

## Silika İle Güçlendirilmiş Maksillofasiyal Silikon Elastomerlerin Fiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

### Evaluation of the Physical Properties of Maxillofacial Silicone Elastomers Reinforced with Silica

Banu Karayazgan-Saraçoğlu<sup>a</sup>, DDS, PhD

<sup>a</sup> Başkent Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi A.D.

#### Özet

**Amaç:** Yüz protezi uygulamalarında kullanılan silikon elastomerlerde karşılaşılan en büyük problemlerden biri özellikle protez kenarlarda meydana gelen yırtılmalar ve bu sebeple protezin yenilenme ihtiyacıdır. Çalışmanın amacı silikon elastomerleri güçlendirmede kullanılan silikanın farklı oranlarda ilavesinin fiziksel özelliklere etkisini değerlendirmektir.

**Gereç ve Yöntem:** Çalışmada, silikon elastomere %10, 20 ve 30 oranında silika ilave edildi. Daha sonra çekme direnci, uzama yüzdesi, yırtılma direnci ve sertlik değerleri ölçüldü. Çalışma verileri değerlendirilirken niceliksel verilerin karşılaştırılmasında tekrarlayan ölçümlerde varyans analizi ve anlamlılığa neden olan ölçümün tespitinde Post-Hoc Bonferroni Test kullanıldı. Anlamlılık  $p < 0.05$  düzeyinde değerlendirildi.

**Bulgular:** Çekme direnci en yüksek olarak %20 oranında silika ilave edildiğinde gözlemlendi. Uzama oranı ise en fazla saf silikonda ve bunu takiben %10'luk silika ilavesinde görüldü. Yırtılma direnci en fazla %30 silika ilaveli silikonda gözlemlendi. Bununla beraber sertlik de en fazla bu oranda izlendi.

**Sonuç:** Silikon elastomerlerine %20'lik silika ilavesi malzemenin mukavemetini pozitif yönde etkilemektedir. Bunun üzerindeki oranlarda yapılan ilavenin yapıyı bozduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yüz protezi, silikon elastomer, silika, güçlendirme

#### Abstract

**Purpose:** One of the problems encountered in silicone elastomers used for facial prosthesis is degradation especially at the edges and gradually the need for refabricating. The aim of this study was to evaluate the effect of silica used for reinforcement of silicone elastomer added in various ratios on the physical properties of the material.

**Material and Methods:** Silica in 10, 20 and 30% ratios were added into the silicone elastomer. Then tensile strength, elongation percent, tear strength and hardness values were measured. As the data were evaluated, repeated measures analysis of variances were used in the comparison of quantitative data and Post-Hoc Bonferroni Test was used to determine the measurements that caused significance. Significance was assessed at  $p < 0.05$  level.

**Results:** Tear strength was observed to be highest as 20% silica was added. Elongation ratio was highest in pure silicone and then 10% silica addition. Tear strength was observed to be highest in 30% silica addition; however, hardness was highest in this ratio as well.

**Conclusion:** 20% silica addition has been found to have a positive effect on the strength of silicone elastomer. The additions over this ratio were observed to distort the structure.

**Keywords:** Maxillofacial Elastomers, silicone, silica reinforcement

Dr. Banu Karayazgan-Saraçoğlu  
Başkent Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi  
Protetik Diş Tedavisi AD  
İstanbul Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezi Hastanesi  
Mahir İz Cad. No:43 34662  
Altunizade/İSTANBUL  
Tel: 0 216 6515153 / 0 532 3325280  
Fax: 0 216 6513882  
E-posta: bkyazgan@gmail.com

#### Giriş

Maksillofasiyal silikon elastomerler kaza, travma, kanser cerrahisi gibi sonradan meydana gelmiş veya doğumsal eksiklikler sonucu bozulmuş veya kaybedilmiş bir yüz bölgesinin protetik olarak tedavi edilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Bu amaçla kullanılan protezler hastanın kaybetmiş olduğu estetiği

yeniden sağlayarak yaşam kalitesine olumlu yönde etki ederler.<sup>1-4</sup>

Bir yüz protezinin ortalama ömrü 6-14 ay olarak kabul edilmektedir.<sup>1,5-8</sup> Yüz protezleri genellikle renklerinin solması ve özellikle kenarlarda meydana gelen bozulmalar ve yırtılmalar sebebiyle değiştirilmektedirler.<sup>5,7,9,10</sup> Silikon elastomerlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri sıklıkla yapılarındaki çapraz bağlantılara veya elastomer ağındaki dolgu malzemelerinin tipine ve konsantrasyonuna bağlıdır. Buna ek olarak termal başlatıcılar, diğer ilaveler, polimerizasyon süresi ve ısı gibi faktörler de silikon materyalinin mukavemetine ve dolayısıyla kullanım süresine etki etmektedir.<sup>11-13</sup>

Maksillofasiyal silikon elastomerlerin fiziksel özellikleri renklendirici ajanları, cam ve silika fiberler, seramik lifler, sellüler fiberler veya karbon blok silika kullanılarak güçlendirilmeye çalışılmıştır. Bununla beraber bu malzemelerin kontrollü oranlarda ilavesine ihtiyaç vardır. Aksi takdirde fiziksel özelliklerine olumsuz yönde etki edebilirler.<sup>14-23</sup>

Silika (SiO<sub>2</sub>), yer kabuğunda en çok rastlanılan materyallerden biridir. Bu materyal serbest veya diğer metal oksitlerle bir arada bulunur. Silika kimyasal materyallere ve ısıya dayanıklıdır ve termal genişleme katsayısı düşüktür. Yoğunluğu 2,65-2,70 gr/cm<sup>3</sup>'dür ve sertliği Mohs skalasına göre 7'dir. Bu özelliklerine bağlı olarak aşınmaya dirençlidir ve en çok kullanılan dolgu malzemelerindendir.<sup>22,24-27</sup>

Literatürde farklı oranlarda silika ilavesinin hangi fiziksel özellikleri ne şekilde etkilediğine dair çok az çalışma mevcuttur.<sup>12-14,16</sup> Çalışmanın amacı, yüz protezi yapımında kullanılan silikon elastomerlerin güçlendirilmesi amacıyla yararlanılan silikanın %10, 20 ve 30 oranlarında ilavesinin çeşitli fiziksel özelliklere ne şekilde etki ettiğini araştırmaktır.

## Gereç ve yöntem

### *Kalıpların Hazırlanması*

Kullanılacak silikon elastomeri bir kalıp içine doldurmak amacıyla ASTM D412 ve ASTM D624 standartlarına uygun kauçuk modeller hazırlandı ve bu hazırlanan modeller bir metal mufla (Teknovent Ltd, Leeds, UK) içinde üretici firmanın tavsiye ettiği doğrultuda karıştırılmış alçıya (Glass Stone 3000, Type V, Dentsply Int Inc, York, PA, USA) gömüldü. Alçının sertleşmesini takiben modeller çıkartıldı ve oluşan negatif kalıplar içerisine silikon örneklerinin doldurulmasına imkân sağlandı.

### *Silikon Elastomerinin Hazırlanması*

Çalışmada yüz protezi uygulamalarında çok sıklıkla kullanılan bir silikon elastomer olan A-2186 (Factor II Inc., Lakeside, AZ, USA) kullanıldı. A-2186 bir elektronik hassas terazi (Type AX120, Shimadzu Corp., Japan) yardımıyla katalizörü ile 10:1 oranında bir basınçlı karıştırıcıda (Whip Mix Corp., Louisville, KY, USA) 20 saniye boyunca karıştırıldı. Bu karışımın dörtte biri ayrılarak kontrol grubunu oluşturdu. Kalan kısmı üçe bölünerek hacminin %10, 20 ve 30'u kadar silika tozu (Cab-o-sil, Eico Novachem, MI, Italy) ilave edilerek homojen şekilde karıştırıldı ve çalışma grubu olarak tayin edildi.

Bu dört farklı grup ayrı ayrı 30 cc'lik enjektörlere çekilip kalıpların içine içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde enjekte edilerek dolduruldu. Örnekler bir kuru hava fırını vasıtasıyla 65°C'de 4 saat ve daha sonra 100°C'de 1 saat boyunca polimerize edildi. Polimerizasyonu takiben örnekler kalıptan çıkartıldı, bisturi vasıtasıyla fazlalıklar temizlendi ve herhangi bir defekt içerip içermediklerine dair incelendikten sonra deneyler için hazır edildi.

### *Mekanik Testler*

Çekme testleri ve uzama testleri (yüzde olarak) ASTM D412 standartlarına uygun olarak hazırlanmış örneklerle bir üniversal test cihazı (Zwick 3130, Kutlu Ltd, İstanbul) vasıtasıyla yapıldı. Çekme testleri 100 kg'lık bir yük uygulayarak piston hızı 500 mm/dak olacak şekilde yapıldı. Uzama testleri için ekstensometre uçları birbirinden 25 mm lik bir mesafede yerleştirildi.

Yırtılma testleri ASTM D624 standartlarına uygun olarak hazırlanmış örneklerle yapıldı. Bu testler 51mm/dak'lık bir piston hızıyla gerçekleştirildi ve sonrasında ölçümler yapıldı.

Shore A sertlik testi, ASTM 2240 ve ISO 868 standartlarına uygun olarak bir elektronik shore sertlik ölçme cihazı (Zwick 3130, Kutlu Ltd, İstanbul) ile yapıldı. Her örnek için 3 kez ölçüm yapıp, bunların ortalaması alınıp o şekilde kaydedildi.

### *İstatistiksel Analiz*

Çalışmada elde edilen bulgular değerlendirilirken, istatistiksel analizler için NCSS (Number Cruncher Statistical System) 2007&PASS 2008 Statistical Software (Utah, USA) programı kullanıldı. Verileri değerlendirilirken niceliksel verilerin karşılaştırılmasında Tekrarlayan Ölçümlerde Varyans analizi ve anlamlılığa neden olan ölçümün tespitinde Post-Hoc Bonferroni Test kullanıldı. Anlamlılık p<0.05 düzeyinde değerlendirildi.

## Bulgular

Silika ilave edilmemiş ve %10, 20 ve 30 oranlarında ilave edilmiş silikon elastomerlerinin çeşitli fiziksel özelliklerine dair test bulguları tablo 1'de gösterilmektedir.

**Tablo1.** Saf silikon ve %10, 20 ve 30 oranında silika içeren deney örneklerinin test bulgularının ortalamaları

MATERYAL	ÇEKME DİRENCİ (MPa)	UZAMA YÜZDESİ (%)	YIRTILMA DİRENCİ (KN/m)	SERTLİK DERECESESİ (Shore A)
Saf silikon	4,128	605,988	4,211	12,040
%10 silika ilaveli silikon	4,796	593,932	5,008	12,820
%20 silika ilaveli silikon	5,633	592,516	6,668	13,250
%30 silika ilaveli silikon	3,392	519,237	6,888	18,240

Çekme direnci incelendiğinde, saf silikon ve farklı oranlarda silika ilave edilmiş silikonlara dair ölçümler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulundu ( $p<0.01$ ). Saf silikona ait ölçüm değerleri, %10, %20 ve %30 silika eklendiğinde elde edilen ölçüm değerlerine göre anlamlı farklılık göstererek daha düşük sonuçlar elde edildi ( $p<0.01$ ). %20 silika eklendiğinde elde edilen değer, %10 ve %30 silika eklendiğinde elde edilen değerlere göre anlamlı ve yüksek bulundu ( $p<0.01$ ). %10 silika eklendiğinde elde edilen ölçüm değeri, %30 silika değerine göre anlamlı ve yüksekti ( $p<0.01$ ). (Tablo 2, şekil 1)

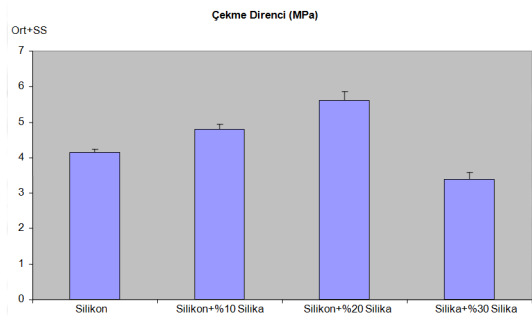
**Tablo 2.** Saf silikon ve %10, 20 ve 30 oranında silika içeren deney örneklerinin çekme direncinin (MPa) değerlendirilmesi

	Çekme Direnci (MPa)		<sup>+</sup> p
	Ort±SS		
Saf silikon	4,13±0,10		<b>0,001**</b>
%10 Silika	4,79±0,16		
%20 Silika	5,63±0,23		
%30 Silika	3,39±0,19		
Silikon-%10 Silika <sup>++</sup> p	<b>0,001**</b>		
Silikon-%20 Silika <sup>++</sup> p	<b>0,001**</b>		
Silikon-%30 Silika <sup>++</sup> p	<b>0,001**</b>		
%10 Silika-%20 Silika <sup>++</sup> p	<b>0,001**</b>		
%10 Silika-%30 Silika <sup>++</sup> p	<b>0,001**</b>		
%20 Silika-%30 Silika <sup>++</sup> p	<b>0,001**</b>		

<sup>+</sup> Tekrarlayan Ölçümlerde Varyans Analizi

<sup>++</sup> Post Hoc Bonferroni Test

\*\*  $p<0.01$



**Fig 1.** Farklı silika ilavelerinin çekme direncine etkisi

Uzama yüzdeleri değerlendirildiğinde, saf silikon, %10, %20 ve %30 silika ilave edilmiş silikon ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulundu ( $p<0.01$ ). Silikon materyaline %30 oranında silika eklendiğinde elde edilen değer, diğer tüm ölçümlere göre anlamlı ve düşük olarak belirlendi ( $p<0.01$ ). Saf silikon, %10 ve %20 oranında silika ilave edilmiş silikonların ölçüm değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmadı ( $p>0.05$ ). (Tablo3, Şekil 2)

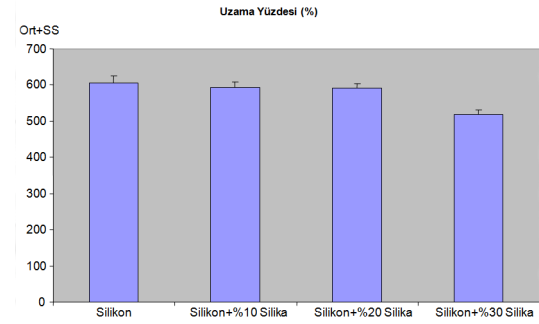
**Tablo3.** Saf silikon ve %10, 20 ve 30 oranında silika içeren deney örneklerinin uzama yüzdesinin değerlendirilmesi

	Uzama Yüzdesi (%)		<sup>+</sup> p
	Ort±SS		
Saf silikon	605,99±20,12		<b>0,001**</b>
%10 Silika ilavesi	593,93±13,55		
%20 Silika ilavesi	592,51±10,19		
%30 Silika ilavesi	519,24±10,64		
Silikon-%10 Silika <sup>++</sup> p	0,537		
Silikon-%20 Silika <sup>++</sup> p	0,471		
Silikon-%30 Silika <sup>++</sup> p	<b>0,001**</b>		
%10 Silika-%20 Silika <sup>++</sup> p	1,000		
%10 Silika-%30 Silika <sup>++</sup> p	<b>0,001**</b>		
%20 Silika-%30 Silika <sup>++</sup> p	<b>0,001**</b>		

<sup>+</sup> Tekrarlayan Ölçümlerde Varyans Analizi

<sup>++</sup> Post Hoc Bonferroni Test

\*\*  $p<0.01$



**Fig 2.** Farklı silika ilavelerinin uzama yüzdesine etkisi

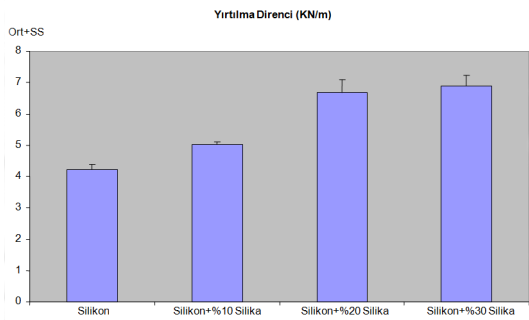
Yırtılma direncine bakıldığında saf silikon ve farklı oranlarda silika ilave edilmiş silikonlara dair ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulundu ( $p<0.01$ ). Saf silikon değerleri silika ilave edilmiş silikonlara kıyasla anlamlı ve düşüktü ( $p<0.01$ ). %10 silika eklendiğinde elde edilen değer, %20 ve %30 silika eklendiğinde elde edilen değerlere göre anlamlı ve düşük idi. %20 silika ve %30 silika eklendiğinde elde edilen ölçüm değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmadı ( $p>0.05$ ). (Tablo 4, şekil 3)

**Tablo 4.** Saf silikon ve %10, 20 ve 30 oranında silika içeren deney örneklerinin yırtılma dirençlerinin (KN/m) değerlendirilmesi

	Yırtılma Direnci(KN/m)		*p
	Ort±SS		
Saf silikon	4,21±0,18		
%10 Silika	5,01±0,10		0,001**
%20 Silika	6,67±0,43		
%30 Silika	6,89±0,33		
Silikon-%10 Silika **p	0,001**		
Silikon-%20 Silika **p	0,001**		
Silikon-%30 Silika **p	0,001**		
%10 Silika-%20 Silika **p	0,001**		
%10 Silika-%30 Silika **p	0,001**		
%20 Silika-%30 Silika **p	1,000		

\* Tekrarlayan Ölçümlerde Varyans Analizi

\*\* Post Hoc Bonferroni Test \*\* p&lt;0,01

**Fig 3.** Farklı silika ilavelerinin yırtılma direncine etkisi

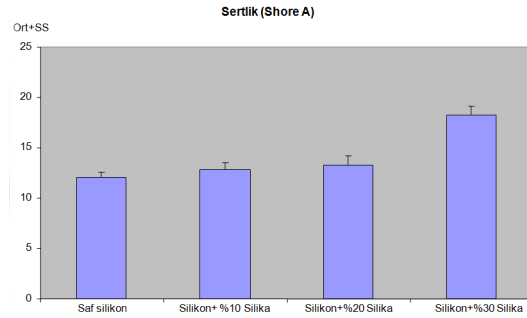
Sertlik değerlendirildiğinde ise, saf silikon ile %10, %20 ve %30 oranında silika ilave edilmiş silikon ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmadı ( $p<0.01$ ). %30 silika eklendiğinde elde edilen değer, diğer tüm ölçümlere göre anlamlı ve yüksekti ( $p<0.01$ ). Bununla beraber, diğer oranlar ve saf silikonda elde edilen oranlar arasında anlamlı bir farklılık bulunmadı ( $p>0.05$ ). (tablo5, Şekil 4)

**Tablo 5.** Saf silikon ve %10, 20 ve 30 oranında silika içeren deney örneklerinin sertliklerinin (Shore A) değerlendirilmesi

	Sertlik (Shore A)		*p
	Ort±SS		
Saf silikon	12,04±0,52		
%10 Silika	12,82±0,71		0,001**
%20 Silika	13,25±0,98		
%30 Silika	18,24±0,86		
Silikon-%10 Silika **p	0,138		
Silikon-%20 Silika **p	0,060		
Silikon-%30 Silika **p	0,001**		
%10 Silika-%20 Silika **p	1,000		
%10 Silika-%30 Silika **p	0,001**		
%20 Silika-%30 Silika **p	0,001**		

\* Tekrarlayan Ölçümlerde Varyans Analizi

\*\* Post Hoc Bonferroni Test \*\* p&lt;0,01

**Fig 4.** Farklı silika ilavelerinin sertliğe etkisi

## Tartışma

Bir maksillofasial protezin yapılması hem zaman hem de emek isteyen zorlu bir prosedürdür. Buna rağmen yüz protezinin renginin solması ve yapısında meydana gelen şekil bozulmaları sıklıkla değiştirmelerini gerektiren faktörlerdendir.<sup>5,7,8</sup> Yayınlanmış birçok çalışmada silikon elastomerinin bozulmasına dair araştırmalar genellikle mekanik özelliklerden ziyade renk değişimi üzerine odaklanmaktadır.<sup>5,7,8,10,20,21</sup>

Silikon elastomerlerin en önemli dezavantajlarından biri özellikle protez kenarlarında meydana gelen yırtılma ve bozulmalardır.<sup>22</sup> Yeterli mukavemet ve yırtılma direnci sağlamak amacı ile silika tozu, cam fiber veya doğal fiberlerin ilave edilmesine yönelik çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bununla beraber bu ilavelerin farklı oranlarının yapı üzerinde ne şekilde bir etkisi olduğuna dair çalışmalar sayılıdır.<sup>12-19,22,23,27</sup>

İlk kez 1962'de Bowen, BIS-GMA reçinesine silika tozu ilave etmiş ve bunu "Bowen reçinesi" olarak tanımlamıştır. Silikanın diş hekimliğinde kullanımı bu şekilde başlamıştır.<sup>28,29</sup> Hodosh ve arkadaşları da silika tozunu PMMA'ya ilave ederek kök formunda implantlar üretmişlerdir.<sup>30</sup> Tappe ve arkadaşları da hareketli protezlerde kullanılan akrilik dişlere silika tozunu ilave ederek yırtılma direncini arttırmaya çalışmışlardır.<sup>31</sup>

Andreopoulos ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında %30-35 oranında silika içeren örneklerde uzama oranlarında artış gösterirken, %35-50 oranında azalma göstermiştir. Aynı çalışmada hacimsel olarak %30-50 oranında silikon matriks içine ilave edilen silikanın çekme direncinin %30-35 arasında artış gösterirken %35-40 arasında azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.<sup>12,16</sup> Yüksek oranda dolgu maddesi ilavelerinin uzama yüzdesinde belirli bir orana kadar artış gösterdikten sonra azalması agregasyon ve diğer olumsuzluklar

sebebiyle partiküllerin ana matriks içerisinde düşük dağılım göstermelerinden olabilir.

Dolgu maddesinin ilavesi ile sertlikte meydana gelen artış dolgu yüzdesi ile malzemenin sertliğinin paralel olarak artması polimer matriksine göre daha sert olan dolguların yapıdaki yoğunluklarına bağlıdır.<sup>12-16,22,27</sup>

Bir yüz protezinde malzemenin elastikliği ve irritasyona sebep olmaması açısından sert olmaması tercih edilen özelliklerdendir.<sup>1,2,6</sup> %30luk silika ilavesinde uzama yüzdesi oldukça azalmış ve sertlik anlamlı derecede artmıştır. Bu farklılıklar bir yüz protezinin kullanımında belirgin derecede dezavantajlara sebep olacaktır. Bu sebeple %20 oranında silika ilavesinde yeterli derecede çekme ve yırtılmaya direnç sağlanacağı görülmüştür.

### Sonuçlar

Silika ilavesi silikon elastomerlerin çekme ve yırtılma direncini arttırmak amacıyla kullanılabilirler. Bu durumu araştırmak üzere elde verilerin sonucunda silikon elastomerin içersine %20 oranında silika ilave edilmesi malzemenin mekanik özelliklerinin daha iyileşmesi açısından etkili bulunmuştur. %30 oranında ilave edilmesi, uzama yüzdesinin azalması ve sertliğin gereğinden fazla artması sebebiyle silikona istenmeyen bir özellik vermektedir.

### Kaynaklar

1. Beumer J, Curtis TA, Maurinick MT. Maxillofacial rehabilitation: Prosthodontic and surgical considerations, St. Louis: Elsevier; 1996. p.377-436.
2. Bailey LW, Edward D. Psychological considerations in maxillofacial prosthetics. J Prosthet Dent 1975; 34: 533-8.
3. Sela M, Lowental U. Therapeutic effects of maxillofacial prostheses. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1980; 50: 13-16.
4. Keerl R, Weber R, Scholtes W, Draf W, Heeis G, Trainer D. Prosthetic rehabilitation after craniofacial surgery. Skull Base Surgery 1996; 6: 207-13.
5. Haug SP, Moore BK, Andres CJ. Color stability and colorant effect on maxillofacial elastomers. Part II: Weathering effect on physical properties. J Prosthet Dent 1999; 81: 423-30.
6. Wolfaardt JF, Chandler HD, Smith BA. Mechanical properties of a new facial prosthetic material. J Prosthet Dent. 1985;53:228-34.

7. Mohite UH, Sandrik JL, Land MF, Byrne G. Environmental factors affecting mechanical properties of facial prosthetic elastomers. Int J Prosthodont 1994; 7: 479-86.
8. Hulterstrom AK, Ruyter IE. Changes in appearance of silicone elastomers for maxillofacial prostheses as a result of aging. Int J Prosthodont 1999; 12: 498-504.
9. Hooper SM, Westcott T, Evans PL, Bocca AP, Jagger DC. Implant-supported facial prosthesis provided by a maxillofacial unit in a U.K. regional hospital: Longevity and patient opinions. J Prosthodont 2005; 14: 32-5.
10. Gary JJ, Huget EF, Powell LD. Accelerated color change in a maxillofacial elastomer with and without pigmentation. J Prosthet Dent 2001; 85: 614-20.
11. Bellamy K, Limbert G, Waters MG, Middleton J. An elastomeric material for facial prostheses: synthesis, experimental and numerical testing aspects. Biomaterials 2003; 24: 5061-6.
12. Andreopoulos AG, Evangelatou M. Evaluation of various reinforcements for maxillofacial silicone elastomers. J Biomater Appl 1994; 8: 344-60.
13. Sweeney WT, Fischer TE, Castleberry DJ, Cowperthwaite GF. Evaluation of improved maxillofacial prosthetic materials. J Prosthet Dent 1972; 27: 297-305.
14. Abdelmouleh M, Boufi S, Belgacem MN, Dufresne A. Short natural-fiber reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibers loading. Composites Science and Technology 2007; 67: 1627-39.
15. Krause WR, Park SH, Straup RA. Mechanical properties of Bis-GMA resin short glass fiber composites. J Biomed Mater Res 1989; 23: 1195-1211.
16. Andreopoulos AG, Evangelatou M, Tarantili PA. Properties of maxillofacial silicone elastomers reinforced with silica powder. J Biomater Appl 1998; 13: 66-73.
17. Lewis DH, Castleberry DJ. An assessment of recent advances in external maxillofacial materials. J Prosthet Dent 1980; 43: 426-32.
18. Wang R, Collard SM, Lemon J. Adhesion of silicone to polyurethane in maxillofacial prosthesis. Int J Prosthodont 1994; 7: 43-9.
19. Udagama A. Urethane-lined silicone facial prostheses. J Prosthet Dent 1987; 58: 351-4.

- 
20. Xu HHK, Martin TA, Eichmiller FC, Antonucci JM. Ceramic whisker reinforcement of dental composite resins. *J Dent Res* 1999; 78: 706-12.
21. Dootz ER, Koran A 3<sup>rd</sup>, Craig RG. Physical Properties of three maxillofacial materials as a function of accelerated aging. *J Prosthet Dent* 1994; 71: 379-83.
22. Han Y, Kiat-amnuay S, Powers JM, Zhao Y. Effect of nano-oxide concentration on the mechanical properties of a maxillofacial silicone elastomer. *J Prosthet Dent* 2008; 100:465-73.
23. Hatamleh MM, Watts DC. Mechanical properties and bonding of maxillofacial silicone elastomers. *Dent Mater* 2010; 26: 185-91.
24. Lavender MD. The Importance of Silica to the Modern World. *Indoor and Built Environment* 1999; 8: 89-93.
25. Botti A, Pyckhout-Hintzen W, Richter D, Urban V, Straube E. A microscopic look at the reinforcement of silica-filled rubbers. *J Chem Phys* 2006; 124: 174908-13.
26. Issam S, Jalham and Ibrahim J. Maita, Testing and evaluation of rubberbase composites reinforced with silica sand. *Journal of composite materials* 2006; 23: 2099-112.
27. Gupta S, Maiti P, Krishnamoorthy K, Krishnamurthy R, Menon A, Bhowmick AK. Effect of silica nanoparticles on reinforcement of poly(phenylene ether) based thermoplastic elastomer. *J Nanosci Nanotechnol* 2008; 8: 2114-26.
28. Bowen RL. Dental filling material comprising vinyl-silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of bisphenol and glycidyl methacrylate. U.S. Patent No: 3,066,112. 1962.
29. Bowen RL. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. *J Am Dent Assoc* 1963; 66: 57-64.
30. Hodosh M, Shklar G, Gettleman L, Povar M. Strength and biocompatibility of polymethacrylate-silica composite dental implant materials. *J Prosthet Dent* 1980; 43: 197-203.
31. Tappe A, Kanthak C, Kanthak H. The abrasion-resistant plastic tooth. 2. The effect of various quartz pretreatments on the properties of reinforced Keracryl-7 teeth. *Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 1984; 72: 147-53.