

T.C.
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

**ÜÇ FARKLI MOUTHGUARD MALZEMESİNİN ENERJİ
EMİLMELERİNİN VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Dr. Dt. Yurdanur UÇAR

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Tolga AKOVA

Tez No:.....

ADANA-2007

TEŞEKKÜR

Çalışmam sırasında desteğini ve önerilerini esirgemeyerek bir yol gösterici olan danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Tolga AKOVA'ya,

Çalışmamı titizlikle inceleyen ve doktora tez sınav jürimde bulunan Sayın Prof. Dr. Zeynep DUYSMUŐ YEŐİL'e, Sayın Doç. Dr. Serdar TOROĞLU'na, Sayın Doç. Dr. Oğuz YOLDAŐ'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Cem KURTOĞLU'na,

Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakóltesi ailesine katıldığım ilk günden itibaren bana güvenen ve beni destekleyen Sayın Prof. Dr. İlter UZEL'e,

Başarılı bir prostodontist olma yolunda bilgi ve becerimi sağlam prensipler üzerine kurmamda yol gösterici olmakla birlikte bildiklerini ve tecrübelerini sonuna kadar içtenlikle paylaőan Sayın Prof. Dr. Hakan UYSAL'a,

Doktoramı tamamlamam konusunda vermiő oldukları eősiz destek ve göstermiş oldukları anlayıőtan dolayı Sağlık Bilimleri Enstitü Müdürü Sayın Prof. Dr. Halil KASAP'a ve Sağlık Bilimleri Enstitü Yönetim Kurulu üyelerine,
Sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
3. GEREÇ VE YÖNTEM	6
3.1. Mouthguard Malzemeleri	6
3.2. Test Grupları ve Mouthguard Malzemelerinin Hazırlanması	6
3.3. Çarpma Testi	6
3.4. TMDSC Deneyinde Kullanılan Protokol	9
4. BULGULAR	12
4.1. Çarpma Testi	12
4.2. TMDSC Çalışmaları	20
5. TARTIŞMA	30
5.1. Çarpma Testi	30
5.2. TMDSC Çalışmaları	32
6. SONUÇLAR	35
7. KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Çarpma testlerinde kullanılan Dynatup Model 9250 HV, Instron Corp, Canton, MA	7
Şekil 3.2	37°C'deki test odacığı	7
Şekil 3.3	Güç çevirici içeren çentik açıcı aygıt	8
Şekil 3.4	Küçük (3.81 cm) çaplı alt destek halkasına karşılık geniş (7.62 cm) çaplı üst destek halkası	8
Şekil 3.5	Küçük çaplı alt ve üst destek halkası	9
Şekil 3.6	TMDSC deneylerinin gerçekleştirildiği DSC cihazı	10
Şekil 3.7	DSC cihazındaki alüminyum kaplardan birine test edilen ağız koruyucu malzemesi yerleştirilmiş diğeri kontrol olarak kullanılmıştır	10
Şekil 4.1.	Bir saat 37°C deiyonize suda bekletildikten sonra 37°C'de saatte 32.20 km hız kullanılarak çarpma testi uygulanmış geleneksel EVA örneklerin test sonuçları. Test sırasında geniş olan üst destek halkası kullanılmıştır. Örneklerin hiçbiri delinmemiştir	12
Şekil 4.2.	Bir saat 37°C deiyonize suda bekletildikten sonra 37°C'de saatte 32.20 km hız kullanılarak çarpma testi uygulanmış Pro-Form™ örneklerin test sonuçları. Test sırasında geniş üst destek halkası kullanılmıştır. Açık mavi ile gösterilen grafiğin ait olduğu tek bir örnek delinmiş, diğer dört örnekte delinme olmamıştır	13
Şekil 4.3.	Bir saat 37°C deiyonize suda bekletildikten sonra 37°C'de saatte 32.20 km hız kullanılarak çarpma testi uygulanmış PolyShok™ örneklerin test sonuçları. Test sırasında geniş üst destek halkası kullanılmıştır. Hiçbir örnek delinmemiştir	14
Şekil 4.4.	Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak EVA örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 17.0 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği	21
Şekil 4.5.	Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak PolyShok örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 16.9 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği	22
Şekil 4.6.	Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak ProForm örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 17.0 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği	23
Şekil 4.7.	Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş kuru EVA örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 15.4 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği	24

Şekil 4.8.	Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş kuru PolySkok örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 17.3 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği	25
Şekil 4.9.	Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş kuru ProForm örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 17.2 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği	26
Şekil 4.10.	Küçük üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak EVA örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 19.3 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği	27
Şekil 4.11.	Küçük üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak PolyShok örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 15.7 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği	28
Şekil 4.12.	Küçük üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak ProForm örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 18.3 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği	29

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1.	Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km çarpma hızı ile 37°C'lik deiyonize suda bekletilmiş üç farklı ağız koruyucu malzemesine ait kalınlıklarına göre normalize edilmiş örneklerin 30 milisaniyedeki toplam enerji sonuçları. Şekil 4.2'de açık mavi ile gösterilen örnek delindiği için NTT enerji değeri sıfır olan Pro-Form™ örneği ortalama ve standard sapma hesaplamalarına dahil edilmemiştir. Bu tablodaki diğer örneklerde delinme görülmemiştir	15
Çizelge 4.2.	Küçük üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km'lik çarpma hızı ile 37°C'lik deiyonize suda bekletilmiş üç farklı ağız koruyucu malzemesine ait kalınlıklarına göre normalize edilmiş örneklerin 30 milisaniyedeki toplam enerji sonuçları. Şekil 4.2'de açık mavi ile gösterilen delindiği için NTT enerji değeri sıfır olan Pro-Form™ örneği ortalama ve standard sapma hesaplamalarına dahil edilmemiştir. Bu tablodaki diğer örneklerde delinme görülmemiştir. ProForm™ grubu içindeki bir örnek test sırasında delindiği için ortalama ve standart sapma hesaplarına dahil edilmemiştir. Diğer örneklerin hiçbirinde delinme meydana gelmemiştir	17
Çizelge 4.3.	Deiyonize su içerisinde bekletilmeden kuru olarak 37°C'de saatte 32.20 km hız kullanılarak çarpma testine maruz kalmış örneklere ait toplam enerji sonuçları. Her grup için iki örnek kullanılmıştır. Toplam enerji emilimleri örneklerin kalınlığına göre normalize edilmiştir. Çarpma testi sırasında geniş üst destek halkası kullanılmıştır	18
Çizelge 4.4.	37°C'de kuru olarak saatte 32.20 km hız kullanılarak test edilen üç mouthguard malzemesine ait daha önceki pilot çalışmalarımızdan elde edilen toplam enerji sonuçları. Hesaplanan toplam enerjiler örneklerin kalınlığına göre normalize edilmiştir. Test sırasında küçük üst destek halkası kullanılmıştır. Test edilen tüm EVA ve Pro-form™ örnekleri delinirken PolyShok™ örneklerinin hiçbirinde delinme görülmemiştir	20

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	American Standarts for Testing Materials
cm	Santimetre
°C	Derece santigrat (Sıcaklık birimi)
DSC	Diferensiyel tarama kalorimetrisi (Differential Scanning Calorimetry)
EVA	Etilen vinil asetat
GLM	Generalize linear model
mg	Miligram
mm	Milimetre
ms	Milisaniye
n	Örnek sayısı
NTT	Örnek kalınlığına göre normalize edilmiş (Normalized to the measured thikness)
SD	Standart deviasyon
SEM	Elektron tarama mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
TMDSC	Sıcaklık ile ayarlanan diferensiyel tarama kalorimetrisi (Temperature Modulated Differential Scanning Calorimetry)

ÖZET

Üç Farklı Mouthguard Malzemesinin Enerji Emilimlerinin ve Termal Özelliklerinin Karşılaştırılması

Mouthguardlar baş-boyun bölgesini darbelere karşı korumak için kullanılırlar. Mouthguard malzemelerinin enerji emilimleri ve sıcaklığa bağlı olarak görülen yapısal değişiklikleri önemlidir.

Çalışmanın amaçları; ağız-koruyucu malzemelerinin enerji emilimlerini incelemek, sıcaklığa bağlı olarak görülen yapısal değişiklikleri araştırmak, sıvı ortamın ağız-koruyucu malzemelerinin enerji emilimleri ve yapısal özelliklerine etkisini araştırmaktır.

Ağız-koruyucu malzemelerinin çarpma testi performansları ASTM Standardı D3763'teki prosedür kullanılarak incelenmiştir. Farklı ağız-koruyucu malzemeleri (EVA, ProForm™, PolyShok™) çalışmaya dahil edilmiştir. Üretici firma önerisine göre hazırlanan örnekler 37°C'de deiyonize su içerisinde bekletildikten sonra saatte 32.20 km hız kullanılarak yüklenmiştir. Test sırasında geniş ve küçük çaplı üst destek halkaları kullanılmıştır. Ayrıca, her gruptan ikişer kuru örnek test edilmiştir. Enerji emilimi kuvvet-zaman eğrisinin altındaki alan hesaplanarak bulunmuş, data analizi ANOVA ve Tukey-Kramer HSD testleri kullanılarak yapılmıştır. Çarpma bölgesine yakın kısımlardan kesilen küçük parçalar TMDSC kullanılarak dakikada 1°C'lik ısı artışı ile -20°C ile 150°C arasında incelenmiştir.

Geniş çaplı üst destek halkası kullanıldığında enerji emilimleri (ortalama±SD, cm·kg/cm): EVA, 599.8±263.5; Pro-form™, 598.8±61.5; PolyShok™, 575.4±89.8. Küçük çaplı üst destek halkası kullanıldığında enerji emilimleri: EVA, 764.8±75.7; ProForm™, 593.3±141.5; PolyShok™, 677.1±154.6. Geleneksel EVA örneklerinin TMDSC eğrilerinde erime sırasında oluşmuş dört, PolyShok ve ProForm örneklerinde üç endotermik çöküntü izlenmiş, eğrilerin benzer olduğu görülmüştür. Her üç grupta en düşük ısıdaki endotermik çöküntü vücut ısısında gerçekleşmiştir.

Üç grup ve farklı boyuttaki iki destek halkası arasında enerji emilimi açısından farklılık bulunamamıştır. Kuru örneklerin enerji emilimlerinin ıslak örneklerin enerji emiliminden yüksek olduğu görülmüştür. PolyShok'un ısıl davranışındaki küçük farklılıklar yapısındaki poliüretanın etkisi ile EVA kristallerinin oluşmasının engellenmiş olmasına bağlanmıştır.

Ağız-koruyucu malzemelerinin enerji emilimleri ve termal özellikleri benzerlik göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Ağız-koruyucu malzemeleri, etilen vinil asetat, termal analiz, TMDSC.

ABSTRACT

Comparison of Energy Absorption and Thermal Characteristics of Three Different Mouthguard Materials

Mouthguards are used for protecting head-neck region against impact. Energy absorption and structural changes as a function of temperature are important.

The aims of this study were; evaluating energy absorption of mouthguard-materials, investigating the structural transformations as a function of temperature, evaluating the effect of aqueous environment on energy absorption and structural characteristics of mouthguard-materials.

The impact test performance of mouthguard-materials was evaluated using the procedure in ASTM Standard D3763. Different mouthguard-materials (EVA, ProForm™ and PolyShok™) were included in the study. Specimens prepared following the manufacturer recommendations were conditioned for 1 hr in 37°C deionized water and loaded at 32.20 km/h. Large-diameter and small-diameter support rings were used. Two dry specimens of each material were also tested. Energy absorption was determined from the area under the force-time curve and results were compared using ANOVA and Tukey-Kramer HSD test. Small samples taken from areas close to the impact zone were obtained to perform TMDSC test from -20° to 150°C at a heating rate of 1°C/minute.

For the large-diameter support ring, energy absorption (mean±SD, cm·kg/cm): EVA, 599.8±263.5; Pro-form™, 598.8±61.5; PolyShok™, 575.4±89.8. For the small-diameter support ring, energy absorption was: EVA, 764.8±75.7; ProForm™, 593.3±141.5; PolyShok™, 677.1±154.6. Four endothermic peaks were observed on TMDSC curves for conventional EVA while three peaks were observed for PolyShok and ProForm, TMDSC curves showed similarities for all three materials. The lowest-temperature endothermic transformation was near body temperature.

There was no significant difference in energy absorption for the three mouthguard-materials and the two support ring sizes. The energy absorption was greater for dry specimens. The small difference in thermal behavior for PolyShok is attributed to disruption of EVA crystal formation.

Key Words: mouthguard materials, ethylene vinyl acetate, thermal analysis, TMDSC.

1. GİRİŞ

Mouthguardlar sporcuların çene yüz bölgesindeki yaralanmaları minimuma indirebilmek amacıyla kullanılan apareylerdir. Dişler üzerine yerleştirilerek kullanılırlar. Darbe sırasında kuvvetin bir kısmı mouthguard malzemesi tarafından emilerek alttaki destek dokulara daha az kuvvet iletilmesini sağlar. Çalışmalar, spor sırasında mouthguard kullanıldığı takdirde dişler, yumuşak dokular ve kemiklerdeki yaralanmaların azaldığını göstermektedir¹⁻⁵. Mouthguardların koruma fonksiyonu iki şekilde gerçekleşir. Birincil fonksiyon çarpma enerjisinin emilmesidir, bu sayede dişlerin kırılması yada soketinden çıkması ihtimali azaltılır. İkincil fonksiyonu ise çarpma sırasında dudakları korumasıdır^{6,7}.

Mouthguardlar üç grupta toplanabilirler: (1) Fabrikasyon mouthguardlar; satın alınıp hiç bir modifikasyona uğramadan kullanılan sert veya yumuşak yapılardır. Mekanik özellikleri genel olarak kabul edilebilir olmasına rağmen^{8,9}, bu mouthguardların ağızda tutulması karşılıklı dişlerin sıkılmasıyla sağlanır. Bu yüzden nefes almayı ve konuşmayı engellerler. (2) Ağızda oluşturulan mouthguardlar ise, ağza uyumlarını arttırmak için, iç kısımları plastik bir malzeme ile beslenen ve ısı karşısında stabil olan ya da ısıtılıp ağız içerisinde adapte edilen, ısı ile şekil değiştirebilen yapılardır. İçi beslenen yapılar oldukça kalın ve besleme malzemesinin bozulmasına bağlı olarak kısa ömürlü olabilirler¹⁰. Isı ile şekil değiştirebilenler daha incedir ve daha iyi uyum gösterirler. (3) Kişiyeye özel olarak yapılan mouthguardlar ise ağızdan alınan ölçüden hazırlanan model üzerinde, vakum altında, ısı ile şekil değiştirebilen plakalardan hazırlanırlar. Sporcular tutuculuklarının daha iyi olması, dayanıklılıkları, tadının olmaması, konuşma kolaylığı sağlamaları ve rahatlık özelliklerinden dolayı bu mouthguardlarını genellikle daha çok tercih ederler^{8,9}.

Tüm mouthguardlar moleküler ağırlıklarının değiştirilmesi, doldurucu ve plastisize edici ajanların katılması, ve diğer monomerlerle kopolimerizasyon gibi stratejilerle fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi mümkün olan polimerlerden elde edilirler^{11,12}. Etilen vinil asetat (EVA) şahsi mouthguardların yapımında en sık kullanılan malzemedir⁹. Bunun yanında piyasada yapısı kısmen değiştirilerek geliştirilmiş yeni malzemeler de bulunmaktadır. Örneğin, Polyshok™ poliüretan içeren yeni geliştirilmiş EVA-tipi bir üründür.

2. GENEL BİLGİLER

Mouthguardlar çarpma sırasında çarpma enerjisinin bir kısmını emerek diş ve destek dokulara daha az kuvvet iletilmesini sağlar ve bu şekilde çene yüz kompleksini darbelere karşı korur ve yaralanmaları azaltırlar^{6,7}. Çeşitli sporlar sırasında yıkıcı darbelere sık maruz kalındığı için mouthguardların yastık gibi koruyucu etkisi özellikle sporcular için önemli olmaktadır. Enerji emme yeteneği fazla olan bir mouthguard malzemesi dokulara daha az kuvvet ileteceği için daha koruyucu olacaktır. Bir malzemenin enerji emme yeteneği malzemenin kalınlığı ile doğru orantılıdır¹². Ancak kalın olan bir malzemenin ağızda kullanımı rahat olmayacaktır¹².

Şahsi mouthguardların yapımında sıklıkla kullanılan etilen vinil asetat (EVA)⁹ renksiz uçucu bir gaz olan etilen (C_2H_4) ile renksiz, suda çözünebilir bir sıvı olan vinil asetat ($CH_3COOCH:CH_2$) oluşan bir ko-polimerdir. Yumuşaklığı ve esnekliği elastomerik malzemelere benzeyen termoplastik bir polimerdir. Şok emme yeteneğinden dolayı spor malzemelerinin yapımında kullanılır⁹.

Mouthguard malzemelerinin mekanik özelliklerini test etmek için birçok farklı laboratuvar test metodu kullanılmıştır^{2,5-8,13-34}. Çarpma kuvvetlerinin ağız ve yüz dokularına aktarılmasını ve mouthguard malzemelerinin enerji emme yeteneklerini sarkaç tipi çarpma aygıtı, kuvvet algılayıcıları ve germe ölçeği kullanarak ölçen pek çok çalışma vardır^{13,17,21-34}.

Çarpma testi; aniden uygulanan bir kuvvete bilinen bir malzemenin nasıl cevap vereceğini test eder¹³. Test edilen malzeme, üzerinde güç çevirici (transducer) bulunan belirli bir çaptaki çentik açıcı aygıt (indenter) ile belirlenen bir hızda yüklenir¹². Test sonunda elde edilen grafiğin yatay eksenini zamanı, dikey eksenini sol tarafta kuvveti, sağ tarafta enerji emilimini gösterir. Emilen enerji (birimi Joule) kuvvet-zaman eğrisinin altında kalan alan hesaplanarak bulunur¹³. Kuvvetin tepe değeri newton cinsinden bulunur. Kuvvetin tepe değerinin ilk oluştuğu noktadaki deformasyon, test edilen malzemeye yapılandırılmış olan germe ölçeği kullanılarak milimetre cinsinden hesaplanır.

Polimerlerin mekanik özellikleri zamana ve yükleme hızına bağlıdır¹¹, bu da yapılarının ve esneklik katsayılarının değiştiği farklı ısı basamaklarına karşılık gelir. Termal analiz teknikleri polimerlerin mekanik özelliklerini anlamayı sağlayan ve yapısal değişimleri hakkında bilgi edinebilmek için sıklıkla kullanılan tekniklerdir³⁵. Bu

değişimler camsı geçiş, kristalizasyon, ve erime basamaklarını içermektedir ve polimer seçiminde önemli faktörlerdir. Örneğin, rijit bir polimerin esnemeye başladığı ısı aralığının orta noktasına karşılık gelen camsı geçiş ısısının yüksek olması malzemenin daha az esneyebildiğinin göstergesidir¹². Farklı iki polimer, camsı geçiş ısılarının altında olacak şekilde, belirlenen bir sıcaklıkta yapılarındaki stres açısından karşılaştırıldığında, camsı geçiş ısısı göreceli olarak daha yüksek olan polimerin daha büyük bir stres altında olduğu bilinmektedir¹². Ancak, camsı geçiş ısısı daha düşük olan bir rezin göreceli olarak daha zayıftır. Benzer yapıda polimer zinciri olan iki polimer karşılaştırıldığında molekül ağırlığı yüksek olan polimerin camsı geçiş ısısı daha yüksek olacaktır¹². Polimerlerin kristalizasyonu polimer seçiminde önemli olan bir diğer kriterdir. Bir polimer camsı geçiş ısısının üzerinde ısıtıldığında belirli bir sıcaklığa ulaştığında düzenli bir atomik yapı oluşturmasına yetecek kadar enerji sağlamış olur ve kristal bir yapı oluşturur. Kristal yapıda olan bir polimer daha dayanıklıdır ancak aynı zamanda daha kırılğandır^{11,12}. Tamamen kristal yapıda olan bir polimer çok kırılğan olacağı için plastik olarak kullanılamayacaktır. Bununla birlikte, polimerin yapısındaki düzensiz kısımlar polimerin kırılmadan bükülebilme yeteneğini arttırmalar¹². Polimer seçiminde polimerin kristalizasyon derecesinin bilinmesi bu nedenle önemlidir. Polimerler için önemli olan bir diğer ısıl basamak ise erime ısısıdır ve kullanılacak olan malzemede bilinmesi gereken bir özelliktir. Isı kapasitesi ise, bir malzemenin belirli bir sıcaklığa getirilebilmesi için gerekli ısı miktarıdır¹¹.

Polimerlerdeki yapısal transformasyonları araştırmada sıklıkla kullanılan bir termal analiz tekniği olan diferensiyel tarama kalorimetrisi (DSC) test edilen nesne ile kararlı bir referans malzemesi arasındaki ısı farkının grafiğini verirken test boyunca belirli bir sıcaklık artış oranı korunur³⁵. DSC, bir polimer ısıtıldığında meydana gelecek ısıl değişiklikleri incelemek için kullanılır¹¹. Test için belirli bir geometrik şekli olmayan küçük örnekler de kullanılabilir. Cihazın iç kısmında farklı ısıtıcıların üzerinde bulunan alüminyumdan yapılmış iki kap bulunur. Bu kaplardan birinin içine test edilecek malzeme konur, diğeri ise referans olarak kullanılmak üzere boş bırakılır. Isı aralığı ve sıcaklık artış oranı bilgisayar aracılığı ile cihaza bildirilir. DSC'deki temel prensip oldukça basittir. Test süresince her iki kapta sabit bir sıcaklık artışı olmalıdır. Daha da önemlisi her iki kabın ısısı da eşit olmalıdır. İçerisinde test edilen malzemenin olduğu kabın sıcaklık artışını boş olan referans kap ile eşit tutabilmek için test edilen

malzemenin altındaki ısıtıcı daha fazla ısı harcayacaktır¹¹. İki ısıtıcı arasındaki bu ısı farkı polimer tarafından emilen ısıdır ve DSC ile bu ısı farkı ölçülmektedir¹². DSC'den elde ettiğimiz grafiğin yatay ekseninde (x-ekseni) sıcaklık, dikey ekseninde (y-ekseni) ise iki ısıtıcı arasındaki ısı farkı gösterilmektedir. Bu grafikten malzemenin termal özellikleri ile ilgili çok sayıda bilgi edinilmesi mümkündür.

Test örneği endotermik ya da ekzotermik bir değişime uğrarsa, örnekteki ısı akışı da DSC eğrisinde bir tepe ya da çöküntü ile sonuçlanacak şekilde değişecektir. Bir polimer kristalize olduğunda ısı verir, bu nedenle test edilen malzemenin altındaki ısıtıcının çok fazla çalışmasına gerek kalmaz ve iki ısıtıcı arasındaki ısı farkında azalma görülür. Bu sayede DSC grafiğinde kristalizasyon sırasında bir çöküntü izlenir¹¹. Bu çöküntünün en derin kısmına denk gelen sıcaklık polimerin kristalizasyon sıcaklığıdır. Tamamen düzensiz olan bir polimerde böyle bir çöküntünün izlenmesi mümkün değildir. Kristalizasyon sırasında ısı açığa çıktığı için, kristalizasyonun ekzotermik bir geçiş olduğu söylenebilir. Polimer kristalizasyon sıcaklığının daha da üzerinde ısıtılırsa polimerdeki kristalleri birbirinden uzaklaşmaya başlar ve polimerin eridiği gözlenir. Polimerdeki kristallerin eriyebilmesi için ısı almaları gerekir bu nedenle erime endotermik bir geçiştir. Bu sırada ısıtıcının hem kristalleri eritebilmesi hem de sabit oranda sıcaklık artışını sağlayabilmesi için daha fazla ısıya ihtiyacı olacaktır. Erime sırasındaki bu fazladan ısı artışı DSC eğrisinde bir tepe olarak izlenecektir¹¹.

Daha sonraları kullanılmaya başlanan sıcaklık ile ayarlanan DSC'de (temperature modulated differential scanning calorimetry, TMDSC)^{36,37}, küçük bir sinüzoidal ısıtma ve soğutma dalga formu geleneksel DSC'deki linear ısıtma ya da soğutma rampası üzerine süperpoze edilir. Bu sayede, geleneksel DSC'de ölçülmüş olan test örneği ile referans malzeme arasındaki toplam ısı akışı farkı geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz ısı akışı kısımlarına bölünmüş olur. DSC'den farklı olarak TMDSC sayesinde bir geçişin (transition'ın) geri dönüşümlü ya da geri dönüşümsüz olduğu belirlenebilir. Örneğin, camsı geçiş geri dönüşümlü olduğu için doğal olarak geri dönüşümlü ısı akışı eğrisinde gözlenir³⁸. Halbuki, geri dönüşümsüz bir olay olan polimerin kristalizasyonu geri dönüşümsüz ısı akışı eğrisinde izlenir. Polimerin erimesi ilk safhalarda geri dönüşümlü olup daha sonra geri dönüşümsüz olduğu için erime sırasında oluşan tepe hem geri dönüşümlü hem de geri dönüşümsüz ısı akışı eğrilerinde izlenebilir³⁹. Heriki TMDSC ısı akışı kısımlarının analizi dental elastomerik ölçü

malzemelerinin ve nikel-titanyum ortodontik tellerin^{40,41} yapısal transformasyonları hakkında daha önce geleneksel DSC ile elde edilmesi mümkün olmayan bilgilere ulaşılmasını sağlamıştır.

Mouthguardlar vücut ısısına yakın bir sıcaklıkta kullanılıyor olmalarına rağmen, mouthguard malzemeleri hakkında yayınlanmış olan laboratuvar testleri çoğunlukla oda ısısında gerçekleştirilmiştir^{8,16-19}. Mouthguard malzemelerinin oda ve vücut ısısındaki özelliklerinin farklılık gösterip göstermediğinin ve in vitro çarpma testi için en uygun sıcaklığın belirlenebilmesi için bu malzemelerin özelliklerini termal analiz ile incelemek önemlidir.

Bu çalışmanın amaçları (1) piyasada kullanılmakta olan üç farklı mouthguard malzemesinin enerji emilimlerini karşılaştırmak, (2) sıcaklık ile ayarlanan diferansiyel tarama kalorimetrisi (temperature modulated differential scanning calorimetry, TMDSC) kullanarak bu malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak görülen yapısal değişikliklerini, transformasyon aşamalarını, ve sıcaklık aralıklarını araştırmak, ve (3) sıvı ortamın mouthguard malzemelerinin enerji emilimleri ve yapısal özellikleri üzerine etkisini değerlendirmektir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Mouthguard Malzemeleri

Bu çalışma için piyasada bulunan üç farklı mouthguard malzemesi seçilmiştir: kontrol görevi gören geleneksel etilen vinil asetat (EVA) (T&S Dental and Plastics, Myerstown, PA); piyasada bulunan bir diğer EVA tipi termoplastik malzeme olan ProForm™ (Dental Resources Inc, Delano, MN); ve poliürethan içeriği sayesinde modifiye edilmiş yeni bir EVA malzemesi olan Polyshok™ (Sportsguard Laboratories, Kent, OH).

3.2. Test Grupları ve Mouthguard Malzemelerinin Hazırlanması

Firmadan gönderilen malzemeler, üretici firmaların önerisi doğrultusunda laboratuvarında hazırlık işlemlerinden geçirilmiştir. Bu amaçla 7.5 cm × 7.5 cm × 1 cm ebatlarında alçı blok hazırlanmıştır. Standart boyutlardaki plakalar (12 cm × 12 cm × 4 mm) vakum veren bir cihazın (Model UP 0250, Ultradent Products, South Jordan, UT) üst parçasına sabitlenmiştir. Cihazın alt tablasına ise alçı blok yerleştirilmiştir. Isı altında plakaların yumuşaması sağlanmış, ve ısı etkisi ile malzeme ızgaranın alt kenarından itibaren 2.5 cm sarkana kadar yumuşaması beklendikten sonra vakum ünitesi çalıştırılıp plaka şeklindeki mouthguard malzemesinin alçı blok üzerine bırakılması sonucu hazırlanmıştır. Malzeme alçı model ile temasa geçtiğinde ısıtıcı kısım kapatılıp vakumun 30 saniye daha çalışması beklenmiştir. Daha sonra alçı model üzerindeki mouthguard malzemesi tamamen soğuması için yeterince bekletilmiştir. Soğuduğundan emin olunan malzeme alçı modelden çıkarılıp 24 saat oda ısısında bekletilmiştir. Hazırlanmış olan örneklerin boyutları 7.5 cm × 7.5 cm'dir. Üretici firmaların önermiş olduğu işlemlere göre her bir malzeme için yukarıda bahsedilen boyutlarda beşer test örneği hazırlanmıştır. İşlem öncesi 4 mm olan örneklerin kalınlığı işlem sonrası azalmıştır.

3.3. Çarpma Testi

Çarpma testi için Şekil 3.1'de görülen çarpma test cihazı kullanılmıştır (Dynatup Model 9250 HV, Instron Corp, Canton, MA).



Şekil 3.1 Çarpma testlerinde kullanılan cihaz: Dynatup Model 9250 HV, Instron Corp, Canton, MA

Çarpma testi öncesinde örnekler bir saat 37°C deiyonize su içerisinde bekletildikten sonra 37°C'deki test odacığına (Şekil 3.2) yerleştirilmiş ve güç çevirici (transducer) içeren 1.27 cm çapında bir çentik açıcı aygıt (indenter) (Şekil 3.3) ile saatte 32.20 km hız ile yüklenmiştir.



Şekil 3.2 37°C'deki test odacığı



Şekil 3.3 Güç çevirici (transducer) içeren çentik açıcı aygıt (indenter)

Karşılaştırma yapılabilmesi için aynı kutudan çıkan malzemelerden hazırlanmış olan ikişer örnek de kuru olarak test edilmiştir. Islak ve kuru olarak test edilen bu iki grubun örneklerinde 3.81 cm çapındaki alt destek halkasına karşılık 7.62 cm çapındaki üst destek halkası kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Küçük (3.81 cm) çaplı alt destek halkasına karşılık geniş (7.62 cm) çaplı üst destek halkası

Ayrıca, daha önceki pilot çalışmalarımızda^{14,15} olduğu gibi her grup için altışar örnek olacak şekilde alt-üst 3.81 cm'lik destek halkaları (Şekil 3.5) kullanılarak suda bekletilen örnekler test edilmiştir.



Şekil 3.5 Küçük çaplı alt ve üst destek halkası

Çarpma testi protokolü ASTM Standardı D3763'e göre uygulanmıştır¹³. Enerji emilimi güç çevirici (transducer) içeren çentik açıcı aygıt (indenter) kullanılarak 30 milisaniyedeki (ms) kuvvet-zaman eğrisinin altında kalan alan hesaplanıp elde edilmiştir. Her bir enerji emilim değeri test örneklerin hazırlık sonrası kalınlıkları göz önünde bulundurularak normalize edilmiştir (normalized to the measured thickness, NTT). Suda bekletildikten sonra test edilmiş olan örneklerin enerji emilimi sonuçları ANOVA ve sonrasında Tukey-Kramer HSD testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

3.4. TMDSC Deneyinde Kullanılan Protokol

Saatte 32.20 km'lik bir hız ile çarpma testi uygulanmış örneklerin çarpma bölgesine olabildiğince yakın olan kısmından ağırlıkları 15.4 ile 19.3 mg arasında değişen örnekler kesilmiştir. Test parçalarının herbiri diferansiyel tarama kalorimetrisindeki (DSC Q100, TA Instruments, Wilmington, DE) (Şekil 3.6) alüminyum kaplar içine yerleştirilmiştir (Şekil 3.7). Boş bir alüminyum kap ise her

defasında TMDSC analizinde kararlı bir kontrol malzemesi olarak kullanılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.6 TMDSC deneylerinin gerçekleştirildiği DSC cihazı



Şekil 3.7 DSC cihazındaki alüminyum kaplardan birine test edilen mouthguard malzemesi yerleştirilmiş diğeri kontrol olarak kullanılmıştır

Meng ve arkadaşlarının⁴² çalışmasından elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak TMDSC deneyleri nitrojen gazı atmosferinde -20° ile 150°C aralığında dakikada 1°C 'lik ısı artışı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaza bağlı olan yazılım (TA Universal Analysis 2000) kullanılarak *termograf* denen termal analiz eğrileri oluşturulmuş ve bu eğriler incelenmiştir. Termografların yorumlanması polimer ilminin prensiplerine göre yapılmıştır¹².

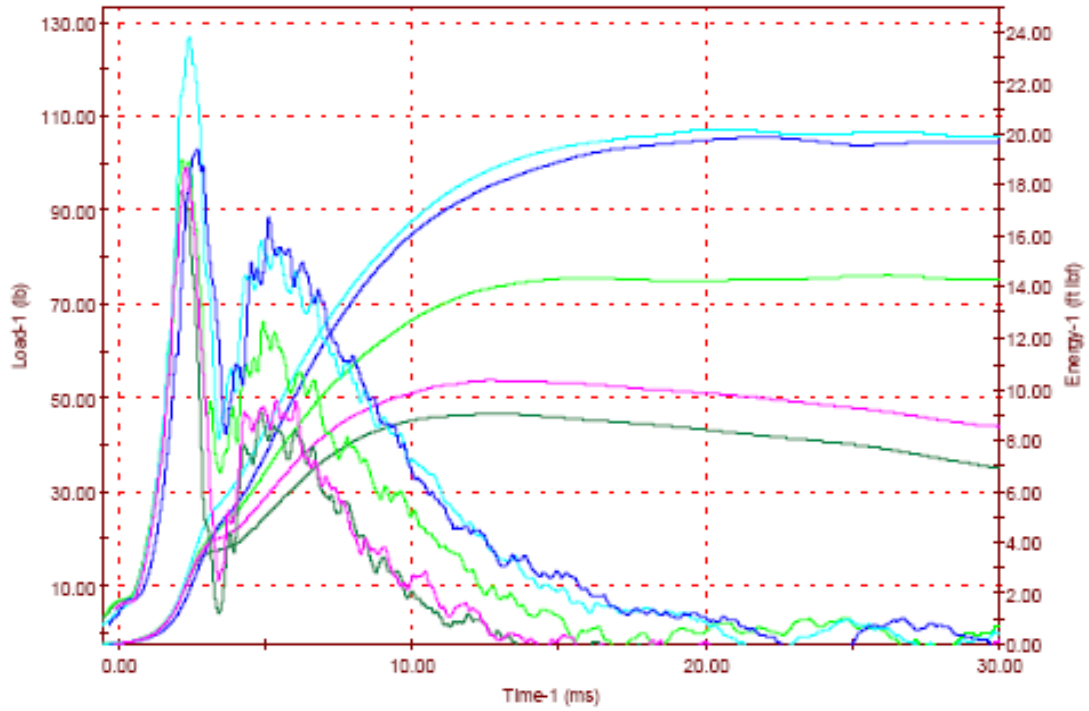
Geniş olan üst destek halkası (7.62 cm) kullanılarak çarpma testi uygulanmış kuru (*deiyonize su içerisinde bekletilmemiş*) ($n=2$) ve ıslak (*deiyonize su içerisinde 1*

saat bekletilmiş) (n=1) rnekle rin yan ında çarpma testi sırasında küçük st destek halkası kullanılmış (3.81 cm) ıslak örnekle rin (n=2) ıs ısal zellikleri TMDSC kullanılarak incelenmiştir.

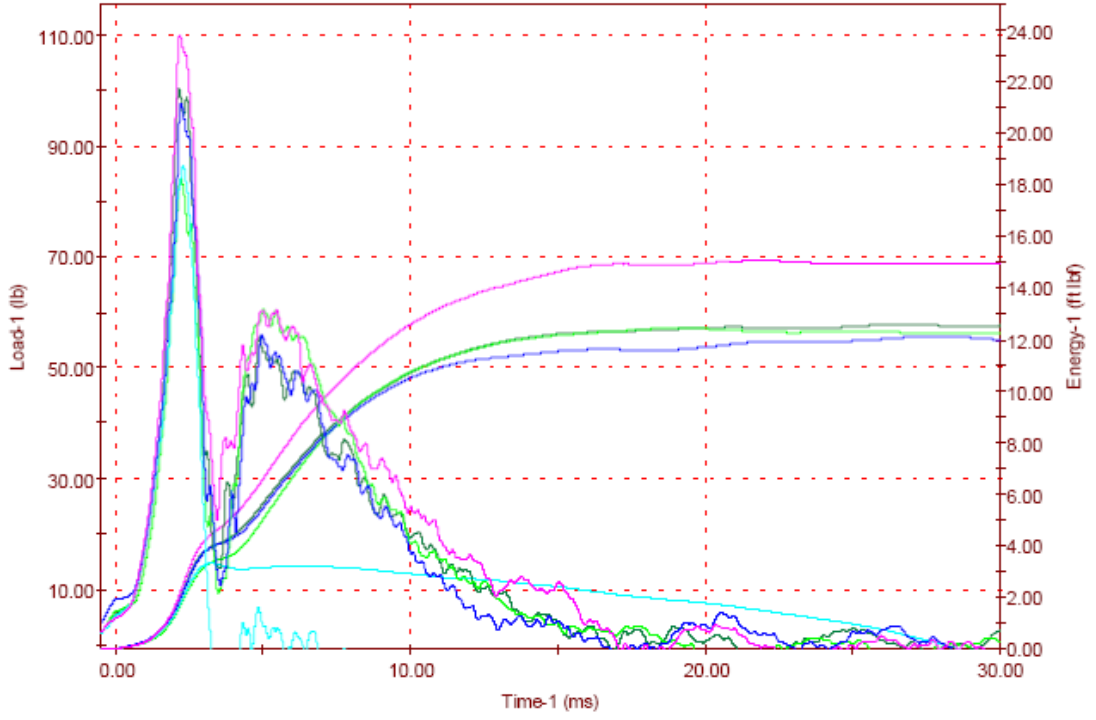
4. BULGULAR

4.1. Çarpma Testi

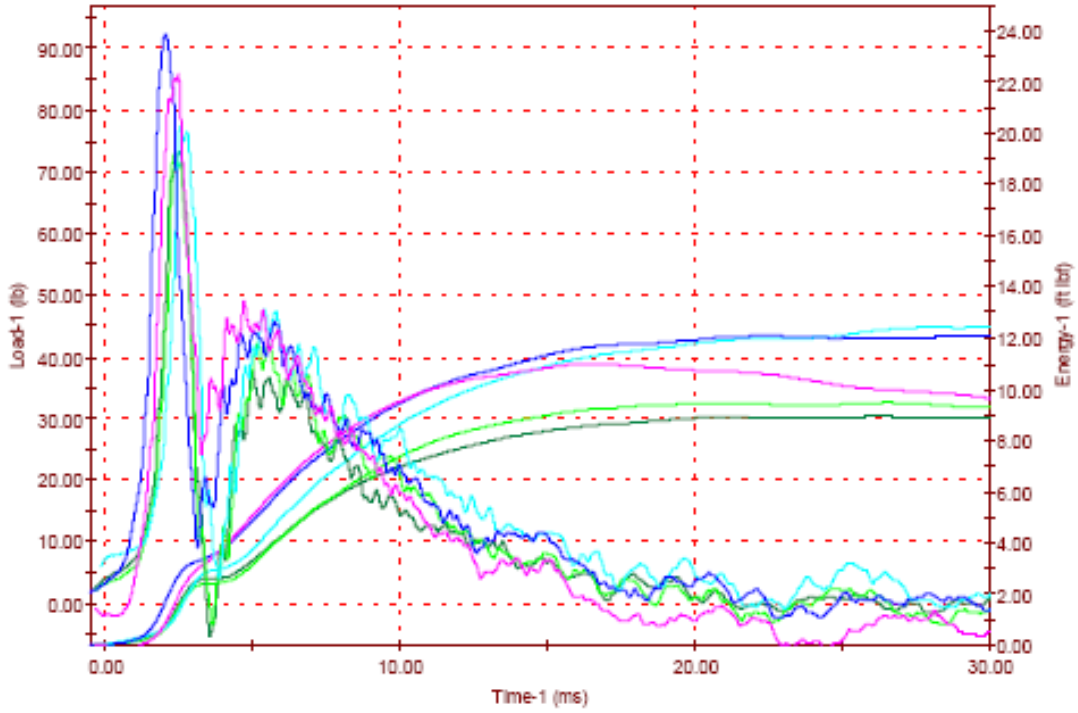
Bir saat 37°C suda bekletildikten sonra saatte 32.20 km hız ve 7.62 cm'lik geniş üst destek halkası kullanılarak çarpma testi uygulanan geleneksel EVA, Pro-form™ ve PolyShok™ örneklerine ait çarpma testi sonuçları sırası ile Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de gösterilmiştir. Soldaki dikey eksende güç çevirici (transducer) tarafından ölçülmüş olan kuvvetin (birimi lb cinsinden) yatay eksendeki milisaniye (ms) cinsinden zamana göre fonksiyonu verilmektedir. Bu grafikler çarpma olayı sırasında zamanla kuvvetin azalmakta olduğunu göstermektedir. Sağdaki dikey eksen, kuvvet-zaman eğrisinin entegrasyonundan elde edilen, enerji emilimini göstermektedir. Bu grafiklere göre ise çarpma boyunca enerji emiliminin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Bir saat 37°C deiyonize suda bekletildikten sonra 37°C'de saatte 32.20 km hız kullanılarak çarpma testi uygulanmış geleneksel EVA örneklerin test sonuçları. Test sırasında geniş olan üst destek halkası kullanılmıştır. Örneklerin hiçbiri delinmemiştir.



Şekil 4.2. Bir saat 37°C deiyonize suda bekletildikten sonra 37°C’de saatte 32.20 km hız kullanılarak çarpma testi uygulanmış Pro-Form™ örneklerin test sonuçları. Test sırasında geniş üst destek halkası kullanılmıştır. Açık mavi ile gösterilen grafiğin ait olduğu tek bir örnek delinmiş, diğer dört örnekte delinme olmamıştır.



Şekil 4.3. Bir saat 37°C deiyonize suda bekletildikten sonra 37°C’de saatte 32.20 km hız kullanılarak çarpma testi uygulanmış PolyShok™ örneklerin test sonuçları. Test sırasında geniş üst destek halkası kullanılmıştır. Hiçbir örnek delinmemiştir.

Mouthguard malzemelerinin enerji emilimleri yaklaşık 30 ms sonra sabit bir değere ulaşmıştır. Bu nedenle, Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 de yatay eksen bu zaman diliminde sonlandırılmıştır. Bir saat 37°C’de bekletildikten sonra saatte 32.20 km hız ile 7.62 cm’lik üst destek halkası kullanılarak test edilen konvasiyonel EVA ve PolyShok™ gruplarında hiçbir örnekte delinme olmazken, bir Pro-form™ örneği minimal enerji emilimi ile (Şekil 4.2’deki açık mavi renk ile gösterilen eğri) delinmiş, aynı gruptaki diğer dört örnekte delinme meydana gelmemiştir.

Çizelge 4.1 bir saat 37°C’de deiyonize su içerisinde bekletilip saatte 32.20 km hız ile 7.62 cm’lik geniş üst destek halkası kullanılarak test edilmiş örneklerin 30 ms’deki, örnek kalınlığı göz önünde bulundurularak normalize edilmiş [normalized to specimen thickness (NTT)], toplam enerji emilimlerini özetlemektedir. NTT enerji emilimleri (ortalama \pm SD birimi cm·kg/cm): EVA (n = 5), 599.8 ± 263.5 ; Pro-form™ (n = 4), 598.8 ± 61.5 ; PolyShok™ (n = 5), 575.4 ± 89.8 . Minimal enerji ile delinen Pro-form™ örneği bu örnekteki çarpma noktası üretici firmanın etiketine çok yakın

konumlanmış olduğu için ortalamaya dahil edilmemiştir. İstatistiksel karşılaştırma üç mouthguard malzemesinin enerji emilimleri arasında fark olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.1. Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km çarpma hızı ile 37°C'lik deiyonize suda bekletilen üç farklı mouthguard malzemesine ait kalınlıklarına göre normalize edilmiş örneklerin 30 milisaniyedeki toplam enerji sonuçları. Şekil 4.2'de açık mavi ile gösterilen örnek delindiği için NTT enerji değeri sıfır olan Pro-Form™ örneği ortalama ve standard sapma hesaplamalarına dahil edilmemiştir. Bu tablodaki diğer örneklerde delinme görülmemiştir.

Mouthguard Malzemesi	Örnek Numarası	30 ms'deki NTT (cm·kg/cm)
EVA	1	302.42
	2	603.38
	3	860.14
	4	862.58
	5	371.88
Ortalama		599.84
SD		263.45
Pro-form™		
Pro-form™	1	604.03
	2	554.77
	3	552.64
	4	683.83
Ortalama		598.75
SD		61.51
PolyShok™		
PolyShok™	1	504.64
	2	500.67
	3	609.53
	4	715.29
	5	547.15
Ortalama		575.34
SD		89.81

Çizelge 4.2 bir saat 37°C'lik deiyonize su içerisinde bekletilip saatte 32.20 km hız ile 3.81 cm'lik küçük üst destek halkası kullanılarak test edilmiş üç mouthguard malzemesinin 30 ms'deki örnek kalınlığına göre normalleştirilmiş (NTT) toplam enerji emilimlerini özetlemektedir. NTT enerji emilimleri (ortalama ± SD, birimi cm·kg/cm): EVA (n = 6), 764.8 ± 75.7; Pro-form™ (n = 5), 593.3 ± 141.5; PolyShok™ (n = 6),

677.1 \pm 154.6. Pro-formTM grubundaki 6. örnek test sırasında delindiği için hesaplamalardan çıkarılmıştır.

Çizelge 4.1 ve 4.2'deki sonuçlar GLM (generalize linear model) ve Tukey-Kramer post hoc testleri kullanılarak istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. İki tablo arasında grupların hiçbirinde anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Ancak, istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık bulunamaması çizelge 4.1'de EVA grubunun standart sapmasının çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır ve bu durum iki tablodaki bazı gruplar arasında gerçekte farklılık bulunduğunun göz ardı edilmesine neden olmamalıdır.

Çizelge 4.2. Küçük üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km çarpma hızı ile 37°C'lik deiyonize suda bekletilen üç farklı mouthguard malzemesine ait kalınlıklarına göre normalize edilmiş örneklerin 30 milisaniyedeki toplam enerji sonuçları. Şekil 4.2'de açık mavi ile gösterilen delindiği için NTT enerji değeri sıfır olan Pro-Form™ örneği ortalama ve standard sapma hesaplamalarına dahil edilmemiştir. Bu tablodaki diğer örneklerde delinme görülmemiştir. ProForm™ grubu içindeki bir örnek test sırasında delindiği için ortalama ve standart sapma hesaplarına dahil edilmemiştir. Diğer örneklerin hiçbirinde delinme meydana gelmemiştir.

Mouthguard Malzemesi	Örnek Numarası	30 ms'deki NTT (cm·kg/cm)
EVA	1	860.84
	2	850.77
	3	752.85
	4	671.04
	5	718.34
	6	735.21
Ortalama		764.77
SD		75.66
Pro-form™	1	586.51
	2	686.12
	3	759.05
	4	544.76
	5	389.79
Ortalama		593.31
SD		141.52
PolyShok™	1	495.55
	2	756.33
	3	709.85
	4	558.64
	5	618.35
	6	924.64
Ortalama		677.13
SD		154.59

Çizelge 4.3 su içerisinde bekletilmeden 37°C’de kuru olarak saatte 32.20 km hız ile 7.62’lik geniş üst destek halkası kullanılarak test edilmiş örneklerin (n = 2), örnek kalınlığına göre normalize edilmiş (NTT), 30 ms’deki toplam enerji emilimlerini özetlemektedir. Her gruptaki iki örnek için ortalama NTT enerji emilimleri (cm·kg/cm): EVA, 867.7; Pro-form™, 735.4; and PolyShok™, 782.2.

Çizelge 4.3. Deiyonize su içerisinde bekletilmeden kuru olarak 37°C’de saatte 32.20 km hız kullanılarak çarpma testine maruz kalmış örneklere ait toplam enerji sonuçları. Her grup için iki örnek kullanılmıştır. Toplam enerji emilimleri örneklerin kalınlığına göre normalize edilmiştir. Çarpma testi sırasında geniş üst destek halkası kullanılmıştır.

Mouthguard Malzemesi	Örnek Numarası	30 ms’deki NTT (cm·kg/cm)
EVA	1	765,86
	2	970,03
Ortalama		867,92
Pro-form™	1	783,55
	2	687,42
Ortalama		735,49
PolyShok™	1	647,63
	2*	916,64
Ortalama		782,13

* Aynı örnek ikinci kez çarpma testine maruz kaldıktan sonra veri kaydedilmiştir.

Çizelge 4.3 ile çizelge 4.1 karşılaştırıldığında, 37°C’de de-iyonize su içerisinde bir saat bekletilen sonra saatte 32.20 km hız kullanılarak test edilen her üç mouthguard malzemesinin çarpma enerji emilimlerinin kuru örneklere oranla önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Bu bariz etkiden dolayı, her grup için iki kuru örnek kullanılmasının kuru örneklerde enerji emiliminin su içerisinde bekletilen örneklere oranla çok daha fazla olduğunu göstermede yeterli olduğu düşünülmüştür. Ayrıca, kuru örneklerin klinik açıdan bir geçerliliğinin olmadığı da unutulmamalıdır.

Çizelge 4.4 kuru olarak 37°C’de test edilen üç mouthguard malzemesinin saatte 32.20 km hız ve 3.81 cm’lik küçük üst destek halkası kullanılarak örnek kalınlığına göre normalize edilmiş (NTT) örneklerin 30 ms’deki enerji emilimlerini karşılaştıran pilot çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçları göstermektedir. Geleneksel EVA ve Pro-form™

test örneklerinin tamamı çarpma yüklemesi sırasında delinirken, PolyShok™ test örneklerinin hiçbirinde delinme görülmemiştir. Buna ek olarak, kuru olarak test edilen örneklerde PolyShok™ örneklerinin enerji emilimlerinin geleneksel EVA ve Proform™ örneklerine oranla anlamlı ölçüde daha yüksek olduğu bulunmuştur.

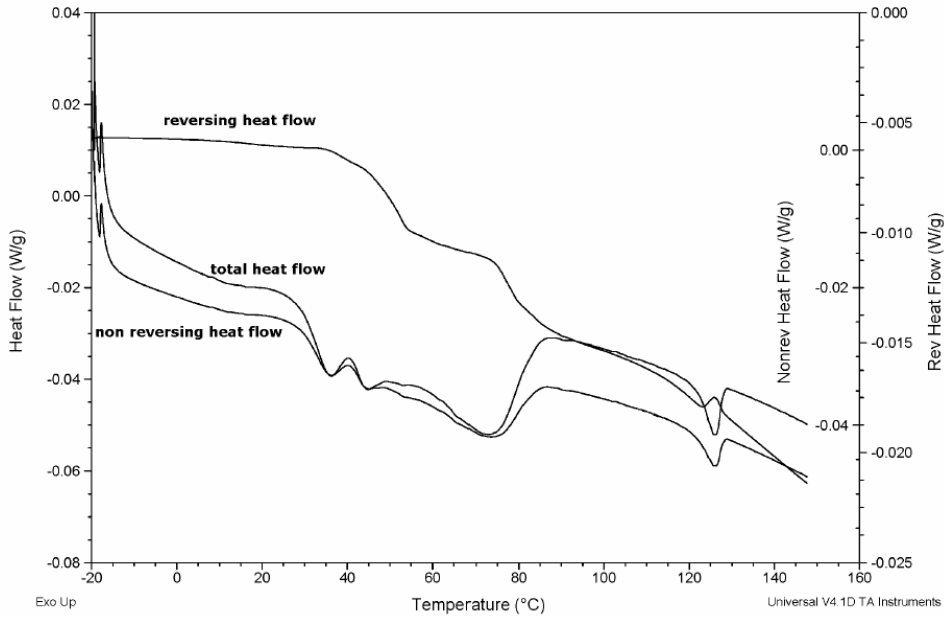
Çizelge 4.4. 37°C’de kuru olarak saatte 32.20 km hız kullanılarak test edilen üç mouthguard malzemesine ait daha önceki pilot çalışmalarımızdan elde edilen toplam enerji sonuçları. Hesaplanan toplam enerjiler örneklerin kalınlığına göre normalize edilmiştir. Test sırasında küçük üst destek halkası kullanılmıştır. Test edilen tüm EVA ve Pro-form™ örnekleri delinirken PolyShok™ örneklerinin hiçbirinde delinme görülmemiştir.

Mouthguard Malzemesi	Örnek Numarası	30 ms’deki NTT (cm·kg/cm)
EVA	1	771,85
	2	406,34
	3	384,13
	4	920.12
	5	344.34
Ortalama		565.33
SD		262.42
Pro-form™	1	291.54
	2	258.55
	3	304.28
	4	301.88
	5	349.13
Ortalama		301.06
SD		32.50
PolyShok™	1	1020.33
	2	1040.85
	3	1012.76
	4	1008.41
	5	1141.93
Ortalama		1044.88
SD		55.63

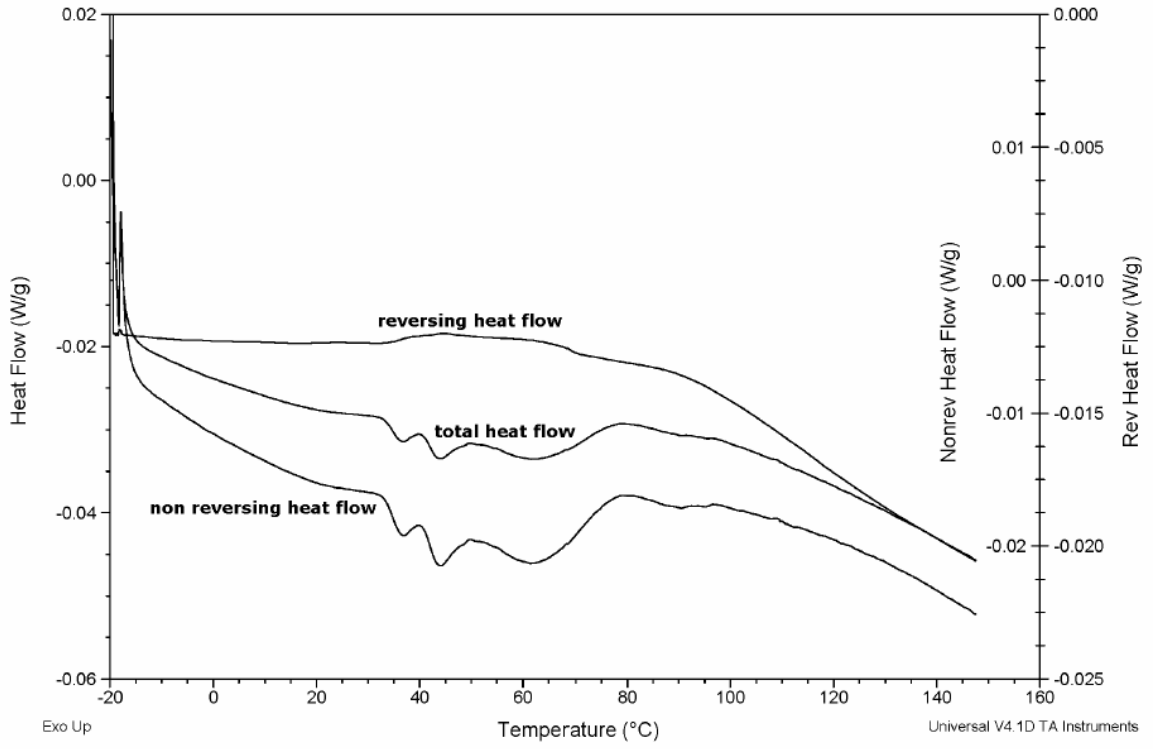
4.2. TMDSC Çalışmaları

Üç farklı mouthguard malzemesine ait farklı şartlarda test edilmiş örneklerin dakikada 1°C ısı artışı ile - 20°C ile 150°C arasında gerçekleştirilen TMDSC sıcaklık grafipleri şekil 4.4-4.12’de gösterilmektedir. Şekil 4.4. ile 4.12 arasındaki şekillerde geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz ısı akışı eğrileri ile birlikte toplam ısı akışı eğrisi de izlenmektedir. Geri dönüşümlü ısı akışı eğrisinin toplam ısı akışı eğrisini yakından takip ettiği de bütün sıcaklık grafiplerinde net olarak görülmektedir (Şekil 4.4. ile 4.12).

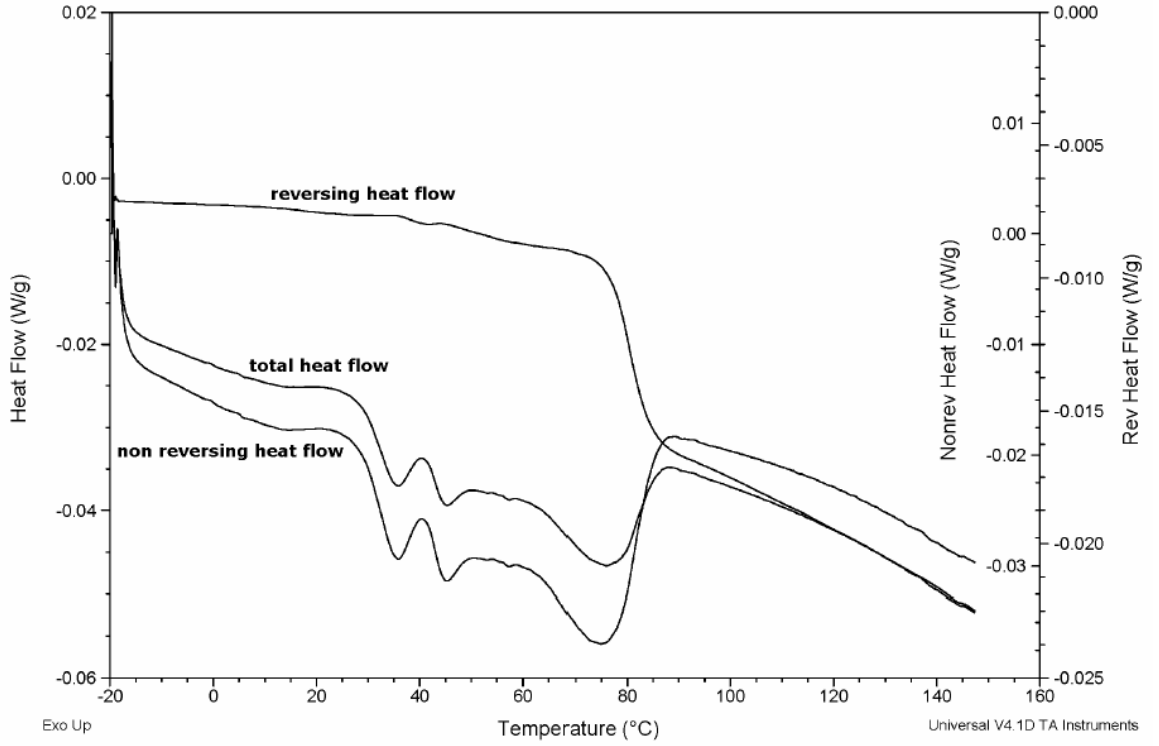
Şekil 4.4-4.6 sırası ile EVA, PolyShok™ ve Proform™ guplarına ait 37°C deiyonize su içerisinde 1 saat bekletildikten sonra geniş üst destek halkası kullanılarak çarpma testi uygulanan örneklerin çarpma bölgesine yakın olan kısımlarından alınan küçük parçaların (15.4-19.3 mg) TMDSC grafiğini göstermektedir. EVA dört endotermik tepe gösterirken, PolyShok™ ve ProForm™'a ait termograflarda sadece 3 endotermik tepe izlenmektedir. İlk iki tepe her üç grupta 36°C ve 45°C'de meydana gelmiş, 3. tepe ise EVA, PolyShok™, ve ProForm™ için sırası ile 72°C, 63°C, ve 76°C'de meydana gelmiştir. Diğer iki gruptan farklı olarak EVA örneklerinde 125°C'de 4. endotermik tepe izlenmiştir.



Şekil 4.4. Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak EVA örneğın çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 17.0 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiğı.

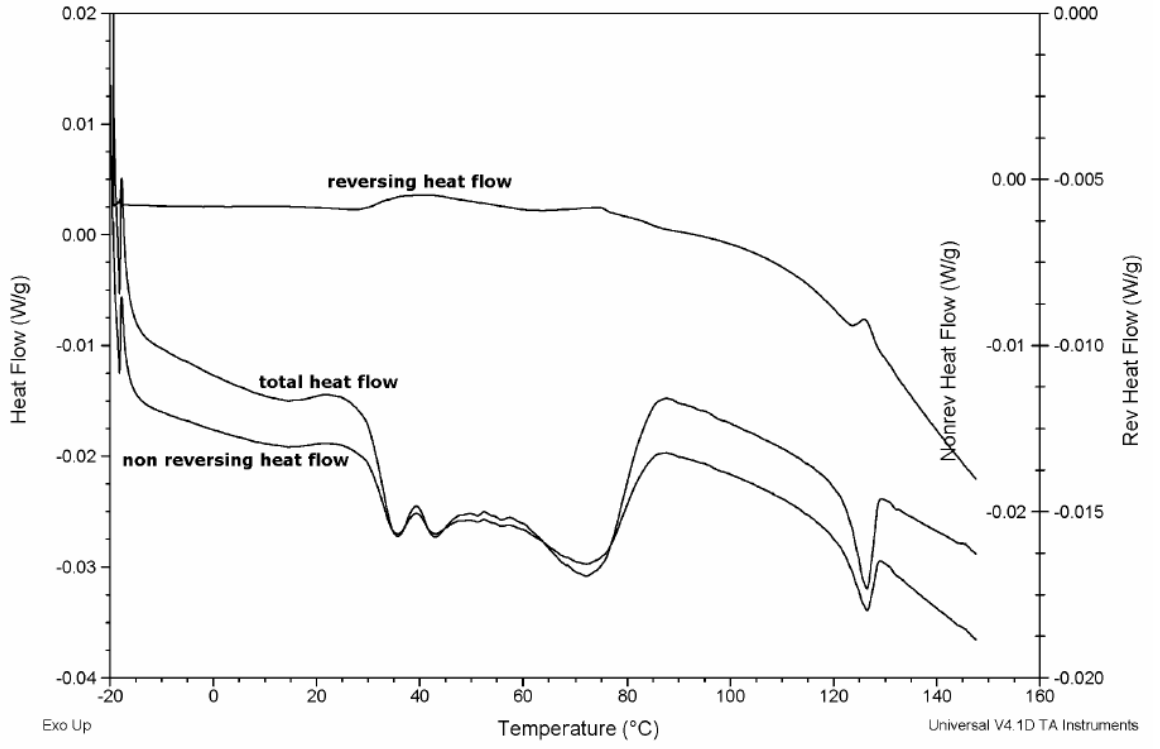


Şekil 4.5. Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak PolyShok™ örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 16.9 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği.

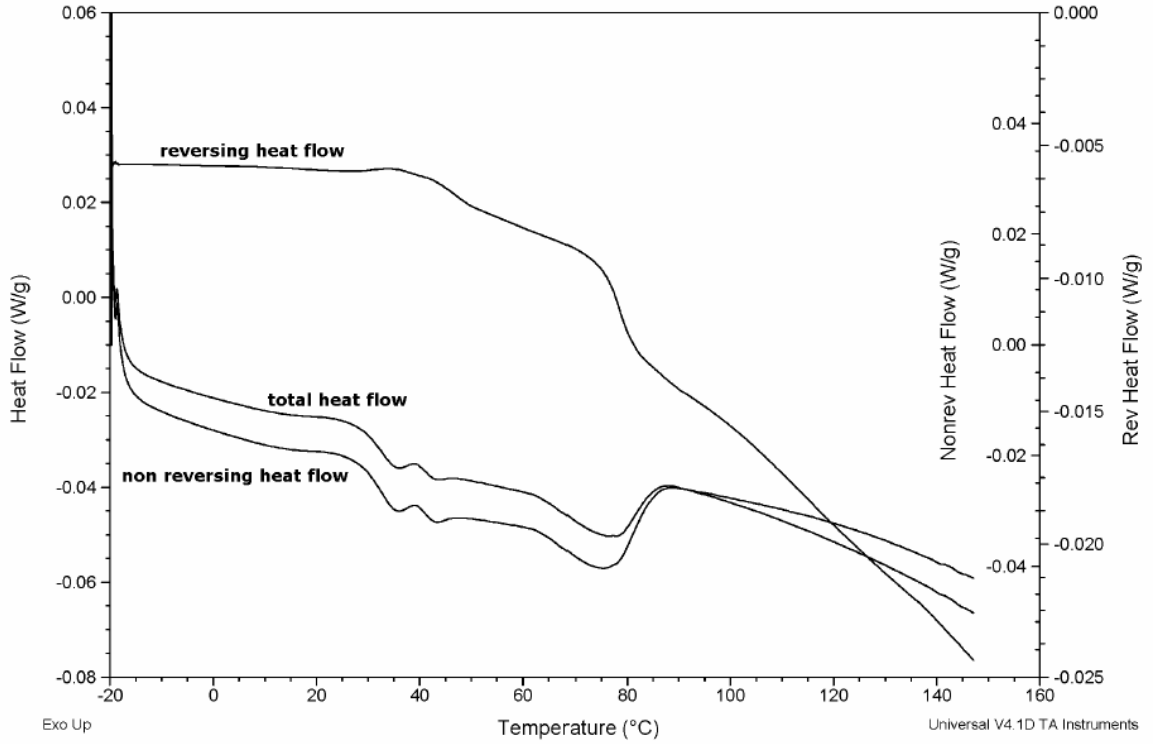


Şekil 4.6. Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak ProForm™ örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 17.0 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği.

Deiyonize suyun mouthguard malzemelerinin termal özellikleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla üç gruba ait örnekler yine geniş üst destek halkası kullanılarak kuru olarak 37°C’de çarpma testine maruz kaldıktan sonra TMDSC kullanılarak test edilmişlerdir (Şekil 4.7-4.9). Geniş ve ıslak örneklerdekilere benzer sonuçlar elde edilmiştir. Üç endotermik tepenin görüldüğü PolyShok™ ve ProForm™ gruplarından farklı olarak EVA grubunda yine dört endotermik tepe izlenmiştir. İlk tepe EVA ve PolyShok™ için 35°C’de izlenirken ProForm™ grubunda 37°C’de görülmüştür. İkinci endotermik tepe her üç grup için 43°C’de izlenmiştir. Üçüncü tepe ise EVA, PolyShok™, ve ProForm™ için sırası ile 73°C, 63°C, ve 76°C’lerde görülmüştür.

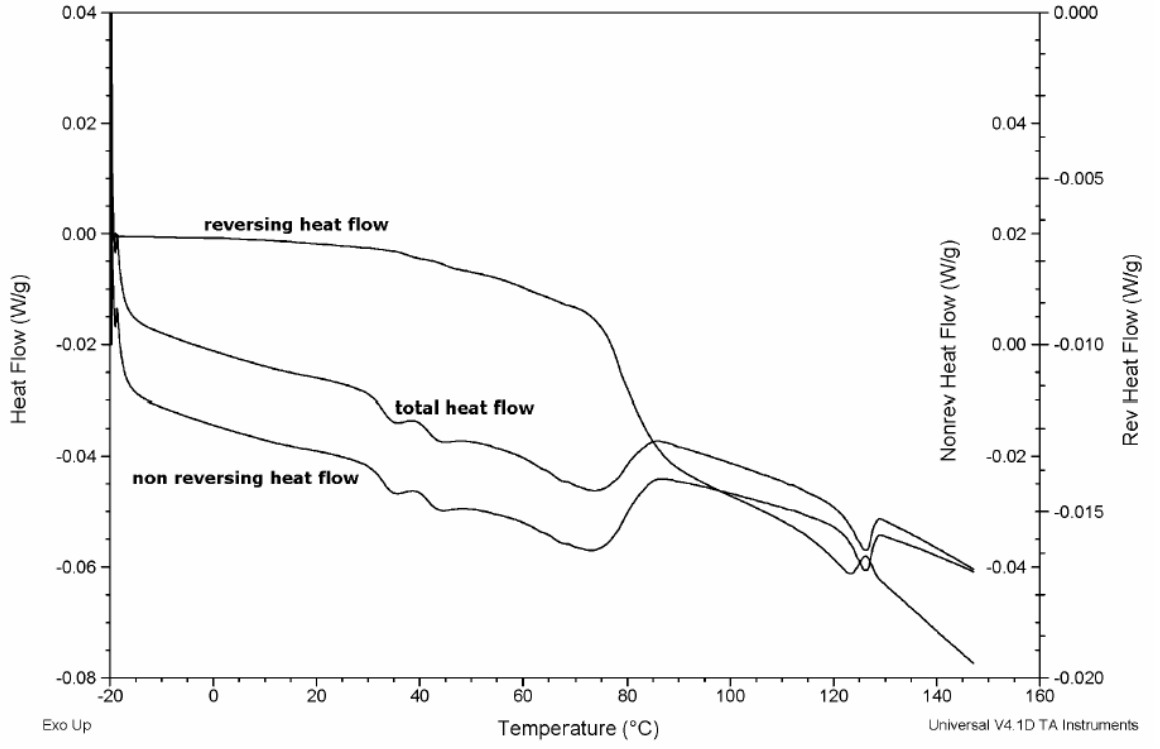


Şekil 4.7. Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş kuru EVA örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 15.4 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği.

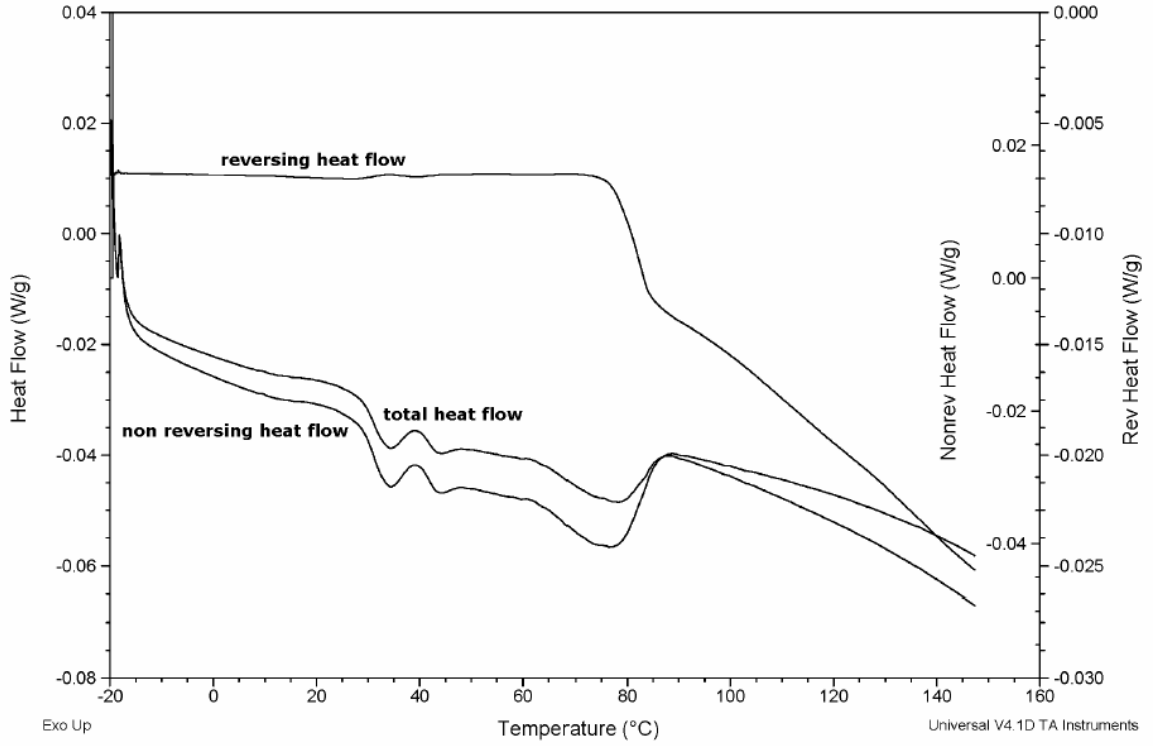


Şekil 4.9. Geniş üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş kuru ProForm™ örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 17.2 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği.

Ayrıca kullanılan destek halkası genişliğinin malzemelerin termal özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla 37°C deiyonize su içerisinde 1 saat bekletildikten sonra 3.81 cm çapında küçük üst destek halkası kullanılarak çarpma testi uygulanan örneklerin çarpma bölgesine yakın olan kısımlarından alınan parçalara da aynı termal test uygulanmıştır. Bu örneklere ait TMDSC sonuçları Şekil 4.10-4.12'deki sıcaklık grafiplerinde gösterilmektedir. Bu örneklerden elde edilen sonuçlar da yukarıda bahsedilen sonuçlarla büyük benzerlik göstermektedir. İlk iki tepe her üç grup için de sırası ile 35°C ve 45°C'de izlenmiştir. Üçüncü tepe ise EVA, PolyShok™, ve ProForm™ için sırası ile 75°C, 62°C, ve 78°C'de görülmüştür. Dördüncü tepe sadece EVA grubunda ve 126°C'de izlenmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Küçük üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak EVA örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 19.3 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği.



Şekil 4.12. Küçük üst destek halkası kullanılarak saatte 32.20 km hız ile test edilmiş ıslak ProForm™ örneğin çarpma bölgesine yakın kısmından alınmış 18.3 miligramlık örnekten elde edilmiş TMDSC sıcaklık grafiği.

Tüm sıcaklık grafilelerinde (Şekil 4.4-4.12) geri dönüşümsüz ve toplam ısı akışı eğrilerinde üçüncü endotermik tepeden sonra endotermik tepelere oranla kısmen daha sığ olan ekzotermik tepeler görülmektedir.

Geri dönüşümlü ısı akışı eğrilerinin bazılarında geri dönüşsüz ısı akışı eğrilerindeki endotermik tepelere karşılık gelen ekzotermik tepeler belli belirsiz olarak izlenmektedir.

5. TARTIŞMA

5.1. Çarpma Testi

Deiyonize suda bir saat bekletildikten sonra küçük üst destek halkası kullanılarak çarpma testi uygulanan bu çalışmaya ait örnekler (Tablo 4.2) ile deiyonize suda bekletilmeden aynı şartlarda test edilen pilot çalışmalarımızda kullanılmış örnekler¹⁵ arasındaki farklılıklar, aynı mouthguard malzemesine ait farklı partilerden alınan örnekler arasında çarpma testi performansı açısından farklılık olabileceğini göstermektedir (Çizelge 4.4). Çizelge 4.1 ve 4.2 karşılaştırıldığında 3.81 cm'lik küçük üst destek halkası kullanıldığında çarpma sırasında enerji emiliminin 7.62 cm'lik geniş üst destek halkasına oranla genelde daha yüksek olduğu söylenebilir (geleneksel EVA ve PolyShokTM). Ancak, bu sonuç her üç malzeme ve farklı çaplardaki her iki üst destek halkası için istatistiksel analiz ile desteklenmemiştir. Üst destek halkasının çapının etkisi konusunda kesin bir sonuca varılabilmesi için her bir örnek grubunda daha yüksek sayıda örneğin test edilmesi gerekecektir. Bunun da ötesinde, her bir mouthguard malzemesine ait örneklerin aynı partiden seçilmiş olması gerekmektedir.

Test edilen her üç grupta kuru örnekler (Çizelge 4.4) ile karşılaştırıldığında ıslak örneklerin (Çizelge 4.1) çarpma sırasındaki enerji emiliminin daha düşük olması polimer matrixinin sıvı içerisinde bozulmasından kaynaklanabilir. Bu durumun dental kompozitler için de geçerli olduğu bildirilmiştir²⁶. Mouthguard malzemeleri için klinik şartların tam olarak uygulanması kolay olmadığı için, çarpma testi öncesinde örneklerin bir saat 37°C deiyonize su içerisinde bekletilmesinin bu çalışma açısından uygun olacağı düşünülmüştür. Yapay tükrükte molekül ağırlığı daha yüksek olan komponentler bulunduğu için yapay tükrüğün polimere diffüzyonu daha zor olacaktır. Bu nedenle yapay tükrüğün deiyonize suya oranla mouthguard malzemeleri üzerinde daha az agresif olacağı düşünülmekte, bir sonraki çalışmamızda ortam olarak yapay tükrük kullanılması tasarlanmaktadır. Suda bekletme aşaması mouthguard örnekler açısından oldukça önemlidir. 37°C'de kuru olarak test edilen³² tüm geleneksel EVA ve Pro-FormTM örnekleri 32.20 km hızda delinirken, 37°C deiyonize suda bekletildikten sonra test edilen örneklerden yalnızca bir Pro-FormTM örneğinin delinmesi bunun en güzel ispatıdır. Islak olarak test edilen Pro-FormTM örneğindeki delinme üretici firma etiketinin olduğu yerde meydana gelmiştir. Bu nedenle mouthguard malzemelerinde

üretici firma etiketinin kullanım sırasında çarpma bölgesinden uzakta olacak şekilde konumlandırılması önemlidir. Suda bekletilen örneklerde delinmenin çok daha az olması da polimer matrixinin sıvı içerisinde bozulmasına bağlanabilir.

Mendel ve arkadaşlarının saatte 8.05 km, 16.10 km, ve 32.20 km hızla çarpma testi kullanarak yapmış olduğu son çalışmalar^{14,15} Polyshok™ ve geleneksel EVA mouthguard malzemesinin enerji emilim özelliklerinin benzer olduğunu ve piyasada bulunan bir başka termoplastik EVA malzemesi olan Proform™, dan çok daha yüksek olduğunu göstermektedir^{14,15}. Sözü geçen çalışmalarda saatte 32.20 km hız kullanıldığında tüm Polyshok™ örnekleri delinmeye karşı koyarken, bu sonucun EVA ve ProForm™ örneklerinde gözlenmediği bulunmuştur.

Meng ve arkadaşları mouthguard malzemelerinin yüzeyini electron tarama mikroskobu (SEM) kullanarak incelemiştir⁴². Bu çalışmada yapım işlemlerinden geçirilmiş örneklerle henüz işlemde geçirilmemiş örnekler arasında ve ayrıca çarpma testi sırasında darbeyi alan kısımlar ile darbeden uzak kısımlar arasında morfolojik farklılık olup olmadığı araştırılmıştır. SEM incelemesi sonucunda ProForm™ ve EVA ile karşılaştırıldığında Polyshok™, un farklı bir yüzey morfolojisine sahip olduğu ve yüzey morfolojisindeki bu farklılığın muhtemelen bir yastık gibi görev gördüğü bulunmuştur. Sözü geçen çalışmada mouthguard malzemelerinin enerji emilimlerinin mikroyapısal seviyedeki olası temel mekanizmaları saatte 32.20 km hız ile çarpma testine maruz kalmış örneklerin elektron tarama mikroskobu (SEM) ile incelenmesi sonucu bulunmuştur²⁸. Meng ve arkadaşlarının⁴² kuru örnekler üzerinde yapmış olduğu SEM incelemelerinin ıslak örnekler kullanılarak yenilenmesi kliniği simüle etmesi açısından daha değerli olacaktır.

Polimerlerin enerji emilimlerinin ölçülmesinde kullanılan ASTM D3763 standardındaki prosedür mouthguard malzemelerinin değerlendirilmesinde uygun bir tekniktir. Ancak, daha önce yayınlanmış olan bazı çalışmalarda da olduğu gibi^{37,18-20,21}, bu çalışmada kullanılan test örnekleri test sırasında dişler ya da benzeri bir yapı tarafından desteklenmemiş olduğu için bu çalışmadan elde edilen sonuçların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Takeda ve arkadaşarı^{29,30} ile Walilko ve grubunun³⁴ son dönemde yapmış olduğu araştırmalar çarpmaya maruz kalan obje ile sensor tipi kadar metodolojinin de önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Enerji emilimi kadar mouthguard malzemesi seçiminde önemli olan bir başka kriter ise mouthguardlar açısından avantaj sağlayan ince tabakaların üst üste konması ile elde edilen bir yapıyı oluşturma kolaylığıdır^{27,28}. Her ne kadar, 37°C'de suda bekletildikten sonra test edilen örneklerde poliürethan ile modifiye edilmiş PolyShok™ örnekleri enerji emilimi ve delinmeye karşı direnç açısından geleneksel EVA ve Pro-Form™,a karşı bir üstünlük sağlamasa da, laminat bir yapının oluşturulmasındaki kolaylığı PolyShok™,un önemli bir avantajıdır.

Mevcut çalışmada farklı üst destek halkaları kullanılmasının malzemelerin enerji emme kapasiteleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çizelge 4.1 ve 4.2'deki sonuçlar GLM (generalize linear model) ve Tukey-Kramer post hoc testleri kullanılarak istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. İki tablo arasında grupların hiçbirinde anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Ancak, istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık bulunamaması çizelge 4.1'de EVA grubunun standart sapmasının çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır ve bu durum iki tablodaki bazı gruplar arasında gerçekte farklılık bulunduğunun göz ardı edilmesine neden olmamalıdır. İstatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamasa da, EVA ve PolyShok™ gruplarında küçük çaplı üst destek halkası kullanıldığında daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum tahmin edilen sonucun aksi yönündedir.

5.2. TMDSC Çalışmaları

Mouthguard malzemelerinin sıcaklık grafiplerinde görülen major endotermik değişimlerin etilen vinil asetat sistemlerindeki major kristal popülasyonlarından^{20,39} kaynaklanan erime tepeleri¹² olduğu düşünülmektedir. Birden fazla erime tepesinin görülmesi malzemelerin yapısında farklı polimerlerin olduğunun göstergesidir. Deneilerin gerçekleştirildiği sıcaklık aralıklarında mouthguard malzemelerinin TMDSC eğrilerinde camsı geçiş olmadığı görülmüştür. Polymer kristallerinin parçalanabilmesi ısı gerektirdiği için erime endotermik bir reaksiyondur. Geri dönüşümsüz ve toplam ısı akışı eğrilerinde göreceli olarak küçük olan ekzotermik tepelerin (çöküntülerin) kristalizasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ekzotermik tepelerin bulunduğu sıcaklık aralığında polimerlerde kristaller oluşmakta ve termal enerji açığa çıkmaktadır. Polimerlerde kristalizasyon ekzotermik bir olaydır ve kristal içeriği yüksek olan polimerler daha rijittir^{11,12}. Halbuki, yapısında daha az sayıda kristal bulunan bir polimer daha yumuşak olacaktır.

Meng ve arkadaşları⁴² test ettikleri etilen vinil asetat bazlı mouthguard malzemelerinin sıcaklık grafiplerinde ilk endotermik tepenin 31°C ile 37°C arasında gerçekleştiğini bulmuşlardır. Bu nedenle literatürdeki diğer çalışmalardan^{8,14,15,16-19} farklı olarak bu çalışmada mouthguard malzemeleri oda ısısından ziyade vücut ısısında test edilmiştir. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar da üç malzemenin test edildiği üç durum için (geniş üst destek halkası-ıslak, geniş üst destek halkası-kuru, küçük üst destek halkası-ıslak) geri dönüşümsüz ve toplam ısı akışı eğrilerinde izlenen ilk tepenin vücut ısısında gerçekleştiğini doğrulamaktadır. Endotermik aşamaların EVA için 36°C ile 126°C, PolyShokTM için 35°C ile 63°C, ProFormTM için 35°C ile 78°C arasında gerçekleşmiş olması etilen vinil asetat bazlı mouthguard malzemelerinin yapısında çok sayıda kristalin bulunduğunu göstermektedir. Bu sonuç Meng ve arkadaşlarının⁴² yayınlamış oldukları çalışmanın sonuçları ile uyum göstermektedir.

Mouthguard malzemelerinde sıklıkla kullanılan EVA bazlı kopolimerler genelde farklı kalınlıklardaki tek plakadan oluşmaktadır. Bu malzemelerin içerikleri ve üretim şekli malzemelerin fiziksel özelliklerinde farklılıklara yol açabilmektedir^{19,20}. Patrick ve arkadaşları⁹ mouthguard malzemelerinin enerji emilim kapasitesini arttırabilmek için ideal tasarımın her iki tarafta etilen vinil asetat ve ortada daha yumuşak bir polimerin bulunduğu kompozit sistemden oluşması gerektiğini savunmaktadırlar. PolyShokTM laminat yapının oluşturulmasındaki kolaylığı sayesinde enerji emilimini arttırmak için alternatif bir yaklaşım olarak görülebilir. Çarpma sırasında polimer matriksin poliüretan nodüllerinden ayrılması çarpma kuvvetlerinin bir kısmının emilimini sağlamaktadır. Bu sonuç Meng ve arkadaşlarının⁴² çalışmalarında ispatlanmıştır. EVA polimerine poliüretan eklenmesi EVA'nın polimer yapısını moleküler düzeyde etkilemiştir. Bu farklılık TMDSC sonuçları ile de desteklenmiştir. EVA ve ProFormTM dan farklı olarak, PolyShokTM'un sıcaklık grafiplerinde 3. tepenin göreceli olarak daha düşük ısıda (63°C) gerçekleşmesi de bu etkiyi doğrulamaktadır. Poliüretanın EVA kristallerinin oluşumunu etkilediği, ve EVA kristallerinin sayısının azalmış olması daha yumuşak bir polimerin oluşmasına sebep olarak²⁰ PolyShokTM'un çarpmaya karşı daha dirençli olmasını sağladığı düşünülmektedir^{15,42}.

Bu çalışmadan çıkan sonuçlar literatürde yer alan sonuçlar^{39,42} ile belirli noktalarda benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen TMDSC termograflarından farklı olarak Meng ve arkadaşları⁴² TMDSC sıcaklık grafiplerinde

bizim TMDSC graflerimizdeki birinci ve üçüncü tepelere denk gelen iki endotermik tepe olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada PolyShok™ ve ProForm™ sıcaklık graflerinde üç, EVA grubunda ise dört tepe görülmesi örneklerin deiyonize su içerisinde bekletildiğinde malzemenin su emmesi sonucu yapısının değişmiş olmasına bağlanabilir. Meng ve arkadaşlarının kuru olarak test ettiği örnekler ile bu çalışmada kuru olarak test edilen termogramlar arasındaki farklılık ise örneklerin farklı partilerden olmasına bağlanabilir⁴².

Farklı sıcaklıklarda görülen tepeler mouthguard malzemelerinin yapısında farklı erime aralığına sahip farklı kristallerin olduğunu göstermektedir. Daha yüksek erime aralığına sahip kristallerin daha organize kristal yapısı olduğu düşünülebilir⁴².

Bu çalışmada sıcaklık grafleri incelenen farklı EVA malzemelerinin camsı geçiş ısılarının izlenememesi malzemelerin üretimi sırasında oluşan streslerden kaynaklanmış olabilir. Bunun bir başka açıklaması ise camsı geçişin erimenin başladığı ısı aralığında gerçekleşmesi olabilir. Camsı geçiş ve erime olayları birbirine yakın sıcaklıklarda gerçekleştiğinde bu iki olayı birbirinden ayırt etmek zor olabilir.

Bu çalışmanın sonuçları Arsac ve arkadaşlarının DSC çalışmalarından çıkan sonuçlarla da benzerlik göstermektedir²⁰. Arsac ve arkadaşları -60° ile 140°C arasında gerçekleştirdikleri DSC deneylerinde dakikada 10°C 'lik ısı artışı kullanmışlardır. Bu çalışmaların sonucunda birbirinden bağımsız iki endotermik tepe olduğunu ve kopolimerdeki EVA içeriğine bağlı olarak bu tepelerden ilkinin 38° ile 50°C , ikincisinin ise 55° ile 104°C arasında oluştuğunu göstermişlerdir.

6. SONUÇLAR

1. Geleneksel EVA, Pro-form™ ve PolyShok™ örneklerinin enerji emilimleri ya da delinmeye karşı göstermiş oldukları direnç açısından önemli bir fark bulunamamıştır.
2. Küçük (3.81 cm) ya da geniş (7.62 cm) üst destek halkası kullanıldığında enerji emilimi açısından anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.
3. Kuru örneklerin enerji emilimi deiyonize suda bekletildikten sonra test edilen örneklerin enerji emilimden daha yüksektir.
4. TMDSC kullanılarak test edilen mouthguard malzemelerinin termal özellikleri benzerlik göstermektedir.
5. Bir sonraki çalışmada örneklerin yapay tükürük içerisinde bekletilmesi ve çarpma testi sırasında malzemeyi destekleyecek diş ve çeneleri taklit edecek bir yapı kullanılarak test edilmesi planlanmaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. **Chapman PJ.** Mouthguards and the role of sporting team dentists. *Aust Dent J*, **1989**; 34:36-43.
2. **Woodmansey KF.** Athletic mouthguards prevent orofacial injuries. *Am Coll Health*, **1997**; 45:179-182.
3. **Chalmers DJ.** Mouthguards. Protection for the mouth in rugby union. *Sports Med*, **1998**; 25:339-249.
4. **Quarrie KL, Gianotti SM, Chalmers DJ and Hopkins WG.** An evaluation of mouthguard requirements and dental injuries in New Zealand rugby union. *Br J Sports Med*, **2005**; 39:650-654.
5. **Takeda T, Ishigami K, Hoshina S, Ogawa T, Handa J, Nakajima K, Shimada A, Nakajima T and Regner CW.** Can mouthguards prevent mandibular bone fractures and concussions? A laboratory study with an artificial skull models. *Dent Traumatol*, **2005**; 21:134-140.
6. **Westerman B, Stringfellow PM, Eccleston JA and Harbrow DJ.** Effect of ethylene vinyl acetate (EVA) closed cell foam on transmitted forces in mouthguard material. *Br J Sports Med*, **2002**; 36:205-208.
7. **Ranalli DN.** Prevention of sports-related traumatic dental injuries. *Dent Clin North Am*, **2000**; 44:35-51.
8. **Going RE, Loehman RE and Chan MS.** Mouthguard materials: their physical and mechanical properties. *J Am Dent Assoc*, **1974**; 89:132-138.
9. **Patrick DG, van Noort R and Found MS.** Scale of protection and the various types of sports mouthguard. *Br J Sports Med*, **2005**; 39:278-281.
10. **Wei SH.** Prevention of injuries to anterior teeth. *Int Dent J*, **1974**; 24:30-49.
11. **Sperling LH.** *Introduction to Physical Polymer Science* (2nd ed). New York: John Wiley and Sons; **1992**: p. 1-65, 303-382.
12. **Rosen SL.** *Fundamental Principles of Polymeric Materials* (2nd ed). New York: John Wiley and Sons; **1993**: p. 9-52, 103-119.
13. Standard test method for high speed puncture properties of plastics using load and displacement sensors. *ASTM Standard D 3763-98*, June **1999**.
14. **Mendel D, Sanli Y, Brantley WA, Rashid RG, Harrell SL and Grentzer TH.** Energy absorption characteristics of three mouthguard materials. *J Dent Res*, **2004**; 83, Abstr. No. 565.

15. **Mendel D, Sanli Y, Brantley WA, Rashid RG, Harrell SL and Grentzer TH.** Energy absorption of three mouthguard materials at higher impact speed. *J Dent Res*, **2005**; 84, Abstr. No. 420.
16. **Bishop BM, Davies EH, von Fraunhofer JA.** Materials for mouth protectors. *J Prosthet Dent*, **1985**; 53:256-261.
17. **Westerman B, Stringfellow PM and Eccleston JA.** An improved mouthguard material. *Aust Dent J*, **1997**; 42:189-191.
18. **Kim SK and Shafiq RM.** Model for thickness effect with impact testing of viscoelastic materials. *J Appl Poly Sci*, **2001**; 81:1762-1767.
19. **Tran D, Cooke MS and Newsome PR.** Laboratory evaluation of mouthguard material. *Dent Traumatol*, **2001**; 17:260-265.
20. **Arsac A, Carrot C and Guillet J.** Rheological characterization of ethylene vinyl acetate copolymers. *J Appl Poly Sci*, **1999**; 74:2625-2630.
21. **Park JB, Shaull KL, Overton B, Donly KJ.** Improving mouth guards. *J Prosthet Dent* **1994**; 72:373-80.
22. **Westerman B, Stringfellow PM, Eccleston JA.** Forces transmitted through EVA mouthguard materials of different types and thickness. *Aust Dent J* **1995**; 40:389-91.
23. **Jagger R, Milward P, Waters M.** Properties of an experimental mouthguard material. *Int J Prosthodont* **2000**; 13:416-9.
24. **Bemelmans P, Pfeiffer P.** Shock absorption capacities of mouthguards in different types and thicknesses. *Int J Sports Med* **2001**; 22:149-53.
25. **Guevara PH, Hondrum SO, Reichl RB.** A comparison of commercially available mouthguards and a custom mouthguard. *Gen Dent* **2001**; 49:402-6.
26. **Westerman B, Stringfellow PM, Eccleston JA.** Beneficial effects of air inclusions on the performance of ethylene vinyl acetate (EVA) mouthguard material. *Br J Sports Med* **2002**; 36:51-3.
27. **Westerman B, Stringfellow PM, Eccleston JA.** EVA mouthguards: how thick should they be? *Dent Traumatol* **2002**; 18:24-7.
28. **Westerman B, Stringfellow PM, Eccleston JA, Harbrow DJ.** Effect of ethylene vinyl acetate (EVA) closed cell foam on transmitted forces in mouthguard material. *Br J Sports Med* **2002**; 36:205-8.
29. **Takeda T, Ishigami K, Shintaro K, Nakajima K, Shimada A, Regner CW.** The influence of impact object characteristics on impact force and force absorption by mouthguard material. *Dent Traumatol* **2004**; 20:12-20.

30. **Takeda T, Ishigami K, Handa J, Naitoh K, Kurokawa K, Shibusawa M, Nakajima K, Kawamura S.** Does hard insertion and space improve shock absorption ability of mouthguard? *Dent Traumatol* **2006**; 22:77-82.
31. **Duhaime CF, Whitmyer CC, Butler RS, Kuban B.** Comparison of forces transmitted through different EVA mouthguards. *Dent Traumatol* **2006**; 22:186-92.
32. **Hoffmann J, Alfter G, Rudolph NK, Goz G.** Experimental comparative study of various mouthguards. *Endod Dent Traumatol* **1999**; 15:157-63.
33. **Takeda T, Ishigami K, Jun H, Nakajima K, Shimada A, Ogawa T.** The influence of the sensor type on the measured impact absorption of mouthguard material. *Dent Traumatol* **2004**; 20:29-35.
34. **Walilko T, Bir C, Godwin W, King A.** Relationship between temporomandibular joint dynamics and mouthguards: feasibility of a test method. *Dent Traumatol* **2004**; 20:255-60.
35. **Hohne GWH, Hemminger W and Flammersheim HJ.** Differential Scanning Calorimetry. An Introduction for Practitioners. Berlin: Springer; **1996**: 1-97.
36. **Gill PS, Sauerbrunn SR and Reading M.** Modulated differential scanning calorimetry. *J Therm Anal*, **1993**; 40:931-939.
37. **Reading M, Elliott D and Hill VL.** A new approach to the calorimetric investigation of physical and chemical transitions. *J Them Anal*, **1993**; 40:949-955.
38. **Verdonck E, Schaap K and Thomas LC.** A discussion of the principles and applications of modulated temperature DSC (MTDSC). *Intl J Phar*, **1999**; 192:3-20.
39. **Bistac S, Kunemann P and Schultz J.** Crystalline modifications of ethylene-vinyl acetate copolymers induced by a tensile drawing: effect of the molecular weight. *Polymer*, **1998**; 39:4875-4881.
40. **Vickery JM, Brantley WA and Bardin TA.** MDSC study of melting and glass transitions in elastomeric dental impression materials. *Thermochimica Acta*, **2001**; 367-368:177-184.
41. **Brantley WA, Iijima M and Grentzer TH.** Temperature-modulated DSC provides new insight about nickel-titanium wire transformations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, **2003**; 124:387-394.
42. **Meng FH, Schricker SR, Brantley WA, Mendel DA, Rashid RG, Fields HW Jr, Vig KW, Alapati SB.** Differential scanning calorimetry (DSC) and temperature-modulated DSC study of three mouthguard materials. *Dent Mater.* **2007**; Apr 3; [Epub ahead of print].

8. ÖZGEÇMİŞ

Yurdanur Uçar 24.07.1976 tarihinde İskenderun'da doğdu. İlk öğrenimini İskenderun Namık Kemal İlkokulu'nda 1987 yılında, orta ve lise öğrenimini ise İskenderun İstiklal Makzume Anadolu Lisesi'nde 1994 yılında tamamladı. Aynı yıl Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nde yüksek öğrenimine başladı. 1999 yılında lisans programını tamamlayarak aynı yıl Eylül döneminde Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. 2000 yılında araştırma görevlisi kadrosuna atandı. 2002 yılında Yükseköğretim Kurulu'nun Çukurova Üniversitesi'ne ayırmış olduğu yurtdışı eğitim bursu kontenjanını almaya hak kazanarak 2003 yılı Ocak ayında Amerika Birleşik Devletleri Ohio State Üniversitesi'nde Dental Malzeme programında yüksek lisans'a başladı. Aynı yılın Eylül ayında ise eş zamanlı yürütmek üzere Oral Biyoloji doktora programına kabul edildi. Mayıs 2005 ve Aralık 2006'da sırası ile yüksek lisans ve doktora programlarından mezun olan Dr. Uçar, 2007 Ocak ayından itibaren Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.