

Giomer Bulk-Fill, Hibrit Bulk-Fill ve Nano-Hibrit Kompozitlerin Farklı Uygulama Protokolleri Kullanılarak Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması: İn Vitro Çalışma

Comparison of the Mechanical Properties of Two Giomer Based Bulk-Fill, a Hybrid Bulk-Fill and a Nanohybrid Composites with Different Application Protocols: In Vitro Study

^{id} Aylin ÇİLİNGİR^a, ^{id} Meltem MERT EREN^b, ^{id} Benin DİKMEN^c, ^{id} Özge GÜRBÜZ^c, ^{id} Alev ÖZSOY^c

^aTrakya Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi, Restoratif Dış Hekimliği ABD, Edirne, TÜRKİYE

^bAltınbaş Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi, Restoratif Dış Hekimliği ABD, İstanbul, TÜRKİYE

^cİstanbul Medipol Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi, Restoratif Dış Hekimliği ABD, İstanbul, TÜRKİYE

ÖZET Amaç: Bu çalışmada, farklı tabaka kalınlıklarında uygulanan düşük ve yüksek viskoziteli bulk-fill giomerler, bir nano-hibrit kompozit ve bir bulk-fill hibrit kompozitin basma dayanımlarıyla bükülme dayanımlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. **Gereç ve Yöntemler:** Kompozit malzemelerin basma dayanımlarının değerlendirilmesi amacıyla 6 grupta (n=10) toplam 60 adet silindirik şekilde örnek (6x3mm) hazırlanmıştır. Deney grupları aşağıdaki şekildedir:

- Grup 1 (G1) Tetric N-Ceram (TNC) (2+2+2 mm),
- Grup 2 (G2) Tetric N-Ceram Bulk-Fill (TBF) (4+2 mm),
- Grup 3 (G3) Beautifill Bulk-Fill Flowable (BBF) (4+2 mm),
- Grup 4 (G4) Beautifill Bulk Restorative (BBR) (4+2 mm),
- Grup 5 (G5) 2 mm BBF+4 mm BBR,
- Grup 6 (G6) 4 mm BBF+2 mm BBR.

Örnekler 1 mm/dk kafa hızında basma dayanımı testine tabi tutulmuştur. Bükülme dayanımı ve bükülme modülüsünün hesaplanabilmesi amacıyla 40 adet (25x2x2 mm) (n=10) kompozit örnek hazırlanmış [TNC (GF1), TBF (GF2), BBR (GF3), BBF (GF4)] ve 3 nokta bükülme testi (0,5 mm/dk) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, tek yönlü ANOVA ve Tamhane T2 testleri kullanılarak değerlendirilmiştir (p<0,05). **Bulgular:** G6'nın basma dayanımı ortalaması, G1, G2, G3, G4 ve G5 gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur (p<0,01). Diğer grupların basma dayanımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır (p>0,05). GF4'ün ortalama bükülme dayanımı, GF1, GF2 ve GF3 gruplarından istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunurken, diğer gruplar arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. **Sonuç:** En yüksek basma ve bükülme dayanımı değerleri, bulk-fill giomerlerle elde edilmiştir. BBR altında uygulandığında BBF kalınlığını 2 mm'den 4 mm'ye çıkarmak, basma dayanımını istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Giomer bulk-fill kompozitler; S-PRG doldurucular; mekanik özellikler; tabaka kalınlığı

ABSTRACT Objective: This study evaluated the compressive strength of low and high viscosity bulk-fill giomers, a nano-hybrid and a bulk-fill hybrid composites with varied layer thicknesses and evaluated their flexural strength. **Material and Methods:** Sixty cylindrical specimens (6x3 mm) in 6 subgroups were fabricated (n=10). The restorations were made using either:

- Group 1 (G1) Tetric N-Ceram (TNC) (2+2+2 mm)
- Group 2 (G2) Tetric N-Ceram Bulk-Fill (TBF) (4+2 mm),
- Group 3 (G3) Beautifill Bulk-Fill Flowable (BBF) (4+2 mm),
- Group 4 (G4) Beautifill Bulk Restorative (BBR) (4+2 mm),
- Group 5 (G5) 2 mm BBF+4 mm BBR,
- Group 6 (G6) 4 mm BBF+2 mm BBR.

Compressive tests were performed at 1 mm/min. To determine the flexural strength and the flexural modulus, 40 specimens for each resin composite were prepared [TNC (GF1), TBF (GF2), BBR (GF3), BBF (GF4)] (n = 10) (25x2x2 mm) and subjected to three-point bending test (0.5 mm/min). Data were analyzed using one-way ANOVA and Tamhane's T2 tests (p<0.05). **Results:** G6 showed statistically significantly higher compressive strength values than G1, G2, G3, G4, G5 groups (p<0.01) whereas no significant difference found between the other groups tested (p>0.05). The mean flexural strength of the GF4 was found statistically significantly higher than the GF1, GF2 and the GF3 groups, where no significant difference detected between the other groups. **Conclusion:** The compressive and the flexural strength values of the bulk-fill giomers were found to be the highest. Increasing Beautifill Bulk Restorative (BBF) thickness 2mm to 4mm under (Beautifill Bulk-Fill Flowable) BBR, improved the compressive strength significantly.

Keywords: Giomer bulk-fill composites; S-PRG fillers; mechanical properties; layer thickness

Correspondence: Aylin ÇİLİNGİR

Trakya Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi, Restoratif Dış Hekimliği ABD, Edirne, TÜRKİYE/TURKEY

E-mail: aylincilingir@trakya.edu.tr



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences.

Received: 02 Feb 2021

Received in revised form: 26 May 2021

Accepted: 04 Jun 2021

Available online: 15 Jun 2021

2146-8966 / Copyright © 2021 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Direkt kompozit restorasyonların değerlendirildiği çalışmalarda polimerizasyon büzülmesinin önlenmesi için tabakalı teknik önerilmiş olsa da bu tekniğin zaman alıcı olması, işlem sırasında kontaminasyon ve hava kabarcığı oluşma riski gibi dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar ve beklentiler nedeniyle bulk-fill kompozitler geliştirilmiş ve dental marketlerde yerini bulmuştur.^{1,2} Bulk-fill kompozitlerin mekanik özelliklerinin değerlendirildiği çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır.^{3,4}

Bu eğilimle bağlantılı olarak, remineralizasyon ihtiyacını karşılamak amacıyla düşük ve yüksek viskoziteli bulk-fill giomerler geliştirilmiştir.⁵⁻⁷ Giomerler, rezin esaslı kompozitler ve cam iyonomerleri önceden reaksiyona girmiş cam doldurucu (Pre-Reacted Glass filler) teknolojisiyle bir araya getirilerek, cam iyonomer simanların klinik avantajlarını rezin esaslı kompozitlere kazandırmayı amaçlamıştır. Böylece estetik ve potansiyel dehidratasyon problemini elimine etmeleri hedeflenmektedir.⁶

Önceden reaksiyona girmiş cam doldurucu esaslı materyallerin, demineralizasyonu önlemede ve remineralizasyonu desteklemede açık bir etkisinin olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir.⁸⁻¹⁵ Günümüzde yüzey ön reaksiyonlu cam iyonomerin [surface pre-reacted glass ionomer (S-PRG)] doldurucu teknolojisi, bulk-fill rezin kompozitlerle birleştirilerek kullanılmıştır. Düşük ve yüksek viskoziteli giomer bulk-fill kompozitlerin yeterli polimerizasyon derinliğine ve düşük polimerizasyon büzülmesine sahip olduğu gösterilmiştir.⁷ Geleneksel cam iyonomer simanın florür içeriğinin yararları olduğu gibi klas I kaviteelerde ara bir cam iyonomer tabakasının varlığının, cam iyonomer siman ve dentin arasındaki difüzyona bağlı olarak zayıf bir tabaka olduğu bildirilmiştir.⁵ Cam iyonomer simana S-PRG doldurucu ilavesinin radyoopasite, kullanım özellikleri ve basma dayanımını artırdığı yayınlarla gösterilmiştir.⁵ Bulk-fill kompozitlerin mekanik özellikleriyle ilgili çok sayıda araştırma olmasına rağmen, düşük ve yüksek viskoziteli bulk-fill giomerlerle ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.¹⁻⁴

Düşük ve yüksek viskoziteli bulk-fill giomerlerin bükülme dayanımı ve modülüsü ile ilgili sınırlı sayıda yapılmış çalışmada, bulk-fill kompozitlerle karşılaştırıldığında kıyaslanabilir sonuçlar elde edildiği görülmüştür.^{6,16} Ayrıca giomerlerin yeterli bükülme dayanımına sahip olduğu ve fazla okluzal yük gelen bölgelerde güvenle kullanılabileceği de gösterilmiştir.¹⁶

Çalışmamızın amacı, farklı kalınlıkta tabakalar hâlinde değişik kombinasyonlarda hazırlanmış düşük ve yüksek viskoziteli giomer bulk-fillerle bir bulk-fill hibrit ve bir nano-hibrit kompozitin basma dayanımı, tüm bu materyallerin bükülme dayanımı ve bükülme modülüsü açısından değerlendirilmesidir.

Sıfır hipotezimiz; düşük viskoziteli giomer bulk-fill kompozit tabakasının kalınlığını artırmak basma dayanımı etkilemeyecek ve materyallerin bükülme dayanımları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık olmayacaktır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada bir yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit [Tetric N-Ceram Bulk-Fill (TBF), Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn] bir yüksek viskoziteli giomer bulk-fill kompozit [Beautiful Bulk Restorative (BBR), Shofu, Kyoto, Japonya], bir düşük viskoziteli giomer bulk-fill kompozit [Beautiful Bulk-Fill Flowable (BBF), Shofu, Kyoto, Japonya] ve bir nano-hibrit kompozit [Tetric N-Ceram (TNC), Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn] kullanılmıştır. Kullanılan materyallerin özellikleri **Tablo 1**'de gösterilmiştir.

BASMA DAYANIMI ÖRNEKLERİ

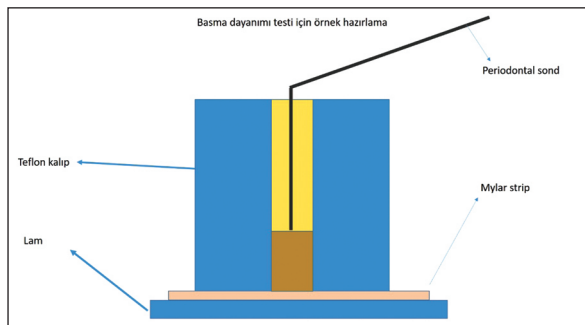
Basma dayanımını değerlendirmek amacıyla farklı tabaka kalınlıklarına sahip 60 adet silindir blok hazırlanmıştır.

Kompozit rezinler polimerize edilmeden önce, bir lam üzerine mylar strip yerleştirildikten sonra silindir şeklinde bir teflon kalıba (6 mm yükseklik ve 3 mm çap) yerleştirilmiştir. Kompozitler, aşağıda anlatıldığı gibi 2 veya 3 tabaka hâlinde, 6 grup olacak şekilde ve her tabaka 20 sn süreyle polimerize edilmiştir. Tabakalarının kalınlığı bir periodontal sond yardımıyla ayarlanmıştır (**Şekil 1A**). Son tabakada teflon kalıp üzerine sırasıyla mylar strip ve lam koyulup sıkıştırılmak suretiyle fazla malzeme uzaklaştırılmış ve ışıkla polimerize edilmiştir (n=10). Kalıbın üstündeki ve altındaki lam uzaklaştırılarak örnekler her 2 yönden ilave yirmişer sn daha ışıkla polimerize edilmişlerdir (**Şekil 1B**). Tüm nu-

TABLO 1: Çalışmada kullanılan kompozit rezin materyaller, içerikleri ve üretici firmalar.

Materyal	Tipi	Üretici firma	Doldurucu tipi	Doldurucu içeriği (%ağırlık-%hacim)	Rezin	Üretici firmanın kullanma talimatı
Tetric N-ceram bulk-fill	Bulk-fill hibrit kompozit	Ivoclar Vivadent, Schaan,Lihtenştayn	Ba-Al-Si camı, prepolimerize doldurucular (monomer, cam doldurucu ve ytterbium lüoride), sferikal mixed oksit	75-77 60-61	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA	Üst katman olmaksızın 4 mm'ye kadar uygulama
Tetric N-Ceram	Nano-hibrit kompozit	Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn	Baryum camı, YbF3, SiO2	80,5 57	Bis-EMA, UDMA, Bis-GMA	Tabakalama tekniği 2 mm'ye kadar uygulama
Beautiful bulk restorative	Yüksek viskoziteli bulk-fill giomer	Shofu Inc. Kyoto, Japonya	S-PRG doldurucular fluoroboroaluminosilikat camı, polimerizasyon başlatıcı	87,0 74,5	Bis-GMA, UDMA, Bis-MPEPP, TEGDMA	Üst katman olmaksızın 4 mm'ye kadar uygulama
Beautiful bulk-flowable	Düşük viskoziteli bulk-fill giomer	Shofu Inc. Kyoto, Japonya	S-PRG doldurucular fluoroboroaluminosilikat camı, polimerizasyon başlatıcı	72,5 51,0	Bis-GMA, UDMA, Bis-MPEPP, TEGDMA	Üst katman ile 4 mm'ye kadar uygulama

S-PRG: Yüzey ön reaksiyonlu cam iyonomer; Bis-GMA: Bisfenol A-glisidil metakrilat; UDMA: Üretan dimetakrilat; Bis-EMA: Bisfenol A diglisidil metakrilat etoksile; Bis-MPEPP: Bizfenol A politoksi metakrilat; TEGDMA: trietilen glikol dimetakrilat.

**ŞEKİL 1A:** Basma dayanımı testi için örnek hazırlama.¹

munelerin polimerizasyonu için dalga boyu: 450-470 nm, ışık yoğunluğu: 1.200 mW/cm² olan Demetron® LED LCU (L.E. Demetron 1, SDS/Kerr, Orange, CA, ABD) kullanılmıştır.

Basma dayanımı testleri için numuneler aşağıda anlatıldığı şekilde hazırlanmıştır:

Grup 1 (G1) TNC (3 adımda ikişer mm'lik tabakalarda TNC kalıba yerleştirilip sırasıyla polimerize edilmiştir).

Grup 2 (G2) TBF (Kalıba 4 mm TBF uygulanıp polimerize edilmiş daha sonra üzerine 2 mm TBF uygulanıp tekrar polimerize edilmiştir).

Grup 3 (G3) BBF (4 mm yerleştirilip polimerize edildikten sonra 2 mm daha BBF yerleştirilip polimerize edilmiştir).

Grup 4 (G4) BBR (4 mm yerleştirilip polimerize edildikten sonra 2 mm daha BBR yerleştirilip polimerize edilmiştir).

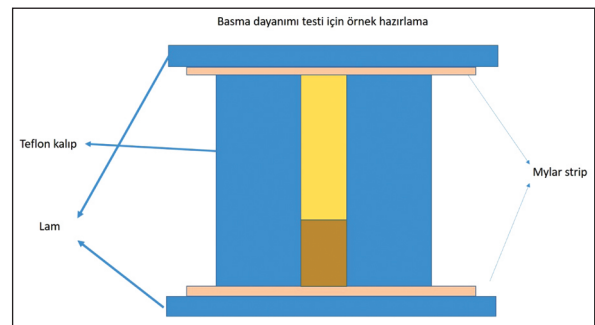
Grup 5 (G5) BBF 2 mm+BBR 4 mm (öncelikle 2 mm BBF yerleştirilip polimerize edilmiş daha sonra 4 mm BBR yerleştirilip polimerize edilmiştir).

Grup 6 (G6) BBF 4 mm+BBR 2 mm (4 mm BBF yerleştirilip polimerize edildikten sonra 2 mm BBR yerleştirilip polimerize edilmiştir).

İşıkla polimerizasyon işlemi takiben örnekler, 37°C distile suda 24 saat bekletilmiştir.

BÜKÜLME DAYANIMI VE BÜKÜLME MODÜLÜ ÖRNEKLERİ

Bükülme dayanımı ve bükülme modülü tayini için her bir rezin kompozitten 4 grupta 40 adet örnek ISO

**ŞEKİL 1B:** Basma dayanımı testi için örnek hazırlama.²

4049 standartlarına göre hazırlanmıştır. Örnekler hazırlanırken, 25x2x2 mm boyutlarında metal bir kalıp kullanılmıştır. Gruplar aşağıdaki şekildedir:

GF1: TNC

GF2: TBF

GF3: BBR

GF4: BBF

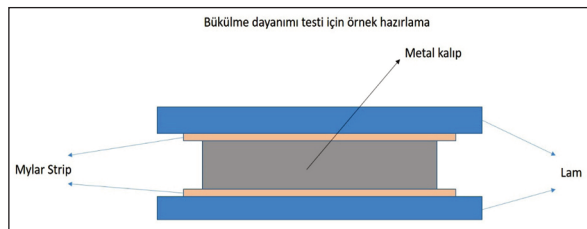
Kompozitler tek parça hâlinde yerleştirilmiş, fazla malzemenin uzaklaştırılması için kalıp altından ve üstünden mylar strip ve lam arasında sıkıştırılarak fazla malzemenin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Her örnek uzunluğu boyunca eşit polimerizasyon sağlandığından emin olmak için ISO 4049: 2009 protokolü değiştirilerek polimerize edilmiştir. Işık cihazının ucu, numune boyunca önceden polimerize edilmiş bölüme örtüşen çapın yarısı kadar hareket ettirilmiştir. Örnekler her 2 yüzeyden 20 sn boyunca polimerize edilmişlerdir. Lam ve mylar stripler uzaklaştırılarak her 2 yüzeyden ilave 20 sn daha polimerizasyon gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Tüm örneklerin polimerizasyonunda Demetron® LED LCU (L.E. Demetron 1, SDS/Kerr, Orange, CA, ABD) kullanılmıştır.^{16,17} Polimerize edildikten sonra tüm örnekler kalıplardan çıkarılmış, 24 saat boyunca 37°C’de distile su içinde saklanmıştır.

BASMA DAYANIMI TESTLERİ

Basma dayanımı testleri 1 mm/dk kafa hızında bir universal test cihazıyla örnek kırılana kadar kuvvet uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Shimadzu AG-5 KN; Shimadzu Corp, Tokyo, Japonya). Basma dayanımı (σ MPa cinsinden) $\sigma = P/A$ formülü kullanılarak elde edilmiştir. P, maksimum yük (N) ve A, numunenin kesit alanıdır.¹⁸

BÜKÜLME DAYANIMI TESTLERİ

Bu çalışmada bükülme dayanımı ve bükülme modülünü belirlemek için 3 nokta bükme testi kullanılmıştır.



ŞEKİL 2: Bükülme dayanımı testi için örnek hazırlama.

Tüm örneklerle (n=10) 0,5 mm/dk kafa hızına sahip bir universal test cihazında (Shimadzu AG-5 KN; Shimadzu Corp, Tokyo, Japonya) kırılana kadar yük uygulanmıştır. Bükülme dayanımı verileri (σ MPa cinsinden) $\sigma = 3DP/(2WH^2)$ formülü kullanılarak elde edilmiştir. D, destekler arasındaki mesafedir (20 mm), P, maksimum yük (N), W, genişlik (2 mm) ve H, örneğin yüksekliğidir (2 mm). Bükülme modülü (E GPa cinsinden) aşağıdaki formül kullanılarak elde edilmiştir.¹⁸

$$E = (P/D) \cdot (D^3/(4WH^3))$$

Burada P/D, yük-yer değiştirme eğrisinin doğrusal kısmındaki eğimdir.¹⁸

İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için IBM SPSS Statistics 22 programı kullanılmıştır. Çalışma verileri değerlendirilirken, parametrelerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testiyle değerlendirilmiş ve parametrelerin normal dağılıma uygun olduğu saptanmıştır. Çalışma verileri değerlendirilirken, parametrelerin gruplar arası karşılaştırmalarında ANOVA testi ve farklılığa neden çıkan grubun tespitinde grupların varyansları homojen olmadığı durumlarda Tamhane’s T2 testi, varyanslar homojen ise Tukey HSD testi kullanılmıştır. Anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde değerlendirilmiştir.

BULGULAR

BASMA DAYANIMI

Basma dayanımı sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. ANOVA testi sonuçlarına göre, grupların basma dayanımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p=0,001$; $p<0,01$). Farklılığın hangi gruptan kaynaklandığını tespit edebilmek için yapılan “post hoc” Tamhane’s T2 test sonucunda, G6’nın basma dayanımı ortalaması, G1 ($p=0,001$), G2 ($p=0,001$), G3 ($p=0,007$), G4 ($p=0,005$) ve G5 ($p=0,001$) gruplarından anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur ($p<0,01$). Diğer grupların basma dayanımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır ($p>0,05$).

BÜKÜLME DAYANIMI VE BÜKÜLME MODÜLÜ

Bükülme dayanımı ve bükülme modülü verileri Tablo 3'te gösterilmiştir. Grupların ortalama bükülme dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p=0,001$; $p<0,01$). Farkın kaynaklandığı grubu belirlemek için “post hoc” Tukey HSD testi kullanıldığında, GF4'ün ortalama bükülme dayanımı GF1 ($p=0,001$), GF2 ($p=0,001$) ve GF3 ($p=0,001$) gruplarından istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Diğer grupların bükülme dayanımı ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$).

Grupların ortalama bükülme modülü değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,001$; $p<0,01$). Bükülme modülü değerinin hangi grupta anlamlı bir farka sahip olduğunu bulmak için “post hoc” Tukey HSD testi kullanılmıştır. Test so-

nuçları, GF4'ün bükülme modülü değerlerinin GF1 ($p=0,001$), GF2 ($p=0,001$) ve GF3 ($p=0,001$) gruplarından istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek olduğunu göstermiştir. Diğer grupların ortalama bükülme modülü değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$).

TARTIŞMA

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, düşük viskoziteli giomer bulk-fill kompozit kalınlığının artırılmasının, örneklerin basma dayanımını etkilemeyeceği ve incelenen malzemelerin bükülme dayanımı arasında fark olmayacağı şeklindeki sıfır hipotez, reddedilmiştir.

Restoratif materyallerin mekanik özellikleri, materyallerin uzun vadeli klinik başarısı üzerinde etkilidir. Rezin kompozitlerin sertlik, dayanım ve elastisite modülü gibi özellikleri doldurucu miktarıyla doğru- dan ilişkilidir.

Genellikle düşük viskoziteli bulk-fill kompozitler daha zayıf mekanik özelliklere sahiptir, ancak doldurucu içeriği aynı olsa bile rezin matrikste bulunan monomerlerin konsantrasyon farklılıklarından dolayı farklı viskozitelere sahip olabileceği dikkate alınmalıdır.^{3,19} Derin kavitelelerde klinik uygulamaların, düşük veya yüksek viskoziteli materyaller olup olmadıklarına bakılmaksızın, bulk-fill kompozitlerin davranışını değerlendirmeye imkân sağladığı düşünülmektedir.⁷ Uygun mekanik özelliklere sahip, başarılı kompozit restorasyonlar yapabilmek için yeterince polimerize olabilen maksimum tabaka kalınlığının elde edilmesi gerekmektedir. Biz de çalışmamızda değişik viskozitelere sahip bulk-fill kompozitleri çeşitli ta-

TABLO 2: Kompozit örneklerin ortalama basma dayanımı değerleri (MPa).

Gruplar	Basma dayanımı
	Ortalama±SS
G1 (TNC)	130,55±24,21 ^a
G2 (TBF)	121,94±27,29 ^a
G3 (BBF)	155,9±22,23 ^a
G4 (BBR)	137,3±38,44 ^a
G5 (BBF 2mm+BBR 4mm)	135,4±13,28 ^a
G6 (BBF 4mm+ BBR 2mm)	205,8±28,74 ^b
P	0,001**
One-way ANOVA test	**p<0.01

Üst simgelerle gösterilen farklı harfler gruplar arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. MPa: Megapascal; SS: Standart sapma; TNC: Tetric N-ceramik; TBF: Tetric N-ceramik bulk-fill; BBF: Beautifill bulk-fill flowable; BBR: Beautifill bulk restorative.

TABLO 3: Kompozit örneklerin ortalama bükülme dayanımı ve bükülme modülü değerleri.

Gruplar	Bükülme dayanımı	Bükülme modülü
	Ortalama±SS (MPa)	Ortalama±SS
GF1 (TNC)	96,33±10,85 ^a	20,57±2,32 ^e
GF2 (TBF)	95,66±25,40 ^a	20,21±5,43 ^e
GF3 (BBR)	85,24±12,6 ^a	18,18±2,7 ^c
GF4 (BBF)	134,13±18,15 ^b	28,61±3,86 ^d
P	0,001**	0,001**
ANOVA test	**p<0.01	**p<0.01

Üst simgelerle gösterilen farklı harfler gruplar arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir. MPa: Megapascal; SS: Standart sapma; TNC: Tetric N-ceramik; TBF: Tetric N-ceramik bulk-fill; BBR: Beautifill bulk restorative; BBF: Beautifill bulk-fill flowable.

baka kalınlıklarında kullanarak mekanik dayanıma etkisini değerlendirmeyi amaçladık.

Çiğneme kuvvetlerinin çoğu basma niteliğinde olduğundan, restoratif materyaller için basma dayanımı çok önemlidir.²⁰ Basma dayanımı testi, kırılğan malzemeler için uygulamaya ve değerlendirmeye uygundur.²¹ Basma dayanımı testi sırasında gerilme ve makaslama kuvvetleri aynı anda malzemeyi etkilediği için uygulanması kolay olmasına rağmen, basma dayanımı testlerini yorumlamak karmaşıktır. Rezin kompozitler bir basma testine tabi tutulduğunda, plastik deformasyon oluşana kadar genleşirler, böylece hatalı yüksek sonuçlar elde edilebilir.²² Aynı doldurucu içeriğine sahip rezin kompozitlerinin basma dayanımı, polimerizasyon tipi, polimerizasyon büzülmesi, dönüşüm derecesi ve doldurucu matriks bağlantısı gibi diğer faktörlere bağlı olarak aynı sonuçlar vermeyebilir.²⁰ Bu in vitro çalışmada kullandığımız materyalin mekanik özelliklerini anlayabilmek için basma dayanımı testi kullanılmış ve doldurucu miktarı ve basma dayanımı arasında doğru orantılı sonuçlar elde edilememiştir. Bu yüzden biz de Wang ve ark. gibi basma dayanımının dönüşüm derecesi, doldurucu-matriks bağlantısı ve polimerizasyon özelliklerinden etkilendiğini düşünmekteyiz.

Düşük viskoziteli bulk-fill giomer kompozit tabakasının kalınlığı artırıldığında, basma dayanımının istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek olması, düşük viskoziteli kompozitlerde doldurucu içeriğinin daha az olmasına bağlı olarak fiçı etkisinin artmasıyla açıklanabilir.²² Yapılan bu çalışmada da literatürdeki sonuçlara paralel olarak en yüksek basma dayanımı, düşük doldurucu içeriğine sahip BBF tabaka kalınlığının 2 mm'den 4 mm'ye çıkarılması (G6) ile elde edilmiştir. Düşük viskoziteli materyalin yüksek basma direncine sahip olmasının nedenlerinden birinin, plastik deformasyona uğrayana kadar genleşmesi olduğunu düşünmekteyiz.

Önceden reaksiyona girmiş S-PRG doldurucular, kırık çevresindeki matriksin polimerizasyon büzülmesine uğramasıyla organik doldurucu üzerine uyguladığı hidrostatik basınca bağlı olarak kırığın ilerleme riskini azaltır ve önlerler, bu yüzden önceki çalışmalarda daha yüksek basma dayanımı verileri elde edilmiştir.⁵⁻⁷ Yaptığımız çalışmanın sonuçları, önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir. Basma ve

bükülme dayanımı değerlerinin anlamlı şekilde yüksek çıktığı gruplar giomer gruplarıdır. Kullandığımız yüksek ve düşük viskoziteli giomer bulk-fill kompozitlerin önceden reaksiyona girmiş S-PRG-doldurucularının sergilediği gelişmiş mekanik özelliklerin, bu durumla ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Bükülme özellikleri, malzemenin transvers yönde direncini ve malzemenin kırılmadan önce bükülme kabiliyetini açıklar, ancak şu ana kadar bükülme özellikleriyle doldurucu içeriği arasında net bir ilişki bildirilmemiştir.^{6,18,21} Önceki çalışmalarda, doldurucu boyutu ve dağılımı gibi doldurucuyla ilgili bileşenler ve bükülme özellikleri arasındaki pozitif korelasyonlar doğrulanmıştır.^{23,24} Ayrıca daha önce geleneksel kompozitler için kabul görmüş olan rezin matriks tipinin bükülme özelliklerinde etkili olduğu fikri, bulk-fill kompozitler için de geçerli olabilir.⁴ Bu çalışmada kullanılan materyallerin doldurucu oranlarına baktığımızda, TNC (%75-77), TNF (%80,5), BBR (%87) ve BBF (%72) olduğunu ve (BBF) GF4'ün en yüksek bükülme direnci değerine sahip olmasının, doldurucu miktarıyla bükülme direnci değerleri arasında net bir ilişki olmadığını gösterdiğini düşünmekteyiz. Yaptığımız çalışmanın sonuçlarına göre ve farklı çalışmalarda da bükülme direncine rezin matriks çeşidinin etkisinin olduğunu ifade edebiliriz. Bu çalışmadaki malzemeler, bükülme direnci açısından değerlendirildiğinde, okluzal yük gelen bölgelerde restoratif materyal olarak kullanılmak üzere ISO 4049 kriterlerini (bükülme direnci ≥ 80 MPa) karşılamaktadırlar.²⁵ Giomerlerin, doldurucu oranı, bu çalışmada test edilen diğer kompozitlere kıyasla yüksektir ve doldurucu dağılımları farklıdır. Bükülme dayanımı, polimerizasyon kinetiğinden ve doldurucuya uygulanan yüzey hazırlığından etkilenebilir.²³

Bir rezin kompozitin mekanik özelliklerini tanımlarken, dönüşüm derecesi kritik öneme sahiptir ve malzemenin direnciyle doğrudan ilişkili olduğu gösterilmiştir.²⁶ Rezin kompozitler için dönüşüm derecesi %55-65 arasında değişmektedir.²⁷ Önceki çalışmalara göre BBR'nin dönüşüm derecesi %55'in altındayken, BBF'ninkinin 2 mm'lik tabaka kalınlığında uygulandığında %55'in üzerinde olduğu gösterilmiştir.⁷ Benzer şekilde, BBF ve BBR için sırasıyla %57,7 ve %40 dönüşüm dereceleri bildirilmiştir.²⁸ Yu ve ark.na göre BBF ve BBR, monomer

ve doldurucu tipi açısından benzer içeriğe sahip olmasına rağmen, dönüşüm derecesindeki farklılıklar doldurucu miktarındaki değişime bağlanabilir.²⁹ BBR'nin doldurucu miktarındaki artışın, rezin-doldurucu ara yüzündeki ışık saçılmasına bağlı olarak dönüşüm derecesini düşürdüğü bildirilmiştir.³⁰

Daha düşük doldurucu içeriğine sahip kompozitlerde, hem ışık penetrasyon derinliği hem de buna bağlı olarak dönüşüm derecesi artar ve daha yüksek basma ve bükülme direncine sahip olabilirler.²⁹ Bu çalışmanın sonuçları, yukarıda alıntılanan çalışmaların sonuçlarıyla desteklenmektedir. Çalışmamızda basma direnci en yüksek bulunan grubun, en düşük viskoziteli ve buna bağlı olarak düşük doldurucu içeriğine sahip 4 mm tabaka kalınlığında BBF kullanılan G6 olması, bükülme direnci en yüksek grubun ise BF4 (BBF) olması önceki çalışmaların sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Çalışmada elde edilen bu sonucun, BBF'nin düşük doldurucu içeriğine bağlı olarak dönüşüm derecesinin daha yüksek olduğu ve bunun da polimerizasyon sırasında ışık penetrasyon derinliğinin artması ve rezin-doldurucu ara yüzündeki ışık saçılmalarının azalması sonucu olduğunu düşünmekteyiz.

SONUÇ

Bu in vitro çalışmanın kısıtlamaları dâhilinde en yüksek basma dayanımı BBF ve BBR materyallerinin kombine olduğu grupta bulunmuştur.

Bükülme dayanımı ve modülünün ise BBF'de en yüksek olduğu tespit edilmiş ve doldurucu mikta-

rıyla basma ve bükülme özellikleri arasında net bir ilişki bulunamamıştır.

Bulk-fill giomerler, bulk-fill uygulama tekniği ve bükülme ve basma dayanımı açısından standartlar tarafından belirtilen klinik dayanım gereksinimlerini karşılamaktadırlar. Buna ilaveten, klinik başarıları hakkında daha net bir sonuca ulaşmak için uzun dönem klinik takip çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Aylin Çilingir; **Tasarım:** Aylin Çilingir, Meltem Mert Eren; **Denetleme/Danışmanlık:** Aylin Çilingir; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Aylin Çilingir, Alev Özsoy; **Analiz ve/veya Yorum:** Aylin Çilingir, Benin Dikmen; **Kaynak Taraması:** Özge Gürbüz; **Makalenin Yazımı:** Aylin Çilingir, Meltem Mert Eren; **Eleştirel İnceleme:** Aylin Çilingir, Alev Özsoy; **Kaynaklar ve Fon Sağlama:** Benin Dikmen, Özge Gürbüz; **Malzemeler:** Alev Özsoy, Meltem Mert Eren.

KAYNAKLAR

1. Tarle Z, Attin T, Marovic D, Andermatt L, Ristic M, Tauböck TT. Influence of irradiation time on subsurface degree of conversion and microhardness of high-viscosity bulk-fill resin composites. *Clin Oral Investig.* 2015;19(4): 831-40. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
2. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Hüslér J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater.* 2012;28(5):521-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
3. Bucuta S, Ilie N. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig.* 2014;18(8):1991-2000. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
4. Czasch P, Ilie N. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. *Clin Oral Investig.* 2013;17(1): 227-35. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
5. Ilie N, Stawarczyk B. Evaluation of modern bioactive restoratives for bulk-fill placement. *J Dent.* 2016;49:46-53. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
6. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Takamizawa T, Latta MA, Miyazaki M. Depth of cure, flexural properties and volumetric shrinkage of low and high viscosity bulk-fill composites and resin composites. *Dent Mater J.* 2017;31:36(2):205-13. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
7. Ilie N, Fleming GJ. In vitro comparison of polymerisation kinetics and the micro-mechanical properties of low and high viscosity composites and RBC materials. *J Dent.* 2015;43(7):814-22. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
8. Murayama R, Furuichi T, Yokokawa M, Takahashi F, Kawamoto R, Takamizawa T, et al. Ultrasonic investigation of the effect of S-PRG filler-containing coating material on bovine tooth demineralization. *Dent Mater J.* 2012; 31(6):954-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
9. Shimazu K, Ogata K, Karibe H. Caries-preventive effect of fissure sealant containing surface reaction-type pre-reacted glass ionomer filler and bonded by self-etching primer. *J Clin Pediatr Dent.* 2012;36(4):343-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
10. Asano K, Kawamoto R, Iino M, Furuichi T, Nojiri K, Takamizawa T, et al. Effect of pre-reacted glass-ionomer filler extraction solution on demineralization of bovine enamel. *Oper Dent.* 2014;39(2):159-65. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
11. Ikemura K, Tay FR, Endo T, Pashley DH. A review of chemical-approach and ultramorphological studies on the development of fluoride-releasing dental adhesives comprising new pre-reacted glass ionomer (PRG) fillers. *Dent Mater J.* 2008;27(3):315-39. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
12. Ito S, Iijima M, Hashimoto M, Tsukamoto N, Mizoguchi I, Saito T. Effects of surface pre-reacted glass-ionomer fillers on mineral induction by phosphoprotein. *J Dent.* 2011;39(1): 72-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
13. Tay WM, Braden M. Fluoride ion diffusion from polyalkenoate (glass-ionomer) cements. *Biomaterials.* 1988;9(5):454-6. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
14. Itota T, Torii Y, Nakabo S, Tashiro Y, Konishi N, Nagamine M, et al. Effect of fluoride-releasing adhesive system on decalcified dentin. *J Oral Rehabil.* 2003;30(2):178-83. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
15. Itota T, Yoshiyama M. Effect of fluoride-releasing adhesives on dentin. *J Hard Tissue Biol.* 2005;14(2):147-8. [[Crossref](#)]
16. Kaya MS, Bakkal M, Durmus A, Durmus Z. Structural and mechanical properties of a giomer-based bulk fill restorative in different curing conditions. *J Appl Oral Sci.* 2018;18; 26:e20160662. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
17. Eweis AH, Yap AU, Yahya NA. Impact of dietary solvents on flexural properties of bulk-fill composites. *Saudi Dent J.* 2018;30(3):232-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
18. Park JK, Lee GH, Kim JH, Park MG, Ko CC, Kim HI, et al. Polymerization shrinkage, flexural and compression properties of low-shrinkage dental resin composites. *Dent Mater J.* 2014;33(1):104-10. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
19. Andreani L, Silva LL, Witt MA, Meier MM, Joussef AC, Soldi V. Development of dental resinous systems composed of bisphenol A ethoxylated dimethacrylate and three novel methacrylate monomers: synthesis and characterization. *Journal of Applied Polymer Science.* 2013;128(1):725-34. [[Crossref](#)]
20. Sharma A, Mishra P, Mishra SK. Time-dependent variation in compressive strengths of three posterior esthetic restorative materials: an in vitro study. *International Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry.* 2016;6(3):63-5. [[Crossref](#)]
21. Wang L, D'Alpino PH, Lopes LG, Pereira JC. Mechanical properties of dental restorative materials: relative contribution of laboratory tests. *J Appl Oral Sci.* 2003;11(3):162-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
22. Hambire UV, Tripathi VK, Mapari AG. Improvement in the compressive strength and flexural strength of dental composite. *ARPN JEAS.* 2012;7(8):1066-9. [[Link](#)]
23. Della Bona A, Benetti P, Borba M, Cecchetti D. Flexural and diametral tensile strength of composite resins. *Braz Oral Res.* 2008;22(1): 84-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
24. Samuel SP, Li S, Mukherjee I, Guo Y, Patel AC, Baran G, Wei Y. Mechanical properties of experimental dental composites containing a combination of mesoporous and nonporous spherical silica as fillers. *Dent Mater.* 2009; 25(3):296-301. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
25. Jayanthi N, Vinod V. Comparative evaluation of compressive strength and flexural strength of conventional core materials with nanohybrid composite resin core material an in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2013;13(3): 281-9. [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
26. Alshali RZ, Silikas N, Satterthwaite JD. Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. *Dent Mater.* 2013;29(9):e213-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
27. Miletic VJ, Santini A. Remaining unreacted methacrylate groups in resin-based composite with respect to sample preparation and storing conditions using micro-Raman spectroscopy. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2008;87(2):468-74. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
28. Al-Ahdal K, Ilie N, Silikas N, Watts DC. Polymerization kinetics and impact of post polymerization on the Degree of Conversion of bulk-fill resin-composite at clinically relevant depth. *Dent Mater.* 2015;31(10):1207-13. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
29. Yu P, Yap A, Wang XY. Degree of conversion and polymerization shrinkage of bulk-fill resin-based composites. *Oper Dent.* 2017;42(1):82-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
30. Shah PK, Stansbury JW. Role of filler and functional group conversion in the evolution of properties in polymeric dental restoratives. *Dent Mater.* 2014;30(5):586-93. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]