



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

PEDODONTİ ANABİLİM DALI

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK PROGRAMI

**BULK-FİLL KOMPOZİT REZİNLERİN SÜT VE DAİMİ
DİŞLERDEKİ RADYOOPASİTELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

UZMANLIK TEZİ

Zeynep TUĞRAN

Danışman: Doç. Dr. Canan BAYRAKTAR NAHİR

TOKAT- 2025



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

PEDODONTİ ANABİLİM DALI

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK PROGRAMI

**BULK-FİLL KOMPOZİT REZİNLERİN SÜT VE DAİMİ
DİŞLERDEKİ RADYOOPASİTELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

UZMANLIK TEZİ

Zeynep TUĞRAN

Danışman: Doç. Dr. Canan BAYRAKTAR NAHİR

TOKAT- 2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Canan BAYRAKTAR NAHİR danışmanlığında hazırlamış olduğum “BULK-FİLL KOMPOZİT REZİNLERİN SÜT VE DAİMİ DİŞLERDEKİ RADYOOPASİTELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı diş hekimliğinde uzmanlık tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

13/01/2026

ZEYNEP TUĞRAN

JÜRİ KABUL VE ONAY SAYFASI

ZEYNEP TUĞRAN tarafından hazırlanan “**Bulk-Fill Kompozit Rezinlerin Süt Ve Daimi Dişlerdeki Radyoopasitelerinin Değerlendirilmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **13.01.2026** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı’nda Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı Soyadı)**İmza**

Üye (Başkan) : Doç. Dr. Canan BAYRAKTAR NAHİR

.....

Üye : Doç. Dr. Burcu GÜÇYETMEZ TOPAL

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sümeyra AKKOÇ

.....

Prof. Dr. IŞIL SARIKAYA

Dekan

13/01/2026

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez sürecim boyunca bilimsel düşünceyi benimsememde, akademik disiplin kazanmamda ve eleştirel bakış açısı geliştirmemde; her aşamada yol gösterici değerlendirmeleri ile bu çalışmanın sağlıklı biçimde tamamlanmasında önemli rol oynayan; sürecin getirdiği zorluklarda sabırla ve anlayışla yaklaşarak yalnızca akademik gelişime katkı sağlamamış aynı zamanda mesleki özgüvenime de çok büyük katkı sağlamış olan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Canan Bayraktar NAHİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim sürecim boyunca bilgi birikimini ve deneyimlerini benimle içtenlikle paylaşan, her zaman ulaşılabilirliği ve teşvik edici tutumuyla mesleki gelişime katkıda bulunan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Necibe Damla ŞAHİN'e; tez sürecimin farklı aşamalarında görüşleriyle yol gösteren, yapıcı eleştirileri ve katkılarıyla çalışmanın olgunlaşmasına destek olan değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gülşah TONGA'ya

Uzmanlık eğitimim boyunca her anımı değerli kılan, maddi ve manevi her türlü desteği gösteren, yaşadığım güzelliklerde ve zorluklarda her daim yanımda olan kıymetli arkadaşlarım Buket ÇETİN KARAKAZIM ve Seda YERLİTAŞ başta olmak üzere uzmanlık sürecimde beni destekleyen ve yol gösteren kıymetli eş kıdemlim Büşra GÜNGÖR IŞIK'a

Eğitim hayatıma neşe ve umut getiren çok kıymetli çalışma arkadaşlarım Eda Nur DEMİR ve Asiye Betül KARGI'ya

Bu süreçte uzaklıkları yakın kılan, zorlukları kolaylaştıran her daim yanımda olan; hiçbir desteği benden sakınmayan çok sevgili annem, babam ve ablama derin teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

ÖZET

BULK-FİLL KOMPOZİT REZİNLERİN SÜT VE DAİMİ DİŞLERDEKİ RADYOOPASİTELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tuğran, Zeynep

Uzmanlık Tezi, Pedodonti Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Canan Bayraktar Nahir

Ocak 2026, xvi + 102 sayfa

Bu tez çalışması, farklı materyal içeriğine sahip olan altı farklı bulk-fill kompozit rezin materyalinin radyoopasite değerlerinin süt ve daimi diş mine ve dentin yapılarıyla karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Bu tez çalışmasında SDR Plus Bulk-Fill Flowable, Estelite Flowable Bulk-fill, 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative, Beautifil Bulk Flowable, Xtra Fill ve Simplishade Bulk-fill kompozit rezin materyalleri incelenmiştir. Her bir materyal 1, 2 ve 4 mm kalınlıklarda hazırlanmış; süt ve daimi dişlerden elde edilen mine ve dentin örnekleri ile birlikte dijital radyografi yöntemi kullanılarak görüntülenmiştir. Radyografik görüntülerdeki ortalama gri değerler Image J yazılımı ile ölçülmüş ve alüminyum step wedge yöntemi kullanılarak mmAl cinsinden radyoopasite değerleri hesaplanmıştır. Verilerin analizi IBM SPSS v23 ile yapılmış, normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk Testi ile incelenmiştir. Diş/Materyal ve kalınlıklara göre normal dağılım göstermeyen verilerin karşılaştırılmasında Robust ANOVA kullanılmış ve çoklu karşılaştırmalar Holm Düzeltmeli Robust t Testi ile incelenmiştir. Anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak alınmıştır. Analiz sonuçları, hem materyal türünün hem de uygulama kalınlığının radyoopasite üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğunu göstermiştir ($p<0,001$). Ayrıca diş/materyal - kalınlık etkileşiminin de oldukça yüksek bir

etki büyüklüğüne sahip olduğu saptanmıştır (kısmi eta kare = 0,999). Çalışma bulguları, bulk-fill kompozit rezin materyallerinin radyoopasite değerlerinin farklı uygulama kalınlığı, seçilen materyal türü ve materyal-kalınlık etkileşimine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Bu doğrultuda, klinik uygulamalarda restoratif materyal seçimi yapılırken materyalin radyoopasite özelliklerinin, uygulama kalınlığı ve diş dokusuyla olan ilişkisi göz önünde bulundurulmalı; elde edilen bulguların tanısal doğruluk ve restorasyon takibi açısından yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Radyoopasite, Bulk-Fill Kompozit Rezin, Simplishade Bulk-Fill Flow, Süt ve Daimi Diş

ABSTRACT

EVALUATION OF THE RADIOCAPACITY OF BULK-FILL COMPOSITE RESINS IN PRIMARY AND PERMANENT TEETH

Tuğran, Zeynep
Specialty Thesis, Department of Pediatric Dentistry
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Canan Bayraktar Nahir
January 2026, xvi + 102 pages

This thesis aimed to compare the radiopacity values of six bulk-fill composite resin materials with different material compositions in relation to the enamel and dentin structures of primary and permanent teeth. The bulk-fill composite resins evaluated in this study were SDR Plus Bulk-Fill Flowable, Estelite Flowable Bulk-Fill, 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative, Beautifil Bulk Flowable, X-tra Fill, and Simplishade Bulk-Fill. Each material was prepared in thicknesses of 1, 2, and 4 mm and radiographed together with enamel and dentin samples obtained from primary and permanent teeth using a digital radiographic system.

The mean gray values obtained from the radiographic images were measured using Image J software, and radiopacity values were calculated in terms of millimeters of aluminum (mmAl) by applying the aluminum step wedge method. Statistical analyses were performed using IBM SPSS version 23. Normality of data distribution was assessed using the Shapiro–Wilk test. For comparisons involving tooth/material types and thicknesses that did not show normal distribution, Robust ANOVA was applied, and

multiple comparisons were conducted using the Holm-corrected robust t -test. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

The results demonstrated that both the type of material and the application thickness had a statistically significant effect on radiopacity ($p < 0.001$). In addition, the interaction between tooth/material type and thickness showed a very large effect size (partial eta squared = 0.999). The findings of this study indicate that the radiopacity values of bulk-fill composite resin materials vary depending on the applied thickness, the selected material type, and the interaction between material and thickness. In this regard, when selecting restorative materials for clinical applications, the material's radio-opacity properties, application thickness and relationship with dental tissue should be taken into consideration; it is thought that the findings obtained may be indicative in terms of diagnostic accuracy and restoration follow-up.

Keywords: Radiopacity, Bulk-Fill Composite Resin, Simplishade Bulk-Fill Flow, Primary and Permanent Teeth

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

Tablo 2.2. Doldurucu Partikül Büyüklüğüne Göre Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

Tablo 2.3. Bulk-fill Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Restoratif Materyallerin Özellikleri

Tablo 3.2. Çalışma Gruplarının Dağılımı

Tablo 3.3. Bulk-Fill Kompozit Rezin Materyallerinin Uygulama Talimatları

Tablo 4.1. Diş/Materyal Türü ve Kalınlığın Radyoopasite Değerleri Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi

Tablo 4.2. Kalınlıklara Göre Diş Örnekleri ve Bulk-fill Kompozit Rezin Materyallerin Radyoopasite (mmAl) Değerlerinin İncelenmesi

Tablo 4.3. Bulk-fill Kompozit Rezin Materyallerinin Süt ve Daimi Diş Örnekleriyle Anlamlılık Değerlerinin Değerlendirilmesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan Bulk-Fill Kompozit Materyalleri: (A) SDR Plus Bulk-Fill Flowable, (B) Estelite Flowable Bulk-fill, (C) 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative, (D) Beautifil Bulk Flowable, (E) Xtra Fill, (F) Simplishade Bulk-fill Flow

Şekil 3.2. Hassas Kesim Cihazı

Şekil 3.3. Hassas Kesim Cihazı ile Diş Örneklerinin Elde Edilmesi

Şekil 3.4. Bulk-Fill Kompozit Rezin Materyallerinin Uygulanması

Şekil 3.5. Bulk-Fill Kompozit Rezin Materyallerinin Polimerizasyonu

Şekil 3.6. LED Işık Kaynağı

Şekil 3.7. Fosfor Plak Üzerine Yerleştirilmiş Diş Kesitleri, Bulk-fill Kompozit Rezin Materyalleri ve Alüminyum Levha

Şekil 3.8. Radyografinin Alınması

Şekil 3.9. Fosfor Plak Tarayıcısı

Şekil 3.10. Radyografisi Alınan Görüntüler (A): 1mm Kalınlığındaki Diş Kesitleri ve Materyaller, (B): 2 mm Kalınlığındaki Diş Kesitleri ve Materyaller, (C): 4 mm Kalınlığındaki Diş Kesitleri ve Materyaller

Şekil 3.11. Image J Programında OGD Değerlerinin Ölçüm Basamakları (A, B, C)

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

%:	Yüzde
°C:	Santigrat Derece
>:	Büyüktür
<:	Küçüktür
=:	Eşittir
cm:	Santimetre
mm:	Milimetre
µm:	Mikrometre
nm:	Nanometre
sn:	Saniye
mA:	Akım
mmAl:	Milimetrik Alüminyum Eşdeğeri
Z:	Atom Numarası
ADA:	Amerikan Diş Hekimleri Akademisi
ART:	Adaptive Response Technology
Bis-EMA:	Bisfenol A Etoksi Dimetakrilat
Bis-GMA:	Bisfenol A Glisidil Metakrilat
CMOS:	Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı İletken
CQ:	Kamforkinon
DC:	Dönüşüm Derecesi
DSÖ:	Dünya Sağlık Örgütü
EBPDMA:	Etoksillenmiş Bisfenol A Dimetakrilat
EDMA:	Etilen Glikol Dimetakrilat
FTIR:	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi

GSH:	Glutasyon
HEMA:	2-Hidroksietil Metakrilat
ISO:	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
LED:	Işık Yayan Diyot
MMA:	Metil Metakrilat
MOPOS:	Yüksek Moleküler Ağırlıklı Modifiye Poliasit Sistemi
MPS:	Metakriloksipropil Trimetoksisilan
OGD:	Ortalama Gri Değer
Ormocer:	Organik Olarak Modifiye Edilmiş Seramik
PD:	Polimerizasyon Derinliği
PMMA:	Polimetil Metakrilat
PSP:	Fotostimüle Edilebilir Fosfor Plak
QTH:	Kuvars Tungsten Halojen
S-PRG:	Pre-Reaktif Cam İyonomer
TEGDMA:	Trietilen Glikol Dimetakrilat
UDMA:	Üretan Dimetakrilat
UTMA:	Üretan Tetra Metakrilat
UV:	Ultraviyole

İÇİNDEKİLER

ETİK SÖZLEŞME	iii
JÜRİ KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. KOMPOZİT REZİNLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ	4
2.2. KOMPOZİT REZİNLERİN YAPISI	7
2.2.1. Organik Faz	7
2.2.2. İnorganik Faz.....	8
2.2.3. Ara Faz.....	9
2.3. KOMPOZİT REZİNLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	10
2.3.1. Viskozitelerine Göre Kompozit Rezinler	11
2.3.2. Polimerizasyon Yöntemine Göre Kompozit Rezinler	13
2.3.3. Doldurucu Partikül Büyüklüğüne Göre Kompozit Rezinler	16
2.3.4. Fonksiyonel Yeteneklerine Göre Kompozit Rezinler	21

2.4. BULK-FİLL KOMPOZİT REZİNLER	22
2.4.1. Bulk-fill Kompozit Resinlerin Bileşimi	23
2.4.2. Bulk-fill Kompozit Resinlerin Özellikleri.....	24
2.4.3. Bulk-fill Kompozit Resinlerin Sınıflandırılması.....	31
2.5. RADYOOPASİTE	36
2.5.1. Radyoopasiteyi Etkileyen Faktörler	37
2.6. RADYOOPASİTENİN SÜT VE DAİMİ DİŞ SERT DOKULARI İLE İLİŞKİSİ	38
2.7. RADYOOPASİTE ÖLÇÜMÜ	39
2.7.1. Alüminyum Basamak (Step-wedge) Yöntemi	40
2.7.2. Dijital Radyografi ile Gri Değer Analizi	41
2.7.3. Bilgisayarlı Görüntü Analizi.....	41
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	43
3.1. ETİK KURUL ONAYI	43
3.2. ÇALIŞMANIN UYGULAMA YERİ VE ZAMANI.....	43
3.3. ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜNÜN BELİRLENMESİ.....	43
3.4. ÇALIŞMADA KULLANILAN DİŞLER	44
3.4.1. Diş Örneklerinin Seçim Kriterleri	44
3.5. ÇALIŞMADA KULLANILAN MATERYALLER.....	45
3.5.1. Bulk-fill Kompozit Resin Materyaller	45
3.6. ÇALIŞMA GRUPLARIN BELİRLENMESİ	48

3.7. ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI.....	49
3.8.RADYOOPASİTENİN DEĞERLENDİRİLMESİ	53
3.9. RADYOGRAFİK GÖRÜNTÜLERİN ANALİZİ	54
3.10. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME	58
4. BULGULAR.....	59
5. TARTIŞMA	66
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
KAYNAKLAR.....	87
EKLER	100
ÖZGEÇMİŞ	102

1.GİRİŞ

Diş çürüğü, çok sayıda karmaşık risk ve koruyucu faktörün etkileşimini içeren multifaktöriyel bir hastalık olarak tanımlanmaktadır (Young ve ark., 2015). Erken çocukluk çağı çürükleri beslenme alışkanlıkları, yetersiz ağız hijyeni, sosyoekonomik faktörler ve mine yapısının tam olarak olgunlaşmamış olması nedeniyle hızlı ilerleyebilmekte; ağrı, enfeksiyon ve estetik problemlerin yanı sıra çocuğun beslenme ve büyüme süreçlerini de olumsuz etkileyebilmektedir (Acs ve ark., 1999). Bu nedenle çürüğün erken dönemde tespit edilmesi ve uygun restoratif tedavinin uygulanması, süt ve genç daimi dişlerin ağızda sağlıklı bir biçimde korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu restoratif yaklaşımın başarısını etkileyen temel unsurlardan biri ise kullanılacak materyalin tedavi uygulanacak diş dokularıyla uyumlu olması ile ilişkilendirilmektedir. Süt ve daimi dişlerin yapısal farklılıkları bu dişlerde kullanılacak restoratif materyallerin özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Süt dişlerinin daimi dişlere kıyasla daha ince mine ve dentin tabakalarına, daha geniş pulpa odasına ve daha düşük mineral içeriğine sahip olması; seçilecek materyalin biyouyumluluk, mekanik dayanıklılık, polimerizasyon derinliği ve uygun çalışma süresi gibi özelliklere sahip olmasını gerektirmektedir (Pinkham, 2013).

Bu gereksinimler göz önüne alındığında klinik uygulamalarda en sık tercih edilen materyallerden birini kompozit rezinler oluşturmaktadır. Kompozit rezinler diş hekimliğinde yaygın şekilde kullanılan restoratif materyaller olmakla birlikte polimerizasyon büzülme stresinin azaltılması ve optimal marjinal adaptasyonun sağlanabilmesi amacıyla çoğunlukla kaviteye tabakalar hâlinde uygulanmaktadır (Sengupta ve ark., 2023). Ancak tabakalama tekniği tabakalar arası kontaminasyon riski,

bağlanma hataları, uygulama süresinin uzaması ve özellikle küçük kavitelerde materyalin yerleştirilmesinde yaşanan güçlükler gibi çeşitli dezavantajlar içermektedir (Alrahlah ve ark., 2014). Bu tekniğin zaman alıcı ve tekniğe duyarlı olması, hasta kooperasyonunun sınırlı olabildiği çocuk diş hekimliği uygulamalarında ilave güçlükler yaratmaktadır (Yang ve ark., 2024). Bu nedenle geleneksel kompozit rezinlerin söz konusu dezavantajlarını ortadan kaldırmak ve klinik uygulamaları kolaylaştırmak amacıyla 4-5 mm derinliğindeki kavitelerde tek tabaka hâlinde uygulanabilen bulk-fill kompozit rezinler geliştirilmiştir (Sotomayor ve ark., 2023). Bulk-fill kompozit rezinlerin tek tabaka halinde uygulanma özelliği, tabakalar arası boşluk ve kontaminasyon riskini azaltmakta, klinisyene daha kısa işlem süresi sunmaktadır (El-Damanhoury & Platt, 2014).

Restoratif materyallerin fizikokimyasal özellikleri ve klinik kullanım kolaylıklarının yanı sıra radyoopasite değerleri de önemli bir değerlendirme ölçütü olmaktadır. Kompozit rezinlerin yeterli radyoopasiteye sahip olmaması, materyalin dentin veya mine ile ayırt edilmesini güçleştirerek restorasyon ve çürük ayırımında hatalara yol açabilmektedir. Bu sorun özellikle çocuk hastalarda radyografik değerlendirmenin tedavi planlamasında önemli bir yere sahip olması nedeniyle klinik kararları olumsuz etkileyebilmektedir (Pitts ve ark., 2017). Bu bağlamda bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite performansı dikkatle değerlendirilmesi gereken bir konu olmaktadır. Bu materyallerin yüksek radyoopasite değerlerine sahip olmaları tek tabaka hâlinde uygulanabilmelerine ve yüksek atom numaralı doldurucu partiküller içermeleri ile ilişkilendirilmektedir (Yaşa ve ark., 2015; Soares ve ark., 2017).

Bulk-fill kompozit rezinlerin daimi dişlerdeki radyoopasite değerlerini inceleyen çalışmalar bulunmasına rağmen (Tarcin ve ark., 2016; Yıldırım ve ark., 2017; Berti ve

ark., 2020a; Maragno ve ark., 2024), hem süt hem de daimi diş yapıları ile bu materyallerin radyoopasite değerlerini birlikte değerlendiren çalışmalar erişilebilir literatürde bulunamamıştır. Ayrıca erişilebilir literatürde yeni bir bulk-fill kompozit rezin materyali olan Simplishade Bulk-fill Flow'un radyoopasite değerinin süt ve daimi dişlerle karşılaştırıldığı herhangi bir çalışma izlenmemiştir. Bu bilgi eksikliği karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmasını ve yeni materyallerin klinik potansiyelinin ortaya konmasını gerekli kılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, altı farklı bulk-fill kompozit rezin materyalinin farklı kalınlıklarda radyoopasite değerlerinin süt ve daimi diş mine ve dentin dokuları ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada "bulk-fill kompozit rezinlerin ve farklı uygulama kalınlıklarının radyoopasite değerleri ile süt ve daimi diş mine ve dentinin radyoopasite değerleri arasında fark yoktur." şeklindeki sıfır hipotezi (H_0) test edilmiştir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1.KOMPOZİT REZİNLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Diş hekimliğinde geçmişten günümüze, farklı etiyolojik faktörlere bağlı olarak oluşan sert doku kayıplarının onarılması ve dişin estetik fonksiyonel bütünlüğünün korunması amacıyla çeşitli restoratif materyaller kullanılmıştır. 1960'lı yıllardan önce klinik uygulamalarda kullanılan akrilik bazlı materyaller düşük mekanik dayanım, yüksek polimerizasyon büzülmesi ve yetersiz aşınma direnci gibi nedenlerle uzun dönem başarı göstermekte yetersiz kalmıştır. Bu ihtiyaç daha estetik, biyouyumlu ve dayanıklı restoratif materyallerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır (Roberson, 2002).

Amalgam, dayanıklılığı sayesinde uzun yıllar boyunca restoratif diş hekimliğinde temel bir seçenek olarak kullanılmış olsa da civa içermesi, estetik açıdan yetersizliği ve fazla madde kaybına neden olması gibi dezavantajlar içermektedir (Shenoy, 2008). Bu nedenle Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) 2022 yılında yayınladığı bir bildiride, civa içermemeleri ve minimal invaziv tedaviye olanak sağlamaları nedeniyle kompozit rezinlerin amalgam dolgulara etkili bir alternatif restoratif materyal olduğu belirtilmiştir (WHO, 2022).

Kompozit rezinler, birbirinden farklı özelliklere sahip olan organik ve inorganik bileşenlerin birbiri içerisinde çözünmeyen fiziksel bir karışımı olarak tanımlanmaktadır (Willems ve ark., 1993). Bu birleşimdeki temel amaç kompozit rezini meydana getiren bileşenlerin tek başına sağlayamayacağı özellikleri bir araya getirerek üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik niteliklere sahip yeni bir materyal elde etmektir (McCabe & Walls, 1998).

Kompozit rezinlerin diş hekimliğinde kullanımı 1950'li yıllarda self-cure polimetil metakrilatlara (PMMA) kuvars partiküllerinin eklenmesiyle gerçekleşmiştir. Ancak bu ilk nesil materyallerin diş adezyon sağlayamaması, yüksek polimerizasyon büzülmesi göstermesi, mikro sızıntıya yatkın olması ve buna bağlı sekonder çürük oluşumuna zemin hazırlaması daha gelişmiş monomer yapılarının araştırılmasını beraberinde getirmiştir (Bowen, 1962). Bu doğrultuda Dr. Rafael Bowen, 1956 yılında bisfenol A glisidil metakrilat (Bis-GMA) monomerini geliştirerek kompozit rezinlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli bir ilerleme sağlamıştır. Bowen'ın 1962'de Bis-GMA için patent almasıyla birlikte, PMMA'ya kıyasla daha düşük polimerizasyon büzülmesi, diş dokularına yakın termal genleşme katsayısı ve artırılmış mekanik dayanım sunan modern kompozit rezinlerin temeli atılmıştır (Bowen, 1956).

1970'li yıllarda kompozit rezinlerin ışıkla polimerize edilebilir hâle gelmesi, materyal biliminde önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Kompozit rezinlerin polimerizasyonu için ilk olarak ultraviyole (UV) ışık teknolojisi tanıtılmış olup (Rock, 1974), bu yöntemle sertleşen kompozitlerin aşınma dirençlerinin ve renk stabilitelerinin kimyasal olarak sertleşen sistemlere kıyasla daha iyi olduğu bildirilmiştir (Hickel ve ark., 1998). Wilder ve ark. (1999) ışıkla polimerizasyonun kabul edilebilir sonuçlar verdiğini göstermiş olsa da UV ışığın sınırlı penetrasyon derinliği ve yüksek radyasyon riski klinik kullanımını kısıtlamıştır. Bu nedenle 1980'li yılların başında, amin hızlandırıcılarla aktive edilen kamforokinon (CQ) fotoinisyatörünün piyasaya sürülmesiyle birlikte kuvars tungsten halojen (QTH) ışık cihazlarının kullanımı yaygınlaşmış ve fotopolimerizasyon teknolojisinde önemli bir ilerleme sağlanmıştır (Ferracane, 2024).

1980'li yıllarda hibrit kompozitler piyasaya sürülmüştür. Makro ve mikro doldurucu partiküllerin bir arada kullanıldığı bu materyaller dayanıklılık, aşınma direnci

ve estetik performans açısından önceki nesillere göre üstün özellikler göstermiştir. Ancak, hibrit kompozitlerin cilalanabilirlik düzeylerinin istenen seviyeye ulaşmadığı bildirilmiştir (Bayne ve ark., 1992). Bu eksiklik doğrultusunda ilerleyen yıllarda, daha yüksek aşınma direnci, geliştirilmiş fiziksel özellikler ve daha iyi cilalanabilirlik sağlayan mikrohibrit kompozitler geliştirilerek klinik kullanıma sunulmuştur (Ferracane, 2011).

1990'ların sonunda düşük polimerizasyon büzülmesi ve yüksek aşınma direnci sunma potansiyeli nedeniyle dikkat çeken organik olarak modifiye edilmiş seramik (ormocer) esaslı kompozitler geliştirilmiştir (Ilie & Hickel, 2011). Ormocerler yapılarında hem inorganik hem organik kopolimer zincirleri barındıran hibrit bir yapı göstermekte olup, geleneksel karbon bazlı omurgaya alternatif olarak silikon temelli uzun bir polimer iskeleti içermeleriyle ayırt edilmektedir (Kalra ve ark., 2012).

2000'li yıllarda nanoteknolojideki ilerlemelerin etkisiyle, diş hekimliğinde nano partikül içeren kompozit rezinlerin üretimi mümkün hâle gelmiştir. Bu materyaller; üstün polisajlanabilirlik, hibrit kompozitlere göre daha yüksek mekanik dayanım, düşük polimerizasyon büzülmesi ile daha estetik ve gelişmiş optik özellikler sunmaları sayesinde restoratif uygulamalarda önemli avantajlar sağlamıştır (Rl & Powers, 2012).

2010'lu yıllara gelindiğinde restoratif diş hekimliğinde zaman etkinliği, uygulama kolaylığı ve derin kavitelere uyum gibi ihtiyaçlar doğrultusunda bulk-fill kompozit rezinler geliştirilmiştir (Ferracane, 2024). Bu materyaller; ışık geçirgenliğini artıran yeni nesil fotoinisyatörler, optimize edilmiş doldurucu sistemleri ve düşük stresli polimerizasyon özellikleri sayesinde 4-5 mm'ye kadar tek katman halinde uygulanabilme avantajı sağlamıştır. Böylece geleneksel kompozitlerde zorunlu olan tabakalama tekniğine alternatif olarak daha hızlı ve klinik açıdan daha öngörülebilir bir restoratif yaklaşım ortaya çıkmıştır (Lassila ve ark., 2012).

Günümüzde kompozit rezinlerin tarihsel evrimi organik matris yapısının geliştirilmesi, doldurucu teknolojilerinin ilerlemesi ve polimerizasyon mekanizmalarının optimize edilmesi ile şekillenmiştir. Bu gelişim çizgisi hem estetik hem de fonksiyonel açıdan daha başarılı restorasyonların elde edilmesine olanak tanımış ve kompozit rezinleri modern diş hekimliğinin temel restoratif materyallerinden biri haline getirmiştir.

2.2. KOMPOZİT REZİNLERİN YAPISI

Kompozit rezinler organik fazı oluşturan polimer matriks, inorganik fazı oluşturan doldurucu partiküller ve bu iki yapı arasında kimyasal bağlanmayı sağlayan silan esaslı ara faz olmak üzere üç temel fazdan meydana gelmektedir (Chen, 2010). Bu ana fazlara ek olarak, kompozitlerin klinik ve fiziksel performansını etkileyen çeşitli yardımcı bileşenler de formülasyonda yer almaktadır. Başlatıcı-aktivatör sistemi, polimerizasyon inhibitörleri, UV stabilizatörleri, akışkanlığı düzenleyen kıvam azaltıcı ajanlar, katalizörler, renk sabitleyiciler ve pigmentler bu yardımcı komponentler arasında bulunmaktadır (Ritter, 2018).

2.2.1. Organik Faz

Organik fazın yapısı; monomerler, ko-monomerler, inhibitörler, polimerizasyon başlatıcıları, UV absorbe ediciler, foto stabilizatörler ve pigmentler gibi çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır (Gatti ve ark., 2007). Bu fazın en temel bileşenini ise monomerler oluşturmaktadır. Günümüzde kompozit rezinlerde en yaygın kullanılan monomerler metakrilat esaslı olan Bis-GMA, üretan dimetakrilat (UDMA) ve bu iki monomerin farklı oranlardaki kombinasyonları olmaktadır (Van Noort & Barbour, 2023). Bis-GMA renksiz bir monomer olup düşük polimerizasyon büzülmesi ve hızlı sertleşme gibi avantajlar sunmasına karşın (Srivastava ve ark., 2017); yüksek viskozitesi, düşük

dönüşüm derecesi ve sınırlı renk stabilitesi dezavantajları arasında yer almaktadır (Ünlü, 2008). Bis-GMA ile benzer molekül ağırlığına sahip olan UDMA ise daha düşük viskozitesi sayesinde akışkanlığı artırmakta, ayrıca adezyon ve renk stabilitesine olumlu katkılar sağlamaktadır (Peutzfeldt, 1997; Önal, 2001). Bis-GMA'nın yüksek viskozitesini azaltmak ve materyalin işlenebilirliğini artırmak amacıyla trietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA), etilen glikol dimetakrilat (EDMA), metil metakrilat (MMA), bisfenol A etoksi dimetakrilat (Bis-EMA) ve üretan tetra metakrilat (UTMA) gibi düşük viskoziteli monomerler organik matrikse ko-monomer olarak eklenmektedir (Dayangaç, 2011).

2.2.2. İnorganik Faz

Kompozit rezinlerin inorganik fazını, organik matriks içerisine homojen şekilde dağıtılmış çeşitli doldurucu partiküller oluşturmaktadır. Bu partiküller; kuartz, baryum, borosilikat cam, lityum alüminyum silikat, stronsiyum, çinko ve yitrium cam, baryum alüminyum silikat gibi farklı şekil ve boyutlardaki inorganik materyallerden oluşmaktadır (Wilson ve ark., 2005). İnorganik doldurucular kompozitin aşınma direncini, viskozitesini ve radyoopasitesini arttırırken; polimerizasyon büzülmesini, termal genleşme katsayısını ve su emilimini azaltarak materyalin fiziksel ve klinik performansını önemli ölçüde iyileştirmektedir (Gladys ve ark., 1997). Stronsiyum, baryum, çinko ve yitrium içeren doldurucular kompozit rezine radyoopasite kazandıran temel elementleri oluşturmaktadır (Gladys ve ark., 1997). Silika partikülleri ise kompozitin mekanik özelliklerini güçlendirmenin yanı sıra ışığın geçişini ve dağılımını düzenleyerek materyale mine dokusuna benzer yarı translusent bir görünüm kazandırmaktadır (Willems ve ark., 1993; Rl & Powers, 2012). Silikanın kristalin ve non-kristalin iki formu bulunmakla birlikte, kristalin form yüksek sertliği bitirme ve polisaj işlemlerini

zorlaştırdığından, günümüzde kompozit rezinlerde daha iyi cilalanabilirlik sağlayan non-kristalin form tercih edilmektedir (Dayangaç, 2011).

2.2.3. Ara Faz

Ara faz, kompozit rezinlerde organik polimer matriks ile inorganik doldurucu partiküllerin birbirine bağlanmasını sağlayan kritik bir bileşen görevini üstlenmektedir. Bu amaçla metakriloksipropil-trimetoksisilan (MPS) en yaygın kullanılan silan bağlayıcı ajan olarak bilinmektedir (Rl & Powers, 2012). Silanlar, yüzeyde hem organik hem inorganik fazla etkileşim kurabilen iki uçlu reaktif moleküllerden oluşmaktadır (Wilson & Antonucci, 2006). Moleküler yapılarındaki alkoksi grubu inorganik doldurucu yüzeyindeki hidroksil gruplarıyla hidroliz ve kondensasyon reaksiyonları üzerinden kovalent bağ oluştururken, metakrilat fonksiyonel grubu ise kompozit rezin polimerizasyonu sırasında organik matriks ile kopolimerize olmaktadır (Dayangaç, 2011). Bu çift yönlü kimyasal fazlar arası bağlantının güçlenmesini sağlayarak kompozit rezinin çözünürlüğünü ve su emilimini azaltarak materyalin uzun dönem mekanik dayanımına ve klinik stabilitesine önemli katkı sağlamaktadır (Musanje & Ferracane, 2004).

Silan bağlayıcının etkinliği doldurucu yüzeyinin temizliği, nem seviyesi, partikül tipi ve silan yapısının hidroliz hızına bağlı olarak değişmektedir. Bağlanmanın zayıf olması durumunda doldurucu partiküller matriksten ayrılabilmekte ve bu durum kompozitin yüzey pürüzlülüğünün artmasına, aşınma direncinin azalmasına ve materyalin mekanik özelliklerinin zayıflamasına yol açabilmektedir. Bu nedenle silan ara fazı kompozit rezinlerin fiziksel, kimyasal ve klinik performansını belirleyen kritik bir bileşen olarak kabul edilmektedir (Philips, 1982).

2.3.KOMPOZİT REZİNLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kompozit rezinler; viskozitesi, polimerizasyon özellikleri, içeriklerindeki inorganik doldurucuların tipi, boyutu ve oranı ile birlikte uygulama teknikleri ve kullanım amaçları gibi çeşitli kriterlere göre farklı sınıflara ayrılmaktadır (Lutz & Phillips, 1983). Bu sınıflandırma, klinik kullanımda doğru materyal seçimini kolaylaştırdığı gibi, kompozit rezinlerin fiziksel, mekanik ve optik performanslarının anlaşılmasına da katkı sağlamaktadır. Tablo 2.1.'de, kompozit rezinlerin literatürde en sık kullanılan sınıflandırma ölçütleri temel alınarak hazırlanmış ayrıntılı sınıflandırması sunulmaktadır.

Tablo 2.1. Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması	Alt Başlık /Tür
Viskozitelerine Göre	Akışkan kompozit rezinler
	Kondanse edilebilen kompozit rezinler
Polimerizasyon Şekline Göre	Kimyasal yolla polimerize olan kompozit rezinler (Self-cure)
	Işık aktivasyonu ile polimerize olan kompozit rezinler (Ligt-cure) Hem kimyasal yolla hem de ışıkla polimerize olan kompozit rezinler (Dual-Cure)
İnorganik Doldurucu Partikül Boyutuna Göre	Megafil
	Makrofil
	Midifil
	Minifil
	Mikrofil
	Hibrit
	Nanofil
	Ormocerler
	Giomerler
	Siloranlar
Fonksiyonel Yeteneklerine Göre	Fiberle Güçlendirilmiş Kompozit Rezinler
	Akıllı Tek Renk Kompozit Rezinler
	İndirekt Kompozit Rezinler
	Bulk-fill Kompozit Rezinler
	Akıllı (Smart) Materyaller

2.3.1. Viskozitelerine Göre Kompozit Rezinler

2.3.1.1. Akışkan Kompozit Rezinler

Akışkan kompozit rezinler, düşük viskoziteleri sayesinde kavite duvarlarına yüksek adaptasyon sağlayan hibrit esaslı kompozit materyaller olarak bilinmektedir (Dayangaç, 2011). Bu materyaller doldurucu oranlarına göre iki nesil hâlinde sınıflandırılmaktadır. Birinci nesil akışkan kompozitlerde doldurucu oranı %37–53 arasında değişmekte olup, düşük viskoziteleri nedeniyle adaptasyon yetenekleri yüksek

olsa da mekanik dayanımları sınırlı kalmaktadır. İkinci nesil akışkan kompozitlerde ise doldurucu oranı 70'in üstüne çıkarılarak, akışkanlık ile geleneksel kompozitlerin mekanik avantajlarının bir araya getirilmesi amaçlanmaktadır (Korkut ve ark., 2023).

Akışkan kompozit rezinlerin başlıca avantajları arasında; sınıf II posterior restorasyonlarda mikrosızıntıyı azaltmaları, ulaşımın zor olduğu kavitelerde uygulama kolaylığı sağlamaları ve kavite duvarlarına adaptasyonun yüksek olması yer almaktadır. Bununla birlikte düşük eğilme direnci, düşük aşınma direnci ve yüksek polimerizasyon büzülmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır (Baroudi ve ark., 2008). Birinci nesil akışkan kompozitler, düşük doldurucu oranları nedeniyle daha çok destekleyici veya yüzeysel restoratif amaçlarla kullanılmaktadır. Pit ve fissürler, mine defektlerinin restorasyonu, dentin hassasiyetinin giderilmesi, kompozit, amalgam ve kron restorasyonlarının kenar kırıklarının tamiri, anterior bölgede insizal kenar onarımları, girişin zor olduğu küçük kaviteler ve servikal abfraksiyon lezyonları gibi klinik uygulamalarda tercih edilmektedir (Bayne ve ark., 1998; Roberson, 2002). Doldurucu oranı artırılmış ikinci nesil akışkan kompozitler ise mekanik özellikleri belirgin ölçüde geliştirildiği için sınıf I, II ve III kavitelerin restorasyonlarında kullanılabilmektedir (Burgess, 1996; Bayne ve ark., 1998).

2.3.1.2 Kondanse Edilebilen Kompozit Rezinler

1990'lı yılların sonlarında tanıtılan kondanse edilebilen kompozit rezinler, geleneksel kompozit rezinlerde inorganik doldurucu partikül oranının artırılması ve monomer miktarının azaltılmasıyla geliştirilmiş, amalgama benzer şekilde kondanse edilebilir yüksek viskoziteye sahip materyaller olarak bilinmektedir. Bu özellikleri, manipülasyon kolaylığı ve kavite duvarlarına sıkı adaptasyon gibi klinik avantajlar sağlamaktadır (Cobb ve ark., 2000; Roberson, 2002).

Bu kompozitlerde kullanılan doldurucu partiküllerinin hibrit kompozitlere kıyasla daha büyük olması, bitirme ve polisaj işlemlerinden sonra yüzeyin daha pürüzlü kalmasına neden olabilmektedir (Lemon ve ark., 2007). Bununla birlikte kondanse edilebilen kompozit rezinlerin ideal kontakt noktası oluşturabilmesi, kolay manipüle edilebilmesi, yeterli polimerizasyon derinliği sunması, düşük aşınma hızı ve düşük polimerizasyon büzülmesi göstermesi önemli avantajları arasında yer almaktadır (Manhart ve ark., 2000; Dayangaç, 2011). Öte yandan yüzey pürüzlülüğünün yüksek olması, kondansasyonun yeterli yapılmadığı durumlarda tabakalar arasında hava boşluklarının oluşabilmesi ve dar kavitelerde uygulama güçlüğü bu materyallerin başlıca dezavantajlarını oluşturmaktadır (Rl & Powers, 2012). Posterior kompozit rezinler, bu özellikleriyle birlikte klinikte özellikle sınıf I ve sınıf II kavitelerin restorasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Brackett & Covey, 2000).

2.3.2. Polimerizasyon Yöntemine Göre Kompozit Rezinler

2.3.2.1. Kimyasal Yolla (Self-Cure) Polimerize Olan Kompozit Rezinler

Kimyasal olarak polimerize olan kompozit rezinler iki ayrı pat sisteminden oluşmaktadır (Zhou ve ark., 2019a). Bu patlardan her biri hacimce yaklaşık yarı yarıya organik monomer ve inorganik doldurucu içermektedir. Sistemlerden biri polimerizasyon başlatıcısı olan benzoil peroksiti, diğeri ise reaksiyonu başlatan aromatik tersiyer amin hızlandırıcıyı içermektedir. İki patın eşit oranlarda karıştırılmasıyla polimerizasyon otomatik olarak gerçekleşmeye başlamaktadır (Ferracane, 1995). Kimyasal polimerizasyonda kullanılan tersiyer aminler zaman içinde kimyasal değişime uğrayarak sarıya veya turuncuya dönüşme eğilimi göstermektedir. Bu durum materyalin uzun dönem renk stabilitesini olumsuz etkileyen temel dezavantajlardan birini oluşturmaktadır (Ritter, 2018).

Kimyasal olarak polimerize olan kompozit rezinlerde, polimerizasyon büzülmesi kavitenin merkezine doğru y nlenmekte; bununla birlikte rezinlerin karıştırılma oranı, materyal içine hapsolan hava kabarcıkları ve çalışma süresi gibi faktörler büzülmenin miktarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenlerle self-cure kompozit rezinler günümüzde daha sınırlı endikasyonlarda kullanılmaktadır. Servikal lezyonlar, kök  r kleri ve sınıf III kavitelerde hâlen tercih edilebilseler de yüksek oklüzal stres altındaki alanlarda ve sınıf I, II ve IV kavitelerde kullanımı, yerini büyük ölçüde ışıkla polimerize olan kompozitlere bırakmıştır. Bu materyaller günümüzde daha çok rezin bazlı yapıştırma simanları veya kor materyalleri olarak değerlendirilmektedir (Dayangaç, 2000; Ritter, 2018; Zhou ve ark., 2019a).

2.3.2.2. Işıkla Polimerize Olan (Light-Cure) Kompozit Resinler

Işıkla polimerize olan kompozit rezinlerde sertleşme, belirli dalga boylarındaki ışık enerjisinin fotoinisyat rleri aktive etmesiyle gerçekleşmektedir. Kompozit rezinlerin ilk örneklerinde polimerizasyon UV ışıkla sağlanmakla birlikte, UV'nin hem hekim hem de hasta açısından oluşturabileceği potansiyel riskler nedeniyle bu sistemler zamanla terk edilmiş ve görünür ışıkla polimerizasyon sağlayan teknikler geliştirilmiştir (Rueggeberg ve ark., 2017). Günümüzde kompozit rezinlerin polimerizasyonu, görünür ışık spektrumunda çalışan halojen, lazer, plazma ark ve ışık yayan diyot (LED) gibi farklı ışık kaynakları ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu görünür ışık kaynakları arasında özellikle halojen ve LED ışık cihazları, klinik uygulamalarda en yaygın kullanılan seçenekler arasında yer almaktadır (Herv s-Garc a ve ark., 2006; Puckett ve ark., 2007).

Görünür ışıkla polimerize olan kompozit rezinler, 425–495 nm dalga boyuna sahip mavi ışığı absorbe ederek aktive olan CQ fotoinisyatör sistemi ile sertleşmektedir (Rueggeberg ve ark., 2017). Bu polimerizasyon mekanizması; çalışma süresinin hekim

tarafından kontrol edilebilmesi, farklı renk seçeneklerinin bulunması, restorasyonun şekillendirilmesinin kolay olması, bitirme işlemlerinin daha kısa sürmesi ve daha az pörözite oluşması gibi önemli klinik avantajlar sağlamaktadır (Burgess ve ark., 2002).

Işıkla polimerize olan kompozit rezinler genellikle 2 mm'lik tabakalar hâlinde uygulanmakta ve bu yöntem polimerizasyon büzülmesinin kontrolünü kolaylaştırmaktadır. Ancak ışık kaynağına doğru yönelim gösteren polimerizasyon büzülmesi nedeniyle, yalnızca oklüzal yüzeyden ışık uygulanması kompozitin özellikle gingival duvardan ayrılmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle asitle pürüzlendirme ve adeziv sistemlerin kullanılması bu etkiyi azaltmakla birlikte, polimerizasyon sırasında ışığın önce bukkal ve/veya lingual yüzlerden uygulanması, ardından oklüzalden ışık verilmesi önerilmektedir (Dayangaç, 2000).

2.3.2.3. Hem Kimyasal Yolla Hem de Işıkla Polimerize Olan (Dual-Cure) Kompozit Rezinler

Dual-cure kompozit rezinlerde polimerizasyon reaksiyonu görünür ışık uygulamasıyla başlatılmakta ancak ışığın ulaşamadığı bölgelerde zamanla kendiliğinden ilerleyen kimyasal polimerizasyon ile sertleşme tamamlanmaktadır (Ritter, 2018; Zhou ve ark., 2019b). Kimyasal polimerizasyonun hızı ışıkla sertleşmeye göre daha yavaş olduğundan materyalin optimal özelliklere ulaşabilmesi için fotopolimerizasyon ile kimyasal reaksiyonun birlikte gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu kompozitlerin önemli avantajlarından biri, ışıkla yapılan polimerizasyonun yetersiz kaldığı durumda bile kimyasal reaksiyonun sertleşmeyi tamamlayabilmesidir. Dual-cure sistemlerin temel dezavantajı ise karıştırma işlemi sırasında pörözite oluşabilmesidir. Ancak günümüzde bu materyallerin çoğunun şırınga formunda, iki bileşenli otomatik karıştırma sistemleri şeklinde üretilmesi, karıştırma hatalarına bağlı boşluk oluşumu riskini büyük ölçüde

azaltmaktadır. Bu özellikleri sayesinde dual-cure kompozit rezinler derin kavitelerde, 2 mm'den kalın rezin uygulamalarında, ışık demetinin ulaşmasının güç olduğu interproksimal bölgelerde ve tamamen ışık alamayan alanlarda güvenle kullanılabilir (Malavasi ve ark., 2015).

2.3.3. İnorganik Doldurucu Partikül Büyüklüğüne Göre Kompozit Rezinler

Kompozit rezinlerin fiziksel, mekanik ve estetik özellikleri büyük ölçüde doldurucu partiküllerin boyutu, dağılımı ve hacim oranı tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle doldurucu partikül büyüklüğü, kompozit materyallerin sınıflandırılmasında uzun süredir temel bir ölçüt olarak kullanılmaktadır (Korkut ve ark., 2023). Lutz ve Phillips (1983) tarafından makrofil, mikrofil, hibrit ve modern hibrit kompozitlerin tanımlanmasıyla bu sınıflandırma sistematik bir çerçeveye kavuşmuş, ardından Bayne ve ark. (1994) partikül boyutunun nanometre düzeyine indirildiği nanofil kompozitleri literatüre kazandırmıştır (Tablo 2.2.). Partikül teknolojisindeki ilerlemelerle birlikte doldurucu boyutunun daha da küçültüldüğü ve farklı partikül tiplerinin kombinasyonlarını içeren yeni kompozit yapıları geliştirilmiş ve bu materyaller hibrit kompozitler başlığı altında ele alınmıştır (Roberson, 2002).

Tablo 2.2. Doldurucu Partikül Büyüklüğüne Göre Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

Doldurucu Partikül Büyüklüğüne Göre Kompozit Rezinler	İnorganik Doldurucu Partikül Büyüklüğü (µm)
Megafil	50-100
Makrofil	10-100
Midifil	1-10
Minifil	0,1-1
Mikrofil	0,01-0,1
Hibrit	0,04-1
Nanofil	0,005-0,01

*Tablo kaynağı Dayangaç (2000).

2.3.3.1. Megafil Kompozit Rezinler

Megafil kompozit rezinler, 1970'li yıllarda yüksek aşınma direnci sağlamak amacıyla geliştirilen ve doldurucu partikül boyutu 50-100 µm arasında değişen materyaller olarak tanımlanmaktadır (Celik, 2017). Büyük partikül yapısı nedeniyle yüzey pürüzlülüğü artmakta, kenar uyumu ve uzun dönem estetik stabilite olumsuz etkilenmektedir. Doldurucu hacminin düşük olması, materyalin polimerizasyon büzülmesini ve aşınma miktarını artırarak klinik performansını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle megafil kompozit rezinler güncel klinik uygulamalarda yerini hibrit, mikrohibrit ve nanofil kompozit rezinlere bırakmıştır (Willems ve ark., 1993). Bununla birlikte oklüzal temas bölgelerinde kullanılmak üzere geliştirilen 0.5-2 µm boyutundaki cam partikülleri içeren yapıların da mega doldurucu grubunda değerlendirildiği bildirilmektedir (Shobha ve ark., 1997).

2.3.3.2. Makrofil Kompozit Rezinler

Makrofil kompozit rezinler, 1960'lı ve 1970'li yıllarda geliştirilen, inorganik doldurucu partikül boyutunun yaklaşık 10-100 µm arasında değiştiği ilk nesil kompozit rezin materyalleri arasında yer almaktadır (Alsharif ve ark., 2024). Bu dönemde amaç

yüksek doldurucu içeriğiyle amalgama alternatif olacak daha dayanıklı ve estetik bir restoratif materyal geliştirmek olmuştur. Ancak büyük ve çoğu zaman düzensiz şekilli olan bu partiküller sert yapıları nedeniyle organik matriks içinde mikroyapısal aşınmaların oluşmasına, yüzey pürüzlülüğünün artmasına ve uzun dönemde belirgin renklenmelere yol açmaktadır (Eakle, 2019). Bu özellikler aynı zamanda materyalin polisajını güçleştirmekte ve restorasyonun yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir (Riva & Rahman, 2019). Ayrıca bu kompozitlerde sıklıkla kullanılan kuvars doldurucunun radyolusent olması, restorasyon altındaki sekonder çürüklerin tespitini zorlaştırmakta ve tanısal hassasiyeti azaltmaktadır. Bu dezavantajlar nedeniyle makrofil kompozit rezinler klinik başarı açısından istenilen performansı gösterememiş ve zamanla mikrofil, hibrit ve nanoteknoloji temelli modern kompozit rezinlere yerini bırakmıştır (Rl & Powers, 2012).

2.3.3.3. Midifil Kompozit Rezinler

Midifil kompozit rezinler, inorganik doldurucu partikül boyutunun yaklaşık 1-10 µm aralığında olduğu, makrofil kompozit rezinlerin sınırlılıklarını gidermek amacıyla geliştirilen ikinci nesil kompozit rezin materyaller olarak bilinmektedir (Dayangaç, 2000). Bu sınıfta partikül boyutunun küçültülmesiyle özellikle yüzey pürüzlülüğü ve polisajlanabilirlik açısından makrofil kompozit rezinlere göre daha iyi sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir. Nitekim daha küçük ve nispeten daha düzenli partikül yapısı, restorasyon yüzeyinin daha homojen hâle gelmesine katkıda bulunmakta ve klinik polisaj işlemlerinin daha başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu materyallerde kullanılan doldurucu-matriks kombinasyonu ve partikül morfolojisi nedeniyle aşınma direnci, kenar bütünlüğü ve uzun dönem renk stabilitesi açısından makrofil kompozit rezinlere benzer sorunlar devam etmektedir. Bu dezavantajlar, midifil kompozit rezinlerin klinik performansını sınırlamış ve materyalin zamanla mikrofil, hibrit

ve nanofil temelli modern kompozit rezinler karşısında önemini kaybetmesine yol açmıştır (Dayangaç, 2011).

2.3.3.4. Minifil Kompozit Resinler

Minifil kompozit rezinler, inorganik doldurucu partikül boyutunun yaklaşık 0,1-1 µm arasında olduğu, midifil kompozit rezinlerin yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla geliştirilen materyal grubunu oluşturmaktadır. Partikül boyutundaki küçülme, restorasyon yüzeyinin daha düzgün hale gelmesine katkıda bulunmakta ve estetik sonuçların bir miktar iyileştirilmesini sağlamaktadır (Burgess ve ark., 2002). Bu kompozit rezinlerde baryum ve stronsiyum gibi ağır metaller içeren cam partiküllerinin kullanılması, materyale hem artırılmış aşınma direnci hem de belirgin bir radyoopasite kazandırmaktadır (Dayangaç, 2011). Bununla birlikte doldurucu partikül yapısındaki gelişmelere rağmen minifil kompozit rezinlerin çığneme kuvvetlerine karşı direnci ve uzun dönem mekanik performansı hâlâ istenen düzeye ulaşamamıştır. Bu sınırlılıklar minifil kompozit rezinlerin klinik kullanım alanını önemli ölçüde daraltmış, daha üstün fiziksel ve estetik özellikler sunan hibrit, mikrohibrit ve nanofil kompozit rezinlere geçişi hızlandırmıştır (Dayangaç, 2011).

2.3.3.5. Mikrofil Kompozit Resinler

Mikrofil kompozit rezinler, inorganik doldurucu partikül boyutunun yaklaşık 0,04-0,4 µm aralığında olduğu ve özellikle estetik gereksinimleri karşılamak amacıyla geliştirilmiş materyaller grubu olarak tanımlanmaktadır (Dos Santos ve ark., 2015). Geleneksel kompozit rezinlerde görülen yüzey pürüzlülüğü ve yetersiz translusensi gibi estetik sınırlılıkları gidermek için bu sistemlerde inorganik doldurucu olarak kolloidal silika kullanılmaktadır (Burgess ve ark., 2002). Küçük partikül boyutu sayesinde mikrofil kompozit rezinler yüksek polisajlanabilirlik, daha iyi translusensi ve mine benzeri yüzey

parlaklığı sunmaktadır. Bu nedenle anterior bölgede estetik restorasyonlar için uzun yıllarca tercih edilmektedir. Bununla birlikte düşük elastisite modülü, nispeten zayıf kırılma dayanıklılığı, yüksek su absorpsiyonu ve artmış termal genleşme katsayısı, materyalin özellikle posterior bölgelerde mekanik yükler karşısında yetersiz performans göstermesine neden olmaktadır. Ayrıca marjinal bütünlük açısından görülen bozulmalar, bu kompozit rezinlerin uzun dönem klinik başarılarını sınırlamaktadır (Willems ve ark., 1993). Bu dezavantajlar, zamanla mikrohibrit ve nanofil kompozit rezinlerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır.

2.3.3.6. Hibrit Kompozit Reziner

Hibrit kompozit rezinler, farklı büyüklüklerde inorganik doldurucu partiküllerin aynı matriks içerisinde bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Bu materyaller hem makrofil kompozit rezinlerin mekanik dayanımını hem de mikrofil kompozit rezinlerin üstün yüzey pürüzsüzlüğünü bir arada sunmayı amaçlayan materyaller olarak bilinmektedir (Riva & Rahman, 2019). Bu kompozit rezinlerde genellikle 0,04-1 µm aralığında değişen partiküller bir arada bulunmakta olup, partikül çeşitliliği sayesinde doldurucu hacmi artırılmakta ve böylece materyalin kırılma dayanımı, aşınma direnci ve kenar bütünlüğü belirgin şekilde iyileşmektedir. Hibrit sistemlerin isimlendirilmesinde, kullanılan doldurucular arasında yüzdesi en yüksek olan partikül tipinin esas alındığı bildirilmektedir (O'Brien, 2002). Mikrofil kompozit rezinlerin üstün estetik özellikleri ile makro/midifil partiküllerin sağladığı mekanik performansı birleştirme hedefi, hibrit kompozit rezinleri uzun yıllar boyunca hem anterior hem de posterior restorasyonlarda yaygın bir seçenek hâline getirmiştir (Palaniappan ve ark., 2010).

2.3.3.7. Nanofil Kompozit Rezinler

Nanofil kompozit rezinlerin inorganik doldurucu partikül büyüklüğü 0,005-0,01 µm arasında değişmektedir (Mitra ve ark., 2003). Nanofil kompozit rezinlerin organik yapısı diğer kompozit rezinlerle benzer özellikler gösterirken, inorganik yapısı nanomer ve silika nano doldurucu gruplardan oluşmaktadır (Ure & Harris, 2003).

Nanofil kompozit rezinler, küçük partikül boyutları ve artmış doldurucu oranları sayesinde çeşitli klinik avantajlar sunmaktadır. Bu özellikler, polimerizasyon büzülmesi, su absorpsiyonu ve renklenme oluşumunun daha düşük düzeylerde gerçekleşmesine katkı sağlarken; materyalin mekanik dayanıklılığını artırmakta, daha iyi polisajlanabilirlik ve üstün estetik özellikler göstermesine olanak tanımaktadır (Bayne ve ark., 1994; Mitra ve ark., 2003). Nanofil kompozit rezinler iyi mekanik özelliklerinin yanı sıra geniş renk ve opasite seçeneklerinin olmasıyla estetik restorasyonlar yapılmasına olanak tanımaktadır. Estetik özelliklerinin iyi olması sebebiyle genellikle anterior dişlerin restorasyonlarında tercih edilmektedirler (Rl & Powers, 2012).

2.3.4. Fonksiyonel Yeteneklerine Göre Kompozit Rezinler

Kompozit rezinlerin fonksiyonel özelliklerine göre sınıflandırılması incelendiğinde, materyallerin klinik ihtiyaçlara yanıt verecek şekilde farklı kullanım amaçları doğrultusunda geliştirildiği görülmektedir. Anterior ve posterior kompozit rezinler estetik ve mekanik gereksinimlere göre ayrılırken; akışkan kompozit rezinler adaptasyon yetenekleri sayesinde sınırlı alanlarda veya dolgu altı uygulamalarda tercih edilmektedir. Buna karşılık daha yoğun kıvamlı kondanse edilebilir kompozit rezinler, özellikle posterior bölgede amalgama alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu fonksiyonel çeşitlilik içinde bulk-fill kompozit rezinler, artan derinliklerde tek seferde uygulanabilmeleri, yüksek ışık geçirgenlikleri ve optimize edilmiş polimerizasyon

davranışları sayesinde restoratif diş hekimliğinde önemli bir yenilik olarak ortaya çıkmıştır (Garcia ve ark., 2014).

Derin kavitelerde tabakalama gereksinimini azaltmaları, klinik zamanı kısaltmaları ve polimerizasyon stresini minimize edecek şekilde formüle edilmeleri, bulk-fill kompozit rezinleri modern restoratif uygulamalarda fonksiyonel açıdan ayrıcalıklı bir kategori hâline getirmektedir (Arbildo-Vega ve ark., 2020). Bu nedenle günümüzde kompozit rezinlerin sınıflandırmaları içinde bulk-fill kompozit rezinler hem uygulama tekniği hem de fonksiyonel performans kriterleri açısından ayrı bir başlık altında detaylı olarak incelenmektedir.

2.4. BULK-FİLL KOMPOZİT REZİNLER

“Bulk-fill” terimi kompozit rezinlerin çoklu tabakalama tekniğine ihtiyaç duyulmaksızın tek seferde yerleştirilebilmesine olanak sağlayan uygulama yaklaşımı olarak tanımlanmaktadır (Büyükçavuş, 2015). Geleneksel kompozit rezinlerin en fazla 2 mm kalınlığında uygulanabilmesi, restorasyon süresini uzatan ve tabakalar arasında boşluk oluşmasına zemin hazırlayan önemli bir sınırlılık olarak değerlendirilmektedir (Çabadağ, 2021). Bu sınırlılığı ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilen bulk-fill kompozit rezinler, 4-10 mm derinliğindeki kavitelerde bile tek basamakta uygulanabilme özelliği göstermektedir. Söz konusu materyaller; artırılmış translüsens, modifiye edilmiş monomer yapıları, yüksek ışık geçirgenliğine sahip doldurucu tasarımları ve yeni nesil fotoinisyatör sistemlerinin bir araya gelmesiyle derin bölgelerde daha etkin ışık iletimi ve homojen polimerizasyon sağlayabilmektedir (Nezir & Ozcan, 2024).

2.4.1. Bulk-fill Kompozit Rezinlerin Bileşimi

Bulk-fill kompozit rezinler, geleneksel kompozit rezinlerde olduğu gibi organik matriks, inorganik doldurucu ve ara fazdan oluşan üç temel yapısal bileşenden oluşmaktadır (Nezir & Ozcan, 2024). Bununla birlikte bu materyaller, tek basamakta daha büyük hacimlerde uygulanabilmelerini sağlayan çeşitli kimyasal modifikasyonlarla geliştirilmiştir (Hirata ve ark., 2015). Geleneksel kompozit rezinlerle benzer tipte doldurucular içerseler de bazı bulk-fill ürünlerinde Bis-GMA'nın kullanımından vazgeçilerek UDMA, TEGDMA ve etoksillenmiş bis-fenol a dimetakrilat (EBPDMA) gibi daha düşük viskoziteli dimetakrilat monomerlerine yönelim olmuştur (Nezir & Ozcan, 2024). Bu monomerler Bis-GMA'ya kıyasla daha akışkan olup polimer zincirinin daha esnek bir yapı oluşturmaya katkı sağlamaktadır. Ayrıca Bis-GMA'nın EBPDM'dan daha hidrofilik olması nedeniyle su absorpsiyonuna ve buna bağlı bozulmalara yatkınlığı, bulk-fill kompozit rezinlerde EBPDM kullanımının renk stabilitesini artırmasına olanak tanımaktadır (Sideridou ve ark., 2002; Karadaş & Demirbuğa, 2017).

Bulk-fill kompozit rezinlerde polimerizasyon derinliğinin artırılabilmesi ise materyalin translüsensitesinin artırılması ve farklı fotoaktif başlatıcı sistemlerinin kullanılmasıyla mümkün olmaktadır (Aydın, 2019). Örneğin SDR (Dentsply, Amerika) fotoaktif gruplarla modifiye edilmiş UDMA içeriği sayesinde 4 mm derinliğe kadar etkin polimerizasyon sağlayabilmektedir (Zaruba ve ark., 2013). Benzer şekilde Tetric EvoCeram (Ivoclar Vivadent, Lihtenştayn) yapısında bulunan 'Ivocerin' fotoinisiyatörü ile daha kalın rezin tabakalarında homojen polimerizasyon elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Vivadent., 2011).

2.4.2. Bulk-fill Kompozit Rezinlerin Özellikleri

2.4.2.1. Polimerizasyon Derinliği ve Dönüşüm Derecesi

Kompozit rezinlerde polimerizasyonun etkinliği, temel olarak dönüşüm derecesi (degree of conversion, DC) ve polimerizasyon derinliği (polymerization depth, PD) ölçütleriyle değerlendirilmektedir (Goracci ve ark., 2014; Li ve ark., 2015). DC, monomerlerin polimere dönüşme yüzdesini ifade eden kimyasal bir parametre olup Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) veya Raman spektroskopisi gibi analitik yöntemlerle belirlenmektedir (Bouschlicher ve ark., 2004; Li ve ark., 2015). PD ise, belirli bir tabaka kalınlığında yeterli sertleşme elde edilebilme kapasitesini yansıtmakta ve yüzey sertliği ile DC ölçümleriyle ilişkilendirilmektedir (Ferracane, 2011; ISO, 2019). Literatürde DC değerinin çoğunlukla en az %90 olmasının yeterli polimerizasyon için kabul edildiği belirtilmekle birlikte (Li ve ark., 2015), özellikle akışkan bulk-fill kompozit rezinlerde bu değer üretici beyanlarından düşük olabileceği de bildirilmektedir (Garcia ve ark. (2014).

Bu temel ölçütler göz önünde bulundurulduğunda PD'yi artırmak amacıyla çeşitli materyal modifikasyonlarının geliştirilmesi kaçınılmaz hâle gelmektedir. Bulk-fill kompozit rezinlerde PD'yi artırmak amacıyla; translüsensinin artırılması, doldurucu oranının azaltılması, partikül boyutunun büyütülmesi ve ek fotobaşlatıcı sistemlerin kullanılması gibi çeşitli stratejiler uygulanmaktadır (Chesterman ve ark., 2017). PD ışığın saçılımı ile sınırlı olduğundan, materyalin translüsensi arttıkça ışığın daha derin tabakalara iletilmesi mümkün hâle gelmektedir (Bodrumlu, 2024). Aynı zamanda birçok bulk-fill kompozit rezinde doldurucu partiküllerin boyutu büyütülerek matriks-doldurucu ara yüzeyindeki kırılma indeks farkı azaltılmış ve ışık saçılımı minimize edilmiştir

(Aydın, 2019). Ancak doldurucu içeriği ve partikül mimarisi ürünler arasında önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin Filtek Bulk Fill (3M ESPE, Amerika) ve Venus Bulk Fill (Heraeus Kulzer, Almanya) sistemlerinde doldurucu oranı azaltılırken; SureFil SDR flow (Dentsply, Amerika), SonicFill (Kerr, Amerika), X-tra base (VOCO, Almanya) ve X-tra fill (VOCO, Almanya) materyallerinde doldurucu oranı korunarak partikül boyutları artırılmıştır (Bucuta & Ilie, 2014). Tetrik EvoCeram Bulk Fill (Ivoclar Vivadent, Lihtenştayn)'in düzenli ve küresel partikül yapısı materyalin translüsensini artıran diğer bir tasarım özelliği olarak bilinmektedir (Arikawa ve ark., 2007). SonicFill ise düzensiz partikül formu ve matriks-doldurucu ara yüzeyindeki kırılma indeksi uyumsuzluğu nedeniyle daha düşük translüsensi göstermekte olup bu durum ürünün karakteristik polimerizasyon davranışıyla ilişkilendirilmektedir (Moszner ve ark., 2008; Bucuta & Ilie, 2014). Ayrıca SonicFill'in uygulama sırasında oluşturduğu sonik titreşimin serbest radikal mobilitesini artırarak polimerizasyonu olumlu yönde etkileyebildiği bildirilmektedir (Goracci ve ark., 2014). EverX Posterior (GC Corporation, Japonya) gibi bazı bulk-fill ürünlerinde ise farklı yönlerde uzanan cam fiberlerin ışığı daha geniş alanlara ileterek derin bölgelerde polimerizasyonu desteklediği düşünülmektedir (Omran ve ark., 2017). Ek olarak; itterbiyum triflorid, baryum aluminosilikat cam ve zirkonyum-silika gibi translüsent doldurucuların kullanılmasının da ışık iletimini arttıran diğer bir yaklaşım olduğu bildirilmektedir (Ilie ve ark., 2013).

Bulk-fill kompozit rezinlerde polimerizasyonun başlatılması için genellikle görünür mavi ışıkla aktive olan CQ ve bir tersiyer amin ko-başlatıcı sistemi kullanılmaktadır. Bununla birlikte Tetrik EvoCeram Bulk Fill materyalinde CQ sistemine ek olarak germanyum bazlı bir fotobaşlatıcı olan 'Ivocerin' bulunmakta ve daha kalın tabakalarda etkin polimerizasyon sağlamaktadır (Vivadent., 2011). Bu yapısal

modifikasyonlara rağmen bulk-fill kompozit rezinlerin çoğu hâlen yalnızca 4-5 mm kalınlığındaki tabakalarda yeterli polimerizasyon gösterebilmektedir. Yüksek yoğunluklu ışık uygulamasının üretici firmalar tarafından önerilmesi de bu sınırlılığın bir yansıması olarak nitelendirilmektedir. Nitekim Rueggeberg ve ark. (1993) ışık kaynağının restorasyon yüzeyinden uzaklaşmasıyla ışık yoğunluğunun her 1 mm'de yaklaşık %10 azaldığını bildirmiştir. Tarle ve ark. (2014) ise yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit rezinlerde üretici talimatlarında belirtilenden daha uzun ışıklandırma sürelerine ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir.

2.4.2.2. Polimerizasyon Büzülmesi ve Büzülme Stresi

Kompozit rezinlerde polimerizasyon sırasında meydana gelen hacimsel büzülme, materyalin temel fiziksel özelliklerini ve restorasyonun klinik başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu büzülmenin kompozit rezinlerde yaklaşık %1,5–3 arasında gerçekleştiği bildirilmektedir (Yap & Seneviratne, 2001). Polimerizasyon büzülmesi; kavite boyutu, konfigürasyon faktörü (C-faktör), uygulama tekniği, ışık kaynağının gücü ve süresi, ışığın restorasyon yüzeyine olan mesafesi, kavite taban materyallerinin varlığı ve kompozit rezinin elastisite modülü gibi çok sayıda faktör tarafından belirlenmektedir (Ölmez, 2002).

Kompozit rezinin kavite duvarlarına çoklu temasının bulunması C-faktörünü artırmaktadır. Bu durum polimerizasyon sırasında ortaya çıkan büzülme stresinin artmasına ve sonuç olarak marjinal boşluk, postoperatif hassasiyet ve uzun dönem restorasyon başarısızlığı gibi klinik dezavantajların oluşmasına yol açmaktadır (Ferracane, 2011).

Bu dezavantajı azaltmaya yönelik olarak geliştirilen SDR, ilk bulk-fill kaide materyallerinden biri olup adını ‘Stress Decreasing Resin’ teriminden almaktadır. UDMA

monomerinin merkezine entegre edilen özel bir polimerizasyon modülatörü sayesinde DC korunurken hacimsel büzülmenin etkisi azaltılmakta ve böylece büzülme stresinde anlamlı bir düşüş sağlanmaktadır (Cabadağ, 2021).

2.4.2.3. Mikrosızıntı ve Kenar Uyumu

Kompozit rezin restorasyonlarında görülen mikrosızıntının temel nedeni restorasyon materyali ile diş dokusu arasındaki marjinal kenar adaptasyonunda meydana gelen yetersizliklerden kaynaklanmaktadır (Altun, 2005). Bu sorunu azaltmaya yönelik bir yaklaşım olarak akışkan bulk-fill kompozit rezinler geliştirilmiş ve piyasaya sunulmuştur (Burgess & Cakir, 2010). Ancak bulk-fill kompozit rezinlerin tek kütle hâlinde yerleştirilmesi, özellikle derin kavitelerde ışığın yeterli düzeyde iletilememesi nedeniyle kavite tabanında polimerize olmamış rezin kalmasına yol açabilmekte ve bu durum marjinal sızıntı, postoperatif hassasiyet, sekonder çürük ve restorasyonun mekanik başarısızlığı gibi olumsuz sonuçlarla ilişkilendirilmektedir (Chesterman ve ark., 2017).

Bulk-fill kompozit rezinlerin marjinal adaptasyonuna ilişkin literatürde kesin bir görüş birliği olmamakla birlikte, düşük polimerizasyon büzülmesi ve düşük viskoziteye sahip olmaları sayesinde kavite duvarlarına daha iyi uyum sağlayabildikleri ve mikrosızıntıyı azaltabildikleri bildirilmektedir (Ilie ve ark., 2013; Furness ve ark., 2014). Buna karşın Moorthy ve ark. (2012) ile Webber ve ark. (2014), Sınıf II kavitelerde bulk-fill kompozit rezinlerin kaide olarak kullanılmasının mikrosızıntıyı azaltmada belirgin bir avantaj sağlamadığını rapor etmişlerdir. Kopuz ve Ercin (2025), Sınıf II kavitelerde geleneksel ve bulk-fill kompozit rezinlere ön ısıtma işlemi uygulayarak mikrosızıntı değerlerini inceledikleri çalışmada geleneksel kompozit rezinin daha az mikrosızıntı gösterdiğini belirtmiştir. Eltoum ve ark. (2019) süt dişlerinde Sınıf II kavitelerde geleneksel nanohibrit bir kompozit rezin ile nanohibrit bir bulk-fill kompozit rezin

materyalinin mikrosızıntı değerlerinin karşılaştırıldığı bu çalışmada iki kompozit materyali arasında anlamlı bir fark bulunmadığını ifade etmiştir. Uzel ve ark. (2017) ise bulk-fill materyallerin tek tabaka veya çoklu tabaka şeklinde uygulanmasının mikrosızıntı açısından anlamlı bir fark oluşturmadığını göstermiştir. Agarwal ve ark. (2015) tarafından yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada, yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit rezinlerin düşük viskoziteli formülasyonlara kıyasla daha iyi marjinal adaptasyon sergilediği belirtilmiştir.

2.4.2.4 Biyouyumluluk

Bulk-fill kompozit rezinlerde uygulama kalınlığının artması, yetersiz polimerizasyon riskini artırarak artık monomer salınımı ve buna bağlı toksik etki oluşumu açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir (Caughman ve ark., 1991). Kompozit restorasyonlardan zaman içinde çiğneme kuvvetleri, mekanik aşınma ve kimyasal bozunma süreçleri sonucunda salınan monomer ve oligomerlerin pulpa veya tükürük aracılığıyla sistemik dolaşıma dahil olabilmesi, biyouyumluluk açısından dikkate alınması gereken bir diğer hususu gözler önüne sermektedir (Aydın ve ark., 2019). Monomer salınımının düzeyi, polimerizasyonun tamamlanmamış olmasına bağlı olarak reaksiyona girmemiş monomer miktarı ile doğru orantılı olarak izlenmektedir (Wegehaupt ve ark., 2014). Polimerizasyon verimini artırmak amacıyla bazı kompozit sistemlerine 2-hidroksietil metakrilat (HEMA) ve TEGDMA gibi düşük viskoziteli dimetakrilat monomerlerinin eklenmesi yaygın bir uygulama olmakla birlikte, bu monomerlerin hücresel glutatyon (GSH) düzeylerini azaltmak suretiyle oksidatif stres oluşturduğu ve DNA düzeyinde zincir kırılmalarına yol açabildiği bildirilmektedir (Peutzfeldt, 1997; Lee ve ark., 2006).

Kompozit rezinlerin yapısında sıklıkla kullanılan Bis-GMA monomerinin biyolojik etkileri de literatürde tartışılmakta olup, Kleinsasseret ve ark. (2004) tarafından yürütülen bir çalışmada Bis-GMA'nın HEMA, TEGDMA ve UDMA gibi diğer dimetakrilat monomerlerine kıyasla daha yüksek genotoksisite potansiyeli taşıdığı gösterilmiştir. Bulk-fill kompozit rezinlerin sitotoksisite profilleri materyal türüne bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Nitekim Toh ve ark. (2015) pre-reaktif cam iyonomer (S-PRG) partikülleri içeren Beautifil Bulk Flowable (Shofu Inc., Japonya) ve Beautifil Bulk Restorative (Shofu Inc., Japonya) materyallerinin diğer bulk-fill kompozit rezinlere oranla daha yüksek sitotoksisite sergilediğini bildirmiş ve bu bulgunun söz konusu materyallerin flor ve diğer iyonları serbest bırakabilen özgün yapısal teknolojisi ile ilişkili olabileceğini ifade etmişlerdir.

2.4.2.5. Mekanik ve Fiziksel Özellikler

Bulk-fill kompozit rezinler; sertlik, elastisite modülü, akma direnci, bükülme dayanımı, aşınma direnci, yüzey pürüzlülüğü, su emilimi ve çözünürlük gibi pek çok parametre açısından fiziksel ve mekanik performansları doğrultusunda değerlendirilmektedir. Polimerizasyon derinliğini artırabilmek amacıyla birçok bulk-fill kompozit rezinde doldurucu oranının geleneksel kompozit rezinlere kıyasla azaltılmış olması, bu materyallerin fizikomekanik özellikleri üzerinde etkili olmaktadır (Chesterman ve ark., 2017).

Karadaş ve Demirbuğa (2017) düşük ve yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit rezinlerle geleneksel nanohibrit kompozit rezinlerin termal siklus sonrası yüzey pürüzlülüğünü incelemiş ve her iki bulk-fill kompozit rezin grubunda yüzey pürüzlülüğünde artış gözlenirken, geleneksel kompozit rezinlerde anlamlı bir değişiklik meydana gelmediğini bildirmiştir. Elnahas ve ark. (2025) zirkonyum oksit ile

güçlendirilmiş akışkan bulk-fill kompozit rezinlerle geleneksel kompozit rezinlerin farklı polisaj sistemlerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini değerlendirdikleri bu çalışmada kompozit rezinlerin yapısal içerikleriyle ilgili istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmazken yüzey pürüzlüğünün farklı polisaj sistemleriyle ilişkisinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulmuşlardır.

Akman ve ark. (2018) tarafından yürütülen çalışmada ise bulk-fill ve geleneksel kompozitlerin su emilimi ve çözünürlük değerleri karşılaştırılmış; gruplar arasında farklılıklar tespit edilmekle birlikte bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ve çoğu materyalin Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization, ISO) 4049, standartlarında belirtilen limitler içerisinde yer aldığı bildirilmiştir. Alshabib ve ark. (2023) fiber içerikli geleneksel kompozit rezin ile fiber içeren bulk-fill kompozit rezinlerin su emilimleri ve çözünürlük değerlerini karşılaştırdıkları çalışmada bulk-fill kompozit rezinlerin su emilimlerinin ve çözünürlük değerleri istatistiksel olarak daha fazla olduğunu bulmakla beraber bulk-fill kompozit rezinlerin üzerlerinin geleneksel restorasyonlarla bitirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Engelhardt ve ark. (2016) ise akışkan bulk-fill kompozit rezinlerin mekanik özelliklerini geleneksel akışkan rezin bazlı kompozit rezinlerle karşılaştırmış ve bulk-fill materyallerin daha düşük kırılma dayanımı ve aşınma direncine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Skrinjaric ve ark. (2025) bulk-fill kompozit rezinlerde farklı uygulama kalınlıklarının mikro sertlik düzeylerine etkisini araştırdıkları çalışmada bulk-fill kompozit rezinlerin mikro sertlik değerlerinin standartları karşıladığı fakat kompozitlerin alt yüzeyleri ile üst yüzeylerinin sertlik değerleri arasında önemli fark olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan araştırmalarda bulk-fill kompozit rezinlerin fizikomekanik

özellikleri ile ilgili kesin bir sonuca varılamamış olması sebebiyle klinik kullanımları için daha ileri araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

2.4.3. Bulk-fill Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

Bulk-fill kompozit rezinler; formülasyonlarındaki monomer yapıları, fotoinisyatör sistemleri, doldurucu miktarı ve viskozite özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle klinik kullanım açısından birbirinden farklı alt gruplara ayrılmaktadır. Bu materyallerin sınıflandırılması, hem mekanik davranışlarının hem de uygulama tekniklerinin anlaşılabilmesi için önem arz etmektedir. Bulk-fill kompozit rezinler viskozitelerine ve polimerizasyon mekanizmalarına göre iki temel başlık altında değerlendirilmektedir. Bu sınıflandırma, farklı klinik senaryolarda doğru materyal seçimini kolaylaştırmakta ve bulk-fill sistemlerin performansını daha bütüncül şekilde yorumlamaya imkân sağlamaktadır. Bulk-fill kompozit rezinlerdeki güncel gelişmeler sebebiyle farklı avantajları da içeren alternatif bir sınıflandırma yapılabilmektedir (Tablo 2.3.).

Tablo 2.3. Bulk-fill Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

Bulk-fill Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması	Alt Başlık / Tür
Viskozitelerine Göre	Düşük viskoziteli bulk-fill kompozit rezinler
	Yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit rezinler
Polimerizasyon Şekline Göre	Işık ile polimerize olan bulk-fill kompozit rezinler (Ligt-cure)
	Hem kimyasal yolla hem de ışıkla polimerize olan bulk-fill kompozit rezinler (Dual-Cure)
Fonksiyonel Yeteneklerine Göre	SureFil One
	Beautiful Bulk Flowable
	Beautiful Bulk Restorative
	Admira Fusion x-tra
	SimpliShade Bulk Fill Flow

2.4.2.1. Viskozitelerine Göre Bulk-fill Kompozit Rezinler

Bulk-fill kompozit rezinler klinik uygulamalar açısından en yaygın olarak viskozitelerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmada materyaller; akışkanlık düzeyleri, doldurucu oranları ve şekillendirme kapasiteleri bakımından iki ana grupta değerlendirilmektedir (Ilie ve ark., 2013; Tarle ve ark., 2015).

Düşük viskoziteli bulk-fill kompozit rezinler: Akışkan veya baz tipi bulk-fill kompozit rezinler olarak da tanımlanmakta ve genellikle daha düşük doldurucu oranına sahip olmaları nedeniyle sınırlı mekanik özellikler göstermektedir (Chesterman ve ark., 2017; Nezir & Ozcan, 2024). Düşük doldurucu içeriği, bu materyallerde daha düşük aşınma direnci, azalmış yüzey sertliği ve artmış su emilimi gibi dezavantajlara yol açmaktadır. Bunun sonucunda mekanik dayanımları oklüzal stresleri karşılamak için yetersiz kalabilmektedir (Leprince ve ark., 2014; Kim ve ark., 2015). Bu nedenle düşük viskoziteli bulk-fill kompozit rezinlerin üzerine 2 mm kalınlığında geleneksel bir kompozit tabaka uygulanması önerilmekte ve böylece materyalin artmış translüsens özelliği de maskelenmektedir (Burgess, 2013). Her ne kadar bu durum bulk-fill kompozit rezinlerin çoklu tabakalama ihtiyacını ortadan kaldırma avantajını kısmen sınırlasa da, düşük viskoziteli materyallerin kondenzasyon gerektirmemesi ve ulaşılması güç kaviteelerde uygulama kolaylığı sağlaması önemli üstünlükleri arasında yer almaktadır. Bu kompozit rezinler klinikte daha çok dentin tamirinde, Sınıf V kaviteelerde ve oklüzal stresin düşük olduğu küçük Sınıf I kaviteelerde daimi restoratif materyal olarak kullanılabilir (Cabadağ, 2021).

Yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit rezinler: Literatürde full-body ya da tam gövde bulk-fill kompozit rezinler olarak da adlandırılmaktadır. Daha yüksek doldurucu içeriğine sahip olmaları nedeniyle artmış viskozite, daha iyi mekanik dayanım ve yüksek

düzeyde yüzey aşınma direnci göstermektedir (Tomaszewska ve ark., 2015). Bu materyaller, oklüzal streslere karşı yeterli direnç sağlayabildikleri için üzerlerinin geleneksel kompozit rezinlerle kapatılmasına ihtiyaç duyulmadan tek başlarına daimi restoratif materyal olarak kullanılabilmektedirler (Ilie ve ark., 2013). Bu grupta istisnai bir örnek olan SonicFill 2 (Kerr, Amerika), özel bir el aleti ile uygulanan sonik aktivasyon sayesinde yüksek viskoziteden düşük viskoziteye geçerek kavite yüzeyine daha iyi adaptasyon göstermekte ve uygulama sonrası viskozitesi yeniden artarak posterior bölgede yeterli mekanik dayanım sağlayabilmektedir (Chesterman ve ark., 2017).

2.4.2.2. Polimerizasyon Yöntemine Göre Bulk-fill Kompozit Rezinler

Bulk-fill kompozit rezinler, sertleşme mekanizmalarında kullanılan fotoinisyatör sistemleri ve kimyasal aktivasyon özellikleri doğrultusunda iki temel grupta ele alınmaktadır (Chesterman ve ark., 2017).

Işık ile polimerize olan (light-cure) bulk-fill kompozit rezinler: Bulk-fill kompozit rezinlerin büyük çoğunluğu, mavi ışığı absorbe eden fotoinisyatörler (CQ, Ivocerin vb.) aracılığıyla tek aşamada 4-5 mm'ye kadar polimerizasyon derinliği sağlayabilecek şekilde formüle edilmiştir. Bu materyaller, geleneksel kompozit rezinlerde olduğu gibi çoğunlukla 420-470 nm dalga boyundaki ışık ile aktive edilmekte; ancak üretici firmalar bulk-fill sistemlere özgü farklı ışınlama süreleri ve PD önerilerinde bulunabilmektedir. Yüksek translüsens ve optimize edilmiş fotoinisyatör kombinasyonları, ışıkla polimerize olan bulk-fill kompozit rezinlerin derin sertleşme kapasitesini artıran temel unsuru oluşturmaktadır (Zaruba ve ark., 2013).

Hem kimyasal yolla hem de ışıkla polimerize olan(dual-cure) bulk-fill kompozit rezinler: Dual-cure bulk-fill kompozit rezinler, polimerizasyonun hem ışıkla hem de kimyasal olarak gerçekleştiği iki aşamalı bir sertleşme mekanizmasına sahip materyaller

olarak bilinmektedir. Bu sistemlerde polimerizasyon ışık uygulamasıyla başlatılmakta; ışığın penetre olamadığı daha derin bölgelerde ise kimyasal reaksiyon yoluyla sertleşme devam ederek tamamlanmaktadır. Dual-cure mekanizması, özellikle ışık ulaşımının sınırlı olduğu geniş veya derin kavitelerde güvenilir sertleşme sağlayarak bu materyallerin klinik avantajını artırmaktadır. Güncel piyasada bulunan dual-cure bulk-fill kompozit rezinler, bu özellikleri sayesinde tek seferde 10 mm'den daha fazla kalınlıkta uygulanabilmeye olanak tanımaktadır (Chesterman ve ark., 2017).

2.4.2.3. Fonksiyonel Özelliklerine Göre Bulk-fill Kompozit Rezinler

Bulk-fill kompozit rezin sistemlerinde yeni teknolojik gelişmelerle farklı klinik kullanımlara uygun olabilecek kompozitler geliştirilmiştir.

SureFil One (Dentsply Sirona, Amerika), geleneksel kompozit rezinlerin mekanik dayanımı ile cam iyonomer simanların self-adeziv özellikleri, nem toleransı ve iyon salma kapasitesini bir araya getirmek amacıyla geliştirilen self-adeziv hibrit bir bulk-fill kompozit rezin materyali olarak tanımlanmaktadır (Klee ve ark., 2020). Bu materyalde, cam iyonomer simanlarda bulunan poliasitlerin adeziv özelliklerini kompozit rezinlerdeki monomerlerin çapraz bağlanma potansiyeli ile birleştirebilmek için 'yüksek moleküler ağırlıklı modifiye poliasit sistemi' (MOPOS) olarak adlandırılan özgün bir formülasyon kullanılmıştır (Rathke ve ark., 2022). SureFil One; yapısındaki MOPOS ve akrilik asit türevi karboksilik asit grupları aracılığıyla hidroksiapatitteki kalsiyum iyonlarına bağlanmakta, smear tabakayı infiltre ederek yüzeyde sınırlı bir demineralizasyon oluşturmaktadır. Bu etkileşim, materyalin diş dokusuna hem kimyasal hem de mikromekanik olarak bağlanmasını mümkün kılmaktadır (François ve ark., 2021). Ayrıca SureFil One'ın teorik olarak ağız ortamıyla su ve flor, alüminyum ile kalsiyum gibi

iyonların değişimini desteklediği ve bu yönüyle cam iyonomer simanlara benzer bir davranış sergilediği bildirilmektedir (François ve ark., 2020).

Beautifil Bulk Flowable ve Beautifil Bulk Restorative giomer esaslı olup S-PRG partikülleri içeren bulk-fill kompozit rezin materyaller olarak bilinmektedir (Pássaro ve ark., 2022). S-PRG partikülleri, önceden reaksiyona girmiş cam iyonomer yapısına sahip olup flor, sodyum, alüminyum ve stronsiyum gibi iyonların kontrollü salınımını sağlayabilen fonksiyonel doldurucu sistemlerden oluşmaktadır (Shimazu ve ark., 2011). Bu iyon salınımı; antikaryojenik etki (Nakamura ve ark., 2009), mine ve dentin üzerinde remineralizasyon süreçlerinin desteklenmesi (Amaechi ve ark., 2018), ve asidik ataklara karşı tamponlama kapasitesinin artırılması (Kitagawa ve ark., 2018) gibi biyolojik avantajlar sunmaktadır.

Admira Fusion x-tra (Voco, Almanya) ormocer temelli nano-hibrit bir bulk-fill kompozit rezin olarak tanımlanmaktadır. Ormocer teknolojisi sayesinde bu kompozit rezinlerin daha düşük polimerizasyon büzülmesi, artmış aşınma direnci ve üstün cilalanabilirlik gibi önemli avantajlar sunduğu bildirilmiştir (Yap ve ark., 2005; Llena ve ark., 2017). Rizzante ve ark. (2019) tarafından yürütülen *in vitro* çalışmada da Admira Fusion x-tra'nın, düşük viskoziteli bulk-fill kompozitler ve geleneksel kompozit rezinlerle karşılaştırıldığında daha düşük polimerizasyon büzülmesi değerleri sergilediği ortaya konmuştur.

SimpliShade Bulk Fill Flow (Kerr Corporation, Amerika), 'Adaptive Response Technology' (ART) olarak adlandırılan reolojik yansıma teknolojisi ile geliştirilmiş güncel bir bulk-fill kompozit materyali olarak piyasaya sürülmüştür. ART teknolojisi, materyalin şekillendirme sırasında viskozitesinin artması ve uygulama basıncının ortadan kalkmasıyla başlangıç viskozitesine geri dönebilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu

kompozit sistemiyle ilgili erişilebilir bilimsel literatürde çalışma bulunmaması nedeniyle mevcut bilgiler büyük ölçüde üretici firmanın sağladığı teknik dokümanlara dayanmaktadır (Kerr Dental., 2024).

2.5. RADYOOPASİTE

Radyoopasite, bir materyalin X-ışınlarını geçirmeyerek radyografik görüntüde opak olarak yani X-ışınlarını absorbe etme kapasitesini ifade etmektedir (Dionysopoulos ve ark., 2017). Amerikan Diş Hekimleri Birliği (American Dental Association, ADA) ve Dental Materyaller, Aletler ve Ekipmanlar Konseyi tarafından radyoopasite, dental materyallerin sahip olması gereken beş temel özellikten biri olarak tanımlanmaktadır (American Dental Association Council on Dental Materials, 1989).

Diş hekimliğinde kullanılan restoratif materyallerin yeterli radyoopasiteye sahip olması; mine ve dentin altındaki sekonder çürüklerin, hatalı proksimal konturların ve temasların, aşırı siman varlığının, marjinal boşlukların ve uyumsuz marjinal adaptasyonun radyografik olarak doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Sufyan Garoushi ve ark., 2019; Yaylacı ve ark., 2021). Restorasyonların değiştirilme nedenlerinin başında sekonder çürüklerin yer aldığı düşünüldüğünde, restoratif materyalin radyoopasitesinin diş dokularından net bir şekilde ayırt edilebilecek düzeyde olması klinik açıdan kritik öneme sahip olduğu görülmektedir (Pekkan ve ark., 2011; Kopuz & Ercin, 2024). Radyoopasite ayrıca dental materyallerin yanlışlıkla aspire edilmesi veya yutulması gibi durumlarda materyalin yerinin doğru tespit edilmesine de olanak sağlaması bakımından önem taşımaktadır (Vyas, 2022).

2.5.1. Radyoopasiteyi Etkileyen Faktörler

Kompozit rezinlerin radyoopasitesi, materyalin formülasyonunda yer alan bileşenlerin atomik yapısı, miktarı ve dağılımı gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra kullanılan X ışını cihazı ve ekspozur parametrelerinden etkilenmektedir (el-Mowafy ve ark., 1991; Altintas ve ark., 2013).

Radyoopasiteyi belirleyen en önemli unsurun, inorganik fazda kullanılan doldurucu partiküller olduğu bildirilmektedir (Soares ve ark., 2017). X-ışını absorpsiyonu, materyalde bulunan elementlerin atom numarası (Z) ile doğrudan ilişkili olup; baryum ($Z=56$), zirkonyum ($Z=40$), stronsiyum ($Z=38$) ve itterbiyum ($Z=70$) gibi yüksek atom numarasına sahip elementlerin oksitleri veya camları kompozit rezinlerin radyoopasitesini artırmak amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir (Çaglayan ve ark., 2017; Doğruer ve ark., 2025). Ayrıca doldurucu faz yüzdesinin artması X-ışını absorpsiyonunu yükselttiğinden radyoopasiteyi de artırmaktadır (White, 2019). Doldurucu partikül boyutunun radyoopasiteyi doğrudan etkilemediği ancak X-ışının saçılmasını veya transmisyonunu değiştirerek dolaylı bir etkiye sahip olabileceği belirtilmektedir (White, 2019). Materyal kalınlığının artması ise absorpsiyon kapasitesinin yükselmesi nedeniyle radyoopasite değerlerinde artışa yol açmaktadır (Pedrosa ve ark., 2011).

Radyoopasiteyi etkileyen diğer önemli parametreler kullanılan X-ışını cihazının türü ve ekspozur ayarlarından oluşmaktadır. X-ışını cihazının kVp değeri, X-ışını fotonlarının nüfuz etme gücünü belirlemekte olup düşük kVp değerleri ışının ortalama enerjisini azaltarak materyaller tarafından daha fazla absorpsiyona neden olmakta ve buna bağlı olarak radyoopasitenin artmasına yol açmaktadır (Iannucci, 2022). X-ışını cihazının akımı (mA) ve pozlama süresi (sn), üretilen X-ışını yoğunluğunu belirleyen faktörler arasında yer almaktadır (White, 2019). Bu iki parametre radyoopasiteyi doğrudan

değiştirmemekle birlikte, çok düşük değerlerde kullanıldıklarında görüntünün düşük yoğunlukta oluşmasına ve buna bağlı olarak ortalama gri değerlerinin (OGD) hatalı değerlendirilmesine neden olabilmektedir (Baldea ve ark., 2009).

2.6. RADYOOPASİTENİN SÜT VE DAİMİ DİŞ SERT DOKULARI İLE İLİŞKİSİ

Süt ve daimi dişlerin mine ve dentin yapılarındaki anatomik ve mineralizasyon farklılıkları, radyografik görüntülerde radyoopasite değerlerinin değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. Süt dişi minesinin, daimi diş minesine kıyasla daha ince ve daha düşük mineral içerikli olması, bu dokunun radyografilerde daha az radyopak görünmesine yol açmaktadır (Bayne, 1997; Avery, 2011). Benzer şekilde, süt dişi dentininde, dentin tübüllerinin genişliği ve mineral yoğunluğundaki farklılıklar, bu dokunun daimi diş dentinine göre daha düşük radyoopasite göstermesine neden olabilmekte ve restoratif materyallerin dentin ile milimetrik alüminyum eşdeğerliğinin (mmAl) karşılaştırıldığı çalışmalarda anatomik yapı farklılıklarının yanıltıcı sonuçlara neden olabileceği ifade edilmektedir (Iannucci, 2022).

Çoğu araştırmada restoratif materyallerin radyoopasiteleri; mine, dentin ve alüminyum ile karşılaştırılarak değerlendirilmektedir (Chan ve ark., 1999; Lachowski ve ark., 2013; Çağlayan ve ark., 2017). Mine dokusunun radyoopasitesinin aynı kalınlıktaki alüminyumun yaklaşık iki katı, dentinin ise aynı kalınlıktaki alüminyuma yakın olduğu bildirilmektedir (Van Dijken, 1989). Literatürde radyoopasitenin hangi dokuya eşit veya daha yüksek olması gerektiği konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. Bazı araştırmacılar restoratif materyalin radyoopasitesinin dentine eşit veya daha yüksek olması gerektiğini savunurken (el-Mowafy & Benmergui, 1994; Turgut ve ark., 2003);

diğerleri mine dokusuna eşit veya daha yüksek radyoopasitenin uygun olduğunu öne sürmektedir (Bowen & Cleek, 1972; Akerboom ve ark., 1993). Literatürdeki farklı görüşlere rağmen yapılan çalışmaların birçoğunda materyal radyoopasiteleri hem mine hem de dentin yapısı ile kıyaslanarak ölçülmektedir (Ermis ve ark., 2014; Çağlayan ve ark., 2017; Vyas ve ark., 2022).

2.7. RADYOOPASİTE ÖLÇÜMÜ

Radyoopasite, dental materyallerin X-ışınları altındaki davranışının objektif olarak değerlendirilebilmesi için standartlaştırılmış yöntemlerle ölçülmektedir (Gu ve ark., 2006b). Günümüzde radyoopasite analizlerinde en yaygın olarak kullanılan yaklaşım, kompozit rezin materyalin oluşturduğu radyografik gri değerlerin aynı kalınlıktaki alüminyum basamak plaklarıyla karşılaştırılmasına dayanmaktadır (ISO, 2019). ISO 4049 standardı, radyoopasite ölçümlerinin nasıl yapılması gerektiğini ayrıntılı biçimde tanımlayarak farklı materyaller arasında karşılaştırılabilirlik sağlamaktadır (ISO, 2019). Bu yöntemler sayesinde restoratif materyalin klinik yeterliliği, diş dokularından ayrılabilirliği ve sekonder çürük tespitine uygunluğu güvenilir şekilde değerlendirilebilmektedir.

ISO 4049, kompozit rezinler de dâhil olmak üzere dental restoratif materyallerin radyoopasite ölçümü için uluslararası kabul gören standarttır. Bu yöntemle göre materyal, standart kalınlıkta (1 mm) diskler hâlinde hazırlanmakta ve aynı kalınlıkta alüminyum plaklarla birlikte radyografik görüntüsü alınmaktadır. Kompozit rezinin oluşturduğu radyografik yoğunluk, alüminyum basamak plaklarının yoğunluğu ile karşılaştırılarak materyalin radyoopasite değeri mmAl eşdeğeri olarak belirlenmektedir (ISO, 2019). Bu

standart, materyaller arasında karşılaştırılabilirliği ve klinik uygunluk değerlendirmelerini mümkün kılmaktadır.

2.7.1. Alüminyum Basamak (Step-wedge) Yöntemi

Radyoopasite karşılaştırmalarında, radyografik standardizasyonu sağlamak ve görüntüleri objektif biçimde değerlendirebilmek amacıyla kalınlığı eşit aralıklarla artan alüminyum step-wedge blokları kullanılmaktadır. Kemik dokusunun ve alüminyumun atom numaralarının birbirine yakın olması ve X-ışınlarını absorbe etme özelliklerinin benzerlik göstermesi nedeniyle, özellikle sert doku değerlendirmelerinde alüminyum step-wedge kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir (Duckworth ve ark., 1983; Bloxom & Manson-Hing, 1986). Ayrıca ISO standardı, dental materyallerin radyoopasitesini değerlendirmede kullanılan alüminyumun en az %99,5 saflıkta olması gerektiğini vurgulamaktadır (Watts & McCabe, 1999). Alüminyum step-wedge yöntemi, radyoopasite ölçümünde en yaygın kullanılan teknik olup; farklı kalınlıklara (0,5-10 mm) sahip basamaklardan oluşan alüminyum bloğun kompozit materyal örneği ile aynı radyograf üzerinde konumlandırılması esasına dayanmaktadır (Lachowski ve ark., 2013). Elde edilen görüntüde kompozit rezin materyalin radyografik yoğunluğu, alüminyum basamakların koyuluğu ile karşılaştırılmakta ve materyalin radyopasitesi, yoğunluk düzeyi en çok hangi basamağa benziyorsa o kalınlıktaki alüminyum eşdeğeri olarak ifade edilmektedir. Hem dijital hem de konvansiyonel radyografi sistemleriyle uyumlu olması, bu yöntemi pratik ve güvenilir kılmaktadır (Gu ve ark., 2006a).

2.7.2. Dijital Radyografi ile Gri Değer Analizi

Dijital görüntüleme sistemleri diş hekimliğinde ilk kez 1989 yılında kullanılmaya başlanmış olup, günümüzde geleneksel radyografi yöntemlerine önemli bir alternatif hâline gelmiştir (Kapila ve ark., 2015). Dijital sistemlerin operatör ve hasta için radyasyon maruziyetini azaltması, görüntülerin hızlı ve kolay şekilde elde edilmesi, saklanabilmesi ve kimyasal banyo ihtiyacını ortadan kaldırması önemli avantajları arasında yer almaktadır (Versteeg ve ark., 1997). Ayrıca dijital görüntülerde; kontrast, büyütme, yoğunluk ve parlaklık gibi parametrelerin yazılımlar aracılığıyla düzenlenebilmesi, diagnostik değerini artıran bir diğer üstünlük olarak yorumlanmaktadır (Poorsattar Bejeh Mir, 2012).

Günümüzde dijital radyografik görüntüler; şarj bağlantılı cihazlar, tamamlayıcı metal oksit yarı iletken (CMOS) sensörler ve fotostimüle edilebilir fosfor plak (PSP) sistemleri gibi çeşitli alıcılar kullanılarak elde edilmektedir (Oliveira ve ark., 2000; Dukic ve ark., 2012). Dijital radyografide her piksel 0 (siyah) ile 255 (beyaz) arasında bir gri değerle temsil edilmekte olup, yazılım programları aracılığıyla materyallerin OGD'si objektif biçimde hesaplanabilmektedir (Lachowski ve ark., 2013). Kompozit rezin materyallerin OGD'si, alüminyum step-wedge basamaklarının gri değerleri ile karşılaştırılarak radyoopasite belirlenmektedir. Dijital sistemlerde ölçümlerin yazılım tabanlı yapılabilmesi, operatör hatasını azaltmakta ve ekspozur parametrelerindeki küçük farklılıkların etkisini kontrol edilebilir hâle getirerek daha hassas ve tekrarlanabilir radyoopasite değerlendirmeleri sağlamaktadır (Dukic ve ark., 2012).

2.7.3. Bilgisayarlı Görüntü Analizi

Dental materyallerin radyoopasite değerlerinin hesaplanabilmesi geleneksel filmlerin dijitalleşmesi ile günümüzde bilgisayar destekli yazılımlarla yapılabilmektedir.

Bu yazılımlara örnek olarak Adobe Photoshop, CurveExpert Professional, Image J ve Java destekli sistemler gösterilebilmektedir (Berti ve ark., 2020a; Cantürk, 2020). Adobe Photoshop, radyoopasitesinin ölçümü istenilen materyallerin OGD'sini hesaplamak için kullanılırken; bu değerlerin eşdeğer mmAl'ye çevrilebilmesi için CurveExpert Professional gibi başka bir program kullanılmasını gerektirmektedir (Cantürk, 2020). Image J programı ise ücretsiz ve açık erişime sahip olması, OGD ölçümlerinin objektif olması ve tekrarlanabilirliği gibi avantajlara sahip olması nedeniyle kullanımı tercih edilmektedir (Schneider ve ark., 2012).



3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışması, süt ve daimi dişlerde kullanılan altı farklı bulk-fill kompozit rezin materyalinin farklı kalınlıklardaki radyoopasitelerinin değerlendirilmesi amacıyla *in vitro* koşullarda gerçekleştirilmiştir.

3.1. ETİK KURUL ONAYI

Bu tez çalışması Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Müdahale Olmayan Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu tarafından, 30.09.2025 tarih ve 25-MOBAEK-344 kayıt numarası ile onaylanmıştır (EK-1).

3.2. ÇALIŞMANIN UYGULAMA YERİ VE ZAMANI

Örneklerin hazırlanması ve radyoopasite ölçümlerine yönelik işlemler, 25.10.2025 tarihinde Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi ve Ağız Diş ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir.

3.3. ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜNÜN BELİRLENMESİ

Çalışmada, örneklem büyüklüğü G*Power V.3.1.9.6 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Ana etkinin materyal türü olduğu ve “ANOVA: Fixed effects, special, main effects and interactions” testinin uygulandığı analizde, %95 güven düzeyi ($1-\alpha$), %95 test gücü ($1-\beta$) ve $d=3,96$ etki büyüklüğü temel alınarak 33 örnekle çalışma planlanmıştır (Yaylacı ve ark., 2021). Ancak test hatalarının minimize edilmesi ve gruplar arası homojenliğin sağlanması amacıyla, her grupta 2 örnek yer alacak şekilde toplam 60 örnekle çalışılmıştır (EK-2).

3.4. ÇALIŞMADA KULLANILAN DİŞLER

3.4.1. Diş Örneklerinin Seçim Kriterleri

Bu çalışmaya, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı'na başvuran hastalardan çekilmiş süt ikinci azı dişleri ve Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı'na başvuran hastalardan çekilmiş daimi üçüncü azı dişleri dahil edilmiştir.

Çalışmaya dahil edilme kriterleri:

1. Daimi diş sürme zamanı gelmiş olmasına rağmen hâlâ ağızda mevcut olan ve çekim endikasyonu bulunan, çürüksüz ve gelişimsel defekti olmayan süt ikinci azı dişleri
2. Gömülü kalmış veya periodontal sebepler nedeniyle çekim endikasyonu bulunan çürüksüz ve herhangi bir gelişimsel defekti bulunmayan daimi üçüncü molar dişler

Çalışmadan dışlanma kriterleri:

1. Çürük, çatlak veya kırık bulunan süt ve daimi dişler
2. Gelişimsel defekt (amelogenezis imperfekta, florozis, molar keser hipomineralizasyonu) veya mine opasitesi/hipoplazisi bulunan süt ve daimi dişler

3.5. ÇALIŞMADA KULLANILAN MATERYALLER

3.5.1. Bulk-fill Kompozit Rezin Materyaller

Çalışmada farklı viskozite ve içerik özelliklerine sahip altı adet bulk-fill kompozit rezin materyali kullanılmıştır (Şekil 3.1.). Kullanılan materyallere ait ayrıntılı bilgiler Tablo 3.1.'de sunulmuştur.





Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan Bulk-Fill Kompozit Materyalleri: (A) SDR Plus Bulk-Fill Flowable, (B) Estelite Flowable Bulk-fill, (C) 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative, (D) Beautifil Bulk Flowable, (E) Xtra Fill, (F) Simplishade Bulk-fill Flow

Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Restoratif Materyallerin Özellikleri

Materyaller	Materyal Tipi	Materyal İçeriği	Üretici Firma	Seri No
SDR Plus Bulk-Fill Flowable	Akışkan Bulk-fill	Silanlanmış baryum alüminofloro silikat cam, silanlanmış stronsiyum alüminofloro silikat cam, itterbiyum triflorür ve titanyum dioksit içermektedir. Ağırlıkça doldurucu oranı %75'tir.	Densply, Milford, Amerika	0400158641
Estelite Flowable Bulk-fill	Akışkan Bulk-fill	Sferik silika ve zirkonya doldurucular ve kompozit doldurucular içermektedir. Ağırlıkça doldurucu oranı %70'tir.	Tokuyama, Tokyo, Japonya	134E15
3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative	Akışkan Bulk-fill, mikrohibrit	Zirkonya, silika, itterbiyum triflorür içermektedir. Ağırlıkça doldurucu oranı %64,5'tur.	3M ESPE, Seefeld, Almanya	11284735
Beautifil Bulk Flowable	Akışkan Bulk-fill	Zirkonya, silika, florealümino silikat cam, itterbiyum triflorür içermektedir. Ağırlıkça doldurucu oranı %73'tür.	Shofu Inc., Kyoto, Japonya	32494
Xtra Fill	Bulk Fill	Baryum alüminyum silikat cam içermektedir. Ağırlıkça doldurucu oranı %86'dır. Cam dolgu maddeleri, kimyasal olarak infüze edilmiş karışık oksitler, ön polimerize dolgu maddesi, baryum cam dolgu maddesi, silika ve itterbiyum triflorür içermektedir. Ağırlıkça doldurucu oranı %70'tir.	Voco GmbH, Cuxhaven, Almanya	2502358
Simplishade Bulk-fill Flow	Akışkan Bulk-fill		Kerr Corporation, Orange, Amerika	A201361

3.6. ÇALIŞMA GRUPLARIN BELİRLENMESİ

Radyoopasitenin değerlendirilmesi amacıyla örnekler, materyal ve diş türüne göre 10 ana grup ve her ana grup da 3 farklı kalınlık düzeyi olmak üzere alt gruplar halinde düzenlenmiştir. Toplamda 30 grup oluşturulmuş ve her grupta $n = 2$ örnek yer almaktadır. Grup dağılımları Tablo 3.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Çalışma Gruplarının Dağılımı

Grup (Ana Grup)	Materyal / Diş Örneği	Grup (Alt Grup)	Kalınlık
1	Süt Dişi Minesi	1a	1 mm
		1b	2 mm
		1c	4 mm
2	Süt Dişi Dentini	2a	1 mm
		2b	2 mm
		2c	4 mm
3	Daimi Diş Minesi	3a	1 mm
		3b	2 mm
		3c	4 mm
4	Daimi Diş Dentini	4a	1 mm
		4b	2 mm
		4c	4 mm
5	SDR Plus Bulk-Fill Flowable	5a	1 mm
		5b	2 mm
		5c	4 mm
6	Estelite Flowable Bulk-fill	6a	1 mm
		6b	2 mm
		6c	4 mm
7	3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative	7a	1 mm
		7b	2 mm
		7c	4 mm
8	Beautiful Bulk Flowable	8a	1 mm
		8b	2 mm
		8c	4 mm
9	Xtra Fill	9a	1 mm
		9b	2 mm
		9c	4 mm
10	Simplishade Bulk-fill Flow	10a	1 mm
		10b	2 mm
		10c	4 mm

3.7. ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Çalışmaya dahil edilen dişlerin üzerindeki yumuşak doku artıkları, periodontal küret yardımıyla uzaklaştırıldıktan sonra dişler distile su içerisinde +4 °C'de çalışma zamanına kadar muhafaza edilmiştir (Ângela Catarina ve ark., 2024).

Çalışmaya dahil edilen dişlerden örnek elde etmek amacıyla hassas kesim cihazı (Microcut 152, Metkon, Türkiye) kullanılmıştır (Şekil 3.2.). Dişler hassas kesim cihazında kesilebilmesi için önce akrilik bloklara gömülmüştür. Daha sonra dişlerin kronları, hassas kesim cihazı yardımıyla horizontal yönde kesilerek 1, 2 ve 4 mm kalınlıklarında mine ve dentin örnekleri elde edilmiştir (Şekil 3.3.) (Yaşa ve ark., 2015).



Şekil 3.2. Hassas Kesim Cihazı



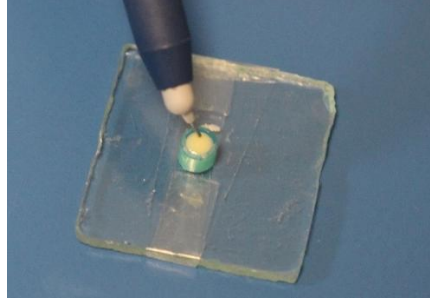
Şekil 3.3. Hassas Kesim Cihazı ile Örneklerin Elde Edilmesi

Çalışmada kullanılan 6 farklı bulk-fill kompozit rezin materyalden, 5 mm iç çapa ve 1, 2 ve 4 mm kalınlığa sahip silindirik örnekler hazırlanmıştır (Yıldırım ve ark., 2017; Yaylacı ve ark., 2021; Mutlu & Akbulut, 2022). Her bir grupta yer alan bulk-fill kompozit rezinler, cam levha üzerine konumlandırılan kalıpların içine uygulanmıştır (Şekil 3.4.). Oksijen inhibisyon tabakasının oluşumunu önlemek ve düz bir yüzey elde etmek amacıyla materyallerin üzerine şeffaf bant ve cam levha yerleştirilmiştir. Ardından üretici firmanın talimatlarına uygun olarak (Tablo 3.3.) bir LED ışık kaynağı (Elipar S10, 3M ESPE, Almanya) ile elde edilen kompozit rezin disklerin her iki yüzeyi polimerize edilmiştir (Şekil 3.5.)(Şekil 3.6.) (Çelikel ve ark., 2024). Örnekler kalıplardan çıkarıldıktan sonra yüzeyleri 600 gritlik zımpara kullanılarak cilalanmıştır (Dukic ve ark., 2012). Hazırlanan materyallerin, 1 mm, 2 mm ve 4 mm olmak üzere belirlenen kalınlık aralıklarında yer alıp almadığı kumpas ile yapılan ölçümlerle teyit edilmiştir. Standardizasyonu sağlamak için elde edilen örnekler, boşluk veya çatlak gibi makroskobik kusurları içermesi açısından değerlendirilmiştir. Hazırlanan örnekler 24 saat boyunca 37°C'de distile suda bekletilmiştir.

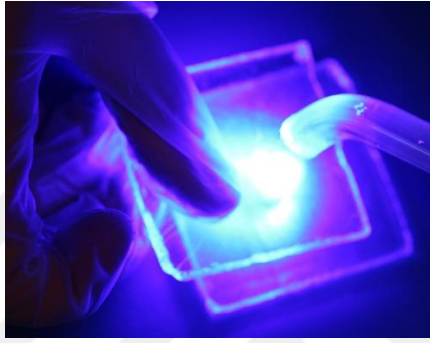
Tablo 3.3. Bulk-Fill Kompozit Materyallerinin Uygulama Talimatları

Materyal	Renk	Tabaka Derinliği	Işık Çıkışı	Polimerizasyon Süresi
SDR Plus Bulk-Fill Flowable	Universal	4 mm	550-1000 mW/cm2	20 sn
			1000-2000 mW/cm2	10 sn*
	A1,A2,A3		550-1000 mW/cm2	40 sn
			1000-2000 mW/cm2	25 sn
Estelite Flowable Bulk-fill	Bütün renkler	4 mm	≥800 mW/cm2	10 sn*
3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative	Universal	4 mm	550-1000 mW/cm2	20 sn
			1000-2000 mW/cm2	10 sn*
	A1,A2,A3		550-1000 mW/cm2	40 sn
			1000-2000 mW/cm2	20 sn
Beautifil Bulk Flowable	Universal	4 mm	Halojen	20 sn
			Led	10 sn*
	Dentin		Halojen	40 sn
			Led	20 sn
Xtra Fill	Universal	4 mm	≥800 mW/cm2	10 sn*
			500-800 mW/cm2	20 sn
Simplishade Bulk-fill Flow	Universal	5 mm	650-1000 mW/cm2	20 sn
			>1.000 mW/cm2	10 sn*

*Kullanılan LED ışık kaynağının gücü 1200 mW/cm² olması sebebiyle seçilen polimerizasyon süreleridir.



Şekil 3.4. Bulk-Fill Kompozit Rezin Materyallerinin Uygulanması



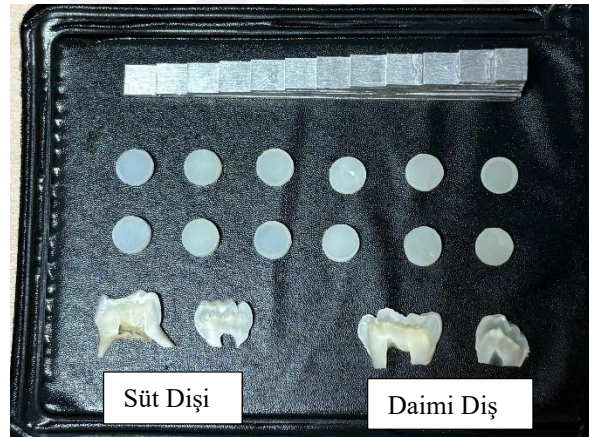
Şekil 3.5. Bulk-Fill Kompozit Rezin Materyallerinin Polimerizasyonu



Şekil 3.6. LED Işık Kaynağı

3.8.RADYOOPASİTENİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada %99,5 saflığa sahip her biri 1 mm kalınlığında ve 5 mm genişliğinde olan toplam 12 alüminyum levhanın üst üste yerleştirilmesiyle elde edilen basamak yapısı, örneklerin radyoopasitesi ile alüminyumun radyoopasitesi arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla referans olarak kullanılmıştır. Hazırlanan materyaller, diş kesitleri ve alüminyum basamak 4 numaralı fosfor plak üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.7.). Görüntüleme işlemi 60 kVp ve 7 mA değerlerine ayarlanmış dental X ışını cihazı (Kodak 2100 intraoral X-ray, Carestream Dental LLC, Amerika) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fokal spot-obje mesafesi 20 cm, ekspoz süresi ise 0,32 sn olarak belirlenmiştir (Şekil 3.8.)(Carestream Dental LLC, 2010). Işınlama sonrası elde edilen görüntü, fosfor plak tarayıcı (Vistascan, Dürr Dental, Almanya) kullanılarak taranmış ve bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.7. Fosfor Plak Üzerine Yerleştirilmiş Diş Kesitleri, Bulk-fill Kompozit Resin Materyalleri ve Alüminyum Levha



Şekil 3.8. Radyografinin Alınması



Şekil 3.9. Fosfor Plak Tarayıcısı

3.9. RADYOGRAFİK GÖRÜNTÜLERİN ANALİZİ

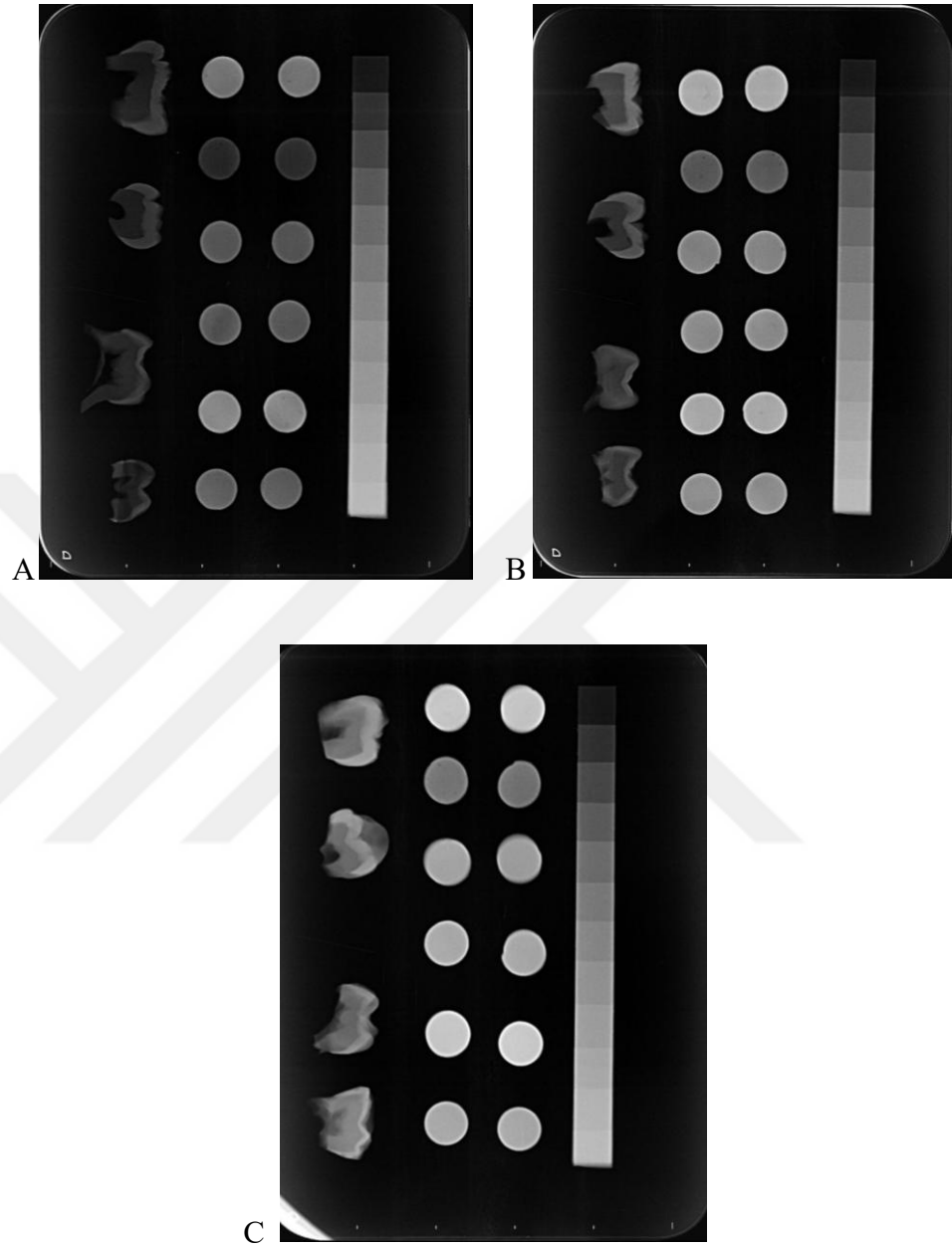
Alüminyum kamanın her bir basamağına, diş ve bulk-fill kompozit rezin materyal örneklerine ait radyografik yoğunlukların yer aldığı görüntüler “tiff” formatında bilgisayara kaydedilmiştir (Şekil 3.10.). Bu görüntüler materyallerin ve alüminyum basamaklarının OGD’lerini ölçmek amacıyla Image J (National Institutes of Health, Amerika) programına aktarılmıştır (Ozan ve ark., 2022). Örneklerle ait gri değerler, üretici tarafından sağlanan yazılım ve Image J programı kullanılarak ölçülmüştür. Her bir örnek

için homojen yapı gösteren üç farklı bölgeden 10×10 piksel boyutlarında alanlar seçilerek 3 defa radyoopasite ölçümü yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır (Çaglayan ve ark., 2017; Kuter & Uzel, 2022). Görüntü analizi, Image J programındaki 'Yoğunluk Ölçümü' aracıyla gerçekleştirilmiş; gri değerler 0 ile 255 aralığında ölçülmüştür (Şekil 3.11.). Tüm ölçümler standardizasyonun sağlanması amacıyla aynı operatör tarafından yapılmıştır. Elde edilen OGD'ler, aşağıda verilen formül aracılığıyla mmAl dönüştürülerek materyallerin radyoopasite değerleri elde edilmiştir (Ozan ve ark., 2022).

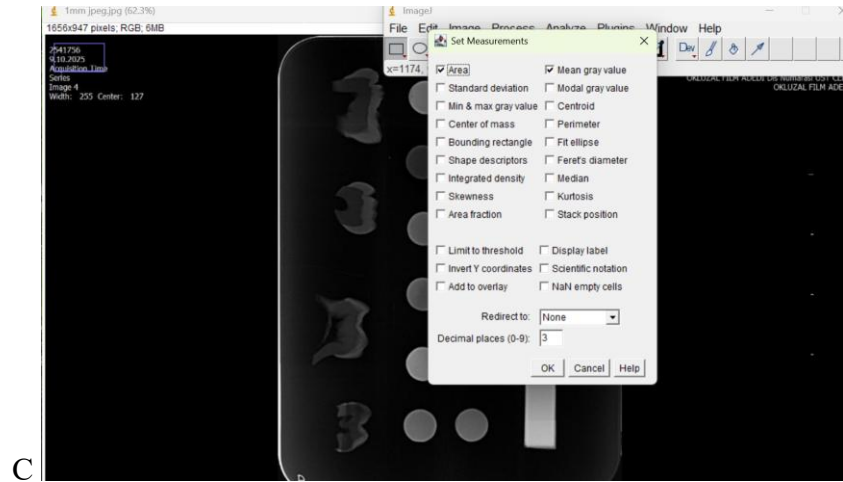
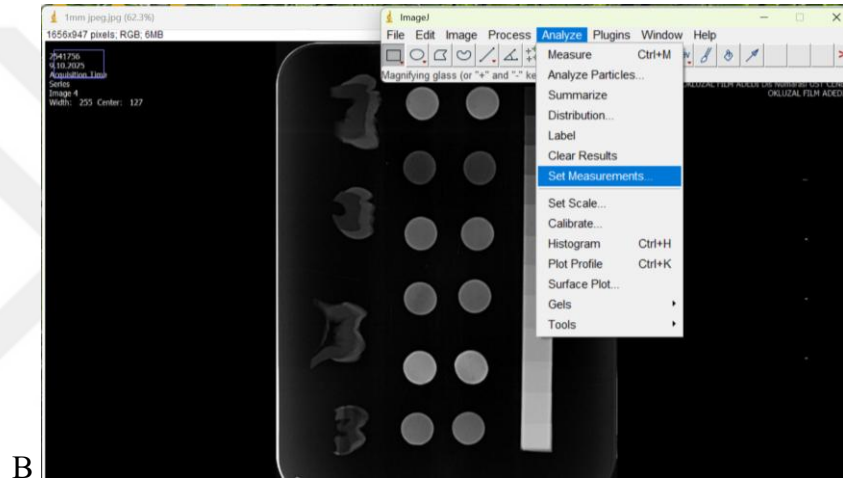
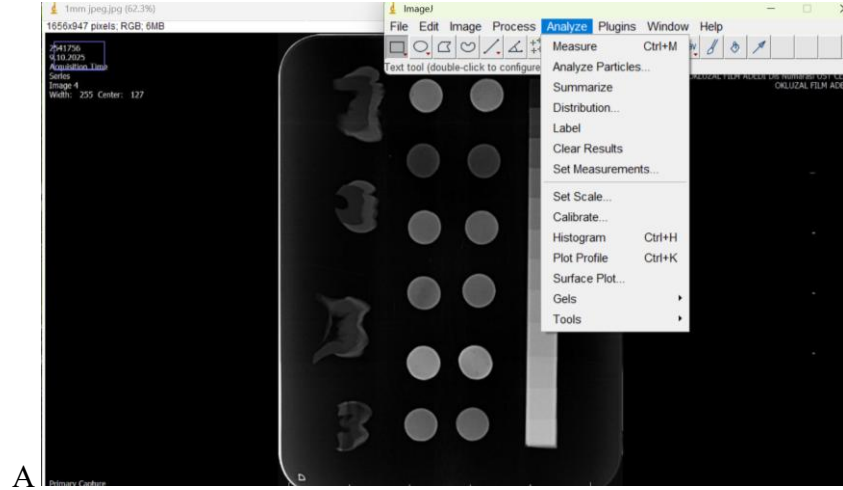
$$Ax1/B + \text{Materyalin OGD'sinin altındaki mmAl}$$

A: Materyalin OGD'si – Materyalin OGD'sinin hemen altındaki alüminyum basamağın OGD'si

B: Materyalin OGD'sinin hemen üstündeki alüminyum basamağın OGD'si – Materyalin OGD'sinin hemen altındaki alüminyum basamağın OGD'si



Şekil 3.10. Radyografisi Alınan Görüntüler: (A):1mm Kalınlığındaki Diş Kesitleri ve Materyaller, (B): 2 mm Kalınlığındaki Diş Kesitleri ve Materyaller, (C): 4 mm Kalınlığındaki Diş Kesitleri ve Materyaller



Şekil 3.11. Image J Programında OGD Değerlerinin Ölçüm Basamakları
(A, B, C,)

3.10. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

Elde edilen veriler IBM SPSS v23 (IBM Corp., Armonk, New York, Amerika) ile analiz edilmiş ve normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk Testi ile incelenmiştir. Diş/materyal ve kalınlıklara göre normal dağılım göstermeyen verilerin karşılaştırılmasında Robust ANOVA kullanılmıştır. Çoklu karşılaştırmalar Holm Düzeltmeli Robust t Testi ile incelenmiştir. Nicel değişkenlerin gösteriminde ortanca (Minimum-Maksimum) kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

Radyoopasite değerlendirmesinde diş örnekleri ve bulk-fill kompozit rezin materyallerinden her kalınlık (1, 2 ve 4 mm) için 2’şer örnek hazırlanmış olup, test süreci boyunca hiçbir örnekte kayıp yaşanmamıştır.

Radyoopasite değerlerine ilişkin sonuçlar Tablo 4.1.’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre radyoopasite değerleri üzerinde diş/materyal ($p<0,001$) ve kalınlık ($p<0,001$) faktörlerinin ana etkileri ile birlikte diş/materyal ve kalınlık faktörlerinin etkileşimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Bu etkileşimin, incelenen faktörler arasında en yüksek varyans açıklama oranına sahip olduğu (kısmi eta kare = 0,999) tespit edilmiştir.

Tablo 4.1. Diş/Materyal Türü ve Kalınlığın Radyoopasite Değerleri Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi

	Test İstatistiği	p	Kısmi Eta Kare
Diş/Materyal	623	$<0,001^*$	0,995
Kalınlık	3752	$<0,001^*$	0,996
Diş/Materyal x Kalınlık	1250000	$<0,001^*$	0,999

İki yönlü varyans analizi için Roboust ANOVA kullanılmıştır.

Diş: Süt ve daimi diş mine ve dentin örnekleri

Materyal: SDR Plus Bulk-Fill Flowable, Estelite Flowable Bulk-fill, 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative, Beautifil Bulk Flowable, Xtra Fill, Simplishade Bulk-fill Flow

Kalınlık: 1, 2 ve 4 mm

İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak belirlenmiştir.

*: İstatistiksel olarak anlamlılığı ifade etmektedir.

Farklı kalınlıklara göre diş/materyallerin ortanca radyoopasite değerleri mmAl cinsinden Tablo 4.2.'de sunulmuştur.

Diş/materyal türüne göre, materyaller arasında en yüksek radyoopasite değeri SDR Plus Bulk-Fill Flowable (10,507[5,631-13,836])'da izlenirken, en düşük radyoopasite değeri Estelite Flowable Bulk-fill (4,39[1,585-8,406])'de izlenmiştir. Diş yapıları arasında en yüksek radyoopasite değeri daimi diş minesinde (5,028[2,333-10,131]) saptanmış, bunu sırasıyla süt diş minesi (3,922[2,256-11,382]), daimi diş dentini (3,309 [1,163-8,164]) ve en düşük değerleri gösteren süt diş dentini (2,558[1,232-9,58]) izlemiştir. Daimi diş minesi ve dentini arasındaki radyoopasite değeri ($p<0,05$) ile süt diş minesi ve dentini arasındaki radyoopasite değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Estelite Flowable Bulk-fill daimi diş dentini, süt diş minesi ve süt diş dentini ile benzer radyoopasite göstermektedir ($p>0,05$). 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative süt diş minesi ile benzerlik göstermektedir ($p>0,05$). Ancak bu iki materyal dışında kalan tüm bulk-fil kompozit rezin materyallerin radyoopasite değerleri daimi ve süt diş yapılarından istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0,05$).

Kalınlığa göre en yüksek radyoopasite değeri 4 mm örneklerde (10,498[6,992-14,343]) görülmüş, bunu sırasıyla 2 mm (6,584[2,393-10,752]) ve 1 mm (3,202[1,163-7,415]) örnekleri izlemiştir. Bu üç farklı kalınlık grubuna ait radyoopasite değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. ($p<0,001$).

Kalınlıklara göre diş materyalleri ve bulk-fill kompozit rezin materyallerin radyoopasite değerleri incelendiğinde, 1mm kalınlığındaki materyaller arasında en yüksek radyoopasite değeri Xtra Fill (7,377[7,338-7,415])'de izlenirken, en düşük radyoopasite Estelite Flowable Bulk-fill (1,695[1,585-1,806])'de izlenmiştir. 2 mm

kalınlığındaki materyaller arasında en yüksek radyoopasite değeri SDR Plus Bulk-Fill Flowable (10,507[10,261-10,752])’da izlenirken, en düşük radyoopasite değeri Estelite Flowable Bulk-fill (4,39[4,028-4,753])’de görülmüştür. Dört mm kalınlığındaki materyaller arasında en yüksek radyoopasite değeri Xtra Fill (14,088[13,833-14,343])’de izlenirken, en düşük radyoopasite Estelite Flowable Bulk-fill (7,739[7,073-8,406])’de izlenmiştir. Bir mm kalınlığında diş materyalleri arasında en yüksek radyoopasite daimi diş minesinde (2,512 [2,333-2,692]) izlenirken, en düşük radyoopasite süt dişi dentininde (1,265[1,232-1,298]) izlenmiştir. İki mm kalınlığında diş materyalleri arasında en yüksek radyoopasite daimi diş minesinde (5,028[4,17-5,885]) izlenirken, en düşük radyoopasite süt dişi dentininde (2,558[2,393-2,723]) izlenmiştir. Dört mm kalınlığında diş materyalleri arasında en yüksek radyoopasite süt dişi minesinde (9,59[7,798-11,382]) izlenirken, en düşük radyoopasite daimi diş dentininde (8,04[7,916-8,164]) izlenmiştir.

Tablo 4.2. Kalınlıklara Göre Diş Örnekleri ve Bulk-fill Kompozit Rezin Materyallerin Radyoopasite (mmAl) Değerlerinin İncelenmesi

Diş/Materyal	Kalınlık			
	1mm	2mm	4mm	Toplam
Daimi Diş Minesi	2,512 (2,333 - 2,692)	5,028 (4,17 - 5,885)	9,421 (8,711 - 10,131)	5,028 (2,333 - 10,131) ^a
Daimi Diş Dentini	1,399 (1,163 - 1,634)	3,309 (2,814 - 3,805)	8,04 (7,916 - 8,164)	3,309 (1,163 - 8,164) ^b
Süt Dişi Minesi	2,286 (2,256 - 2,315)	3,922 (3,75 - 4,094)	9,59 (7,798 - 11,382)	3,922 (2,256 - 11,382) ^{ac}
Süt Dişi Dentini	1,265 (1,232 - 1,298)	2,558 (2,393 - 2,723)	8,286 (6,992 - 9,58)	2,558 (1,232 - 9,58) ^b
SDR Plus Bulk-Fill Flowable	5,692 (5,631 - 5,753)	10,507 (10,261 - 10,752)	13,63 (13,425 - 13,836)	10,507 (5,631 - 13,836) ^d
Estelite Flowable Bulk-fill	1,695 (1,585 - 1,806)	4,39 (4,028 - 4,753)	7,739 (7,073 - 8,406)	4,39 (1,585 - 8,406) ^{bc}
3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative	3,766 (3,739 - 3,793)	7,448 (7,282 - 7,615)	11,929 (11,923 - 11,935)	7,448 (3,739 - 11,935) ^c
Beautifil Bulk Flowable	3,788 (3,712 - 3,865)	8,361 (8,313 - 8,408)	11,944 (10,923 - 12,965)	8,361 (3,712 - 12,965) ^{ef}
Xtra Fill	7,377 (7,338 - 7,415)	10,335 (10,145 - 10,526)	14,088 (13,833 - 14,343)	10,335 (7,338 - 14,343) ^g
Simplishade Bulk-fill Flow	4,319 (4,158 - 4,48)	8,832 (8,742 - 8,922)	10,498 (10,406 - 10,59)	8,832 (4,158 - 10,59) ^f
Toplam	3,202 (1,163 - 7,415) ^A	6,584 (2,393 - 10,752) ^B	10,498 (6,992 - 14,343) ^C	7,177 (1,163 - 14,343)

Ortanca (Minimum - Maksimum)

^{a-g}Aynı harfe sahip diş/materyaller arasında fark yoktur

^{A-C}Aynı harfe sahip kalınlıklar arasında fark yoktur

Çoklu karşılaştırmalar Holm Düzeltmeli Robust t Testi ile incelenmiştir.

Bulk-fill kompozit rezin materyallerinin 1, 2 ve 4 mm kalınlıklarının süt ve daimi diş yapılarının radyoopasite değerlerine göre anlamlılık değerleri (p değerleri) Tablo 4.3.'de verilmiştir.

SDR Plus Bulk-Fill Flowable 4 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 1, 2 ve 4 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,05$). Estelite Flowable Bulk-fill 1 ve 2 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 4 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunurken ($p < 0,05$); Estelite Flowable Bulk-fill 2 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 2 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Estelite Flowable Bulk-fill 4 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 4 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative 1 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 1 ve 2 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmazken ($p > 0,05$); 2 ve 4 mm kalınlığının, daimi diş minesini hariç tüm diş örneklerinin 1 ve 2 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,05$). Beautifil Bulk Flowable 2 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 1 ve 2 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,05$). Xtra Fill 4 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 1, 2 ve 4 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunurken ($p < 0,05$); 1 ve 2 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 4 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Simplishade Bulk-fill Flow 2 ve 4 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 1 ve 2 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunurken ($p < 0,05$); süt ve daimi diş örneklerinin 4 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Simplishade Bulk-fill Flow 1 mm kalınlığının, süt ve daimi diş örneklerinin 1 ve 2 mm

kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmazken ($p>0,05$); süt ve daimi diş örneklerinin 4 mm kalınlıklarıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p<0,05$).



Tablo 4.3. Bulk-fill Kompozit Rezin Materyallerinin Süt ve Daimi Diş Örnekleriyle Anlamlılık Değerlerinin Değerlendirilmesi

		Daimi Diş Minesi			Daimi Diş Dentini			Süt Dişi Minesi			Süt Dişi Dentini		
		1 mm	2 mm	4 mm	1 mm	2 mm	4 mm	1 mm	2 mm	4 mm	1 mm	2 mm	4 mm
SDR Plus Bulk-Fill Flowable	1 mm	0,039	1,000	0,006	0,001	0,333	0,358	0,019	0,832	0,004	0,001	0,044	0,204
	2 mm	0,000	0,000	0,999	0,000	0,000	0,277	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,459
	4 mm	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Estelite Flowable Bulk-fill	1 mm	1,000	0,024	0,000	1,000	0,918	0,000	1,000	0,454	0,000	1,000	1,000	0,000
	2 mm	0,753	1,000	0,000	0,068	0,999	0,008	0,559	1,000	0,000	0,046	0,788	0,004
	4 mm	0,000	0,151	0,885	0,000	0,001	1,000	0,000	0,005	0,774	0,000	0,000	1,000
3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative	1 mm	0,995	0,994	0,000	0,344	1,000	0,001	0,964	1,000	0,000	0,256	0,997	0,000
	2 mm	0,000	0,307	0,675	0,000	0,002	1,000	0,000	0,013	0,527	0,000	0,000	1,000
	4 mm	0,000	0,000	0,251	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,365	0,000	0,000	0,008
Beautifil Bulk Flowable	1 mm	0,994	0,996	0,000	0,328	1,000	0,001	0,958	1,000	0,000	0,242	0,996	0,000
	2 mm	0,000	0,024	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,001	0,996	0,000	0,000	1,000
	4 mm	0,000	0,000	0,243	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,354	0,000	0,000	0,008
Xtra Fill	1 mm	0,000	0,358	0,612	0,000	0,002	1,000	0,000	0,016	0,465	0,000	0,000	1,000
	2 mm	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,399	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,608
	4 mm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Simplishade Bulk-fill Flow	1 mm	0,806	1,000	0,000	0,084	1,000	0,006	0,622	1,000	0,000	0,057	0,838	0,003
	2 mm	0,000	0,005	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000
	4 mm	0,000	0,000	0,999	0,000	0,000	0,282	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,467

Tabloda kalın (bold) olarak gösterilen değerler istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları belirtmektedir.
İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak belirlenmiştir.

5. TARTIŞMA

Diş çürüğü, diş sert dokularının demineralizasyonu ve yıkımı ile karakterize bir hastalık olup; hastalığın genel şiddeti ile tek tek çürük lezyonlarının şiddeti, bireysel, biyolojik, davranışsal ve çevresel faktörlerin karmaşık etkileşiminin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Young ve ark., 2015, Cheng ve ark., 2022). Hastalık erken evrede durdurulabilir ve belirli koşullarda tersine çevrilebilir olmakla birlikte, çoğu olguda sınırlandırılmamakta ve tedavi edilmediği takdirde ilerleyici seyir göstererek diş kaybına kadar uzanabilmektedir (Fejerskov & Kidd, 2003). Tedavi edilmeyen diş çürükleri ağrı ve enfeksiyonun yanı sıra beslenme ve fonksiyon bozuklukları, estetik ve psikolojik sorunlar gibi çok yönlü olumsuz sonuçlara yol açmaktadır (Wagle ve ark., 2018). Özellikle süt dişlerindeki çürük varlığının, daimi dentisyonda çürük gelişimi açısından önemli bir risk faktörü olduğu bildirilmektedir. Nitekim Çin’de 3–5 yaş arası çocuklarda yürütülen uzunlamasına bir çalışmada, süt dişlerinde çürük bulunan çocuklarda daimi dişlerde çürük görülme olasılığının üç kat daha yüksek olduğu rapor edilmektedir (Li & Wang, 2002). Küresel ölçekte bakıldığında ise, 195 ülkeyi kapsayan hastalık yükü analizinde daimi diş çürüklerinin, tüm hastalıklar arasında en yüksek prevalansa sahip olduğu ve insidans açısından ikinci sırada yer aldığı bildirilmiştir (James ve ark., 2018).

Diş çürüğünün erken çocukluk döneminde başlayan ve daimi dentisyona uzanan etkileri göz önünde bulundurulduğunda, çocuklarda çürüklerin restoratif tedavilerine yönelik erken müdahalenin önemi daha da belirgin hâle gelmektedir. Erken dönemde uygulanan restoratif tedaviler süt dişlerinin fonksiyonlarını sürdürmesine, daimi dişlerin fizyolojik sürme zamanına kadar rehberlik etmesine ve daimi dentisyonun yaşam boyu sağlıklı bir şekilde ağızda tutulmasına katkı sağlamaktadır (Avery, 2011). Bu kapsamda

gerçekleştirilen restoratif uygulamalarda, çocuğun tedaviye uyum düzeyi, yaşa bağlı fizyolojik özellikleri, bireysel çürük risk faktörleri ve sosyoekonomik koşulları dikkate alınarak kişiye özgü tedavi yaklaşımlarının planlanması gerekmektedir (AAPD, 2023).

Çocuklarda restoratif tedavi planlamasında, bireysel risk faktörleri ve klinik gereksinimlerin çeşitliliği, farklı restoratif materyallerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda çocuk diş hekimliğinde; amalgam, cam iyonomer simanlar, rezin modifiye cam iyonomer simanlar, rezin kompozitler, kompomerler (poliasit modifiye kompozit rezinler), bulk-fill kompozit rezinler, paslanmaz çelik kronlar ile strip ve zirkon kronlar gibi çeşitli restoratif materyallerden yararlanılmaktadır (Cheng ve ark., 2022).

Çocuk diş hekimliği restoratif tedavilerinde kullanılan materyallerin her biri belirli avantajlar sunmakla birlikte, klinik kullanım açısından bazı sınırlılıklar da içermektedir. Cam iyonomer simanlar, mine ve dentine kimyasal bağlanabilmeleri, flor salınımı yapmaları ve neme karşı görece düşük hassasiyet göstermeleri nedeniyle özellikle süt dişlerinde tercih edilmekle birlikte düşük aşınma direnci ile yetersiz mekanik ve estetik özellikleri kullanım alanlarını sınırlamaktadır (Khoroushi & Keshani, 2013). Resin modifiye cam iyonomer simanlar, geleneksel cam iyonomerlere kıyasla daha iyi mekanik özellikler sunmaları ve ışıkla sertleştirilebilir olmaları nedeniyle süt diş restorasyonlarında daha sık kullanılmaktadır (Cheng ve ark., 2022). Paslanmaz çelik kronlar ise özellikle yüksek çürük riskine sahip, geniş madde kaybı bulunan veya ağız hijyeninin yeterince sağlanamadığı olgularda etkili bir tedavi seçeneği olarak öne çıkmaktadır (AAPD, 2023). Buna karşın, amalgam restorasyonlar geçmişte yaygın olarak kullanılmış olsa da, estetik açıdan yetersiz olmaları, civa içermeleri ve yalnızca mekanik tutuculuk sağlamaları nedeniyle adeziv sistemlerdeki gelişmelerle birlikte günümüzde yerini büyük ölçüde rezin bazlı restoratif materyallere bırakmıştır (Tas & Koymen, 2025).

Rezin kompozitlerdeki teknolojik gelişmeler doğrultusunda, özellikle tabakalama tekniğine bağlı uygulama zorluklarını azaltmak, polimerizasyon büzülmesini sınırlamak ve klinik işlem süresini kısaltmak amacıyla geliştirilen bulk-fill kompozit rezinlerin çocuk diş hekimliğinde kullanımı giderek artmaktadır (Çabadağ, 2021). Bununla birlikte, bulk-fill kompozit rezinlerin klinik başarısının değerlendirilmesi yalnızca uygulama kolaylığı ve mekanik özelliklerle sınırlı olmayıp, restorasyonların radyografik olarak güvenilir biçimde izlenebilir olması da önemli bir kriter olarak öne çıkmaktadır (White, 2019).

Radyografik incelemeler restorasyonların marjinal uyumunun, proksimal konturlarının ve sekonder çürük varlığının değerlendirilmesine olanak sağlamakta ve restorasyonların uzun dönem takibinde temel bir rol üstlenmektedir (Kopuz & Ercin, 2024). Bu bağlamda, diş hekimliğinde kullanılan restoratif materyallerin uygun düzeyde radyoopasiteye sahip olması, restorasyon sınırlarının mine ve dentinden ayırt edilebilmesi ve sekonder çürüklerin doğru şekilde teşhis edilebilmesi açısından kritik önem taşımaktadır (Garoushi ve ark., 2019). Radyoopasitesi düşük materyaller restorasyon–diş dokusu ayrımını zorlaştırarak yanlış veya gecikmiş tanılara yol açabilirken, aşırı yüksek radyoopasiteye sahip materyaller ise sekonder çürükler ve restorasyon defektlerinin radyografik olarak maskelenmesine neden olabilmektedir (Pekkan ve ark., 2011).

Radyografik izlenebilirliğin restoratif materyallerin klinik başarısındaki belirleyici rolü göz önünde bulundurulduğunda, bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite özelliklerinin değerlendirilmesi ayrı bir önem kazanmaktadır. Mevcut literatürde bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasitelerinin daimi diş dokuları ile karşılaştırmalı olarak incelendiği bazı çalışmalar bulunmakla birlikte (Soares ve ark., 2017; Berti ve ark., 2020b; Maragno ve ark., 2024; Nunes ve ark., 2024), erişilebilir

literatürde bu materyallerin hem süt hem de daimi diş mine ve dentini ile birlikte değerlendirildiği kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Oysa süt ve daimi diş dokuları arasındaki histolojik ve mineral içerik farklılıklarının, restoratif materyallerin radyografik görünürlüğüne etkileyebileceği bilinmektedir (Avery, 2011). Bu durum, özellikle süt ve daimi dişlenmeyi birlikte ele alan çalışmaların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Buna ek olarak, yeni nesil bulk-fill kompozit rezinlerden biri olan SimpliShade Bulk Fill Flow (Kerr Corporation, Amerika) ile ilgili erişilebilir literatürde radyoopasiteye yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Şekillendirme kolaylığı, tek renkli kompozit sistemi ve düşük polimerizasyon büzülme stresi gibi klinik açıdan avantajlı özelliklere sahip olduğu bildirilmesine rağmen (Kerr Dental., 2024) , bu materyalin süt ve daimi diş dokuları ile olan radyografik ilişkisi bugüne kadar ortaya konulmamıştır.

Bu bağlamda bu tez çalışması, SimpliShade Bulk Fill Flow'un radyoopasitesinin süt ve daimi diş mine ve dentini ile karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği literatürdeki ilk *in vitro* araştırma niteliğini taşımaktadır. Çalışma, bulk-fill kompozit rezinlerin farklı dentisyon dönemlerindeki tanısal görünürlüğüne anlaşılmaya katkı sağlayarak, hem restoratif tedavi planlaması hem de uygun materyal seçimi açısından klinisyenlere yol gösterici nitelikte özgün veriler sunmaktadır. Bu yönüyle araştırma, süt ve daimi dentisyonda bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasitelerinin radyografik değerlendirmelerine ilişkin literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Bu tür karşılaştırmalı değerlendirmelerde *in vitro* çalışmalar, deneysel koşulların standardize edilebilmesine ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanınmasının yanı sıra, zaman ve maliyet açısından da avantajlar sunmaktadır. Ayrıca canlı dokulara ve bireysel biyolojik değişkenlere bağlı etkiler dışlanarak, incelenen materyalin belirli bir

özelliğinin kontrollü koşullar altında doğrudan değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır (Faggion, 2012). Bu tez çalışmasında, bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite özelliklerinin objektif ve tekrarlanabilir biçimde değerlendirilebilmesi ve klinik kullanım açısından uygunluğunun araştırılabilmesi amacıyla *in vitro* yöntem tercih edilmiştir.

Bulk-fill kompozit rezinler, artırılmış PD sayesinde tabakalama tekniğine ihtiyaç duyulmadan uygulanabilmeleri nedeniyle özellikle çocuk diş hekimliğinde zaman kazancı ve uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu materyallerin klinik kullanımda tercih edilebilirliğinin yalnızca uygulama kolaylığı ile sınırlı olmadığı, mekanik ve fiziksel özelliklerinin geleneksel kompozit rezinler ve kompomerlerle benzer ya da üstün düzeyde olması gerektiği vurgulanmaktadır (Garoushi, 2016). Literatürde bulk-fill kompozit rezinlerin düşük polimerizasyon büzülmesi ile mikrosızıntı ve marjinal adaptasyon arasındaki ilişkinin incelendiği bir çalışmada, akışkan bulk-fill kompozit rezinlerin geleneksel kompozit rezinlere kıyasla daha düşük polimerizasyon büzülmesi sergilediği ve daha iyi marjinal adaptasyon sağladığı bildirilmiştir (Jang ve ark., 2015). Süt azı dişlerinde Sınıf II kavitelerde yapılan bir başka çalışmada ise istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamakla birlikte, bulk-fill kompozit rezinlerin geleneksel kompozitlere göre daha düşük mikrosızıntı değerleri gösterdiği rapor edilmiştir (Eltoum ve ark., 2019). Bulk-fill kompozit rezinlerin klinik performansına ilişkin bu bulgular, söz konusu materyallerin yalnızca uygulama süresi ve marjinal adaptasyon gibi klinik avantajlar açısından değil, restorasyonun uzun dönem takibinde kullanılacak tanı yöntemleriyle olan uyumu açısından da ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Bulk-fill kompozit rezin materyallerinin klinik uygulamalarda 4–5 mm kalınlıkta tek tabaka hâlinde kullanılabilmeleri (Ilie & Hickel, 2009), bu materyallerin yalnızca PD açısından değil, aynı zamanda radyografik tanı ve teşhis açısından da değerlendirilmesini

gerekli kılmaktadır. Diş hekimliğinde restoratif materyal seçiminde fiziksel ve mekanik özellikler kadar, restorasyonların radyografik olarak güvenilir biçimde izlenebilir olması da uzun dönem başarının değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Özellikle çocuk diş hekimliğinde hasta kooperasyonunun sınırlı olması nedeniyle, sekonder çürüklerin erken saptanması ve restorasyon sınırlarının net olarak ayırt edilebilmesi büyük ölçüde radyografik değerlendirmeye dayanmaktadır (Braga ve ark., 2007; White, 2019).

Kalınlığa bağlı radyoopasite artışının klinik yansımaları özellikle Sınıf II restorasyonlarda daha belirgin hâle gelmektedir. Gingival basamak, proksimal konturlar ve marjinal adaptasyonun değerlendirildiği bu restorasyonlarda restoratif materyalin kalınlığı restorasyonun farklı bölgelerinde değişkenlik gösterebilmekte ve bu durum aynı materyalin farklı alanlarda farklı radyoopasite düzeyleri sergilemesine yol açabilmektedir (Roberson, 2002). Dolayısıyla bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite özelliklerinin yalnızca tek bir kalınlık üzerinden değerlendirilmesinin klinik gerçekliği tam olarak yansıtamayabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada materyallerin farklı kalınlıklardaki radyografik davranışlarının ortaya konulabilmesi amacıyla ölçümler 1, 2 ve 4 mm kalınlıklarda gerçekleştirilmiş ve süt ile daimi diş dokuları ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Radyoopasite yalnızca materyal kalınlığına değil, aynı zamanda restoratif materyalin bileşimi, doldurucu tipi ve oranı, radyografik sistem ve çekim parametrelerine bağlı olarak da değişkenlik gösterebilmektedir. Bununla birlikte, radyoopasiteyi belirleyen en temel faktörün materyalin kimyasal bileşimi olduğu bildirilmektedir (Lachowski ve ark., 2013). Kompozit rezinlerin radyoopasitelerini artırmak amacıyla yapılarında baryum, stronsiyum, çinko, itriyum, itterbiyum ve lantan gibi yüksek atom numarasına sahip elementler kullanılmaktadır. Bu elementlerin X-ışınlarını daha etkin

absorbe ederek materyalin radyografik görünürlüğüne katkı sağladığı ifade edilmektedir (Williams & Billington, 1990; Xu ve ark., 2022). Bu doğrultuda, çalışmada içerik özellikleri bakımından birbirinden farklı altı adet bulk-fill kompozit rezin tercih edilerek materyal bileşiminin radyoopasite üzerindeki etkisi de birlikte değerlendirilmiştir.

Bulk-fill kompozit rezinlerde polimerizasyon etkinliği, yalnızca materyalin yapısal özelliklerine değil; kullanılan ışık cihazının yoğunluğuna, ışık ucu ile restorasyon yüzeyi arasındaki mesafeye ve uygulanan ışınlama süresine de bağlı olarak değişmektedir (Torno ve ark., 2008). Işık kaynağının restorasyon yüzeyinden uzaklaşmasıyla ışık yoğunluğunun azalması, özellikle derin kavitelerde PD'yi olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Rueggeberg ve ark., 1993). Bu nedenle tek tabaka hâlinde 4–5 mm kalınlıkta uygulanabilen bulk-fill kompozit rezinlerin yeterli ve homojen biçimde polimerize edilebilmesi için yüksek ışık gücüne sahip polimerizasyon cihazlarının kullanılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, 400–515 nm aralığında geniş bir dalga boyu spektrumu ve yaklaşık 1200 mW/cm² ışık yoğunluğu sunarak bulk-fill kompozit rezinlerin polimerizasyonu için uygun koşullar sağladığı bildirilen Elipar S10 LED cihazı kullanılmıştır (ESPE, 2012). Literatürde, bulk-fill kompozit rezinlerin üretici firmaların önerdiği protokollere uygun şekilde ve yeterli ışık gücü kullanılarak polimerize edildiklerinde güvenilir PD'ye ulaştıkları bildirilmektedir (Alrahlah ve ark., 2014; Ilie & Stark, 2014). Bu doğrultuda Elipar S10 LED cihazı, üretici talimatlarına uygun şekilde kullanılarak çalışmanın polimerizasyon süreci standartlaştırılmıştır. Bu yaklaşım, bulk-fill kompozit rezinlerin farklı kalınlıklardaki radyoopasite özelliklerinin güvenilir biçimde değerlendirilmesine metodolojik bir temel sağlamaktadır.

Diş hekimliğinde restoratif materyallerin radyografik değerlendirilmesinde konvansiyonel ve dijital radyografi yöntemleri kullanılmakta olup, her iki yöntem tanısal

doğruluk açısından karşılaştırıldığında aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir (Syriopoulos ve ark., 2000). Bununla birlikte dijital radyograflar; hızlı ve yüksek kaliteli görüntü elde edilmesine olanak tanınmaları, görüntülerin kolaylıkla depolanabilmesi ve tekrar değerlendirilebilmesi, ayrıca nicel analizlere uygun veri sağlamaları nedeniyle önemli avantajlar sunmaktadır (Yoshida ve ark., 2018). Bu nedenlerle, mevcut tez çalışmasında bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite değerlendirilmesinde dijital radyografi yöntemi tercih edilmiştir. Radyoopasitenin objektif olarak değerlendirilebilmesi amacıyla, ISO 4049 standardında önerildiği şekilde %99,5 saflıkta alüminyum referans materyal olarak kullanılmıştır (ISO, 2019). Kompozit rezin materyallerin radyoopasitelerinin çekim parametrelerinden etkilenebildiği bildirildiğinden (Yaşa ve ark., 2015), çalışmada radyografik parametreler üretici firma talimatlarına uygun biçimde standardize edilmiştir. Bu yaklaşım, elde edilen radyoopasite değerlerinin karşılaştırılabilirliğini ve güvenilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Fosfor plakların ışığa maruz kalmaları durumunda görüntü kalitesinde azalma meydana gelebileceği bildirildiğinden (Akdeniz ve ark., 2005), her bir örnek kalınlığı için ayrı çekimler yapılmış ve görüntüler ışık maruziyeti en aza indirilerek dijital ortama aktarılmıştır. Elde edilen görüntüler, restoratif materyallerin OGD'lerinin hesaplanabilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan ve doğrulanmış bir analiz yazılımı olan Image J programı aracılığıyla değerlendirilmiştir.

Bu metodolojik çerçeve doğrultusunda yapılan karşılaştırmalı değerlendirmeler, bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite değerlerinin materyal türü, uygulama kalınlığı ve bu iki değişkenin etkileşimine bağlı olarak süt ve daimi diş mine ve dentin dokularına göre istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda çalışmanın H_0 hipotezi reddedilmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular, bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite değerlerinin uygulama kalınlığı arttıkça anlamlı biçimde yükseldiğini ortaya koymuştur. En yüksek radyoopasite değeri 4 mm kalınlıkta elde edilirken, bunu sırasıyla 2 mm ve 1 mm kalınlıklar izlemiştir. Bu bulgu, materyal kalınlığı arttıkça X-ışını absorpsiyonunun artması ve buna bağlı olarak radyografik yoğunluğun yükselmesi ile açıklanabilmektedir (Dukic ve ark., 2012). Radyoopasitenin materyal kalınlığı ile doğru orantılı olduğunu bildiren önceki çalışmalar, bu fiziksel ilişkiyi temel bir belirleyici faktör olarak tanımlamaktadır (Pires de Souza ve ark., 2010; Lachowski ve ark., 2013). Literatürde kompozit rezin materyallerin farklı kalınlıklardaki radyoopasite davranışlarını inceleyen çalışmalarda, kalınlık artışının radyoopasiteyi istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırdığı tutarlı biçimde rapor edilmiştir. Sarıdağ ve ark. (2015), kompozit rezinlerin 2 mm kalınlıktaki radyoopasite değerlerinin 1 mm kalınlığa kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğunu bildirmiştir. Yaşa ve ark. (2015) ise bulk-fill kompozit rezinlerin artan uygulama kalınlıklarının radyoopasite değerlerini belirgin biçimde artırdığını göstermiştir. Bu çalışmalar, bulk-fill kompozit rezinlerin klinik olarak önerilen kalınlıklarda uygulanmasının yalnızca mekanik ve polimerizasyon özellikleri açısından değil, aynı zamanda radyografik görünürlük açısından da belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, kalınlık etkisinin belirginliği ortaya konulduktan sonra, radyoopasite değerlerinin diş dokuları ve materyal türleri açısından nasıl dağıldığının da incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada diş dokuları arasındaki en yüksek radyoopasite değerleri daimi diş minesinde, en düşük değerler ise süt dişi dentininde saptanmıştır. Daimi diş mine ve dentini ile süt dişi mine ve dentini arasındaki radyoopasite farklarının istatistiksel olarak anlamlı bulunması, bu dokular arasındaki morfolojik ve histolojik farklılıklarla

açıklanabilmektedir. Daimi dişlerin daha yüksek inorganik içeriğe sahip olması, mine ve dentin kalınlıklarının süt dişlerine kıyasla daha fazla olması ve kristal yapılarındaki farklılıklar, X-ışını absorpsiyonunu artırarak radyoopasite değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır (Ingle, 2008; Waterhouse ve ark., 2011). Lee (2008) de benzer şekilde, yalnızca süt ve daimi dişler arasında değil; anterior ve posterior dişler arasında dahi radyoopasite farklılıkları bulunduğunu ve bunun mine-dentin kalınlık değişkenliği ile ilişkili olabileceğini bildirmiştir. Bu yönüyle diş dokularının kendine özgü radyoopasite düzeyi, restoratif materyallerin tanısal görünürlüğünün belirleyen temel bir referans noktası olmaktadır.

Bulk-fill kompozit rezinler arasındaki radyoopasite farklılıkları değerlendirildiğinde, bu farklılıkların temel olarak materyal içeriğinde yer alan radyoopasite sağlayıcı elementin türü ve atom numarası ile birlikte materyalin toplam doldurucu oranına bağlı olarak şekillendiği bildirilmektedir (Garoushi ve ark., 2019). Üretici firmalar, restoratif materyallere radyoopak özellik kazandırmak amacıyla bizmut ($Z=83$), itterbiyum ($Z=70$), lantan ($Z=57$), baryum ($Z=56$), zirkonyum ($Z=40$), itriyum ($Z=39$), stronsiyum ($Z=38$) ve çinko ($Z=30$) gibi yüksek atom numarasına sahip elementlerin inorganik partiküllerini kompozit rezinlerin bileşimine eklemektedir (Doğruer ve ark., 2025). Bu elementlerin X-ışınlarını daha etkin absorbe etmeleri, materyalin radyografik yoğunluğunu artırarak radyoopasite değerlerinin yükselmesine katkı sağlamaktadır (Versteeg ve ark., 1997). Özellikle itterbiyumun ($Z=70$) sahip olduğu yüksek atom numarası, radyoopasiteyi belirgin biçimde artıran önemli bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Lachowski ve ark., 2013).

Bu çalışma kapsamında, en yüksek radyoopasite değeri SDR Plus Bulk-Fill Flowable'da, en düşük değer ise Estelite Flowable Bulk-fill'de saptanmıştır. SDR Plus

Bulk-Fill Flowable, 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative, Beautifil Bulk Flowable ve SimpliShade Bulk-fill Flow materyallerinin tamamında radyoopasite sağlayıcı ajan olarak itterbiyum triflorür bulunmaktadır (Kerr Dental., 2024. ; Dentsply Sirona., 2018; 3M, 2014; Shofu Inc., 2020). Ancak bu materyaller arasında gözlenen radyoopasite farklılıkları, yalnızca radyoopak ajanın varlığı ile değil, aynı zamanda doldurucu oranlarındaki farklılıklarla da ilişkilendirilmektedir (Yıldırım ve ark., 2017). Nitekim SDR Plus Bulk-Fill Flowable'ın, itterbiyum içeren akışkan bulk-fill materyaller arasında en yüksek doldurucu oranına (%75) sahip olması (Dentsply Sirona., 2018), materyalin en yüksek radyoopasite değerini göstermesini açıklayan önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

Çalışma bulguları SDR Plus Bulk-Fill Flowable ve 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative'in, Beautifil Bulk Flowable ve SimpliShade Bulk-fill Flow'dan anlamlı derecede farklı radyoopasite değerleri sergilediğini ortaya koymuştur. Buna karşılık, Beautifil Bulk Flowable ile SimpliShade Bulk-fill Flow arasında radyoopasite açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu durum, söz konusu materyallerin benzer doldurucu oranlarına (sırasıyla %73 ve %70) sahip olmalarıyla (Kerr Dental., 2024; Shofu Inc., 2020) ilişkili olabilmektedir. Öte yandan, 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative'in akışkan bulk-fill materyaller arasında en düşük doldurucu oranına (%64,5) (3M, 2014) sahip olması, SDR Plus Bulk-Fill Flowable ile aynı radyoopasite sağlayıcı ajana sahip olmasına rağmen daha düşük radyoopasite göstermesini açıklayabilmektedir.

Xtra Fill ise SDR Plus Bulk-Fill Flowable'dan sonra en yüksek radyoopasite değerine sahip bulk-fill kompozit rezin olarak belirlenmiştir. Bu durum, materyalin radyoopasite sağlayıcı ajan olarak baryum alüminyum silikat cam içermesi, yüksek viskoziteye sahip olması ve ağırlıkça %86 gibi oldukça yüksek bir doldurucu oranı

barındırmasıyla açıklanabilmektedir (VOCO, 2025). Nitekim Yaşa ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada Xtra Fill'in, Quixfil, Xtra-base, SDR Bulk-fill, SonicFill, Tetric EvoCeram Bulk-fill, Tetric N-Ceram Bulk-fill'e kıyasla daha yüksek radyoopasite değerleri sergilediği bildirilmiş ve bu bulgu materyalin yüksek doldurucu içeriği ile ilişkilendirilmiştir. Bu yönüyle mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatür ile uyumluluk göstermektedir.

Buna karşılık, Estelite Flowable Bulk-fill'in, daimi diş minesi hariç tüm diş dokuları ile benzer radyoopasite değerleri göstermesi, materyalin akışkan bulk-fill karakteri, görece düşük doldurucu oranı ve radyoopasite sağlayan zirkonyum silikanın, baryum ve itterbiyum içeren sistemlere kıyasla daha düşük X-ışını absorpsiyon kapasitesine sahip olmasıyla açıklanabilmektedir (Williams & Billington, 1990). Benzer şekilde, 3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative'in yalnızca süt dişi minesi ile benzer radyoopasite göstermesi de materyalin akışkan yapısı ve düşük doldurucu oranı ile ilişkilendirilebilmektedir.

Bu çalışmada incelenen bulk-fill kompozit rezinlerin çoğunun akışkan formda olması ve yalnızca Xtra Fill'in yüksek viskozite göstermesi, materyaller arasındaki radyoopasite farklarının viskozite ile doğrudan ve tek başına açıklanamayacağını düşündürmektedir. Bu nedenle elde edilen bulgular, radyoopasite değerlerinin materyalin akışkan ya da viskoz yapısından ziyade; doldurucu oranı, radyoopasite sağlayan ajanların özellikleri ve genel materyal formülasyonunun birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Restoratif materyallerin radyografik görünürliğünün yalnızca materyal türü ve uygulama kalınlığına değil, karşılaştırıldığı diş dokusunun yapısal özelliklerine de bağlı

olarak değişebileceği de dikkate alınmalıdır. Süt ve daimi diş mine ve dentin dokuları arasında mineralizasyon düzeyi, kristal yapı ve doku yoğunluğu bakımından mevcut olan farklılıkların, restoratif materyallerin radyografik algılanışını doğrudan etkileyebileceği bilinmektedir (de Menezes Oliveira ve ark., 2010). Bu nedenle bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite değerlerinin, farklı kalınlıkların yanı sıra süt ve daimi diş dokuları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinin, elde edilen bulguların hem bilimsel hem de klinik açıdan daha doğru yorumlanmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında bulk-fill kompozit rezin materyallerinin farklı kalınlıklardaki radyoopasite değerleri birlikte değerlendirildiğinde, uygulama kalınlığının artışıyla radyoopasite değerlerinde genel bir yükselme eğilimi olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, kalınlığın radyoopasite üzerinde etkili bir faktör olmasına karşın, elde edilen bulgular materyal içeriğinin bu etki üzerinde daha belirleyici bir rol oynadığını düşündürmektedir. Nitekim tüm kalınlıklarda en düşük radyoopasite değerlerinin Estelite Flowable Bulk-fill materyalinde gözlenmiş olması, kalınlık artışına rağmen materyal içeriğinin radyoopasiteyi sınırlayıcı etkisini ortaya koymaktadır.

Diş dokuları açısından değerlendirildiğinde 1 ve 2 mm kalınlıklarda en yüksek radyoopasite değerlerinin daimi diş minesinde, en düşük değerlerin ise süt dişi dentininde saptanması, süt ve daimi dişler arasındaki fizyolojik ve histolojik farklılıklarla ilişkilendirilebilmektedir (de Menezes Oliveira ve ark., 2010). Daimi dişlerin daha yüksek mineral içeriğe ve daha kalın mine ve dentin yapısına sahip olması, bu bulguyu destekleyen temel faktörler arasında yer almaktadır (White, 2019). Buna karşılık, 4 mm kalınlıkta en yüksek radyoopasite değerinin süt dişi minesinde, en düşük değerlerin ise daimi diş dentininde gözlenmesi, özellikle süt dişlerinde saf mine dokusundan homojen 4 mm kesit elde edilmesinin güçlüğü ile açıklanabilmektedir. Ayrıca süt dişi minesinde

aprizmatik tabakanın daha kalın olması ve X-ışınlarının bu bölgede daha düzensiz saçılma göstermesi, ölçülen radyoopasite değerlerinde artışa yol açabilmektedir (Avery, 2011). Bu farklılığın bir diğer olası nedeni, diş dokularının saklama koşulları ile ilişkili mineral kayıplarıdır. Billoo ve ark. (2025), kloramin T ve timol ortamlarında saklanan diş dokularında zamanla mineral yoğunluğunda azalma meydana geldiğini bildirmektedir. Benzer şekilde Goodis ve ark. (1991), distile su ve fizyolojik salin ortamlarında bekletilen diş dokularında mineral yoğunluğuna bağlı radyoopasite azalması gözlemlendiğini rapor etmektedir. Bu çalışmada dişlerin distile suda saklanması ve diş çekimlerinin farklı zaman dilimlerinde gerçekleştirilmiş olması, süt ve daimi diş dokularında mineral kaybının farklı düzeylerde gerçekleşmesine ve özellikle 4 mm kalınlıktaki ölçümlerde gözlenen farklılıklara katkıda bulunmuş olabilmektedir.

Çalışmada bulgular diş/materyal–kalınlık etkileşimi özelinde değerlendirildiğinde, SDR Plus Bulk-Fill Flowable’ın 1 mm kalınlıktaki radyoopasite değerinin, 4 mm kalınlıktaki süt ve daimi diş minesinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı bulunması, bu materyalin ince tabakalar hâlinde uygulandığında diş dokularından radyografik olarak ayırt edilebildiğini göstermektedir. Benzer şekilde, SDR Plus Bulk-Fill Flowable’ın ince tabaka uygulamalarında yeterli radyografik görünürlük sağladığı önceki bir çalışmada da bildirilmiştir (de Deus ve ark., 2024). Üretici firma tarafından pit ve fissür uygulamaları için önerilen SDR Plus Bulk-Fill Flowable’ın (Dentsply Sirona., 2018), bu klinik endikasyonlarda radyografik teşhis açısından yeterli görünürlük sunabileceği düşünülmektedir. Ayrıca materyalin 4 mm kalınlıktaki radyoopasite değerinin, süt ve daimi diş dokularının tüm kalınlıklarıyla anlamlı fark göstermesi, bulk-fill kompozitlerin tek tabaka hâlinde derin uygulamalarda da radyografik olarak güvenilir biçimde ayırt edilebilir olabileceğini desteklemektedir.

Estelite Flowable Bulk-fill materyali değerlendirildiğinde, 1 ve 2 mm kalınlıklardaki radyoopasite değerlerinin, süt ve daimi diş dokularının 4 mm kalınlıklarıyla istatistiksel olarak anlamlı fark göstermesine karşın, 2 mm kalınlıktaki değerlerin diş dokularının 2 mm kalınlıklarıyla benzerlik göstermesi dikkat çekmektedir. Literatürde, yüksek translusens özelliklere sahip akışkan bulk-fill materyallerin daha düşük radyoopasite sergileyebileceği bildirilmiştir (Yıldırım ve ark., 2016). Estelite Flowable Bulk-fill'in görece düşük radyoopasiteye sahip olmasına rağmen ince tabakalar hâlinde ve çevresinde daha kalın sağlam diş dokusu bulunduğu durumlarda restorasyonun radyografik olarak ayırt edilebilir olabileceğini; buna karşılık orta derinlikteki restorasyonlarda ve çevre dokularla benzer kalınlıklarda uygulandığında ayırt edilebilirliğin azalabileceğini düşündürmektedir. Bu durumun, özellikle mine ve dentin kalınlığının daha sınırlı olduğu süt dişlerinde klinik kullanımda daha dikkatli değerlendirilmesi gerektiğine işaret ettiği söylenebilmektedir.

3M Filtek Bulk-Fill Flowable Restorative'in 1 mm kalınlıktaki radyoopasite değerinin, süt ve daimi diş dokularının 1 ve 2 mm kalınlıklarıyla istatistiksel olarak anlamlı fark göstermemesi, bu materyalin pit ve fissür gibi ince tabaka uygulamalarında radyografik ayırt edilebilirlik açısından sınırlılıklar oluşturabileceğini düşündürmektedir. Benzer şekilde, düşük doldurucu oranına sahip akışkan bulk-fill materyallerin ince kesitlerde diş dokularıyla radyografik olarak örtüşebileceği daha önce bildirilmiştir (Al-Qahtani, 2020).

Xtra Fill materyali değerlendirildiğinde, 4 mm kalınlıktaki radyoopasite değerinin süt ve daimi diş dokularının tüm kalınlıklarıyla anlamlı fark göstermesi, materyalin derin kavitelere uygulandığında diş dokularından radyografik olarak ayırt edilebileceğini göstermektedir. Bu bulgu, Xtra Fill'in yüksek doldurucu oranı ve baryum içeren yapısının

radyoopasiteyi artırdığına dair literatürle uyumluluk göstermektedir (Yaşa ve ark., 2015). Buna karşın, 1 ve 2 mm kalınlıklardaki radyoopasite değerlerinin diş dokularının 4 mm kalınlıklarıyla benzerlik göstermesi, küçük ve orta derinlikteki restorasyonlarda ayırt edilebilirliğin azalabileceğini düşündürmektedir.

SimpliShade Bulk-fill Flow materyalinin 2 ve 4 mm kalınlıklardaki radyoopasite değerlerinin, süt ve daimi diş dokularının 1 ve 2 mm kalınlıklarıyla anlamlı fark göstermesi, bu materyalin orta ve derin kavitelerde kullanıldığında radyografik olarak güvenilir biçimde teşhis edilebileceğini ortaya koymaktadır. Yeni nesil, yüksek translusens özellikli bulk-fill materyallerde kalınlık artışıyla radyoopasitenin belirginleştiği literatürde de vurgulanmaktadır (Yıldırım ve ark., 2016). Ayrıca 1 mm kalınlıktaki radyoopasite değerinin, diş dokularının 4 mm kalınlıklarıyla anlamlı fark göstermesi, ince tabaka uygulamalarında da restorasyon–diş dokusu ayrımının sağlanabileceğini düşündürmektedir.

Bu tez çalışması *in vitro* koşullarda gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle bulk-fill kompozit rezin materyallerinin ağız ortamında maruz kaldığı termal değişimler, mekanik yüklenmeler, tükürük etkisi, su emilimi ve çözünme gibi uzun dönem biyolojik ve fiziksel süreçlerin radyoopasite üzerindeki potansiyel etkileri bu çalışma kapsamında değerlendirilememiştir. Bu durum, elde edilen bulguların klinik ortama birebir genellenmesini sınırlayan bir faktör olarak değerlendirilmelidir. Buna ek olarak, kompozit rezin materyallerinin tam kimyasal bileşimi ve doldurucu yüzdeleri üretici firmalar tarafından çoğunlukla ayrıntılı biçimde açıklanmamaktadır. Bu nedenle materyaller arasındaki radyoopasite farklılıklarının spesifik içerik parametreleriyle birebir ilişkilendirilmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Çalışmanın bir diğer sınırlılığı ise süt ve daimi diş örneklerinin farklı zamanlarda elde edilmiş olması ve

saklama koşullarının tam olarak standardize edilememesidir. Literatürde diş dokularının saklama ortamlarının mineral içeriği ve dolayısıyla radyoopasite üzerinde etkili olabileceği bildirilmektedir (Goodis ve ark., 1991; Billoo ve ark., 2025). Bu durum özellikle 4 mm kalınlıktaki ölçümlerde gözlenen farklılıkların yorumlanmasında dikkate alınmalıdır.

Literatür incelendiğinde bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite özelliklerinin ağırlıklı olarak daimi diş örnekleri üzerinde değerlendirildiği (Çelik, 2019; Kuter & Uzel, 2022; Çelikel ve ark., 2024), süt dişlerini kapsayan karşılaştırmalı çalışmaların ise son derece sınırlı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda bu tez çalışması, bulk-fill kompozit rezinlerin hem süt hem de daimi diş mine ve dentini ile karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği ilk çalışmalardan biri olma niteliğini taşımaktadır. Özellikle SimpliShade Bulk-fill Flow materyalinin radyoopasite özelliklerine ilişkin literatürde erişilebilir nicel bir çalışmanın bulunmaması, bu çalışmayı metodolojik ve bilimsel açıdan özgün kılmaktadır. Bu tez, SimpliShade Bulk-fill Flow'un 1, 2 ve 4 mm kalınlıklardaki radyoopasite davranışlarını ortaya koyarak literatüre ilk nicel verileri sunmaktadır. Ayrıca çalışmada materyallerin yalnızca tek bir kalınlıkta değil, klinik uygulamayı yansıtan farklı kalınlıklarda değerlendirilmiş olması, elde edilen bulguların klinik yorumlanabilirliğini artıran önemli bir metodolojik üstünlük olarak değerlendirilmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, bulk-fill kompozit rezin materyallerinin termal siklus ve yapay yaşlandırma protokolleri sonrasında radyoopasite davranışlarının incelenmesi, klinik ortamda zamanla meydana gelebilecek değişimlerin daha gerçekçi biçimde yansıtılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca farklı adeziv sistemler, kaide ve kuafaj materyalleri ile birlikte bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite özelliklerinin

değerlendirilmesi, restorasyonun çok katmanlı yapısı içinde materyalin radyografik görünürlüğünün nasıl etkilendiğinin ortaya konulmasına olanak sağlayabilir. Bunun yanı sıra, aynı materyallerin in vivo koşullarda uzun dönem takibi ile elde edilecek veriler, *in vitro* bulguların klinik geçerliliğinin sınanmasına katkı sunacaktır. Özellikle süt dişlerine özgü klinik senaryolarda bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite davranışlarını inceleyen klinik çalışmaların planlanması, çocuk diş hekimliği literatüründeki mevcut bilgi boşluğunun doldurulması açısından önem taşımaktadır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, altı farklı bulk-fill kompozit rezin materyalinin farklı uygulama kalınlıklarının radyoopasite üzerindeki etkisi incelenmiş ve bu materyallerin radyoopasite değerleri süt ve daimi diş dokuları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sınırlılıkları çerçevesinde “bulk-fill kompozit rezin materyallerinin ve farklı uygulama kalınlıklarının radyoopasite değerleri üzerinde anlamlı etkisi yoktur” H_0 hipotezi reddedilmiştir ve bu doğrultuda:

- 1- Uygulama kalınlığının artışı ile bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişki saptanmıştır. En yüksek radyoopasite değerleri 4 mm kalınlıkta, en düşük değerler ise 1 mm kalınlıkta elde edilmiştir. Bu bulgu, uygulama kalınlığı arttıkça X-ışını absorpsiyonunun artmasına bağlı olarak radyografik yoğunluğun yükselmesiyle açıklanmakta olup, bu yönüyle kalınlık bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasitesini etkileyen temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir.
- 2- Bu tez çalışmasında farklı bulk-fill kompozit rezinlerin birbirinden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı radyoopasite değerleri göstermesi, bu materyallerin içerdiği radyopak ajanların türü, oranı ve dağılımı ile ilişkilendirilebilmektedir. Bu bulgular, materyal içeriğinin özellikle doldurucu içeriği ve radyopaklık veren elementlerin bulk-fill kompozit rezinlerin radyografik görünürlüğüne belirleyen önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.
- 3- Bu tez çalışması bulk-fill kompozit rezin materyallerinin radyoopasite değerleri, materyal türü ile uygulama kalınlığı arasındaki etkileşim dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgularda diş/materyal - kalınlık etkileşimi yüksek düzeyde anlamlı bulunmuş ve bu etkileşime ait kısmi eta kare değerinin 0,999 gibi oldukça yüksek bir düzeyde olması

radioopasite üzerindeki etkinin neredeyse tamamının materyal türü ile uygulama kalınlığının birlikte değerlendirilmesiyle açıklandığını göstermektedir. Aynı zamanda bu bulgular, bulk-fill kompozit rezinlerin radyografik görünürlüğünün yalnızca materyalin kimyasal içeriğine bağlı olmadığını, aynı zamanda uygulandıkları kalınlığa ve çevreleyen diş dokusunun yapısal özelliklerine göre değişkenlik gösterebildiğini düşündürmektedir. Süt dişlerinin mine ve dentin dokularının, daimi dişlere kıyasla daha düşük radioopasiteye sahip olması nedeniyle, bulk-fill kompozit rezinlerin pit ve fissürler ile orta ve derin kavitelerde uygulanması durumunda restorasyon-çevre diş dokusu kontrastının daha belirgin hâle gelebildiği söylenebilir. Bu durum, özellikle çocuk hastalarda yapılan restorasyonların radyografik olarak değerlendirilmesinde materyalin daha kolay ayırt edilebilmesine olanak tanımaktadır.

Buna karşılık, daimi diş dokularının daha yüksek radioopasite değerlerine sahip olması, bulk-fill kompozit rezinlerin radyografik ayırt edilebilirliği daha çok materyalin kendi radioopasitesine ve uygulama kalınlığına bağlanmaktadır. Özellikle ince tabaka uygulamalarında, düşük veya orta düzeyde radioopasiteye sahip bulk-fill kompozit rezinlerin diş dokularıyla radyografik olarak örtüşebilme olasılığı artmakta; bu durum restorasyon sınırlarının ve sekonder çürüklerin radyografik değerlendirilmesini güçleştirebilmektedir. Buna karşın, uygulama kalınlığının artmasıyla birlikte materyallerin radyografik görünürlüğünün belirginleşmesi, derin kavitelerde tek tabaka uygulamaların radyografik açıdan daha güvenilir olabileceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışması, bulk-fill kompozit rezinlerin radyoopasite davranışlarının çok faktörlü bir yapı sergilediğini; materyal bileşimi, doldurucu özellikleri ve uygulama kalınlığının birlikte değerlendirilmesinin klinik açıdan daha gerçekçi ve güvenilir bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, özellikle çocuk diş hekimliğinde restoratif materyal seçiminde yalnızca estetik ve uygulama kolaylığı değil, radyografik izlenebilirlik ve tanısal güvenilirlik kriterlerinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamaktadır.



KAYNAKLAR

- Acs, G., Shulman, R., Ng, M. W., & Chussid, S. (1999). The effect of dental rehabilitation on the body weight of children with early childhood caries. *Pediatr Dent*, 21(2), 109-113.
- Akdeniz, B. G., Gröndahl, H. G., Kose, T., & Gröndahl, K. (2005). Effect of delayed scanning of storage phosphor plates. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 99(5), 603-607. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2004.10.021>
- Akerboom, H. B., Kreulen, C. M., van Amerongen, W. E., & Mol, A. (1993). Radiopacity of posterior composite resins, composite resin luting cements, and glass ionomer lining cements. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 70(4), 351-355. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(93\)90221-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(93)90221-9)
- Al-Qahtani, A. S., Tulbah, H. I., Binhasan, M., & Alrahlah, A. (2020). Radiopacity of flowable and bulk-fill resin-based composites. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 21(11), 1215–1220.
- Alrahlah, A., Silikas, N., & Watts, D. C. (2014). Post-cure depth of cure of bulk-fill dental resin-composites. *Dental Materials*, 30(2), 149-154. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.10.011>
- Alsharif, S., Alqahtani, A., Alharbi, A., & Almutairi, M. (2024). Components of Dental Resin Composites: A Literature Review. *AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences*, 427-440. <https://doi.org/10.54361/ajmas.247301>
- Altintas, S. H., Yondem, I., & Sen, B. H. (2013). Evaluation of the radiopacity of luting cements by digital radiography. *Journal of Prosthodontics*, 22(4), 282-286. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2012.00936.x>
- Altun, C. (2005). Restoratif diş hekimliğinde mikrosızıntı. *Gülhane Tıp Dergisi*, 47, 77–82.
- Amaechi, B. T., AbdulAzees, P. A., Alshareif, D. O., & Shehata, M. A. (2018). Effectiveness of S-PRG filler-containing toothpaste in inhibiting demineralization of human tooth surface. *The Open Dentistry Journal*, 12, 811-819. <https://doi.org/10.2174/1874210601812010811>
- American Academy of Pediatric Dentistry. (2023). Guideline on caries-risk assessment and management for infants, children, and adolescents. The Reference Manual of Pediatric Dentistry. *American Academy of Pediatric Dentistry*.
- American Dental Association Council on Dental Materials, I., and Equipment. (1989). Obstacles to the development of a standard for posterior composite resins. *The Journal of the American Dental Association*, 118(5), 649-651. <https://doi.org/https://doi.org/10.14219/jada.archive.1989.0070>
- Anonim. (2014). 3M™ Filtek™ Bulk Fill Flowable Restorative: Instructions for use.
- Anonim. (2022). Prevention and treatment of dental caries with mercury-free products and minimal intervention: WHO oral health briefing note series. *World Health Organization*.
- Anonim Kerr Dental. (2024). SimpliShade™ Bulk Fill Flow Bulk Fill restorasyonlarını gerçekleştirmenin yeni bir yolu. *Kerr Dental*. <https://www.kerrdental.com/tr-tr/simplishade-bulk-fill-flow>.
- Anonim ESPE, M. (2012). Elipar™ S10 LED curing light: Instructions for use. *3M Deutschland GmbH*.

- Anonim Shofu Inc. (2020). Beautifil-Bulk Flowable (Syringe): Instructions for use (IFU-US-71648-03). *Shofu Inc.*
- Anonim Vivadent., I. (2011). Tetric EvoCeram Bulk Fill: The bulk composite without compromises (Scientific documentation, pp. 1–20). *Schaan, Liechtenstein: Ivoclar Vivadent.*
- Anonim VOCO. (2025). X-tra Fill bulk-fill composite: Technical data and product specifications. *VOCO. Retrieved December 22, 2025, from*
- Anonim Carestream Dental LLC. (2010). Kodak 2100 intraoral X-ray system: User guide. *Carestream Dental.*
- Anonim Sirona., D. (2018). SDR® Plus Bulk Fill Flowable: Instructions for use (RES-IFU-SDR-Plus-multilingual-WEB-2018-03-30-F). *Dentsply Sirona.*
- Arbildo-Vega, H. I., Łapińska, B., Panda, S., Lamas-Lara, C., Khan, A. S., & Łukomska-Szymańska, M. (2020). Clinical Effectiveness of Bulk-Fill and Conventional Resin Composite Restorations: Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers (Basel)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/polym12081786>
- Arikawa, H., Kanie, T., Fujii, K., Takahashi, H., & Ban, S. (2007). Effect of filler properties in composite resins on light transmittance characteristics and color. *Dental Materials Journal*, 26(1), 38-44. <https://doi.org/10.4012/dmj.26.38>
- Avery, D. R., & Dean, J. A. . (2011). *Dentistry for the child and adolescent* (9th ed.). *Elsevier.*
- Aydın, N., Karaoğluoğlu, S., Oktay, E. A., Toksoy Topçu, F., & Demir, F. (2019). Diş Hekimliğinde Bulk Fill Kompozit Rezinler. *Selcuk Dental Journal*, 6(2), 229-238. <https://doi.org/10.15311/selcukdentj.414591>
- Baldea, B., Bitea, R., Tomuța, I., & Diaconescu, A. (2009). Radiopacity of flowable resin composite. *Journal of Oral Health and Dental Management.*, 8, 38-43.
- Baroudi, K., Silikas, N., & Watts, D. C. (2008). Edge-strength of flowable resin-composites. *Journal of Dentistry*, 36(1), 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.10.006>
- Bayne, S. C., Thompson, J. Y., Swift, E. J., Jr., & Stamatiades, P. (1997). RDC/ADA classification system for tooth-colored restorative materials. *Journal of the American Dental Association*, 128(9), 1279–1282.
- Bayne, S. C., Heymann, H. O., & Swift, E. J., Jr. (1994). Update on dental composite restorations. *Journal of the American Dental Association*, 125(6), 687-701. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1994.0113>
- Bayne, S. C., Taylor, D. F., & Heymann, H. O. (1992). Protection hypothesis for composite wear. *Dental Materials*, 8(5), 305-309. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(92\)90105-1](https://doi.org/10.1016/0109-5641(92)90105-1)
- Bayne, S. C., Thompson, J. Y., Swift, E. J., Jr., Stamatiades, P., & Wilkerson, M. (1998). A characterization of first-generation flowable composites. *Journal of the American Dental Association*, 129(5), 567-577. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1998.0274>
- Berti, L. S., Turssi, C. P., Amaral, F. L. B., Basting, R. T., Junqueira, J. L. C., Panzarella, F. K., Reis, A. F., & França, F. M. (2020a). Clinical and radiographic evaluation of high viscosity bulk-fill resin composite restorations. *American journal of dentistry*, 33, 213-217.
- Berti, L. S., Turssi, C. P., Amaral, F. L. B., Basting, R. T., Junqueira, J. L. C., Panzarella, F. K., Reis, A. F., & França, F. M. (2020b). Clinical and radiographic evaluation

- of high viscosity bulk-fill resin composite restorations. *American journal of dentistry*, 33 4, 213-217.
- Bloxom, R. M., & Manson-Hing, L. R. (1986). The accuracy of an x-ray film quality-assurance step-wedge test. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 62(4), 449-458. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(86\)90296-3](https://doi.org/10.1016/0030-4220(86)90296-3)
- Bodrumlu, E. H. (2024). Diş hekimliğinde bulk fill kompozitlerin yeri. *Uluslararası Çalışmalar*, 77.
- Bouschlicher, M. R., Rueggeberg, F. A., & Wilson, B. M. (2004). Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Operative Dentistry*, 29(6), 698–704. <https://doi.org/10.1016/j.operdent.2004.09.008>
- Bowen, R. L. (1956). Use of epoxy resins in restorative materials. *Journal of Dental Research*, 35(3), 360-369. <https://doi.org/10.1177/00220345560350030501>
- Bowen, R. L. (1962). Dental filling material comprising vinyl silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of bis-phenol and glycidyl acrylate. *Journal of the American Dental Association* 64(4), 488–498.
- Bowen, R. L., & Cleek, G. W. (1972). A new series of x-ray-opaque reinforcing fillers for composite materials. *Journal of Dental Research*, 51(1), 177-182. <https://doi.org/10.1177/00220345720510011301>
- Brackett, W. W., & Covey, D. A. (2000). Resistance to condensation of 'condensable' resin composites as evaluated by a mechanical test. *Operative Dentistry*, 25(5), 424-426.
- Braga, S. R. M., Vasconcelos, B. T., Macedo, M. R. P., Martins, V. R. G., & Sobral, M. A. P. (2007). Reasons for placement and replacement of direct restorative materials in Brazil. *Quintessence International*, 38(4), e189–e194.
- Bucuta, S., & Ilie, N. (2014). Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clinical Oral Investigations*, 18(8), 1991-2000. <https://doi.org/10.1007/s00784-013-1177-y>
- Burgess, J. (2013). Materials You Cannot Work Without Refining Your Tools for Treatment. *Journal of Cosmetic Dentistry*.
- Burgess, J., & Cakir, D. (2010). Comparative properties of low-shrinkage composite resins. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 31(Spec No 2), 10–15.
- Burgess, J., Norling, B., Rawls, H., et al. (1996). Directly placed esthetic restorative materials the continuum. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*. 17(8), 731–748.
- Burgess, J. O., et al. (2002). Posterior resin-based composite: Review of the literature. *Pediatric Dentistry*, 24(5), 465–479.
- Büyükcavuş, E. (2015). Bulk-Fill Kompozit Rezinlere Genel Bakış General Overview of Bulk-Fill Composite Resins. *Aydın Dental*, 7(1), 21-32. https://doi.org/10.17932/IAU.DENTAL.2015.009/dental_v07i1002
- Cantürk, K., Yılmaz, M. N., Cantürk, F., Özakar İlday, N., & Seven, N. (2020). Comparative radiopacities of five flowable resin composites. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*.
- Caughman, W. F., Caughman, G. B., Shiflett, R. A., Rueggeberg, F. A., & Schuster, G. S. (1991). Correlation of cytotoxicity, filler loading and curing time of dental composites. *Biomaterials*, 12(8), 737-740. [https://doi.org/10.1016/0142-9612\(91\)90022-3](https://doi.org/10.1016/0142-9612(91)90022-3)

- Chan, D. C., Hill, R. G., & Berg, J. H. (1999). Radiopacity of tantalum oxide nanoparticle filled resins. *Dental Materials*, 15(3), 219-222. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(99\)00039-1](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(99)00039-1)
- Chen, M. H. (2010). Update on dental nanocomposites. *Journal of Dental Research*, 89(6), 549-560. <https://doi.org/10.1177/0022034510363765>
- Cheng, L., et al. (2022). Expert consensus on dental caries management. *International Journal of Oral Science*, 14(1), 17. <https://doi.org/10.1038/s41368-022-00167-3>
- Chesterman, J., Jowett, A., Gallacher, A., & Nixon, P. (2017). Bulk-fill resin-based composite restorative materials: A review. *British Dental Journal*, 222(5), 337-344. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2017.214>
- Cobb, D. S., Vargas, M. A., Rundle, T., & Williams, J. (2000). The physical properties of packable and conventional posterior resin-based composites: A comparison. *Journal of the American Dental Association*, 131(11), 1610-1615. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2000.0091>
- Çabadağ, Ö. G., Misilli, T., & Gönülol, N. (2021). Bulk-fill kompozit rezinlere güncel bakış. *Selcuk Dental Journal*.
- Çelik, B. N., Gezgin, O., & Atasoy, S. (2019). Clinical and radiographic comparison of primary teeth pulpotomy using formocresol, MTA and biodentine. *Selcuk Dental Journal*, 6(2), 173-181.
- Çelik, C. (2017). Güncel Kompozit Resin Sistemler. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 3, 128-137.
- Çelikel, P.ve ark. (2024). Assessment of the Radiopacity of Different Fissure Sealants Compared to Dental Hard Tissues. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Dis Hekimliği Dergisi*, 6, 27-35. <https://doi.org/10.51122/neudentj.2024.112>
- Dayangaç, B. (2000). Kompozit rezin restorasyonlar *Ankara: Güneş Kitabevi*.
- Dayangaç, B. (2011). Kompozit restorasyonlar. *Quintessence Yayıncılık*.
- de Deus, R. A., Oliveira, L. R. S., Braga, S. S. L., Ribeiro, M. T. H., Price, R. B., Núñez, A., Loguercio, A. D., & Soares, C. J. (2024). Effect of radiant exposure on the physical and mechanical properties of 10 flowable and high-viscosity bulk-fill resin composites. *Operative Dentistry*, 49(2), 136-156. <https://doi.org/10.2341/23-025-1>
- de Menezes Oliveira, M. A., Torres, C. P., Gomes-Silva, J. M., Chinelatti, M. A., De Menezes, F. C. H., Palma-Dibb, R. G., & Borsatto, M. C. (2010). Microstructure and mineral composition of dental enamel of permanent and deciduous teeth. *Microscopy Research and Technique*, 73(5), 572-577. <https://doi.org/10.1002/jemt.20796>
- Dionysopoulos, D., Papadopoulos, C., Tolidis, K., & Kouros, P. (2017). Effects of shade and composition on radiopacity of dental composite restorative materials. *Oral Radiology*, 33, 178-186. <https://doi.org/10.1007/s11282-016-0260-x>
- Doğruer, I., Kılıç, A. M., Özkan, Y. K., & Yılmaz, B. (2025). Evaluation of the radiopacity of single-shade composite restorative materials using a digital radiography system. *Clinical Oral Investigations*, 29(8), 377. <https://doi.org/10.1007/s00784-025-06453-8>
- Dos Santos, P. H., Catelan, A., Guedes, A. P. M. A., Murakami, C., Furuse, A. Y., & Briso, A. L. F. (2015). Effect of thermocycling on roughness of nanofill, microfill and microhybrid composites. *Acta Odontologica Scandinavica*, 73(3), 176-181. <https://doi.org/10.3109/00016357.2014.971868>

- Duckworth, J. E., *et al.* (1983). A Method for the Geometric and Densitometric Standardization of Intraoral Radiographs. *Journal of Periodontology*, 54(7), 435-440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1902/jop.1983.54.7.435>
- Dukić, W., Delija, B., Derossi, D., & Dadic, I. (2012). Radiopacity of composite dental materials using a digital X-ray system. *Dental Materials Journal*, 31(1), 47-53. <https://doi.org/10.4012/dmj.2011-119>
- Eakle, W., Bastin, K. (2019). Dental materials: Clinical applications for dental assistants and dental hygienists. *Elsevier Health Sciences*.
- El-Damanhoury, H., & Platt, J. (2014). Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Operative Dentistry*, 39(4), 374-382. <https://doi.org/10.2341/13-017-1>
- El-Mowafy, O. M., & Benmergui, C. (1994). Radiopacity of resin-based inlay luting cements. *Operative Dentistry*, 19(1), 11-15.
- El-Mowafy, O. M., Rubo, J. H., & Brown, J. W. (1991). Radiopacity of direct ceramic inlay restoratives. *Journal of Dentistry*, 19(6), 366-368. [https://doi.org/10.1016/0300-5712\(91\)90058-7](https://doi.org/10.1016/0300-5712(91)90058-7)
- Eltoum, N. A., Bakry, N., Talaat, D. M., & Elshabrawy, S. (2019). Microleakage evaluation of bulk-fill composite in class II restorations of primary molars. *Alexandria Dental Journal*, 44,1 11-116. <https://doi.org/10.21608/adjalexu.2019.57614>
- Ermis, R. B., Karaağaçlıoğlu, L., & Üşümez, A. (2014). Radiopacity evaluation of contemporary resin composites by digitization of images. *European Journal of Dentistry*, 8(3), 342-347. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.137644>
- Faggion, C. M., Jr. (2012). Guidelines for reporting pre-clinical in vitro studies on dental materials. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 12(4), 182-189. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2012.10.001>
- Fejerskov, O., & Kidd, E. A. M. (2003). Dental Caries: The Disease and Its Clinical Management. *Clinical and Histological Manifestation of Dental Caries*, 80-86.
- Ferracane, J. L. (1995). Current trends in dental composites. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 6(4), 302-318. <https://doi.org/10.1177/10454411950060040301>
- Ferracane, J. L. (2011). Resin composite--state of the art. *Dental Materials*, 27(1), 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020>
- Ferracane, J. L. (2024). A Historical Perspective on Dental Composite Restorative Materials. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(7), 173. <https://www.mdpi.com/2079-4983/15/7/173>
- François, P., Fouquet, V., Attal, J. P., & Dursun, E. (2020). Commercially Available Fluoride-Releasing Restorative Materials: A Review and a Proposal for Classification. *Materials (Basel)*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/ma13102313>
- François, P., Dursun, E., Attal, J. P., & Dursun, E. (2021). Flexural properties and dentin adhesion in recently developed self-adhesive bulk-fill materials. *Journal of Oral Science*, 63(2), 139-144. <https://doi.org/10.2334/josnusd.20-0448>
- Furness, A., Tadros, M. Y., Looney, S. W., & Rueggeberg, F. A. (2014). Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. *Journal of Dentistry*, 42(4), 439-449. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.01.005>
- Garcia, D., Yaman, P., Dennison, J. B., & Neiva, G. F. (2014). Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Operative Dentistry*, 39(4), 441-448. <https://doi.org/10.2341/12-484-1>

- Garoushi, S., Vallittu, P. K., & Lassila, L. V. J. (2019). Mechanical properties and radiopacity of flowable fiber-reinforced composite. *Dental Materials Journal*, 38(2), 196-202. <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-102>
- Garoushi, S., Vallittu, P. K., & Lassila, L. V. J. (2016). Characterization of bulk-fill resin composites. *Dental Materials Journal*, 35(6), 1–8.
- Gatti, A., Manfredini, C., Di Virgilio, A. L., & Ottani, V. (2007). Polymerization of photocurable commercial dental methacrylate-based composites - Photocalorimetry study. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 87, 631-634. <https://doi.org/10.1007/s10973-006-7859-9>
- Gladys, S., Van Meerbeek, B., Lambrechts, P., & Vanherle, G. (1997). Comparative physico-mechanical characterization of new hybrid restorative materials with conventional glass-ionomer and resin composite restorative materials. *Journal of Dental Research*, 76(4), 883-894. <https://doi.org/10.1177/00220345970760041001>
- Goracci, C., Cadenaro, M., Fontanive, L., Giangrosso, G., Juloski, J., & Ferrari, M. (2014). Polymerization efficiency and flexural strength of low-stress restorative composites. *Dental Materials*, 30(6), 688-694. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.03.006>
- Gu, S., Rasimick, B. J., Deutsch, A. S., & Musikant, B. L. (2006a). Radiopacity of dental materials using a digital X-ray system. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 22, 765-770. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.11.004>
- Gu, S., Rasimick, B. J., Deutsch, A. S., & Musikant, B. L. (2006b). Radiopacity of dental materials using a digital X-ray system. *Dental Materials*, 22(8), 765-770. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.11.004>
- Gül, P., Ertaş, E., & Eren, M. M. (2017). Comparison of radiopacity of different composite resins. *Journal of Conservative Dentistry*, 20(1), 17-20. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.209071>
- Hervás-García, A., Martínez-Lozano, M. A., Cabanes-Vila, J., Barjau-Escribano, A., & Fos-Galve, P. (2006). Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 11(2), E215-220.
- Hickel, R., Roulet, J. F., Bayne, S., Heintze, S. D., Mjör, I. A., Peters, M., Manhart J. (1998). New direct restorative materials. FDI Commission Project. *International Dental Journal*, 48(1), 3-16. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595x.1998.tb00688.x>
- Hirata, R., Kabbach, W., de Andrade, O. S., Bonfante, E. A., Giannini, M., & Coelho, P. G. (2015). Bulk Fill Composites: An Anatomic Sculpting Technique. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27(6), 335-343. <https://doi.org/10.1111/jerd.12159>
- Iannucci, J. M., & Howerton, L. J. (2022). Dental radiography: Principles and techniques (6th ed.). Elsevier.
- Ilie, N., Bucuta, S., & Draenert, M. (2013). Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. *Operative Dentistry*, 38(6), 618-625. <https://doi.org/10.2341/12-395-1>
- Ilie, N., & Hickel, R. (2009). Investigations on mechanical behaviour of dental composites. *Clinical Oral Investigations*, 13(4), 427-438. <https://doi.org/10.1007/s00784-009-0258-4>
- Ilie, N., & Hickel, R. (2011). Resin composite restorative materials. *Australian Dental Journal*, 56 Suppl 1, 59-66. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01296.x>

- Ilie, N., & Stark, K. (2014). Curing behaviour of high-viscosity bulk-fill composites. *Journal of Dentistry*, 42(8), 977-985. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.05.012>
- Ingle, J. I., Bakland, L. K., & Baumgartner, J. C. (2008). Ingle's endodontics (6th ed.). *BC Decker*.
- James, S. L., Abate, D., Abate, K. H., Abay, S. M., Abbafati, C., Abbasi, N., ... Murray, C. J. L. (2018). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 392(10159), 1789-1858. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7)
- Jang, J. H., Park, S. H., Hwang, I. N., & Lee, K. W. (2015). Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin. *Operative Dentistry*, 40(2), 172-180. <https://doi.org/10.2341/13-307-1>
- Kalra, S., Singh, A., Gupta, A., & Yadav, S. (2012). Ormocer: An aesthetic direct restorative material; An in vitro study comparing the marginal sealing ability of organically modified ceramics and a hybrid composite using an ormocer-based bonding agent and a conventional fifth-generation bonding agent. *Contemporary Clinical Dentistry*, 3(1), 48-53. <https://doi.org/10.4103/0976-237x.94546>
- Kapila, R., Matsumoto, M., Araki, K., & Okano, T. (2015). Radiopacity measurement of restorative resins using film and three digital systems for comparison with ISO 4049: International standard. *Bulletin of Tokyo Dental College* 56, 207-214. <https://doi.org/10.2209/tdcpublication.56.207>
- Karadaş M, D. S. (2017). Evaluation of Color Stability and Surface Roughness of Bulk-Fill Resin Composites and Nanocomposites. *Meandros Medical And Dental Journal*.
- Khoroushi, M., & Keshani, F. (2013). A review of glass-ionomers: From conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dental Research Journal (Isfahan)*, 10(4), 411-420.
- Kim, R. J., Son, S. A., Hwang, J. Y., Lee, I. B., & Seo, D. G. (2015). Polymerization shrinkage, modulus, and shrinkage stress related to tooth-restoration interfacial debonding in bulk-fill composites. *Journal of Dentistry*, 43(4), 430-439. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.02.002>
- Kitagawa, H., Izutani, N., Kitagawa, R., Maezono, H., Yamaguchi, M., & Imazato, S. (2018). Inhibitory effect of resin composite containing S-PRG filler on *Streptococcus mutans* glucose metabolism. *Journal of Dentistry*, 70, 92-96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.12.017>
- Klee, J. E., Janda, R., Steinert, A., Reich, M., & Hickel, R. (2020). Development of novel polymer technology for a new class of restorative dental materials. *Journal of Adhesion Dentistry*, 22(1), 35-45. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a43995>
- Kopuz, D., & Ercin, O. (2024). The radiographic evaluation of 11 different resin composites. *Odontology*, 112(2), 428-434. <https://doi.org/10.1007/s10266-023-00854-5>
- Korkut, B., Demirbuga, S., & Yılmaz, B. (2023). Introduction of a New Classification for Resin Composites with Enhanced Color Adjustment Potential. *Current Oral Health Reports*, 10, 10. <https://doi.org/10.1007/s40496-023-00351-2>
- Kuter, B., & Uzel, I. (2022). Comparative radiopacity of pediatric dental restorative materials. *Balkan Journal of Dental Medicine*, 26, 47-51. <https://doi.org/10.5937/bjdm2201047K>

- Lachowski, K. M., Botta, A. C., Lascala, C. A., Matos, A. B., & Sobral, M. A. P. (2013). Study of the radio-opacity of base and liner dental materials using a digital radiography system. *Dentomaxillofacial Radiology*, 42(2), 20120153. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20120153>
- Lassila, L. V. J., Nagas, E., Vallittu, P. K., & Garoushi, S. (2012). Translucency of flowable bulk-filling composites of various thicknesses. *Chinese Journal of Dental Research*, 15(1), 31-35.
- Lee, D. H., Lim, B. S., Lee, Y. K., & Ahn, S. J. (2006). Involvement of oxidative stress in mutagenicity and apoptosis caused by dental resin monomers in cell cultures. *Dental Materials*, 22(12), 1086-1092. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.09.002>
- Lemon, M. T., Jones, M. S., & Stansbury, J. W. (2007). Hydrogen bonding interactions in methacrylate monomers and polymers. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 83(3), 734-746. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.31448>
- Leprince, J. G., Palin, W. M., Vanacker, J., Sabbagh, J., Devaux, J., & Leloup, G. (2014). Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *Journal of Dentistry*, 42(8), 993-1000. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.05.009>
- Li, X., Pongprueksa, P., Van Meerbeek, B., & De Munck, J. (2015). Curing profile of bulk-fill resin-based composites. *Journal of Dentistry*, 43(6), 664-672. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.01.002>
- Li, Y., & Wang, W. (2002). Predicting caries in permanent teeth from caries in primary teeth: An eight-year cohort study. *Journal of Dental Research*, 81(8), 561-566. <https://doi.org/10.1177/154405910208100812>
- Llena, C., Fernández, S., Forner, L., & Llorens, C. (2017). Color stability of nanohybrid resin-based composites, ormocers and compomers. *Clinical Oral Investigations*, 21(4), 1071-1077. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1850-z>
- Lutz, F., & Phillips, R. W. (1983). A classification and evaluation of composite resin systems. *Journal of Prosthetic Dentistry* 50(4), 480-488. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(83\)90566-8](https://doi.org/10.1016/0022-3913(83)90566-8)
- Malavasi, C. V., Calefi, P. S., Bortolotto, T., Pfeifer, C. S., & Correr, A. B. (2015). Surface texture and optical properties of self-adhering composite materials after toothbrush abrasion. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 16(10), 775-782. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1756>
- Manhart, J., Kunzelmann, K. H., Chen, H. Y., & Hickel, R. (2000). Mechanical properties and wear behavior of light-cured packable composite resins. *Dental Materials*, 16(1), 33-40. [https://doi.org/10.1016/s0109-5641\(99\)00082-2](https://doi.org/10.1016/s0109-5641(99)00082-2)
- Maragno, Â. C., Munhoz, L., Arita, E. S., Watanabe, P. C. A., Sobral, M. A. P., & Raitz, R. (2024). Radiopacity of bulkfill resin composites using digital radiography system. *Revista Sul-Brasileira de Odontologia*, 21, 260-269. <https://doi.org/10.21726/rsbo.v21i2.2514>
- McCabe, J. F., & Walls, A. W. G. (1998). Applied dental materials (9th ed.). Blackwell Science. *Applied Dental Materials*.
- Maragno, Â. C., Munhoz, L., Arita, E. S., Watanabe, P. C. A., Sobral, M. A. P., & Raitz, R. (2024). Radiopacity of bulkfill resin composites using digital radiography system. *Revista Sul-Brasileira de Odontologia*, 21(2), 260-269 <https://doi.org/10.21726/rsbo.v21i2.2514>

- Medina-Sotomayor, P., Rojas-García, P. P., Guerrero-Gironés, J., & López-González, A. (2023). Dental restoration operative time and analysis of the internal gap of conventional resins (incremental technique) vs. bulk fill (single-increment technique): In vitro study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 15(8), e621-e628. <https://doi.org/10.4317/jced.60717>
- Mitra, S. B., Wu, D., & Holmes, B. N. (2003). An application of nanotechnology in advanced dental materials. *Journal of the American Dental Association*, 134(10), 1382-1390. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2003.0054>
- Moszner, N., Fischer, U. K., Ganster, B., Liska, R., & Rheinberger, V. (2008). Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. *Dental Materials*, 24(7), 901-907. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2007.11.004>
- Musanje, L., & Ferracane, J. L. (2004). Effects of resin formulation and nanofiller surface treatment on the properties of experimental hybrid resin composite. *Biomaterials*, 25(18), 4065-4071. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2003.11.003>
- Mutlu, N., & Akbulut, M. B. (2022). BIOfactor MTA'nın Radyoopasitesinin Dijital Radyografi ile Değerlendirilmesi. *Selcuk Dental Journal*, 9. <https://doi.org/10.15311/selcukdentj.1140745>
- Nakamura, N., Yamada, A., Imazato, S., & Ebisu, S. (2009). Two-year clinical evaluation of flowable composite resin containing pre-reacted glass-ionomer. *Pediatric Dental Journal*, 19(1), 89-97. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0917-2394\(09\)70158-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0917-2394(09)70158-2)
- Nezir, M., & Ozcan, S. (2024). Bulk Fill Kompozit Rezin Restoratif Materyaller. *Current Research in Dental Sciences*, 34, 224-229.
- Nunes, T. C., Souza, J. R. S., Rangel, C. S., & Borges, A. B. (2024). Radiopacity degree of bulk fill composite resins. *RGO – Revista Gaúcha de Odontologia*, 72. <https://doi.org/10.1590/1981-86372024004820240018>
- Oliveira, A. E., Haiter-Neto, F., & Wenzel, A. (2000). Comparative study of two digital radiographic storage phosphor systems. *Brazilian Dental Journal*, 11(2), 111-116.
- Omran, T. A., Ghazawy, R. A., & El-Shehawy, T. M. (2017). Influence of increment thickness on dentin bond strength and light transmission of composite base materials. *Clinical Oral Investigations* 21(5), 1717-1724. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1953-6>
- Ozan, G., Yılmaz, E., & Erdemir, U. (2022). Comparison via digital radiography of radiopacity levels of composite materials with various shades and viscosities. *Journal of Wuhan University of Technology – Materials Science Edition*, 37(2), 170-176. <https://doi.org/10.1007/s11595-022-2514-2>
- Ölmez, A., & Tuna, D. (2002). Polimerizasyon büzülmesine etki eden faktörler. *Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 5(1), 52-57.
- Önal, B. (2001). Restoratif dişhekimliğinde maddeler bilgisi (ss. 30-62). *İzmir, Türkiye: Ege Üniversitesi Yayınları*.
- Palaniappan, S., Bharadwaj, D., Mattar, D. L., Peumans, M., Van Meerbeek, B., & Lambrechts, P. (2010). Three-year randomized clinical trial to evaluate the clinical performance, quantitative and qualitative wear patterns of hybrid composite restorations. *Clinical Oral Investigations*, 14(4), 441-458. <https://doi.org/10.1007/s00784-009-0313-1>
- Pássaro, A. L., Bonifácio, C. C., Hesse, D., Mendes, F. M., & Raggio, D. P. (2022). Giomer composite compared to glass ionomer in occlusoproximal ART

- restorations of primary molars: 24-month RCT. *Australian Dental Journal*, 67(2), 148-158. <https://doi.org/10.1111/adj.12894>
- Pedrosa, R. F., Brasileiro, M. C., Ferreira, M. R., & Pimenta, L. A. (2011). Influence of materials radiopacity in the radiographic diagnosis of secondary caries: Evaluation in film and two digital systems. *Dentomaxillofacial Radiology*, 40(6), 344-350. <https://doi.org/10.1259/dmfr/93764866>
- Pekkan, G., Korkmaz, Y., Altintas, S. H., & Tuncer, S. (2011). Comparative radiopacity of ceramics and metals with human and bovine dental tissues. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 106(2), 109-117. [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(11\)60104-2](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(11)60104-2)
- Peutzfeldt, A. (1997). Resin composites in dentistry: the monomer systems. *European Journal of Oral Sciences*, 105(2), 97-116. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1997.tb00188.x>
- Philips, R. W. (1982). Skinner's science of dental materials (8th ed.). *W. B. Saunders Company*.
- Pinkham, J. R., Casamassimo, P. S., Fields, H. W., McTigue, D., & Nowak, A. (2013). Pediatric dentistry: Infancy through adolescence (5th ed.). *Elsevier Saunders*.
- Pitts, N. B., Zero, D. T., Marsh, P. D., Ekstrand, K., Weintraub, J. A., Ramos-Gomez, F., Ismail, A. (2017). Dental caries. *Nature Reviews Disease Primers*, 3, 17030. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.30>
- Poorsattar Bejeh Mir, A., & Poorsattar Bejeh Mir, M. (2012). Assessment of radiopacity of restorative composite resins with various target distances and exposure times and a modified aluminum step wedge. *Iranian Journal of Radiology*, 42(3), 163-167. <https://doi.org/10.5624/isd.2012.42.3.163>
- Puckett, A. D., Fitchie, J. G., Kirk, P. C., & Gamblin, J. (2007). Direct composite restorative materials. *Dental Clinics of North America*, 51(3), 659-675, vii. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2007.04.003>
- Rathke, A., et al. (2022). One-year clinical results of restorations using a novel self-adhesive resin-based bulk-fill restorative. *Scientific Reports*, 12(1), 3934. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07965-z>
- Ritter, A. V., Boushell, L. W., & Walter, R. (2018). Sturdevant's art and science of operative dentistry (7th ed., pp. 189-210). *St. Louis, MO: Elsevier*.
- Riva, Y., & Rahman, S. (2019). Dental composite resin: A review (Vol. 2193). *AIP Conference Proceedings* <https://doi.org/10.1063/1.5139331>
- RI, S., & Powers, J. (2012). Craig's Restorative Dental Materials. *Craig's Restorative Dental Materials*. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-65754-3>
- Roberson, T. M., Heymann, H. O., & Swift, E. J. (Eds.). (2002). Sturdevant's art and science of operative dentistry (4th ed.). *St. Louis, MO: Mosby Inc*.
- Rock, W. P. (1974). The use of ultra-violet radiation in dentistry. *British Dental Journal*, 136(11), 455-458. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4803213>
- Rueggeberg, F. A.ve ark. (1993). Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *American Journal of Dentistry*, 6(2), 91-95.
- Rueggeberg, F. A.ve ark. (2017). Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Brazilian Oral Research*, 31(suppl 1), e61. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0061>
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>

- Sengupta, A., *et al.* (2023). The clinical performance of bulk-fill versus the incremental layered application of direct resin composite restorations: a systematic review. *Evid Based Dent*, 24(3), 143. <https://doi.org/10.1038/s41432-023-00905-4>
- Shenoy, A. (2008). Is it the end of the road for dental amalgam? A critical review. *Journal of Conservative Dentistry*, 11(3), 99-107. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.45247>
- Shimazu, K., *et al.* (2011). Evaluation of the ion-releasing and recharging abilities of a resin-based fissure sealant containing S-PRG filler. *Dental Materials Journal*, 30(6), 923-927. <https://doi.org/10.4012/dmj.2011-124>
- Shobha, H. K., *et al.* (1997). Effect of dilution on the kinetics of cross-linking thermal polymerization of dental composite matrix resins. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 8(10), 583-586. <https://doi.org/10.1023/a:1018507116813>
- Sideridou, I., Tserki, V., & Papanastasiou, G. (2002). Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*, 23(8), 1819-1829. [https://doi.org/10.1016/s0142-9612\(01\)00308-8](https://doi.org/10.1016/s0142-9612(01)00308-8)
- Soares, C. J., *et al.* (2017). Radiopacity and porosity of bulk-fill and conventional composite posterior restorations—Digital X-ray analysis. *Operative Dentistry*, 42(6), 616-625. <https://doi.org/10.2341/16-146-l>
- Srivastava, R., *et al.* (2017). Fluorinated bis-GMA as potential monomers for dental restorative composite materials. *European Polymer Journal*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.03.027>
- Standardization, International Organization for. (2019). *ISO 4049:2019 Dentistry — Polymer-based restorative materials*. ISO.
- Syriopoulos, K., *et al.* (2000). Radiographic detection of approximal caries: A comparison of dental films and digital imaging systems. *Dentomaxillofacial Radiology*, 29(5), 312-318. <https://doi.org/10.1038/sj/dmfr/4600553>
- Tarcin, B., *et al.* (2016). Evaluation of radiopacity of bulk-fill flowable composites using digital radiography. *Operative Dentistry*, 41(4), 424-431. <https://doi.org/10.2341/15-153-L>
- Tarle, Z., *et al.* (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. <https://doi.org/10.1007/s00784-014-1302-6>
- Tas, A., & Koymen, S. (2025). Direkt restorasyonların yenilenme sebeplerinin değerlendirilmesi. *Selcuk Dental Journal*, 12, 304-308. <https://doi.org/10.15311/selcukdentj.1566922>
- Tomaszewska, I. M., *et al.* (2015). Bulk fill restoratives: To cap or not to cap—That is the question? *Journal of Dentistry*, 43(3), 309-316. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.01.010>
- Torno, V., *et al.* (2008). Effects of irradiance, wavelength, and thermal emission of different light-curing units on the Knoop and Vickers hardness of a composite resin. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 85(1), 166-171. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30929>
- Turgut, M. D., *et al.* (2003). Radiopacity of direct esthetic restorative materials. *Operative Dentistry*, 28(5), 508-514.
- Ure, D., & Harris, J. (2003). Nanotechnology in dentistry: reduction to practice. *Dentistry Update*, 30(1), 10-15. <https://doi.org/10.12968/denu.2003.30.1.10>
- Ünlü, N., & Çetin, A. R. (2008). Kompozit rezin materyallerin içeriklerindeki yeni gelişmeler. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*.

- Van Dijken, J. W., Wing, K. R., & Ruyter, I. E. (1989). An evaluation of the radiopacity of composite restorative materials used in Class I and Class II cavities. *Acta Odontologica Scandinavica*.
- van Noort, R., & Barbour, M. E. (2023). Introduction to dental materials (5th ed.). *St. Louis, MO: Elsevier*.
- Versteeg, C. H., *et al.* (1997). Efficacy of digital intra-oral radiography in clinical dentistry. *Journal of Dentistry*, 25(3-4), 215-224. [https://doi.org/10.1016/s0300-5712\(96\)00026-7](https://doi.org/10.1016/s0300-5712(96)00026-7)
- Vyas, A. *et al.* (2022). Comparing Radiopacity of Nanohybrid Composite and Giomers: An In Vitro Study. *University Journal of Dental Sciences*
- Wagle, M. *et al.* (2018). Dental caries and preterm birth: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, 8(3), e018556. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-018556>
- Waterhouse, P., *et al.* (2011). Pediatric endodontics: Endodontic treatment for the primary and young permanent dentition. In *Paediatric dentistry* (pp. 808–857). Elsevier.
- Watts, D. C., & McCabe, J. F. (1999). Aluminium radiopacity standards for dentistry: an international survey. *Journal of Dentistry*, 27(1), 73-78. [https://doi.org/10.1016/s0300-5712\(98\)00025-6](https://doi.org/10.1016/s0300-5712(98)00025-6)
- Wegehaupt, F. J., *et al.* (2014). Influence of light-curing mode on the cytotoxicity of resin-based surface sealants. *BMC Oral Health*, 14, 48. <https://doi.org/10.1186/1472-6831-14-48>
- White, S. C., & Pharoah, M. J. (2019). Oral radiology: Principles and interpretation (8th ed.). *Elsevier*.
- Willems, G., *et al.* (1993). Composite resins in the 21st century. *Quintessence Int*, 24(9), 641-658.
- Williams, J. A., & Billington, R. W. (1990). The radiopacity of glass ionomer dental materials. *Journal of Oral Rehabilitation*, 17(3), 245-248. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1990.tb00005.x>
- Wilson, K. S., & Antonucci, J. M. (2006). Interphase structure-property relationships in thermoset dimethacrylate nanocomposites. *Dental Materials*, 22(11), 995-1001. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.11.022>
- Wilson, K. S., *et al.* (2005). Systematic variation of interfacial phase reactivity in dental nanocomposites. *Biomaterials*, 26(25), 5095-5103. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.01.008>
- O'Brien, W. J. (2002). *Dental materials and their selection* (3rd ed.). Quintessence.
- Xu, X., *et al.* (2022). Multifunctional epoxy resin-based composites with excellent flexural strength and X-ray imaging capacity using micro/nano-structured QF-Bi₂SiO₅ fillers. *Journal of Materials Chemistry B*, 11. <https://doi.org/10.1039/D2TB02377F>
- Yang, Y., *et al.* (2024). Clinical evaluation of SonicFill bulk resin technique in the restoration of proximal deep caries of primary molars: a two-year randomized controlled trial. *BMC Oral Health*, 24(1), 1461. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05242-1>
- Yap, A. U., *et al.* (2005). Influence of dietary solvents on strength of nanofill and ormocer composites. *Operative Dentistry*, 30(1), 129-133.
- Yap, A. U., & Seneviratne, C. (2001). Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. *Operative Dentistry*, 26(5), 460-466.

- Yasa, E., *et al.* (2015). Evaluation of the radiopacities of bulk-fill restoratives using two digital radiography systems. *Operative Dentistry*, 40(5), E197-205. <https://doi.org/10.2341/14-074-L>
- Yaylacı, A., *et al.* (2021). Evaluation of the radiopacity of restorative materials with different structures and thicknesses using a digital radiography system. *Imaging Science in Dentistry*, 51(3), 261-269. <https://doi.org/10.5624/isd.20200334>
- Yıldırım, T., *et al.* (2016). Radiopacity of bulk fill flowable resin composite materials. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 20. <https://doi.org/10.4103/1119-3077.178919>
- Yoshida, M., *et al.* (2018). History of Digital Detectors in Intraoral Radiography. *Dental Health: Current Research*, 04. <https://doi.org/10.4172/2470-0886.1000135>
- Young, D. A., Nový, B. B., Zeller, G. G., *et al.* (2015). The American Dental Association Caries Classification System for clinical practice: A report of the American Dental Association Council on Scientific Affairs. *Journal of the American Dental Association*, 146(2), 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2014.11.018>
- Zaruba, M., *et al.* (2013). Comparison between different flow application techniques: SDR vs flowable composite. *Journal of Adhesive Dentistry*, 15(2), 115-121. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a28672>
- Zhou, X., *et al.* (2019a). Development and status of resin composite as dental restorative materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 136, 48180. <https://doi.org/10.1002/app.48180>
- Zhou, X., *et al.* (2019b). Development and status of resin composite as dental restorative materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(44). <https://doi.org/10.1002/app.48180>

EKLER

EK-1: Etik Kurul Onayı

Evrak Tarih ve Sayısı: 15.10.2025-640224



T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
Tıp Fakültesi Dekanlığı
Müdahale Olmayan Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu



Sayı : E-15235480-050.04-640224
Konu : 25-MOBAEK-344

15.10.2025

Sayın Doç. Dr. Canan BAYRAKTAR NAHİR
Öğretim Üyesi

Etik Kurulumuzun 30.09.2025 tarihli toplantısında görüşülen 25-MOBAEK-344 kayıt numaralı "Bulk-fill Kompozit Rezinlerin Süt ve Daimi Dişlerdeki Radyoopasitelerinin Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmanız gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup, çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına karar verilmiştir.

Bilgilerinizi rica ederim.

Doç. Dr. Muzaffer KATAR
Etik Kurul Başkanı

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu :BSU0TPCPV3 Pin Kodu :83382

<https://turkiye.gov.tr/ebd?ok=5695&eD=BSU0TPCPV3&eS=640224>

Adres:Kaleardı Mahallesi Muhittin Fıratoglu Caddesi Ali Şevki Erek Yerleşkesi Tıp Fakültesi-

Merkez/Tokat

Telefon:0 (356) 214 94 44 Faks:0 (356) 213 31 79

e-Posta:dekanliktip@gop.edu.tr Web:http://tipfak.gop.edu.tr

Kep Adresi:gaziosmanpasa.universitesi@hs03.kep.tr

Bilgi için: Zeliha Oğuz

Unvanı: Veri Hazırlama ve Kontrol

İşletmeni



Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

EK-2: G-Power Analizi

G-Power Protokolü

F tests - ANOVA: Fixed effects, special, main effects and interactions

Analysis: A priori: Compute required sample size

Input:	Effect size f	= 3.96
	α err prob	= 0.05
	Power (1- β err prob)	= 0.95
	Numerator df	= 18
	Number of groups	= 30
Output:	Noncentrality parameter λ	= 517.4928
	Critical F	= 8.6745191
	Denominator df	= 3
	Total sample size	= 33
	Actual power	= 0.9823994

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Zeynep Tuğran
Kişisel Bilgiler	Uyruğu: T.C. Doğum Tarihi ve Yeri:
İletişim Bilgileri	E-posta:
Öğrenim Bilgileri	Lise: Mustafa Kaynak Anadolu Lisesi Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Uzmanlık Eğitimi: Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı
İş Deneyimi	2023-halen: Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı