

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ



PROJE BAŞLIĞI

Ultraviyole Işık ve Termal Siklusun Farklı Renkteki Ortodontik Elastomerik Materyallerin
Mekanik Özelliklerine Etkisi

Proje No: TSA-2014-5417

Proje Türü
Normal Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Adı Soyadı
Birimi/Bölümü
Doç.Dr.Ahmet Yağcı
Diş Hekimliği Fakültesi/Ortodonti Anabilim Dalı

Araştırmacının Adı Soyadı
Birimi/Bölümü
Araş. Gör. Yasemin Nur Korkmaz
Diş Hekimliği Fakültesi/Ortodonti Anabilim Dalı

Kasım 2016

KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi TSA-2014-5417 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	5
ABSTRACT	6
1. GİRİŞ/AMAÇ VE KAPSAM	7
2. GENEL BİLGİLER	8
3. GEREÇ VE YÖNTEM	9
4. BULGULAR	12
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	13
6. KAYNAKLAR	15

ÖZET

Elastomerik ürünler ortodontide elastik ligatürler, elastomerik chainler gibi pek çok formda ark telinin braketlere bağlanması, retraksiyon, diastemaların kapatılması, rotasyonların düzeltilmesi gibi amaçlarla sıklıkla kullanılmaktadır.

Renk seçebilme olanağı hastaların tedaviye olan ilgisini artırdığından, günümüzde birçok farklı renkte elastomerik elemanlar üretilmektedir. Elastomerik chain ve ligatürlerin kullanım ve uygulama kolaylığı gibi avantajları olsa da, çevresel faktörlerden etkilenerek deformasyona uğraması ve uyguladıkları kuvvetin zamanla azalması gibi olumsuz yönleri vardır.

Günümüzde sentetik elastomerlerin temel olarak yapıldığı madde poliüretandır. Ancak tam olarak inert bir materyal değildir, kimyasallar, ısı, ışık, ozon, gerilme ve depolama özellikleri gibi çevresel faktörlerden etkilenir, bu da renk ve şekil gibi özelliklerinde değişimlere neden olur. Polimerler özellikle ozon ve UV ışık etkilerine hassastır.

Maliyeti düşürmek için toplu olarak alınan ortodontik malzemelerin sıklıkla uzun süre depolanması gerekmektedir. Çalışmamızda UVA uygulaması, ışığa maruz kalan chainlerin kuvvet iletimini ve çekme dayanımını azalttığından yapay yaşlandırma modeli olarak kullanılmıştır. Farklı renkteki elastomerik materyallerin ışığı soğurma miktarı da farklı olacağından, bu çalışmada UVA uygulanmasının değişik renkteki elastomerik materyallere etkileri değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elastomer, Renk, Ultraviyole Işık, Elastomerik Chain

ABSTRACT

Elastomeric products are being used widely in orthodontics in forms of elastomeric ligatures and chains for purposes like attaching arch wires to brackets, retraction, diastema closing and correction of the rotations.

The ability to choose colors enhances patients' interest in treatment and thus, many color options are available nowadays. Elastomeric materials are easy to use but they have some disadvantages like deformation with the effect of environmental factors and force reduction with time.

Polyurethane is the main material elastomeric products are made of nowadays. But this material is not totally inert, it can easily be affected by chemicals, heat, light, ozone and storage characteristics and this will lead to the changes in their color and shape. Polymers are especially sensitive to ozone and UV light.

Orthodontic materials are usually purchased collectively to reduce the cost and they need to be stored for long durations. UVA application reduces the chains power transmission and tensile strength properties and it was used as an artificial aging method in our study. Different colored elastomeric materials will absorb the light in different amounts and thus, the effect of UVA application on different colored elastomerics was evaluated and compared in this study.

Keywords: Elastomeric Materials, Color, Thermal Cycle, Ultraviolet Light, Elastomeric Chain

1.GİRİŞ / AMAÇ VE KAPSAM

Elastomerik ürünler ortodontide elastik ligatürler, elastomerik chainler ve seperatorler gibi pek çok formda ark telinin braketlere bağlanması, retraksiyon, diastemaların kapatılması, rotasyonların düzeltilmesi gibi amaçlarla sıklıkla kullanılmaktadır. Renk seçebilme olanağı hastaların tedaviye olan ilgisini artırdığından, günümüzde birçok farklı renkte elastomerik elemanlar üretilmektedir. Elastomerik chain ve ligatürlerin kullanım ve uygulama kolaylığı, koltuk zamanını kısaltması, hasta için konforlu olması ve hasta uyumu gerektirmemesi gibi avantajları olsa da, çevresel faktörlerden etkilenerek deformasyona uğraması ve uyguladıkları kuvvetin zamanla azalması gibi olumsuz yönleri vardır. Bu durum sabit ve devamlı kuvvetler istenen uygulamalarda güçlük oluşturmaktadır. Ayrıca tork ve rotasyonların düzeltilmesi sırasında elastomerik ligatürlerle bağlanan ark telleri brakete tam olarak oturmayabilir ve kaydırma mekaniklerinde binding oluşabilir.

Günümüzde sentetik elastomerlerin temel olarak yapıldığı madde poliüretandır. Normal koşullarda bu polimer kolayca gerilir ve serbest bırakıldığında eski haline büyük oranda geri döner. Ancak tam olarak inert bir materyal değildir, kimyasallar, ısı, ışık, ozon, gerilme ve depolama özellikleri gibi çevresel faktörlerden etkilenir, bu da renk ve şekil gibi özelliklerinde değişimlere neden olur. Havada serbest oksijen radikalleri poliüretanı kolaylıkla indirger. Birçok sentetik polimer ortam ışığı gibi UV radyasyona maruz kalmaları sonucunda kolaylıkla indirgenir. Maruz kalma süresi ve şiddetine bağlı olarak bu materyaller çatlayabilir, parçalanabilir, renkleri bozulabilir. Elastomerlere eklenen pigment ve boyalarda da bozulma olabilir. UV ile indirgenme süreci serbest radikal oluşturan üçlü karbon zincirini içerir, bu da atmosferdeki oksijenle etkileşerek karbonil grubu oluşturur. Elastomerik ürünler ağız içinde tükürük ve mineral içeriğine, pH ve ısı değişikliklerine, yiyeceklere, mikroorganizmaların girişine, plak oluşumuna, çiğneme kuvvetine ve fırçalama sonucu abrazyona maruz kaldıkça zayıflar. Yapay yaşlandırma çevresel faktörlere maruziyet hızlandırılarak başarılabılır. Polimerler özellikle ozon ve UV ışık gibi serbest radikal üreten sistemlerin etkilerine hassastır. Raf ömrünü uzatmak için, elastomerik ürünlere üreticiler tarafından antioksidan ve antiozonlar eklenmektedir.

Bu projenin amacı yapay yaşlandırmanın (A tipi ultraviyole ışık uygulaması ve termal siklus) farklı üreticilerin ürettiği, farklı renkteki ortodontik elastomerik chain ve ligatürlerin mekanik özelliklerine etkisinin değerlendirilmesidir.

2.GENEL BİLGİLER

Günümüzde ortodontik elastomerik materyaller yüksek deformasyon kapasitesine sahip sentetik kauçuk polimerlerinden yapılmaktadır ve hipersensitiviteye neden olabilen lateksin yerini almışlardır. Elastikler üreterandan oluşur, böylece hafif ve sabit kuvvet uygularken daha yüksek deformasyon kapasitesine sahip olurlar. Moleküler yapı chain inaktifken katlanmış yapıdadır ancak chain gerildiğinde moleküller açılarak çizgisel ve düzenli bir hale gelir. Ozon ve ultraviyole radyasyon doymamış çift bağları moleküler düzeyde kırarak, esnekliğin ve çekme direncinin azalmasına neden olur. Bu etkileri azaltmak için üreticiler antioksidan ve ozon inhibitörlerini elastomerik materyallere eklerler (Graber vd., 1985; Nanda, 1997).

Elastomerik ligatür ve chainler basamaklı polimerizasyon ile meydana gelen, başlangıç spiral formuna dönmesini sağlayan çapraz bağlara sahip poliüretan polimerlerdir. Ancak elastik özelliklere sahip olmalarına rağmen, polimer zincirin yapısal deformasyonu nedeniyle daimi deformasyon meydana gelebildiğinden, kusursuz değildir. Bu olgu gerilim gevşemesi olarak adlandırılır ve elastomerik chain ve ligatürlerin gerilme kuvvetinde zamanla azalmaya sebep olur (Wong, 1976; Baty vd.,1994; Eliades vd., 1999).

Elastomerik materyallerin uyguladıkları kuvvetler zamanla azalma eğilimindedir. Hershey ve Reynolds (Hershey vd., 1975) uygulanmalarından dört hafta sonra elastik chainlerin kuvvetinin %60 oranında azaldığını; bu azalmanın %50'sinin kullanımın ilk gününde meydana geldiğini göstermişlerdir. Bir başka çalışmada, boşluk kapatmada kullanılan elastomerik ligatürlerin uyguladığı kuvvetin 5 ila 8 hafta arasında sıfıra düştüğü gösterilmiştir (Samuels vd., 1993). Farklı araştırmacılar, elastomerik ligatürlerin çekme direncindeki en büyük kaybın ilk 24 saat içinde meydana geldiğini ve bu kaybın ortalama %30'luk kısmının ilk saat içinde oluştuğunu göstermiştir (Wong vd., 1976; Baty vd., 1994; Taloumis vd., 1997; Bertocini vd., 2006). Materyaller arası farklılıklar ham maddenin farklı üretim tekniklerine, ürüne katılan ilave maddelere, morfolojik farklılıklara ve boyutsal karakteristiklere(elipsoidal veya sirküler yapı ve intermodüler bağlantıların olup olmaması) bağlıdır (De Genova vd., 1985; Lu vd., 1993; Stevenson vd.; 1994; Eliades vd., 2005; Bousquet vd., 2006).

Elastomerik chainlerin mekanik özelliklerini araştıran birçok çalışma yapılmıştır. Depolama ortamlarının chainlerin elastik özelliklerine etkisi farklı araştırmacılar tarafından incelenmiştir (De Genova vd., 1985; Ferriter vd., 1990; Huget vd., 1990; Lew, 1990; Jeffries ve Von Fraunhofer, 1991; von Fraunhofer vd., 1993; Stevensen ve Kusy, 1995). Bir çalışmada ışığın elastik chainlere etkisi belirtilmiş ve direk güneş ışığından korumak için chainlerin üretici

tarafından sağlanan konteynerlarda saklanması gerektiğini bildirmiştir (Baty vd., 1994). Sıcaklık artışı polimerlerin kauçuksu bir yapıya dönüşmesine sebep olur. Polimerler suyla kısa süreli temastan fazla etkilenmese de, dilüe asitler ve su ile uzun süreli temasta ayrışırlar. Bu faktörler şişme ve yavaş hidrolize neden olur (Roff vd., 1971). Eliades ve ark. (Eliades vd., 2004) farklı ortamlardan alınmış örneklerle gerilme direnci arasında bağlantı olmadığını belirtmiştir. Wahab ve ark. (Wahab vd., 2014) ise, transparan chainlere UVA uyguladıkları çalışmalarında gerilme direncinin yapay yaşlandırmadan etkilendiği belirtmiştir. Rock ve ark. (Rock vd., 1985) yeterli ortodontik kuvvet sağlamak için elastomerik ürünlerin orijinal boyutunun %50-75'i oranında gerilmesi gerektiğini belirtirken, Andreasen ve Bishara (Andreasen ve Bishara, 1970) ise materyalde intraoral ortamın etkisiyle oluşan kuvvet azalmasına engel olmak için, materyalin orijinal uzunluğunun dört katına kadar gerilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Farklı renkte materyaller oluşturmak için ligatür ve chainlerin elastomerik matriksine eklenen pigmentler, materyalin yapısını ve mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir (Lu vd., 1993; Baty vd., 1994; Renick vd., 2004). Lu ve ark. (Lu vd., 1993) çalışmalarında materyale eklenen pigmentler nedeniyle oluşan farklılıkları incelemiş ve gri olanlarla kıyaslandığında, transparan elastomerik ligatürlerin istatistiksel olarak daha üstün özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir. Dowling ve ark. (Dowling vd., 1998) gri ve turuncu ligatürlerle kıyaslandığında, şeffaf ligatürlerin daha düşük gerilim direncine sahip olduğunu göstermiştir. Farklı renkteki materyallerin farklı özellikler göstermesi renk seçimini etkileyebilir, daha stabil renkler daha az riskli biyolojik etkilere sahip olduğundan tercih sebebidir.

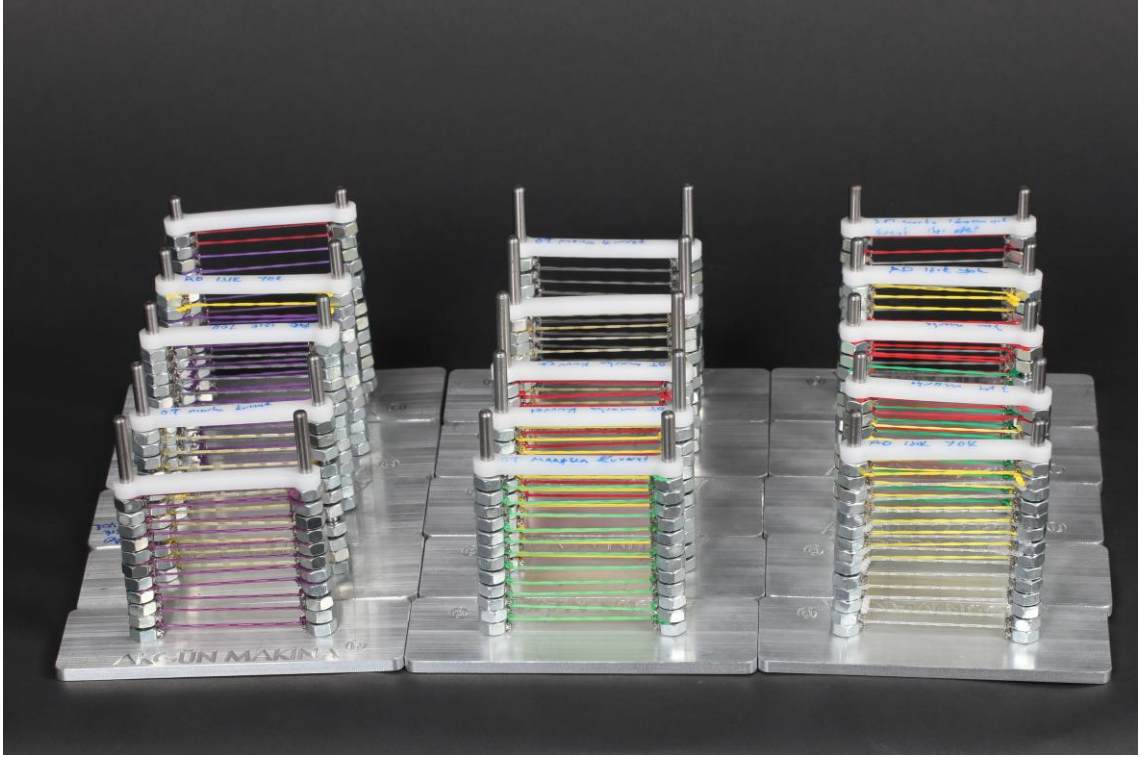
Termal siklus uygulaması diş hekimliğinde dental materyallerin makaslama dayanımı ve gerilme direnci testlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Farklı araştırmacılar tarafından restoratif bonding materyallerinin termal siklus testleri incelenmiştir (Gale ve Darvell, 1999; James vd., 2003; Morresi vd., 2014). Ancak literatürde ortodontik elastomerik materyallere termal siklus testleri uygulanmasının sonuçlarını araştıran herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

3.GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamızda yapay yaşlandırma modeli olarak kullanılacak UVA ışık uygulaması için UVA ışıkla polimerizasyon kutuları kullanılmıştır. Ultraviyole ışık 9 Watt güçte 4 adet floresan lamba ile sağlanmaktadır. İnceleme için 3 farklı firmadan (AO, 3M, OT) alınan farklı renkteki elastik ligatür ve chainler temin edilmiştir. Termal siklus uygulaması için Erciyes

Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarında bulunan termal siklus test cihazı kullanılmaktadır.

Elastomerik chainlerin gerilim direnci ve kuvvet kaybı olmak üzere iki özelliği incelenmiştir. Üç farklı firmadan alınan farklı renkteki chainler bu iki test için iki ayrı gruba ayrılmıştır. Gerilim direnci testi için her üründen 12'li chainler elde edilmiştir. Bu test için her renk ve ürün grubunda 15'er adet 12'li chain olacak şekilde UVA ışık uygulanmamış ve 7,14 gün UVA ışık uygulanmış gruplar ve 15 adet termal siklus uygulanmış grup olmak üzere örnekler gruplara ayrılmıştır. Ölçümler Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarında bulunan universal test cihazında (Instron, Canton, MA, USA) gerçekleştirilmiştir. Örneklerin ortasındaki 1.ve 6.halkalar chainin orijinal boyutu değiştirilmeden Instron cihazının uçlarına sabitlenen paslanmaz çelik telden hazırlanan kancalara takılmakta ve chainler kopana dek esnetilmiştir. Kopma anındaki kuvvetler kaydedilmiştir. Kuvvet kaybı testi için UVA uygulanmamış ve 7 ve 14 gün UVA ışık uygulanmış gruplar ve termal siklus test grubu oluşturulmuş ve her renk ve firma için her grupta 15'er adet 10'lu chain olacak şekilde örnekler hazırlanmıştır. Örnekler daha sonra gerilmeleri için kurulan düzeneklere aktarılmakta ve ölçüm öncesi belirlenen süreler boyunca ışıktan etkilenmemesi için karanlık bir ortamda bu düzeneklerde bekletilmiştir (Şekil 1). Düzenekler her örnek için orijinal boyutunun 3 katı aralıklara sahip olacak şekilde hazırlanmaktadır ve Instron cihazına aktarılırken boyutları sabit tutulmuştur. Örneklerin uyguladıkları kuvvet düzeyleri başlangıçta ve 1, 24 saat sonra ve 7, 14, 21 ve 28 gün sonunda ölçülmüştür (Şekil 2).



Şekil 1. Düzeneklerde gerilip karanlık ortamda bekletilen chainler



Şekil 2. Instron cihazında yapılan ölçümler

İstatistiksel Yöntem

Veriler IBM SPSS 22.0 (Statistical Package for Social Sciences, Chicago, Illinois, ABD) istatistik paket programında değerlendirildi. Verilerin normal dağılımı ‘Shapiro-Wilk’ testi ile değerlendirildi. Elde edilen verilerin grup içi istatistiksel değerlendirilmelerinde tekrarlayan ölçümlü varyans analizi kullanıldı. Gruplar arası karşılaştırmada tek yönlü varyans analizi kullanıldı. Çalışmamızda, $p < 0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

4.BULGULAR

T0 (Işık uygulanmamış), T1 (7 gün ışık uygulanmış) ve T2 (14 gün ışık uygulanmış) daki değerlerin grup içi istatistiksel karşılaştırılması sonucunda, American Orthodontics marka chainlerde yalnızca sarı ve yeşil renklerde istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuştur. 3M marka chainlerde gri renkli olanlar hariç tüm renk gruplarında anlamlı farklılık saptanmıştır. Ortho technology grubunda ise tüm renk gruplarında, yaşlandırma uygulanmamış ve 7 ve 14 gün ışıktaki bekletilmiş chainler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Grup içi ölçümlerin tekrarlayan ölçümlü varyans analizi ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen p değerleri

Renk/ Marka	Şeffaf	Gri	Kırmızı	Mor	Sarı	Yeşil
AO	0,303 ^{NS}	0,106 ^{NS}	0,264 ^{NS}	1 ^{NS}	0,004**	0,004**
3M	<0,001***	0,13 ^{NS}	<0,001***	0,013*	0,001**	0,001**
OT	<0,001***	<0,001***	<0,001***	0,001**	<0,001***	<0,001***

$p < 0,05$ *, $p < 0,01$ **, $p < 0,001$ ***, NS: İstatistiksel olarak anlamlı değil

Farklı renk gruplarına ait chainlerin gruplar arasındaki karşılaştırılmasında, ışık uygulanmayan grupta şeffaf renk grubu hariç, diğer 5 renkte AO, 3M ve OT marka chainler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. 7 gün ışık uygulanan grupta ise,

kırmızı renk grubu hariç tüm renk gruplarında 3 farklı marka arasında anlamlı farklılık saptanmıştır. 14 gün ışık uygulanan chain grubunda, tüm renk gruplarında, markalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Gruplar arasındaki ölçümlerin One Way Anova testi ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen p değerleri

Renk/ Grup	Şeffaf	Gri	Kırmızı	Mor	Sarı	Yeşil
Işık yok	0,605 ^{NS}	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***
7 gün ışık	<0,001***	<0,001***	0,855 ^{NS}	<0,001***	<0,001***	<0,001***
14 gün ışık	<0,001***	<0,001***	<0,001***	0,004**	<0,001***	<0,001***

$p < 0,01^{**}$, $p < 0,001^{***}$, NS: İstatistiksel olarak anlamlı değil

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Elastomerik chainler ortodontide sıklıkla kullanılan materyallerdir. Farklı chain renklerinin bulunması, hastaların tedaviye olan ilgisini artırmaktadır. Chainlerin yapısına eklenen renk pigmentleri, materyalin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Klinikte yaygın şekilde kullanıldıkları için, ortodontik elastomerik modüllerin performansı özellikle ilgi çeken bir alandır. Bu nedenle çalışmamızda, farklı renkteki elastomerik chainlerin uzun süreli bekleme koşullarını taklit edecek şekilde yaşlanmadan etkilenme ve mekanik özelliklerinde yaşlanma sonucu meydana gelen etkilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Elastomerik chainlerin kuvvet kaybı, pek çok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bu konudaki pek çok çalışmaya rağmen, farklı renkteki materyallerin kıyaslandığı çalışmalar çok değildir.

Çalışmalar, elastomerik ligatürlerin maksimum gerilim direnci kaybının kullanımlarından sonraki ilk 24 saat içinde ortaya çıktığını göstermekte ve bu kaybın yaklaşık %30'u ilk bir saat içinde gerçekleşmektedir (Baty vd., 1994). Chainler gerildiğinde, uzama enerjisinin bir kısmı ısı olarak açığa çıkar, diğer kısım moleküler reorganizasyon ve daimi deformasyon şeklinde görülür. Materyalin boyutundaki değişimler erken etki etmişse, örneğin retraksiyonun başlangıcından sonraki ilk 24 saat içinde, modülün boyutları kalan intraoral kullanımda artar. Ayrıca, gerilim direnci testi chainin yükleme yönüne göre kopmaya direncinin

değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu özellik, chainin kopma olasılığının ve yaşlanmanın materyalin gücüne olan etkisinin değerlendirilmesini kolaylaştırmaktadır (Eliades vd., 1999).

Aralıklı elastomerik chainlerin daha fazla uzama kabiliyeti, kısmen intermodüler alanda yüklemenin artmış birikimine bağlıdır. Bu durum, modüler halkada biriken kuvvetin çok daha fazla olduğu sıkı elastomerik chainlerde tam tersidir (Eliades vd., 2004). Çalışmamızda, bu farklılığın üstesinden gelebilmek amacıyla sıkı chainlerin kullanılması tercih edilmiştir.

Çalışmamızın sonuçları, polimerlerin UVA uygulaması sonrasında indirgendiğini ve gerilim direnci ve kuvvet kaybı miktarlarının arttığını göstermiştir. Ortho technology marka chainler, UVA ışık uygulamasından en çok etkilenen chainler olarak bulunmuştur. 2. Sırada 3M marka chainler etkilenirken, UVA ışık uygulamasından en az miktarda etkilenen chainler American Orthodontics marka chainler olmuştur. Tüm markalarda yaşlandırma sonucunda özelliklerini kaybetmeden yaşlandırmaya en çok dayanıklı bulunan renkteki chain, gri chainler olmuştur. Sarı ve yeşil chainler ise, yaşlandırma yöntemlerinden en çok etkilenen chainler olarak tespit edilmiştir. UVA ışık uygulamasının süresi arttıkça, yani materyalin yaşlanma süresi arttıkça, materyallerin özelliklerinde daha fazla bir düşüş tespit edilmiştir. Tüm renklerde 14 gün yaşlandırmaya maruz kalan dişlerde, ışık uygulaması yapılmayan ve 7 gün ışık uygulanan chainlerden daha fazla mekanik özellik kaybı meydana gelmiştir.

Çalışmamız sırasında, ışık uygulama kutularında bekletilirken chainlerin oda sıcaklığında tutulması mümkün olamamıştır. Ancak, UVA kutularında tüm chainler aynı ısıda olduğundan, çalışmamızın sonuçları üzerinde büyük bir etkiye sahip değildir.

Bu bilgiler ışığında çalışmamızın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

1. UVA ışık uygulaması ile yaşlandırma chainlerin mekanik özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.
2. Yaşlandırma süresi arttıkça mekanik özelliklerdeki düşüş artmaktadır.
3. Yaşlandırmadan en az etkilenen ve en dayanıklı olan marka American Orthodontics ve en dayanıklı olan renk gri olarak bulunmuştur.
4. Klinikte bekleme ve depolanma süresi uzun olan bu materyaller seçilirken, özellikle uzun süre depolanacak materyaller için renk seçiminde gri rengin tercih edilmesi, materyalin fiziksel özelliklerinin daha uzun süre korunması açısından faydalı olacaktır.

6.KAYNAKLAR

Andreasen G F, Bishara S. 1970. Comparison of elastik chains with elastics involved with intra-arch molar to molar forces, *The Angle Orthodontist*, 40, 151–158.

Baty DL, Storie DJ, von Fraunhofer JA. 1994. Synthetic elastomeric chains: a literature review, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 105(6), 536-42.

Baty DL, Volz JE, von Fraunhofer JA. 1994. Force delivery properties of colored elastomeric modules, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 106(1), 40-6.

Bertoncini C, Cioni E, Grampi B, Gandini P. 2006. In vitro properties changes of latex and non-latex orthodontic elastics, *Prog Orthod*, 7(1), 76-84.

Bousquet JA Jr, Tuesta O, Flores-Mir C. 2006. In vivo comparison of force decay between injection molded and die-cut stamped elastomers, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 129(3), 384-9.

De Genova DC, McInnes-Ledoux P, Weinberg R, Shaye R. 1985. Force degradation of orthodontic elastomeric chains: a product comparison study, *Am J Orthod*, 87(5), 377-84.

Dowling PA, Jones WB, Lagerstrom L, Sandham JA. 1998. An investigation into the behavioural characteristics of orthodontic elastomeric modules, *Br J Orthod*, 25, 197-202.

Eliades T, Eliades G, Watts DC. 1999. Structural conformation of in vitro and in vivo aged orthodontic elastomeric modules, *Eur J Orthod*, 21(6), 649-58.

Eliades T, Eliades G, Silikas N, Watts D C. 2004. Tensile properties of orthodontic elastomeric chains, *European Journal of Orthodontics*, 26, 157–162.

Eliades T, Eliades G, Silikas N, Watts D C. 2005. In vitro degradation of polyurethane orthodontic elastomeric modules, *Journal of Oral Rehabilitation*, 32, 72–77.

Ferriter JP, Meyers CE Jr, Lorton L. 1990. The effect of hydrogen ion concentration on the force-degradation rate of orthodontic polyurethane chain elastics, *Am J Orthod*, 98, 404–410.

Gale MS, Darvell BW. 1999. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations, *Dent*, 27(2), 89-99.

Graber TM., Swain BF. 1985. *Orthodontics: Current principles and techniques*. St. Louis: The CV Mosby Company. Hershey HG, Reynolds WG. 1975. The plastic module as an orthodontic tooth-moving mechanism, *Am J Orthod*, 67, 554–562.

Huget E F, Patrick K S, Nunez L J. 1990. Observations on the elastic behavior of a synthetic orthodontic elastomer, *Journal of Dental Research*, 69, 496–501.

James JW, Miller BH, English JD, Tadlock JP, Buschang PH. 2003. Effects of high-speed curing devices on shear bond strength and microleakage of orthodontic brackets, *Am J Orthod*, 123(5),555-61.

Jeffries C L, von Fraunhofer J A. 1991. The effects of 2% alkaline glutaraldehyde solution on the elastic properties of elastomeric chain, *The Angle Orthodontist*, 61, 25–30.

Lew K K K. 1990. Staining of clear elastomeric modules from certain foods, *Journal of Clinical Orthodontics*, 24, 472–474.

Lu TC, Wang WN, Tarnng TH, Chen JW. 1993. Force decay of elastomeric chain: A serial study. Part II, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 104(4), 373-7.

Morresi AL, D'Amario M, Capogreco M, Gatto R, Marzo G, D'Arcangelo C, Monaco A. 2014. Thermal cycling for restorative materials: does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *J Mech Behav Biomed Mater*, 29, 295-308. Nanda R. 1997. *Biomechanics in clinical orthodontics*. WB Saunders Co.

Renick MR, Brantley WA, Beck FM, Vig KW, Webb CS. 2004 Studies of orthodontic elastomeric modules. Part 1: Glass transition temperature for representative pigmented products in the as received condition an after orthodontic use, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126(3), 337-43.

Rock W P, Wilson H J, Fisher S E. 1985. A laboratory investigation of orthodontic elastomeric chains, *British Journal of Orthodontics*, 12, 202–207.

Roff W.J., Scott J.R. 1971. *Fibers, Films, Plastics and Rubbers: Handbook of Common Polymers*. London Butterworths.

Samuels RHA, Rudge SJ, Mair LH. 1993. A comparision of the rate of space closure using a nickel titanium spring and an elastic module: a clinical study, *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 103, 404-7.

Stevenson JS, Kusy RP. 1994. Force application and decay characteristics of untreated and treated polyurethane elastomeric chains, *Angle Orthod*, 64(6), 455-64.

Stevensen J S, Kusy R P. 1995. Structural degradation of polyurethanebased elastomeric modules, *Journal of Material Science*, 6, 377–384.

Taloumis LJ, Smith TM, Hondrum SO, Lorton L. 1997. Force decay and deformation of orthodontic elastomeric ligatures, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 111(1), 1-11.

Von Fraunhofer J A, Coffelt M T, Orbell G M. 1993. The effects of artificial saliva and topical fluoride treatments on the degradation of the elastic properties of orthodontic chains, *The Angle Orthodontist*, 62, 265–274.

Wahab SW, Bister D, Sherriff M. 2014. An investigation into UV light exposure as an experimental model for artificial aging on tensile strength and force delivery of elastomeric chain, *Eur J Orthod*. 36(1), 47-54.

Wong AK. 1976. Orthodontic elastic materials, *Angle Orthod*, 46(2), 196-205.