

AKÜ FEMÜBİD 19 (2019) 015901 (256-263)

AKU J. Sci. Eng. 19 (2019) 015901 (256-263)

Doi: 10.35414/akufemubid.459904

Araştırma Makalesi / Research Article

Farklı Ortam Sıcaklıklarının Kompozit Restoratif Malzemelerin Mekanik Ve Tribolojik Davranışları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Efe Çetin YILMAZ

Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kilis.

e-posta: efecetinyilmaz@msn.com<https://orcid.org/0000-0002-6212-7483>

Geliş Tarihi: 14.09.2018 ; Kabul Tarihi: 13.02.2019

Öz

Bu çalışmanın amacı, farklı ortam sıcaklıklarının üç farklı kompozit restoratif malzemesinin mekanik ve tribolojik davranışları üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bu çalışmada, kompozit malzemelerin sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve direkt-temas aşınma davranışları üç farklı ortam sıcaklığındaki çiğneme test deneylerinde (5 °C, 37 °C ve 55 °C) incelenmiştir. Çiğneme test deneyleri saf su içerisinde üç farklı ortam sıcaklığında 50 N üst çene ısırma kuvveti, 0.7 mm alt çene yanal hareketi, 240.000 mekanik yükleme, 1.6 Hz çiğneme periyodu ve 6 mm çapında Al₂O₃ karşı malzeme olarak uygulanmıştır. Kompozit malzemelerin her çiğneme test grubu sonrasında sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve ortalama aşınma hacim kaybı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, her test grubundan rastgele numuneler seçilerek 3D profilometre ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleri alınarak aşınma yüzeyi analizleri yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda, çiğneme ortam sıcaklığının artması ile test edilen tüm kompozit malzemelerin sertlik değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir. Kompozit malzemenin monomer yapısında içerdiği organik matris yapısı çiğneme ortam sıcaklığının artması ile kompozit malzemenin daha belirgin yüzey pürüzlülüğüne sahip olmasına katkı sağlamıştır.

Anahtar kelimeler

Kompozit malzeme;
Aşınma; Çiğneme
Simülasyonu; Hacim
kayı

Investigation Effect of Different Ambient Temperature on Mechanical and Tribological Behaviour of Composite Restorative Materials

Abstract

The purpose in this study, investigation effect of different ambient temperature on mechanical and tribological behaviour of three different composite restorative materials. In this study, hardness, surface roughness and direct-contact wear behaviors of composite materials were investigated in chewing test experiments (5 °C, 37 °C and 55 °C) at three different ambient temperatures. Chewing test experiments were performed in distill water at three different ambient temperatures as 50 N bite force bite force of upper jaw, 0.7 mm lateral movement of lower jaw, 240,000 mechanical loading, 1.6 Hz chewing period and 6 mm diameter Al₂O₃ antagonist material. The hardness, surface roughness and mean wear volume loss values of composite materials were determined after each chewing test group. In addition to, a random specimen was selected from each test group with 3D profilometer and Scanning Electron Microscope (SEM) images were taken for analysis of wear tracks. As a result of this study, it has been observed that the decrease hardness values of all composite materials of tested with increasing chewing ambient temperature. The organic matrix structure of the monomer of the composite material contributes to the increased surface temperature of the chewing material and the more significant surface roughness of the composite material.

Keywords

Composite material;
Wear; Chewing
Simulation; Volume
Loss

1. Giriş

Son yıllarda, kompozit restoratif malzemelerin üstün mekanik ve estetik özelliklere sahip olmasından dolayı klinik çalışmalarda giderek artan bir kullanımı görülmektedir (Osiewicz et al. 2015). Ağız içi tribolojik süreçte kompozit malzemenin sahip olduğu mekanik ve estetik özellikleri genel olarak ağız içi ortam sıcaklığı, çiğneme sırasında oluşan yük dağılımlarına bağlıdır. Literatürde, insan çiğneme sırasında ağız içi tribolojik süreçte 1 °C ile 50 °C sıcaklık değişiminin olduğu rapor edilmiştir (Ramalho, de Carvalho, and Antunes 2013; Musanje and Darvell 2004). Canlı doku (in vivo) çalışmalarda, sıcak bir yiyeceğin ağız ortamında alınmasında alt çene ön ısırma dişlerinde ortalama 46.4 °C ve üst çene ısırma dişlerinde 41.6 °C olduğu rapor edilmiştir (Feuerstein et al. 2008). İnsan ağız içi tribolojik süreci laboratuvar ortamında testlerinin gerçekleştirilmesinde bu sıcaklık aralıklarının referans alınması önemlidir.

Ağız içi tribolojik sürecin sürekli ve karmaşık yapısı kompozit malzemelerin sahip olduğu mekanik ve estetik özellikleri etkilemektedir. Literatürde, klinik çalışmalarda tedavi sürecinde kompozit malzemelerin yaklaşık olarak % 12 ile % 19 arasında kırılma hasarına uğradıkları rapor edilmiştir (Brunthaler et al. 2003). Ağız içi tribolojik süreçte meydana gelen bu hasarın yaklaşık % 6.1 kompozit malzemenin zayıf aşınma direncinden kaynaklandığı rapor edilmiştir (van Dijken 2000). Ağız içi tribolojik süreçte genel olarak dört aşınma mekanizmasının meydana geldiği varsayılabilir. Bu aşınma mekanizmalarını direkt temas aşınması (two-body wear), aşındırıcı ortam aşınması (three-body wear), korozyonlu aşınma (corrosive wear) ve yorulmalı aşınma (fatigue wear) olarak isimlendirmek mümkündür. Ağız içi tribolojik süreçte çiğneme sırasında genel olarak, kompozit malzemenin direkt diş ile temasıyla gerçekleşen direkt temas aşınma mekanizması ve diş ile kompozit malzeme arasına

üçüncü aşındırıcı bir ortamın dahil olması (genelde yiyecek parçacıkları) aşındırıcı ortam aşınma mekanizmaları meydana gelmektedir. İnsan çiğneme hareketi sırasında bu aşınma mekanizmaları tek başına veya bütünleşik olarak meydana gelebilmektedir (Mair et al. 1996).

Literatürde birçok çiğneme simülatör cihazının direkt-temas aşınma ve aşındırıcı ortam aşınma mekanizmalarını oluşturarak ağız içi tribolojisini simüle ettiği rapor edilmiştir (Wimmer et al. 2016; Lazaridou et al. 2015; Hahnel et al. 2011). Çiğneme simülatörlerinde uygulanan parametreler kompozit malzemenin aşınma davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu yüzden, laboratuvar ortam deneylerinin geçerliliği için çiğneme simülatör cihazlarının uyguladığı parametreler ağız içi tribolojide oluşan parametrelere benzer olmak zorundadır. Literatürde, ağız içi tribolojide ısırma kuvvetinin 20 N ile 120 N arasında değişiklik gösterdiği rapor edilmiştir (Heintze 2006). Bu çalışma kapsamında seçilen 50 N ısırma kuvveti (dikey yükleme) miktarı çiğneme sırasında ortalama bir gerilme olarak düşünülmüştür. Literatürde birçok çalışmada da ortalama ısırma kuvveti yaklaşık 50 N olarak seçilmiştir (Lazaridou et al. 2015; Koottathape et al. 2012; Wimmer et al. 2016). Literatürde, laboratuvar çalışmalarında ağız içi tribolojide çiğneme sayısının 50.000 ile 1.200.000 arasında değişkenlik gösterdiği rapor edilmiş ve bir insanın günlük ortalama 300 ile 700 çiğneme hareketi yaptığı bildirilmiştir (Lazaridou et al. 2015). Bu çalışmada seçilen 240.000 çiğneme döngü sayısı tedavi sürecinde yaklaşık olarak 1 ile 2 yıl klinik çalışmalara denk gelmektedir.

Kompozit malzemeler tedavi sürecinde ağız içerisine yerleştirildiklerinde çiğneme hareketi sırasında sürekli olarak termal değişime maruz kalmaktadırlar (Ramalho, de Carvalho, and Antunes 2013). Ağız içi tribolojik süreçte gerçekleşen bu termal değişim döngüsü kompozit malzemelerin mekanik ve

tribolojik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Ramalho, de Carvalho, and Antunes 2013). Bu yüzden, bu çalışmanın amacı, ağız içi tribolojik sürecin laboratuvar ortamında modellenerek, farklı ortam sıcaklıklarının üç farklı kompozit restoratif malzemenin mekanik ve tribolojik davranışları üzerindeki etkisinin incelenmesidir.

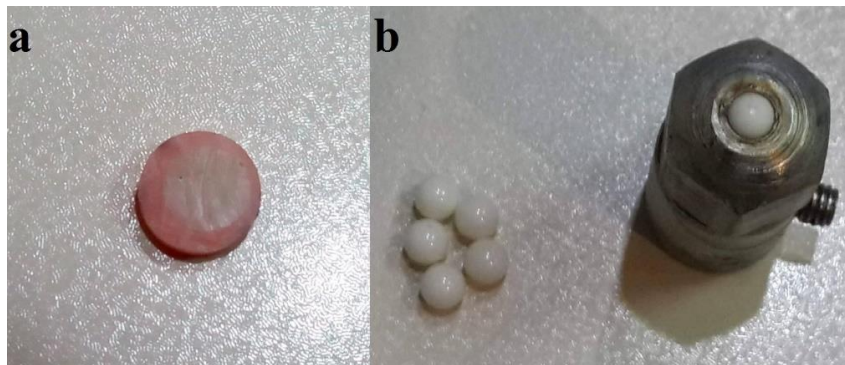
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada test edilen kompozit malzemelerin kimyasal içeriği tablo 1 de gösterilmiştir (bilgiler üretici firma tarafından sağlanmıştır). Kompozit malzemelerden her deney grubu için (6 mm yarıçap X 2 mm boy) silindirik biçimde numuneler

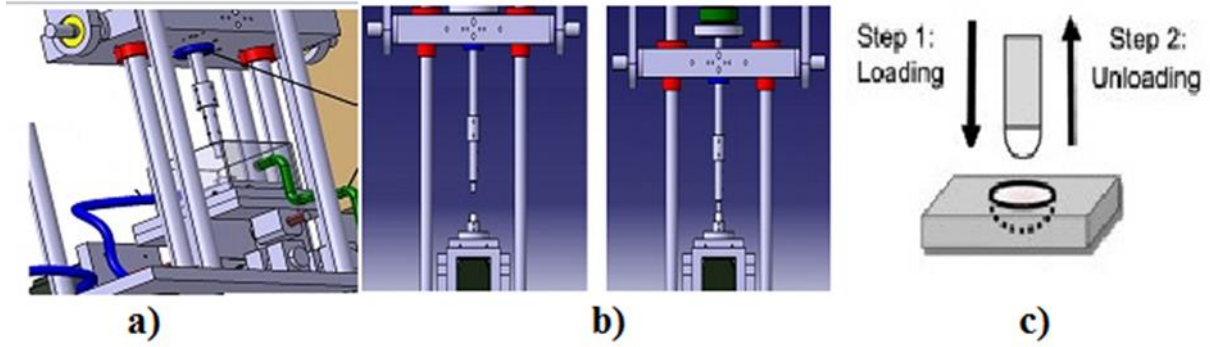
üretilmiştir. Çiğneme test deneylerinde karşı malzeme olarak 6 mm çapında Al_2O_3 bilye toplar kullanılmıştır. Şekil 1 de üretimi tamamlanmış ve akrilik rezin içerisine gömülmüş kompozit test numunesi ve karşı malzeme (antagonist) görülmektedir. Çiğneme test deneyleri eş zamanlı olarak 2 eksenli hareket kabiliyetine sahip termal yorulma ve çiğneme simülasyon cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 de çiğneme hareketinin sistematiği gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kompozit malzemelerin kimyasal içeriğinin gösterimi

Kompozit Malzeme / Kod	Monomer	Doldurucu Yapısı - Doldurucu Ağırlığı % / Hacmi %
Voco Grandio /Grandio		
Voco/ Nanohybrid	Bis-GMA TEGDMA Bis-EMA	ZrO ₂ , SiO ₂ , SiO ₂ , Ba-Al-B-SiGlass / 0,1-2,5µm - 87 / 72
Filtek Supreme XT/ FIL		
3M ESPE, St. Paul, MN, USA Nanofilled	Bis-GMA, UDMA, BisEMA, TEGDMA	Nanosilica Zirconia/silica Nanoclusters 5-20nm - 78 / 60
Filtek Z250 /Z250		
3M ESPE, St. Paul, MN, USA/Micro-hybrid	Bis-GMA, Bis-EMA,UDMA	SiO ₂ , ZrO ₂ (0.01–3.5 mm,average 0.6 mm) - 60 / 78



Şekil 1. Test numunesi ve karşı malzeme örneğinin gösterimi (a: test numunesi b: karşı malzeme)



Şekil 2. Eş zamanlı 2 eksenli hareket kabiliyetine sahip çiğneme simülasyon sisteminin gösterimi

Çiğneme simülasyon cihazı tüm testler boyunca saf su çözeltisi içerisinde 5 °C, 37 °C ve 55 °C ortam sıcaklıklarında 50 N üst çene ısırma kuvveti, 0.7 mm alt çene yanal hareketi, 240.000 mekanik yükleme, 1.6 Hz çiğneme periyodu yapacak şekilde programlanmıştır. Çiğneme test deneyleri sonrasında üç boyutlu dokunmadan taramalı (3D-non-contact) profilometre kullanılarak yüzey pürüzlülük ve aşınma hacim kayıpları belirlenmiştir. Ayrıca test deneyleri sonrasında kompozit malzemelerin sertlik değerleri Vicker's sertlik yöntemi ile belirlenmiştir. Ortam sıcaklığı 55 °C seçilen test grubunda test edilen kompozit malzemelerin mikro yapısını incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak aşınma yüzey görüntüleri elde edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada test edilen kompozit malzemelerin 5 °C, 37 °C ve 55 °C ortam sıcaklıklarında gerçekleşen çiğneme test deneyleri sonrasında edilen sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve ortalama aşınma hacim kaybı tablo 2 de gösterilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde, test edilen tüm kompozit malzemelerin sertlik değerleri sıcaklık artışı ile bir azalış eğilimi göstermiştir. Bu durum çiğneme testi sırasında ortam sıcaklığı ile su emilim difüzyonunun artmasının kompozit malzeme monomer yapısında bozulmayı hızlandırıcı bir etki oluşturduğu olarak yorumlanmıştır. Literatürde de ortam sıcaklığının artması ile kompozit malzemenin sahip olduğu sertlik değerlerinde azalmalar olduğu rapor edilmiştir (Ramalho, de Carvalho, and Antunes 2013). Çiğneme testi sonrasında ortam

sıcaklıklarında bu çalışmada test edilen tüm kompozit malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermiştir. Ancak kompozit malzemenin monomer yapısında organik matris yapısı (TEGDMA, TEGMA gibi) içermesi tüm ortam sıcaklıklarında kompozit malzemenin daha yüksek yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olmasına katkı sağlamıştır. Bu durum monomer yapısında bulunan bu yapının hidrolitik bozunma mekanizmasını artırıcı bir etki oluşturması ile açıklanabilir. Literatürdeki çalışmalarda, kompozit malzemenin monomer yapısında organik matris yapısı içermesinin daha yüksek yüzey pürüzlülük değerleri oluşmasında önemli bir etken olduğu rapor edilmiştir (Hahnel et al. 2010; Yılmaz and Sadeler 2017).

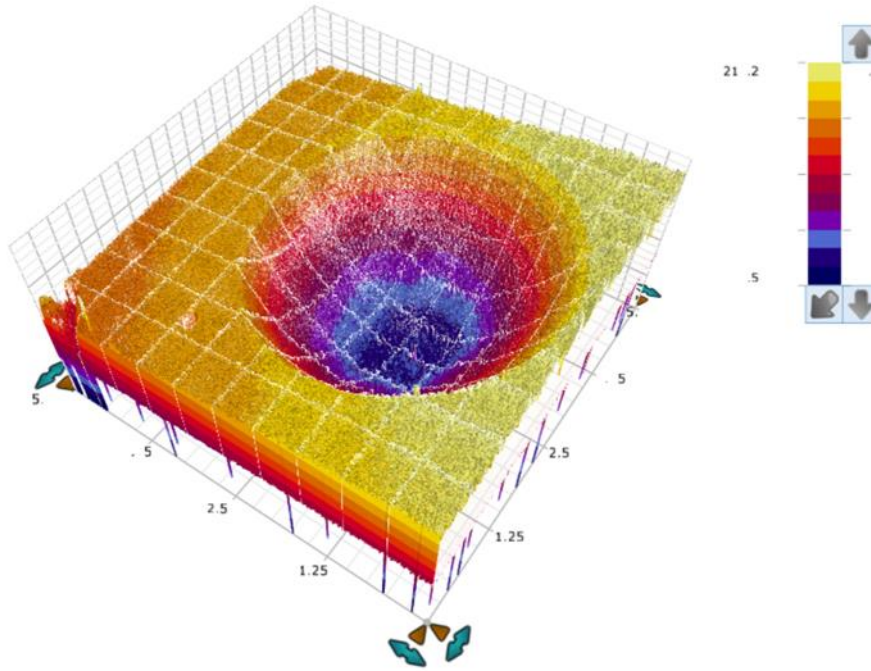
Şekil 3 çiğneme test deney sonrası kompozit malzeme yüzeyinde oluşan aşınma bölgesi 3 boyutlu örneğini göstermektedir. Şekil 3 incelendiğinde, kompozit malzemede çiğneme testi sırasında ısırma kuvvetinin meydana geldiği bölgede en fazla aşınma derinliğinin olduğu görülecektir. Ayrıca aşındırıcı karşı malzemenin silindirik geometride seçilmesi kompozit malzemenin homojen bir aşınma bölgesine sahip olmasına katkı sağladığını söylemek mümkündür. Laboratuvar ortamında uygulanan çiğneme test deneylerinde karşı aşındırıcı malzemenin geometrisi, boyutu ve mekanik özellikleri kompozit malzemenin aşınma davranışı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle bu çalışmada her çiğneme test deneyi için 6 mm çapında dairesel Al₂O₃ bilyelerin kullanımı tercih edilmiştir. Literatürde de, 6 mm çapındaki dairesel bilye topların canlı doku üzerinde çiğneme hareketi sırasında aşındırıcı karşı malzemeyi simüle ettiği

rapor edilmiştir (Ghazal and Kern 2009; Lazaridou et al. 2015). Şekil 4 de bu çalışmada test edilen kompozit malzemelerin 50 °C ortam sıcaklığında gerçekleşen çigneme test sonrasındaki aşınma çizgilerinin oluştuğu bölgeleri göstermektedir. Şekil 5 de bu çalışmada test edilen kompozit malzemelerin 55 °C ortam sıcaklığında gerçekleşen çigneme test deneylerinde oluşan mikro yapılarını göstermektedir. Kompozit malzemelerin mikro yapı görüntüsü incelendiğinde genel olarak, çigneme

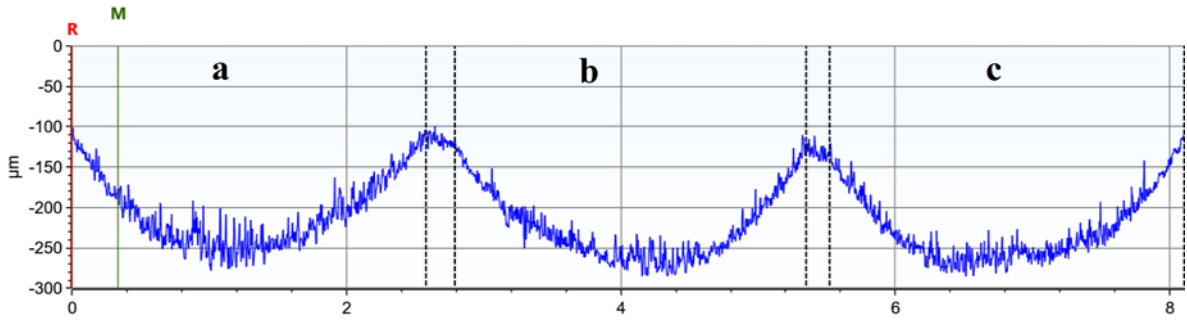
hareketi sırasında alt çene hareketi ile malzeme aşınma yüzeyinden parçacıkların taşındığı görülecektir.

Çizelge 2. Kompozit malzemelerin çigneme testleri sonrasında mekanik ve tribolojik özelliklerinin gösterimi (A: Sertlik, B: Yüzey Pürüzlülüğü C:Ortalama aşınma hacim kaybı)

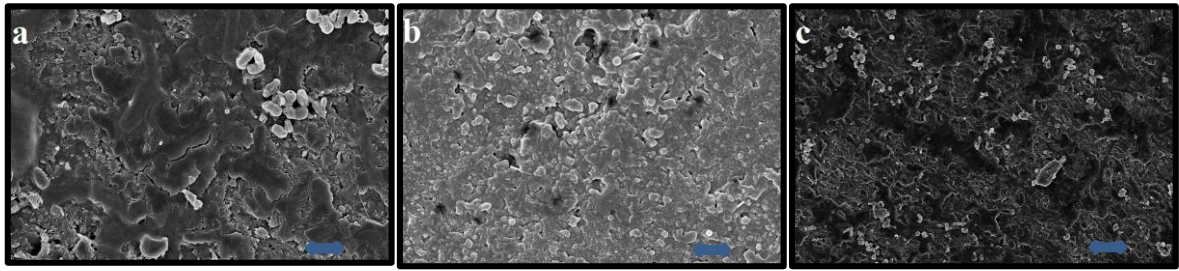
	5 °C ortam sıcaklığı			37 °C ortam sıcaklığı			55 °C ortam sıcaklığı		
	HV (A)	µm (B)	mm ³ (C)	HV (A)	µm (B)	mm ³ (C)	HV (A)	µm (B)	mm ³ (C)
Grandio	108.3	0.16	2.86	92.1	0.19	3.89	81.6	0.26	3.09
Z250	91.5	0.09	2.69	74.7	0.11	2.64	69.8	0.15	2.78
Supreme	54.8	0.12	3.17	47.1	0.16	3.15	41.2	0.22	3.52



Şekil 3. Çigneme test deneyi sonrası kompozit malzeme yüzeyinde oluşan aşınma bölgesinin 3 boyutlu gösterimi



Şekil 4. Kompozit malzemelerin 55 °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilen çigneme test deneylerinde oluşan aşınma bölgelerinin 2 boyutlu gösterimi (a: Grandio, b: Z250 c:Supreme)



Şekil 5. Kompozit malzemelerin 50 °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilen çigneme test deneylerinde oluşan mikro yapılarının gösterimi (5 kV 2 µm a: Z250, b: Grandio c:Supreme)

Malzeme mühendisliği açısından kompozit restoratif malzemesinde bulunan parçacık boyutundaki gelişmeler, iki farklı parçacık içeren bir kimyasal bileşim üretmiştir. Bu kompozit malzemeler, mikro veya nano-parçacık büyüklüğüne ve içeriğine bağlı olarak mikro veya nano hibrit reçine kompozitleri olarak adlandırılır (Souza et al. 2016). Kompozit restoratif malzemeleri ticari olarak, mikro ve nano yapı türevlerini ayırt etmek çoğu zaman zordur çünkü bu kompozit malzemeler hem mikro yapıdadırlar hem de mekanik davranış olarak birbirlerine çok benzer yapıdadırlar (Souza et al. 2016).

Literatürde, ağız içi tribolojide kompozit restoratif malzemelerde aşınma mekanizmasının 2 aşamada meydana geldiği rapor edilmiştir (Obrien and Yee 1980; Yılmaz and Sadeler 2018). İlk olarak, kompozit malzemedeki organik matris yapısının aşınması ile inorganik parçacıklar monomer yapısından uzaklaşır ve aşınma yüzeyinde pürüzlü bir yapı meydana gelir

(Jorgensen 1980). Daha sonra ayrılan bu inorganik parçacıklar kompozit malzeme yüzeyinde aşındırıcı bir etki oluştururlar. Bu parçacıklar üçüncü bir ortam gibi hareket ederek kompozit malzemenin aşınma davranışını etkileyebilirler. Bu yüzden, bu çalışmada bu üçüncü ortam parçacıklarının etkisini ortadan kaldırmak için ortam sıcaklığındaki su kompozit malzeme yüzeyine 1 saniye aralıklarla püskürtülmüştür. Böylelikle çalışmada bahsedilen direkt-temas aşınması (two-body wear) mekanizması ağız içi tribolojiye uygun olarak simüle edilmiştir.

Bu deneysel çalışma sonrasında test edilen tüm kompozit farklı ortam sıcaklıklarında farklı direkt temas aşınma davranışı göstermişlerdir. Bu durum kompozit malzemelerin içerdiği doldurucu yapısı ve monomer yapısı ile ilgilidir. Şekil 4 incelendiğinde 55 °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilen çigneme test deneylerinde Grandio kompozit malzemenin daha pürüzlü bir aşınma bölgesi gösterdiği görülecektir

(Şekil 4 a). Bu durumun oluşmasında çiğneme hareketi sırasında ısırma kuvvetinin olduğu (dikey yükleme) sırasında Grandio kompozit malzemesinin içerdiği Ba-Al-B-Si cam parçacıklarının monomer yapısından daha kolay ayrılarak kompozit malzemenin daha pürüzlü bir aşınma bölgesine sahip olmasına katkı sağladığını söylemek mümkündür. Literatürde aşınma test deneylerinde, monomer yapısında cam parçacıkları içeren nano-hibrit doldurucu GrandioSO Flow kompozit malzemesinin nano-doldurucu Supreme kompozit malzemesine göre belirgin bir şekilde daha fazla yüzey pürüzlülüğü davranışı gösterdiği rapor edilmiştir (Lazaridou et al. 2015).

4. Değerlendirme

Bu deneysel çalışma sınırları kapsamında elde edilen veriler ile aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

- Çiğneme test deneylerinde ortam sıcaklığının artması ile bu çalışmada test edilen tüm kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik davranışları etkilenmiştir.
- Kompozit malzemenin monomer yapısında içerdiği organik matris yapısı (TEGDMA, TEGMA gibi) kompozit malzemenin tüm çiğneme test deneyleri sonrasında daha yüksek yüzey pürüzlülük değerine sahip olmasına neden olmuştur. Kompozit malzemedeki yüzey pürüzlülüğünün artması malzemenin aşınma davranışı olumsuz yönde etkileyerek çiğneme test deneyleri sonrasında daha fazla hacim kaybına uğramasına neden olmuştur.
- Grandio kompozit malzemesinin içerdiği Ba-Al-B-Si cam parçacıkları kompozit malzemenin tüm ortam sıcaklıklarında daha yüksek sertlik değerinde olmasına katkı sağlamıştır. Ancak bu camsı doldurucu yapının yüksek sıcaklıkta malzeme aşınma bölgesinden daha kolay ayrılarak kompozit malzemenin daha pürüzlü bir aşınma yüzeyine sahip olmasına katkı sağlamıştır.

- Bu çalışmada test edilen tüm kompozit malzemelerde en düşük hacim kaybı vücut sıcaklığında meydana gelmiştir. Elde edilen bu sonucun klinik çalışmalarda ağız içerisine yerleştirilen kompozit malzemelerin uzun periyotlarda vücut sıcaklığında kalacağı düşünüldüğünde daha tatminkâr tedavi süreçlerinin oluşmasına katkı sağlayacağı söylenebilir.

5. Kaynaklar

- Brunthaler, A., Konig, F., Lucas, T., Sperr, W. and Schedle A., 2003. Longevity of direct resin composite restorations in posterior teeth. *Clinical Oral Investigation*, **7**, 63-70.
- Feuerstein, O., Zeichner, K., Imbari, C., Ormianer, Z., Samet, N. and Weiss, E.I., 2008. Temperature changes in dental implants following exposure to hot substances in an ex vivo model. *Clinical Oral Implants Research*, **19**, 629-633.
- Ghazal, M., and Kern, M., 2009. The Influence of Antagonistic Surface Roughness on the Wear of Human Enamel and Nanofilled Composite Resin Artificial Teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **101**, 342-349.
- Hahnel, S., Henrich, A., Burgers, R., Handel, G. and Rosentritt, M., 2010. Investigation of Mechanical Properties of Modern Dental Composites After Artificial Aging for One Year. *Operative Dentistry*, **35**, 412-419.
- Hahnel, S., Schultz, S., Trempler, C., Ach, B., Handel, G. and Rosentritt, M., 2011. Two-body wear of dental restorative materials. *Journal of Mechanical Behaviour Biomedical Materials*, **4**, 237-244.
- Heintze, S. D., 2006. How to qualify and validate wear simulation devices and methods. *Dental Materials*, **22**, 712-734.
- Jorgensen, K. D., 1980. Restorative Resins - Abrasion Vs Mechanical-Properties. *Scandinavian Journal of Dental Research*, **88**, 557-68.
- Koottathape, N., Takahashi, H., Iwasaki, N., Kanehira, M. and Finger, W.J., 2012. Two- and three-body wear of composite resins. *Dental Materials*, **28**, 1261-1270.
- Lazaridou, D., Belli, R., Petschelt, A. and Lohbauer, U., 2015. Are resin composites suitable replacements for amalgam? A study of two-body wear. *Clinical Oral Investigation*, **19**, 1485-1492.

- Mair, L. H., Stolarski, T.A., Vowles, R.W. and Lloyd, C.H., 1996. Wear: Mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. *Journal of Dentistry*, **24**, 141-148.
- Musanje, L., and Darvell, B.W., 2004. Effects of strain rate and temperature on the mechanical properties of resin composites. *Dental Materials*, **20**, 750-765.
- Obrien, W. J., and Yee, J., 1980. Microstructure of Posterior Restorations of Composite Resin after Clinical Wear. *Operative Dentistry*, **5**, 90-94.
- Osiewicz, M. A., Werner, A., Pytko-Polonczyk, J., Roeters, F.J.M., and Kleverlaan C.J., 2015. Contact- and contact-free wear between various resin composites. *Dental Materials*, **31**, 134-140.
- Ramalho, A., Carvalho, M.D.B. and Antunes, P.V., 2013. Effects of temperature on mechanical and tribological properties of dental restorative composite materials. *Tribology International*, **63**, 186-195.
- Souza, J. C. M., Bentes, A.C., Reis, K., Gavinha, S. Buciumeanu, M., Henriques, B. Silva, F.S. and Comes, J.R. 2016. Abrasive and sliding wear of resin composites for dental restorations. *Tribology International*, **102**, 154-160.
- Van Dijken, J. W., 2000. Direct resin composite inlays/onlays: an 11 year follow-up. *Journal of Dentistry*, **28**, 299-306.
- Wimmer, T., Huffmann, A.M.S., Eichberger, M., Schmidlin, P.R. and Stawarczyk, B., 2016. Two-body wear rate of PEEK, CAD/CAM resin composite and PMMA: Effect of specimen geometries, antagonist materials and test set-up configuration. *Dental Materials*, **32**, 127-136.
- Yılmaz, E. C., and Sadeler, R., 2018. Investigation of Two- and Three-Body Wear Resistance on Flowable Bulk-Fill and Resin-Based Composites. *Mechanics of Composite Materials*, **54**, 395-402.
- Yılmaz, E., and Sadeler R., 2017. Yapay Ağız Sıvısında Termal Çevrimin Kompozit Restoratif Malzemelerinin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi. *Technological Applied Sciences*, **12**, 38-42.