

ORİJİNAL ARAŞTIRMA ORIGINAL RESEARCH

DOI: 10.5336/dentalsci.2025-109962

Üç Boyutlu Yazıcı ile Üretilen Farklı Protez Kaide Materyallerinin Termal Devirlendirme Sonrası Renk Farklılıklarının Karşılaştırılması: Bir *in vitro* Çalışma

Comparing Color Differences of Different Prosthetic Base Materials Produced with a Three-Dimensional Printer After Thermal Cycling: An *in vitro* Study

^{ID} Azzahraa AL-OMIRI^a, ^{ID} Esra ÖZKAN^b, ^{ID} Duygu SARAÇ^b

^aDeva Diş Ağız ve Diş Sağlığı Merkezi, Protetik Diş Tedavisi Kliniği, Balıkesir, Türkiye

^bOndokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Samsun, Türkiye

Bu çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi 3. Uluslararası Diş Hekimliği Kongresi'nde (24-26 Mayıs 2024, Konya) sözlü olarak sunulmuştur.

ÖZET Amaç: Bu *in vitro* çalışmanın amacı, eklemeli üretim tekniği kullanılarak üretilen farklı kimyasal yapıya sahip hareketli protez kaide materyallerinde termal devirlendirme ile yaşlandırmanın renk farklılığına etkisinin incelenmesidir. **Gereç ve Yöntemler:** Üç farklı kimyasal içeriğe [Polimetil metakrilat (PMMA) içerikli, oligomer içerikli ve metil metakrilat (MMA) içermeyen] sahip protez kaide materyallerinin her birinden 40 adet olmak üzere toplam 120 adet örnek, Uluslararası Standardizasyon Örgütü standartlarına uygun (64×10×3,3 mm) şekilde üretildi. Örneklerin cilalanma ve polisaj işleminden sonra ilk renk ölçümleri spektrofotometre kullanılarak yapıldı. Ardından, örnekler 5-55 °C arasında 5.000 kez termal devirlendirme işlemi uygulandı ve ikinci renk ölçümleri tamamlandı. Renk farklılık (ΔE_{00}) değerleri, CIE2000 formülü kullanılarak hesaplandı. Elde edilen verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığı Shapiro-Wilk testi ile grupların karşılaştırılması ise Kruskal-Wallis H testi kullanılarak istatistiksel olarak değerlendirildi. ($p<0,05$). **Bulgular:** Termal devirlendirmenin renk farklılığına etkisi incelendiğinde, gruplar arasında istatistiksel fark bulundu ($p=0,031$). En yüksek ΔE_{00} değerleri MMA içermeyen kaide materyali ile elde edilirken, en düşük ΔE_{00} değerleri PMMA içerikli kaide materyali ile elde edildi. Yapılan ikili karşılaştırmalarda, PMMA içerikli kaide materyali ile MMA içermeyen kaide materyali grupları arasında anlamlı fark tespit edilirken ($p=0,025$), oligomer içerikli kaide materyali ile PMMA içerikli ($p=0,620$) ve MMA içermeyen ($p=0,513$) kaide materyal grupları arasında fark bulunmadı. Tüm gruplarda görülen ortalama ΔE_{00} değerlerinin, algılanabilir sınır olan 1,72'nin altında olduğu görüldü. **Sonuç:** Elde edilen sonuçlar, termal devirlendirme ile yaşlandırma sonrasında kaide materyallerinin kimyasal yapısının renk farklılığına etkilediğini göstermiştir. En yüksek renk farklılığı MMA içermeyen kaide materyali ile elde edilirken, en düşük renk farklılığı PMMA içerikli kaide materyali ile elde edilmiştir.

ABSTRACT Objective: The aim of this *in vitro* study was to compare the color differences occurring after thermal cycling of different chemically structured removable prosthetic base materials produced using additive manufacturing technique. **Material and Methods:** Using prosthetic base materials with 3 different chemical compositions [polymethyl methacrylate (PMMA)-based, oligomeric-based, and methyl methacrylate (MMA)-free], a total of 120 samples, 40 from each, were produced in accordance with International Organization for Standardization standards (64×10×3,3 mm). Initial color measurements of the samples were conducted using a spectrophotometer after polishing. Subsequently, thermal cycling was applied to the samples between 5-55 °C for 5,000 cycles, and 2nd color measurements were completed. Color difference (ΔE_{00}) values were calculated using the CIE2000 formula. The obtained data were statistically analyzed for normal distribution using the Shapiro-Wilk test and for group comparisons using the Kruskal-Wallis H test ($p<0.05$). **Results:** According to the Kruskal-Wallis H test, significant differences were found among groups in terms of color difference values ($p=0.031$). The highest ΔE_{00} values were obtained with the MMA-free base material, while the lowest ΔE_{00} values were obtained with the PMMA-based base material. Significant differences were found between the PMMA-based and MMA-free base material groups in pairwise comparisons ($p=0.025$), while no differences were found between the oligomeric-based and PMMA-based ($p=0.620$), and MMA-free ($p=0.513$) base material groups. The mean ΔE_{00} values observed in all groups were below the perceptible threshold of 1.72. **Conclusion:** The results indicate that the chemical composition of base materials affects color difference after thermal cycling aging. The highest color difference was observed with the MMA-free base material, while the lowest color difference was observed with the PMMA-based base material. Base materials produced using additive manufacturing technique with acrylic ester-based monomers having lower double bond conversion rates, being produced in layers, and having weak bonds between these layers, may increase water absorption due to thermal stresses and lead to color differences.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar yardımlı tasarım; renk; protez kaideleri; yazıcı; üç boyutlu

Keywords: Computer-aided design; color; denture bases; printing; three-dimensional

Correspondence: Esra ÖZKAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi AD, Samsun, Türkiye

E-mail: dt.esraozkan@gmail.com



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences.

Received: 26 Feb 2025

Received in revised form: 27 May 2025

Accepted: 04 Jun 2025

Available online: 12 Jun 2025

2146-8966 / Copyright © 2025 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Hareketli protezler, implant tedavisinin anatomik, psikolojik veya finansal kısıtlamalar nedeniyle uygulanamadığı tam veya kısmi diş eksikliği olan hastalar için sıklıkla tercih edilen tedavi seçeneğidir.¹ Hareketli protezlerin üretiminde geleneksel yöntem, günümüz klinik uygulamalarının bir parçası olmaya devam etmektedir. Ancak, hastanın kliniğe çok sayıda ziyaretini gerektirmesi ve laboratuvar süresinin uzun olması gibi dezavantajlar nedeniyle, son yıllarda bilgisayar destekli tasarım [computer aided design (CAD)] ve bilgisayar destekli imalat [computer aided manufacturing (CAM)] hareketli protez üretimi için yaygın hâle gelmiştir.²

CAM teknolojisi, eksiltmeli ve eklemeli yöntemler olmak üzere 2 farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Eksiltmeli yöntem, bilgisayarlı sayısal kontrol işleme sistemine dayanır. İstenen geometri, fazla kısımların dijital modele göre işleme yoluyla fiziksel olarak çıkarılması (kesme/frezleme) sonucunda elde edilir. Eklemeli yöntem veya diğer adıyla 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ise tasarım ünitesinde oluşturulan modelin katman katman materyal eklenerek üretimine dayanır.³ Eksiltme üretim yönteminde, üretimin en küçük frez yarıçapı ile sınırlı olması karmaşık geometriye sahip modellerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır.⁴ Ayrıca, kazıma sisteminde frezlerin tekrarlayan kullanımı sonucu aşınması, aşınan frezlerin kullanımıyla üretilen restorasyonlarda çatlakların oluşması gibi dezavantajlar eklemeli üretim tekniğine olan yönelimi artırmıştır.^{5,6} Eklemeli üretim, eksiltmeli üretim yöntemine göre aynı anda birden fazla restorasyon üretme, karmaşık şekiller üretebilme yeteneği, daha az materyal israfı sayesinde daha ekonomik olması gibi avantajlara sahip bir yöntemdir. Eklemeli üretim tekniğinden elde edilen sonuçlar baskı katman kalınlığı, baskı yönü, ışık kaynağı gibi çok sayıda faktörlerden etkilenmektedir.⁷

Eksiltmeli yöntemde prepolimerize polimetil metakrilat (PMMA) bloklardan kazınırken, eklemeli yöntemde ışık ve ısıyla polimerize olan reçineler kullanılır.⁸ Kimyasal yapılarına ve üretim yöntemlerine göre hareketli protezler için birçok farklı rezin kullanılmaktadır. Bu rezinler, belirli bir süre kullanım sonrası büzülme ve renklenme ile ifade edilen optik ve hacimsel değişiklikler gösterirler. Su emilimi, renklendirici yiyecek ve içeceklerin tüketimi protez kai-

desinin estetik kalitenin bozulmasına ve hasta memnuniyetsizliğine neden olur.⁹ Protez kaide materyalinin optik özellikleri kullanım sonrası stabil kalmalıdır. Oluşacak renk değişiklikleri estetik olmayan sonuçlar doğuracağından protezin yenilenmesini gerektirir.¹⁰ Renkte meydana gelen değişiklikler ayrıca yaşlanmanın veya malzeme hasarının bir göstergesi olarak kabul edilir. Leke birikimi, su emilimi, bileşenlerin çözünmesi, içsel pigmentlerin bozulması ve yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler bu süreçte katkıda bulunur.¹¹

Geleneksel yöntemle üretilen kaidelerin renk değişimleri çalışmalarda incelenmekle birlikte CAD/CAM ile üretilen kaidelerin nispeten yeni olmaları sebebiyle çalışmalar sınırlıdır. Bu *in vitro* çalışmanın amacı, eklemeli üretim tekniği kullanılarak üretilen farklı kimyasal yapıya sahip hareketli protez kaide materyallerinin termal devirlendirme sonrasında oluşan renk farklılıklarının karşılaştırılmasıdır. Araştırmanın hipotezi, “Farklı kimyasal yapılara sahip protez kaide materyalleri arasında termal devirlendirme ile yaşlandırmanın renk farklılığına etkisi yoktur.” şeklinde oluşturulmuştur.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

ÖRNEKLERİN HAZIRLANMASI

Bu *in vitro* çalışmaya, 3 farklı kimyasal içeriğe sahip eklemeli yöntem ile üretilen protez kaide materyalleri (PMMA içerikli: DentaBase; Asiga, Avustralya), (oligomer içerikli: Flexcera™ Base by Desktop Health, EnvisionTEC, Almanya) ve [metil metakrilat (MMA) içermeyen: PowerResins; DentaFab, Türkiye] dâhil edildi (Tablo 1).

Toplamda 120 örnek olacak şekilde her bir kaide materyalinden Uluslararası Standardizasyon Örgütü 20795-1 standardına uygun şekilde 40’ar örnek üretildi (n=40). Üretim sırasında öncelikle bir CAD yazılım programı (AutoCAD 2023, Autodesk Inc., Kaliforniya, ABD) kullanılarak 64×10×3,3 mm dikdörtgen kalıp tasarlandı ve her üretici firmanın kendine ait standart mozaikleme dili formatına dönüştürüldü.¹² Örneklerin üretimi için her üretici firmanın kendine ait rezin sıvısı ve dijital ışık işleme teknolojisine sahip 3 boyutlu yazıcıları kullanıldı (Tablo 2). Üretimde cihazların ışık dalga boyu 385

TABLO 1: Çalışmada kullanılan protez kaide materyalleri

Protez kaide materyali	Materyal içeriği	Üretici firma	Ülke
DentaBASE	PMMA esaslı materyal	ASİGA	Sidney, Avustralya
PowerResins Denture	MMA içermez, 16-dil bismetakrilat ve 7,9,9 -trimetil-4 içerir.	DentaFab	İstanbul, Türkiye
Flexcera™ Base by Desktop Health	Metakrilat monomer ve Metakrilat oligomer içerir.	EnvisionTEC	GmbH, Almanya

TABLO 2: Çalışmada kullanılan cihazlar

Cihaz	Model	Üretici firma, Ülke
Üç boyutlu yazıcı	Asiga MAX UV	Asiga, Avustralya
	DentaFab SEGA	Dentafab, Türkiye
	D4K Pro	Envisiontech, Almanya
UV kürleme ünitesi	Otoflash G171	NK Optik, Almanya
	Medifive	3BFAB Teknoloji A.Ş., Türkiye
Spektrofotometre	Konica Minolta CM-5	Konica Minolta, Japonya
Termal devirlendirme	Dentester	Salibrus-technica, Türkiye

UV: Ultraviyole

nm, üretim 90° yönelimde ve tabaka kalınlığı ise 100 µm olarak standardize edildi.

Örneklerin üretimi tamamlandıktan sonra yıkama ve son kürleme işlemleri üretici firmaların talimatlarına uygun şekilde aşağıda açıklandığı gibi tamamlandı.

Grup G1 Örnekleri: (DentaBase) ultrasonik temizleme cihazı kullanarak %98 izopropil alkol içinde yıkandı. Yıkama işlemi 2 aşama olarak her bir yıkama banyo işlemi 2 dk sürmektedir. Ardından son kürleme işlemi öncesi alkol kalıntısı içermediğinden emin olmak için örnekler 30 dk bekletildi. Son kürleme işlemi için örnekler “NK Optik Otoflash G171” ultraviyole (UV) (NK Optik, Almanya) kürleme ünitesine yerleştirip 2x2.000 flaş uygulandı. Son kürleme işleminden sonra örnekler 60 dk boyunca temiz suda bekletildi ve ardından kurtuldu.

Grup G2 Örnekleri: (PowerResins Denture) ultrasonik temizleme cihazı kullanarak etil alkol (>%90) ile 5 dk boyunca yıkandı. Daha sonra örnekler su ile yıkanıp ve hava kompresörü ile kurtuldu. Kurutulan örneklerin firmanın özel UV kürleme (3BFAB Teknoloji A.Ş., Türkiye) cihazında 20 dk boyunca son kürleme işlemi uygulandı.

Grup G3 Örnekleri: (Flexcera™ Base) 5 dk boyunca izopropil alkol (>%96) banyosu içinde yı-

kandı. İlk yıkamadan sonra basınçlı havayla kurutuldu ve ikinci kez temiz bir izopropil alkol banyosu içinde maksimum 2 dk boyunca hafif çalkalayarak yıkandı ve kurutuldu. Ardından örnekler son kürleme işlemi öncesinde destek parçalar kesici bir alet yardımı ile uzaklaştırıldı ve Otoflash G171 (NK Optik, Almanya) cihazı ile inert gaz altında her iki yüzeyden 3000'er flaş uygulandı.

Örneklerin son kürleme işlemi tamamlandıktan sonra destek yapıları tungsten karbid frez ile temizlendi ve yüzeyleri 600-1.200 gritlik silisyum karbür zımpara kâğıdı (Atlas, Saint-Gobain Abrasives, Türkiye) ile 10 sn boyunca cilalandı. Örnekler parlak bir yüzey elde edilene kadar geleneksel olarak pomza (Pomza; İşler Dental, Türkiye) ve parlatma macunu (Universal Polishing Paste; Ivoclar, Lihtenştayn) ile polisajlandı.¹³ Ardından polisaj işlemi tamamlanmış örneklerin boyutları dijital kumpas (Fowler/Sylvac Ultra-Cal Mark V Electronic Caliper, İsviçre) yardımı ile kontrol edildi. Renk ölçme işlemleri için örneklerin distile su içerisinde 5 dk süreyle yıkandı ve steril gazlı bezi ile kurutuldu.

RENK ÖLÇÜMLERİ VE TERMAL YAŞLANDIRMA

Örneklerin rengini ölçmek için bir spektrofotometre (Konica Minolta CM-5, Japonya) kullanıldı. İlk renk ölçümleri (T₀) termal devirlendirme uygulamadan önce kaydedildi. Ardından bütün örnekler 5-55 °C’de distile su içerisinde 30 sn’lik bekleme süresi ve 10 sn’lik transfer süresi ile 5.000 döngü termal devirlendirmeye (Dentester, Salibrus-technica, Türkiye) tabi tutuldu.¹⁴ Termal devirlendirme tamamlandıktan sonra örnekler akar su altında yıkandı ve kurutuldu. Daha sonra termal devirlendirme tamamlanmış örneklerin ikinci (T₁) renk ölçümü yapıldı. Çalışmada CIE2000 (Commission Internationale d’Eclairage) sistemi kullanıldı. Her bir örnekten 3 renk ölçümü yapıldıktan sonra ortalama L, a, b değerleri kaydedildi.

Renk farklılığı hesaplamasında CIEDE2000 renk farkı formülü kullanıldı.¹³

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H}{K_H S_H}\right)}$$

Bu formülde, ΔL , ΔC ve ΔH , ΔE_{00} 'deki aydınlık, kroma ve renk tonun değerlerindeki farklılığı temsil eder. R_T ise sorunlu mavi bölgedeki kroma ve renk tonu arasındaki farkın etkileşimini çözmek için kullanılan bir fonksiyondur. S_L , S_C ve S_H renk yoğunluğu ve renk tonuna ait ağırlık fonksiyonlarını tanımlamaktadır. K_L , K_C ve K_H ise aydınlık, renk yoğunluğu ve renk tonu için değerlendirilen parametrik faktörlerdir.¹⁵

Literatürde, kaide materyallerinde oluşan renk farklılığının algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerleri göz önüne alınarak algılanabilirlik: 1,72, kabul edilebilirlik: 4,08 olarak kabul edildi.^{14,16}

BULGULAR

Elde edilen ΔE_{00} değerlerinin istatistiksel olarak incelenmesinde, SPSS v.20.0 kullanıldı. Shapiro-Wilk testi ile tüm verilerin normal dağılım göstermediği belirlendi ve istatistiksel analiz Kruskal-Wallis H testi ile yapıldı ($p < 0,05$).

Farklı kaide materyallerinin oluşturduğu renk farklılıklarının ortanca değerleri karşılaştırıldığında, en yüksek ortanca değeri G3 grubunda (1,52), en düşük ortanca değeri ise G2 grubunda (1,13) elde edildi ($p < 0,05$).

Kruskal-Wallis H testi sonucuna göre Tablo 3'te görüldüğü üzere renk farklılığı değerleri açısından gruplar arasında fark bulundu ($p = 0,031$). En yüksek

ΔE_{00} değerleri MMA içermeyen kaide materyali ile elde edilirken, en düşük ΔE_{00} değerleri PMMA içerikli kaide materyali ile elde edildi. Yapılan ikili karşılaştırmalarda PMMA içerikli kaide materyali ile MMA içermeyen kaide materyali grupları arasında anlamlı fark tespit edilirken ($p = 0,025$), oligomer içerikli kaide materyali ile PMMA içerikli ($p = 0,620$) ve MMA içermeyen ($p = 0,513$) kaide materyalleri grupları arasında fark bulunmadı. Tüm gruplarda görülen ortalama ΔE_{00} değerleri algılanabilir sınırı olan 1,72'nin altında olduğu görüldü.

Termal siklus sonrası tüm gruplarda ortalama ΔL değerleri negatif olup, en fazla koyulaşma G3 grubunda (-0,58) gözlenmiştir. Bunu sırasıyla G1 (-0,32) ve G2 (-0,16) takip etmiştir. Δa parametresi incelendiğinde, G2 grubunda pozitif değer (0,05) ile kırmızı yönlü bir değişim izlenirken, G1 (-0,37) ve G3 (-0,26) gruplarında yeşil yönlü kaymalar tespit edilmiştir. Δb değerleri tüm gruplarda negatif olup, en belirgin mavi yönlü renk değişimi G3 grubunda (-0,60) gözlenmiştir (Tablo 4).

TARTIŞMA

Hareketli protez kaide materyallerinin renk stabilitesi, protezlerin estetik uyumu ve uzun ömürlülüğü açısından önemli bir faktördür. Estetik uyumsuzluk nedeniyle protezlerin yenilenmesi, hasta memnuniyetsizliğinin ve tedavi tekrarlarının başlıca nedenlerinden biridir.¹⁷ Protez kaide materyallerinin renk değiştirmesine neden olabilecek içsel ve dışsal faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler arasında fiziksel ve kimyasal değişiklikler, leke birikimi, artık monomer varlığı, su emilimi, iç pigmentlerin bozulması, bileşenlerin çözünmesi ve yüzey pürüzlülüğü yer almaktadır.¹⁸

Bu çalışmada, termal devirlendirmenin farklı kimyasal içeriğe sahip 3 kaide materyalinin renk fark-

TABLO 3: Grupların ΔE_{00} değerleri arasında istatistiksel analiz

Grup	n	$\bar{X} \pm SS$	Ortanca (minimum-maksimum)	p değeri	Test istatistiği (H)
G1	40	1,4 $\pm$ 1,1	1,03 (0,37-5,83) ^{ab}	0,031	6,933
G2	40	1,1 $\pm$ 0,7	0,86 (0,22-2,96) ^a		
G3	40	1,51 $\pm$ 0,7	1,3 (0,39-3,26) ^b		

Aynı harfe sahip gruplar arasında fark yoktur. Kruskal-Wallis H testi ($p < 0,05$). SS: Standart sapma

TABLO 4: Termal siklus sonrası oluşan ΔL , Δa , Δb değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

Parametreler	Grup	$\bar{X} \pm SS$	Ortanca (minimum-maksimum)
ΔL	G1	$-0,32 \pm 0,91$	-0,20 (-3,2-1,0)
	G2	$-0,16 \pm 0,87$	0,00 (-2,0-2,2)
	G3	$-0,58 \pm 1,24$	-0,50 (-3,7-2,9)
Δa	G1	$-0,37 \pm 1,03$	-0,10 (-3,8-1,2)
	G2	$0,05 \pm 0,91$	-0,10 (-2,0-2,4)
	G3	$-0,26 \pm 0,91$	-0,10 (-3,7-1,6)
Δb	G1	$-0,13 \pm 0,79$	0,00 (-1,9-1,6)
	G2	$-0,22 \pm 1,09$	0,00 (-3,9-1,5)
	G3	$-0,60 \pm 0,99$	-0,50 (-3,4-1,2)

SS: Standart sapma

lılıkları değerlendirildi. Elde edilen sonuçlar, protez kaide malzemelerinin kimyasal kompozisyonunun, yaşlandırma sonrası oluşabilecek renk farklılığı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçla, çalışmanın H_0 hipotezi reddedilmiştir. MMA içermeyen kaide materyallerinde gözlenen yüksek ΔE_{00} değerleri, bu materyallerin renk stabilitesinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca PMMA içerikli kaide materyalinde gözlemlenen düşük ΔE_{00} değerleri, bu materyalin klinik olarak daha uzun süreli estetik performans sergileyebileceğini düşündürmektedir. Termal siklus uygulaması sonrasında tüm gruplarda ΔL değerlerinin negatif yönde olduğu gözlenmiş, en fazla koyulaşma G3 grubunda ortaya çıkmıştır. Δa parametresi açısından G2 grubunda hafif kırmızı yönlü bir değişim izlenirken, G1 ve G3 gruplarında yeşil yönlü kaymalar gözlenmiştir. Bu farklılık, pigment stabilitesi veya termal etkiyle oluşabilecek içsel renk değişimlerine bağlanabilir. Δb değerleri tüm gruplarda negatif olup, en belirgin mavi yönlü değişim G3 grubunda tespit edilmiştir. Renk parametrelerinde gözlenen bu değişimler, materyal içeriği, üretim süreci, polimerizasyon verimliliği ve yüzey özellikleri gibi çok sayıda faktörün etkileşimiyle ortaya çıkmaktadır. Literatürde benzer şekilde, termal streslerin renk bileşenleri üzerinde etkili olduğu ve polimer matrisin yapısına bağlı olarak L^* , a^* ve b^* değerlerinde değişiklikler görülebileceği çalışmalarla desteklenmektedir.^{16,19,20}

Düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri, plak birikimini ve pigmentasyon riskini azaltarak renk stabili-

tesi üzerine olumlu etkiye bulunur.²¹ Al-Dwairi ve ark. yaptıkları çalışmalarında 3 boyutlu yöntemle üretilen PMMA içerikli kaide rezinlerinin, konvansiyonel yöntemlerle üretilen materyallere göre daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğunu bildirmişlerdir.²² Bu sonuç, çalışmamızda da PMMA içerikli kaide rezinlerinin en düşük renk farklılığı değerleri göstermesini desteklemektedir. Bozoğulları ve ark. farklı protez temizleme ajanlarının PMMA materyallerinin yüzey pürüzlülüğü ve renk stabilitesi üzerindeki etkileri inceledikleri çalışmalarının bulgularında, %1'lik sodyum hipoklorit solüsyonunun PMMA'nın yüzey pürüzlülüğünde azalmaya neden olduğu ve bu durumun renk stabilitesini olumlu etkilediği bildirilmiştir.²³ Radwan ve ark. yapmış oldukları çalışmada, yüzey pürüzlülüğünün arttıkça renk değişiminin de arttığı belirtilmiştir. Pearson korelasyon analizi sonucunda pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür ($r=0,4548$, $r^2=0,2068$, $p>0,05$).¹⁹

Termal devirlendirme, dental malzemelerin *in vitro* yaşlanmasını taklit etmek için geçerli bir yöntem olarak kabul edilmektedir.¹³ Çalışmamızda, örnekler 6 aylık klinik kullanımı taklit etmek amacı ile 5.000 kez 5 °C soğuk su ve 55 °C sıcak su banyolarına maruz bırakılmıştır. Bu termal devirlendirme işlemleri protez kaide materyallerinin su emilimini artırarak malzemeyi yumuşatmış ve bu da materyalin renk farklılığını etkilemiştir.²⁴ Eklemeli üretim yöntemiyle üretilen kaide rezinlerinin renk stabilitesini, konvansiyonel yöntemle üretilen kaide rezinleri ile kıyaslayan pek çok çalışma eklemeli üretimdeki renk farkının yüksek çıkmasını su emilimi ile açıklamaktadır.^{8,12,25,26} Termal devirlendirme sonrasında 3 boyutlu baskı rezininin, geleneksel ısı ile polimerize edilen rezine göre daha yüksek su emiliminin rezinin bozulması ve pigmentlerin yapışmasındaki artış sonucunda olduğu bildirilmiştir. Materyalin kimyasal içeriğine ek olarak, yüzey özellikleri, polimerizasyon verimliliği ve baskı parametreleri gibi ek koşullar da 3 boyutlu baskı rezininin su emilim oranını etkileyebilir.⁴

Arslan ve ark. ve Ren ve ark. dental materyallerin renk farkını, algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşikleri üzerinden değerlendirmişlerdir.^{16,27} Diş hekimliğinde renk farklılıklarını değerlendirmek için yaygın olarak CIELab ve CIEDE2000 renk farkı for-

mülleri kullanılmaktadır. CIEDE2000 renk farkı formülü, CIELAB (Lab) renk farkı formülünün eksikliklerini gidermek için geliştirilmiştir. CIEDE2000 renk farkı formülünün, kabul edilebilirlik ve algılanabilirlik ile daha uygun ve doğru bir şekilde uyumlu olduğu bulunmuştur. Çalışmamızda, akrilik rezinlerin algılanabilirlik eşiği CIEDE2000 formülüne göre 1,72, kabul edilebilirlik eşiği ise 4,08 olarak yapılan çalışmalara uyumlu olarak kabul edilmiştir.

Üç boyutlu yazıcı kullanılarak baskı yöntemi ile üretilen kaide rezinlerinin optik özelliklerinin incelendiği çalışmalar, oluşan renk farklılıklarını çeşitli sebeplerle açıklamışlardır.²⁰ Fotovat ve ark. yapmış oldukları çalışmada, kaide rezininde oluşan renk değişimini, rezin içeriğindeki doldurucu miktarıyla ilişkilendirmiştir. Üç boyutlu baskı yöntemi ile üretilen kaide rezinlerinin baskı sürecinde düşük viskoziteyi korumak için daha az inorganik doldurucu partikül içermektedir. Bu düşük viskozite, üretim süreci boyunca malzemenin kesintisiz akışını sağlayarak pürüzsüz bir yüzey elde edilmesine katkıda bulunur. Ancak, dolgu içeriğindeki bu azalma, rezinin aşınma direncini zayıflatarak zamanla yüzey pürüzlülüğüne daha yatkın hale getirmektedir.²⁸ Baskı sürecinde dolgu partiküllerinin düzensiz tabakalar hâlinde birikmesi, düzensiz polimerizasyona yol açabilmekte ve bu da yüzey pürüzlülüğünü daha da artırabilmektedir.²⁹

Bununla birlikte, 3 boyutlu baskı yöntemi ile üretilen kaide materyallerindeki renk stabilitesinin düşük oluşunu tabakalı üretim sürecine ve polimerizasyon oranının düşük olmasına bağlayan çalışmalar da mevcuttur.^{4,8} Bu üretim sürecinde, her bir katmanın ayrı ayrı polimerize edilmesi, katmanlar arası bağlanma gücünü düşürerek, su emiliminin artmasına ve buna bağlı olarak renk stabilitesinin olumsuz etkilenmesine neden olabilir.³⁰ Ayrıca, polimerizasyon oranının düşük olması, polimer matriksinde boşluklar oluşmasına ve bu boşlukların zamanla su veya renk verici maddelerle dolmasına neden olabilir.²⁰ Bu durum, eklemeli yöntemle üretilen materyallerin uzun vadeli klinik kullanımı açısından bazı dezavantajlar taşıdığını ortaya koymaktadır.

Üç boyutlu baskı yöntemi ile üretilen kaide materyallerinin mekanik ve fiziksel özellikleri ile yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu *in vitro* olarak

yapılmıştır. Ayrıca her geçen gün kullanılan rezin ve üretilen baskı cihazlarındaki hızlı gelişmeler sonucunda, hangi materyalin ya da üretim tekniğinin daha yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip kaide materyali üretimini sağladığı, kullanılan kaide materyallerinin kimyasal içeriklerinin firmalar tarafından tam olarak açıklanmaması, literatürde konu ile ilgili kısıtlı miktarda çalışma olması çalışmamızın sınırlarını oluşturmaktadır. Bu çalışmanın sınırlamaları dâhilinde, eklemeli üretim tekniği ile üretilen farklı kimyasal yapıya sahip hareketli protez kaide materyallerinin termal devirlendirme sonrasında, en yüksek ΔE_{00} değerleri MMA içermeyen kaide materyali ile elde edilirken, en düşük ΔE_{00} değerleri PMMA içerikli kaide materyali ile elde edildi. Bu sonuç, bu üretim yöntemi ile üretilen materyaller arasında renk stabilitesi açısından PMMA içeren kaide materyalinin daha uzun süre renk değişikliğine uğramayacağını göstermektedir.

SONUÇ

Hareketli protez kaide materyallerinin renk stabilitesi, protezin hem estetik görünümünü hem de uzun ömürlülüğünü etkileyen kritik bir faktördür. Renk değişikliği ve estetik uyumsuzluklar protezin yenilenmesi gerekliliği ile sonuçlanabilir. Renk stabilitenin korunması, hasta memnuniyeti ve protezlerin kullanım süresi açısından büyük önem taşır. Hareketli protez kaide materyalinin renk değişimine karşı dirençli olması hareketli protez malzemelerinin seçiminde hem hasta hem de hekim tarafından dikkate alınmalıdır. Protez kaidelerinin üretiminde kullanılan materyalin yeterli optik, mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Protez kaidelerinin üretiminde kullanılan materyalin kimyasal kompozisyonunun tam olarak bilinmesi, daha bilinçli materyal seçimlerini mümkün kılacak ve protezlerin uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır.

Finansal Kaynak

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından (Proje no: PYO. DIS. 1904. 23. 001) desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üye-

liği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Azzahraa Al-Omiri, Duygu Saraç; **Tasarım:** Duygu Saraç, Azzahraa Al-Omiri; **Denetleme/Danışmanlık:**

Duygu Saraç, Azzahraa Al-Omiri; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Azzahraa Al-Omiri, Duygu Saraç, Esra Özkan; **Analiz ve/veya Yorum:** Duygu Saraç, Azzahraa Al-Omiri, Esra Özkan; **Kaynak Taraması:** Azzahraa Al-Omiri, Esra Özkan; **Makalenin Yazımı:** Duygu Saraç, Azzahraa Al-Omiri, Esra Özkan; **Eleştirel İnceleme:** Duygu Saraç; **Kaynaklar ve Fon Sağlama:** Azzahraa Al-Omiri, Duygu Saraç, Esra Özkan.

KAYNAKLAR

1. Özışçi Ö. Tam protez üretiminde Cad/Cam teknolojisi. Necmettin Erbakan Üniversitesi Uluslararası Diş Hekimliği Kongresi. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2022. p.482-6.
2. Srinivasan M, Schimmel M, Naharro M, O' Neill C, McKenna G, Müller F. CAD/CAM milled removable complete dentures: time and cost estimation study. J Dent. 2019;80:75-9. PMID: 30213557.
3. Bidra AS, Taylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives. J Prosthet Dent. 2013;109(6):361-6. PMID: 23763779.
4. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, et al. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. Dent Mater. 2018;34(2):192-200. PMID: 29110921; PMCID: PMC5801146.
5. Guazzato M, Albakry M, Quach L, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of a glass-infiltrated alumina/zirconia-reinforced dental ceramic. Dent Mater. 2005;21(5):454-63. PMID: 15826702.
6. Curtis AR, Wright AJ, Fleming GJ. The influence of surface modification techniques on the performance of a Y-TZP dental ceramic. J Dent. 2006;34(3):195-206. PMID: 16112791.
7. Al-Qarni FD, Gad MM. Printing accuracy and flexural properties of different 3D-printed denture base resins. materials (basel). 2022;15(7):2410. PMID: 35407742; PMCID: PMC8999488.
8. Gruber S, Kamnoedboon P, Özcan M, Srinivasan M. CAD/CAM complete denture resins: an in vitro evaluation of color stability. J Prosthodont. 2021;30(5):430-9. PMID: 32864812.
9. Bonatti MR, Cunha TR, Regis RR, Silva-Lovato CH, Paranhos HF, de Souza RF. The effect of polymerization cycles on color stability of microwave-processed denture base resin. J Prosthodont. 2009;18(5):432-7. PMID: 19374705.
10. Alp G, Johnston WM, Yilmaz B. Optical properties and surface roughness of prepolymerized poly(methyl methacrylate) denture base materials. J Prosthet Dent. 2019;121(2):347-52. PMID: 30143239.
11. Al-Qarni FD, Goodacre CJ, Kattadiyil MT, Baba NZ, Paravina RD. Stainability of acrylic resin materials used in CAD-CAM and conventional complete dentures. J Prosthet Dent. 2020;123(6):880-7. PMID: 31703924.
12. Falahchai M, Ghavami-Lahiji M, Rasaie V, Amin M, Neshandar Asli H. Comparison of mechanical properties, surface roughness, and color stability of 3D-printed and conventional heat-polymerizing denture base materials. J Prosthet Dent. 2023;130(2):266.e1-266.e8. PMID: 37422420.
13. Alfouzan AF, Alotibi HM, Labban N, Al-Otaibi HN, Al Taweel SM, AlShehri HA. Color stability of 3D-printed denture resins: effect of aging, mechanical brushing and immersion in staining medium. J Adv Prosthodont. 2021;13(3):160-71. Erratum in: J Adv Prosthodont. 2022;14(5):334. PMID: 34234926; PMCID: PMC8250187.
14. Çakmak G, Molinero-Mourelle P, De Paula MS, Akay C, Cuellar AR, Donmez MB, et al. Surface roughness and color stability of 3D-printed denture base materials after simulated brushing and thermocycling. Materials (Basel). 2022;15(18):6441. PMID: 36143757; PMCID: PMC9503686.
15. Zeighami S, Mirmohammadrezaei S, Safi M, Falahchai SM. The effect of core and veneering design on the optical properties of polyether ether ketone. Eur J Prosthodont Restor Dent. 2017;25(4):201-8. PMID: 29182213.
16. Ren J, Lin H, Huang Q, Zheng G. Determining color difference thresholds in denture base acrylic resin. J Prosthet Dent. 2015;114(5):702-8. PMID: 26277020.
17. Koh ES, Cha HS, Kim TH, Ahn JS, Lee JH. Color stability of three dimensional-printed denture teeth exposed to various colorants. The Journal Of Korean Academy Of Prosthodontics. 2020;58(1):1-6. doi:10.4047/jkap.2020.58.1.1
18. Dayan C, Guven MC, Gencel B, Bural C. A comparison of the color stability of conventional and CAD/CAM polymethyl methacrylate denture base materials. Acta Stomatol Croat. 2019;53(2):158-67. PMID: 31341324; PMCID: PMC6604561.
19. Radwan H, Elnaggar G, El Deen I. Surface roughness and color stability of 3d printed temporary crown material in different oral media (in vitro study). International Journal Of Applied Dental Sciences. 2021;7(1):327-34. doi:10.22271/oral.2021.v7.i1e.1150
20. Dimitrova M, Corsalini M, Kazakova R, Vlahova A, Barile G, Dell'olio F, et al. Color stability determination of Cad/Cam milled and 3d printed acrylic resins for denture bases: a narrative review. Journal Of Composites Science. 2022;6(7):201. https://doi.org/10.3390/jcs6070201
21. Filiz H, Ertürk Avunduk AT, Cengiz Yanardağ E. Diş hekimliğinde yüzey pürüzlülüğü araştırma yöntemleri: derleme makalesi [Surface roughness research methods in dentistry: a review article]. Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. 2023;2(2):28-35. https://dergipark.org.tr/tr/pub/usakdhf/issue/79521/1289272
22. Al-Dwairi ZN, Al Haj Ebrahim AA, Baba NZ. A comparison of the surface and mechanical properties of 3d printable denture-base resin material and conventional polymethylmethacrylate (PMMA). J Prosthodont. 2023;32(1):40-8. PMID: 35119168.
23. Bozoğulları Hn, Üstün Ö. Protez temizleme ajanlarının diş eti karakterizasyonunda kullanılan farklı materyallerin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin değerlendirilmesi [Evaluation of the effect of denture cleansing agents on the surface roughness of different materials used in gingival characterization]. Selcuk Dental Journal. 2022;9(3):831-8. https://doi.org/10.15311/selcukdentj.1133231
24. Morresi AL, D'Amario M, Capogreco M, Gatto R, Marzo G, D'Arcangelo C, et al. Thermal cycling for restorative materials: does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. J Mech Behav Biomed Mater. 2014;29:295-308. PMID: 24135128.

-
25. Gad MM, Alshehri SZ, Alhamid SA, Albarrak A, Khan SQ, Alshahrani FA, et al. Water sorption, solubility, and translucency of 3D-printed denture base resins. *Dent J (Basel)*. 2022;10(3):42. PMID: 35323244; PMCID: PMC8947006.
 26. Berli C, Thieringer FM, Sharma N, Müller JA, Dedem P, Fischer J, et al. Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *J Prosthet Dent*. 2020;124(6):780-6. PMID: 31955837.
 27. Arslan E, Avukat EN, Akay C. The effect of aging on artificial saliva at different pH values on the color stability of new generation denture base materials. *Cureus*. 2024;16(3):e55804. PMID: 38586635; PMCID: PMC10999240.
 28. Fotovat F, Abbasi S, Nikanjam S, Alafchi B, Baghiat M. Effects of various disinfectants on surface roughness and color stability of thermoset and 3D-printed acrylic resin. *Eur J Transl Myol*. 2024;34(1):11701. PMID: 38247390; PMCID: PMC11017172.
 29. Kessler A, Reichl FX, Folwaczny M, Högg C. Monomer release from surgical guide resins manufactured with different 3D printing devices. *Dent Mater*. 2020;36(11):1486-92. PMID: 32972769.
 30. Kamal Mnm. Comparative evaluation of color stability between three different Cad/Cam milled denture base materials: an in vitro study. *Journal Of International Dental And Medical Research*. 2020;13(3):854-60. https://www.jidmr.com/journal/wp-content/uploads/2020/09/5-D20_1113_Maha_Nagi_Kamal_Egypt.pdf

ARTICLE IN PRESS