

# Yeni Nesil Bulk-Fill Rezın Kompozitlerin Su Emilimi ve Suda Çözünürlük Düzeylerinin İncelenmesi

## Investigation of Water Absorption and Water Solubility of New Generation Bulk-Fill Resin Composites

<sup>1</sup> Hatice BULUT<sup>a</sup>, <sup>2</sup> Nihan GÖNÜLOL<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi AD, Samsun, Türkiye

**ÖZET Amaç:** Çalışmanın amacı, yeni nesil bulk-fill kompozitlerin distile suda bekletilmesi sonrasında su emilimi ve çözünürlük değerlerinin incelenmesidir. **Gereç ve Yöntemler:** Çalışmada bir mikrohibrit kompozit (Filtek Z250), bir akışkan kompozit (Filtek Supreme Flowable), iki yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit (Tetric Powerfill, Filtek One Bulk-Fill) ve iki düşük viskoziteli bulk-fill kompozit (Tetric Powerflow, Filtek Bulk-Fill Flowable) kullanılarak 104 örnek (8 mm çapx2 mm kalınlık) hazırlandı. Örnekler BluePhase PowerCure polimerizasyon cihazının standart modunda (1.200 mW/cm<sup>2</sup>) 10 sn polimerize edildi. Tetric Powerfill ve Tetric Powerflow kompozitlerinden yeni örnekler hazırlanarak aynı cihazın 3s Powercure modunda (3.050 mW/cm<sup>2</sup>) 3 sn polimerize edilerek 2 grup daha oluşturuldu (n=13). 30. günün sonunda su emilimi, çözünürlük ve kütle değişim yüzdeleri ISO 4049:2009 standardizasyonuna göre hesaplandı. Verilerin analizinde iki yönlü varyans analizi ve Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanıldı. **Bulgular:** Gruplar arasında en düşük su emilimi Tetric Powerflow 10s grubunda görülürken en yüksek su emilimi Filtek One Bulk-Fill grubunda görüldü. Tetric Powerfill ve Tetric Powerflow kompozitlerin 10s ve 3s grupları arasında su emilimi ve çözünürlük değerleri açısından istatistiksel farka rastlanmadı (p>0,05). Tüm kompozit gruplarının kütle değişim yüzdeleri 30. güne kadar artış gösterdi. **Sonuç:** Tetric Powerfill ve Tetric Powerflow kompozitlerin hem standart modda hem de yüksek ışık gücü modundaki kısa süreli polimerizasyonları (3 sn) su emilim ve çözünürlük açısından dezavantaj oluşturmamıştır.

**ABSTRACT Objective:** To examine the water sorption and water solubility values of new generation bulk-fill composites after aging in distilled water. **Material and Methods:** One microhybrid composite (Filtek Z250), one flowable composite (Filtek Supreme Flowable), two high viscosity bulk-fill composites (Tetric Powerfill, Filtek One Bulk-Fill) and two low viscosity bulk-fill composites (Tetric Powerflow, Filtek Bulk-Fill Flowable) were used and 104 samples (8 mm diameterx2 mm thickness) were prepared. The samples were polymerized for 10 seconds using standard mode (1,200 mW/cm<sup>2</sup>) of BluePhase PowerCure polymerization device. Two more groups were prepared from Tetric Powerfill and Tetric Powerflow composites and polymerized for 3 seconds using the 3s Powercure mode (3,050 mW/cm<sup>2</sup>) of the same device. At the end of the 30<sup>th</sup> day the levels of water sorption, solubility and mass change percentages were measured according to ISO 4049:2009 standardization. Data were analyzed using two-way ANOVA and post hoc Tukey's test. **Results:** Tetric Powerflow 10s group exhibited the lowest water sorption values among all tested groups, while the highest water sorption values were observed in Filtek One-Fill group. There was no significant difference in water sorption and solubility values of 10s and 3s groups of Tetric Powerfill and Tetric Powerflow composites (p>0,05). The weight change percentages of all composite groups increased until the 30<sup>th</sup> day. **Conclusion:** The polymerization of Tetric Powerfill and Tetric Powerflow composites in both standard mode and short-term high intensity mode (3 seconds) hasn't resulted in any disadvantage in terms of water sorption and solubility.

**Anahtar Kelimeler:** Bulk-fill rezın kompozit; su emilimi; suda çözünürlük

**Keywords:** Bulk-fill resin composite; sorption; water solubility

**Correspondence:** Nihan GÖNÜLOL

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Restoratif Diş Tedavisi AD, Samsun, Türkiye  
E-mail: nihan.gonulol@omu.edu.tr



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

Received: 12 Jan 2024

Received in revised form: 26 May 2024

Accepted: 03 Jun 2024

Available online: 07 Jun 2024

2146-8966 / Copyright © 2024 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/>).

Diş hekimliğinde rezin kompozitler; kolay işlenebilmeleri, seramiğe kıyasla düşük maliyetli olmaları, yeterli estetik özelliğe sahip olmaları, termal genişleme katsayılarının düşük olması, kabul edilebilir mekanik özellikleri ve diş yapısı ile bağ kurabilmeleri nedeniyle klinik uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Dental rezin kompozitlerin piyasaya sürülmesinden bu yana, monomer kimyası, doldurucu teknolojisi ve yapısı, fizyokimyasal özelliklerini iyileştirmek için sürekli olarak geliştirilmiştir.<sup>1</sup>

Rezin kompozitin 2 mm'lik tabakalar şeklinde uygulanması, altın standart olarak kabul edilmiştir.<sup>2</sup> Ancak bu tekniğin zaman alıcı olması, tabakalar arasında boşluk oluşturma ve kontaminasyon riski, teknik hassasiyet gerektirmesi gibi dezavantajları vardır.<sup>3</sup> Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için üreticiler; bulk-fill rezin kompozit olarak bilinen, 4-5 mm'lik tek tabaka şeklinde uygulanabilen materyalleri üretmişlerdir.<sup>4</sup> Bulk-fill kompozitlerde daha translucent (saydam) bir yapı elde edilebilmesi için doldurucu içeriği ve pigment miktarı azaltılarak partikül miktarı artırılmıştır. Yapının daha translucent hâle getirilmesi sayesinde ışık geçirgenliği artırılarak yeni monomer ve başlatıcı sistemlere sahip bu kompozitlerin daha fazla polimerizasyon derinliğine sahip olması sağlanmıştır.<sup>5</sup>

Ivoclar firması ise yakın zamanda, Bluephase Powercure (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ışık cihazı ile mavi-mor spektrumda, 2.700-3.300 mW/cm<sup>2</sup>'lik ışık gücünde, 3 sn'de polimerize edilebilen Tetric PowerFill (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ve Tetric PowerFlow (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) bulk-fill kompozitleri piyasaya sürmüştür.

Bu kompozitlerin yapısında firmanın diğer bulk-fill kompozitleri gibi bis-(4-metoksibenzoil) dietilgermanyum, ticari adı Ivocerin olan germanyum bazlı bir fotobaşlatıcı bulunmaktadır. Bu fotobaşlatıcı sistem, kamforokinona kıyasla mavi ışığın emilimini artırır, polimerizasyon süresini kısaltır ve penetrasyon derinliğini artırır.<sup>6</sup>

Tetric Powerfill kompozitler yapılarına eklenen ( $\beta$ -alil sülfon) ilave fragmantasyon zincir transferi [additional fragmentation chain transfer (AFCT)] reaktif sayesinde 3 sn'de polimerize olabilmektedirler.

AFCT reaktif kontrolsüz serbest radikal zincir büyüme polimerizasyon reaksiyonunu önleyerek, ardışık kısa zincirlerin oluşmasını sağlar. Böylece daha homojen polimer ağı oluşur ve bu da kompozitin mekanik özelliklerinin gelişmesini sağlar.<sup>7</sup>

Rezin kompozitler uygulandıktan sonra ağız ortamındaki tükürük, gıdalar ve çeşitli sıvılarla devamlı etkileşimde olurlar. Bu nedenle rezin kompozit materyallerin termal ve kimyasal özellikleri stabil olmalı, su geçişi göstermemelidir ancak rezinin polimer matrisi içeriği su emilimine sebep olur. Suyun emilmesi, restoratif materyaller üzerinde; renk değişimi, mekanik özelliklerin bozulması, aşınma direncinin azalması, kimyasal bağların hidrolize olması ve bozulması gibi birçok olumsuz etkiye neden olur. Ek olarak, su emilimi artık monomerlerin ve iyonların salınmasına neden olarak materyallerin biyoyumluluğunu bozar ve hacimlerini azaltarak çözünürlüğünü artırır.<sup>8</sup>

Bu çalışmanın amacı, yeni geliştirilen Powerfill kompozitlerin farklı sürelerde distile suda bekletilmesi sonrasında su emilimi ve suda çözünürlük değerlerinin, diğer geleneksel ve bulk-fill kompozitlerle karşılaştırılmalı olarak incelenmesi ve kısa sürede (3s) yüksek güçte (3.050 mW/cm<sup>2</sup>) ve standart modda (1.200 mW/cm<sup>2</sup>) polimerizasyonun su emilim ve suda çözünürlük üzerine etkisinin incelenmesidir. Çalışmamızın birinci sıfır hipotezi, Powerfill ve Powerflow kompozitlerin, Bluephase ışık cihazı ile 3 s ve 10 s uygulamaları arasında su emilimi ve suda çözünürlük açısından fark olmayacağı, ikinci sıfır hipotezi ise Powerfill ve Powerflow kompozitlerin su emilimi ve suda çözünürlük düzeylerinin test edilen diğer kompozit materyallerinden farkı olmayacağı şeklindedir.

## GEREÇ VE YÖNTEMLER

Çalışmamızda; diş hekimliğinde kullanılan bir adet mikrohibrit kompozit Filtek™ Z250 (3M ESPE, St Paul, MN, ABD), bir adet akışkan kompozit Filtek Supreme Flowable (3M ESPE, St Paul, MN, ABD), iki adet yüksek viskoziteli bulk-fill kompozit Filtek™ One Bulk-Fill Posterior (3M ESPE, St Paul, MN, ABD), Tetric Powerfill ve iki adet düşük viskoziteli bulk-fill kompozit Filtek™ Bulk-Fill Flowable (3M

ESPE, St Paul, MN, ABD), Tetric Powerflow kompozitleri kullanıldı. Kullanılan rezin kompozitler ve içerikleri Tablo 1 de gösterildi. Kompozit disklerinin hazırlanmasında 8 mm çapa ve 2 mm kalınlığa sahip özel paslanmaz çelik kalıp kullanıldı ve her grupta 13 örnek olacak şekilde toplam 104 örnek hazırlandı.

Örneklerin oluşturulmasında standardizasyonu sağlamak amacıyla tek uygulayıcı (H.B.) tarafından cam lamel üzerine şeffaf bant (Hawe Stopstrip, Kerr, İsviçre) gelecek şekilde konularak paslanmaz çelik kalıp yerleştirildi. Geleneksel rezin kompozit ve bulk-fill kompozitler bir el aleti yardımıyla 2 mm'lik tek tabaka hâlinde, hava boşluğu kalmayacak şekilde çelik kalıplara yerleştirildi. Kalıpların üzerine şeffaf bant (Hawe Stopstrip, Kerr, İsviçre) konulup, bir lamel yardımıyla bastırılarak fazla kompozit materyalin taşması sağlandı. Resin kompozitlerin polimerizasyonu esnasında ışık cihazı mümkün olan en yakın mesafeye yerleştirilip standardize edildi.

Filtek™ Z250, Filtek Supreme Flowable, Filtek™ One Bulk-Fill Posterior kompozit, Filtek™ Bulk-Fill Flowable kompozit, Tetric Powerfill ve Tetric Powerflow kompozit rezinlerinden oluşan 6 grup BluePhase PowerCure polimerizasyon cihazının High Power modunda (1.200 mW/cm<sup>2</sup> ışık gücünde) 10 s polimerize edildi. Ardından Tetric Powerfill ve Tetric Powerflow kompozitlerinden hazırlanan örnekler aynı cihazın Powercure modunda (3.050 mW/cm<sup>2</sup> ışık gücünde) 3 s polimerize edilerek 2 grup daha oluşturuldu. Işık cihazının kalibrasyonu cihazın kendi şarj ünitesine entegre radyometre ile yapıldı. Işık yoğunluğunu ölçmek için ışık kılavuzunun ucu koruyucu kapak olmadan, şarj tabanının üst tarafındaki alana yerleştirilerek ışık yoğunluğu ölçüldü ve kalibre edildi.

Polimerizasyondan hemen sonra paslanmaz çelik kalıp içerisindeki rezin kompozit örneklerin polimerize edilirken ışık uygulanan yüzeylerine sırasıyla kaba, orta, ince ve süper ince grenli alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) emdirilmiş diskler ile (Sof-Lex™ XT, 3M ESPE, St.Paul, MN, ABD) cila yapıldı. Her bir örnek için yeni disk kullanıldı. Kaba ve orta diskler kullanılırken mikromotorla 10.000 RPM hızda 10 s, ince ve süper ince diskler kullanılırken 30.000 RPM hızda 10 s kuru ortamda işlem yapıldı.

**TABLO 1:** Çalışmada kullanılan materyaller ve özellikleri.

Kompozit grupları (renk)	Rezin matris	Doldurucu	Doldurucu oranı %wt./%vol.	Üretici firma
Tetric PowerFill® (IVA)	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, Aromatic Dimethacrylate, DCP	Ba-Al-Si cam, kopolimer, Yterbium trifloride	%79/%53	Ivoclar Vivadent (Schaan, Liechtenstein)
Filtek™ Z250 (A2)	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA	Zirkonyum/silika	%82/%60	3M ESPE, St Paul, MN, ABD
Filtek™ One Bulk-Fill Restoratif (A2)	AUDMA, diurethane-DMA, 1,12-dodecane-DMA	Silika,zirkonyum, yterbium trifluoride	%76,5/%58,5	3M ESPE, St Paul, MN, ABD
Tetric Powerflow (IVA)	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, Aromatic Dimethacrylate, DCP	Ba-Al-Si cam, kopolimer, Yterbium trifloride	%71/%46	Ivoclar Vivadent (Schaan, Liechtenstein)
Filtek Supreme Flowable (A2)	Bis-GMA, TEGDMA, Procrilat resin	Silika,zirkonyum, Yterbiyum trifloride	%65/%46	3M ESPE, St Paul, MN, ABD
Filtek™ Bulk-Fill Flowable Kompozit (A2)	Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA	Zirkona Silica Yterbiyum trifloride	%64,5/%42,5	3M ESPE, St Paul, MN, ABD
<b>Polimerizasyon cihazı</b>	<b>Dalga boyu</b>	<b>Işık şiddeti</b>	<b>Üretici firma</b>	<b>Polimerizasyon cihazı</b>
Ivoclar Vivadent Bluephase® LED (Polywave)	385-515 nm	3s Cure-Mode: 3050 mW/cm <sup>2</sup> ±%10 Turbo Program: 2100 mW/cm <sup>2</sup> ±%10 High Power Program: 1200 mW/cm <sup>2</sup> ±%10 PreCure Program: 950 mW/cm <sup>2</sup> ±%10	Ivoclar Vivadent (Schaan, Liechtenstein)	Ivoclar Vivadent Bluephase® LED (Polywave)

Bis-GMA: Bisfenol A dijisi-eter-metakrilat; Bis-EMA: Etoksillenmiş bisfenol A dimetakrilat; udma: üreten dimetakrilat; TEGDMA: Trietilen glikol dimetakrilat; AUDMA: Aromatik üreten dimetakrilat.

## SU EMİLİMİ VE SUDA ÇÖZÜNÜRLÜK ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI

Hazırlanan örnekler polimerizasyonun tamamlanması için silika jel içeren desikatöre yerleştirilerek 24 saat boyunca  $37\pm 1^\circ\text{C}$ 'lik etüvde (EN025, Nüve, Türkiye) bekletildi. Örneklerin ağırlık değerleri 0,0001 g hassasiyetine sahip hassas terazi (Precisa XB 220A, Zurich, İsviçre) ile ölçüldü. Her 24 saatte bir ölçüm yapılarak, ağırlıktaki değişimin 0,1 mg'dan daha fazla olmadığı görülene kadar ölçümler tekrarlandı ve ağırlık kaybı 24 saatlik periodlar içerisinde 0,1 mg'dan az olduğunda bu son ağırlık kabul edilip mikrogram ( $\mu\text{g}$ ) cinsinden  $M_1$  olarak kaydedildi. Sabit ağırlığa ulaşan örneklerin çapları ve kalınlıkları kum pas ile ölçüldükten sonra her örneğin  $\text{mm}^3$  cinsinden ortalama hacmi hesaplandı ( $V=\pi r^2 h$ ).

Örnekler etüv içerisinde  $37\pm 1^\circ\text{C}$ 'lik distile suda 24 saat, 7 gün ve 30 gün süreyle bekletildi. Her örneğin bekletildiği su hacmi 5 mL olacak şekilde ayarlandı. 24 saat bekletilen gruptaki kompozit örnekleri; 24 saatin sonunda sudan çıkarılarak nemli bir havlu ile silindikten sonra 10 sn havada sallanarak üzerindeki su uzaklaşana kadar kurulandı. Sudan çıkarılıp kurutulmasından 1 dk sonra, ilk tartımın yapıldığı terazide aynı hassasiyette ve aynı döngü ile tartılarak bu ağırlık  $M_2$  olarak kaydedildi.

Bu periyodik işlemler aynı şekilde 7. ve 30. günün sonunda tekrarlandı. Distile suda; 24 saat, 7 gün ve 30 gün bekletilen örneklerin bu günler için ayrı ayrı  $M_{2(t)}$  ağırlıkları ölçüldü. 30. günün sonunda örnekler, sabit kütle ağırlıklarına tekrar ulaşmaları için desikatörde 24 saatlik döngülere tabi tutuldu. Testin  $M_1$  ağırlıklarının ölçülmesindeki gibi aynı döngü (ağırlık kaybı 24 saatlik periyodlar içerisinde 0,1 mg'dan az) tekrarlanarak örneğin sabit bir ağırlığa ulaştığında elde edilen değerler  $M_3$  olarak kaydedildi. Örneklerin, 30 günlük periyodun sonundaki su emilimi ve suda çözünürlük düzeyleri ve 24 saat, 7 ve 30. günlerdeki kütle değişim yüzdeleri, ISO 4049:2009 standardizasyonu esas alınarak, standartta bildirilen formüllerden yararlanıldı ve milimetreküp,  $\mu\text{g}$  cinsinden şu şekilde hesaplandı.

$$W_{sp} (\mu\text{g}/\text{mm}^3) = M_2 (\mu\text{g}) - M_3 (\mu\text{g}) / V (\text{mm}^3)$$

$$W_{sl} (\mu\text{g}/\text{mm}^3) = M_1 (\mu\text{g}) - M_3 (\mu\text{g}) / V (\text{mm}^3)$$

$$\%Mg = (M_{2(t)} - M_1) / M_1 \times 100$$

$W_{sp}$ : Su emilimi;  $W_{sl}$ : Suda çözünürlük;  $Mg$ : Kütle değişim yüzdesi.

## İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde SPSS 21.0 paket programından (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) yararlanılmıştır. Örnek sayısını belirleyebilmek amacıyla Karaca ve ark.nın yaptıkları çalışma referans alınıp power analizi yapıldı.<sup>9</sup> Örnek sayısı her grup için %80 güç %5 yanılma düzeyinde her bir grupta en az  $n=13$  örnek olacak şekilde istatistiksel olarak hesaplandı ve toplam 104 örnek hazırlandı.

Verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığı Shapiro-Wilk testi ile değerlendirilmiş ve normal dağılıma uygun olan örneklerin ortalama su emilimi ile suda çözünürlük verilerinin değerlendirilmesinde gruplar arasındaki istatistiksel farklılıklar, tek yönlü varyans analizi ile belirlenirken, gruplar arası ikili karşılaştırmalarda ise Tukey HSD testi kullanılmıştır. Sonuçlar  $p<0,001$  için anlamlı olarak kabul edilmiştir. Kütle değişim yüzdelerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde tekrarlı ölçümlerde varyans analizi ve gruplar arası ikili karşılaştırmalarda Bonferroni testi kullanılmıştır ( $p<0,001$ ). Su emilimi ve suda çözünürlük arasında ilişki durumuna Pearson korelasyon katsayısı ile bakılmıştır.

## BULGULAR

Tüm kompozit gruplarının 30. gündeki ortalama su emilimi, suda çözünürlük değerleri ve standart sapmaları Tablo 2 ve Tablo 3'te kütle değişim yüzdeleri ise Tablo 4'te gösterildi. Yapılan tek yönlü varyans analizine göre farklı kompozit materyallerinin su emilimi ve çözünürlük üzerine önemli etkisi olduğu belirlendi ( $p<0,001$ ).

Ortalama değerlere bakıldığında kompozitler arasında en düşük su emilimi değerini gösteren Tetric PowerFlow 10 s grubu ( $4,365\pm 0,956 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) olurken Filtek One Bulk-fill grubu ( $8,651\pm 1,594 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) ise en yüksek su emilim değerini gösterdi (Tablo 2).

Tetric PowerFill ve Tetric PowerFlow kompozitlerin 10 s grupları 3 s gruplarından daha düşük su emilimi değeri göstermesine rağmen bu gruplar ara-

**TABLO 2:** Tukey testi sonuçlarına göre 30.gündeki su emilim değerlerinin ortalamaları ( $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) ve standart sapmaları (SS).

Grup	$\bar{X}(\mu\text{g})\pm\text{SS}$
Filtek Z 250	6,585 $\pm$ 1,494 <sup>bcd</sup>
Filtek One Bulk-fill	8,651 $\pm$ 1,594 <sup>e</sup>
Tetric PowerFill 10 s	5,132 $\pm$ 1,510 <sup>ab</sup>
Tetric PowerFill 3 s	6,202 $\pm$ 0,922 <sup>bc</sup>
Filtek Supreme Flowable	8,193 $\pm$ 1,294 <sup>de</sup>
Filtek Bufill Flowable	7,580 $\pm$ 1,749 <sup>cde</sup>
Tetric PowerFlow 10 s	4,365 $\pm$ 0,956 <sup>a</sup>
Tetric PowerFlow 3 s	5,818 $\pm$ 1,810 <sup>abc</sup>

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen gruplar arasında farklılık vardır. (Tukey testi) (\* $p<0,001$ ). SS: Standart sapma.

sındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmadı ( $p>0,05$ ) (Tablo 2).

Tüm grupların ortalama değerlerine bakıldığında, en düşük çözünürlük değeri gösteren gruplar Filtek Z 250 (-9,876 $\pm$ 1,598  $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) ve Filtek One Bulk-fill (-9,875 $\pm$ 1,249  $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) gruplarıydı (Tablo 3).

Tetric Powerflow kompozitin 10 s ve 3 s grupları en yüksek çözünürlük değerlerini (-1,533 $\pm$ 1,934  $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ , -1,533 $\pm$ 1,384  $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) gösterdiler. Bu değerler diğer kompozit gruplarından istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulundular ( $p<0,001$ ) (Tablo 3).

Tetric Powerfill kompozitin 3 s grubu (-4,288 $\pm$ 0,944  $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) 10 s grubundan (-5,972 $\pm$ 1,218  $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) daha yüksek çözünürlük değeri gösterse de bu iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı ( $p>0,05$ ) (Tablo 3).

Kütle değişim yüzdeleri karşılaştırıldığında 1. ve 7. günlerde en düşük değeri Tetric PowerFlow 10 s grubu, en yüksek değeri ise Filtek Supreme Flowable grubu gösterdi. 30. günde ise en düşük kütle değişim yüzdesi gösteren Tetric PowerFlow 10 s grubu iken en yüksek kütle değişim yüzdesi gösteren ise Filtek One Bulk-fill grubu oldu ve bu grup ile Filtek Supreme Flowable ve Filtek Z 250 arasında fark yoktu (Tablo 4).

Su emilimi ve suda çözünürlük değerleri arasındaki ilişki olup olmadığına ilişkin Pearson korelasyon katsayısı incelendiğinde, negatif yönde anlamlı bir korelasyon gözlemlendi ( $r=-0,302$ ;  $p=0,002$ ).

## TARTIŞMA

Çalışmamızın sonuçları doğrultusunda "Powerfill ve Powerflow kompozitlerin, Bluephase ışık cihazı ile 3

**TABLO 3:** Tukey testi sonuçlarına göre 30.gündeki suda çözünürlük değerlerinin ortalamaları ( $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ ) ve standart sapmaları.

Grup	$\bar{X}(\mu\text{g})\pm\text{SS}$
Filtek Z 250	9,876 $\pm$ 1,598 <sup>a</sup>
Filtek One Bulk-fill	-9,875 $\pm$ 1,249 <sup>a</sup>
Tetric PowerFill 10 s	-5,972 $\pm$ 1,218 <sup>bc</sup>
Tetric PowerFill 3 s	-4,288 $\pm$ 0,944 <sup>c</sup>
Filtek Supreme Flowable	-6,356 $\pm$ 1,38 <sup>b</sup>
Filtek Bulkfill Flowable	-5,359 $\pm$ 1,794 <sup>bc</sup>
Tetric PowerFlow 10 s	-1,533 $\pm$ 1,934 <sup>d</sup>
Tetric PowerFlow 3 s	-1,533 $\pm$ 1,384 <sup>d</sup>

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen gruplar arasında farklılık vardır. (Tukey testi) (\* $p<0,001$ ). SS: Standart sapma.

**TABLO 4:** Bonferroni testi sonuçlarına göre kütle değişim yüzdeleri (%) ve zamanlara göre karşılaştırmalar.

Grup	Kd1	Kd7	Kd30	Zamanlar arası karşılaştırma 1-7-30 karşılaştırma
	$\bar{X}(\mu\text{g})\pm\text{SS}$	$\bar{X}(\mu\text{g})\pm\text{SS}$	$\bar{X}(\mu\text{g})\pm\text{SS}$	
Filtek Z 250	0,162 $\pm$ 0,05 <sup>ca</sup>	0,351 $\pm$ 0,042 <sup>cb</sup>	0,685 $\pm$ 0,064 <sup>cd</sup>	$p<0,001$
Filtek One Bulk-fill	0,202 $\pm$ 0,047 <sup>ca</sup>	0,471 $\pm$ 0,042 <sup>cb</sup>	0,749 $\pm$ 0,043 <sup>cd</sup>	
Tetric PowerFill 10 s	0,138 $\pm$ 0,053 <sup>abA</sup>	0,305 $\pm$ 0,051 <sup>bcB</sup>	0,447 $\pm$ 0,042 <sup>bc</sup>	
Tetric PowerFill 3 s	0,127 $\pm$ 0,039 <sup>abA</sup>	0,281 $\pm$ 0,041 <sup>bcB</sup>	0,422 $\pm$ 0,046 <sup>bc</sup>	
Filtek Supreme Flowable	0,269 $\pm$ 0,025 <sup>da</sup>	0,561 $\pm$ 0,05 <sup>eb</sup>	0,739 $\pm$ 0,065 <sup>cd</sup>	
Filtek Bulkfill Flowable	0,202 $\pm$ 0,053 <sup>ca</sup>	0,438 $\pm$ 0,098 <sup>eb</sup>	0,621 $\pm$ 0,07 <sup>cd</sup>	
Tetric PowerFlow 10 s	0,087 $\pm$ 0,04 <sup>aA</sup>	0,188 $\pm$ 0,053 <sup>bB</sup>	0,257 $\pm$ 0,057 <sup>cd</sup>	
Tetric PowerFlow 3 s	0,133 $\pm$ 0,059 <sup>abA</sup>	0,263 $\pm$ 0,072 <sup>bB</sup>	0,328 $\pm$ 0,085 <sup>cd</sup>	
Gruplar arası karşı.	$p<0,001$	$p<0,001$	$p<0,001$	

Küçük harfler aynı sütunda; büyük harfler aynı satırda gösterilen gruplar arasındaki farklılıkları belirtir. (Bonferroni testi) (\* $p<0,001$ ). SS: Standart sapma.

s ve 10 s uygulamaları arasında su emilimi ve suda çözünürlük açısından fark olmayacağı” olarak belirlenen birinci hipotez su emilimi ve çözünürlük değerlerinin birbirine benzer olması sebebiyle kabul edilmiştir. “Powerfill ve Powerflow kompozitlerin su emilimi ve suda çözünürlük düzeylerinin test edilen diğer kompozit materyallerinden farkı olmayacağı” olarak belirlenen ikinci hipotez değerlerin farklılık göstermesi sebebiyle reddedilmiştir. Polimer matriks yapısına sahip materyallerde, absorpsiyon difüzyon yoluyla gerçekleşir.<sup>10</sup> Ancak polimerlerin su emilimi, molekül yapısının çeşitliliğine bağlı olarak farklılık gösterir. Molekül yapısında ise hidroksil gruplarının bulunması, yapının polaritesi ve moleküller arası çapraz bağlar su emilimini etkilemektedir.<sup>11</sup>

ISO spesifikasyonuna göre rezin yapıdaki materyallerin su emilim ve çözünürlük değerlerinin belirlenmesinde, intraoral ortamı en iyi şekilde taklit edebilmek için 7 gün boyunca distile suda bekletilmesi önerilmektedir.<sup>12</sup> Bununla birlikte, günümüze kadar su emilimi ve çözünürlükle ilgili yapılan çalışmalarda kullanılan çözücü ve bekletilme süreleri farklılık göstermektedir.<sup>13-16</sup>

Kompozitlerin 7 günlük, 28-30 günlük ve 40 günlük performanslarının değerlendirildiği kısa süreli çalışmalarla beraber; kısa ve uzun süreli bekletmenin etkilerini inceleyen uzun dönem takip edilen çalışmalar da mevcuttur.<sup>15-18</sup> Bizim çalışmamızda da örnekler 30 gün boyunca nemli ağız ortamı ile benzerlik göstermesi amacıyla distile suda bekletilmiştir.

Rezin kompozitlerin su emilimini etkileyen faktörlerinden biri yapısındaki doldurucu partikülün tipi, miktarı, boyutu ve şeklidir.<sup>19</sup> Mirsasaani ve ark. 2013 yılında nanokompozitlerin su emilimi ve çözünürlüklerini inceledikleri çalışmalarında inorganik doldurucu miktarı yüksek olan rezin kompozitlerin su emilim değerlerinin daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.<sup>20</sup> Sevilmiş ve Bulucu, farklı rezin kompozitlerin su emilimi değerlerini karşılaştırdığı çalışmalarında en düşük inorganik doldurucu miktarına sahip akışkan rezin kompozitin yüksek su emilimi değeri gösterdiğini belirtmişlerdir.<sup>21</sup>

Literatürdeki çalışmalara benzer şekilde, çalışmamızda inorganik doldurucu oranı en düşük olan iki

rezin kompozit Filtek Bulk-Fill Flowable (%64,5) ve Filtek Supreme Flowable (%65) yüksek su emilimi değerleri göstermişlerdir.

Su emilimi ve çözünürlükte doldurucu partikül ve miktarı kadar rezin matriks ve monomerlerin kimyası da önemlidir. Rezin matriksin yapısında Bis-GMA (bisfenol A diglisil-eter-metakrilat), Bis-EMA (etoksillenmiş bisfenol A dimetakrilat), UDMA (üretan dimetakrilat) ve TEGDMA (trietilen glikol dimetakrilat) gibi farklı türde monomerler bulunmaktadır.<sup>22</sup> Bis-GMA'nın rijit bir ağ yapısına sahip olması sebebi ile ana monomer içeriği Bis-GMA olan rezin kompozitler, TEGDMA içeren rezin kompozitlere kıyasla daha az su emilimi gösterirken; yapısında UDMA ve Bis-EMA bulunduran rezin kompozitlere kıyasla ise daha yüksek miktarda su emilimi gösterirler.<sup>23</sup> Bis-GMA içeriğine sahip rezin kompozitlerde, su emilimi %0-1 iken yapıya ilave edilen TEGDMA bu oranı %3-6 ya kadar çıkarabilmektedir. TEGDMA'nın merkezinde tekrar eden ve su moleküllerine duyarlı olan etoksi grupları bulunması, rezinin yüzey hidrofilitesinin artışı ile sonuçlanmaktadır. Aynı şekilde birbirlerine yakın doldurucu oranlarına sahip Filtek Z250 (%82) ve Tetric Powerfill (%79) rezin kompozitlerin su emilimi değerleri karşılaştırıldığında Tetric Powerfill kompozitin hem 3 s hem de 10 s grupları Filtek Z250'den daha düşük su emilimi değerleri göstermiştir. Bu durum Filtek Z250'nin yapısında TEGDMA monomeri bulunurken Tetric Powerfill'in yapısında TEGDMA monomerinin bulunmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gelişen teknoloji ile beraber kompozitlerin organik matriksinin kimyasal bileşiminde ve polimerizasyon prosedüründe yenilikler meydana gelmiştir. 2006 yılından itibaren polimer üretiminde ışıkla hızlı polimerizasyon sağlayan tersinir eklenmiş fragmantasyon zincir transferi polimerizasyon mekanizması kullanılmaya başlanmıştır. Gorsche ve ark.nın yapmış oldukları çalışmalarında  $\beta$ -alil sülfonların dimetakrilatların ışıkla polimerizasyonunu düzenleyebildiği ve daha homojen çapraz bağlar oluşturduğu belirtilmiştir.<sup>24</sup> Araştırmacılar, AFCT reaktifi içeren rezin materyallerin polimerizasyonu sırasında radikallerin,  $\beta$ -alil sülfonun yapısındaki sülfonil radikali ile çift

bağ kurarak bir ara radikal oluşturduğunu bildirmişlerdir. Zincir sonlandırma adımında ise aktif zincirler, reaksiyona giremeyen zincirler (ölü polimer) oluşturmak için radikal sonlandırma reaksiyonu oluşturarak polimerizasyonu sonlandırmaktadır. Bu durumun, polimerizasyon boyunca eş zamanlı ve sürekli gerçekleşerek materyalin kısa sürede doygunluğa ulaşmasının gerçekleştiği belirtilmiştir.<sup>7,24,25</sup>

Klarić ve ark. 2022 yılında hızlı polimerizasyonun bulk-fill kompozitlerin su emilimi ve çözünürlüğü üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında Filtek One Bulk-Fill, diğer materyallere kıyasla en yüksek su emilimi gösterirken, Tetric PowerFlow ise en düşük su emilimi göstermiştir.<sup>26</sup> Bu durumu PowerFill kompozitlerin yapısında AFCT olarak adlandırılan,  $\beta$ -alil sülfon kullanımına bağlamışlardır. Filtek One Bulk-Fill'in fazla su emilimini ise, yapısına polimerizasyon büzülmesini azaltmak için az sayıda reaktif grup eklenmiş uzun zincirli aromatik üretan dimetakrilatın (AUDMA) polimer ağının daha düşük derecede çapraz bağlanmaya neden olmasına bağlamışlardır. Bizim çalışmamızda da Klarić ve ark.'nın çalışmasına benzer şekilde Tetric Powerfill grupları düşük su emilim değerleri gösterirken, Filtek One Bulk-Fill grubu ise en yüksek su emilim değeri göstermiştir. Tetric Powerfill kompozitlerin düşük su emiliminin yapısındaki  $\beta$ -alil sülfon reaktifinden kaynaklandığını, Filtek One Bulk-Fill'in ise yüksek su emiliminin yapısındaki AUDMA monomerinden kaynaklandığını düşünmekteyiz.

Ilie ve Watts, Tetric EvoCeram bulk-fill ve Tetric Powerfill rezin kompozitin hızlı (3 s) polimerizasyonunu inceledikleri çalışmalarında 3 sn'lik polimerizasyonun dönüşüm derecesi açısından 10 sn'lik polimerizasyon süresi ile karşılaştırılabilir sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.<sup>7</sup> Bizim çalışmamızda da benzer şekilde Tetric Powerflow ve Tetric Powerfill rezin kompozitlerin 3 sn grupları, 10 sn gruplarına göre daha yüksek su emilimi ve çözünürlük değerleri gösterebilir de bu değerler istatistiksel olarak anlamlı değildi. Kısa polimerizasyon süresi (3 sn) ve yüksek ışık gücünün 10 sn gruplarına benzer su emilimi ve çözünürlük değerleri göstermesinin nedeni olarak; yapılarına eklenen AFCT reaktifi olan  $\beta$ -alil sülfon monomerinin kısa sürede daha

hızlı ve kontrollü çapraz bağ oluşumu olduğu düşünülmektedir.

Rezin kompozit materyallerinin su emiliminin zamana bağlı değişimini inceleyen Ortengren ve ark. çalışmalarında 6 aylık süre boyunca su emiliminin istatistiksel olarak anlamlı olmasa da sürekli artış gösterdiğini belirtmiştir.<sup>18</sup> Aynı araştırmacının yaptığı benzer bir çalışmada ise 1, 7, 60 ve 180 gün periyotlarla su emilim değerleri ölçülmüş sonuç olarak su emilim miktarları 7. günde maksimum değerlere ulaştığı belirtilmiştir.<sup>27</sup> Bulk-fill ve geleneksel rezin kompozitlerin su ve yapay tükürükte uzun süreli su emilimi ve çözünürlüğünün incelendiği çalışmada bir materyal dışında tüm rezin kompozitlerin üç ila dört aylık süre içerisinde kararlı kütleye ulaştığı, bu sürece kadar kütle değişiminde artış olduğu bildirilmiştir.<sup>28</sup> Zankuli ve ark. 2014 yılında 4 rezin kompozit ve 1 rezin modifiye cam iyonomerin su emilimi ve çözünürlük değerlerini inceledikleri çalışmalarında tüm materyallerin, ilk 28 gün boyunca kütle değişim miktarının sürekli bir artış gösterdiğini ve test edilen tüm materyaller için kazanılan maksimum su alımının ilk hafta gerçekleştiğini belirtmişlerdir.<sup>29</sup> Ayrıca bir yıla kadar olan süreçte en fazla kütle değişiminin ilk bir ayda olduğunu bildirmişlerdir. Bizim çalışmamızda da Zankuli ve ark. çalışmalarına benzer şekilde tüm rezin kompozit materyallerin kütle değişimleri 30. güne kadar sürekli artış göstermiştir. Bu artış, tüm zaman dilimlerinde (1. gün, 7. gün ve 30. gün) istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksektir. Tüm zaman dilimlerinde en düşük kütle değişim yüzdelerini ise Tetric Powerflow ve Tetric Powerfill kompozit materyalleri göstermiştir.

Rezin kompozit materyaller polimerizasyon sırasında üç boyutlu polimerik ağ oluşturan çapraz bağlar sayesinde sıvı emilimine karşı direnç gösterir.<sup>30</sup> Emilen sıvı molekülleri yapıdaki boşluklarda genişlemeye yol açarak, polimerik yapıdan artık monomerlerin salınımına sebep olur.<sup>22</sup> Dönüşüm derecesine bağlı olarak, reaksiyona girmemiş artık monomer miktarı değişiklik göstermektedir. Yüksek dönüşüm derecesinde, reaksiyona girmeyen molekül miktarı az olacağından dolayı düşük çözünürlük değerleri sergileneceği belirtilmiştir.<sup>31</sup>

Farklı ortamlarda ve sürelerde, su emilimi ve çözünürlüğün incelendiği çalışmalarda; bekletme ortamında ve bekletme süresindeki farklılıkların su emilimi ve çözünürlük değerlerini etkilediği gösterilmiştir.<sup>28</sup> Solüsyonda bekletme süresinin kompozitlerin çözünürlük değerleri üzerine etkisinin incelendiği bazı çalışmalarda ise çözünürlük değerlerinin farklılık gösterdiği ve düzenli olmadığı görülmüştür.<sup>18, 27</sup> Lopes ve ark.nın yapmış oldukları çalışmalarında test edilen tüm solüsyon ve periyotlarda çözünürlük verileri negatif değerler göstermiştir.<sup>32</sup> Kompozit rezinlerin kütle kazanımına sebep olan su emilim düzeylerinin fazla olmasının, gerçek çözünürlüğü maskeleyebileceği düşünülmektedir. Ayrıca negatif değerlerin çözünürlüğün olmadığı anlamına gelmeyeceği, bunun yerine su emiliminin çözünürlükten daha fazla olduğunun göstergesi olabileceğini belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda da kullanılan tüm rezin kompozit gruplarının suda çözünürlükleri negatif değerler göstermiştir. Bulunan negatif çözünürlüklerin, materyallerin dehidratasyonlarını tam olarak gerçekleştiremediği ihtimalleri de düşünülerek, bu materyallerde çözünürlüğün meydana gelmediği değil az miktarlarda gerçekleştiği olarak düşünülebilir.

Bu çalışmanın limitasyonu *in vivo* şartlarda çözünürlüğü etkileyebilecek çiğneme kuvvetleri, parafonksiyonel alışkanlıklar gibi mekanik kuvvetlerin ve ağız içi içecek ve besinlerin meydana getirdiği sıcaklık ve pH değişimlerinin etkilerinin göz ardı edilerek *in vitro* koşullarda inceleme yapılmasıdır. Çalışmamızda ağız içi ortamı tam olarak simüle edilememiştir. Bundan dolayı, kompozit materyallerin su emilimi ve çözünürlüklerinin daha farklı ve çeşitli çözücü ortamlarında, farklı süre, pH ve sıcaklıklarda değişip değişmediğini inceleyen daha detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır.

## SONUÇ

Çalışmada kullanılan bütün kompozit materyallerinde su emilimi ve suda çözünürlük değerleri; inorganik doldurucu miktarı, doldurucunun partikül büyüklüğü ve organik rezin matris yapısından etkilenmektedir. Çalışmamızın sonuçlarına göre en yüksek su emilimini Filtek One Bulk-fill grubu gösterirken en düşük su emilimi değerleri ise Tetric Powerfill ve Tetric Powerflow rezin kompozitlerde görülmekle beraber bu rezin kompozitlerin 3s ve 10s grupları arasında su emilimi ve çözünürlük açısından bir farklılık yoktur. Filtek Z 250 grubu en az çözünürlük gösterirken, tüm kompozit gruplarının kütle değişim yüzdeleri tüm zaman dilimlerinde artış göstermiştir. Test edilen Tetric Powerfill ve Tetric Powerflow bulk-fill rezin kompozitlerin klinikte rutin kullanımları açısından daha kapsamlı *in vivo* ve *in vitro* çalışmalara ihtiyaç vardır.

### **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**

*Bu çalışma hazırlanırken tüm yazarlar eşit katkı sağlamıştır.*



## KAYNAKLAR

1. Zhang N, Xie C. Polymerization shrinkage, shrinkage stress, and mechanical evaluation of novel prototype dental composite resin. *Dent Mater J*. 2020;39(6):1064-71. PMID: 32727962.
2. Rees JS, Jagger DC, Williams DR, Brown G, Duguid W. A reappraisal of the incremental packing technique for light cured composite resins. *J Oral Rehabil*. 2004;31(1):81-4. PMID: 15125602.
3. Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dent Mater*. 2014;30(2):149-54. PMID: 24268044.
4. El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Oper Dent*. 2014;39(4):374-82. PMID: 23865582.
5. Eakle WS, Bastin KG. *Dental Materials: Clinical Applications For Dental Assistants And Dental Hygienists*. 4th ed. Holland: Elsevier Health Sciences; 2019.
6. Kowalska A, Sokolowski J, Bociong K. The photoinitiators used in resin based dental composite-a review and future perspectives. *Polymers (Basel)*. 2021;13(3):470. PMID: 33540697; PMCID: PMC7867280.
7. Ilie N, Watts DC. Outcomes of ultra-fast (3 s) photo-cure in a RAFT-modified resin-composite. *Dent Mater*. 2020;36(4):570-9. PMID: 32173087.
8. Versluis A, Tantbirojn D, Lee MS, Tu LS, DeLong R. Can hygroscopic expansion compensate polymerization shrinkage? Part I. Deformation of restored teeth. *Dent Mater*. 2011;27(2):126-33. PMID: 20970176.
9. Karaca MK, Kam Hepdeniz O, Esencan Turkaslan B, Gurdal O. The effect of functionalized titanium dioxide nanotube reinforcement on the water sorption and water solubility properties of flowable bulk-fill composite resins. *Odontology*. 2022;110(2):313-28. Erratum in: *Odontology*. 2022; PMID: 34643837.
10. Wei YJ, Silikas N, Zhang ZT, Watts DC. Diffusion and concurrent solubility of self-adhering and new resin-matrix composites during water sorption/desorption cycles. *Dent Mater*. 2011;27(2):197-205. PMID: 21084109.
11. Mortier E, Gerdolle DA, Jacquot B, Panighi MM. Importance of water sorption and solubility studies for couple bonding agent-resin-based filling material. *Oper Dent*. 2004;29(6):669-76. PMID: 15646223.
12. Heintze SD, Zimmerli B. Relevance of in vitro tests of adhesive and composite dental materials, a review in 3 parts. Part 1: Approval requirements and standardized testing of composite materials according to ISO specifications. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. 2011;121(9):804-16. Dutch, English. PMID: 21987305.
13. Albuquerque PP, Moreira AD, Moraes RR, Cavalcante LM, Schneider LF. Color stability, conversion, water sorption and solubility of dental composites formulated with different photoinitiator systems. *J Dent*. 2013;41 Suppl 3:e67-72. PMID: 23228497.
14. Gusmão GM, De Queiroz TV, Pompeu GF, Menezes Filho PF, da Silva CH. The influence of storage time and pH variation on water sorption by different composite resins. *Indian J Dent Res*. 2013;24(1):60-5. PMID: 23852234.
15. Carvalho AA, Moreira Fdo C, Fonseca RB, Soares CJ, Franco EB, Souza JB, et al. Effect of light sources and curing mode techniques on sorption, solubility and biaxial flexural strength of a composite resin. *J Appl Oral Sci*. 2012;20(2):246-52. PMID: 22666845; PMCID: PMC3894771.
16. Rahim TN, Mohamad D, Md Akil H, Ab Rahman I. Water sorption characteristics of restorative dental composites immersed in acidic drinks. *Dent Mater*. 2012;28(6):e63-70. PMID: 22480722.
17. Almeida GS, Poskus LT, Guimarães JG, da Silva EM. The effect of mouthrinses on salivary sorption, solubility and surface degradation of a nanofilled and a hybrid resin composite. *Oper Dent*. 2010;35(1):105-11. PMID: 20166417.
18. Ortengren U, Wellendorf H, Karlsson S, Ruyter IE. Water sorption and solubility of dental composites and identification of monomers released in an aqueous environment. *J Oral Rehabil*. 2001;28(12):1106-15. PMID: 11874509.
19. Yap AU, Tan CH, Chung SM. Wear behavior of new composite restoratives. *Oper Dent*. 2004;29(3):269-74. PMID: 15195726.
20. Mirsasaani SS, Ghomi F, Hemati M, Tavasoli T. Measurement of solubility and water sorption of dental nanocomposites light cured by argon laser. *IEEE Trans Nanobioscience*. 2013;12(1):41-6. PMID: 23292826.
21. Sevilmiş HH, Bulucu B. Adeziv materyallerin su emilimi özellikleri [Water Sorption Property of Adhesive Materials]. 2007;31(2):16-21. <https://docplayer.biz.tr/47506003-Adeziv-materyallerin-su-emilimi-ozellikleri.html>
22. Genç G, Toz T. Rezin kompozitlerin renk stabilitesi ile ilgili bir derleme: Kompozit renklemelerinin etyolojisi, sınıflandırılması ve tedavisi [A review of the color stability of resin composites: the etiology, classification and the treatment of composite staining]. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2017;38(2):68-79. <https://eudfd.org/jvi.aspx?pdireudfd&plng=tur&un=EUDFD-43265&look4=>
23. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*. 2003;24(4):655-65. PMID: 12437960.
24. Gorsche C, Griesser M, Gescheidt G, Moszner N, Liska R.  $\beta$ -allyl sulfones as addition-fragmentation chain transfer reagents: A tool for adjusting thermal and mechanical properties of dimethacrylate networks. *Macromolecules*. 2014;47(21):7327-36. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ma501550b>
25. Barner-Kowollik C. *Handbook of RAFT Polymerization*. 1st ed. John Wiley & Sons; 2008. <https://www.wiley.com/en-ie/Handbook+of+RAFT+Polymerization-p-9783527622757>
26. Klarić N, Macan M, Par M, Tarle Z, Marović D. Effect of rapid polymerization on water sorption and solubility of bulk-fill composites. *Acta Stomatol Croat*. 2022;56(3):235-45. PMID: 36382210; PMCID: PMC9635498.
27. Ortengren U, Andersson F, Elgh U, Terselius B, Karlsson S. Influence of pH and storage time on the sorption and solubility behaviour of three composite resin materials. *J Dent*. 2001;29(1):35-41. PMID: 11137637.
28. Alshali RZ, Salim NA, Satterthwaite JD, Silikas N. Long-term sorption and solubility of bulk-fill and conventional resin-composites in water and artificial saliva. *J Dent*. 2015;43(12):1511-8. PMID: 26455541.
29. Zankui MA, Devlin H, Silikas N. Water sorption and solubility of core build-up materials. *Dent Mater*. 2014;30(12):e324-9. PMID: 25205365.
30. Castro FL, Campos BB, Bruno KF, Reges RV. Temperature and curing time affect composite sorption and solubility. *J Appl Oral Sci*. 2013;21(2):157-62. PMID: 23739853; PMCID: PMC3881881.
31. Gonçalves L, Filho JD, Guimarães JG, Poskus LT, Silva EM. Solubility, salivary sorption and degree of conversion of dimethacrylate-based polymeric matrixes. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2008;85(2):320-5. PMID: 17973246.
32. Lopes LG, Jardim Filho Ada V, de Souza JB, Rabelo D, Franco EB, de Freitas GC. Influence of pulse-delay curing on sorption and solubility of a composite resin. *J Appl Oral Sci*. 2009;17(1):27-31. PMID: 19148402; PMCID: PMC4327610.