ARAŞTIRMA

F.Ü.Sağ.Bil.Tıp.Derg.
2020; 34 (1): 69 - 77
http://www.fusabil.org

Kanal Tedavisi Sonrasında Restoratif İşlemler için Yeni Nanokompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Termal Analizlerinin Değerlendirilmesi *

Aliye KAMALAK [1, a]

[1] Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

[a] ORCİD: 0000-0003-2103-0826

Amaç: Günümüzde teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak rezin esaslı nanokompozit materyalleri diş hekimliğinde geniş kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada kompozit materyallerin yapısına farklı oranlarda grafen materyali katılarak elde edilen yeni restoratif materyalin kontrollü sıcaklık programı uygulandığında termal analiz teknikleri ile materyallerin fiziksel özelliklerinin ölçülmesi amaçlandı.

Gereç ve Yöntemler: Çalışmada 4 farklı yeni nesil kompozit materyali Tetric EvoCeram Bulk Fill Kompozit (Ivoclar-Vivadent, Avusturya) (TEC), X-tra base Kompozit (Voco Cuxhaven Almanya) (XTB), GC Essentia Kompozite (GC Corporation,Japonya) (GCE), ve BRILLIANT EverGlow® Kompozit (Coltene, USA) (BEG) kullanıldı. Analitik Terazi ile 0.5 ve %2 oranında grafen materyali karanlık ortamda homojen karıştırıcı ile polimerize edilmeyen kompozit materyallerinin yapısına katıldı. Elde edilen materyallerin yapısal karakterizasyonu yapıldıktan sonra, bu materyallerin termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel termal analiz (DTA) analizleri değerlendirildi. Verilerin analizinde, değişkenlerin kontrol grubu ile olan etkileşimlerini tespit etmek için tek yönlü ve iki yönlü varyans analiz (ANOVA) yöntemi kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık $P<0.05$ ve $P<0.001$ seviyelerinde değerlendirildi. Her materyal için örnek sayısı 10 olarak belirlendi (n=10).

Bulgular: TGA analiz sonuçları incelendiği zaman TEC ve XTB grubunda %2 oranında grafen katkısı materyalin kimyasal yapısında zayıflığa neden olarak materyallerin 451 °C de kütle kaybına neden olmuştur. DTA analiz sonuçları incelendiğinde ise %2 ve %0.5 oranında grafen katkısının bazı materyallerin kimyasal yapısını güçlendirdiği bazılarının ise zayıfladığı detaylı olarak görüldü.

Sonuç: Grafen gibi biyouyumlu materyalin farklı oranda kompozit materyallerine katkısı materyallerin kimyasal ve fiziksel yapısını güçlendirirken, bazı kompozit gruplarında tam tersi etkiye neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Kompozit, termal analiz, termogravimetrik analiz, diferansiyel termal analiz*

The Production of New Nanocomposite Materials for Dental Restorative Procedures After Root Canal Treatment and Evaluation of Thermal Analysis

Objective: Today, parallel to the developments in technology, resin based nanocomposite materials have wide usage in dentistry. In this study, it was aimed to measure the physical properties of the materials by thermal analysis techniques when the controlled temperature program of the new restorative material obtained by adding different proportions of graphene material to the structure of the composite materials.

Materials and Methods: In this study, 4 different new generation composite materials Tetric EvoCeram Bulk Fill Composite (Ivoclar-Vivadent, Austria) (TEC), X-tra base Composite (Voco Cuxhaven Germany) (XTB), GC Essentia Composite (GC Corporation, Japan) (GCE), BRILLIANT EverGlow® Composite (Coltene, USA) (BEG) was used. Analytical balance with 0.5 and 2% graphene material was added to the structure of composite materials which were not polymerized by homogeneous mixer in dark environment. After the structural characterization of the obtained materials, Thermogravimetric analysis (TGA) and Differential Thermal Analysis (DTA) of these materials were evaluated. In the analysis of the data, one-way and two-way analysis of variance (ANOVA) was used to determine the interactions of the variables with the control group. Statistical significance was evaluated at $P<0.05$ and $P<0.001$ levels. The number of samples for each material was 10 (n = 10).

Results: When TGA analysis results were examined, 2% graphene added in TEC and XTB group caused weakness in chemical structure of the material and caused mass loss of materials at 451°C. When DTA analysis results were examined, it was seen that 2% and 0.5% of graphene additive strengthened the chemical structure of some materials while weakening the chemical structure some other materials.

Conclusion: The contribution of biocompatible materials such as graphene to the composite materials at different rates may strengthen the chemical and physical structure of the materials, while causing the opposite effect in some other composite groups.

Keywords: *Composite, thermal analysis, thermogravimetric analysis, differential thermal analysis*

Geliş Tarihi : 28.10.2019
Kabul Tarihi : 03.03.2020

Yazışma Adresi
Correspondence

Aliye KAMALAK
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Kahramanmaraş - TÜRKİYE

aliyekamalak@hotmail.com

* Bu araştırma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) tarafından DHF-17.05 proje numarası ile desteklenmiştir.

Giriş

Kök kanal tedavisinin temel hedefi, apikal periodontitisten korunmak veya kök kanal tedavisinin en iyi şekilde sağlanabilmesi için bakteri ve ürünlerinin elimine edilmesidir (1). Bununla birlikte, irrigasyon solüsyonu doğru seçilmemesi ve yeterli irrigasyonun yapılmaması, kanal boyunda çalışılmaması, yan kanalların varlığı, eksik kanal dolumu, kusurlu restorasyon ve koronal mikrosızıntı, çatlak ve kırıklar gibi faktörler primer tedavi sonrasında başarısızlığı getirebilmektedir (2). Kök kanal tedavisi tamamladıktan sonra kullanılacak üst yapı malzemelerinin dayanıklılığı koronal mikroçatlak veya kırık restorasyon oluşumunu engelleyecektir. Bunun için kompozit rezinler güncel olarak klinikte kullanılmaktadır (3).

Kompozit materyalleri özelliklerine göre farklı konsantrasyonlarda monomer ve polimerler içermektedir. Bu monomerler ve polimerler genellikle bisfenol glisidil metakrilat (Bis-GMA), ürethan dimetakrilat (UDMA), hidroksi etil metakrilat (HEMA) ve trietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA) gibi visköz veya vizköz olmayan bileşikleri içermektedir (3-6).

Grafen kristal yapıları ve sahip oldukları güçlü metalik bağlar nedeniyle üstün mekanik özellikler taşıyan bir yandan kemik yenileme malzemesi olarak kullanılırken, diğer yandan yüz ve çene cerrahisinde, diş implantlarında da kullanılabilen bir biyomalzemedir. Bununla birlikte biyouyumluluklarının yüksek olması, korozyona uğramamaları, dokulara göre çok sert olmaları, kristal yapıları ve sahip oldukları güçlü metalik bağlar nedeniyle üstün mekanik özellikler taşıyan; grafen bir yandan ortopedik uygulamalarda eklem protezi ve kemik yenileme malzemesi olarak kullanılırken, diğer yandan yüz-çene cerrahisinde, diş implantında ya da kalp-damar cerrahisinde yapay kalp parçaları, kateter, vana ve kalp kapakçığı olarak da kullanılmaktadırlar. Teşhis ve tedavi amaçlı kullanılan biyomedikal cihazların üretiminde de bu metalik özellik tercih edilmektedir (7).

Çalışmada güncel restoratif materyallerin içerisine grafen katarak materyallerin özelliklerini güçlendirildi. Bu çalışma ile yeni jenerasyon restoratif materyallerin doldurucu içerikleri biyouyumluluğu kanıtlanmış olan materyaller eklenerek fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendi. Bu amaçla restoratif materyallerin tüm özellikleri tek bir çalışma ile değerlendirildi ve daha da önemlisi kök kanal dolguları yapılan dişlere kullanılan restoratif materyallerin doldurucu içerikleri güçlendirilerek materyallerin özellikleri arttırılması hedeflendi.

Gereç ve Yöntem

Örneklerin Hazırlanması: Çalışmada 4 farklı yeni nesil kompozit materyal kullanıldı. Çalışmada Tetric EvoCeram Bulk Fill Kompozit (Ivoclar-Vivadent, Avusturya) (TEC), X-tra base Kompozit (Voco Cuxhaven Almanya) (XTB), GC Essentia Kompozite (GC Corporation, Japonya) (GCE), ve BRILLIANT EverGlow® Kompozit (Coltene, USA) (BEG) kullanıldı. Power analizi sonucunda örneklem sayısı her materyal için 10 olarak belirlendi (n=10).

Kontrol gruplarında 4 yeni nesil kompozit materyal grafen katılmadan polimerize edilmiştir. Dentin replasmanı olarak kullanılabilen ve kaviteye 4 mm kalınlığına kadar uygulanabilen bulk fill kompozitler ve rezin simanlar için 4x6 mm'lik standart kalıplar kullanıldı. Kalıpların içerisine restoratif materyali yerleştirildikten sonra kalıpların alt ve üst yüzeylerine strip bantlar yerleştirilerek cam lamlar ile düz bir yüzey oluşturmak için preslendi ve sonrasında LED ışık cihazı (Elipar Freelight II, 3M-ESPE, St.Paul, MN, ABD) ile üretici firmanın talimatları doğrultusunda 20/40 sn polimerize edildi. Örnekler sertleştikten sonra kenarları ve yüzeyleri cila diskleri ile düzeltildi (Sof-Lez; 3M ESPE, St. Paul, MN, ABD).

Çalışma grubunda polimerize edilmeden grafen katılmış ardından polimerizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla; AS 220 Hassas Analitik Terazi ile elde edilen silindirik bloklar tartıldı. Silindirik blokların ağırlıkları belirlendikten sonra her bir blok için %0.5 ve %2 oranı belirlendi. Gram olarak elde edilen bu değerler kadar grafen materyali karanlık ortamda homojen karıştırıcı ile polimerize edilmeyen kompozit materyallerinin yapısına katıldı. Restoratif materyaller termal siklus işlemine tabi tutuldu. Termal siklus sırasında örnekler sırasıyla 50 ºC, oda ısısı ve 950 ºC deki su banyolarında 30'ar sn bekletildi. Her gruba 10.000 termal siklus uygulandı.

Numunelerin termal ölçümleri alınırken Schimadzu marka DTG-60 AH model diferansiyel termogravimetrik analiz cihazı kullanıldı. Numunelerin termal ölçümleri oda sıcaklığından başlayarak 950 ºC ye kadar 25 ºC/dakika ısıtma hızı ile alındı. Diferansiyel termal analiz ölçümler sırasında numunelere ait camsı geçil, kristalizasyon ve erime noktası sıcaklığı gibi parametreler araştırıldı. Termogravimetrik analiz ile numunelerin sıcaklığa bağlı olarak olası kütle kayıpları belirlendi.

İstatistiksel Analiz: Örneklem sayısının belirlenmesinde güç analizinden yararlanılmıştır. Güç analizi bulgularına göre referans çalışma parametreleri dikkate alındığında lojistik regresyon OR=3.3 P=0.05 kabul edilip her grup için n:10 alınması planlanmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçların değerlendirmesinde istatistiksel analizler için IBM SPSS Statistics 22 (IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 22.0; IBM, Armonk, NY) programı kullanıldı. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile incelenmiştir. Verilerin analizi; değişkenlerin kontrol grubu ile olan etkileşimlerini tespit etmek için tek yönlü ve iki yönlü varyans analizi (ANOVA); gruplar arası karşılaştırma için Tukey HSD testi kullanılarak yapıldı. İstatistiksel anlamlılık P<0.05 seviyesinde değerlendirildi.

Bulgular

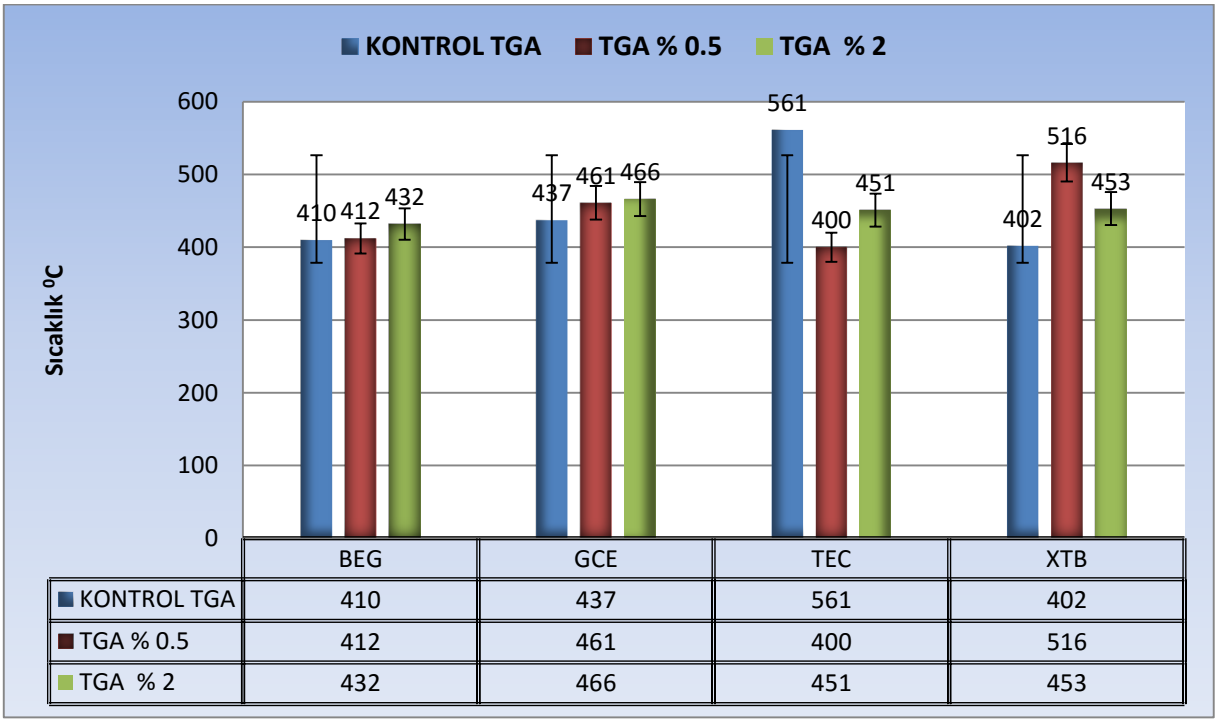
Bu çalışmada dental kompozitlerin termal özellikleri üzerinde %0.5 ve %2 grafen ilavesinin etkileri araştırılmıştır. Thermogravimetric analysis (TGA) ve diferansiyel termal analiz (DTA) analizi ile elde edilen kompozitlerin termal kararlılıkları incelenmiştir. Şekil 1, 2 ve 3'de 900°C ye kadar ısıtılan kontrol grubu ve grafen katkılı materyallerin sıcaklık ve zamana bağlı kütle değişimleri görülmektedir.

Şekil 1 incelendiğinde kompozitlere ait eğrilerin genellikle birbirlerine yakın sıcaklık dereceleri gösterdiği görülmektedir. Genellikle kompozitler 450°C sıcaklığa kadar benzer bir eğilim göstermektedir. Genellikle bu sıcaklıklar arasında malzemelerin yapılarında su ve kütle kaybı görülmektedir.

400°C sıcaklıktan sonra kompozitler birbirlerine yakın sıcaklıklarda onset sıcaklık değerleri vererek bozunmaya başlamışlardır.

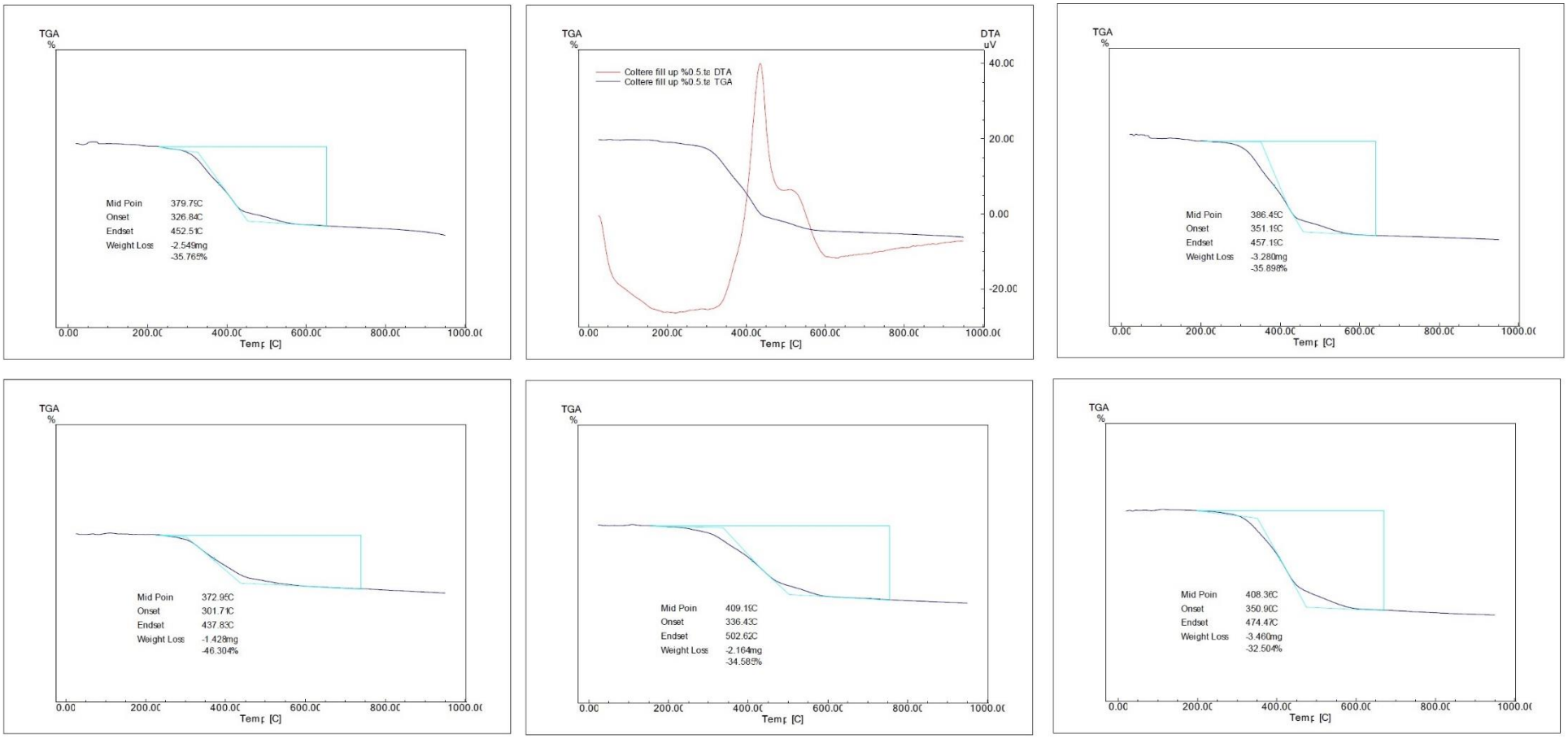
450°C sıcaklıktan sonra tüm eğriler benzer bir kütle kaybına uğrarken %2 grafen katkılı materyaller daha yavaş kütle kaybına uğramıştır.

Ekzotermik ya da endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri diferansiyel termal analiz (DTA) cihazı ile tespit edilir. Şekil 4, 5 ve 6 incelendiğinde DTA ile farklı oranlarda grafen katkılı materyallerin camsı geçiş, kristallenme, erime, oksitlenme ve bozunma noktaları yüksek bir doğrulukla tayin edildi. Kontrol grupları incelendiğinde XTB nin bozunma sıcaklığının 565°C iken, BEG grubunda 600°C de bozunma gerçekleştiği görüldü. Materyallere %0.5 oranında grafen katıldığında XTB de bozunma sıcaklığı 221.36°C artış, TEC grubunda 28.58 °C azalma, GCE grubunda 39.86°C artış ve BEG grubunda ise 0.12°C artış gösterdi. Materyallere %2 oranında grafen katıldığında ise XTB de bozunma sıcaklığı 109.16°C artış, TEC grubunda 31.65 °C azalma, GCE grubunda 91.92°C artış ve BEG grubunda ise 10.11 °C artış gösterdi (Şekil 1, 2 ve 3).

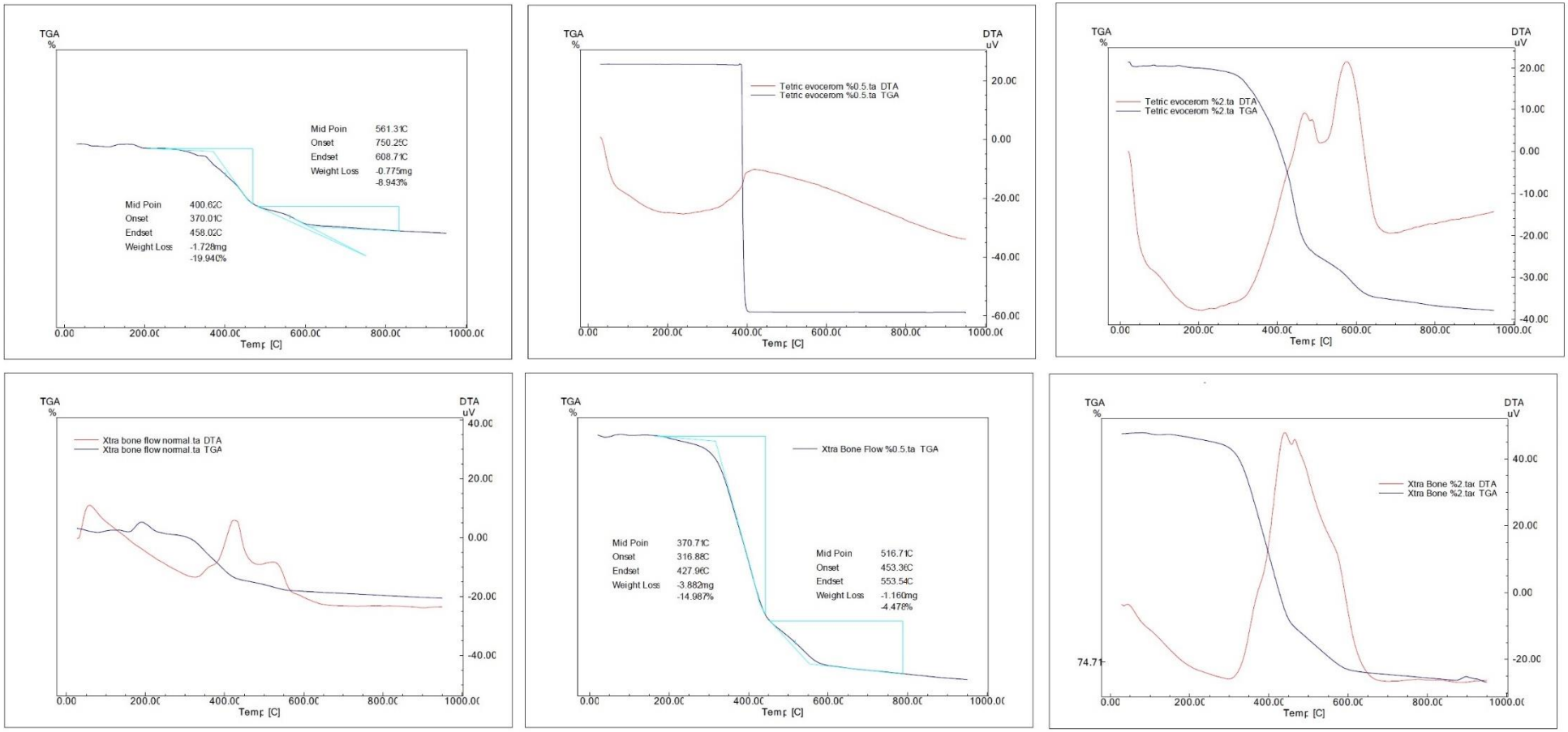


	BEG	GCE	TEC	XTB
KONTROL TGA	410	437	561	402
TGA % 0.5	412	461	400	516
TGA % 2	432	466	451	453

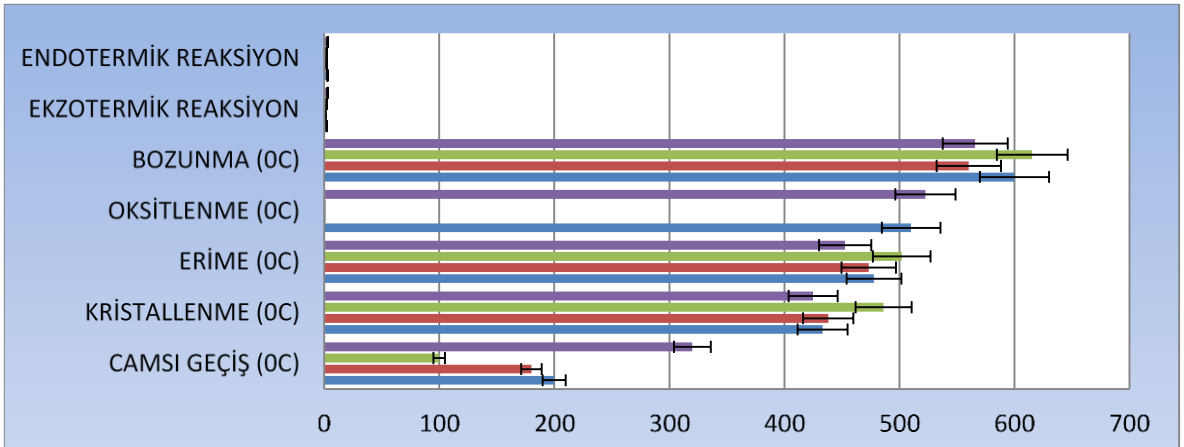
Şekil 1. Kontrol grubu ve grafen katkılı materyallerin sıcaklığa bağlı kütle değişimine uğradıkları sıcaklık değerleri



Şekil 2. TGA ve DTA analizi ile elde edilen kontrol grubu, BEG ve GCE gruplarının %0.5 ve 2 grafen katkılı termal kararlılıkları

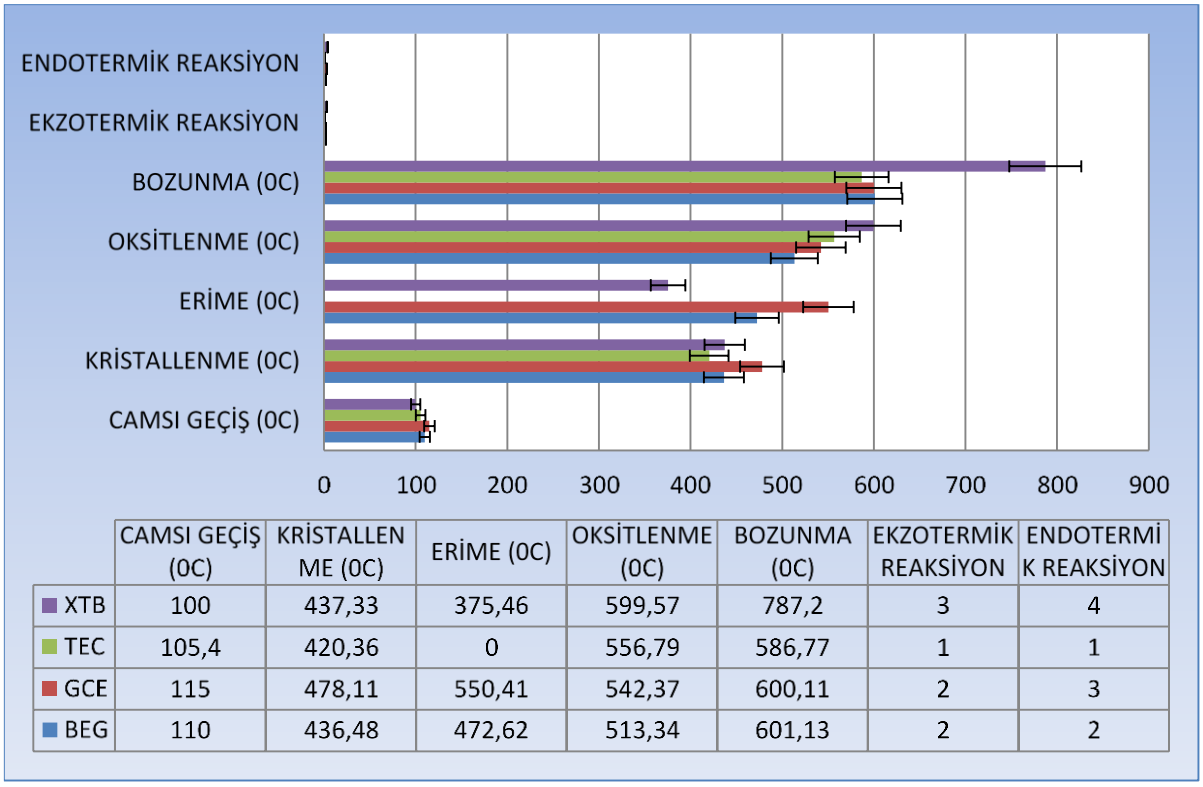


Şekil 3. TGA ve DTA analizi ile elde edilen kontrol grubu, TEC ve XTB gruplarının %0.5 ve 2 grafen katkılı termal kararlılıkları



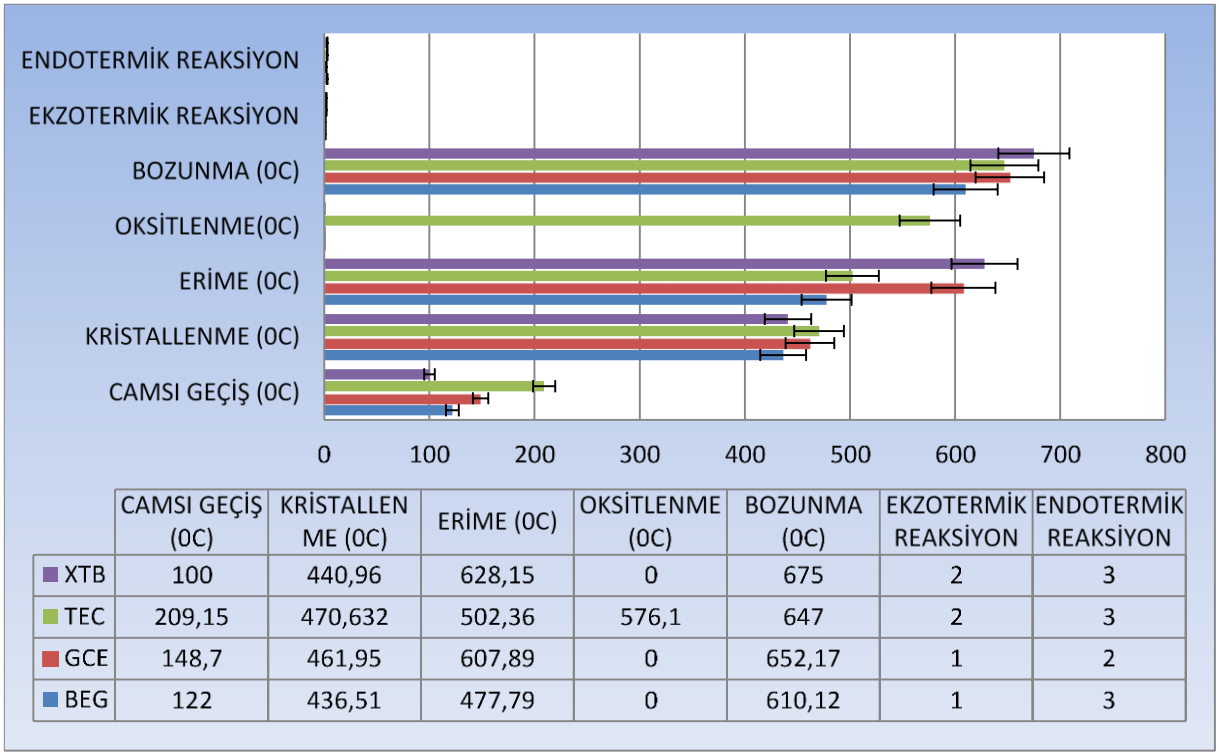
	CAMSI GEÇİŞ (0C)	KRİSTALLENME (0C)	ERİME (0C)	OKSİTLENME (0C)	BOZUNMA (0C)	EKZOTERMİK REAKSİYON	ENDOTERMİK REAKSİYON
XTB	320	424,98	452,79	522,7	565,84	3	3
TEC	100	486,24	502,05	0	615,35	2	2
GCE	180,14	438,18	473,26	0	560,25	1	2
BEG	200	433,22	477,87	510,21	600,01	2	3

Şekil 4. Kontrol grubundaki materyallerin ekzotermik ya da endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri, camsı geçiş, kristallenme, erime, oksitlenme ve bozunma noktaları



	CAMSI GEÇİŞ (0C)	KRİSTALLENME (0C)	ERİME (0C)	OKSİTLENME (0C)	BOZUNMA (0C)	EKZOTERMİK REAKSİYON	ENDOTERMİK REAKSİYON
XTB	100	437,33	375,46	599,57	787,2	3	4
TEC	105,4	420,36	0	556,79	586,77	1	1
GCE	115	478,11	550,41	542,37	600,11	2	3
BEG	110	436,48	472,62	513,34	601,13	2	2

Şekil 5. %0.5 grafen katkılı materyallerin ekzotermik ya da endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri, camsı geçiş, kristallenme, erime, oksitlenme ve bozunma noktaları



	CAMSI GEÇİŞ (0C)	KRİSTALLENME (0C)	ERİME (0C)	OKSİTLENME (0C)	BOZUNMA (0C)	EKZOTERMİK REAKSİYON	ENDOTERMİK REAKSİYON
XTB	100	440,96	628,15	0	675	2	3
TEC	209,15	470,632	502,36	576,1	647	2	3
GCE	148,7	461,95	607,89	0	652,17	1	2
BEG	122	436,51	477,79	0	610,12	1	3

Şekil 6. % 2 grafen katkılı materyallerin Ekzotermik ya da endotermik reaksiyonlar sonucu meydana gelen sıcaklık değişimleri, camsı geçiş, kristallenme, erime, oksitlenme ve bozunma noktaları

Tartışma

Termal analiz, malzemenin bazı fiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak sürekli bir biçimde ölçüldüğü karekterizasyon yöntemleridir. Isının etkisi geniş bir aralıkta gözlenebilir ve malzeme özelliklerinde değişimlere neden olur. Isıtma işlemi sırasında örnek ağırlığında meydana gelen değişimlerin sıcaklığa bağlı olarak ölçülmesi termogravimetri'nin (TG) esasını oluşturur. Türevsel termal gravimetri (DTG) yönteminde (derivative thermogravimetry) ağırlık değişimlerinin zamanla değişimi sıcaklığa bağlı olarak kaydedilir ve böylece ağırlık değişim hızı belirlenir.

Termal siklus, ağızda meydana gelebilecek ısı değişimlerini in vitro olarak taklit edecek ortamı sağlayarak, 0-68°C arasında meydana gelen ısı değişimlerinin diş sert dokusu ile restorasyon arasındaki genleşme katsayıları arasındaki farklılıkları değerlendirilmemize olanak sağlar (8, 9). dental dokular ve restoratif materyaller arasındaki termal genleşme katsayısı farklılığından ve diş-restorasyon arasını dolduran materyalin termal genleşmesinden dolayı mikrosızıntı oluşmaktadır (6). Kompozit restorasyonlar termal siklus uygulamasının kompozit restorasyonlarda boya penetrasyonuna daha derinde oluşmasına neden olduğu gösterilmiştir (10). Ayrıca siklus sayısı arttıkça sızıntıda artmaktadır (11, 12).

Enerji değişimlerinin ölçülmesi; DTA ve diferansiyel taramalı kalorimetresinin (DSC) temel prensibidir. Ergime, kristalleşme, ayrışma, katıhal reaksiyonları, polimorfik dönüşümler, oksidasyon, redüksiyon, hidratasyon, dehidratasyon gibi reaksiyonların karekterizasyonun değerlendirilmesinde DTA ve DSC kullanılır. Bu tür reaksiyonlar ekzotermik veya endotermik karakterde olabilir. DTA da, örnek ile inert bir referansın sıcaklıkları arasındaki fark sıcaklık değerleri değerlendirilerek kaydedilir. Koordinatta, sıcaklık (veya süre) apsiste gösterilir. DSC tekniği DTA ya çok benzer, enerji değişimlerinin hassas kantitatif ölçümlerinde kullanılır. DTA tekniğinden farkı, örnek ile referansı aynı sıcaklık seviyesine getirmek için gerekli enerjiyi ölçer (29).

Doldurucu içerikleri biyouyumluluğu kanıtlanmış olan grafen eklenerek güçlendirilmiş yeni jenerasyon restoratif materyallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiş ve böylece en uygun kompozit hakkında bilimsel incelemeler yapılmıştır. Kompozitlerin fiziko-mekanik özelliklerini artırmak için yapılan ısıl işlemler, son dönüşüm derecesine (DC) yardımcı olur, kompozitlerin homojenleşmesine yardımcı olur ve monomerlerin hareketliliğini arttırarak polimerizasyon büzülme stresini azaltır (13).

Bu kompozitlerinin yeni yapısı, piyasada bulunma sürelerinin kısa olması ve uzun süreli klinik çalışmaların azlığı göz önüne alındığında ve içerisine katılan biyouyumlu grafen materyalinin kompozitin fiziksel ve kimyasal özelliğine sağladığı ek katkının araştırılması amacıyla, bu çalışmada TGA kullanılarak, ekstrapolasyon başlangıç sıcaklığı, kütle kaybı ve yük partiküllerinin ağırlık yüzdesi dikkate alınarak bozulma

ve termal stabilitesi; DTK kullanarak cam geçişini, erime ve bozunma sıcaklıkları ve entalpi'si; ve lineer termal genleşme katsayısını (dilatometri) değerlendirilmiştir. Kök kanal tedavisi gören dişlerde bu malzemeler restorasyonların yapılması için geniş ölçüde kullanıldığından, grafen ile birlikte daha fazla monomer dönüşümü elde ederek mateyalin güçlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan polimerizasyon öncesi ısıtma yöntemi çalışmamızda kullanılmıştır (13).

Polimerize edilmiş malzemeye verilen ısı, çapraz bağlanmış bağların yoğunluğuna ve depolama sıcaklığına bağlı olarak günlerce hatta aylarca malzemede kalan serbest radikallerin varlığından dolayı polimerizasyon derecesini arttırır (14). Diğer taraftan, polimerizasyondan önceki ısı uygulaması, akışkanlığı arttırmakta ve kavite duvarlarına daha iyi adaptasyonunu sağlamaktadır (15). Bununla birlikte, yüksek ısı seviyelerine maruz kaldıklarında nasıl davrandıklarını bilmek gereklidir. Bu nedenle, sıcaklığın bu bileşiklerin kararlılığı ve doğrusal CTE'si üzerindeki etkisi TGA, DSC ve dilatometri kullanılarak değerlendirildi.

TGA ile gözlenen veriler, polimerize edilmiş malzemedeki başlangıç sıcaklığının, termal kararlılıktaki farklılıkları ve polimer ağının oluşumu sırasında oluşturulan çapraz bağlama yoğunluğunun derecesinin 344.6 (TEF) ila 475.7 arasında oluştuğunu göstermektedir. Teshima ve diğerlerine göre ana kütle kaybı, 370 ila 440 °C sıcaklık aralığında meydana gelmiştir; bu çalışmanın sonuçları sonuçlarımızla uyumludur (16). Çalışmada gözlemlenen en yüksek kayıplar daha yüksek sıcaklık aralığında meydana gelmiştir. Dental kompozitlerin termogravimetrik analizi, organik matrisin yapısı ve miktarı hakkında bilgi verir. Kompozitlerin kimyasal yapılarındaki farklılıklar, kompozitlerin bozunma davranışını önemli ölçüde etkiler. Kompozitlerin hem aromatik hem de alifatik dimetakrilat kompozit içermesi ve organik matris monomer aromatik içeriğin (Bis-GMA ve Bis-EMA) alifatik (TEGDMA ve UDMA)'dan daha yüksek olması sonuçları etkiler. Tüm kompozitler, 800 ° C'de organik matris içeriğinde daha yüksek bir ağırlık kaybı göstermiştir; bu, dolgu maddesinin yüzey hidroksil gruplarının yoğunlaşma reaksiyonlarından kaynaklanmalıdır (17). Kompozitlere, düşük molekül ağırlıklı seyrelticinin yapıya eklenmemesi ve yüksek oranda doldurucu içermeleri (18) veya dimerik asit türevi gibi yüksek molekül ağırlıklı monomerler kullanarak metakrilatların polimerizasyon büzülmesini azaltarak (19) büzülme oranları düşürülebilir (20). Yük partiküllerinin ağırlık yüzdesine karşılık gelen elde edilen kalıntıların değerleri için, üreticiler tarafından verilen bilgiler çoğu kompozitler için benzerdir. Materyallere farklı miktarlarda grafen katılmıştır. XTB, GCE ve BEG gruplarında grafen katılması bozulma derecesini artırırken yani üretici tarafından bildirilenlerden daha düşük yüzde değerleri sunarken.; TEC grubunda daha düşük sıcaklıklarda bozulma gözlenmiştir.

Bu muhtemelen silanın termal bozunmasından veya bazı inorganik bileşenlerin buharlaşmasından veya bazı üreticilerin silanizasyon işleminden önce inorganik dolgunun yüzdesini belirlememesi nedeniyle olabilir (21). TEC grubunda ilk yüzdeyle karşılaştırıldığında grafen katılması yük içeriğinde belirgin bir fark gözlenmiştir, bu muhtemelen reaksiyona girmemiş monomerlerin uçucu hale gelmesinden ya da diğer bozunma işlemlerinden kaynaklanmıştır. Tüm malzemeler, UDMA bazlı malzemelerin karakteristiği olan ısıtma sırasında polimer matrisinin ısıl işlem nedeniyle meydana gelen bir olay olan birden fazla termal ayrışma aşamasını göstermiştir (22).

Sonuç olarak; grafen gibi biyouyumlu materyalin farklı oranda kompozit materyallerine katkısı materyallerin kimyasal ve fiziksel yapısını güçlendirirken, bazı kompozit gruplarında tam tersi etkiye neden olmuştur. Bu konu hakkında literatüre daha çok araştırma ile katkıda bulunulması gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Arslan T, Üstün Y, Şahin S, Çınar F. Protaper universal retreatment sistemi kullanılarak yapılan tekrarlayan kanal tedavileri ve üç yıllık takipleri: İki olgu sunumu. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2018; 28: 81-87.
2. Kamalak A, Uzun I, Arslan H, Keleş A. Fracture resistance of endodontically retreated roots after retreatment using self-adjusting file, passive ultrasonic irrigation, photon-induced photoacoustic streaming, or laser. Photomed and Laser Surgery 2016; 34: 467-472.
3. Cramer NB, Stansbury JW, Bowman CN. Recent advances and developments in composite dental restorative materials. Journal of Dental Research 2011; 90: 402-416.
4. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: The monomer systems. European Journal of Oral Sciences 1997; 105: 97-116.
5. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. Biomaterials 2007; 28: 3757-3785.
6. Pazinatto FB, Campos BB, Costa LC, et al. Effect of the number of thermocycles on microleakage of resin composite restorations. Pesquisa Odontologica 2003; 17: 337-341.
7. Park JB, Kim YK, Metallic Biomaterials, The Biomedical Engineering Handbook. 2nd Edition, Balance: CRC Press LLC, 2000.
8. Dallı M, Ercan E, Bayram İ, et al. Termal siklusun mikrosızıntıya etkisinin sınıf V kavitelerde kompozit restorasyonlarda in vitro incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 2010: 20: 105-113.
9. Erdilek D, Dörter C, Koray F, et al. Effect of thermo-mechanical load cycling on microleakage in class II

ormocer restorations. European Journal of Dentistry 2009; 3: 200.

10. McInnes P, Dickinson GL, The effect of thermocycling in microleakage analysis. Dental Materials 1992; 8: 181-184.
11. Crim G, Swartz M, Phillips RW, Comparison of four thermocycling techniques. Journal of Prosthetic Dentistry 1985; 53: 50-53.
12. Jang K, Chung DH, Shin D, et al. Effect of eccentric load cycling on microleakage of Class V flowable and packable composite resin restorations. Operative Dentistry 2001; 26: 603-608.
13. Ferracane J, Condon JR, Post-cure heat treatments for composites: Properties and fractography. Dental Materials 1992; 8: 290-295.
14. Zhu S, Tian Y, Hamielec AE, et al. Radical concentrations in free radical copolymerization of MMA/EGDMA. Polymer 1990; 31: 154-159.
15. Blalock JS, Holmes RG, Rueggeberg FA. Effect of temperature on unpolymerized composite resin film thickness. The Journal of Prosthetic Dentistry 2006; 96: 424-432.
16. Teshima W, Nomura Y, Ikeda A, et al. Thermal degradation of photo-polymerized BisGMA/TEGDMA-based dental resins. Polymer Degradation and Stability 2004; 84: 167-172.
17. Sideridou ID, Karabela MM, Vouvoudi EC. Physical properties of current dental nanohybrid and nanofill light-cured resin composites. Dental Materials 2011; 27: 598-607.
18. Boaro LC, Gonçalves F, Guimarães TC, et al. Sorption, solubility, shrinkage and mechanical properties of “low-shrinkage” commercial resin composites. Dental materials 2013: 29: 398-404.
19. Cramer N, Stansbury J, Bowman CN. Recent advances and developments in composite dental restorative materials. Journal of Dental Research 2011: 90: 402-416.
20. Aydınoğlu A, Yoruç ABH. Effects of silane-modified fillers on properties of dental composite resin. Materials Science and Engineering 2017; 79: 382-389.
21. Sabbagh J, Ryelandt L, Bacherius L. Characterization of the inorganic fraction of resin composites. Journal of oral Rehabilitation 2004; 31: 1090-1101.
22. Achilias DS, Karabela MM, Sideridou ID. Thermal degradation of light-cured dimethacrylate resins: Part I. Isoconversional kinetic analysis. Thermochimica Acta 2008; 472: 74-83.