molars. *Journal of Dentistry*, 53, 82-87.
- Segal, P., Lugassy, D., Mijiritsky, E., Dekel, M., Ben-Amar, A., Ormianer, Z. and Matalon, S. (2015). The effect of the light intensity and light distances of LED and QTH curing devices on the hardness of two light-cured nano-resin composites. *Materials Sciences and Applications*, 6(11), 1071-1083.
- Segura, A. and Donly, K. (1993). In vitro posterior composite polymerization recovery following hygroscopic expansion. *Journal of Oral Rehabilitation*, 20(5), 495-499.
- Sharafeddin, F., Alavi, A. A. and Zare, S. (2014). Fracture resistance of structurally compromised premolar roots restored with single and accessory glass or quartz fiber posts. *Dental Research Journal*, 11(2), 264-281.
- Shin, D. H., Yun, D. I., Park, M. G., Ko, C. C., García-Godoy, F., Kim, H. I. and Kwon, Y. H. (2011). Influence of DPSS laser on polymerization shrinkage and mass change of resin composites. *Photomedicine and Laser Surgery*, 29(8), 545-550.
- Shin, D. and Rawls, H. (2009). Degree of conversion and color stability of the light curing resin with new photoinitiator systems. *Dental Materials*, 25, 1030-1038.
- Sideridou, I., Tserki, V. and Papanastasiou, G. (2002). Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*, 23, 1819-1829.
- Singhal, S., Gurtu, A., Singhal, A., Bansal, R. and Mohan, S. (2017). Effect of Different Composite Restorations on the Cuspal Deflection of Premolars Restored with Different Insertion Techniques- An In vitro Study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11(8), 67-70.
- Smith, D. L. and Schoonover, I. C. (1953). Direct Filling resins: Dimensional changes resulting from polymerization shrinkage and water sorption. *The Journal of the American Dental Association*, 46(5), 540-544.
- Soares, C. J., Pizi, E. C., Fonseca, R. B. and Martins, L. R. (2005). Influence of root embedment material and periodontal ligament simulation on fracture resistance tests. *Brazilian Oral Research*, 19(1), 11-16.
- Soares, C. J., Rodrigues, M. D., Vilela, A. B., Pfeifer, C. S., Tantbirojn, D. and Versluis, A. (2017). Polymerization shrinkage stress of composite resins and resin cements—What do we need to know? *Brazilian Oral Research*, 31.

- Soares, P. V., Santos-Filho, P., Queiroz, E. C., Araújo, T. C., Campos, R. E., Araújo, C. A. and Soares, C. J. (2008). Fracture resistance and stress distribution in endodontically treated maxillary premolars restored with composite resin. *Journal of Prosthodontics*, 17(2), 114-119.
- Stansbury, J. (2000). Curing dental resins and composites by photopolymerization. *Journal of Esthetic Dentistry*, 12, 300-308.
- Stenhagen, S., Skeie, H., Bårdsen, A. and Laegreid, T. (2020). Influence of the coronal restoration on the outcome of endodontically treated teeth. , 78(2), 81-86.
- Suliman, A. A., Boyer, D. B. and Lakes, R. S. (1993). Cusp movement in premolars resulting from composite polymerization shrinkage. *Dental Materials*, 9(1), 6-10.
- Suliman, A., Boyer, D. and Lakes, R. (1993). Interferometric Measurements of Cusp Deformation of Teeth Restored with Composites. *Journal of Dental Research*, 72(11), 1532-1536.
- Sun, J. and Lin-Gibson, S. (2008). X-ray microcomputed tomography for measuring polymerization shrinkage of polymeric dental composites. *Dental Materials*, 24(2), 228-234.
- Swain, M. and Xue, J. (2009). State of the art of Micro-CT applications in dental research. *International Journal of Oral Science*, 1(4), 177-188.
- Szep, S., Frank, H., Kenzel, B., Gerhardt, T. and Heidemann, D. (2001). Comparative study of composite resin placement: Centripetal buildup versus incremental technique. *Practical Procedures and Aesthetic Dentistry*, 13(3), 243-250.
- Taha, N. A., Palamara, J. E. and Messer, H. H. (2009). Cuspal deflection, strain and microleakage of endodontically treated premolar teeth restored with direct resin composites. *Journal of Dentistry*, 37(9), 724-730.
- Taha, N. A., Palamara, J. E. and Messer, H. H. (2011). Fracture strength and fracture patterns of root filled teeth restored with direct resin restorations. *Journal of Dentistry*, 39(8), 527-535.
- Tamse, A., Fuss, Z., Lustig, J. and Kaplavi, J. (1999). An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. *Journal of Endodontics*, 25(7), 506-508.
- Tamse, A., Zilburg, I. and Halpern, J. (1998). Vertical root fractures in adjacent maxillary premolars: an endodontic-prosthetic perplexity. *International Endodontic Journal*, 31(2), 127-132.
- Tantbirojn, D., Pfeifer, C. S., Braga, R. R. and Versluis, A. (2011). Do Low-shrink Composites Reduce Polymerization Shrinkage Effects? *Journal of Dental Research*, 90(5), 596-601.
- Tarle, Z., Attin, T., Marovic, D., Andermatt, L., Ristic, M. and Tauböck, T. (2015). Influence of irradiation time on subsurface degree of conversion and microhardness of high-viscosity bulk-fill resin composites. *Clinical Oral Investigations*, 19(4), 831-840.

- Tarle, Z., Meniga, A., Ristic, M., Sutalo, J., Pichler, G. and Davidson, C. (1998). The effect of the photopolymerization method on the quality of composite resin samples. *Journal of Oral Rehabilitation*, 25(6), 436-42.
- Tarle, Z., Meniga, A., Ristic, M., Sutalo, J. and Pichler, G. (1995). Polymerization of composites using pulsed laser. *European Journal of Oral Sciences*, 103(6), 394-398.
- Teixeira, F. B., Teixeira, E. C., Thompson, J. Y. and Trope, M. (2004). Fracture resistance of roots endodontically treated with a new resin filling material. *The Journal of the American Dental Association*, 135(5), 646-652.
- Testori, T., Badino, M. and Castagnola, M. (1993). Vertical root fractures in endodontically treated teeth: a clinical survey of 36 cases. *Journal of Endodontics*, 19(2), 87-91.
- Tiba, A., Charlton, D. G., Vandewalle, K. S. and Ragain, J. C. (2005). Comparison of two video-imaging instruments for measuring volumetric shrinkage of dental resin composites. *Journal of Dentistry*, 33(9), 757-763.
- Torabzadeh, H., Ghassemi, A., Sanei, M., Razmavar, S. and Sheikh-Al-Eslamian, S. M. (2014). The Influence of Composite Thickness with or without Fibers on Fracture Resistance of Direct Restorations in Endodontically Treated Teeth. *Iranian Endodontic Journal*, 9(3), 215-219.
- Trabert, K. C., Caput, A. A. and Abou-Rass, M. (1978). Tooth fracture-a comparison of endodontic and restorative treatments. *Journal of Endodontics*, 4(11), 341-345.
- Tronstad, L., Asbjørnsen, K., Døving, L., Pedersen, I. and Eriksen, H. M. (2000). Influence of coronal restorations on the periapical health of endodontically treated teeth. *Dental Traumatology*, 16(5), 218-221.
- Tsujimoto, A., Nagura, Y., Barkmeier, W. W., Watanabe, H., Johnson, W. W., Takamizawa, T., Miyazaki, M. (2018). Simulated cuspal deflection and flexural properties of high viscosity bulk-fill and conventional resin composites. *Journal of The Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 87, 111-118.
- Vallittu, P. K. (2015). High-aspect ratio fillers: fiber-reinforced composites and their anisotropic properties. *Dental Materials*, 31(1), 1-7.
- Van Ende, A., De Munck, J., Lise, D. and Van Meerbeek, B. (2017). Bulk-Fill Composite: A review of the Current Literature. *Journal of Adhesive Dentistry*, 19(2), 95-109.
- Varley, D., Yousaf, S., Youseffi, M., Mozafari, M., Khurshid, Z. and Sefat, F. (2019). Fiber-reinforced composites. *Advanced dental biomaterials*. Chennai, India: Woodhead, 301-315.
- Venz, S. and Dickens, B. (1991). NIR-spectroscopic investigation of water sorption characteristics of dental resins and composites. *Journal of Biomedical Materials Research*, 25(10), 1231-1248.
- Versluis, A., Douglas, W., Cross, M. and Sakaguchi, R. (1996). Does an incremental filling technique reduce polymerization shrinkage stresses. *Journal of Dental Research*, 75(3), 871-878.

- Versluis, A., Tantbirojn, D., Pintado, M. R., DeLong, R. and Douglas, W. H. (2004). Residual shrinkage stress distributions in molars after composite restoration. *Dental Materials*, 20(6), 554-564.
- Vitalariu, A., Tatarciuc, M., Cotaie, G. and Diacanu, D. (2015). In vitro testing – an essential method for evaluating the performance of dental materials and devices. *International Journal of Medical Dentistry*, 19(2), 91-94.
- Wang, L., D'Alpino, P. H., Lopes, L. G. and Pereira, J. C. (2003). Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests. *Journal of Applied Oral Science*, 11(3), 162-167.
- Watson, T. (1994). Applications of High-Speed Confocal Imaging Techniques in Operative Dentistry. *Scanning*, 16(3), 168-173.
- Watts, D., Marouf, A. and Al-Hindi, A. (2003). Photo-polymerization shrinkage-stress kinetics in resin-composites: methods development. *Dental Materials*, 19(1), 1-11.
- Willems, G., Lambrechts, P., Braem, M., Celis, J. and G., V. (1992). A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. *Dental Materials*, 8, 310-319.
- Witzel, M., Braga, R., Ballester, R. and Lima, R. (2005). Influence of specimen dimensions on nominal polymerization contraction stress of a dental composite. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 27(3), 283-287.
- Xu, H. H., Schumacher, G. E., Eichmiller, F. C., Peterson, R. C., Antonucci, J. M. and Mueller, H. J. (2003). Continuous-fiber preform reinforcement of dental resin composite restorations. *Dental Materials*, 19(6), 523-530.
- Yadav, K., Prasad, R., Chaganti, H., Saleem, M. and Pai, A. (2019). Techniques in Direct Composite Restoration. *Modern Approaches in Dentistry and Oral Health Care*, 3(5), 307-309.
- Yamada, Y., Tsubota, Y. and Fukushima, S. E. (2004). Effect of restoration method on fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars. *International Journal of Prosthodontics*, 17(1), 94-98.
- Yap, A., Pandya, M. and Toh, W. (2016). Depth of cure of contemporary bulk-fill resin-based composites. *Dental Material*, 35(3), 503-510.
- Yarmohamadi, E., Jahromi, P. and Akbarzadeh, M. (2018). Comparison of cuspal deflection and microleakage of premolar teeth restored with three restorative materials. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 19(6), 684-689.
- Yavuz, İ., Aydın, A. and Kaya, S. (2009). Mikrosızıntı Saptanmasında Yeni Bir Yöntem. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Science*, 9(2), 79-85.
- Zorzin, J., Maier, E., Harre, S., Fey, T., Belli, R., Lohbauer, U. and Petschelt, A. (2015). A comparative study of bulk-fill composites: degree of conversion, post-gel shrinkage and cytotoxicity. *Dental Materials*, 31(3), 293-301.

Zorzin, J., Maier, E., Harre, S., Fey, T., Belli, R., Lohbauer, U Taschner, M. (2015). Bulk-fill resin composites: polymerization properties and extended light curing. *Dental Materials*, 31(3), 293-301.









EKLER

Ek-1. Etik Kurul Onayı

<p>T.C. GAZİ ÜNİVERSİTESİ Diş Hekimliği Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu</p>	
<p>Sayı : 21071282-050.99- Konu : Etik Kurul</p>	
<p>Sayın Prof. Dr. Oya BALA Restoratif Diş Tedavi Anabilim Dalı Başkanlığına</p>	
<p>Fakültemiz Klinik Araştırmalar Etik Kuruluna, etik açıdan değerlendirmek üzere göndermiş olduğunuz "Farklı Materyal ve Teknik Kullanılarak Restore Edilen Endodontik Tedavi Görmüş Küçük Azı Dişlerin Polimerizasyon Büzülmesi, Kırılma Dayanımı ve Mikrosızıntısının In vitro Olarak İncelenmesi" konulu çalışma, Etik Kurulumuz tarafından incelenmiş ve araştırma etiği açısından uygun bulunmuştur.</p>	
<p>Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.</p>	
<p>Prof. Dr. Nur MOLLAOĞLU Kurul Başkanı</p>	
<p>Ek: Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Karar Formu (3 Sayfa)/Elden Teslim Edilecektir.</p>	
	
<p>Evrak Doğrulamak İçin: https://belgedogrulama.gazi.edu.tr/BelgeDogrulama.aspx Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Bişkek Cad. No:4 kat 1 Emek/Ankara Tel:0 (312) 203 40 00 Faks:0 (312) 223 92 26 e-Posta :dhhbilisim@gazi.edu.tr İnternet Adresi :http://dent.gazi.edu.tr</p>	
<p>Pin: 11781 Bilgi için :N. Cihan Ünay Birim Evrak Sorumlusu Telefon No:(0312) 203 43 64</p>	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜNDOĞDU, Ceyda
 Uyuşu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.11.1992
 Medeni hali : Bekar
 İletişim adresi : Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş
 Tedavisi Anabilim Dalı Emek/Ankara
 Telefon : 0 506 638 11 40
 e-mail : ceyda_gundogdu@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Uzmanlık	Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı	Devam ediyor
Lisans	Medipol Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2015
Lise	Kartal Semiha Şakir Anadolu Lisesi	2010
İlköğretim	Nihat Sami Banarlı İlköğretim Okulu	2006

Yabancı Dil

İngilizce

Ulusal ve Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Poster Sunumları

- Gündoğdu, C., Boydaş, F., ve Bala, O. (2018). *Travmaya Bağlı Anterior Tek Diş Kırık Vakasının Silikon Anahtar İle Estetik Rehabilitasyonu: Olgu Sunumu*. TDB 24. Uluslararası Dişhekimliği Kongresi, Ankara, Türkiye.

2. Gündoğdu, C., Bala,O. (2019). *Anterior Tek Diş Eksikliğinin Fiber Adeziv Köprü ile Estetik Rehabilitasyonu: Olgu Sunumu- 6 aylık takip*. TDB 25. Uluslararası Dişhekimliği Kongresi, İstanbul, Türkiye.
3. Gündoğdu, C., Bala,O. (2020). *Kanal Tedavisi Sonrası Renklenmiş Anterior Tek Dişin Beyazlatma Sonrası Kompozit Veneerle Restorasyonu. Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi 1. Genç Akademisyenler Kongresi, Ankara, Türkiye.*

Ulusal ve Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Sözlü Sunumlar

1. Bala,O. ,Akgül, S., Gündoğdu, C., K., Zuhul, Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Kliniğine Başvuran Hastalarda Dentin Hassasiyetinin Değerlendirilmesi: Anket çalışması. Restoratif Diş Hekimliği Derneği 22. Uluslararası Bilimsel Kongresi, Antalya, Türkiye.

Katıldığı Kongreler

1. Restoratif Diş Hekimliği Derneği 22. Uluslararası Bilimsel Kongresi, Antalya, Türkiye,2018.
2. TDB 24. Uluslararası Dişhekimliği Kongresi, Ankara, Türkiye.
3. TDB 25. Uluslararası Dişhekimliği Kongresi, İstanbul, Türkiye.
4. Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi 1. Genç Akademisyenler Kongresi, Ankara,Türkiye.



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR..

