

SERGEN ÖZDEMİR

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

20.23-ANTALYA

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ  
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ  
ANABİLİM DALI

GÜNCEL BULK FİLL KOMPOZİTLERİN  
KONVERSİYON DERECELERİNİN MİKROSERTLİK  
YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Arş. Gör. Sergen ÖZDEMİR

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN  
Prof. Dr. Çağatay BARUTÇUGİL  
2023-ANTALYA

T.C  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ  
RESTORATİF DİŞ TEDAVİSİ  
ANABİLİM DALI

GÜNCEL BULK FİLL KOMPOZİTLERİN  
KONVERSİYON DERECELERİNİN MİKROSERTLİK  
YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Arş. Gör. Sergen ÖZDEMİR

DİŞ HEKİMLİĞİNDE UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN  
Prof. Dr. Çağatay BARUTÇUGİL

2023-ANTALYA

## ONAY SAYFASI

Dt. Sergen ÖZDEMİR tarafından sunulan bu çalışma jürimiz tarafından **oy birliği/oy çokluğu** ile Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalında Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir. 18/ 05 / 2023

### İmza

Üye : Prof. Dr. Çağatay BARUTÇUGİL Akdeniz Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Osman Tolga HARORLI Akdeniz Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Ayşe DÜNDAR Akdeniz Üniversitesi

Bu tez, ...../...../..... tarih ve ...../..... sayılı Yönetim Kurulu kararıyla belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

**Diş Hekimliği Fakültesi**

**Kurum Yöneticisi**

## ETİK BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı beyan ederim.

Dt. Sergen ÖZDEMİR

## TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimimde ve bu tezin oluşturulmasında çok büyük emekleri olan, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, hoşgörüsünü ve manevi desteğini her zaman hissettiren değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Çağatay BARUTÇUGİL'e,

Eğitimim boyunca teorik ve pratik anlamda deneyimlerini, yardımlarını ve anlayışlarını esirgemeyen hocalarım Doç. Dr. Ayşe DÜNDAR'a ve Prof. Dr. Osman Tolga HARORLI'ya,

Birlikte çalışmaktan keyif aldığım asistan arkadaşlarım ve klinik personelimize,

Bugünlere gelmemde çok büyük katkıları olan, yaşamımın her döneminde sevgilerini, desteklerini ve fedakarlıklarını esirgemeyen canım annem ve babama sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunuyorum

## ÖZET

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı güncel bulk fill kompozitlerin konversiyon derecelerinin mikrosertlik yöntemiyle in vitro olarak değerlendirilmesidir.

**Gereç ve Yöntem:** Bu in vitro çalışma için altı adet bulk fill rezin kompozit (SonicFill 2 (Kerr, ABD), VisCalor (Voco GmbH, Almanya), AdmiraFusion Extra (Voco GmbH, Almanya), Filtek Bulkfill (3M Espe, ABD), Fill-Up (Coltene Holding AG, İsviçre) ve GrandioSO Heavy Flow (Voco GmbH, Almanya) seçilmiştir. Bu altı farklı bulk fill kompozitin her biri 2 alt gruba ayrılarak Vickers Mikrosertlik Testine (Mikrotest, FM-310e, Türkiye) tabi tutulacaktır. On iki bulk fill rezin kompozit grubundan her grupta beş adet olmak üzere toplamda altmış örnek oluşturuldu. Örnekler, farklı derinlikteki 5 mm çapında teflon kalıplar kullanılarak her bulk fill kompozitten beş adet 2 mm'lik, beş adet 4 mm'lik derinliklerde silindirik şekilde hazırlandı. Örneklerin üst ve alt yüzeyini ayırt etmek için teflon kalıptan çıkarıldıktan sonra lateral yüzeyleri işaretlendi. Elde edilen numuneler Vickers Mikrosertlik Testine (Mikrotest, FM-310e, Türkiye) tabi tutuldu. Numunelerin mikrosertlik ölçümü, polimerizasyonun tam olarak tamamlanması için 24 saat sonra yapılmıştır. Örneklerin üst ve alt yüzeylerine 15 saniye boyunca cihazın indentörüyle 200 g yük beş farklı yere uygulandı, böylece her yüzeye beş diyagonal çentik oluşturuldu. Yük uygulaması, boyutları mikroskop altında belirlenen her yüzeyde simetrik bir girinti oluşturdu. Çentikler açıldıktan sonra mikrosertlik cihazının 50x büyütmeli merceği altına yerleştirilen örneklerde oluşan diyagonal şekilli çentiklerin köşegen uzunluklarının, sertlik cihazının x-y-z düzleminde hareket eden kolları yardımıyla belirlenmesi sonrası, cihaz tarafından otomatik olarak Vickers Sertlik (VH) değeri hesaplanmıştır. Her bir yüzeyden yapılan beş ölçümün ortalaması örneğin o yüzeyinin sertlik değeri olarak belirlenmiştir. İstatistiksel analizler için tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA), Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi ve bağımsız t testi kullanılmış, anlamlılık düzeyi  $p < 0,05$  olarak belirlenmiştir.

**Bulgular:** 2 mm kalınlığında hazırlanan örneklerin dönüşüm derecelerine bakıldığında en yüksek değer SonicFill 2 grubunda; en düşük değer ise Fill-Up grubunda görülmüştür. Fill-Up grubu diğer tüm gruplardan istatistiksel olarak anlamlı derecede düşüktür. Diğer gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

4 mm kalınlığında hazırlanan örneklerin dönüşüm derecelerine bakıldığında GHF grubu diğer gruplardan istatistiksel olarak anlamlı derecede düşüktür. ( $p < 0,05$ ) En yüksek dönüşüm derecesi ise VisCalor grubunda gözlenmiştir. AdmiraFusion Extra, Filtek Bulk Fill, SonicFill 2 ve VisCalor grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

**Sonuç:** Çalışmada kullanılan bulk fill rezin kompozitlerin tabaka kalınlığı arttıkça dönüşüm dereceleri istatistiksel olarak anlamlı derecede azalmıştır. Çalışmada kullanılan bulk fill kompozit rezinlerin tüm örneklerinde üst yüzey mikro sertlik değerleri alt yüzey mikro sertlik değerlerinden yüksek bulunmuştur. Çalışmamızda, uygulanan tabaka kalınlığının bulk fill rezin kompozitlerin mikro sertliğini ve dönüşüm derecesini etkilediği bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Bulk fill rezin kompozit, Vickers sertlik değeri, Konversiyon derecesi

## ABSTRACT

**Objective:** The aim of this study is to evaluate the conversion degrees of current bulk fill composites in vitro by microhardness method.

**Materials and Methods:** For this in vitro study, six bulk fill resin composites (SonicFill 2 (Kerr, USA), VisCalor (Voco GmbH, Germany), AdmiraFusion Extra (Voco GmbH, Germany), Filtek Bulkfill (3M Espe, USA), Fill-Up (Coltene Holding AG, Switzerland) and GrandioSO Heavy Flow (Voco GmbH, Germany) were selected. Each of these six different bulk fill composites will be divided into 2 subgroups and subjected to the Vickers microhardness test (Micromet, Buehler, USA). A total of sixty samples, five in each group, were created. The samples were prepared from each bulk fill composite in cylindrical shape, five 2 mm deep and five 4 mm deep, using Teflon molds of 5 mm diameter at different depths. The lateral surfaces were marked after the Teflon was removed from the mold. The obtained samples were subjected to the Vickers microhardness test (Microtest, FM-310e, Turkey) The microhardness measurement of the samples was made after 24 hours to complete the polymerization. A load of 200 g was applied to the upper and lower surfaces of the samples with the device's indenter for 15 seconds at five different locations, thus creating five diagonal notches on each surface. The application of the load created a symmetrical indentation on each surface whose dimensions were determined under the microscope. After the notches were opened, the diagonal lengths of the diagonal shaped notches formed in the samples placed under the 50x magnifying lens of the microhardness device were determined with the help of the arms of the hardness device moving in the x-y-z plane, and the Vickers hardness (VH) value was automatically calculated by the device. The average of five measurements made from each surface was determined as the hardness value of that surface of the sample. One-way analysis of variance (One-way ANOVA), Tukey HSD multiple comparison test and independent t test were used for statistical analysis, and the level of significance was determined as  $p < 0.05$ .

**Results:** Considering the conversion degrees of the samples prepared with a thickness of 2 mm, the highest value was in the Sonic Fill 2 group; the lowest value was seen in the Fill-Up group. Fill-Up group is statistically significantly lower than all other groups. ( $p < 0,05$ ) There is no statistically significant difference between the other

groups. When the conversion degrees of the samples prepared with a thickness of 4 mm are examined, the GrandioSO Heavy Flow group is statistically significantly lower than the other groups. The highest degree of conversion was observed in the VisCalor group. There was no statistically significant difference between the AdmiraFusion Xtra, Filtek Bulk Fill, Sonic Fill 2 and VisCalor groups.

**Conclusion:** The degree of conversion of the bulk fill composite resins used in the study decreased statistically significantly as the layer thickness increased. Upper surface microhardness values were found higher than lower surface microhardness values in all samples of bulk fill composite resins used in the study. In our study, it was found that the applied layer thickness affects the microhardness and degree of conversion of bulk fill resin composites..

**Key words:** Bulk fill resin composite, Vickers hardness value, Conversion degree.

## İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK BEYAN .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
TABLolar DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Rezin kompozitler.....	3
2.1.1. Organik Faz (matriks) .....	4
2.1.2. İnorganik faz .....	5
2.1.3. Ara faz (bağlama ajanı) .....	5
2.2. Bulkfill kompozitler.....	5
2.3. Bulkfill kompozitlerinin sınıflandırılması .....	6
2.3.1 Kondanse Edilebilen Bulkfill Rezin Kompozitler .....	6
2.3.2 Düşük viskoziteli (akışkan) Bulkfill rezin kompozitler .....	7
2.3.3 Sonik Aktivasyonla uygulanan Bulkfill Rezin Kompozitler .....	7
2.3.4 Dual-cure Bulkfill Rezin Kompozitler .....	7
2.3.5 Ön Isıtmalı Bulkfill Rezin Kompozitler.....	7
2.3.6 Ormoser Esaslı Bulkfill Rezin Kompozitler .....	8
2.4. Bulkfill kompozitlerin mekanik özellikleri.....	8
2.4.1. Kütleleme derinliği (DOC) .....	8
2.4.2. Polimerizasyon büzülmesi .....	9

2.4.3. Marjinal boşluk oluşumu.....	9
2.4.4 Dönüşüm derecesi .....	10
2.5 Yüzey sertliği ölçümü .....	10
2.5.1 Vickers mikrosertlik testi .....	11
2.5.2 Brinell sertlik testi .....	12
2.5.3 Knoop sertlik testi .....	12
2.5.4 Rockwell sertlik testi .....	13
2.5.5 Shore sertlik testi .....	13
2.5.6 Mohs sertlik testi .....	13
2.5.7 Barcol sertlik testi.....	13
2.5.8 Nano-indentasyon.....	14
<b>3. GEREÇ VE YÖNTEM.....</b>	<b>15</b>
3.1 Materyal seçimi .....	15
3.2 Örneklerin Hazırlanması .....	16
3.3 Vickers Mikrosertlik Testi: .....	19
<b>4.BULGULAR.....</b>	<b>21</b>
4.1. Vickers Ölçüm Değerleri .....	21
4.2 Kütleme Derinliği Bulguları .....	23
<b>5.TARTIŞMA.....</b>	<b>25</b>
<b>6.SONUÇ .....</b>	<b>34</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>35</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>ANOVA</b>	Analysis of Variance
<b>AFX</b>	Admira Fusion Extra
<b>Ark</b>	Arkadaşları
<b>ABD</b>	Amerika Birleşik Devletleri
<b>BFRC</b>	Bulk-Fill Rezin Kompozit
<b>Bis-GMA</b>	Bisfenol A-glisidil metakrilat
<b>C</b>	Konfigürasyon Faktörü
<b>DC</b>	Dönüşüm Derecesi
<b>dk</b>	Dakika
<b>DOC</b>	Kürleme derinliği
<b>DPH</b>	Elmas piramit sertlik numarası
<b>FBF</b>	Filtek Bulkfill
<b>FTIR</b>	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
<b>FUP</b>	Fill-up
<b>GHF</b>	GrandioSo Heavy Flow
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>Ivocerin</b>	Bis-(4-metoksibenzoil)diethyl-germane
<b>LED</b>	Light-Emitting-Diode

<b><math>\mu\text{m}</math></b>	Mikrometre
<b>mm</b>	Milimetre
<b><math>\text{mm}^2</math></b>	Milimetrekaire
<b>N</b>	Newton
<b>nm</b>	Nanometre
<b>RBC</b>	Rezin Bazlı Kompozit
<b>SCF</b>	Sonicfill 2
<b>sn</b>	Saniye
<b>TEGDMA</b>	Trietilenglikol dimetakrilat
<b>UV</b>	Ultraviyole
<b>UDMA</b>	Üretan dimetakrilat
<b>VHN</b>	Vickers sertlik numarası
<b>VVC</b>	VisCalor
<b>%</b>	Yüzde

## ŞEKİLLER DİZİNİ

**Şekil 2.5.1.1:** Vickers cihazı elmas ucunun girintisi.

**Şekil 3.1.1** Çalışmada kullanılan bulkfill kompozitler; A) FUP, B) GHF, C) AFX, D) FBF, E) SCF, F) VVC

**Şekil 3.2.1** Çalışmada kullanılan teflon kalıplar, A) 2mm B) 4 mm

**Şekil 3.2.2** Numunelerin hazırlanması

**Şekil 3.2.4** Çalışmada kullanılan ışık cihazı

**Şekil 3.2.4 A)** Lateral yüzeyleri işaretlenen örnekler B) Amber renkli şişe

**Şekil 3.3.1** Vickers mikrosertlik testi cihazı

**Şekil 3.3.2** Vickers mikrosertlik ölçümü işlem basamakları A) 15 sn. boyunca 25 gr'lık yük uygulanması B) Oluşan girintinin x50 büyütmele mercekten incelenmesi C) Köşegen uzunluğunun x düzleminde belirlenmesi D) Köşegen uzunluğunun y düzleminde belirlenmesi

**Şekil 4.1.1** 2 mm kalınlığındaki rezin kompozit örnekleri arasında üst ve alt Vickers değerleri gösterilmektedir. “\*” işareti bağımsız örneklerin t-testi sonuçlarına göre üst ve alt değerler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir.

**Şekil 4.1.2:** 4 mm kalınlığındaki rezin kompozit örnekleri arasında üst ve alt Vickers değerleri gösterilmektedir. “\*” işareti bağımsız örneklerin t-testi sonuçlarına göre üst ve alt değerler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir.

## TABLULAR DİZİNİ

**Tablo 3.1.1:** Çalışmada kullanılan bulkfill kompozitlerin özellikleri

**Tablo 4.1.1:** Gruplara ait Vickers değerleri ortalamaları ve standart sapmaları

**Tablo 4.2.1:** Kütleme derinliği değerleri ortalamaları ve standart sapmaları (%)



## 1. GİRİŞ

1960'larda posterior restorasyonlar için kullanılmaya başlanmasından bu yana rezin kompozitler, diş dokularını yansıtabilen estetik özellikleri sayesinde diş hekimliğinde yaygın olarak tercih edilmektedir.<sup>(1)</sup> Yüksek estetik özellikleri sayesinde rezin kompozitlerin restoratif prosedürlerde kullanımı yıllar içinde artmıştır.<sup>(2)</sup> Resin kompozitler, günümüzde dişlerin direkt restorasyonu için en çok kullanılan materyallerdir, esas olarak estetik özellikleri nedeniyle, diş hekimliğinde tarihsel olarak kullanılan diğer materyallerle karşılaştırıldığında oldukça popülerdirler.<sup>(3)</sup>

Resin kompozit restorasyonların çoğunda, özellikle yüksek Konfigürasyon (c) faktörlü kavitelere inkremental teknik yaygın olarak kullanılmaktadır.<sup>(4)</sup> Materyalin tamamen kürlenmesi için her kompozit tabakası 2 mm'den fazla olmayacak şekilde kaviteye yerleştirilir ve yeterli bir enerji yoğunluğu verildiğinde ışıkla sertleştirme gerçekleştirilir.<sup>(5)</sup> Ayrıca, literatürde rezin kompozitin ışıkla sertleştirilmesinin hacimsel büzümeye neden olduğu ve bunun da adeziv ara yüzde büzümme gerilimi ile sonuçlandığı bilinmektedir.<sup>(6)</sup> Büzümme gerilimi; tüberküllerin bükülmesine, mine ve dentin çatlaklarına, post operatif hassasiyete, pulpa iltihabına ve adeziv ara yüzün ayrılmasına neden olabilir.<sup>(7)</sup> Bu olaylar zamanla marjinal infiltrasyona ve sekonder çürüklere ve dolayısıyla rezin kompozit restorasyonun başarısız olmasına neden olabilir.<sup>(8)</sup>

Bulkfill kompozitler, yakın zamanda tanıtılan rezin esaslı materyallerdir. Bulkfill kompozitler, tabakalar arası kontaminasyon riskinin, oksijen inhibisyonunun ve hava boşluğu kalma ihtimalinin az olması, artan translusentlik ve bu sayede ışığın daha derinlere penetre olması gibi özellikleriyle geleneksel kompozitlere göre polimerizasyonun daha iyi olduğu iddia edilen kompozitlerdir.<sup>(9)</sup> Bulkfill rezin kompozitleri, restoratif tekniği basitleştirmek için 4 - 5 mm 'lik tek bir tabakayla posterior kavitelere yerleştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır.<sup>(10)</sup> Çalışma süresini geleneksel kompozitlere kıyasla yarıya indirebilirler.<sup>(11)</sup> Diğer avantajları ise, hekime uygulama kolaylığı sağlaması, kompozit tabakasının adaptasyonunun daha iyi sağlanarak tabakalar arasında boşluk oluşmaması, çiğneme kuvvetlerine karşı aşınma direncinin iyi olması, yeterli radyoopasite, yüzey özellikleri ve renk uyumunun klinik olarak kabul edilebilir seviyede olmasıdır.<sup>(12)</sup> Ancak nispeten yeni geliştirilen bu rezin kompozitlerin hala başta kürlenme dereceleri olmak üzere mekanik özellikleri

konusunda araştırmalar devam etmektedir. Bu tez çalışmasının amacı en güncel ve farklı özelliklere ve uygulama yöntemlerine sahip bulkfill rezin kompozitlerin farklı kalınlıklarda uygulanmasının ardından yüzey mikro sertliklerinin ve krleme derinliklerinin in-vitro Őartlarda değerlendirilmesidir.



## 2. GENEL BİLGİLER

Rezin esaslı kompozit materyaller, 1950'lerin sonlarında geliştirilmelerinden bu yana diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal dişleri taklit eden estetik özelliklere sahip olmasının yanı sıra, adezivler kullanarak diş yapısına bağlanabilmesi sayesinde retansiyon elde etmek için sağlıklı dokuların kaybını gerektirmemeleri en önemli avantajlarından. Bu sayede rezin kompozitler, ön ve arka grup dişlerin çürük lezyonlarının ve dişlerdeki defektlerin direkt ve indirekt restorasyonları, direkt ve indirekt estetik restorasyonlar, indirekt restorasyonlar için yapıştırma simanı veya ortodontik braketlerin yapıştırılması gibi diş hekimliğinde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.<sup>(13)</sup>

### 2.1. Rezin kompozitler

Direkt fotopolimerize olabilen rezin esaslı kompozitler, son otuz yılda önemli ölçüde gelişmiştir ve modern adeziv diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hastaların estetik nedenlerle diş renginde restorasyonlara olan talebi, dental amalgamlardaki cıva ile ilgili endişeler ve ayrıca sağlıklı diş dokularını koruma çabası, dental amalgamın artık arka dişlerin restorasyonunda rutin olarak kullanılmamasının ana nedenleridir.<sup>(14)</sup> Ek olarak, fiziksel ve mekanik özelliklerindeki önemli gelişmeler, uygun kullanım özellikleri, oral sıvılarda göreceli çözünmezlik ve geniş bir renk ve yarı saydamlık yelpazesi, rezin kompozitlerin restoratif diş hekimliğinde en popüler materyal haline gelmesine yol açmıştır.<sup>(15)</sup>

Restoratif prosedürlerde rezin kompozit kullanımı, mine ve dentini etkileyebilen, kırıklara neden olabilen ve global prevalansı %35 olan çürük lezyonlarından etkilenen posterior dişler için ilk tercihtir.<sup>(16)</sup> Diş hekimlerinin ihtiyaçlarına ve araştırma sonuçlarına göre kompozitlerin mekanik, fiziksel, biyolojik ve estetik özellikleri her geçen gün iyileştirilmektedir.<sup>(17)</sup>

Bu restorasyonların başlıca avantajları, makro-mekanik retansiyon alanlarına ihtiyaç duymadan konservatif kavite preparasyonları, sağlıklı diş yapısının maksimum düzeyde korunması ve zayıf tüberküllerin adeziv olarak güçlendirilmesidir. Ayrıca, tedavi için ayrılan daha az sürede iyi bir estetik elde edilirken, maliyetler indirekt seramaik esaslı restoratif tekniklere göre minimumda tutulur.<sup>(18, 19)</sup> Endikasyonlar

dahilinde ve üreticilerin talimatlarına uygun olarak kullanıldığında, posterior kompozit restorasyonlar ayrıca mükemmel bir klinik uzun ömür sergiler.<sup>(20, 21)</sup>

Diş hekimliğinde kullanılan rezin kompozitler, çok daha yumuşak bir rezin matrisi ile birbirine bağlanmış sert, inorganik parçacıkların bir karışımını içerir.<sup>(22)</sup> Genel olarak, dental rezin kompozitler üç fazdan oluşur.

### **2.1.1.Organik Faz (matriks)**

Dental rezin kompozit materyalleri için elverişli bir matrisin geliştirilmesi sırasında, uygun kür ajanlarının eksikliği ve zayıf renk stabilitesi gibi çok sayıda zorlukla karşılaşmıştır.<sup>(23)</sup> Bowen, 1958 yılında, TEGDMA (trietylenglikol dimetakrilat) ile inceltiren bisfenol A ve glisidilmetakrilat reaksiyon ürününün uygun bir katalizör sistemi ile oda sıcaklığında 3 dakika içerisinde sadece %5 polimerizasyon büzülmesi ile kürleneceğini bulmuştur.<sup>(24)</sup> Bu rezin kullanılarak oluşturulmuş bir matriks ile formüle edilen kompozitin, çok iyi fiziksel ve mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Günümüzde birçok kompozit, bisfenol A glisidil metakrilat için kısaltılmış bir terim olan "BisGMA" olarak adlandırılan bu monomer sistemini kullanmaktadır. BisGMA yüksek moleküler ağırlıklı bir monomerdır ve rezin kompozitler için sertleştirilebilir kıvamlı bir materyal sağlamaya yardımcı olur.<sup>(25)</sup> Ancak bu akışkan materyal çok viskozdur. Kullanıma uygun makul bir kıvam elde etmek için, düşük moleküler ağırlıklı ve düşük viskoziteli diğer metakrilat monomerlerinin eklenmesiyle seyreltilir. Üreticiler, "işlenebilir" bir rezin üretmek için yaklaşık %25 trietylenglikol dimetakrilat (TEGDMA) ekler.<sup>(22)</sup> Geleneksel rezin kompozitlerde organik matriksin diğer bileşenleri <sup>(25)</sup>: (i) polimerizasyon inhibitörü; raf ömrünü ve çalışma süresini uzatmak için hidrokinon monometileter, (ii) bir katalizör; polimerizasyonu başlatmak için benzoil peroksit, (iii) sadece kimyasal olarak kürlenmiş kompozitte bulunan "ko-katalizör" olarak da adlandırılan bir üçüncül aromatik amin; örneğin polimerizasyonu hızlandırmak için N,N-dihidroksietil-p toluidin, (iv) bir UV aktivatörü; ışıkla sertleşen kompozitlerde sadece polimerizasyonu başlatmak için mevcut olan benzoin metileter ve (v) renk stabilizesini iyileştirmek, yani güneş ışığına maruz kaldığında materyaldeki renk değişimini en aza indirmeyi sağlayan bir UV soğurucu olan 2 hidroksi-4-metoksibenzofenon'dir.

### 2.1.2. İnorganik faz

Organik faz içine dağılmış farklı boyutlardaki kuartz, borosilikat cam, lityum alüminyum silikat, stronsiyum, çinko, zirkonyum, itriyum cam koloidal silika, baryum, gibi inorganik doldurucu partiküllerden oluşur. Bu partiküllerden olan silika, mekanik özellikleri güçlendirir, ışığa karşı geçirgenlik sağlar ve ışığın yayılmasını sağlar. Stronsiyum, baryum, itriyum ve çinko ise rezine radyoopasite sağlar. Bu durum rezin kompozitte mineye benzeyen translüsent bir görüntü oluşmasını sağlar.<sup>(26)</sup>

### 2.1.3. Ara faz (bağlama ajanı)

Bu faz, organik rezin matrisini ve inorganik dolgu partiküllerini birbirine bağlayan genellikle bir organo-silan olan iki kutuplu bir kimyasal ajandan ve ko-polimerik veya homopolimerik bir bağdan oluşur.<sup>(27)</sup> Doldurucunun rezine stabil bir şekilde yapışması, kompozitin sağlamlığı ve dayanıklılığı için esastır. Örneğin, yeterli bir bağın olmaması, doldurucunun yüzeyden ayrılmasına veya doldurucu-matris ara yüzeyi boyunca suyun penetrasyonuna izin verecektir. Bu sebeple, üretici doldurucu yüzeyini uygun bir 'bağlayıcı ajan', yani 3 metakriloksi propiltrimetoksi silan ile kaplar.<sup>(23)</sup> Bu tür bağlayıcı ajanlar, doldurucu-rezin ara yüzeyinde bir stres emici olarak da işlev görebilir.<sup>(24)</sup>

## 2.2. Bulkfill kompozitler

Geleneksel hibrit kompozit materyaller, polimerizasyon stresi ve sınırlı kür derinliği sorunlarının üstesinden gelmek için genellikle 2 mm'lik bir katman kalınlığına sahip inkremental tabakalama tekniğiyle işlenir.<sup>(28)</sup> İnkremental teknik, rezin kompozitin çoklu tabakalarla, her bir tabaka belirli bir kalınlıkta (2 mm veya daha az) oblik veya basamak bir şekilde yerleştirilerek ve ayrı ayrı polimerize edilerek yerleştirilmesini içerir.<sup>(29)</sup> Böylece teknik, materyali kürlemek için yeterli ışık penetrasyonuna izin verir. Ayrıca, C faktörünü (bağlı yüzeyin bağlanmamış serbest yüzeye oranı) azaltır. Bununla birlikte, bu tekniğin artan çalışma zamanı ve tabakalar arasında hava boşlukları içermesi gibi bazı dezavantajları vardır.<sup>(30)</sup> Ayrıca tabakalama tekniğiyle rezin kompozitlerde özellikle sınırlı erişim imkanı olabilen arka bölge restorasyonlarında, izolasyon, yerleştirme, ideal kontakt ve konturlar elde etme gibi teknik zorluklar oluşabilir.<sup>(31)</sup>

Bulkfill kompozitler, yakın zamanda tanıtılan ve kullanımları giderek artan en güncel rezin esaslı materyallerdendir. Bulkfill rezin kompozitleri, 4-5 mm'lik tek bir tabakayla

posterior kavitelere yerleştirilebildiklerinden restoratif tekniği basitleştirmek için tasarlanmıştır.<sup>(10)</sup> Bu yolla çalışma süresini geleneksel kompozitlere kıyasla yarıya indirebilecekleri iddia edilmektedir.<sup>(11)</sup> Bazı çalışmalar, bulkfill materyallerin geleneksel rezin kompozitlere göre daha fazla kür derinliğine ve daha düşük polimerizasyon kaynaklı büzülme stresine sahip olduğu iddiasını desteklemektedir.<sup>(32)</sup> Daha az internal stres ile artan kür derinlikleri görülüyorsa, yüksek C faktörlü kavitelere bulkfill restoratif ürünler geleneksel kompozit materyallere uygun alternatifler olarak kabul edilebilir. Azaltılmış polimerizasyon stresi, boşluk oluşumunun insidansını azaltacak ve inkremental şekilde yerleştirilmiş geleneksel kompozitlere kıyasla daha iyi iç adaptasyon ile sonuçlanacaktır.<sup>(33)</sup>

Geleneksel kompozitlerin yukarıda bahsedilen dezavantajlarının üstesinden gelmek ve rezin kompozit materyalin bulkfill olarak yerleştirilmesine izin vermek için materyalin yapısında çeşitli modifikasyonlar yapılmıştır. Bunlar; <sup>(11)</sup>

- 1) Akışkan bulkfill materyallerde daha düşük doldurucu içeriği;
- 2) Derin tabakalara ışık geçirgenliğini arttırmak için doldurucu türünde değişiklik;
- 3) Yüksek kuantum verimine sahip daha verimli fotoinitatorler;
- 4) Kürleme sırasında stresin azalmasını sağlamak için monomer sistemin kimyasında yapılan değişiklikler

Bununla birlikte, bir kompozitin bulk tekniğe gerçekten uygun olması için birkaç kriterin karşılanması gerekir. Kürleme derinliğinin artması ve polimerizasyon büzülme sorunlarının etkili bir şekilde ele alınmasının yanı sıra kompozit, erken başarısızlıkları önlemek için yeterli aşınma ve kırılma direncine ve kabul edilebilir boyutsal stabiliteye sahip olmalıdır.<sup>(34)</sup>

## **2.3. Bulkfill kompozitlerinin sınıflandırılması**

### **2.3.1 Kondanse Edilebilen Bulkfill Rezin Kompozitler**

Bulkfill kompozitler, geleneksel kompozitlerden (maksimum 2 mm) daha kalın tabakalar halinde (4 mm ve üzeri) yerleştirilmek üzere tasarlanmıştır. Kondanse edilebilen bulkfill kompozitlere Filtek Bulkfill (3M Espe, St.Paul, MN, ABD), Tetric EvoCeram Bulkfill (Ivoclar/Vivadent AG, Schaan, Lihtenştayn), X-tra fill (Voco GmbH, Cuxhaven, Almanya), Reveal HD Bulk (Bisco Dental, Schaumburg, IL, ABD) örnek verilebilir. <sup>(35)</sup>

### **2.3.2 Düşük viskoziteli (akışkan) Bulkfill rezin kompozitler**

Düşük viskoziteli, ışıkla sertleşen akışkan materyaller, düşük aşınma direnci ve sertlik özelliklerinden dolayı restorasyonu bitirmek için geleneksel bir kompozit katmanına ihtiyaç duyarlar. <sup>(35)</sup> Spesifik uygulamalar dışından genellikle kaide olarak kullanılan bu akışkan bulkfill rezin esaslı kompozitlere GrandioSO Heavy Flow (Voco GmbH, Cuxhaven, Almanya), SDR (Caulk Dentsply, York, PA, USA), Filtek Bulkfill Flowable (3M Espe, St.Paul, MN, ABD), Venus Bulkfill (Kulzer, Hanau, Almanya), Tetric EvoFlow Bulkfill (Ivoclar/Vivadent AG, Schaan, Lihtenştayn), X-tra base (Voco GmbH, Cuxhaven, Almanya), Parkell LC Base Bulkfill (Parkell Inc., Edgewood, NY, ABD) örnek olarak gösterilebilir. <sup>(36-39)</sup>

### **2.3.3 Sonik Aktivasyonla uygulanan Bulkfill Rezin Kompozitler**

Yüksek viskoziteli bulkfill kompozit olan Sonic Fill 2, Kerr firması tarafından üretilmiştir ve sonik titreşim kullanımıyla düşük viskoziteli (materyalin kaviteye akmasına izin veren) hale getirilmiştir. Üretici, yerleştirme sırasında materyalin viskozitesini azaltmak için özel olarak üretilmiş bir el aleti ilk uygulanan sonik enerji ile etkinleştirilen, yüksek dolduruculu bu rezin kompozitin daha viskoz bir duruma dönmeden önce kaviteye akıcı olarak uygulanabildiğini belirtmektedir. <sup>(35)</sup> Sonik titreşimlerden kaynaklanan akıcı özellikler, materyalin kavite duvarlarına yakın bir şekilde adapte olmasını sağlar.

### **2.3.4 Dual-cure Bulkfill Rezin Kompozitler**

Dual-cure bulkfill rezin kompozitler, restorasyon yüzeyinin cilalanabilmesi için ışıkla sertleştirmeye imkan sağlayarak hem kimyasal hem de ışıkla sertleştirme teknolojisini birleştirmeyi amaçlar, aynı zamanda restorasyonun tüm katmanları zaman içinde kimyasal olarak sertleşir. Fill-Up (Coltene Whaledent, Alstatten, İsviçre), BulkeZ (Danville Materials, Carlsbad, CA, ABD), HyperFIL (Parkell Inc., Edgewood, NY, ABD), Injectafil DC (Apex Dental Materials, WI, ABD) dual cure bulkfill kompozitlere örnek gösterilebilir. <sup>(40)</sup>

### **2.3.5 Ön Isıtmalı Bulkfill Rezin Kompozitler**

Yeni nesil bazı bulkfill rezin kompozitler ise, yerleştirme öncesi ısıtılmak üzere tasarlanmıştır. Bu bulkfill rezin kompozitlerde, ısıtma yöntemi sayesinde materyal uygulama esnasında akışkan kıvamda, daha sonrasında ise hemen modelajı yapılabilecek visköz bir kıvam almaktadır. Calset Heater (AdDent Inc., Danbury, CT,

ABD) ve ENA Heat (Micerium, Avegno, İtalya) gibi mevcut ön ısıtma cihazları, 37–68 °C çalışma sıcaklık aralığına sahiptir. Önden ısıtılmalı Bulkfill Viscalor (Voco GmbH, Cuxhaven, Almanya), Caps Warmer cihazıyla kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu cihazın 37–68 °C sıcaklık aralığını kapsayacak şekilde üç çalışma modu (T1, T2 ve T3) vardır.

### **2.3.6 ORMOSER Esaslı Bulkfill Rezin Kompozitler**

ORMOSER olarak adlandırılan organik olarak modifiye edilmiş seramikler, metakrilat esaslı rezin yapısına alternatif olarak üretilmiş bir materyal sınıfını temsil eder. Polimerizasyon büzülmesinin dezavantajlarının üstesinden gelmek için, ormoserler sadece organik değil, aynı zamanda inorganik bir ağıdan oluşur. Bu ağı, monomerleri daha iyi yerleştirmesi ve geleneksel kompozitlere kıyasla daha düşük bir monomer salınımına yol açması beklenir. AdmiraFusion Extra (Voco GmbH, Cuxhaven, Almanya) ormoser bazlı bulkfill rezin kompozitlerin en güncel örneklerinden biridir. <sup>(41)</sup>

## **2.4. Bulkfill kompozitlerin mekanik özellikleri**

### **2.4.1. Kürleme derinliği (DOC)**

Kürleme (polimerizasyon) derinliği, belirli koşullar altında bir ışık kaynağına maruz kaldığında monomerleri polimere dönüşebildiği ışıkla sertleşen bir rezinin kalınlığı olarak tanımlanır. <sup>(42)</sup> Rezin kompozitin yeterli polimerizasyonunu sağlamak için geleneksel kompozit restorasyonlarının 2 mm'lik tabakalarla yerleştirilmesi ve kürlenmesi gerektiği yaygın olarak kabul edilmektedir. <sup>(30)</sup> Bazıları dual-cure olmasına rağmen, bulkfill rezin kompozitlerin çoğu tamamen ışıkla polimerize edilir. Üreticiler, çeşitli yöntemlerle polimerizasyon derinliğini artırmaya çalışmışlardır: <sup>(43)</sup> Bunlardan bazıları;

- Doldurucu içeriğinin azaltılması
- Artan doldurucu partikül boyutu
- İlave foto başlatıcıların kullanımı

Geleneksel rezin kompozitlerde, doldurucu içeriğinin azaltılması ve kompozit içindeki doldurucu boyutunun artırılması, rezin-doldurucu ara yüzündeki saçılma miktarını azaltır ve foto başlatıcıyı aktive edebilen emilen ışık miktarını artırır. <sup>(44)</sup>

Kürleme derinliğinin ölçülmesinde birden fazla metod kullanılır. Örneğin, ISO 4049 spesifikasyonu, yeterince polimerize olmamış materyalin uzaklaştırılması için bir kazıma yöntemini öngörür, daha sonra numune yüksekliği basitçe ölçülür ve ikiye bölünür. Diğer bir durumda veriler genellikle alttan üste sertlik oramı veya ölçülen maksimum sertliğin yüzdesi gibi yüzde cinsinden ifade edilir. Ayrıca polimerizasyon derinliği, (mikro) Raman veya Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ile doğrudan ölçülebilen, dönüşüm derecesine bağlı olarak da değerlendirilebilir. Polimerizasyon derinliği indirekt olarak mikrosertlik testleri (Vickers, Knoop, Rockwell, Brinell, Shore) ile değerlendirilebilir.

#### **2.4.2. Polimerizasyon büzülmesi**

Kürlemede meydana gelen polimerizasyon büzülmesinin etkisini azaltmak için ışıkla sertleşen rezin kompozitlerin tamamen inkremental olarak yerleştirilmesi önerilir.<sup>(44)</sup> Polimerize edilmemiş rezin kompozit kavitenin birden fazla duvarına temas ettiğinde c-faktörünü artırır. Bu büzülme stresi de, diş ile restoratif materyal arasındaki en zayıf bağlantı yüzeyinde restorasyonun başarısız olmasına neden olabilir. Bu da ikincil çürük, marjinal lekelenme, diş kırılması ve işlem sonrası hassasiyet gibi bir dizi potansiyel soruna neden olabilir. Bulkfill materyallerinin üreticileri, daha fazla kalınlıkta yerleştirildiğinde geleneksel kompozitlerden daha düşük polimerizasyon stresleri oluştuğunu iddia eder.<sup>(44)</sup> Ancak, bulkfill rezin kompozitlerin geleneksel rezin kompozitlerle karşılaştırıldığında benzer hacimsel büzülmeye sahip olduğu gösterilmiştir, bu da bu materyalleri kullanmanın bir faydası olmadığını düşündürür.<sup>(45)</sup> Bununla birlikte, spesifik olarak büzülme stresine bakıldığında, in vitro çalışmalar, bulkfill kompozitlerin geleneksel kompozitlerden daha az büzülme stresi sergilediğini göstermiştir.<sup>(12)</sup> Bu, bulkfill kompozitlerinin büzülürken, bunun mutlaka marjinal bütünlüğün zararına olması gerekmediğini göstermektedir. Üreticiler, daha düşük bir elastik modülüne sahip olan büzülme stres gidericilerinin dahil edilmesi olmak üzere, büzülme stresi etkisini çeşitli şekillerde değiştirmiştir.<sup>(46)</sup>

#### **2.4.3. Marjinal boşluk oluşumu**

Marjinal boşluk oluşumuna ve adaptasyona bakıldığında, tartışmalı sonuçlar olduğu görülmüştür. Bazıları, geleneksel rezin kompozit ile karşılaştırıldığında bir dizi bulkfill rezin kompozit arasında istatistiksel bir fark göstermezken, bazı çalışmalarda ise, geleneksel rezin kompozitlerle karşılaştırıldığında bulkfill rezin kompozitlerin marjinal sızdırmazlığında bir gelişme olduğunu öne sürmüştür.<sup>(47, 48)</sup> Başka bir

çalışma, daha yüksek viskoziteli bulkfill kompozitlerin daha büyük marjinal boşluk oluşumuna neden olduğunu bulmuştur.<sup>(49)</sup> Yüksek viskoziteli materyallerle bu sorunun üstesinden gelmenin bir yöntemi, bunları yerleştirmeden önce ısıtmak ve/veya kavite tabanını kapatmak için düşük viskoziteli bir rezin kompozit kullanmaktır. Dual-cure bulkfill kompozitler ayrıca sertleştirme sonrası kabul edilebilir marjinal adaptasyon göstermişlerdir.<sup>(50)</sup>

#### **2.4.4 Dönüşüm derecesi**

Dönüşüm derecesi, polimerik bir rezin oluşturmak için tekli bağlara (-C-C-) dönüştürülen karbon-karbon çift bağlarının (-C=C-) yüzdesi olarak tanımlanmıştır.<sup>(42)</sup> Işıkla polimerize olan rezin kompozitlerin polimerizasyon etkinliğini direkt olarak değerlendirebilmek için, laboratuvarında ölçülen temel özelliklerden biri dönüşüm derecesidir (DC).<sup>(51)</sup> DC, Mikro Raman veya Fourier Transform Infrared (FTIR) (Kızılötesi) spektroskopisi kullanılarak doğrudan ölçülebilir.

Rezin kompozit restorasyonun klinik başarısı, polimerizasyon derinliği, polimerizasyon derecesi, polimerizasyon büzülmesi, lineer termal genişleme katsayısı, elastisite modülü, aşınma direnci, C faktörü vb. gibi çeşitli parametrelere bağlıdır.<sup>(52)</sup> İki mm'lik tabakalar, kompozit yerleştirme ve polimerizasyon için altın standarttır. Işık rezin kompozitden geçtiğinde, ışınlanmış yüzeyden mesafe arttıkça dönüşüm derecesinde kademeli bir azalma olur ve bu da monomerin elüsyonuna ve restorasyonun başarısız olmasına neden olur. Daha büyük posterior restorasyon vakalarında veya kompozit restorasyonların endike olduğu kor yapımı prosedürleri sırasında oldukça hassas bir teknik gerektirir ve zaman alıcıdır. Bu sorunları çözmek için üreticiler yakın zamanda, maksimum 4 mm'lik bir tabakayla kullanılabilen bulkfill kompozitleri geliştirmiştir.

#### **2.5 Yüzey sertliği ölçümü**

Bir restoratif materyal üzerine kuvvet uygulandığında fazla deformasyon meydana gelmemesi için olabildiği kadar katı ve sert olmalıdır. Devamlı kuvvet uygulandığında, yapısal değişim meydana gelmektedir. İlk zamanlarda deformasyon tamamen geriye dönüşümlü (elastik gerilme) olsa da sürekli devam eden bir kuvvet sonucunda geriye dönüşü olmayan bir gerilme oluşur (plastik gerilme) ve daimi deformasyon meydana gelir. Plastik deformasyonun oluşmaya başladığı nokta elastik limit olarak adlandırılır. Plastik gerilme devam ederse, kırılma ve kopmalar meydana gelmektedir.<sup>(53-56)</sup> Elastik

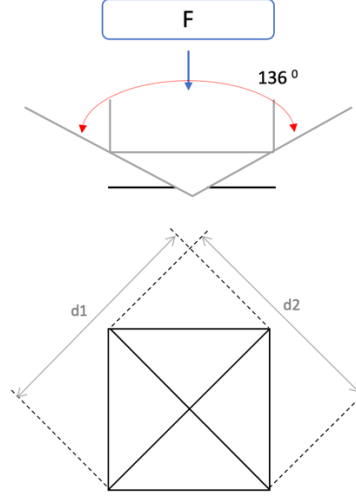
limiti ölçerken, genellikle farklı materyallerin plastik deformasyon başlangıçları karşılaştırılır ve bu amaçla sertlik testleri de denilen çizme ve batırma testleri kullanılır. <sup>(56)</sup>

Restoratif materyallerin sertlik değeri ölçümünde Brinell, Knoop, Vickers Rockwell, Shore, Mohs, Barcol, Nano- İndentasyon testleri kullanılır. Her testin kendine özgü bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Test yöntemlerinin hepsinde genel olarak materyalin yüzeyine simetrik şekilli küçük bir uç penetre edilerek sertlik değeri ölçülür. Her test yönteminde penetre edilen ucun yapısı, geometrisi ve yüzeye uyguladığı kuvvet farklıdır. Kullanılan uç materyal olarak tungsten karpit, çelik veya elmas; şekil olarak ise küre, konik, piramit ya da çubuk şeklinde olabilir. Sertlik testi seçimi, materyalin kullanıldığı alana ve materyalden beklenen sertlik değerine bağlıdır. Sertlik testi prosedüründe, penetrasyon noktasında uca standart kuvvet veya ağırlık uygulanır. Uygulanan kuvvete bağlı olarak, materyalde oluşturulan alanın derinliği, genişliği veya boyutu bir mikroskop altında ölçülür. Materyal yüzeyinde meydana gelen girintinin ölçümü sertlik değerini verir. <sup>(57)</sup>

### 2.5.1 Vickers mikrosertlik testi

Vickers mikrosertlik testi, girinti olarak kare tabanlı bir elmas piramit kullanır. Piramidin karşılıklı yüzleri arasındaki açı 136°'dir. (Şekil 2.5.1.1) Girintinin şekli nedeniyle, teste genellikle elmas piramit sertlik testi denir. Elmas piramit sertlik numarası (DPH) veya Vickers sertlik numarası (VHN), girintinin yüzey alanına bölünen yük olarak tanımlanır. Pratikte, girinti alanı, ölçünün köşegenlerinin uzunluklarının mikroskobik ölçümlerinden hesaplanır. <sup>(58)</sup> Vickers sertlik numarası aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır; <sup>(58, 59)</sup>

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = 1,854P/L^2$$



**Şekil 2.5.1.1:** Vickers cihazı elmas ucunun girintisi.

$P$  uygulanan yük (kg),  $L$  diyagonalin ortalama uzunluğu (mm) ve  $\theta$  elmasın karşılıklı yüzleri arasındaki açıdır ( $136^\circ$ ). Mikrosertlik testlerinin çoğu, belirli bir yükte materyalin yüzeyine nüfuz eden küçük simetrik girinti kullanır.

### 2.5.2 Brinell sertlik testi

1,6 mm çaplı çelik ya da tungsten karpit bir kürenin 123 N kuvvetle materyale uygulanarak meydana gelen izin ölçülmesinden oluşan, diş hekimliğinde metal ve alaşımların sertliğini ölçmede kullanılan en eski metotlardan biridir. Çelik ya da tungsten karpit uç bu yük altında materyale 30 sn tatbik edilir. Daha sonra oluşan girintinin boyutları mikroskop altında ölçülür. <sup>(56)</sup>

### 2.5.3 Knoop sertlik testi

Knoop sertlik testinde kuvvet özenle dizayn edilmiş piramit şekilli elmas bir uca uygulanır, materyalde oluşan köşegen şekilli izin boyutları mikroskop altında ölçülür. Knoop sertlik testinin avantajı oldukça geniş bir aralıktaki materyal grubuna uygulanabilmesidir. Çünkü çok düşük miktarda yük uygulamaları dahi materyalde hassas mikrogirintiler oluşturur. Örneğin Knoop sertlik testi ile çekilmiş bir dişin mine, dentin sertliği, metal ve alaşımların sertliği ölçülebilir. Çok parlak ve düz yüzey örneklerine ihtiyaç duyması ve test süresinin diğerlerine göre uzun olması dezavantajları arasındadır. <sup>(56)</sup>

#### **2.5.4 Rockwell sertlik testi**

Diş hekimliği alanında genellikle viskoelastik materyallerin sertlik değerini ölçmede kullanılır. Bu test metodunda küre ya da çelik koni uç olarak kullanılır ve diğer sertlik testlerinden farklı olarak materyal üzerindeki girintinin çapı değil derinliği göz önüne alınır. Kısa sürede çok sayıda ölçüm yapılabilir ancak bunun yanında ölçüm hassasiyeti diğer testlere nazaran daha azdır. Materyal yüzeyini düzleştirmeye gerek yoktur. Rockwell sertlik testi diş hekimliğinde standart olarak 30 kg ağırlıkla ve 12,7 mm çaplı bir küre ile yapılır. Test yapılırken öncelikle materyale ön ağırlık olarak tabir edilen 3 kg yük uygulanır. Daha sonra 10 dakika süre ile asıl ağırlık olarak tabir edilen 30 kg yük uygulanır. Bu haldeyken materyalde oluşan derinlik ölçülür bu sürenin sonunda asıl ağırlık ön ağırlık materyalin üzerinde kalıncaya kadar kaldırılır, o haldeyken derinlik tekrar ölçülür. Direkt olarak sertlik değerinin ölçülmesi ve viskoelastik materyaller için çok uygun olması bu testin avantajları arasındadır. Zaman alıcı olması, ön ağırlığa ihtiyaç duyulması ve asıl ağırlığın kaldırılmasından sonra izin kaybolabilmesi ise dezavantajlarıdır. <sup>(57)</sup>

#### **2.5.5 Shore sertlik testi**

Shore testi, elastomerik materyalin sertliğini ölçmeye yarar. Girinti, kaldıraç düzeneği ile bir ölçeğe takılır ve 0 ila 100 Shore sertlik birimini okur. Girinti numuneye ne kadar çok nüfuz ederse, sertlik değeri o kadar düşük olur. Numunenin kalınlığı ve destekleyici yapının sertliği, gözlemlenen numune sertliğini etkiler. <sup>(60)</sup>

#### **2.5.6 Mohs sertlik testi**

Mohs sertlik ölçümü bir materyalin başka bir materyal tarafından çizilmesine karşı direncini ölçmeye yarar. Mohs, sertliği “katı minerallerin parçacıklarının yer değiştirmesine karşı direnci” olarak tanımlamıştır. O zamanlar sertliği ölçmek için doğru bir yöntem olmadığı için ölçeğini geliştirmiştir ve doğru bir testin yokluğunda göreceli bir testin çok değerli olacağını vurgulamıştır. <sup>(61)</sup> Bu test, sertliği bilinen bir madde ile yüzeyin kazınıp kazınmadığı gözlenerek yapılır. Pürüzsüz bir yüzeyin kazınma ve abrazyon direncinin kaba bir ölçümüdür ve 1-10 arası değerlerden oluşan skalalar ile belirtilir. <sup>(62)</sup>

#### **2.5.7 Barcol sertlik testi**

Barcol sertlik testi, rezinlerin ve plastiklerin hem sertlik ölçümünü hem de dönüşüm derecesini belirlemek için kullanılır. Barcol sertlik testi, bir yay yükü altında keskin

bir elik ucun penetrasyonunu ölçerek bir sertlik değeri elde eder. Barcol Sertlik Testi için numuneler, ASTM D2583-87'e göre hazırlanır ve test edilir. Test numunesi, Barcol sertlik test cihazının girintisinin altına yerleştirilir ve kadran göstergesi maksimuma ulaşana kadar düzgün bir basınç uygulanır. Barcol sertliğinin daha iyi bir tahminini elde etmek için bir Barcol Impresser kullanılır <sup>(63)</sup>.

### **2.5.8 Nano-indentasyon**

Sertliği çok daha küçük bir ölçekte ölçmek için özel bir sertlik test cihazı olan Nano Indenter™ (Nano Instruments, Inc., Knoxville, TN) kullanılabilir. Bu teknikle, uygulanan yük 0,0001-5 g arasında değişir ve sert materyallerde 1 m'den daha az penetrasyon derinliği elde edilir. Penetrasyonun geometrisi bilgisi ile, uygulanan yük için bir nanosertlik değeri vermek üzere temas alanı otomatik olarak hesaplanır. Bu nedenle, sertliği hesaplamak için artık penetrasyonu görüntülemeye gerek yoktur. <sup>(64)</sup>.

Bu tez çalışmasının amacı, günümüzde en güncel materyaller olarak tanımlanan ve birçok avantajı olduğu iddia edilen bulkfill rezin kompozitlerin önemli iki mekanik özelliğini değerlendirmektir. Çalışmamızda, 2 mm ve 4 mm olmak üzere iki farklı kalınlıkta hazırlanan ve farklı uygulamam yöntemleri ve özelliklerine sahip 6 bulkfill rezin kompozitin polimerize edilmelerinin ardından yüzey sertlik değerleri ve krleme derinliklerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın sıfır hipotezi; test edilen bulkfill rezin kompozitler arasında alt ve st yüzey sertlik değerleri ve krleme derinlikleri arasında fark olmamasıdır.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada altı farklı bulkfill rezin kompozitin yüzey sertliği değerleri Vickers mikrosertlik cihazıyla ölçülmüştür. Bulkfill rezin kompozitlerin farklı kalınlıklarda yerleştirildiğinde üst yüzey ve alt yüzeydeki sertlik değerleri polimerizasyondan yirmi dört saat sonra ölçülerek değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen Vickers değerleri kullanılarak kütleme derinlikleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

#### 3.1 Materyal seçimi

Bu in-vitro çalışma için altı adet bulkfill rezin kompozit; SonicFill 2 (Kerr, ABD), VisCalor (Voco GmbH, Almanya), AdmiraFusion Extra (Voco GmbH, Almanya), Filtek Bulkfill (3M Espe, ABD), Fill-Up (Coltene Holding AG, İsviçre) ve GrandioSO Heavy Flow (Voco GmbH, Almanya) kullanılmıştır. (Şekil 3.1.1). Bu çalışmada kullanılan bulkfill rezin kompozitlerin özellikleri Tablo 3.1.1’ de gösterilmektedir.

**Tablo 3.1.1:** Çalışmada kullanılan bulkfill kompozitlerin özellikleri

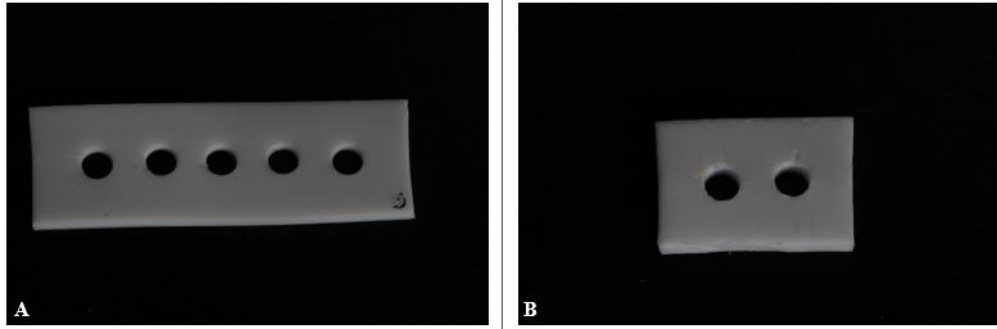
Materyal	Üretici	Tip	İçerik	Lot No
<b>Fill-up! (FUP)</b>	Coltene Holding AG, (Altstätten, İsviçre)	Dual-cure Bulkfill	Doldurucu (% ağı.): 65, çinko oksit Matriks: TMPTMA, UDMA, BisGMA, TEGDMA, benzoil peroksit, dibenzoil peroksit	J89970
<b>GrandioSo HeavyFlow (GHF)</b>	Voco GmbH, (Cuxhaven, Almanya)	Akıcı Bulkfill	Doldurucu: (% wt.): 83, nanopartikül SiO <sub>2</sub> , cam-seramik Matriks: BisGMA, BisEMA, TEGDMA, HDDMA, CQ, amine, BHT	2006513
<b>AdmiraFusion Xtra (AFX)</b>	Voco GmbH, (Cuxhaven, Almanya)	Ormoser esash Bulkfill	Doldurucu (% ağı.): 84.0, Ba–Al–Si-cam/Silika Nanopartikül Matriks: Ormoser	2103629
<b>Filtek Bulkfill (FBF)</b>	3M ESPE (St. Paul, MN, ABD)	Geleneksel Bulkfill	Doldurucu (% ağı.): 76.5, YbF <sub>3</sub> , zirkonum, silika Matriks: BisGMA, BisEMA, UDMA	NA29615
<b>Sonicfill 2 (SCF)</b>	Kerr (Orange, CA, ABD)	Sonik aktive Bulkfill	Doldurucu: (%ağı.): 83.5, SiO <sub>2</sub> , camoksit Matriks: BisGMA, TEGDMA, BisEMA	8032275
<b>VisCalor (VVC)</b>	Voco GmbH, (Cuxhaven, Almanya)	Termo-viskoz Bulkfill	Doldurucu: (% ağı.): 83 Matriks: BisGMA, alifatik dimetakrilat	2105318



Şekil 3.1.1 Çalışmada kullanılan bulkfill kompozitler; A) FUP, B) GHF, C) AFX, D) FBF, E) SCF, F) VVC

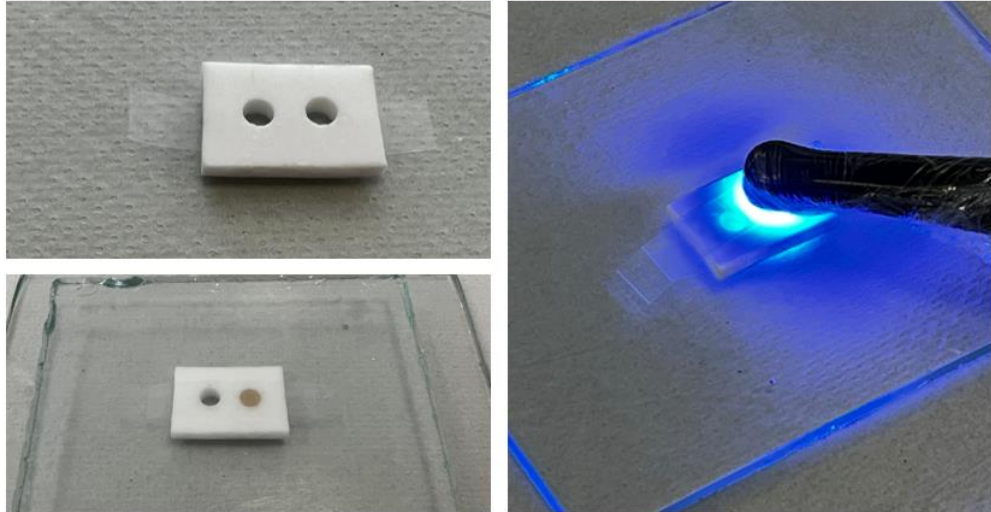
### 3.2 Örneklerin Hazırlanması

Her bulkfill rezin kompozit materyali için beş tanesi 2 mm, beş tanesi de 4 mm kalınlıkta olmak üzere 10'ar tane toplamda altmış örnek oluşturuldu. Örneklerin hazırlanması için teflon kalıplar kullanıldı ve sonuçta her bir bulkfill rezin kompozit için 5'er taneden 30 tane 5 x 2 mm boyutunda, 5'er taneden 4 x 5 mm boyutunda silindirik şekilde örnekler hazırlandı. (Şekil 3.2.1)



**Şekil 3.2.1** Çalışmada kullanılan teflon kalıplar, A) 2mm B) 4 mm

Örnekler hazırlanırken Teflon kalıbın altına bir cam ve selüloit bant yerleştirildi. Ardından teflon kalıp boşluk kalmamasına dikkat edilerek bulkfill rezin kompozit ile dolduruldu ve üst yüzeyine bir selüloit matris ve bir cam levha yerleştirildi. Fazla materyal, cam levha üzerine basınç uygulanarak uzaklaştırıldı. (Şekil 3.2.2).



**Şekil 3.2.2** Numunelerin hazırlanması

Sonra tüm örnekler üreticilerinin önerileri doğrultusunda LED ışık cihazı kullanılarak standart güç modunda ( $1000 \text{ Mw/cm}^2$ , 20 sn) 20 saniye süreyle örneklerin üst yüzeyinden polimerize edildi (Valo, Ultradent, South Jordan, UT, ABD) (Şekil 3.2.3). Her kullanımdan önce ışık cihazı tam şarjda tutuldu ve ışınım bir radyometre (SDS Kerr, Orange, CA, ABD) ile kontrol edildi. Işık cihazının başlığı, küreleme esnasında numune yüzeyine olan mesafeyi standardize etmek için cam levha ile doğrudan temas halindeydi.



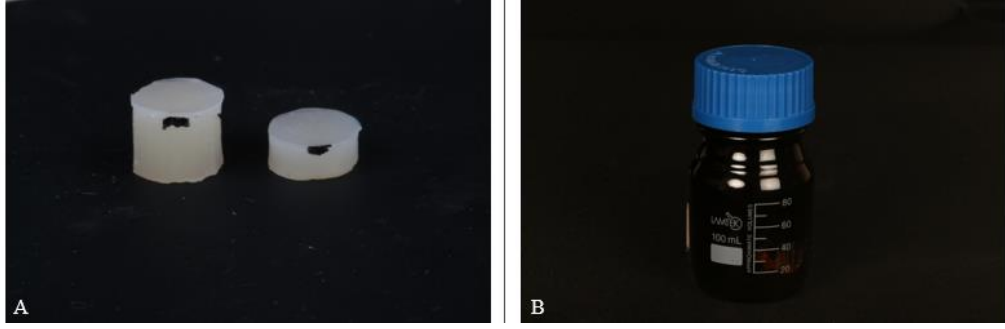
**Şekil 3.2.3** Çalışmada kullanılan ışık cihazı

VisCalor bulkfill, termoviskoz davranışı göz önünde bulundurularak uygulama öncesi ön ısıtma cihazı (Caps Warmer, Voco, Cuxhaven, Almanya) ile kullanım kılavuzuna uygun olarak 68 C’de 15 dakika ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Sonic Fill 2 ise, Sonic Fill el aleti ile birlikte ve sonik olarak aktive edilerek kullanılmıştır.

Örneklerin üst ve alt yüzeyini ayırt etmek için Teflon kalıptan çıkarıldıktan sonra lateral yüzeyleri işaretlendi (Şekil 3.2.4). Tüm örnekler kuru ortamda 37°C’de amber renkli şişelerde 24 saat inkübe edildi. Test edilen kompozitler için, çalışma grupları ve uygulama prosedürleri Tablo 3.2.1’ de verilmiştir.

**Tablo 3.2.1:** Çalışma grupları ve uygulama prosedürleri

Materyal	Tabaka kalınlığı	
	2 mm	4 mm
<u>Sonicfill 2</u>	n=5	n=5
<u>VisCalor</u>	n=5	n=5
<u>Fill-up</u>	n=5	n=5
<u>AdmiraFusion Xtra</u>	n=5	n=5
<u>Filtek Bulkfill</u>	n=5	n=5
<u>GrandioSo HeavyFlow</u>	n=5	n=5



Şekil 3.2.4 A) Lateral yüzeyleri işaretlenen örnekler B) Amber renkli şişe

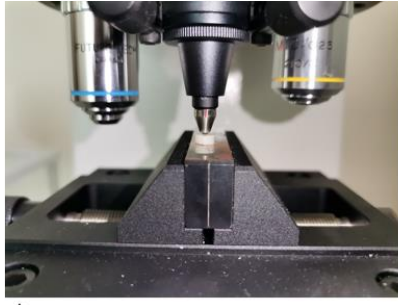
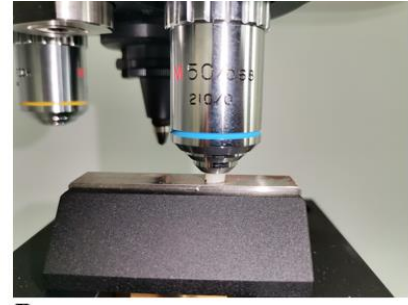
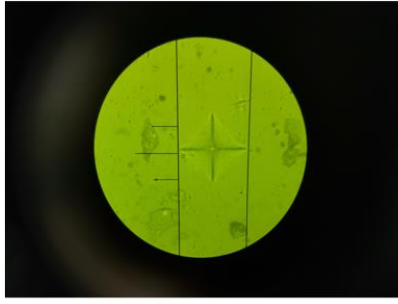
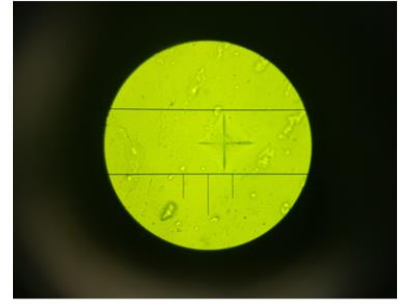
### 3.3 Vickers Mikrosertlik Testi:

Elde edilen numuneler Vickers mikrosertlik testi için FM-310e (Future-Tech Corp., Kawasaki, Japonya) yüzey sertlik cihazı kullanılmıştır. (Şekil 3.3.1).



Şekil 3.3.1 Vickers mikrosertlik testi cihazı

Numunelerin mikrosertlik ölçümü, polimerizasyonun tam olarak tamamlanması için 24 saat sonra yapılmıştır. Örneklerin üst ve alt yüzeylerine 15 saniye boyunca cihazın indentörüyle 200 g yük beş farklı yere uygulandı, böylece her yüzeye beş diyagonal çentik oluşturuldu. Yük uygulaması, boyutları mikroskop altında belirlenen her yüzeyde simetrik bir girinti oluşturdu. Çentikler açıldıktan sonra mikrosertlik cihazının 50x büyütmeli merceği altına yerleştirilen örneklerde oluşan diyagonal şekilli çentiklerin köşegen uzunluklarının, sertlik cihazının x-y-z düzleminde hareket eden kolları yardımıyla belirlenmesi sonrası, cihaz tarafından otomatik olarak Vickers sertlik (VH) değeri hesaplanmıştır. Her bir yüzeyden yapılan beş ölçümün ortalaması örneğin o yüzeyinin sertlik değeri olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3.2).

**A****B****C****D**

**Şekil 3.3.2** Vickers mikrosertlik ölçümü işlem basamakları A) 15 sn. boyunca 25 gr'lık yük uygulanması B) Oluşan girintinin 50x büyütmele merceklerle incelenmesi C) Köşegen uzunluğunun x düzleminde belirlenmesi D) Köşegen uzunluğunun y düzleminde belirlenmesi

### **İstatistiksel Analiz**

Çalışmamızda tüm istatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 22.0 (IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, ABD) paket programı kullanılarak yapıldı. Tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi, kullanılan bulk fill rezin kompozitler arasındaki istatistiksel farklılıkların değerlendirilmek için kullanıldı. Bağımsız t-testi ise tabaka kalınlıkları arasındaki istatistiksel farklılıklar ve örneklerin üst-alt sertlik değerleri arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların değerlendirilmesinde kullanıldı. İstatistiksel analizler için anlamlılık düzeyi  $p \leq 0,05$  olarak belirlendi.

## 4.BULGULAR

### 4.1. Vickers Mikrosertlik Ölçüm Değerleri

Bu çalışmanın sonuçları doğrultusunda Vickers yüzey sertliği değerleri Tablo 4.1.1' de gösterilmiştir. Genel olarak gruplar arasında en düşük VHN değer 4 mm kalınlığındaki FUP grubunun alt yüzeyinde ( $31,49 \pm 2,15$ ), en yüksek değer ise 4 mm kalınlığındaki GHF grubunun üst yüzeyinde ( $73,17 \pm 3,65$ ) görülmüştür.

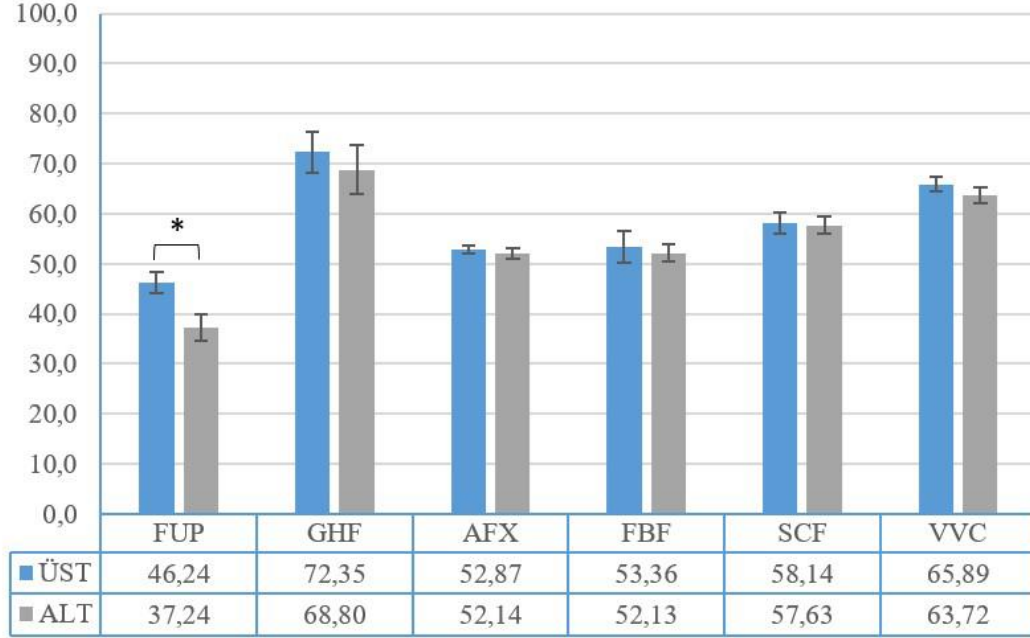
Tablo 4.1.1: Gruplara ait Vickers değerleri ortalamaları ve standart sapmaları

	2 mm		4 mm	
	Üst	Alt	Üst	Alt
<b>FUP</b>	$46,24 \pm 2,05^a$	$37,24 \pm 2,63^a$	$43,13 \pm 0,65^a$	$31,49 \pm 2,15^a$
<b>GHF</b>	$72,35 \pm 4,07^e$	$68,80 \pm 4,93^e$	$73,17 \pm 3,65^d$	$39,56 \pm 3,71^b$
<b>AFX</b>	$52,87 \pm 0,84^b$	$52,14 \pm 1,03^b$	$52,96 \pm 3,47^b$	$50,10 \pm 1,92^c$
<b>FBF</b>	$53,36 \pm 3,07^{bc}$	$52,13 \pm 1,70^b$	$56,15 \pm 1,11^b$	$49,38 \pm 1,20^c$
<b>SCF</b>	$58,14 \pm 2,22^c$	$57,63 \pm 1,70^c$	$58,80 \pm 3,31^b$	$51,68 \pm 3,20^c$
<b>VVC</b>	$65,89 \pm 1,39^d$	$63,72 \pm 1,52^d$	$65,88 \pm 1,39^c$	$63,38 \pm 2,26^d$

Tek yönlü varyans analizi ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, sütunlardaki küçük harfler kullanılan resin kompozit materyaller arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir. ( $p < 0,05$ )

2 mm kalınlığında hazırlanan bulkfill resin kompozitler üst yüzeyden yapılan ölçümlerde istatistiksel olarak en yüksek VHN değeri sırasıyla GHF ve VVC gruplarında, en düşük değer ise FUP grubunda belirlenmiştir. ( $p < 0,05$ ) Bulkfill resin kompozitlerin alt yüzeylerinden yapılan ölçümlerde ise benzer şekilde istatistiksel olarak en yüksek sertlik değerleri sırasıyla GHF ve VVC gruplarında, en düşük değer ise yine FUP grubunda gözlenmiştir. ( $p < 0,05$ ). T-testi sonuçlarına göre 2 mm kalınlıktaki bulkfill resin kompozit örnekleri arasında, üst ve alt yüzeylerden elde edilen değerler arasındaki değişim değerlendirildiğinde diğer gruplardan farklı olarak

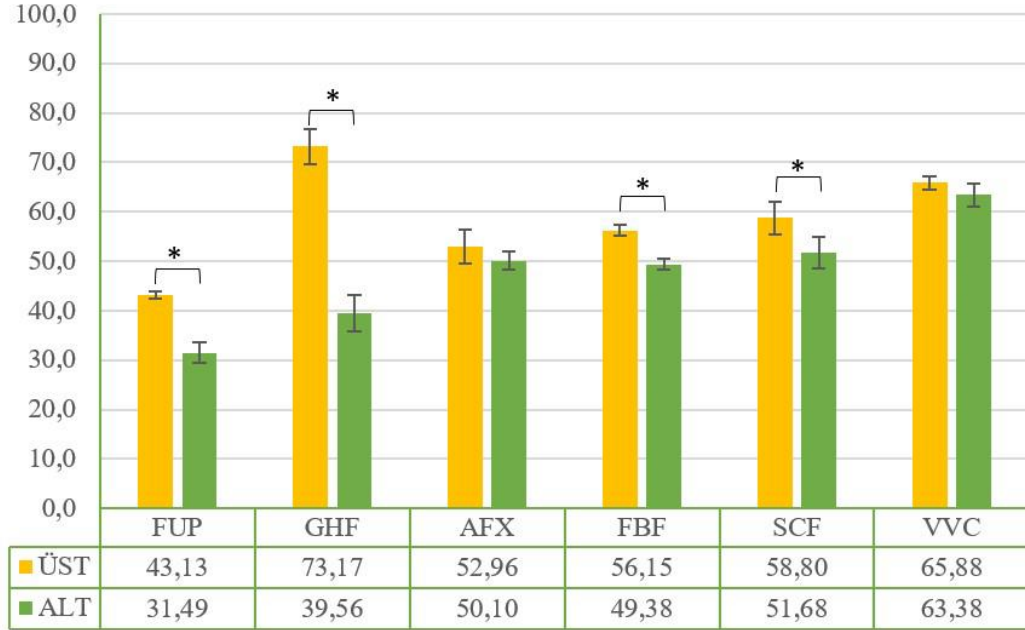
FUP grubundaki değişiklik istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. ( $p < 0,05$ ) (Şekil 4.1.1 )



**Şekil 4.1.1** 2 mm kalınlığındaki rezin kompozit örnekleri arasında üst ve alt Vickers değerleri gösterilmektedir. “\*” işareti bağımsız örneklerin t-testi sonuçlarına göre üst ve alt değerler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir.

4 mm kalınlığında hazırlanan örnekler incelendiğinde ise one-way ANOVA ve Tukey HSD testi sonuçlarına göre, üst yüzeyden yapılan ölçümlerde istatistiksel olarak en yüksek VHN değerleri sırasıyla GHF ve VVC bulkfill rezin kompozit gruplarında, en düşük VHN değer ise anlamlı derecede FUP grubunda, AFX, FBF ve SCF grupları arasında fark olmadığı belirlenmiştir. ( $p < 0,05$ ) 4 mm kalınlığındaki örneklerde bulkfill rezin kompozitlerin alt yüzeylerinden yapılan ölçümlerde ise 2 mm kalınlıktaki örneklere benzer şekilde en yüksek sertlik değerleri istatistiksel olarak VVC grubunda tespit edilmiş, AFX, FBF ve SCF grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiş; FUP ve GHF kompozit grupları AFX, FBF ve SCF bulkfill rezin kompozitlerinden istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük değerler göstermiştir. ( $p < 0,05$ ). (Tablo 4.1.1) T-testi sonuçlarına göre 4 mm kalınlıktaki bulkfill rezin kompozit örnekleri arasında, üst ve alt yüzeylerden elde edilen değerler arasındaki

değişim değerlendirildiğinde AFX ve VVC grupları dışında diğer gruplardaki değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. ( $p<0,05$ ) (Şekil 4.1.2 )



**Şekil 4.1.2:** 4 mm kalınlığındaki rezin kompozit örnekleri arasında üst ve alt Vickers değerleri gösterilmektedir. “\*” işareti bağımsız örneklerin t-testi sonuçlarına göre üst ve alt değerler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir.

#### 4.2 Kütleme Derinliği Bulguları

Kütleme derinliğin hesaplanması için alt ve üst yüzeylerden elde edilen Vickers değerleri arasındaki oranın yüzdesi hesaplanmıştır. Elde edilen kütleme derinliği değerleri (%) ve one-way ANOVA, Tukey HSD ve t-testi sonuçları Tablo 4.1.2’ de gösterilmiştir.

2 mm kalınlığında hazırlanan bulkfill rezin kompozit örneklerin dönüşüm derecelerine bakıldığında en düşük değer istatistiksel olarak diğer gruplardan farklı derecede FUP grubunda gözlenmişken ( $p<0,05$ ), diğer gruplar arasında istatistiksel bir fark bulunmamasına rağmen ( $p>0,05$ ) en yüksek değer SCF grubunda görülmüştür.

Önemli olarak 4 mm kalınlığında hazırlanan bulkfill rezin kompozit örneklerinin dönüşüm derecelerine bakıldığında, (Tablo 4.2.1) one-way ANOVA ve Tukey HSD testi sonuçlarına göre sırasıyla en yüksek kütleme derinlikleri VVC, AFX, SCF ve FBF gruplarında tespit edilmiştir. ( $p<0,05$ ). Sırasıyla yüksekten düşüğe, FUP ve GHF

grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde diğer gruplardan düşük dönüşüm derecesi göstermiştir. ( $p < 0,05$ ). Ayrıca, t-testi sonuçlarına göre 2 mm ve 4 mm kalınlıkları arasındaki küreme derinlikleri göre farklar analiz edildiğinde 2 mm ve 4 mm kalınlıklarda küreme derinlikleri arasında önemli olarak AFX ve VVC gruplarında anlamlı bir fark gözlemlenmezken ( $p > 0,05$ ) diğer gruplara küreme derinlikleri anlamlı derecede azalma göstermiştir. ( $p < 0,05$ )

**Tablo 4.2.1:** Küreme derinliği değerleri ortalamaları ve standart sapmaları (%)

	ÜST/ALT oran (%) (Dönüşüm Derecesi)	
	2 mm	4 mm
<b>FUP</b>	80,94 ± 4,47 <sup>a, A</sup>	73,30 ± 5,87 <sup>b, B</sup>
<b>GHF</b>	95,15 ± 2,35 <sup>b, A</sup>	54,55 ± 7,35 <sup>a, B</sup>
<b>AFX</b>	99,17 ± 3,34 <sup>b, A</sup>	94,93 ± 4,10 <sup>c, A</sup>
<b>FBF</b>	97,93 ± 3,21 <sup>b, A</sup>	88,07 ± 1,45 <sup>c, B</sup>
<b>SCF</b>	99,41 ± 2,04 <sup>b, A</sup>	88,39 ± 5,54 <sup>c, B</sup>
<b>VVC</b>	96,72 ± 1,43 <sup>b, A</sup>	96,26 ± 2,00 <sup>c, A</sup>

Tek yönlü varyans analizi ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre, sütunlardaki küçük harfler kullanılan rezin kompozit materyaller arasındaki istatistiksel farklılıkları, bağımsız gruplar t-testi sonuçlarına göre ise satırlardaki büyük harfler kalınlıklar arasındaki istatistiksel farklılıkları göstermektedir. ( $p < 0,05$ )

## 5.TARTIŞMA

Rezin kompozitlerin kullanımı optimal fiziksel, mekanik ve estetik özelliklerinden dolayı önemli ölçüde artmıştır. Ancak bu özelliklerin yanında uygulamalarını sınırlayan dezavantajları da bulunmaktadır.<sup>(65)</sup> Yetersiz polimerizasyon derinliği ve derin alanlarda yetersiz monomer-polimer dönüşümü, ışıkla sertleşen rezin kompozitlerin eksiklikleri arasındadır.<sup>(66)</sup> Rezin kompozitlerin kaviteye yerleştirilmesinde en çok tabakalama tekniği kullanılır, polimerizasyon büzülmesini ve C faktörü azaltmak için maksimum 2 mm kalınlığında kompozit yerleştirilir.<sup>(67)</sup> Ceballos ve arkadaşları <sup>(68)</sup>, rezin kompozitlerin polimerizasyon derinliği ile ilgili çalışmalarında, farklı kompozitlerin halojen ve LED ışıklar kullanarak polimerizasyon etkinliğini değerlendirmiş ve rezin kompozitlerin tabaka kalınlığının 2,5 mm'yi aşmaması gerektiğini bildirmişlerdir. Böylelikle, daha yüksek bir klinik başarı hedeflenir, çünkü polimerizasyon büzülmesi en aza indirilmezse, post operatif hassasiyette bir artış, marjinal sızıntı ve sekonder çürükler oluşabilir.<sup>(69)</sup> Ancak, tabakalama tekniği hassasiyet gerektirir, yeterli özen gösterilmezse sızdırmazlığı, fonksiyonu ve estetiği tehlikeye atabilir.

Posterior bölgede kullanılan materyallerin mekanik ve estetik özelliklerinde meydana gelen gelişmeler, kullanım kolaylığı beklentisini de beraberinde getirmiştir. Bu amaçla geliştirilen bulkfill tekniği ve bulkfill kompozitler günümüzde oldukça popüler hale gelmiştir.<sup>(70)</sup> Bulkfill kompozitler, geliştirilmiş mekanik özelliklerine ilaveten, manipülasyon kolaylığı ve kısa uygulama süresi gibi avantajlara da sahiptir. Bulkfill rezin kompozitlerin içeriğinde ışık geçişine izin veren modifiye monomer ve doldurucular mevcuttur. Bu bileşenler, materyal tek tabaka (4-5 mm) yerleştirildiğinde dahi yeterli fotopolimerizasyonu sağlamaktadır. Böylelikle bulkfill rezin kompozitler, tabakalama tekniğine göre posterior bölgedeki büyük kaviteler için hem kolay hem de hızlı uygulama sağlayan bir seçenek haline gelmektedir.<sup>(28)</sup>

İdeal bir restoratif materyalin optik ve mekanik özellikler bakımından doğal diş yapısına yakın özellikler sergilemesi gerekir.<sup>(71)</sup> Leprince ve arkadaşları <sup>(72)</sup>, akışkan ve tepilebilen bulkfill rezin kompozitlerle geleneksel nanohibrit rezin kompozitleri fiziksel-mekanik özellikleri açısından karşılaştırdıkları çalışmada, bulkfill rezin kompozitlerin, zamandan tasarrufu ve işlemin daha kolay gerçekleşmesini sağlasa da, mekanik özellikler bakımından bazı sınırlamaları olduğu belirtilmiştir. Farklı bulkfill

rezin kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırıldığı başka bir çalışmada ise SonicFill 2 bulkfill resin kompozitinin test edilen materyaller arasında mekanik özellikler bakımından en yüksek değerlere sahip olduğu ve posterior dişlerin restorasyonunda geleneksel resin kompozitlerin yerine kullanılabileceği belirtilmiştir.<sup>(73)</sup> Bulkfill resin kompozitlerle yapılan başka bir çalışmada, bulkfill kompozitlerin, oblik tabakalama yöntemi ile yerleştirilen geleneksel resin kompozitlere göre daha düşük kaspal defleksiyona neden olduğu gösterilmiştir.<sup>(74)</sup> Ayrıca, Roggendorf ve arkadaşları<sup>(75)</sup>, marjinal bütünlüğü değerlendirdikleri bir çalışmada bulkfill resin kompozitlerin iyi performans sergilediğini bildirmiştir.

Geleneksel resin kompozitlerde, materyal yüzeyinden ışık yansımaları, doldurucu partiküllerinden saçılma ve fotobaşlatıcılar tarafından absorpsiyona bağlı ışık gücünün zayıflaması polimerizasyon derinliğini yaklaşık 2 mm ile sınırlar. Diğer faktörlerin yanı sıra, doldurucu içeriği ve partikül boyutu, ışık huzmesinin dağılımı için kritik öneme sahiptir.<sup>(76)</sup> Doldurucu partikül boyutunu küçültme ve nanokompozitler üretiminin aksine, bulkfill kompozitlerdeki doldurucu materyaller, kompozitin yarı saydamlığını ve polimerizasyon derinliğini artırmak için makro yapıdadır.<sup>(77)</sup> Daha büyük doldurucu partikülleri, daha düşük doldurucu yüzey alanına sahiptir ve bu nedenle, ışık saçılımının çoğundan sorumlu olan daha küçük resin-dolgu arayüzü vardır. Bazı düşük viskoziteli bulkfill resin kompozitler de azaltılmış doldurucu içeriğine sahiptir. Bu modifikasyonların yanı sıra, bazı bulkfill resin kompozitler ilave germanyum bazlı bir foto başlatıcı olan Ivocerin içerir.<sup>(78, 79)</sup>

Bu çalışmada, farklı tabaka kalınlıklarında (2 mm ve 4 mm) hazırlanıp polimerize edilen altı bulkfill resin kompozitin üst yüzey ve alt yüzey mikrosertlik değerleri Vickers mikrosertlik cihazıyla ölçülmüş ve sertlik oranları hesaplanarak dönüşüm derecesi belirlenmiştir.

Restorasyonların ve adeziv sistemlerin değerlendirilmesinde klinik çalışmalar, laboratuvar çalışmalarına göre gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlayan yöntemlerdir. Ancak uzun dönem klinik takibin zaman alıcı olmasıyla birlikte standardize edilmesi zor olduğundan, laboratuvar testleri dental materyallerin ve tekniklerin değerlendirilmesinde daha sık kullanılmaktadır. Laboratuvar testlerinin avantajları arasında verilerin elde edilmesi ve toplanmasının daha hızlı olması, görece daha kolay yapılabilmesi, diğer bütün değişkenlerin sabitlenerek odaklanılan tek bir parametrenin ölçülebilir olması, tek çalışma düzeneği ile birden fazla deney grubunun

eş zamanlı olarak test edilebilir olması sayılabilir.<sup>(80, 81)</sup> Güncel materyaller kullanılarak yapılan bu çalışma in-vitro ortamda gerçekleştirilmiştir.

Bazı çalışmalarda, yeterli polimerizasyonun sağlanabilmesi için ışık cihazının 280 mW/cm<sup>2</sup>'den daha yüksek ışık şiddetine sahip olması ve ışık cihazıyla materyal arasındaki mesafenin 6 mm' den fazla olmaması gerektiği gösterilmiştir.<sup>(82, 83)</sup> Günümüzde hızlı uygulama prensibine dayalı olan bulkfill materyallerde, polimerizasyon için çoğunlukla LED ışık kaynakları tercih edilmektedir. Bu çalışmada bir LED ışık cihazı (VALO Ultradent, South Jordan, UT, ABD) standart güç modunda (1000 mW/cm<sup>2</sup>) kullanılarak örnek yüzeyine yerleştirilen şeffaf banda bitişik olacak şekilde 20 sn süreyle örnekler polimerize edilmiştir. İdeal bir polimerizasyon, materyalin içeriği, materyal kalınlığı ve ışık cihazının özelliklerine bağlıdır.<sup>(84)</sup> Bu nedenle bu çalışmada örneklerin polimerizasyonu tek tip ışık cihazı kullanılarak, tüm örneklerde aynı süreyle (20 sn) yapılmıştır.

Dönüşüm derecesi, restorasyonun fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Dönüşüm derecesini ölçmenin direkt ve indirekt olmak üzere iki yöntemi vardır.<sup>(85)</sup> İnfrared spektroskopi (FTIR) ve Raman spektroskopi direkt ölçüm yöntemleri iken, kazıma (ISO 4049 Scraping) yöntemi ve mikrosertlik yöntemi indirekt yöntemlerdir. Chung ve arkadaşları'larının yaptığı bir çalışmada, indirekt yöntemlerin farklı monomer, doldurucu kompozisyonu, yapısı ve yüzdesi içeren değişik rezin kompozitlerin karşılaştırılmasında uygun olmadığı belirtilmiştir.<sup>(86)</sup> Başka bir çalışmada ise, mikrosertlik ölçümünün rezin kompozitin karbon bağlarının değişimini göstermekte yeterli olduğu kabul edilmiştir.<sup>(87)</sup>

Bu yöntemlerin tümü monomer dönüşümü hakkında fikir vermektedir ancak polimerizasyon derecesinin tespitinde yetersiz kalmaktadır.<sup>(88-90)</sup> Dönüşüm derecesinin hangi seviyede yeterli polimerizasyona karşılık geldiğini belirlemek güçtür. Çünkü dönüşüm derecesi monomerlerin oluşturduğu çapraz bağın miktarı ya da oluşan polimer ağıyla ilgili herhangi bir bilgi sağlamamaktadır.<sup>(91)</sup> Dimetakrilat yapıdaki polimerlerin yüksek çapraz bağlı yapısı doğrusal olmayan bir polimerizasyon süreci sonucunda oluşmaktadır. Bu durum fiziksel durumlarındaki iki makroskobik değişimden kaynaklanmaktadır; birinci fiziksel durum, vizköz sıvının elastik jelle dönüştüğü jel noktası, ikinci fiziksel durum ise lastiğimsi materyalin camsı yapıya dönüşümü olan camlaşma evresidir. Camsal yapıya dönüşüm esnasında elastik modül artar, materyal bu evrede büzülür.<sup>(91)</sup>

Polimer ağın, sıvı halden jel forma ve lastiğimsi yapıdan camsı yapıya ne zaman geçtiğini dönüşüm derecesi ve çapraz bağ miktarı belirler. Bu geçişler dönüşüm derecesi 2 mm'den ince örnekler üzerinde incelendiğinde ideal olarak belirlenebilmektedir.<sup>(92)</sup> Ancak derinlik arttıkça dönüşüm derecesi ve çapraz bağların sayısı da azalmaktadır.<sup>(89)</sup> FTIR ve Raman spektroskopisi gibi direkt yöntemler önceleri dental rezinlerdeki su absorpsiyonu çalışmalarında kullanılırken, daha sonradan metakrilat polimerizasyonunda dönüşüm derecesinin ölçülmesinde kullanılmıştır.<sup>(93, 94)</sup> FTIR, materyalin atomları arasındaki kimyasal bağların doğal titreşimleriyle elektromanyetik ışının arasındaki etkileşimi inceler. FTIR ölçümleri, polimerize rezin kompozit içerisindeki kalmış C=C çift bağ konsantrasyonunun, polimerize edilmemiş materyal içindeki C=C total çift bağ konsantrasyonuna bölünmesiyle hesaplanır. Eşik çift bağ dönüşüm oranı %55' tir.<sup>(95)</sup> FTIR analizi, rezin kompozitlerin monomer dönüşümünü belirlemek için sıklıkla başvurulan yöntemlerden biridir.<sup>(96)</sup> Bir çalışmada, reaksiyona girmemiş C=C çift bağlarının FTIR ile değerlendirilmesinin, dönüşüm derecesindeki küçük değişikliklerin saptanmasında mikrosertlik değerlendirmelerinden daha az hassas olduğu bulunmuştur.<sup>(97)</sup> UDMA ve BisGMA bazlı rezin kompozitlerin FTIR cihazı ile ölçülen DC' lerinin % 43 ila % 85 aralığında olduğu, kalan diğer kısmın ise polimerize olmamış monomerden oluştuğu, TEGDMA vb. monomerlerin karbon çift bağlarının kendi içinde karbon çift bağları ile birleşip, diğer monomerlerin tepkimeye girmemiş olabileceği bildirilmiştir.<sup>(98)</sup> Kopperud ve arkadaşları<sup>(99)</sup>, FTIR ölçümüyle, rezin kompozitlerdeki kimyasal bağlar ile ilgili bilgi sahibi olunabileceği ve dönüşüm dereceleri ile ilgili nicel veriler ortaya koyulabileceği rapor etmiştir. Başka bir çalışmada ise FTIR metodunun, örneklerin öğütmeyle hazırlandığı zaman öğütme işlemi sırasında oluşacak ısının DC' de % 20' ye varan değerlerde farklılık gösterebileceğini belirtilmiştir.<sup>(100)</sup>

Poskus ve arkadaşları<sup>(101)</sup>, mikrosertlik testlerinin rezin kompozitlerin DC'sini indirekt olarak hesaplayan en basit, en kolay uygulanabilen ve geçerli yöntemlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Monte ve arkadaşları kompozit materyallerin dönüşüm dereceleri farklı ışık kaynakları kullanarak karşılaştırılmış ve mikrosertlik yöntemi kullanılmıştır. DC ölçülürken, farklı derinliklerdeki alt yüzey sertlik değerlerinin üst yüzey sertlik değerlerine oranları bulunarak, elde edilen yüzdesel değerler ve derinlik artışına bağlı olarak alt yüzeyde oluşan sertlik değerleri karşılaştırılmıştır.<sup>(102)</sup> Farklı araştırmacılara göre, yeterli polimerizasyon derinliğinin elde edilebilmesi için, alt

yüzeyin mikro sertliğinin, üst yüzeyde ölçülen mikrosertliğin en az %80' i kadar olması gerekir.<sup>(103)</sup> Bizim çalışmamızda da aynı oransal değer üzerinden DC hesaplanmış ve materyallerin farklı kalınlıklarda kendi içinde ve birbirleri arasında karşılaştırmaları yapılmıştır. Çalışmamızda test edilen bulkfill rezin kompozitlerden FUP ve GHF gruplarının 4 mm' lik örnekleri hariç tüm gruplar %80' lik alttan üste mikrosertlik oranını aşmıştır.

ISO 4049 standardı tarafından belirlenen polimerizasyon derinliği ölçüm standartları, bulkfill kompozitler için abartılmış gibi görünmektedir. Bunun yerine, polimerizasyon derinliğinin belirlenmesi için materyal yüzeyinde ve belirli derinliklerde Vickers mikrosertlik ölçümlerinin kullanılması önerilmiştir. <sup>(103, 104)</sup> Ek olarak, belirli bir materyal için mikrosertlik verileri, aşınma direnci, polisajlanabilirliği ve antagonist dişler üzerindeki aşındırıcı etkisi hakkında bilgi sağlar.<sup>(105)</sup> Doldurucu materyalin hacim oranı ile Knoop sertliği <sup>(86)</sup> arasında ve ayrıca doldurucunun kütle oranı ile Vickers mikrosertliği arasında pozitif korelasyon bulunmuştur.<sup>(106, 107)</sup> Doldurucu boyutuna bakıldığında, nano doldurucuların; rezin matris ile mikro dolduruculara göre daha yakın teması sayesinde, geleneksel kompozitlere göre daha yüksek mikro sertlik değerleri sergilediği bulunmuştur.<sup>(107)</sup>

Mante ve arkadaşları <sup>(108)</sup>, göre rezin kompozit materyalin sertliği, deforme edici kuvvetlere karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. İdeal bir rezin kompozit materyalin yüksek mikrosertlik değerine sahip olması beklenir. Yüzey mikrosertliği ölçüm metodu materyalin mekanik dayanıklılığını, katılığını ve DC'ni belirlemede etkili bir yöntemdir.<sup>(109)</sup> Yüzey mikrosertliği ölçümünde en sık kullanılan metodlardan biri Vickers sertlik ölçüm metodudur.<sup>(109)</sup> Vickers mikrosertlik cihazı, sabit bir yükü materyalin yüzeyine uygulayarak materyal yüzeyinde iz bırakan iki farklı köşegen şeklinde elmas uca sahiptir. Elmas uçlar sertlik ölçümünde kullanılan diğer cihazların uçlarına göre 1/3 oranında daha kısadır. Vickers mikrosertlik cihazının elmas ucunun bu yapısı, ölçüm sırasında materyalin yüzey özelliklerinden daha az etkilenmesine ve daha net ölçüm yapabilmesini sağlamaktadır.<sup>(109)</sup> Vickers mikrosertlik cihazının bu avantajlarını göz önüne alarak çalışmamızın sertlik ölçümleri Vickers mikrosertlik cihazıyla yapılmıştır.

Price ve arkadaşları <sup>(110)</sup> mikrosertlik testi ile DC'yi test ettikleri çalışmalarında, alt yüzeyden elde edilen sertlik değerinin üst yüzeydeki değere oranlarının hesaplanması sonrası, farklı örneklerle karşılaştırma yaparken üst tabakaların sertlik değerlerinden

kaynaklanabilecek oransal sapmalara dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmada bu sapmanın önüne geçebilmek için her örneğin her bir yüzeyinden 5 ölçüm yapılmıştır.

Bazı çalışmalarda rezin kompozitlerinin polimerizasyonunun, sertleştikten sonra da devam ettiği ve sonlanma noktasının yaklaşık 24 saat sürdüğü belirtilmektedir. <sup>(111, 112)</sup> Bu çalışmada Vickers sertlik ölçümleri, örneklerin polimerize edilerek hazırlanmasının ardından 24 saat sonra DC'yi belirlemek için kullanılmıştır.

Rezin kompozitlerin mikrosertliği ile ilgili çalışmalarda doldurucu miktarları göz önüne alınması gereken önemli bir faktördür. Doldurucu miktarının yüksek olması rezin matriksinin hacmini azaltmakta ve materyal sertliğini arttırmaktadır. <sup>(113)</sup> Chung ve Greener <sup>(86)</sup>, geleneksel rezin kompozitlerle yaptıkları araştırma sonucu doldurucu miktarı azaldıkça rezin kompozit materyalin yüzey sertliğinin de azaldığını bulmuşlardır. Braem ve arkadaşları <sup>(114)</sup> da yüksek doldurucu içeriği olan materyallerde yüksek yüzey sertlik değerlerinin ölçüldüğünü gözlemlemişlerdir. Bizim çalışmamızda da yüksek inorganik içeriğe sahip bulkfill rezin kompozitlerin daha yüksek mikrosertlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Çalışmamızda GHF, VVC ve SCF bulkfill rezin kompozitlerinin üst yüzey sertlik değerlerinin, diğer bulkfill rezin kompozitlere oranla daha yüksek olduğu bulunmuştur. FUP bulkfill rezin kompozit grubu diğer gruplarla kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı derecede düşük üst yüzey sertlik değeri göstermiştir. Bu bulgu, FUP grubunun daha düşük inorganik doldurucu içeriğine sahip olmasına bağlanabilir.

Abuelenain ve arkadaşları <sup>(115)</sup> geleneksel ve bulkfill rezin kompozitlerin alt yüzey-üst yüzey mikro sertlik oranlarını farklı içeriklerle değerlendirmiş ve alt-üst yüzey mikro sertlik oranlarını kabul edilebilir olduğunu bulmuştur. Araştırmalar yaptıkları çalışmada değerlendirilen tüm kompozitlerin alt-üst yüzey mikro sertlik değerlerinin 0,80 kabul edilebilir eşik değerinin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Bu tez çalışmasından farklı olarak araştırmacılar çalışmalarında, 1800 mW/cm<sup>2</sup> ışık şiddetine sahip ışık cihazı kullanmışlar, bulkfill kompozitleri 2 mm kalınlığında hazırlamışlar, polimerizasyon süresinin 40 sn olarak belirlemişler ve mikro sertlik ölçümlerini örnekler hazırlandıktan bir hafta sonra gerçekleştirmişlerdir. Çalışmamızda ise ışık şiddeti 1000 mW/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiş, örnekler farklı kalınlıklarda hazırlanmış (2-4 mm) ve mikro sertlik ölçümleri polimerizasyondan 24 saat sonra gerçekleştirilmiş olmasına rağmen 2 mm kalınlığındaki tüm örnekler ve 4 mm kalınlığındaki

örneklerden AFX, FBF, SCF, VVC 0,80 kabul edilebilir eşik değerin üzerinde değerler göstermiştir. 4 mm kalınlığındaki FUP ve GHF grupları ise 0,80 eşik değerini aşamamıştır.

Rezin kompozitlerin yerleştirilmesi sırasında hava ile temasa bağlı oksijen varlığı, polimerizasyonu bir dereceye kadar inhibe edebilir <sup>(116)</sup> <sup>(117)</sup>. Çalışmamızın sonuçlarını etkileyebilecek oksijen inhibisyon tabakasını en aza indirmek ve daha düzgün bir yüzey oluşmasını sağlamak için mikro sertlik ölçümlerinde kullanılan örneklerin polimerizasyon öncesi, kompozit örneklerin alt ve üst yüzeylerine matriks stripler yerleştirilmiştir.

Melo ve arkadaşları <sup>(118)</sup> 4 mm kalınlığında iki geleneksel ve iki bulkfill rezin kompozit kullandığı çalışmada örnekler inkremental tabakalama ve bulk tekniğiyle hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda 4 mm kalınlığında bulk tekniğiyle hazırlanan kompozitlerin üst yüzeyindeki mikro sertlik değerleri alt yüzeylerindeki mikro sertlik değerlerinden daha yüksek değerler göstermiştir. Çalışmamızda da benzer şekilde 4 mm kalınlıktaki örneklerin üst yüzeylerinin mikro sertlik değerleri alt yüzeydeki mikro sertlik değerlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Sharkey ve arkadaşları <sup>(119)</sup> Vickers sertlik derecesi 50 ve üzerinde ölçülen rezin kompozitlerin ideal ve iyi bir sertlik derecesinde olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmamızda bulunan 2 mm tabaka kalınlığındaki grupların alt ve üst yüzeyinde ölçülen Vickers sertlik değerleri FUP grubu hariç 50'nin üzerindedir. 4 mm tabaka kalınlığındaki gruplarda ise FUP grubunun Vickers sertlik değerleri hem alt hem de üst yüzeyde 50 VHN' nin altında kalmıştır. GHF ve FBF gruplarının 4 mm tabaka kalınlığındaki örneklerinin Vickers sertlik değerleri ise sadece alt yüzeyde 50 VHN' nin altında kalmıştır. Bazı araştırmacılar Vickers sertlik değerinin 50 VHN'nin üzerinde olması gerektiğini savunurken bazıları ise alt-üst yüzey oranının daha önemli olduğunu savunmaktadır. Bu bağlamda bizim çalışmamızın sonuçları da alt-üst yüzey oranının daha önemli olduğunu savunmaktadır.

Lodhi ve arkadaşları <sup>(120)</sup> farklı renklerdeki rezin kompozitlerin mikro sertliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada farklı renkteki rezin kompozitlerin üst yüzey mikro sertlikleri arasında anlamlı bir fark bulunmazken, alt yüzey mikro sertlikleri karşılaştırıldığında koyu renkli kompozitlerde anlamlı derecede düşük değerler elde etmişlerdir. Bu çalışmada kullandığımız bulkfill rezin kompozitlerin tümü A2 renk tonunda kullanıldığından renkler arasında herhangi bir kıyas yapılmamıştır.

Colombo ve arkadaşları <sup>(121)</sup> 4 adet güncel bulkfill rezin kompoziti (VisCalor Bulk, Admira Fusion X-tra, X-tra fil, GrandioSo X-tra) kıyasladıkları çalışmada 7 mm çapında ve 4 mm kalınlığındaki örnekleri 1 gün distile suda, 1 gün asidik ortamda ve 7 gün asidik ortamda bekletip Vickers sertlik ölçümlerini değerlendirmiştir. Yapılan çalışmada AFX ve VVC bulkfill rezin kompozitlerinin dönüşüm dereceleri arasında anlamlı bir fark görülmemiştir. Bizim çalışmamızda da AFX ve VVC gruplarının 2 mm ve 4 mm tabaka kalınlığındaki örneklerinin dönüşüm derecelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. Colombo ve arkadaşlarının tüm koşullandırmalardan sonra bulduğu dönüşüm derecesi değerleri istenilen 0.80 oranının üzerinde olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmamada da GHF ve FUP grupların 4 mm kalınlığındaki örnekleri hariç tüm gruplar 0.80 eşik değerini aşmıştır. Colombo ve arkadaşlarının <sup>(121)</sup> yaptığı çalışmadaki grupların tümünde üst yüzey mikrosertlik değeri alt yüzeyden daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada da bu durum tüm grupların 2 ve 4 mm kalınlıklarında gözlenmiştir.

Moharam ve arkadaşları <sup>(122)</sup>, iki bulkfill (X-tra Fill ve Sonic-Fill 2) ve bir geleneksel rezin kompozitin (Filtek Z250 XT, 3M Espe) Vickers yüzey mikro sertliğini ve dönüşüm derecesini değerlendirmişlerdir. Çalışmada bulkfill rezin kompozitlerin dönüşüm derecesi geleneksel rezin kompozitten istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Bulkfill rezin kompozitler kendi arasında kıyaslandığında ise X-tra Fill kompozitin dönüşüm derecesi Sonic-Fill 2 kompozitinden yüksek çıkmıştır. Sonic-Fill rezin kompozit materyali, sonik enerjiye güçlü bir şekilde tepki veren özel modifiye ediciler ile yüksek oranda doldurucu içeren bir rezin monomerine sahiptir. Sonik enerji her uygulandığında, modifiye ediciler monomer viskozitesinin düşmesine (%87'ye kadar) neden olarak rezin kompozitin akışkanlığını artırır. Bu tür bir düşüş, daha düşük yüzey mikro sertlik değerinden sorumlu olabilir.<sup>(123)</sup> Bu çalışmada ise SCF bulkfill rezin kompozitinin dönüşüm derecesinin diğer tepilebilen kompozitlerden düşük çıkması bundan kaynaklı olabilir.

Fill-Up, posterior Sınıf I ve II restorasyonlar için dual sertleşebilen, orta derecede viskoziteye sahip, bir baz ve bir katalizör patından oluşan mikro hibrit, iki bileşenli bir kompozittir. İki bileşen ekstrüzyon sırasında statik bir karıştırıcıda karıştırılır ve bileşenler bir araya getirildikten bir süre sonra ise sertleşme reaksiyonu başlar. Dual-kür rezin materyallerin yararı, restorasyonun en derin kısımlarında polimerizasyonu engelleyen ışık zayıflaması riskini en aza indirirken, kor materyalini bulk olarak

doldurma ve/veya opak bir yüzeyi kapatma yeteneğidir. Daha önce yapılan çalışmalarda, uygun miktarda ışığa maruz kalmayan veya sadece kimyasal kürlenme ile sınırlı olan dual-cure rezinler, monomerin daha düşük bir dönüşüm derecesi nedeniyle maksimum mekanik özellikler elde edemeyebilir.<sup>(124)</sup>

Üreticilere göre Fill-Up bulkfill rezin kompozitin 6 mm kalınlığa kadar kürlenebildiği iddia edilmektedir. Kimyasal reaksiyon, baz ve katalizörün ekstrüzyonda statik bir karıştırıcıda karıştırılmasıyla gecikmeli olarak başlar. Malzeme merkezden kürlenir ve sadece 5-10 sn ışıkla sertleştirme gerekir.<sup>(125)</sup> Çalışmamızda kullanılan Fill-Up, 4 mm kalınlıkta hazırlanmasına ve 20 saniye polimerize edilmesine rağmen alttan üste oranı 0.80'e ulaşmamıştır. Aggarwal ve arkadaşlarının<sup>(126)</sup> 6 adet bulkfill kompozitin dönüşüm derecesini değerlendirdiği çalışmanın sonuçları da çalışmamızı desteklemektedir.

Günümüzde, rezin kompozitlerin dönüşüm derecelerinin artırılması ve artık monomerlerin azaltılması için güçlendirilmiş kimyasal yapıdaki yeni monomerler ve farklı tipte doldurucular geliştirilmektedir. Bu konudaki her gelişme bir çok çalışmayı da beraberinde getirecektir. Son zamanlarda, bulkfill rezin kompozit materyaller, kullanım kolaylığı ve zaman tasarrufu özellikleri sayesinde posterior dişlerin restorasyonunda tercih edilmektedir. Çalışmamızın bulguları dahilinde üretici firmanın tüm kavitenin tek seferde restore edilebileceğini iddia ettiği FUP bulkfill rezin kompoziti 4 mm tabaka kalınlığında istenilen dönüşüm derecesi oranını sağlayamamıştır. 5 mm tabaka kalınlığına kadar kullanılabilirdiği iddia edilen SCF ve FBF bulkfill rezin kompozitleri 4 mm tabaka kalınlığında çalışmamızın sonuçlarına göre güvenle uygulanabilir. Çalışmamızın bulgularına göre AFX ve VVC bulkfill rezin kompozitleri ise üreticilerin önerdiği 4 mm tabaka kalınlığında güvenle uygulanabilir.

Her in vitro çalışmada olduğu gibi, bu çalışmada da bazı limitasyonlar mevcuttur. Daha farklı tabaka kalınlıklarında kompozit örnekler kullanılarak, kullanılan materyallerin sayısı artırılarak, daha nicel yöntemlerle (FTIR, Raman vb) desteklenerek ve ileri biyolojik deneyler de dahil edilerek gerekirse in vivo ortamda gerçekleştirilen çalışmalarla bu çalışmanın sonuçları ile elde edilen bulgular desteklenebilir.

## 6.SONUÇ

Farklı tabaka kalınlıklarında (2 mm ve 4 mm) hazırlanıp polimerize edilen altı bulkfill resin kompozitin üst yüzey ve alt yüzey mikrosertlik değerleri Vickers mikrosertlik cihazıyla ölçülen ve sertlik oranları hesaplanarak dönüşüm derecesi hesaplanan bu çalışmada elde edilen bulgulara göre;

- 1) Çalışmamızda kullanılan bulkfill resin kompozitlerde 2 mm tabaka kalınlığında SCF grubu en yüksek; 4 mm tabaka kalınlığında ise VVC grubu en yüksek dönüşüm derecesine sahiptir. 4 mm tabaka kalınlığında VVC grubunu AFX, SCF ve FBF grupları takip etmektedir. FUP ve GHF grupları ise istenilen dönüşüm derecesi oranını aşamamıştır. (FUP>GHF)
- 2) Çalışmamızda kullanılan bulkfill resin kompozitlerin tabaka kalınlığı arttıkça dönüşüm dereceleri istatistiksel olarak anlamlı derecede azalmıştır. ( $p<0,05$ )
- 3) Çalışmamızda kullanılan bulkfill resin kompozitlerin tüm örneklerinde üst yüzey mikro sertlik değerleri alt yüzey mikro sertlik değerlerinden yüksek bulunmuştur.
- 4) Çalışmamızda, uygulanan tabaka kalınlığının bulkfill resin kompozitlerin mikro sertliğini ve dönüşüm derecesini etkilediği bulunmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] Al-Mansour K, Al-Sada A, Al-Sinan H. Curing depth of bulk-fill composites-an in-vitro study. *Pakistan oral & dental journal* 2015;35.
- [2] Nascimento AS, Lima DB, Fook MVL, Albuquerque MS, Lima EA, Sabino MA et al. Physicomechanical characterization and biological evaluation of bulk-fill composite resin. *Braz Oral Res* 2018;32:e107.
- [3] Devoto W, Saracinelli M, Manauta J. Composite in everyday practice: how to choose the right material and simplify application techniques in the anterior teeth. *Eur J Esthet Dent* 2010;5:102-24.
- [4] Kwon Y, Ferracane J, Lee I-B. Effect of layering methods, composite type, and flowable liner on the polymerization shrinkage stress of light cured composites. *Dental materials* 2012;28:801-9.
- [5] Kramer N, Lohbauer U, Garcia-Godoy F, Frankenberger R. Light curing of resin-based composites in the LED era. *American journal of dentistry* 2008;21:135.
- [6] Chen H, Manhart J, Hickel R, Kunzelmann K-H. Polymerization contraction stress in light-cured packable composite resins. *Dental Materials* 2001;17:253-9.
- [7] Kim M, Park S. Comparison of premolar cuspal deflection in bulk or in incremental composite restoration methods. *Operative dentistry* 2011;36:326-34.
- [8] Van Dijken J, Pallesen U. A randomized 10-year prospective follow-up of Class II nanohybrid and conventional hybrid resin composite restorations. *J Adhes Dent* 2014;16:585-92.
- [9] Leprince J, Palin W, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 2015;27:234-5.
- [10] Veloso SRM, Lemos CAA, de Moraes SLD, do Egito Vasconcelos BC, Pellizzer EP, de Melo Monteiro GQ. Clinical performance of bulk-fill and conventional resin composite restorations in posterior teeth: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig* 2019;23:221-33.
- [11] Singh J, Rajkumar B, Boruah LC, Gupta V, Batt A. Bulk fill composites in dentistry- A review. *IP Indian Journal of Conservative and Endodontics* 2019;4:9-13.
- [12] El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Operative dentistry* 2014;39:374-82.
- [13] Schneider LFJ, Cavalcante LM, Silikas N. Shrinkage stresses generated during resin-composite applications: a review. *Journal of dental biomechanics* 2010;2010.

- [14] Bonilla ED, Hayashi M, Pameijer CH, Le NV, Morrow BR, Garcia-Godoy F. The effect of two composite placement techniques on fracture resistance of MOD restorations with various resin composites. *J Dent* 2020;101:103348.
- [15] Burke F, Wilson N, Cheung S, Mjör I. Influence of patient factors on age of restorations at failure and reasons for their placement and replacement. *Journal of Dentistry* 2001;29:317-24.
- [16] Francisconi-Dos-Rios LF, Tavares JAO, Oliveira L, Moreira JC, Nahsan FPS. Functional and aesthetic rehabilitation in posterior tooth with bulk-fill resin composite and occlusal matrix. *Restor Dent Endod* 2020;45:e9.
- [17] Cetin AR, Hataysal AE, Kaplan TT, Botsali MS. Depth of cure and microhardness of a new composite vs. bulk-fill composites. *J Res in Med Dent Sci* 2019;7:53-9.
- [18] Kelly P, Smales R. Long-term cost-effectiveness of single indirect restorations in selected dental practices. *British dental journal* 2004;196:639-43.
- [19] Kabir J, Mellor A. Factors affecting fee setting for private treatment in general dental practice. *British dental journal* 2004;197:200-3.
- [20] Heck K, Manhart J, Hickel R, Diegritz C. Clinical evaluation of the bulk fill composite QuiXfil in molar class I and II cavities: 10-year results of a RCT. *Dent Mater* 2018;34:e138-e47.
- [21] van Dijken JW, Sunnegårdh-Grönberg K. Fiber-reinforced packable resin composites in Class II cavities. *Journal of dentistry* 2006;34:763-9.
- [22] McCabe J. Developments in composite resins. *British dental journal* 1984;157:440-4.
- [23] Philips R. Skinner's science of dental material. *Dental Porcelain* 1973;7:526-55.
- [24] Talib R. Dental composites: a review. *The Journal of Nihon University School of Dentistry* 1993;35:161-70.
- [25] Bowen R. Compatibility of various materials with oral tissues. I: The components in composite restorations. *Journal of Dental Research* 1979;58:1493-503.
- [26] Dayangaç B. *Kompozit rezin restorasyonlar: Güneş Kitabevi; 2000.*
- [27] Lutz F, Setcos J, Phillips R, Roulet J. Dental restorative resins. Types and characteristics. *Dental Clinics of North America* 1983;27:697-712.
- [28] Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clinical oral investigations* 2014;18:1991-2000.
- [29] Tiba A, Zeller GG, Estrich CG, Hong A. A laboratory evaluation of bulk-fill versus traditional multi-increment-fill resin-based composites. *Journal of the American Dental Association (1939)* 2013;144:1182-3.

- [30] Park J, Chang J, Ferracane J, Lee IB. How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling? *Dental materials* 2008;24:1501-5.
- [31] Garcia-Godoy F, Krämer N, Feilzer AJ, Frankenberger R. Long-term degradation of enamel and dentin bonds: 6-year results in vitro vs. in vivo. *Dental Materials* 2010;26:1113-8.
- [32] Kalmowicz J, Phebus J, Owens B, Johnson W, King G. Microleakage of class I and II composite resin restorations using a sonic-resin placement system. *Operative dentistry* 2015;40:653-61.
- [33] Bechtold J, Dos Santos PJ, Anido-Anido A, Di Hipólito V, Alonso RCB, D'Alpino PHP. Hardness, polymerization depth, and internal adaptation of Class II silorane composite restorations as a function of polymerization protocol. *European Journal of Dentistry* 2012;6:133-40.
- [34] Van Ende A, De Munck J, Lise DP, Van Meerbeek B. Bulk-Fill Composites: A Review of the Current Literature. *J Adhes Dent* 2017;19:95-109.
- [35] Chesterman J, Jowett A, Gallacher A, Nixon P. Bulk-fill resin-based composite restorative materials: a review. *British dental journal* 2017;222:337-44.
- [36] Gönder HY, Ceyda Ö. Bulk-Fill Kompozit Rezinler. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Dergisi*;2:117-23.
- [37] Ivanovas S, Hickel R, Ilie N. How to repair fillings made by silorane-based composites. *Clinical Oral Investigations* 2011;15:915-22.
- [38] Paganini A, Attin T, Tauböck TT. Margin integrity of bulk-fill composite restorations in primary teeth. *Materials* 2020;13:3802.
- [39] Rizzante FAP, Duque JA, Duarte MAH, Mondelli RFL, Mendonca G, Ishikiriama SK. Polymerization shrinkage, microhardness and depth of cure of bulk fill resin composites. *Dental materials journal* 2019;38:403-10.
- [40] Wang R, Liu H, Wang Y. Different depth-related polymerization kinetics of dual-cure, bulk-fill composites. *Dental Materials* 2019;35:1095-103.
- [41] Oltramare RS, Odermatt R, Burrer P, Attin T, Tauböck TT. Depth-Related Curing Potential of Ormocer-and Dimethacrylate-Based Bulk-Fill Composites. *Materials* 2021;14:6753.
- [42] Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. *Phillips' science of dental materials*: Elsevier Health Sciences; 2012.
- [43] Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill resin-based composites: an in vitro assessment of their mechanical performance. *Operative dentistry* 2013;38:618-25.

- [44] Chesterman J, Jowett A, Gallacher A, Nixon P. Bulk-fill resin-based composite restorative materials: a review. *Br Dent J* 2017;222:337-44.
- [45] Garcia D, Yaman P, Dennison J, Neiva G. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Operative dentistry* 2014;39:441-8.
- [46] Isufi A, Plotino G, Grande NM, Ioppolo P, Testarelli L, Bedini R et al. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with a bulkfill flowable material and a resin composite. *Annali di stomatologia* 2016;7:4.
- [47] Furness A, Tadros MY, Looney SW, Rueggeberg FA. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. *Journal of dentistry* 2014;42:439-49.
- [48] Orłowski M, Tarczydło B, Chałas R. Evaluation of marginal integrity of four bulk-fill dental composite materials: in vitro study. *The Scientific World Journal* 2015;2015.
- [49] Agarwal RS, Hiremath H, Agarwal J, Garg A. Evaluation of cervical marginal and internal adaptation using newer bulk fill composites: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry*: 2015;18:56.
- [50] Bahillo J, Bortolotto T, Roig M, Krejci I. Bulk filling of Class II cavities with a dual-cure composite: Effect of curing mode and enamel etching on marginal adaptation. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* 2014;6:e502.
- [51] Goracci C, Cadenaro M, Fontanive L, Giangrosso G, Juloski J, Vichi A et al. Polymerization efficiency and flexural strength of low-stress restorative composites. *Dental materials* 2014;30:688-94.
- [52] Yokesh CA, Hemalatha P, Muthalagu M, Justin MR. Comparative evaluation of the depth of cure and degree of conversion of two bulk fill flowable composites. *Journal of clinical and diagnostic research*: 2017;11:ZC86.
- [53] Ersoy M, Emre Ö, GÖKÇE K. Farklı uygulama yöntemlerinin kompozit rezinlerin. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2007;2007:28-31.
- [54] Taşveren S. İki farklı restoratif materyalin yüzey sertliklerinin karşılaştırılması. *Cumhuriyet Üniv Diş Hek Fak Derg* 2005;8:94-7.
- [55] Der GDF. Sabit protezlerde kullanılan iki estetik materyalin aşınma özelliklerinin incelenmesi. *diş hekimliği fakültesi dergisi* 1994:109.
- [56] Roberson T, Heymann HO, Swift Jr EJ. *Sturdevant's art and science of operative dentistry*: Elsevier Health Sciences; 2006.
- [57] Türel V. Restoratif dental materyallerin yüzey mekanik özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2015;25:77-82.
- [58] Metallurgist GEL. Consultant to Thermal Spray Coating Industry. Prieiga per internetą:<http://www.gordonengland.co.uk/tsc.htm>) *Țiuręta* 2011;17.

- [59] Xu H, Smith D, Jahanmir S, Romberg E, Kelly J, Thompson V et al. Indentation damage and mechanical properties of human enamel and dentin. *Journal of dental research* 1998;77:472-80.
- [60] Canay Ş, Hersek N, Tulunoğlu I, Uzun G. Evaluation of colour and hardness changes of soft lining materials in food colorant solutions. *Journal of oral rehabilitation* 1999;26:821-9.
- [61] Broz ME, Cook RF, Whitney DL. Microhardness, toughness, and modulus of Mohs scale minerals. *American Mineralogist* 2006;91:135-42.
- [62] O'brien WJ. *Dental materials and their selection*, 2002. Quintessence 2002.
- [63] Hasan EH, Shokry KM, Emam AA. Study of impact energy and hardness on reinforced polymeric composites. *Mapan* 2010;25:239-43.
- [64] Willems G, Celis J-P, Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Hardness and Young's modulus determined by nanoindentation technique of filler particles of dental restorative materials compared with human enamel. *Journal of biomedical materials research* 1993;27:747-55.
- [65] Al Sunbul H, Silikas N, Watts DC. Polymerization shrinkage kinetics and shrinkage-stress in dental resin-composites. *Dent Mater* 2016;32:998-1006.
- [66] Alrahlah A, Silikas N, Watts D. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dental materials* 2014;30:149-54.
- [67] Costa T, Rezende M, Sakamoto A, Bittencourt B, Dalzochio P, Loguercio A et al. Influence of adhesive type and placement technique on postoperative sensitivity in posterior composite restorations. *Operative dentistry* 2017;42:143-54.
- [68] Ceballos L, Fuentes M, Tafalla Pastor H, Martínez Á, Flores J, Rodríguez J. Curing effectiveness of resin composites at different exposure times using LED and halogen units. 2009.
- [69] van Dijken JW, Pallesen U. A randomized controlled three year evaluation of “bulk-filled” posterior resin restorations based on stress decreasing resin technology. *Dental Materials* 2014;30:e245-e51.
- [70] Atalayın Ç, Yaşa E, Karaçolak G, Tuğrul S, Türkün LŞ. Farklı modlarda kullanılan ışık kaynağı ile sertleştirilen bulk-fill kompozit rezinlerin pulpa odasında oluşturduğu sıcaklık değişimlerinin değerlendirilmesi: ex vivo. *Acta Odontologica Turcica* 2017;34:55-60.
- [71] Wang L, D'Alpino PHP, Lopes LG, Pereira JC. Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests. *Journal of Applied Oral Science* 2003;11:162-7.
- [72] Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *Journal of dentistry* 2014;42:993-1000.

- [73] Singla MG, Relhan N, Viridi I. Comparative evaluation of depth of cure of three high viscosity bulk fill composites versus conventional composite: An in vitro study. *International Journal of Clinical Preventive Dentistry* 2018;14:145-51.
- [74] Moorthy A, Hogg C, Dowling A, Grufferty B, Benetti A, Fleming G. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. *Journal of dentistry* 2012;40:500-5.
- [75] Roggendorf MJ, Krämer N, Appelt A, Naumann M, Frankenberger R. Marginal quality of flowable 4-mm base vs. conventionally layered resin composite. *Journal of dentistry* 2011;39:643-7.
- [76] Sakaguchi RL, Powers JM. *Craig's restorative dental materials-e-book*: Elsevier Health Sciences; 2012.
- [77] Kelić K, Matić S, Marović D, Klarić E, Tarle Z. Microhardness of bulk-fill composite materials. *Acta Clinica Croatica* 2016;55:607-13.
- [78] Burtscher P, Rheinberger V. Germanium based photoinitiator as an alternative to camphorquinone/amine. *IADR abstract*2008.
- [79] Moszner N, Fischer UK, Ganster B, Liska R, Rheinberger V. Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. *Dental Materials* 2008;24:901-7.
- [80] Moll K, Fritzenschaft A, Haller B. In vitro comparison of dentin bonding systems: effect of testing method and operator. *Quintessence international* 2004;35.
- [81] Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A et al. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dental materials* 2010;26:e100-e21.
- [82] Price RB, Murphy DG, Dérand T. Light energy transmission through cured resin composite and human dentin. *Quintessence International* 2000;31.
- [83] Rueggeberg F, Caughman WF, Curtis J. Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Operative dentistry* 1994;19:26-.
- [84] Rahiotis C, Kakaboura A, Loukidis M, Vougiouklakis G. Curing efficiency of various types of light-curing units. *European Journal of Oral Sciences* 2004;112:89-94.
- [85] Park S-H, Kim S-S, Cho Y-S, Lee S-Y, Noh B-D. Comparison of linear polymerization shrinkage and microhardness between QTH-cured & LED-cured composites. 2005.
- [86] CHUNG KH, Greener E. Correlation between degree of conversion, filler concentration and mechanical properties of posterior composite resins. *Journal of oral rehabilitation* 1990;17:487-94.

- [87] Park SH, Krejci I, Lutz F. Microhardness of resin composites polymerized by plasma arc or conventional visible light curing. *Operative dentistry* 2002;27:30-7.
- [88] Rastelli A, Jacomassi D, Bagnato V. Degree of conversion and temperature increase of a composite resin light cured with an argon laser and blue LED. *Laser Physics* 2008;18:1570-5.
- [89] Leprince JG, Leveque P, Nysten B, Gallez B, Devaux J, Leloup G. New insight into the “depth of cure” of dimethacrylate-based dental composites. *Dental Materials* 2012;28:512-20.
- [90] Tonetto MR, Pinto SCS, Rastelli AdNS, Borges AH, Saad JRC, Pedro FLM et al. Degree of conversion of polymer-matrix composite assessed by FTIR analysis. *Journal of Contemporary Dental Practice* 2013;76-9.
- [91] Cramer N, Stansbury J, Bowman C. Recent advances and developments in composite dental restorative materials. *Journal of dental research* 2011;90:402-16.
- [92] Dickens SH, Stansbury J, Choi K, Floyd C. Photopolymerization kinetics of methacrylate dental resins. *Macromolecules* 2003;36:6043-53.
- [93] Venz S, Dickens B. NIR-spectroscopic investigation of water sorption characteristics of dental resins and composites. *Journal of biomedical materials research* 1991;25:1231-48.
- [94] Stansbury J, Dickens SH. Determination of double bond conversion in dental resins by near infrared spectroscopy. *Dental Materials* 2001;17:71-9.
- [95] Moraes LGP, Rocha RSF, Menegazzo LM, Araújo EBd, Yukimito K, Moraes JCS. Infrared spectroscopy: a tool for determination of the degree of conversion in dental composites. *Journal of Applied Oral Science* 2008;16:145-9.
- [96] DeWald J, Ferracane J. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. *Journal of dental research* 1987;66:727-30.
- [97] Rueggeberg F, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *Journal of dental research* 1988;67:932-7.
- [98] Obici AC, Sinhoreti MAC, Frollini E, Correr Sobrinho L, Consani S. Degree of conversion of Z250 composite determined by fourier transform infrared spectroscopy: comparison of techniques, storage periods and photo-activation methods. *Materials Research* 2004;7:605-10.
- [99] Kopperud HM, Johnsen GF, Lamolle S, Kleven IS, Wellendorf H, Haugen HJ. Effect of short LED lamp exposure on wear resistance, residual monomer and degree of conversion for Filtek Z250 and Tetric EvoCeram composites. *Dental Materials* 2013;29:824-34.
- [100] Vankerckhoven H, Lambrechts P, Van Beylen M, Davidson C, Vanherle G. Unreacted methacrylate groups on the surfaces of composite resins. *Journal of Dental Research* 1982;61:791-6.

- [101] Poskus LT, Placido E, Cardoso PEC. Influence of placement techniques on Vickers and Knoop hardness of class II composite resin restorations. *Dental Materials* 2004;20:726-32.
- [102] Monte Alto RV, Guimarães JGA, Poskus LT, Silva EMd. Depth of cure of dental composites submitted to different light-curing modes. *Journal of Applied Oral Science* 2006;14:71-6.
- [103] Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 2004;29:698-704.
- [104] Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Husler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater* 2012;28:521-8.
- [105] Marovic D, Panduric V, Tarle Z, Ristic M, Sariri K, Demoli N et al. Degree of conversion and microhardness of dental composite resin materials. *Journal of molecular structure* 2013;1044:299-302.
- [106] Neves AD, Discacciati JAC, Oréface RL, Jansen WC. Correlation between degree of conversion, microhardness and inorganic content in composites. *Pesquisa Odontológica Brasileira* 2002;16:349-54.
- [107] Hosseinalipour M, Javadpour J, Rezaie H, Dadras T, Hayati AN. Investigation of mechanical properties of experimental Bis-GMA/TEGDMA dental composite resins containing various mass fractions of silica nanoparticles. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry* 2010;19:112-7.
- [108] Mante M, Saleh N, Tanna N, Mante F. Softening patterns of light cured glass ionomer cements. *Dental Materials* 1999;15:303-9.
- [109] Fuentes V, Toledano M, Osorio R, Carvalho RM. Microhardness of superficial and deep sound human dentin. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials* 2003;66:850-3.
- [110] Price RB, Labrie D, Rueggeberg FA, Felix CM. Irradiance differences in the violet (405 nm) and blue (460 nm) spectral ranges among dental light-curing units. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 2010;22:363-77.
- [111] Watts D, Amer O, Combe E. Surface hardness development in light-cured composites. *Dental Materials* 1987;3:265-9.
- [112] Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Hüsler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dental materials* 2012;28:521-8.
- [113] Sudheer V, Manjunath M. Contemporary curing profiles: Study of effectiveness of cure and polymerization shrinkage of composite resins: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry: JCD* 2011;14:383.

- [114] Braem M, Finger W, Van Doren V, Lambrechts P, Vanherle G. Mechanical properties and filler fraction of dental composites. *Dental Materials* 1989;5:346-9.
- [115] Abuelenain DA, Neel E, Al-Dharrab A. Surface and mechanical properties of different dental composites. *Austin J Dent* 2015;2:1019.
- [116] Gordan VV, Patel SB, Barrett AA, Shen C. Effect of surface finishing and storage media on bi-axial flexure strength and microhardness of resin-based composite. *Operative Dentistry of Washington-* 2003;28:560-7.
- [117] Rueggeberg F, Margeson D. The effect of oxygen inhibition on an unfilled/filled composite system. *Journal of dental research* 1990;69:1652-8.
- [118] Melo RA, Bispo AdSL, Barbosa GA, Galvão MR, de Assunção IV, Souza ROdA et al. Morphochemical characterization, microhardness, water sorption, and solubility of regular viscosity bulk fill and traditional composite resins. *Microscopy research and technique* 2019;82:1500-6.
- [119] Sharkey S, Ray N, Burke F, Ziada H, Hannigan A. Surface hardness of light-activated resin composites cured by two different visible-light sources: an in vitro study. *Quintessence international* 2001;32.
- [120] Lodhi T, Strydom C. Influence of shade on curing hardness of two nanocomposites. *Journal of the Kenya Dental Association* 2014;5:227-32.
- [121] Colombo M, Gallo S, Poggio C, Ricaldone V, Arciola CR, Scribante A. New resin-based bulk-fill composites: In vitro evaluation of micro-hardness and depth of cure as infection risk indexes. *Materials* 2020;13:1308.
- [122] Moharam L-M, El-Hoshy A-Z, Abou-Elenein K. The effect of different insertion techniques on the depth of cure and vickers surface micro-hardness of two bulk-fill resin composite materials. *Journal of clinical and experimental dentistry* 2017;9:e266.
- [123] Swapna MU, Koshy S, Kumar A, Nanjappa N, Benjamin S, Nainan MT. Comparing marginal microleakage of three Bulk Fill composites in Class II cavities using confocal microscope: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry*: 2015;18:409.
- [124] Vandewalker JP, Casey JA, Lincoln TA, Vandewalle KS. Properties of dual-cure, bulk-fill composite resin restorative materials. *General dentistry* 2016;64:68-73.
- [125] Fill Up Scientific Documentation.
- [126] Aggarwal N, Jain A, Gupta H, Abrol A, Singh C, Rapgay T. The comparative evaluation of depth of cure of bulk-fill composites—An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry: JCD* 2019;22:371.