
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

EKLEMELİ ÜRETİM TEKNOLOJİSİ İLE ÜRETİLEN HİBRİT SERAMİK MATERYALLERİNİN FARKLI SON KÜRLEME SÜRELERİNİN RENK STABİLİTESİNE VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

Günseli Sıla ŞAHİN

UZMANLIK TEZİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

MAYIS 2026

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Günseli Sıla ŞAHİN

14/05/2026

EKLEMELİ ÜRETİM TEKNOLOJİSİ İLE ÜRETİLEN HİBRİT SERAMİK MATERYALLERİNİN FARKLI SON KÜRLEME SÜRELERİNİN RENK STABİLİTESİNE VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

(Uzmanlık Tezi)

Günseli Sıla ŞAHİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

Mayıs 2026

ÖZET

Bu in vitro çalışmanın amacı, stereolitografi (SLA) teknolojisi ile üretilen daimi kron rezin materyalinde farklı son kürleme sürelerinin renk stabilitesi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin, mekanik polisaj ve farklı yaşlandırma yöntemleri sonrasında değerlendirilmesidir. Çalışma kapsamında, SLA teknolojisi kullanılarak daimi kron rezini (Formlabs Permanent Crown) ile toplam 160 adet örnek üretildi ve son kürleme süresine göre dört gruba ayrıldı (0, 20, 40 ve 60 dakika, n=40). Mekanik polisaj işleminin etkisini incelemek için işlemden önce ve sonra ölçümler yapıldı. Her grup, uygulanacak yaşlandırma testine göre fırçalama simülatörü, distile su, kahve ve şarap solüsyonlarında bekletme olmak üzere dört alt gruba ayrıldı (n=10). Tüm örneklerde yaşlandırma işlemi öncesi ve sonrası renk parametreleri spektrofotometre ile, yüzey pürüzlülüğü (Ra) ise profilometre ile ölçüldü. Renk değişimi değerleri (ΔE_{00}), CIEDE2000 formülü kullanılarak hesaplandı. Veriler tek yönlü, tekrarlı ölçümlü, iki yönlü ANOVA ve ikili karşılaştırmalar için Bonferroni düzeltmesi ile analiz edildi (α=0,05). Elde edilen sonuçlara göre, son kürleme süresinin hem yüzey pürüzlülüğü hem de renk değişimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu belirlendi ($p<0,05$). Son kürleme uygulanmayan grupta yüzey pürüzlülüğü değerleri en yüksek bulunurken, son kürleme uygulanan gruplar arasında en düşük değerler 20 dakikalık son kürleme süresinde elde edildi ($p<0,05$). En yüksek ΔE_{00} değerleri şarap ve kahve gruplarında elde edilirken, distile su ve fırçalama gruplarında daha düşük değerler saptandı ($p<0,05$). Ayrıca, yaşlandırma yöntemlerinin renk değişimi üzerinde anlamlı etkisi olduğu belirlendi ($p<0,05$). Son kürleme süresinin 20 dakika olduğu grupta en düşük renk değişimi değerleri elde edildi, son kürleme süresinin 40 ve 60 dakikaya uzatılması renk stabilitesinde ilave bir iyileşme sağlamadı ($p<0,05$).

Bilim Kodu : 1050
Anahtar Kelimeler : 3 boyutlu yazıcı, eklemeli üretim, stereolitografi, son kürleme, daimi hibrit seramik, renk stabilitesi, yüzey pürüzlülüğü
Sayfa Adedi : 103
Danışman : Prof. Dr. Arzu Zeynep YILDIRIM

THE EFFECT OF DIFFERENT POST-CURING TIMES ON THE COLOR STABILITY AND SURFACE ROUGHNESS OF ADDITIVELY MANUFACTURED HYBRID CERAMIC MATERIALS

(Speciality Thesis)

Günseli Sıla ŞAHİN

GAZİ UNIVERSITY

FACULTY OF DENTISTRY

May 2026

ABSTRACT

The aim of this in vitro study was to evaluate the effects of different post-curing times on the color stability and surface roughness of a permanent crown resin material produced using stereolithography (SLA) technology, following mechanical polishing and various aging procedures. A total of 160 specimens were fabricated using SLA technology with a permanent crown resin (Formlabs Permanent Crown) and divided into four groups according to post-curing time (0, 20, 40, and 60 minutes; n=40). To assess the effect of mechanical polishing, measurements were performed before and after the procedure. Each group was further subdivided into four subgroups (n=10) based on the aging method: toothbrushing simulation, distilled water, coffee, and wine immersion. For all specimens, color parameters were measured using a spectrophotometer and surface roughness (Ra) using a profilometer, both before and after aging procedures. Color differences were calculated using the CIEDE2000 formula (ΔE_{00}). Data were analyzed using one-way, repeated measures, and two-way ANOVA, followed by Bonferroni post hoc tests (α=0.05). The results showed that post-curing time had a statistically significant effect on both surface roughness and color change ($p<0.05$). The highest surface roughness values were observed in the non-post-cured group, whereas the lowest values among the post-cured groups were obtained after 20 minutes of post-curing ($p<0.05$). In terms of color change, the highest ΔE_{00} values were observed in the wine and coffee groups, whereas lower values were found in the distilled water and toothbrushing groups ($p<0.05$). Additionally, aging methods had a significant effect on color change ($p<0.05$). The lowest color change values were obtained in the 20 minute post-curing group, and extending the post-curing duration to 40 and 60 minutes did not provide any additional improvement in color stability ($p<0.05$).

Science Code : 1050
Keywords : 3D printer, additive manufacturing, stereolithography, post-curing, permanent hybrid ceramic, color stability, surface roughness
Page Number : 103
Supervisor : Prof. Dr. Arzu Zeynep YILDIRIM

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca her zaman yanımda olan, hem mesleki hem hayat tecrübelerini benimle paylaşan, öğrencisi olmaktan mutluluk ve onur duyduğum çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Arzu Zeynep YILDIRIM'a,

Akademik hayatındaki tutumunu ve çalışma disiplinini örnek aldığım, keyifli sohbetiyle beni her zaman neşelendiren Prof. Dr. Merve BANKOĞLU'na,

Eğitimim süresince herhangi bir problemim olduğunda yardımlarını esirgemeyen, hep arkamda duracağından emin olduğum Anabilim Dalı Başkanımız Prof. Dr. Cemal AYDIN'a,

Hayatımdaki en büyük şanslarım olan, çocukları olmaktan gurur duyduğum ve varlıklarından güç aldığım canım babam Ali ŞAHİN ve canım annem Sevtap ŞAHİN'e, hayatımdaki en değerlim olan biricik kardeşim Nehir ŞAHİN'e,

Uzmanlık yolculuğumuzun aynı gün başladığı, bu süreçte her anı birlikte paylaştığım ve bundan sonra da yanımda olacaklarına inandığım, çok sevdiğim canım arkadaşlarım Burçak GÜRPINAR ve İrem ÜNALDI'ya,

Fakültede geçirdiğim sürede beni hep neşelendiren, onları görmekten mutluluk duyduğum canım arkadaşlarım Ilgın DOĞAN, Gizem AYAZ, Aybala KİBAR, Egehan DOĞAN, Yaren Berfin KONYAR, Ayyüce SÖKMEN, Cengiz Han ŞAHİN, Simge HASANÇEBİ, Hüseyin BOZER ve Doğuberk KESKİ'ye,

Bu süreçte birlikte çalışmaktan keyif aldığım başta Gülşah KAYA ve Rumeysa YILDIRIM olmak üzere tüm eşkıdemlerime,

Güzel enerjisiyle beni her zaman destekleyen ablam Nurhan ÇÖÇÜ ve yardımlarını esirgemeyen abim Hasan SEMİZ'e,

TDH-2025-9918 kodlu proje numarası ile tez çalışmama katkı sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Koordinatörlüğü'ne en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

RESİMLERİN LİSTESİ xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. GENEL BİLGİLER 3

2.1. Bilgisayar Destekli Tasarım / Bilgisayar Destekli Üretim (CAD/CAM) Sistemleri 3

2.1.1. Eksiltmeli üretim teknolojisi 4

2.1.2. Eklemeli üretim teknolojisi 5

2.2. Kazan Fotopolimerizasyon Teknolojisinde Son İşlem Prosedürleri 13

2.2.1. Destek yapıların çıkartılması işlemi 14

2.2.2. Yıkama işlemi 15

2.2.3. Postkürleme işlemi 15

2.3. Kazan Fotopolimerizasyon Teknolojisinde Kullanılan Materyaller 16

2.3.1. Rezin matriks seramikler (resin matrix ceramic, RMC) 18

2.4. Polimerizasyon ve Polimer Kavramları 19

2.5. Diş Hekimliğinde Işık ve Renk 23

2.5.1. Işık ve renk hakkında temel kavramlar 24

2.5.2. Renk sistemleri 25

2.5.3. Renk ölçümü ve kullanılan sistemler 31

Sayfa

2.6. Yüzey Pürüzlülüğü 34
2.6.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm yöntemleri 35
2.6.2. Yüzey pürüzlülüğü parametreleri 37
2.7. Yüzey Bitirme İşlemleri 38
2.8. Yapay Yaşlandırma Yöntemleri 39
2.8.1. Sıvı ortamda bekleterek yaşlandırma 40
2.8.2. Fırçalama simülatörü ile yaşlandırma 40
3. GEREÇ VE YÖNTEM 41
3.1. Çalışma Gruplarının Oluşturulması 41
3.2. Örneklerin Tasarımı, Üretimi ve Son İşlem Prosedürlerinin Uygulanması 42
3.3. Örneklerin Yüzey Standardizasyonunun Sağlanması 45
3.3.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü 47
3.3.2. Renk ölçümü 47
3.4. Mekanik Polisaj İşlemi 48
3.4.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü 49
3.4.2. Renk ölçümü 49
2.5. Fırçalama Simülatörü ile Yaşlandırma İşlemi 50
3.5.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü 52
3.5.2. Renk ölçümü 52
3.6. Sıvıda Bekleterek Yaşlandırma İşlemi 52
3.7. CIEDE2000 Renk Ölçüm Formülü ile ΔE_{00} Hesaplanması 53
3.8. İstatistiksel Analiz 54
4. BULGULAR 55
4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Bulguları 55
4.1.1. Mekanik polisaj öncesi yüzey pürüzlülüğü bulguları 55
4.1.2. Mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü bulguları 56

Sayfa

4.1.3. Yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü bulguları 58

4.1.4. Yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farkı bulguları 60

4.2. Renk Değişimi Bulguları 62

4.2.1. Mekanik polisaj öncesi – sonrası renk değişiminin incelenmesi 62

4.2.2. Yaşlandırma sonrası renk değişiminin incelenmesi 63

5. TARTIŞMA 67

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 83

KAYNAKLAR 87

ÖZGEÇMİŞ 103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Eklemeli üretim teknolojilerinin temel prensipleri 9

Çizelge 2.2. Eklemeli üretim teknolojilerinin temel prensipleri 9

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan rezin materyali 42

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan cihazların marka ve üretici firmaları 42

Çizelge 4.1. Son kürleme süresinin mekanik polisaj öncesi yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine ilişkin tek yönlü ANOVA sonuçları 55

Çizelge 4.2. Son kürleme gruplarında mekanik polisaj öncesi yüzey pürüzlülüğü (Ra, µm) değerlerinin karşılaştırılması 55

Çizelge 4.3. Son kürlemenin mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine ilişkin tek yönlü ANOVA sonuçları 56

Çizelge 4.4. Son kürleme gruplarında mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü (Ra, µm) değerlerinin karşılaştırılması 56

Çizelge 4.5. Son kürleme süresinin, mekanik polisaj öncesi-sonrası yüzey pürüzlülüğü değişimi üzerindeki etkisine ilişkin tekrarlı ölçümlü ANOVA sonuçları 57

Çizelge 4.6. Mekanik polisaj öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması 57

Çizelge 4.7. Son kürleme gruplarında mekanik polisaj öncesi-sonrası yüzey pürüzlülüğü değişimi değerlerinin karşılaştırılması 58

Çizelge 4.8. Son kürleme süresinin ve yaşlandırma yönteminin, yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine ilişkin iki yönlü ANOVA sonuçları 58

Çizelge 4.9. Son kürleme gruplarında yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü (µm) değerlerinin karşılaştırılması 59

Çizelge 4.10. Yaşlandırma yöntemi gruplarında yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü (µm) değerlerinin karşılaştırılması 59

Çizelge 4.11. Son kürleme süresi – yaşlandırma yöntemi etkileşim gruplarında yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü (µm) değerlerinin karşılaştırılması 60

Çizelge 4.12. Son kürleme süresinin ve yaşlandırma yönteminin; yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farkı üzerindeki etkisine ilişkin iki yönlü ANOVA sonuçları 61

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.13. Son kürleme gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farklarının karşılaştırılması 61

Çizelge 4.14. Yaşlandırma yöntemi gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farklarının karşılaştırılması 62

Çizelge 4.15. Son kürleme süresinin, mekanik polisaj öncesi-sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) üzerindeki etkisine ilişkin tek yönlü ANOVA sonuçları 62

Çizelge 4.16. Son kürleme gruplarında mekanik polisaj öncesi-sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) değerlerinin karşılaştırılması..... 63

Çizelge 4.17. Son kürleme süresinin ve yaşlandırma yönteminin; yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) üzerindeki etkisine ilişkin iki yönlü ANOVA sonuçları 63

Çizelge 4.18. Son kürleme gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) değerlerinin karşılaştırılması 64

Çizelge 4.19. Yaşlandırma yöntemi gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) değerlerinin karşılaştırılması..... 64

Çizelge 4.20. Son kürleme süresi – yaşlandırma yöntemi etkileşim gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) değerlerinin karşılaştırılması..... 65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Katman katman üretim sonucunda meydana gelen basamaklanma etkisinin şematik gösterimi. a. CAD model b. Tasarlanan modelin dilimlenmesi c. Üretim sonucu nihai parça d. Basamaklanma etkisi..... 8

Şekil 2.2. SLA üretim sürecinin şematik gösterimi 10

Şekil 2.3. a) Top-down sisteme sahip yazıcı, b) Bottom-up sisteme sahip yazıcı 11

Şekil 2.4. DLP üretim sürecinin şematik gösterimi 12

Şekil 2.5. mSLA üretim sürecinin şematik olarak gösterimi 13

Şekil 2.6. Fotopolimerizasyon sürecinin şematik gösterimi 17

Şekil 2.7. Polimer yapılarının şematik gösterimi..... 20

Şekil 2.8. Monomer yapılarının şematik gösterimi 21

Şekil 2.9. Elektromanyetik spektrum ve görünür ışık aralığı. 23

Şekil 2.10. Munsell renk ağacı..... 26

Şekil 2.11. CIELAB renk uzayı 28

Şekil 2.12. AFM çalışma prensibi 37

Şekil 3.1. Örneklerin exocad tasarımı..... 42

Şekil 3.2. Örneklerin gruplara ayrılmasının şematik gösterimi 50

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. FormLabs Form 3B+ yazıcı 43
Resim 3.2. Form Wash yıkama cihazı 44
Resim 3.3. Form Cure UV polimerizasyon cihazı 44
Resim 3.4. Örnek grupları 45
Resim 3.5. Örnek kalınlığının dijital kumpas ile ölçülmesi 45
Resim 3.6. Zımpara cihazı 46
Resim 3.7. Örneklerin sabit su altında zımparalama işlemi 46
Resim 3.8. Ultrasonik temizleyici 46
Resim 3.9. Profilometre cihazı 47
Resim 3.10. Spektrofotometre cihazı 47
Resim 3.11. D65 standart aydınlatma ortamı olan renk ölçüm kutusu 48
Resim 3.12. Spektrofotometre ile yapılan renk ölçümünün sayısal değerleri 48
Resim 3.13. 3M ESPE Sof-Lex elmas polisaj sistemi 49
Resim 3.14. Örneklerin kalıplara yerleştirilmesi 50
Resim 3.15. Fırçalama simülatöründeki yaşlandırma işlemi 51
Resim 3.16. Fırçalama simülatöründe kullanılan diş fırçası 51
Resim 3.17. Fırçalama simülasyonunda kullanılan diş macunu 51
Resim 3.18. Distile su, şarap ve kahve solüsyonlarına konulan örnekler 52
Resim 3.19. Renklendirici solüsyon olarak kullanılan kırmızı sek şarap ve kahve 53
Resim 3.20. Etüv cihazı 53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
%	Yüzde
<	Küçüktür
>	Büyüktür
±	Artı-eksi
°	Derece
λ	Dalga boyu
≈	Yaklaşık
°C	Santigrat derece
Δ	Fark (delta)
ΔC	Chroma farkı
ΔE	Renk farkı
ΔE_{ab}	CIELAB formülüne göre renk değişim değeri
ΔE_{00}	CIEDE2000 formülüne göre renk değişim değeri
ΔH	Hue farkı
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
nN	NanoNewton
a*	Rengin kırmızı-yeşil eksenindeki yeri
b*	Rengin sarı-mavi eksenindeki yeri
K_C	Doygunluk için parametrik faktör
K_H	Ton için parametrik faktör
K_L	Parlaklık için parametrik faktör
Ra	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
Rp	Maksimum tepe yüksekliği
Rv	Maksimum vadi derinliği
Rz	Ortalama maksimum profil yüksekliği

Simgeler	Açıklamalar
R_T	Rotasyon terimi
S_C	Doygunluk için ağırlıklandırma fonksiyonu
S_H	Ton için ağırlıklandırma fonksiyonu
S_L	Parlaklık için ağırlıklandırma fonksiyonu

Kısaltmalar	Açıklamalar
2B	2 Boyutlu
3B	3 Boyutlu
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Derneği (American Society for Testing and Materials)
AT	Kabul edilebilirlik eşiği
CAI	Bilgisayar destekli görüntüleme
CAD	Bilgisayar destekli tasarım (Computer Aid Design)
CAM	Bilgisayar destekli üretim (Computer Aid Manufacture)
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de l'Éclairage)
DLP	Dijital ışık işleme
FEP	Floroetilen propilen
IPA	İzopropil alkol
LCD	Likit kristal ekran
LED	Işık yayan diyotlar
mSLA	Maskelenen stereolitografi
PT	Algılanabilirlik eşiği
PICN	Polimer infiltre seramik ağ
RMC	Rezin matriks seramik
SLA	Stereolitografi
STL	Standart üçgenleme/Mozaikleme dili (Standart triangulation/Tessellation language)
TPM	Tripropilen glikol monometil eter
UV	Ultraviyole
VP	Kazan (Vat) fotopolimerizasyonu

1. GİRİŞ

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojilerindeki gelişmeler ile günümüzde geleneksel yöntemlerin yol açtığı sınırlamalar giderek azalmaktadır [1]. CAD/CAM sistemlerindeki dijital iş akışı, verilerin kaydedilmesi, bilgisayar yazılımında tasarımın yapılması ve restorasyonun üretilmesi olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır [2]. Üçüncü aşama olan üretim aşamasında, restorasyon seçilen materyalden eksiltmeli veya eklemeli üretim yöntemleriyle elde edilebilmektedir [3].

Eksiltmeli üretim tekniğinde blok halindeki malzeme mekanik olarak frezelenerek üretim tamamlanmaktadır [4]. Eklemeli üretim sürecinde ise 3 boyutlu (3B) model verilerinden nesneler oluşturmak için katman katman birleştirme işlemi yer almaktadır. Eklemeli üretim teknolojisi, eksiltmeli üretim teknolojisine kıyasla üretilecek nesnenin şeklinin karmaşıklığına veya boyutuna bakılmaksızın üretimi mümkün kılması, malzeme kaybını azaltabilmesi ve frezeleme işleminde kullanılan kesici uç boyutundan daha ince ayrıntıları elde edebilmesi gibi avantajları sayesinde günümüzde diş hekimliği alanında giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır [2, 5].

Eklemeli üretim teknolojisinde dijital planlama süreci, ağız içi tarayıcılar kullanılarak hastanın anatomisinin doğru bir şekilde elde edilmesiyle başlamaktadır [6]. Veri işleme, CAD yazılımı aracılığıyla nesnenin sanal tasarım sürecini tanımlamaktadır. Üretim aşaması için baskı parametrelerini ayarlamak üzere yazıcının yazılımı ile kullanılabilen bir STL dosyası üretilmektedir. Eklemeli üretim sürecinde nesnenin oluşturulması, yazıcıya aktarılan STL dosyasına dayalı olarak gerçekleşmektedir. Üreticilerin tavsiyelerine ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak üretilen nesnenin destek yapıların çıkarılması, yıkama, son kürleme ve yüzey bitirme işlemlerini içeren son işlem sürecinden geçirilmesi gerekmektedir [7, 8]. Son kürleme işlemi, reaksiyona girmemiş monomerlerin dönüşümünü tamamlamak ve çapraz bağlanmayı artırmak amacıyla uygulanmaktadır. Bu işlem, 3B yazıcı kullanılarak elde edilen dental protetik restorasyonların mekanik özelliklerini iyileştirerek daha stabil bir yapıya ulaştırmaktadır [9].

Eklemeli üretim teknolojileri arasında yer alan kazan (vat) fotopolimerizasyonu, sıvı fotopolimer rezinlerin ışık kaynağı ile katmanlar halinde polimerize edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu teknoloji stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve maskelenen

stereolitografi (mSLA) olmak üzere üç ana üretim yöntemini kapsamaktadır. SLA teknolojisi, yüksek çözünürlük ve yüzey kalitesi sağlaması nedeniyle dental restorasyonların üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir [10].

Rezin-seramik materyallerden oluşan dental restorasyonların üretiminde uzun zaman boyunca eksiltmeli üretim teknolojileri kullanılmıştır. Son yıllarda eklemeli üretim teknolojisinde de kullanılmak üzere seramik dolgulu hibrit rezin materyaller geliştirilerek piyasaya sunulmuştur [11]. Bu materyaller, seramiklerin üstün estetik özellikleri ile kompozit rezinlerin elastik ve işlenebilir yapısını bir araya getiren gelişmiş restoratif materyaller olarak tanımlanmaktadır. Genellikle yüksek oranda seramik dolgu partiküllerinin polimer matriks içerisinde yer alması ile elde edilmekte ve hem mekanik dayanım hem de estetik performans açısından dengeli özellikler sunmaktadır [12]. Rezin matriks seramikler, geleneksel seramik materyallere kıyasla daha düşük elastik modüle sahip olmaları sayesinde karşıt dişte daha az aşınmaya neden olmakta ve kırılganlıklarının daha düşük olması nedeniyle klinik kullanımda avantaj sağlamaktadır [13].

Daimi restorasyonların renk stabilitesi ve yüzey pürüzlülüğü, uzun dönem klinik başarısını etkileyen parametreler arasındadır [11]. Renk stabilitesi, materyalin zaman içinde renk bütünlüğünü koruyabilme yeteneğini ifade ederken, yüzey pürüzlülüğü materyal yüzeyinin mikroskobik düzeydeki düzensizliklerini tanımlamaktadır. Restorasyonlar, ağız ortamında mekanik aşınmaya ve boyayıcı gıda ve içeceklere sürekli olarak maruz kalmaktadır. Bu klinik koşulların laboratuvar ortamında taklit edilebilmesi amacıyla, mekanik aşınmayı simüle etmek için fırçalama simülatörleri, kimyasal etkileri değerlendirmek için ise farklı boyayıcı solüsyonlarda bekletmeye dayalı yaşlandırma yöntemleri kullanılmaktadır [14, 15].

Eklemeli üretimle elde edilen rezin esaslı materyallerde optimum son kürleme koşulları ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Son kürleme için standart bir süre bulunmamakta, ideal süre materyale ve üretici firma önerilerine bağlı olarak değişmektedir. Optimal son kürleme protokollerinin belirlenmesi materyalin uzun dönem stabilitesi için önem taşımaktadır [16, 17]

Bu çalışmanın amacı, SLA teknolojisiyle üretilen daimi hibrit seramik materyallere, farklı sürelerde uygulanan son kürleme işleminin, mekanik polisaj ve yaşlandırma işlemlerinin renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Bilgisayar Destekli Tasarım / Bilgisayar Destekli Üretim (CAD/CAM) Sistemleri

1980'lerden sonra diş hekimliğinde büyük gelişim gösteren CAD/CAM sistemi, optik tarayıcılar aracılığıyla toplanan verilerin bilgisayar yazılımları kullanılarak üç boyutlu (3B) tasarımlara dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır [18]. CAD/CAM iş akışı veri toplama (CAI), veri işleme (CAD) ve hem eksiltmeli hem de eklemeli üretim tekniklerini kapsayan üretim aşaması (CAM) olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır [8]. Bu üç ana unsuru barındırarak, fiziksel iş gücünün olabildiğince azaltıldığı iş akışına dijital iş akışı denilmektedir. Dijital iş akışının ilk basamağı olan veri elde etme süreci, hastalardan dijital tarayıcılar aracılığıyla doğrudan veya klasik ölçü yöntemleriyle alınan modellerin ekstraoral olarak taranması yoluyla gerçekleştirilebilmektedir. Dijital iş akışında bir sonraki aşama CAD aşamasıdır. Bu aşamada tasarımı yapılmış protezler genelde STL dosya formatında depolanmaktadır [19]. STL, fiziksel parçalar oluşturmak amacıyla objenin yüzey geometrisini üçgenlerle kaplayarak tanımlayan ve bu bilgileri cihazlara iletmek için kullanılan bir dosya formatıdır. STL dosya formatı, standart üçgenleme dili veya standart mozaikleme dili (standard tessellation language/ standard triangle language) olarak tanımlanmasına rağmen hiçbir kuruluş tarafından resmi bir standart olarak kabul edilmemektedir [20].

Dijital iş akışının son adımı ise toplanan verileri istenilen ürüne dönüştüren üretim aşamasıdır. Dental teknolojide günümüzde CAD/CAM terimi eksiltmeli üretimde kullanılan frezeleme teknolojisi ile eş anlamlı kullanılmasına rağmen bu kullanım kavramsal olarak doğru değildir. CAD, bilgisayar destekli tasarımı, CAM ise bilgisayar destekli üretimi ifade etmekte olup CAD/CAM terimi, kullanılan imalat yöntemi hakkında herhangi bir bilgi sağlamamaktadır [21].

Tasarlanan modelin fiziksel olarak üretilip hastanın ağzına yerleştirilmeden önce uygulanan işlem sonrası süreçlerini kapsayan üretim süreci parçaları fiziksel olarak elde edilmesini sağlayan eklemeli veya eksiltmeli üretim yöntemlerini içermektedir [3].

2.1.1. Eksiltmeli üretim teknolojisi

Eksiltmeli üretim teknolojisinde üretim aşaması, bilgisayar kontrollü sistemlerle materyal bloğunun frezelenerek istenilen geometrinin elde edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Üretim süreci bloğun eksiltilmesi esasına dayandığı için bu yöntem eksiltmeli üretim teknolojisi olarak adlandırılmaktadır [18]. Günümüzde kullanılan üretim yöntemlerinin büyük bir kısmı eksiltmeli üretim yöntemine dayanmaktadır [19].

Eksiltmeli üretim teknolojisinde frezeleme sistemleri çeşitleri

CAD/CAM sistemini oluşturan unsurlar bulunduğu yere bağlı olarak koltuk başı sistem , laboratuvarda kullanılan sistemler ve üretim merkezli CAD/CAM sistemleri olarak üç farklı grupta kategorize edilmektedir.

- Koltuk başı CAD/CAM sistemleri: CAD/CAM sistemini oluşturan tüm unsurlar diş hekimliği kliniği içerisinde yer almaktadır. Dental restorasyonlar herhangi bir laboratuvar sürecine ihtiyaç duyulmadan doğrudan klinik ortamında üretilebilmektedir. Bu durum zaman tasarrufu sağlamakta ve hastaya üretilen restorasyonların tek seansta teslim edilmesine olanak tanımaktadır.
- Laboratuvarda kullanılan CAD/CAM sistemleri: Diş hekimi konvansiyonel veya dijital yöntemler ile aldığı ölçüyü laboratuvara yollamaktadır. CAD/CAM üretim sürecinin geri kalan tüm aşamaları laboratuvar ortamında gerçekleştirilmektedir.
- Üretim merkezli CAD/CAM sistemleri: Ana model taraması laboratuvar ortamında yapıldıktan sonra elde edilen veriler restorasyonların CAD/CAM cihazları ile üretilmesi amacıyla ana üretim merkezine gönderilmektedir. Üretimin tamamlanmasının ardından, protez ilgili laboratuvara geri gönderilmektedir. Dijital iş akışının birinci ve ikinci aşamaları (CAI ve CAD) dental laboratuvarda gerçekleştirilirken, üçüncü aşama (CAM) üretim merkezinde yapılmaktadır [21].

Eksiltmeli üretim teknolojisinin avantajları

Eksiltmeli üretim temelli CAD/CAM sistemleri konvansiyonel ölçü alma yöntemlerine olan ihtiyacı büyük ölçüde azaltarak dijital ölçüm teknolojilerinin sunduğu olanaklardan yararlanılmasını sağlamaktadır. Bu sistemler, tedavilerin daha kısa sürede tamamlanmasına

imkân tanımakta, hasta konforunu artırmakta ve tek seansta uyumlu restorasyonlar üreterek zaman ve malzeme tasarrufu sağlamaktadır [22]. CAD/CAM sistemleri, yüksek doğrulukla ve düzgün yüzey özelliklerine sahip restorasyonlar üretebilme yetenekleri sayesinde üretim sürecinde oluşabilecek hataları azaltmaktadır. Hekim, klinik gereksinimlere uygun bir materyal ve dijital planlama ile estetik beklentileri karşılayan çözümler geliştirebilmektedir. Bunun yanı sıra blok materyallerden gerçekleştirilen üretim, materyalin yapısal bütünlüğünü koruyarak yüksek dayanıklılığa sahip monoblok restorasyonların elde edilmesine katkı sağlamaktadır [23].

Eksiltmeli üretim teknolojisinin dezavantajları

Eksiltmeli üretim teknolojisinin avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Ekipman ve yazılım maliyeti yüksek olup hekimlerin bu sistemi etkin kullanabilmesi için eğitim alması gerekmektedir [22]. Karmaşık geometriye sahip materyallerin üretimi, frez boyutunun sınırlılığı ve frezin bloklara erişim güçlüğü nedeniyle zor olmakta, frez ucu boyutundan daha küçük ayrıntılar işlenememektedir. Bu teknolojide bloktan frezeleme süreci sırasında oluşan fazla atık miktarı, istenilen son ürüne kıyasla daha fazla materyal tüketimine ve buna bağlı olarak yüksek maliyetlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [24]. Aynı zamanda eksiltmeli üretim sürecinde bir seferde yalnızca bir ürün elde edildiğinden dolayı seri üretime uygun değildir [3]. Bu üretim yöntemindeki maliyeti düşürme ihtiyacı eklemeli üretim yönteminin geliştirilmesine neden olmuştur [18].

2.1.2. Eklemeli üretim teknolojisi

Eklemeli üretim ya da hızlı prototipleme olarak adlandırılan 3B baskı, 1980'li yılların başında Charles W. Hull tarafından bulunmuştur. Eklemeli üretim teknolojisi materyalin katman katman eklenmesi esasına dayanan bir üretim yöntemidir [6, 25]. Bu teknoloji, kendi altında farklı kategorilerden oluşmasına rağmen, temel üretim prensipleri benzerlik göstermekte olup aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- CAD yazılımı aracılığıyla model elde edilmesi
- STL dosyası üretimi
- STL modelin katmanlara bölünmesi
- Üretim

- Üretilen malzemenin platformdan ayrılması
- Son işlem prosedürleri
- Uygulama

CAD yazılımı aracılığıyla nesnenin sanal tasarım sürecini tanımlayan veri işleme sürecinden sonra, üretim süreci için yapı değişkenlerini ve parametrelerini değiştirmek üzere yazıcının yazılımı ile kullanılabilen bir STL dosyası üretilmektedir. Eklemeli üretim sürecinde nesnenin oluşturulması, yazıcıya aktarılan STL dosyasına dayalı olarak gerçekleşmektedir [7]. Tasarlanan model katmanlara ayrıldıktan sonra ısı girdisi, gerilme oluşumu gibi parametreler dikkate alınarak bir üretim yolu oluşturulmakta ve bu yol, eklemeli üretim sisteminin algılayabileceği yazıcının hareketlerini ve üretim adımlarını yönlendirerek parçayı üretmesini sağlayan G-code formatına dönüştürülmektedir. Cihazın hareket hızı, katman kalınlığı, üretim platformu sıcaklığı, destek tipi gibi parametreler belirlenip cihaz yapılandırılması tamamlandıktan sonra üretime başlanmaktadır. Üretim tamamlandıktan sonra malzeme üretim platformundan ayrılmaktadır. Kullanılan teknolojiye ve malzemeye göre değişiklik gösteren son işlem prosedürleri, destek yapıların uzaklaştırılması, yıkama işlemi ve son kürleme aşamalarını içermektedir. Bazı eklemeli üretim teknolojileri bu işlemlere ihtiyaç duymazken bazı teknolojiler dikkat ve zaman gerektiren son işlem prosedürlerine ihtiyaç duymaktadır. Son işlem prosedürleri tamamlanan malzeme, doğrudan kullanıma hazır hale gelebilmekteyken bazı uygulamalarda metal parçaların mekanik özelliklerini iyileştirmek için ısıl işlem uygulanması veya yüzey pürüzlülüğünün standardize edilmesi için polisaj gibi ek işlemlere ihtiyaç duyabilmektedir [26].

<u>Eklemeli üretim teknolojisinin avantajları</u>

- Eklemeli üretim yöntemlerinin en önemli avantajı, 3B nesnelerin dijital ortamda karmaşıklık sınırı olmadan tasarlanabilmesi ve üretilebilmesidir. Elde edilen ürünün estetik ve mekanik özellikleri büyük ölçüde bu dijital tasarım süreciyle şekillenmektedir. Bu durum prefabrik bloklarla üretici firmanın önceden belirlediği materyal özelliklerini barındıran eksiltmeli yöntemlerde mümkün olmamaktadır [1].
- Kullanılmayan materyaller geri dönüştürülüp tekrar kullanılabilmektedir [7].
- Eksiltmeli üretimde kullanılan frez uç boyutundan daha küçük ayrıntılar dahi elde edilebilmektedir [19].

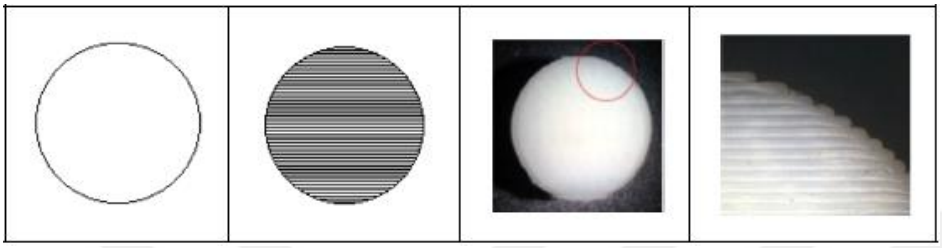
- Birden fazla ürünü eş zamanlı üretebildiği için hızlı prototipleme sürecine katkı sağlayıp üretim hızını arttırmaktadır [25].
- Geleneksel üretim teknikleri ile üretilemeyen çok malzemeli özelliklere sahip ürünü multi-materyal kullanım özelliği ile üretebilmektedir [27].
- Eksiltmeli üretim tekniklerine kıyasla eklemeli üretim teknolojisinde kullanılan malzeme miktarı daha az olup neredeyse hiç malzeme kaybı olmamaktadır [28].
- Eksiltmeli üretim yöntemlerinde frezlerin kullanıma bağlı aşınması sonucu protezler hatalı üretilebilmekteyken, eklemeli üretim yöntemlerinde frez kullanımı gerekmemektedir [16].
- Kabul edilebilir yüzey ve optik özelliklere sahip materyallerin üretimini sağlamaktadır [29].
- Dijital depolama sayesinde fiziksel modellerin saklanması ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır [30].
- Geleneksel üretimlerde gözlenebilen insan müdahalesinden kaynaklı hataları ortadan kaldırmaktadır [31].

Eklemeli üretim teknolojisinin dezavantajları

- Baskı sonrası uygulanan son işlem prosedürleri üretim sürecini uzatmakta ve işlem basamaklarının artmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda karmaşık yapılar veya geniş yüzey alanlarına sahip restorasyonlar için uygulanabilirliği sınırlıdır [32].
- Baskı doğruluğu yazıcı tipi, katman kalınlığı, baskı yönü ve destek yapıları gibi parametrelerden etkilenebilmekte, bu değişkenler tekrarlanabilirliği sınırlayabilmektedir [32].
- Eklemeli üretim teknolojilerinde kullanılabilecek malzemeler belirli sınırlamalar içinde olmakla birlikte günümüzde tüm materyal türleri için uygulanabilir değildir [33].
- Makine hacimlerinin sınırlı olması nedeniyle, eklemeli üretim yöntemleri büyük boyutlu ürünlerin üretimi için uygun değildir [33].
- Üretimin ardışık ve ayrık katmanlar halinde gerçekleştirilmesi seri üretim hızını yavaşlatmaktadır [33].
- Bazı eklemeli üretim teknolojilerinde üretim aşaması sırasında üretim boyunca objeyi üretim platformuna bağlayan destek yapılara ihtiyaç vardır. Üretimin yapılabilmesi için tasarım sırasında destek yapılar oluşturulmalı ve üretim sonrasında bu yapılar

uzaklaştırılmalıdır. Destek yapılarının uzaklaştırılması sırasında yüzey hasarı oluşma riski bulunmakta ve bu durum, restorasyonun uyumu ve yüzey bütünlüğü üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir [34-36].

- 3B modelin katmanlara ayrılarak üretilmesinden meydana gelen basamaklanma etkisi özellikle eğri yüzeylerde daha belirgin hale gelmekte ve yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır (Şekil 2.1) [37, 38].



Şekil 2.1. Katman katman üretim sonucunda meydana gelen basamaklanma etkisinin şematik gösterimi. a. CAD model b. Tasarlanan modelin dilimlenmesi c. Üretim sonucu nihai parça d. Basamaklanma etkisi [38]

Eklemeli üretim teknolojileri

Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) / Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) 52900:2015 standardı, eklemeli üretim teknolojisini yedi gruba ayırmaktadır.

1) Bağlayıcı püskürtme
2) Yönlendirilmiş enerji biriktirme
3) Malzeme ekstrüzyonu
4) Malzeme püskürtme
5) Toz yataklı füzyon
6) Sac laminasyonu
7) Kazan fotopolimerizasyonu

Her grubun avantajları, dezavantajları, üretilen malzemeleri ve üretimin temel prensiplerinin özeti Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de yer almaktadır [39].

Çizelge 2.1. Eklemeli üretim teknolojilerinin temel prensipleri

ASTM Kategorisi	Çalışma Prensibi	Örnek Teknoloji	Avantajları
Bağlayıcı Püskürtme	Parçacıklar birbirine yapıştırılarak katman katman inşa edilir.	3B mürekkep püskürtme (inkjet) teknolojisi	Destek yapı/altlık içermez, Tasarım özgürlüğü sağlar, Yüksek baskı hızı vardır, Nispeten düşük maliyetlidir.
Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme	Odaklanmış ısı enerjisi biriktirme esnasında malzemeleri eritir.	Lazer Biriktirme, Lazer Şekillendirme, Elektron Işını, Plazma Ark Ergitme.	Tane yapısının yüksek derecede kontrolü mümkündür, Yüksek kaliteli parçalar üretilebilir.
Malzeme Ekstrüzyonu	Malzeme, seçici olarak bir nozulden dışarı itilir.	Eriyik Yığma Modelleme Eriyik Filament Fabrikasyonu Eriyik Katman Modelleme	Yaygın kullanımlıdır, Ucuzdur, Tamamen işlevsel parçalar oluşturabilir.
Malzeme Püskürtme	Mürekkep püskürtme, UV kürleme	Polyjet Multijet	Yüksek damlacık biriktirme doğruluğu vardır, Düşük atık oluşturur, Çoklu malzeme parçaları üretilebilir, Çok renkli parçalar üretilebilir.
Toz Yataklı Füzyon	Isı enerjisi, üretim yatağındaki toz malzemelerini birleştirir.	Elektron Işın Eritme, Direkt Metal Lazer Sinterleme, Seçici Lazer Sinterleme, Seçici Lazer Eritme.	Nispeten ucuz bir teknolojidir, Geniş malzeme seçenekleri mevcuttur.
Sac Laminasyonu	Malzemelerin sac/folyoları yapıştırılmıştır.	Lamine Nesne Üretimi, Ultrasonik Katmanlı Üretim.	Hızı yüksektir, Düşük maliyetlidir, Malzeme taşıma kolaylığı vardır.
Kazan Fotopolimerizasyonu	Bir havuzdaki sıvı polimer ışıkla sertleştirilir.	Stereolitografi, Dijital Işık İşleme.	Büyük boyutlu parçalar üretilebilir, Boyutsal hassasiyeti üstündür, Yüzey bitimi ve malzemedeki detayları mükemmel oluşturur.

Çizelge 2.2. Eklemeli üretim teknolojilerinin temel prensipleri

ASTM Kategorisi	Dezavantajları	Kullanılan Materyaller
Bağlayıcı Püskürtme	Sınırlı mekanik özelliklere sahip kırılgan parçalar üretmektedir, Son işlem gerektirebilmektedir.	Polimerler Seramikler Kompozitler Metaller Hibrit malzemeler
Yönlendirilmiş Enerji Biriktirme	Yüzey kalitesi düşüktür, Metaller/metal tabanlı hibrit malzemelerle sınırlıdır.	Metaller Hibrit malzemeler
Malzeme Ekstrüzyonu	Basamaklı yüzey oluşturmaktır, Ayrıntılar için uygun değildir.	Polimerler Kompozitler
Malzeme Püskürtme	Destek malzemesi gereklidir, Fotopolimerler ve termoset rezinler gereklidir.	Polimerler Seramikler Kompozitler Hibrit malzemeler Biyolojik malzemeler
Toz Yataklı Füzyon	Nispeten yavaştır, Yapısal bütünlük eksikliği vardır, Boyut sınırlamaları mevcuttur, Yüksek güç gereklidir.	Polimerler Seramikler Kompozitler Metaller Hibrit malzemeler
Sac Laminasyonu	İşlem sonrası son işlemler gerekebilmektedir, Sınırlı malzeme kullanılabilmektedir.	Polimerler Seramikler Metaller Hibrit malzemeler
Kazan Fotopolimerizasyonu	Sadece fotopolimerlerle sınırlıdır, Üretim hızı yavaştır, Pahalı bir yöntemdir. Fotopolimerlerin düşük mekanik özellikleri vardır.	Polimerler Seramikler

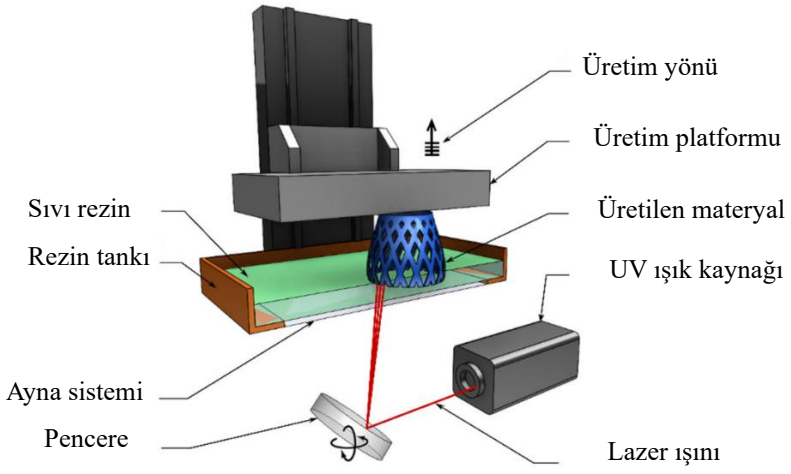
Eklemeli üretim teknolojileri arasında diş hekimliği alanında en yaygın kullanılan yöntemler kazan fotopolimerizasyonu, malzeme ekstrüzyonu, malzeme püskürtme ve toz yataklı füzyon yöntemleridir [1].

Kazan (Vat) Fotopolimerizasyonu (vat photopolymerization, VP)

Sıvı polimer rezinin bir ışık kaynağı kullanılarak katman katman sertleştirilmesi esasına dayanan VP teknolojisi stereolitografi (stereolithography, SLA), dijital ışık işleme (digital light processing, DLP) ve maskelenen stereolitografi veya likit kristal ekran (masked stereolithography / liquid crystal display, mSLA/LCD) olarak bilinen üç ana gruptan oluşmaktadır [10, 40]. Mevcut eklemeli üretim teknolojileri arasında VP teknolojisi, yüksek yapı çözünürlüğü ve boyutsal hassasiyet sunması, çeşitli kimyasal reaksiyonlara olanak tanıması, ekipman maliyetlerinin nispeten düşük olması ve üretilen malzemelerde yüksek yüzey kalitesi sağlaması gibi avantajları ile dikkat çekmektedir [41]. Bu eklemeli üretim teknolojisi diş hekimliği başta olmak üzere biyomedikal uygulamalar ve yüksek hassasiyet gerektiren diğer alanlar için en uygun yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir [42].

Stereolitografi (SLA)

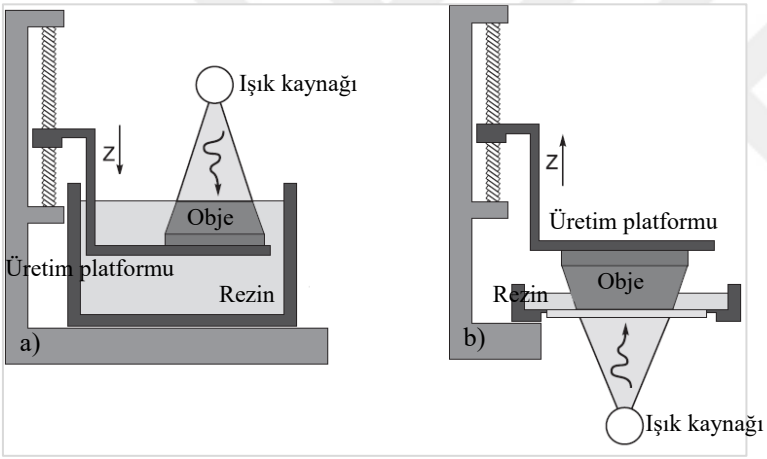
SLA tekniği, ışığa duyarlı rezinin polimerizasyonunu sağlamak için UV lazer ışını kullanan bir eklemeli üretim yöntemidir. Bu sistemde lazer ışını, ayna ve galvanometre yardımıyla sıvı rezinin yüzeyine yönlendirilmekte ve 3B modelin kesitsel desenine uygun şekilde polimerizasyon sağlanmaktadır (Şekil 2.2) [43].



Şekil 2.2. SLA üretim sürecinin şematik gösterimi

Bir katmanın polimerizasyonu tamamlandıktan sonra, üretim platformu belirlenen katman kalınlığı kadar z ekseninde aşağı doğru inmekte ve polimerize olmamış sıvı rezin, vakumlu bıçak yardımıyla bir önceki katmanın üzerine yayılmaktadır. Bu işlem, model tamamen oluşana kadar katman katman tekrarlanmaktadır [44]. Bu süreçte üretilen parçanın sabit kalması için destek yapılar üretilmekte ve üretim tamamlandıktan sonra bu destekler ana parçadan ayrılmaktadır [45].

Bu sistemde kullanılan bazı yazıcılar üç eksende de (x, y, z) mekanik olarak hareket edebilirken, bazı yazıcılar x ve y eksenlerini lazer ışınını yönlendirmek amacıyla kullanıp z ekseninde üretim platformunu hareket ettirmektedir. Üretim süreci devam ederken üretim platformunun z ekseninde yukarıya hareket ettiren sistemler bottom-up, aşağıya hareket ettiren sistemler ise top-down sistem olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.3) [42].



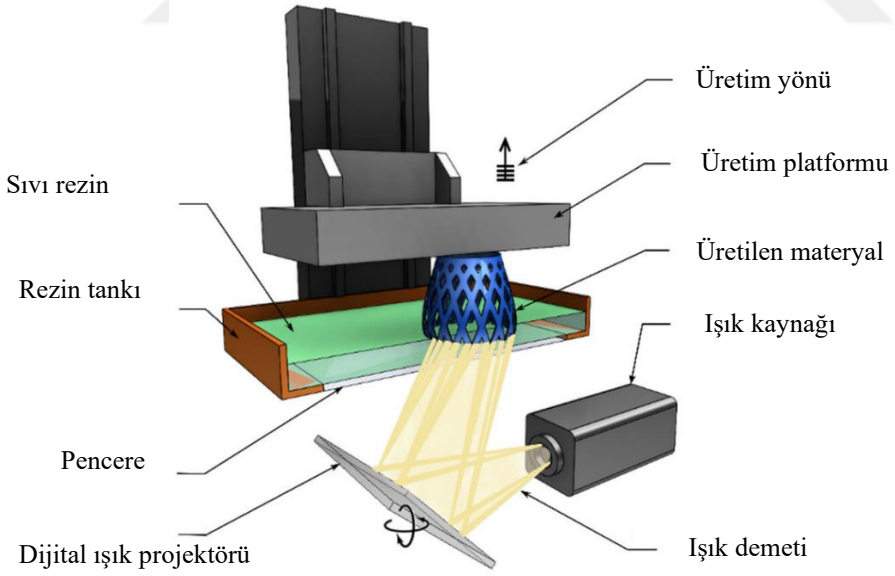
Şekil 2.3. a) Top-down sisteme sahip yazıcı, b) Bottom-up sisteme sahip yazıcı

Bottom-up ve top-down yaklaşımları hem SLA hem de DLP teknolojisinde kullanılabilmektedir. Bottom-up yaklaşımında üretim platformu yukarı doğru hareket ettikçe, üretilen nesne sıvı rezinin içine batırılmak yerine rezin içerisinden yukarı doğru çekilmektedir. Tarama işlemi alttan şeffaf bir ekran üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım haznede daha az miktarda rezin gerektirdiğinden günümüzde daha fazla tercih edilmektedir. Bir diğer avantajı ise top-down sistemindeki gibi hazne derinliğine bağlı üretim hacmi sınırlamasının bulunmamasıdır. Bununla birlikte, sıvı rezin içerisindeki katılaşmış rezin parçacıklarının veya yabancı partiküllerin tabana çökerek şeffaf ekranı kapatabileceği ve ışığın geçişini engelleyebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır [42].

SLA yazıcıları büyük baskı hacimlerine izin verse de kürleme işleminin tek bir lazer ışını ile gerçekleştirilmesi nedeniyle baskı hızları diğer eklemeli üretim yöntemlerine göre daha düşüktür. Baskı boyutunun artmasıyla birlikte işlem süresi uzamakta, aynı anda birden fazla parça üretimi mümkün olsa dahi bu durum toplam baskı süresinin daha da artmasına neden olmaktadır [43].

Dijital ışık işleme (digital light processing, DLP)

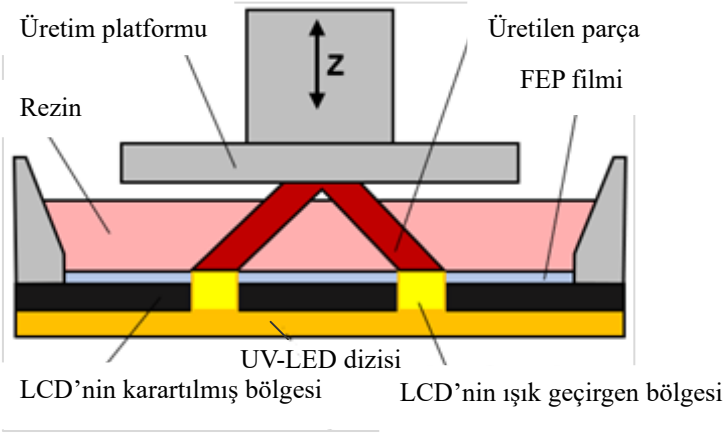
DLP teknolojisinde, fotopolimer rezin sığ ve şeffaf bir hazne içerisinde bulunmaktadır. Bu sistemde, paralel hale getirilmiş UV ışık demetini yönlendirmek için dijital mikro ayna cihazı bulunan bir dijital projektör kullanılmakta ve yansıtılan ışık haznenin tabanına odaklanarak rezinin seçici olarak polimerize olmasını sağlamaktadır (Şekil 2.4) [46]. DLP teknolojisi, lazer ve ayna sistemi yerine dijital bir ışık projektörü kullanması nedeniyle kürleme yöntemi bakımından SLA'dan farklılık göstermekte, her bir katmanın projektör tarafından yansıtılan ışıkla tek seferde tamamen kürlenmesi sayesinde SLA teknolojisine kıyasla daha hızlı bir üretim süreci sunmaktadır [47].



Şekil 2.4. DLP üretim sürecinin şematik gösterimi

Maskelenen stereolitografi / likit kristal ekran (masked stereolithography / liquid crystal display, mSLA/LCD)

mSLA, sıvı rezinin UV ışığı ile polimerizasyonu prensibine dayanan bir eklemeli üretim tekniğidir. Uygun rezinin seçilmesinde, rezinin mSLA yazıcısının yayımladığı dalga boyu (λ) ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu sistemde ışık kaynağı olarak standart SLA sistemlerinde kullanılan lazer yerine ışık yayan diyotlar (light emitting diode, LED) kullanılmaktadır. LED'ler tarafından üretilen UV ışığı, LCD ekranın üzerinden geçerek bir katmanın tamamını aynı anda polimerize edebilmektedir. LCD ekran ise kürlenmesi istenmeyen bölgeleri karartarak ışığın rezine ulaşmasını engellemektedir. LCD ekranın üzerinde, haznenin alt yüzeyini oluşturan floroetilen propilen (FEP) esaslı, şeffaf ve esnek bir film yer almaktadır (Şekil 2.5). Her bir katmanın polimerizasyonunun ardından hazne belirli bir açıyla eğilmekte ve bu hareket, üretilen parçanın FEP filminden daha kolay ayrılmasını sağlarken üretim platformundan kopma riskini azaltmaktadır. Ayrıca bu eğilme mekanizması, sıvı rezinin hazne içerisinde daha homojen şekilde karışarak yayılmasına olanak tanımakta ve baskı sürecinin verimliliğini artırmaktadır [48]. mSLA teknolojisinde bir katmanın tamamı aynı anda kürlenebildiği için toplam baskı süresi, üretilen parça sayısından bağımsız olarak değişmeden kalmaktadır [49].



Şekil 2.5. mSLA üretim sürecinin şematik olarak gösterimi [48]

2.2. Kazan Fotopolimerizasyon Teknolojisinde Son İşlem Prosedürleri

Üretim sonrasında elde edilen materyaller, baskı sonrası bazı işlemlere ihtiyaç duyduğundan direkt olarak kullanılamamaktadır. Sıvı rezin materyalinin üretim sırasında tam olarak polimerize olamaması nedeniyle üretilen materyalin mekanik, optik ve biyolojik özellikleri

yetersiz kalmaktadır. Özellikle ağız içinde kullanılmaya yönelik üretilen malzemelerde büyük önem taşıyan son işlem prosedürleri, eklemeli üretim sürecinde ortaya çıkabilen bu sınırlamaları gidermek ve basılmış parçaların yetersiz kalan özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanan bir işlem sürecini ifade etmektedir [50, 51]. VP sürecinde üretim tamamlandıktan sonra polimerizasyon sürecini tamamlamak için yıkama ve son kürleme işlemleri uygulanmaktadır. Her 3B yazıcı için son işlem prosedürleri, üretici firmalar tarafından önerilen protokoller doğrultusunda gerçekleştirilmektedir [51]. Günümüzde rezin esaslı VP teknolojisine dayanan üretim süreçlerinde son işlem prosedürleri üretim sürecinin en sınırlayıcı basamaklarını oluşturmaktadır [40].

VP teknolojisindeki üretim iş akışında, veriler STL dosyasına dönüştürüldükten sonra katman katman üretim sürecinde kullanılmaktadır [52]. Üretim tamamlandıktan sonra malzemenin destek yapıları çıkarılmakta ve yüzeyde kalan polimerize olmamış rezin, izopropil alkol (IPA) veya tripropilen glikol monometil eter (TPM) gibi çözücüler kullanılarak temizlenmektedir. Son olarak baskının tam olarak polimerizasyonunu sağlayabilmek için son kürleme işlemi uygulanmaktadır [9, 53]. Üretilen materyalin yüzeyini parlatarak daha pürüzsüz bir hale getirmek için ek bir yüzey bitirme işlemi opsiyonel olarak yapılabilmektedir [10].

2.2.1. Destek yapıların çıkartılması işlemi

Üretilen materyalin üretim platformuna sabitlenebilmesi için destek yapılar basılmaktadır. Küçük kolonlar şeklindeki bu destek yapıları, polimerizasyon sırasında sıvı rezinin yoğunluk değişimine bağlı objenin çökme riskini önleyerek stabil kalmasını sağlamaktadır [54]. Destek yapıların çıkartılması, tercih edilen materyal ve baskı teknolojisine göre değişkenlik göstermekte olup ultrasonik uç, elmas disk ve kesici aletler kullanılarak gerçekleştirilen manuel işlemlerin yanı sıra su jeti uygulamaları ve kimyasal çözündürme gibi otomatik işlemlerle de gerçekleştirilebilmektedir [8, 50].

Üretimi tamamlanmış materyaldeki hassas ve karmaşık kısımlar destekleri uzaklaştırma sırasında hasar görmeye yatkın olabilmektedir. Geride kalan destek kalıntıları, parçanın yapısal bütünlüğünü veya fonksiyonelliğini olumsuz etkileyebileceğinden desteklerin kalıntı bırakmadan tamamen uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, destek yapıların

uzaklaştırılması işlemi, parçanın geometrik doğruluğu ve yapısal bütünlüğünün korunabilmesi açısından titizlikle gerçekleştirilmelidir [50].

2.2.2. Yıkama işlemi

Son işlem prosedürlerinden biri olan yıkama işlemi, üretimden sonra objenin yüzeyinde kalan polimerize olmamış rezinin IPA veya TPM gibi bir çözücü içerisinde yıkanarak uzaklaştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Her üretici firma kendi hammaddesi ve yazıcısına özgü yönergeler sunmakla birlikte, yıkama işlemi için en uygun çözücü ve ideal yıkama süresine ilişkin net bir öneri bulunmamaktadır [9, 52]. Yetersiz yıkama işlemi sonucunda yüzeyde kalan rezin materyali polimerize olmaya devam ederek baskı doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilmekte ve üretilen malzemenin uyumsuz olmasına neden olabilmektedir. Ayrıca ağız içi kullanımlarda artık monomer salınımı ile sitotoksik ve alerjik etkilere yol açabilmektedir [55].

2.2.3. Son kürleme işlemi

Son işlem prosedürlerinin ikinci önemli aşaması olan son kürleme işlemi, ısı ve/veya ışık uygulamasıyla polimerizasyonun tamamlanmasını sağlayarak basılı olan objelerin biyolojik, optik ve mekanik özelliklerinin ideal hale gelmesini amaçlamaktadır. Literatürde uygun son kürleme işlemi sonucunda elastik modül, eğilme dayanımı ve sertlik gibi mekanik özelliklerin önemli ölçüde iyileştiği ve dönüşüm derecesinin arttığı gösterilmiştir [40, 56]. Ayrıca son kürleme işleminin yüzeydeki renk stabilitesinin korunmasına ve artık monomer miktarının azalmasına katkı sağladığı bildirilmektedir. Optimal son kürleme protokollerinin belirlenmesi, polimerizasyonun materyalin her yanında homojen olarak meydana gelmesi ve uzun dönem stabilitenin sağlanması açısından önemlidir [16, 57]. Uygulanan ışık şiddeti ve dalga boyu cihazın marka ve tipine bağlı olarak değişebilmekte olup kullanılan rezin ile uyumlu olmalıdır. Her rezin materyali üretici firma tarafından önerilen cihaz ile kullanılmalı ve üretici firmanın tüm önerilerine uyulmalıdır [40, 56].

Polimerizasyon aşamasında, yüzey tabakasında polimerizasyonunun oksijen tarafından inhibe edilmesine bağlı olarak yüzeydeki polimerizasyon iç katmanlardaki kadar gerçekleşememekte ve bu nedenle yüzey mekanik özelliklerinin zayıf olduğu bilinmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla bazı üreticiler son kürleme işleminin vakum veya

azot atmosferi altında gerçekleştirilmesini önermektedir. Bu sayede ortamdan oksijen uzaklaştırılmakta, rezin yüzeyi havayla temas etmemekte ve havadaki oksijenin serbest radikallerle reaksiyona girmesi engellenmektedir [58].

2.3. Kazan Fotopolimerizasyon Teknolojisinde Kullanılan Materyaller

Uluslararası ISO/ASTM 52900:2021 standardına göre yedi kategoriye ayrılan eklemeli üretim süreçlerinde her bir grupta farklı üretim teknikleri ve materyaller kullanılmaktadır. VP sistemlerinde (met)akrilat monomerleri, oligomerler ve fotobaşlatıcılardan oluşan, UV veya görünür ışık ile polimerleşebilen sıvı rezinler tercih edilmektedir [59]. Bu rezinlerde oligomerler yapının %70'ini oluşturan ana bileşen olup, %25'ini reaktif seyreltici olan monomerler, %5'ini fotobaşlatıcılar ve çok düşük konsantrasyonlarda ise katkı maddeleri oluşturmaktadır [60].

- Monomerler

Monomerler rezinlerde reaktif seyreltici olarak oligomerlerin viskozitesini azaltmakta ve kürlenmiş tabakanın özelliklerini belirlemektedir. Viskoziteyi azalttıkları için seramik rezinlerde ana bileşen olarak kullanılmaktadır. Polimerizasyon için gerekli reaksiyon mekanizmasına bağlı olarak monomerler serbest radikal reaksiyonlarına dayalı olanlar ve katyonik reaksiyonlara dayalı olanlar olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadırlar.

Serbest radikal reaksiyonlarına dayalı monomerler, polimerizasyonun başlatılabilmesi için serbest radikallere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, bu tür monomerlerin fotopolimerizasyonu sadece serbest radikal fotobaşlatıcılar tarafından başlatılabilmektedir. Bir monomer, fotobaşlatıcıdan bir serbest radikal kabul ettiğinde, bu radikali başka bir monomere aktararak polimer zincirini oluşturmaktadır. Serbest radikal fotopolimerizasyonu gösteren en yaygın monomerler akrilatlar ve metakrilatlardır [61].

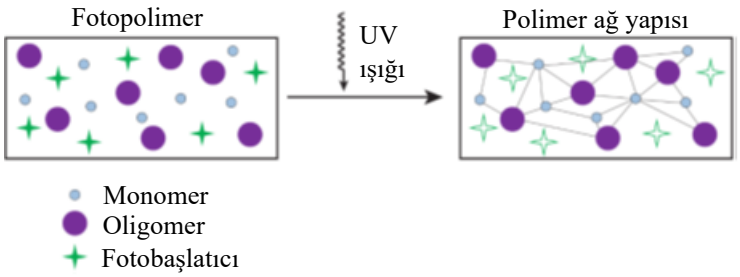
Katyonik reaksiyonlara dayalı monomerler ise fotopolimerizasyonun başlatılması için katyonik fotobaşlatıcılara ihtiyaç duymaktadır. Epoksitler, vinil eterler, propenil eterler, siloksanlar, siklik asetaller ve furfural gibi çeşitli monomer sınıfları katyonik mekanizma ile polimerize olmaktadır. Bu grup içerisinde epoksit, en yaygın kullanılan ve bilinen monomer türüdür [62].

- Oligomerler

Prepolimer veya makromonomer olarak da bilinen oligomerler, birkaç monomer biriminden oluşan daha büyük zincir yapısına sahip, orta molekül ağırlıklı moleküllerdir. Üretilen malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirleyen oligomerler, rezinin ana bileşenini oluşturmaktadır. Yüksek viskoziteleri nedeniyle rezinin akışkanlığını azaltarak işlenebilirliğini zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı yüksek oranda doldurulmuş seramik rezinlerde sınırlı oranda kullanılmaktadır [62].

- Fotobaşlatıcılar

Fotobaşlatıcılar, UV ışığa maruz kaldıklarında ışık enerjisini absorbe ederek aktif türler oluşturmakta ve bunlar aracılığıyla monomer ve oligomerler arasında çapraz bağların oluşmasını sağlayarak polimerizasyon sürecini başlatmaktadır (Şekil 2.6). Fotobaşlatıcıların, kullanılan ışık kaynağının dalga boyu ile uyumlu olması gerekmektedir. Bu nedenle dalga boyu aralığı geniş olan ışık kaynaklarının kullanıldığı sistemlerde, rezin bileşimlerinde birden fazla fotobaşlatıcı tercih edilebilmektedir [63].



Şekil 2.6. Fotopolimerizasyon sürecinin şematik gösterimi [63]

Fotopolimerizasyon reaksiyonu, kullanılan fotobaşlatıcının kimyasal yapısına bağlı olarak serbest radikal mekanizmalarıyla veya katyonik mekanizmalarla meydana gelmektedir. Serbest radikal fotobaşlatıcılar, UV ışık altında serbest radikaller oluşturarak monomer ve oligomer moleküllerindeki çift karbon bağlarının (C=C) kırılmasını sağlayıp uzun zincirli polimer yapıların oluşumunu başlatmaktadır. Bu mekanizma özellikle akrilat ve metakrilat esaslı sistemlerde görülmektedir. Bu fotobaşlatıcılar akrilik bazlı sistemlerle uyumlu olmaları ve daha kolay kullanabilmeleri nedeniyle seramik rezinlerin yapısında daha yaygın olarak tercih edilmektedir [61].

Katyonik fotobaşlatıcılar ise UV ışık etkisiyle Lewis veya Brønsted asitleri oluşturarak epoksi bazlı monomerlerde halka yapısını açarak zincir reaksiyonunu ve çapraz bağlanmayı başlatmaktadır [61].

- Katkı maddeleri

Fotopolimer rezinleri oluşturan oligomer, monomer ve fotobaşlatıcı temel bileşenleri tek başlarına istenilen kalitede bir son ürün oluşturamamaktadır. Rezin içine düşük konsantrasyonlarda boyalar, inhibitörler, inorganik doldurucular, plastikleştiriciler, silikonlar gibi ilave bileşenler eklenebilmektedir [60, 64]. Cam, seramik ve metal gibi çeşitli materyallerden oluşabilen inorganik doldurucular, eklendikleri polimer materyalin mekanik, termal, boyutsal ve su emilimi gibi özelliklerini geliştirmek ve materyalin performansını iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Cam doldurucular genellikle kristalin silika (SiO_2), silikon dioksit, baryum-alüminyum silikat camı, lityum-alüminyum silikat camı ile çinko, stronsiyum veya lityum içeren borosilikat camlardan oluşmaktadır. Seramik doldurucular ise zirkonya-silika veya zirkonyum oksit esaslıdır [65].

2.3.1. Rezin matriks seramikler (resin matrix ceramic, RMC)

Eklemeli üretim teknolojisinde diş renginde estetik özelliklere sahip daimi ve/veya geçici restorasyonların üretiminde metakrilik asit ester bazlı, ışıkla sertleşen rezinlerden yararlanılmaktadır. Son yıllarda, diş renginde 3B dental restorasyonların üretimi amacıyla, rezin matriks seramik (resin matrix ceramic, RMC) olarak adlandırılan seramik dolgulu metakrilik ester matriksinden oluşan, seramik partiküller içeren hibrit kompozit rezinler diş hekimliğinde kullanıma sunulmuştur [13]. Hibrit kompozit rezinlerin bileşimi ve ağırlık oranları, farklı CAD/CAM materyalleri arasında değişkenlik göstermekte olup, ortaya çıkan materyal özelliklerinin temel belirleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir [66].

Sinterlenmiş seramik matriksin polimer matriks ile infiltre edilmesiyle oluşan RMC'ler inorganik içeriklerin ağırlığının %50'den fazla olması ve az miktarda organik faz içermelerinden dolayı, seramik benzeri materyaller olarak sınıflandırılmaktadır [67, 68]. Sinterlenmiş seramik matriksinde ana yapı olarak lösit ve az miktarda zirkonyanın yer aldığı ve bu yapının polimer esaslı ağ ile birbirine bağlandığı bilinen RMC'ler, iki ayrı matriks fazından oluşmaları nedeniyle fazlar arasında mikroyapısal çatlaklar bulunabilmektedir [12].

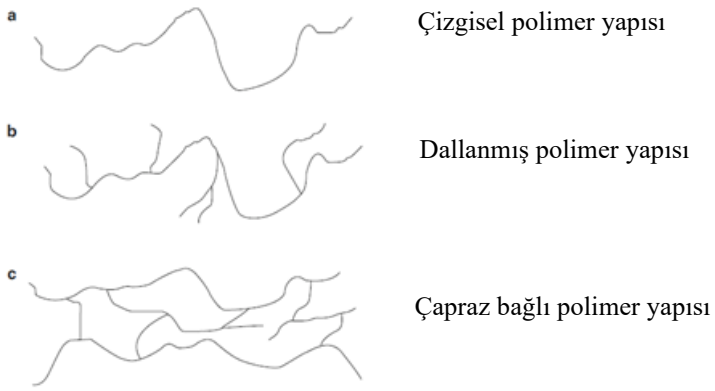
Buna benzer olarak, RMC'lerin heterojen yapısı nedeniyle, basma ve eğilme kuvvetleri altında faz ayrılması olarak tanımlanan, farklı fazların birbirine göre yer değiştirmesi görülebilmektedir [12, 69]. RMC'lerin karşıt diş dokusunda daha az aşındırmaya neden olması, daha konservatif preparasyon gerektirmesi, benzer rezin kompozitlerle tamir edilebilmesi ve adeziv rezin simanlarla kimyasal uyumluluk göstermesi bu materyallerin avantajları arasında yer almaktadır. Aynı zamanda polimer içerikli seramikler geleneksel seramiklerle karşılaştırıldığında elastik modüllerinin dentin dokusuna yakın olması sebebiyle daha iyi bükülme direnci ancak daha düşük kırılma direnci göstermektedir. RMC'ler, seramiğin dayanıklılık ve renk stabilitesi ile rezin kompozitlerin iyi bükülme dayanımı ve düşük aşındırma özelliklerini birleştirmişlerdir [13]. Kullanım endikasyonları arasında minimal invaziv restorasyonlar, posterior kronlar, veneerler, inley ve onley restorasyonlar ile implant destekli kronlar yer almaktadır[69].

Bu materyaller rezin nano seramikler, hibrit seramikler, rezin matriks seramikler, çift ağlı materyaller, seramik esaslı interpenetre faz kompozitleri veya polimer infiltre seramik ağ (polymer infiltrated ceramic network, PICN) gibi çeşitli isimlerle adlandırılmaktadır [70].

2.4. Polimerizasyon ve Polimer Kavramları

Polimerler, monomer olarak adlandırılan düşük molekül ağırlıklı çok sayıdaki molekülün kimyasal reaksiyonla birleşerek, uzun zincirli ve yüksek molekül ağırlıklı makromoleküllere dönüşmesiyle oluşmaktadır. Bu düşük molekül ağırlıklı monomerlerin yüksek molekül ağırlıklı polimer zincirlerine dönüştürüldüğü kimyasal reaksiyona ise polimerizasyon denilmektedir. Rezinler ise işlevsel bir malzeme elde etmek için diğer bileşenlerle karıştırılmış monomerler veya makromoleküllerden oluşan bileşimlerdir [71].

Polimerler çizgisel (lineer), dallanmış ve çapraz bağlı olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır (Şekil 2.7) [72].



Şekil 2.7. Polimer yapılarının şematik gösterimi [72]

Çizgisel ve dallanmış moleküller ayrı yapılar olmakla birlikte birbirlerine zayıf fiziksel bağlar ile tutunmaktadırlar. Isıtıldığında bu zayıf bağların kopmasıyla birlikte polimer zincirlerin birbirleri üzerinden kayabilmesi sonucu malzeme yumuşamaktadır. Soğutma sonrasında ise bu bağlar yeniden oluşur ve malzeme tekrar sertleşir. Bu özelliği gösteren materyaller termoplastik olarak adlandırılmaktadır. Böylece termoplastik materyaller tekrarlanabilir şekilde eriyip katılaşabilmektedir. Çapraz bağlı polimerlerde, ana zincirler arasında kovalent bağların oluşmasıyla polimer ağ yapısında, tek bir dev makromolekül halini almaktadır. Çapraz bağlı polimerlerde ısıtma sırasında polimer zincirleri birbirleri üzerinden kayamamakta ve ısıtıldıklarında yumuşama göstermemektedirler. Bu özelliklerinden dolayı çapraz bağlı polimerler termoset polimerler olarak adlandırılmaktadır [73]. VP teknolojisinde kullanılan fotopolimerler, çapraz bağlı yapıya sahip olduklarından erime özelliği göstermemektedir [74].

Işıkla direkt veya indirekt etkileşim içine girerek fiziksel veya kimyasal özelliklerini değiştiren monomerler, oligomerler, polimerler veya bu bileşenlerin karışımlarından oluşan materyallere fotopolimer malzeme denilmektedir [74]. Fotopolimerlerin büyük bir kısmı genellikle UV bölgesindeki radyasyona tepki verirken, bazıları görünür ışık aralığında veya bu aralığa yakın dalga boylarında etkinlik gösterebilmektedir. Rezinin UV ışığa maruz bırakılması, malzemenin polimerize olmasına neden olan bir kimyasal reaksiyonu tetiklemektedir. Bu katılaşma reaksiyonu çok sayıda reaktif kimyasal bileşenin yer aldığı bir kimyasal süreç olup fotopolimerizasyon olarak adlandırılmaktadır [75].

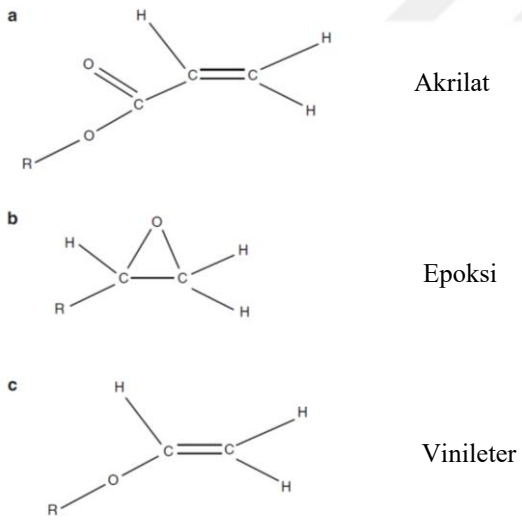
Fotopolimer rezindeki monomer ve oligomer zincirlerinin uçlarında aktif fonksiyonel gruplar bulunmaktadır. Rezin UV ışığa maruz kaldığında, fotobaşlatıcı molekül parçalanarak

reaktif radikaller oluşturmaktadır. Bu reaktif radikaller monomer ve oligomer zincirlerinin uçlarındaki aktif gruplara aktarılmakta ve daha uzun zincirler oluşturmaktadır. Zincirlerin uzaması ve aralarında güçlü kovalent bağların meydana getirdiği çapraz bağların oluşmasıyla birlikte sıvı rezin katılaşmaya başlamaktadır. Polimerizasyon sonrasında elde edilen modeller boyutsal olarak stabil olup, düşük veya yüksek sıcaklıklara dayanım gösterebilmektedir [76].

Fotopolimerler girdikleri kimyasal tepkimenin türüne göre iki ana gruba ayrılmaktadır:

- Serbest radikal fotopolimerizasyon tepkimesi gösterenler: Akrilat esaslı sistemler
- Katyonik fotopolimerizasyon tepkimesi gösterenler: Epoksi ve vinileter esaslı sistemler

Bu fotopolimer türlerinde (Şekil 2.8) C ve H sembolleri karbon ve hidrojen elementlerini temsil ederken R sembolü genellikle karbon–karbon çift bağı (C=C) içeren bir veya birden fazla vinil grubundan oluşan moleküler bir yapıyı ifade etmektedir. Fotopolimerlerin çapraz bağlanmasını sağlayan esas yapılar R grubundaki vinil gruplarıdır [36].



Şekil 2.8. Monomer yapılarının şematik gösterimi [36]

Ticari olarak geliştirilen ilk fotopolimerizasyon türü olan serbest radikal fotopolimerizasyonu, stereolitografi teknolojisi için akrilat esaslı rezinler kullanmaktadır. Akrilatlar, fotobaşlatıcının reaktif hâle gelmesiyle monomer birimlerinin ardışık olarak eklenmesi sonucu uzun polimer zincirleri oluşturmaktadır. Çapraz bağlanma genellikle,

polimer zincirleri yeterince uzayıp birbirlerine yaklaştıktan sonra meydana gelmektedir. Akrilat bazlı fotopolimerler UV ışığa maruz kaldıklarında hızlı reaksiyon göstermelerine rağmen yüksek polimerizasyon büzülmesi gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle günümüzde epoksi veya diğer fotopolimer bileşenleri ile karıştırılarak kullanılmaktadır.

Katyonik fotopolimerler arasında en yaygın olanlar epoksi esaslı sistemler olmakla beraber vinileterler de ticari olarak kullanılmaktadır. Epoksi monomerler, halka yapısına sahiptir. Reaksiyon sırasında bu halkalar açılarak yeni kimyasal bağlanma bölgeleri oluşturmaktadır. Halka açılma reaksiyonları sayesinde reaksiyon öncesi ve sonrası bağ türleri ve sayıları benzer kaldığından dolayı polimerizasyon sonunda minimal hacim değişimi (%2-3) meydana gelmektedir. Bu nedenle epoksi bazlı SLA rezinleri, akrilatlara kıyasla çok daha düşük polimerizasyon büzülmesi sergilemekte ve oluşan polimerler daha güçlü mekanik özellikler göstermektedir. Günümüzde ticari olarak mevcut SLA rezinlerinin büyük bir kısmı yüksek oranda epoksi monomeri içermektedir [63, 77].

Polimerizasyon süreci rekombinasyon, disproporsiyon ve oklüzyon adı altında üç temel mekanizma ile sonlanmaktadır. Rekombinasyon, iki polimer zincirinin radikal gruplarının birleşerek tek bir zincir oluşturmasıyla gerçekleşmektedir. Disproporsiyon ise iki radikalin birleşmeden birbirini etkisiz hale getirmesiyle meydana gelmektedir. Oklüzyon mekanizmasında ise serbest radikaller, katılaşmış polimer ağı içerisinde hapsolmakta, reaksiyon bölgeleri mevcut olsa bile polimer ağı içindeki sınırlı hareketlilik nedeni ile başka monomer veya polimer zincirleriyle reaksiyona girememektedir [77].

UV ile kürlenen fotopolimer rezinlerin bazı özelliklere sahip olmaları gerekmektedir:

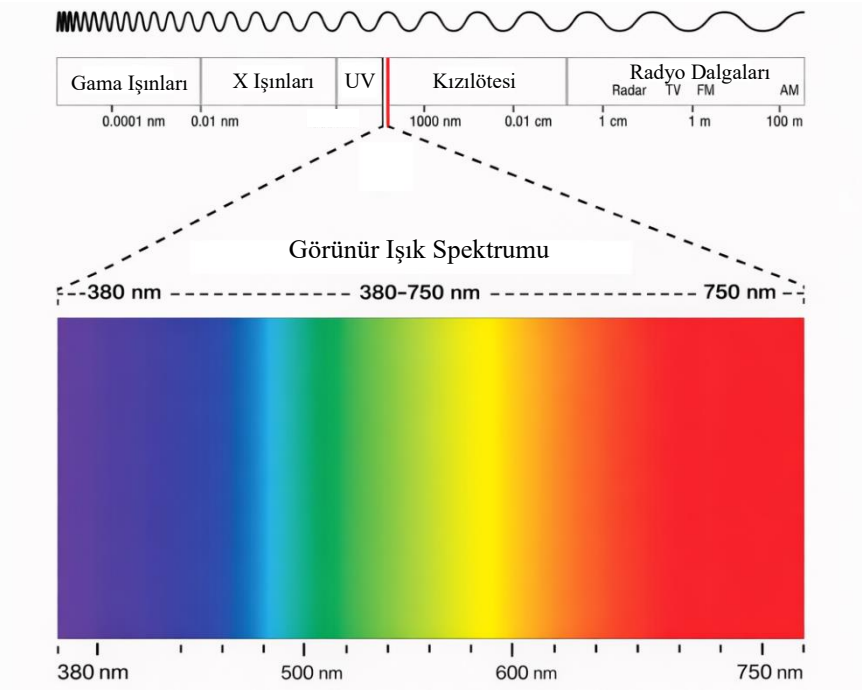
- Kullanılacak UV ışık kaynağı ile yeterince hızlı kürlenebilmeli böylece nesnelerin üretim süreleri kısa olmalıdır.
- Ardışık katmanların birbirine iyi şekilde bağlanabilmesi için yeterli adeziv özellik göstermelidir.
- Düşük viskoziteye sahip olmalı, böylece üretim platformu hareket ederken üretilen obje yüzeyi üzerine rezin hızlı ve homojen olarak yayılmalıdır.
- UV ışığını belirli bir oranda absorbe ederek oluşan film tabakasının istenen kalınlıkta kalmasını sağlamalıdır.

- Sıvı haldeyken belirli bir çözücü içerisinde yeterince çözünürken katı hale geçtikten sonra aynı çözücüde büyük ölçüde çözünmez olmalıdır. Böylece baskı tamamlandıktan sonra nesne üzerindeki kürlenmemiş veya kısmen kürlenmiş rezin yıkama işlemiyle uzaklaştırılabilmelidir.
- Mümkün olduğunca toksik olmayan ve irritan etkisi düşük bir yapıya sahip olmalıdır [78].

2.5. Diş Hekimliğinde Işık ve Renk

Işık, dalga boyu nanometre (nm) cinsinden ölçülen, elektromanyetik spektrumda yer alan hem dalga hem parçacık özelliği gösteren elektromanyetik enerjidir. Işığın yayılım sırasında dalga özelliği göstermesi ancak enerji aktarım sırasında foton adı verilen parçacıklar şeklinde etkileşime girmesi dalga-parçacık ikiliği olarak tanımlanmaktadır.

İnsan gözü elektromanyetik spektrumda 380 – 750 nm dalga boyu aralığını kapsayan görünür kısma duyarlıdır. Daha kısa dalga boylarında UV, X ve gama ışınları yer alırken daha uzun dalga boylarında kızılötesi, mikrodalgalar ile televizyon ve radyo iletim dalgaları olan radyo dalgaları yer almaktadır (Şekil 2.9) [79].



Şekil 2.9. Elektromanyetik spektrum ve görünür ışık aralığı.

Işığın cisme çarpıp yansıyarak retinaya ulaşıp beynin görme merkezine gitmesi ile ortaya çıkan algılamaya ise renk denilmektedir. Işığın cisimlere çarptıktan sonra bir kısmının

soğrulup bir kısmının yansıması ile renk algısında çeşitlilik oluşabilmektedir. Renk algılanmasındaki bu bireysel farklılıklar ile göz, renk analizinde objektif bir değerlendirme aracı olarak kabul edilmemektedir [80, 81].

Cisimleri görebilmemiz ve renklerini algılamamız üzerine düşen ışığı yansıtmaları ile gerçekleşmektedir. Işık bulunmadığı ortamlarda renk algısı da oluşmamaktadır. Tüm dalga boylarının göze aynı anda ve eşit şekilde ulaşması ile beyaz renk, hiçbir ışığın ulaşmadığı durumda ise siyah renk algılanmaktadır [80].

2.5.1. Işık ve renk hakkında temel kavramlar

Saydamlık (transparanlık)

Transparanlık terimi bir materyalin belirli bir dalga boyu ya da dalga boyu aralığındaki elektromanyetik ışınımı, minimum düzeyde soğurulma, saçılma ve yansıma ile iletebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Transparan materyallerde ışığın büyük bir kısmı materyal içerisinden geçerek arka plandaki nesneler net bir şekilde algılanmaktadır [82].

Yarı saydamlık (translusensi)

Yarı saydamlık, tam opaklık ile saydamlık arasındaki optik durumu ifade etmektedir. Yarı saydamlık arttıkça opaklık azalmakta, opaklık arttıkça ise yarı saydamlık azalmaktadır[83]. Saydamlık ile yarı saydamlık arasındaki temel fark, ışığın materyal içerisindeki ilerleyiş biçimidir. Saydam materyallerde ışık doğrusal olarak iletilirken, yarı saydam materyallerde ışık saçılmaya uğrayarak yön değiştirmekte ve bu nedenle arka plandaki nesneler net bir şekilde algılanamamaktadır [84].

Opasite

Opasite, bir materyalin ışık iletimini soğurma veya yansıma yoluyla engellemesini ifade eden optik bir özelliktir. Üzerine gelen ışığı soğurarak veya yansıtarak ışığın geçişine izin vermeyen maddeler opak olarak tanımlanmaktadır [84].

Floresans

Floresans, bir materyalin belirli dalga boyundaki gelen ışığı absorbe ettikten sonra daha uzun dalga boylarında yeniden yaymasıyla ortaya çıkan bir fotolüminesans olayıdır. Dişlerde floresans, ultraviyole ışığın emilimi sonucunda görünür spektrumda mavimsi beyaz ışık yayılması şeklinde gerçekleşmektedir[85]. Doğal dişin floresans özelliği, mevcut yansımaların üzerine mavi floresan ışık ekleyerek dişe canlılık ve parlaklık kazandırmaktadır [80, 85].

Opalesans

Minenin en önemli optik özelliklerinden biri olan opalesans, görünür spektrumda kısa dalga boylu ışığın saçılması sonucunda yansıyan ışık altında mavimsi, materyalden geçen ışık altında ise turuncu veya kahverengimsi bir görünüm oluşmasına neden olan optik bir olgudur [86]. Işık kaynağının göze göre konumuna bağlı olarak ortaya çıkan bu renk farklılığı, opal etkisi veya opalesans olarak adlandırılmaktadır [87]. Dişe derinlik ve canlılık kazandıran minedeki opalesans en belirgin olarak insizal üçlüde gözlenmektedir [88].

Metamerizm

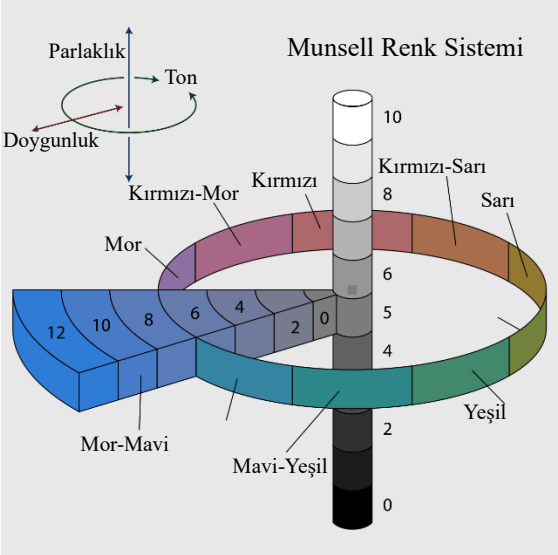
Spektral yansıma eğrileri farklı olan iki yüzey veya rengin belirli bir aydınlatma koşulunda aynı renkte algılanmasına rağmen, ışık kaynağı değiştiğinde farklı renklerde görünmesi metamerizm olarak adlandırılmaktadır. Renk skalaları, dental seramikler ve doğal dişler farklı materyal yapısına sahip olduklarından, bu materyaller arasında metamerizm etkisinin ortaya çıkma olasılığı yüksektir [89].

2.5.2. Renk sistemleri

Diş hekimliğinde rengin 3B özelliğini açıklamak için en çok kullanılan renk sistemleri Munsell renk sistemi ve CIE renk sistemidir [90].

Munsell renk sistemi

Munsell renk sistemi, Albert H. Munsell tarafından 1905 yılında geliştirilen en eski renk sistemidir. Bu sistem renklerin 3B düzenini temsil eden silindirik bir model ile açıklanmaktadır (Şekil 2.10) [80].



Şekil 2.10. Munsell renk ağacı

Munsell renk sisteminde rengi tanımlayan renk tonu (hue), parlaklık (value) ve doygunluk (chroma) olmak üzere üç değişken bulunmaktadır. Renk tonu (hue), modelin çevresinde dairesel olarak sıralanırken, merkezden dışa doğru ilerledikçe doygunluk (chroma) artmaktadır. Dikey eksen ise rengin açıklık ve koyuluk derecesini ifade eden parlaklık (value) parametresini temsil etmektedir [80, 91].

Hue (ana renk tonu)

Ton, bir rengi diğerinden ayıran ve kırmızı, mavi ya da mor gibi renk ailelerini tanımlayan temel özelliktir. Görünür spektrumda renk tonlarının sırası mor, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı olarak sıralanmaktadır [92]. VITA Classical renk skalasında ise A (kırmızı-sarı), B (sarı), C (gri), D (kırmızı-sarı-gri) harfleriyle gösterilmektedir [93, 94].

Value (parlaklık)

Parlaklık, siyah ile beyaz arasındaki gri tonlarını kapsayan akromatik bir boyut olup Munsell renk sisteminde dikey eksen ile gösterilmektedir [83]. Parlaklık terimi bir nesneden veya yüzeyden yansıyan ışık miktarı ile ilişkilidir. En yüksek değer (10) saf beyazı, en düşük değer (0) ise saf siyahı ifade etmektedir. Parlaklık arttıkça materyal daha açık, azaldıkça ise daha koyu görünmektedir. Doğal dişlerin parlaklık aralığı genellikle 4-8 arasında değişmektedir [80, 91].

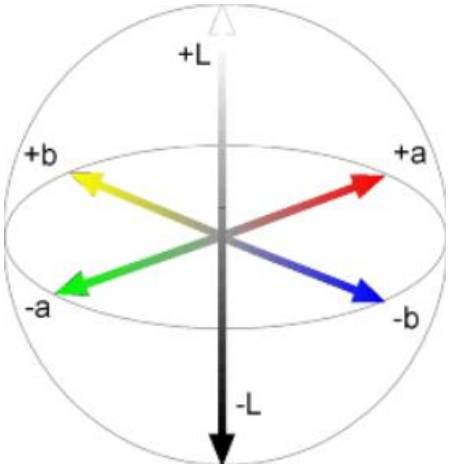
Chroma (doygunluk)

Güçlü bir renk ile zayıf bir rengi ayırt etmeyi sağlayan bir özellik olan doygunluk, belirli bir rengin akromatik eksene olan uzaklığı ile ifade edilmektedir. Bu uzaklık arttıkça doygunluk da artmaktadır [83]. Doygunluk ile parlaklık ters orantılıdır. Rengin doygunluğu arttıkça parlaklık değeri azalmakta ve renk daha koyu algılanmaktadır. VITA Classical renk skalasında doygunluk derecesi numaralarla ifade edilmektedir [93].

CIELAB renk uzayı

Renk ve görünüm alanında standardizasyon çalışmaları yürütmekte olan Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE) CMC, CIE94 ve CIEDE2000 formüllerini geliştirmiştir. Bu formüller ile renk uzayında hesaplanan sayısal farkların insan gözünün algıladığı renk farklılıkları ile uyumlu olması, algısal düzgünlüğün artırılması amaçlanmıştır [95].

CIE 1976 yılında günümüzde diş hekimliğinde renk araştırmaları için kullanılması önerilen CIELAB renk uzayını tanımlamıştır. Bu sistem, rengi uzayda L*, a* ve b* olmak üzere 3 koordinatta tanımlamaktadır (Şekil 2.11) [91, 96].



Şekil 2.11. CIELAB renk uzayı [91]

L (lightness)*

Munsell renk sistemindeki parlaklık değerine denk gelen L* parametresi, rengin akromatik siyah-beyaz eksenindeki konumunu tanımlamaktadır. L* değeri 0 (siyah/koyu) ve 100 (beyaz/açık) arasında değişebilmektedir.

a ve b**

a* ve b* koordinatları, rengin kromatik özelliklerini tanımlamaktadır. Bu parametreler Munsell renk sistemindeki ton ve doygunluk kavramlarına tam olarak karşılık gelmemekle birlikte matematiksel dönüşümler aracılığıyla birbirleriyle ilişkilendirilebilmektedir. a* koordinatı kırmızı–yeşil ekseni temsil etmekte olup, pozitif değerler kırmızı yönünü, negatif değerler ise yeşil yönünü göstermektedir. b* koordinatı ise sarı–mavi ekseni temsil etmekte, pozitif değerler sarı, negatif değerler ise mavi yönündeki değişimi ifade etmektedir [79, 96].

CIE94 renk farkı formülü CIELAB tabanlı bir renk farkı formülü olup CIELAB sistemindeki parlaklık, doygunluk ve renk tonu farklarını ayrı ayrı değerlendirmektedir. İnsan görsel algısıyla daha uyumlu sonuçlar elde edebilmek amacıyla bu bileşenlere belirli ağırlıklandırma fonksiyonları uygulanmaktadır. Ayrıca, renk farkı hesaplamalarında aydınlatma ve gözlem koşullarının etkisini dikkate alan parametrik faktörler de yer almaktadır. CIE94, CMC renk farkı formülünün basitleştirilmiş bir versiyonu olup günümüzde CIE tarafından önerilen ISO/CIE ortak standardı olan CIEDE2000 renk farkı formülünün öncüsüdür [97-99].

CIE94 renk farkı formülü $\Delta E^*_{94}(k_L{:}k_C{:}k_H)$ olarak temsil edilmekte ve aşağıdaki denklem ile tanımlanmaktadır.

$$\Delta E^*_{94}(k_L{:}k_C{:}k_H): = \sqrt{\left(\left(\frac{\Delta L^*}{kL \cdot SL}\right)^2\right) + \left(\left(\frac{\Delta C^*}{(kC \cdot SC)}\right)^2\right) + \left(\left(\frac{\Delta H^*}{(kH \cdot SH)}\right)^2\right)} \quad (2.1)$$

k_L, k_C, k_H parametrik faktörleri referans koşullar olarak adlandırılan D65 ışık kaynağı altında, 1000 lx aydınlatma düzeyinde, normal renk görme yetisine sahip gözlemci ile, L* = 50 değerine sahip homojen nötr gri arka plan üzerinde, 4 dereceden büyük örnek boyutunda ve kenar teması bulunan homojen örnekler için 1 olarak kabul edilmektedir. Bu koşullar altında hesaplanan ΔE^*_{94} değeri, iki renk arasındaki algısal farkı daha doğru yansıtmayı amaçlamaktadır [99].

Ağırlıklandırma fonksiyonları parlaklık için S_L, doygunluk için S_C ve renk tonu için S_H olarak formülde yer almaktadır. Parametrik formüller gibi referans koşullarda 1 olarak kabul edilmez, renk çiftinin CIELAB koordinatlarına bağlı olup aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır [99]:

S_L= 1 (CIE94'te sabit) (2.2)

$$S_C = 1 + 0.045\sqrt{C^*_{ab,1}C^*_{ab,2}} \quad (2.3)$$

$$S_H = 1 + 0.015\sqrt{C^*_{ab,1}C^*_{ab,2}} \quad (2.4)$$

Günümüzde ise hesaplanan ve algılanan renk farklarını en aza indirmek amacıyla CIE tarafından CIEDE2000 renk farkı formülünün (ΔE_{00}) kullanılması önerilmektedir [100].

CIEDE2000 renk sistemi

CIELAB renk uzayındaki homojensizlikleri düzeltmek amacıyla geliştirilmiş, daha güncel bir yöntem olan CIEDE2000 renk farkı formülü parlaklık, doygunluk ve ton bileşenleri için kullanılan ağırlıklandırma fonksiyonları (S_L, S_C, S_H), doygunluk ve ton farkları arasındaki ilişkiyi temsil eden, düşük doygunluğa sahip renkleri daha çok etkileyen rotasyon terimi (R_T), aydınlatma koşulları, arka plan, yüzey dokusu gibi gözlem koşullarına bağlı olarak ayarlanabilen ve renk farkını insan gözü algısına daha uygun biçimde hesaplayabilmesini sağlayan parametrik faktörleri (k_L, k_C, k_H) içermektedir [98, 100].

2000 yılında CIE, CIEDE2000 renk farkı formülünün kullanılması önermiş ve bu formül, günümüzde geçerli olan ISO/CIE standardı (ISO IOSJ03) olarak kabul edilmiştir [101].

CIEDE2000 renk farkı formülü:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left[\left(\left(\frac{\Delta L^*}{kL \cdot SL}\right)^2\right) + \left(\left(\frac{\Delta C^*}{(kC \cdot SC)}\right)^2\right) + \left(\left(\frac{\Delta H^*}{(kH \cdot SH)}\right)^2\right) + RT \cdot \left(\frac{\Delta C^*}{(kC \cdot SC)}\right) \cdot \left(\frac{\Delta H^*}{(kC \cdot SC)}\right)\right]} \text{ [102]} \quad (2.5)$$

CMC ve CIE94 formüllerindeki 0 kabul edilen R_T ve CIE94 formülünde 1 kabul edilen S_L değeri CIEDE2000 renk farkı formülü ile sabit değerler yerine gözlem koşullarına ve renk uzayındaki konuma bağlı olarak değişen fonksiyonlar şeklinde düzenlenmiştir [98].

Renk farkı formülünde yer alan ΔE ifadesinde Δ (delta) simgesi farkı, E harfi ise Almanca olarak algı, duyum anlamına gelen empfindung kelimesini temsil etmektedir [103]. ΔE değeri, iki renk arasındaki algılanan farkı ifade etmektedir. ΔE değerinin sıfır olması iki nesne arasında renk farkı bulunmadığını, sıfırdan farklı bir değerde olması ise renk farkının olduğunu göstermektedir.

ΔE değeri, incelenen örnek ile standartlaştırılmış L*, a*, b* değerleri arasındaki farkı gösteren tek bir sayısal değerden oluşmaktadır. Hesaplama sonucunda elde edilen ΔE değeri ideal aralığın dışında ise, bu formül hangi parametrenin (L*, a* veya b*) bu sonuca neden olduğunu belirtmemektedir. Benzer şekilde, ΔL*, Δa* veya Δb* değerlerinden biri aralığın dışında olsa dahi ΔE değeri ideal sınırlar içinde kalabilmekte ve bu durum yanıltıcı olabilmektedir. Elde edilen ΔE değeri ne kadar büyükse, renk farkı o kadar belirgin olup insan gözü tarafından daha fazla algılanabilmektedir [104].

Algılanabilir en küçük renk farkı, diğer bir ifadeyle algılanabilirlik eşiği (perceptibility threshold, PT), bir gözlemci tarafından fark edilebilen en küçük renk değişimini tanımlamaktadır. %50:50 algılanabilirlik eşiği ise, gözlemcilerin %50'sinin iki nesne arasındaki renk farkını algıladığı, diğer %50'sinin ise herhangi bir fark saptayamadığı durumu ifade etmektedir. %50:50 kabul edilebilirlik eşiği (acceptability threshold, AT) ise gözlemcilerin %50'si tarafından klinik olarak kabul edilebilir olan renk farkını tanımlamaktadır [105, 106]. Değerlendirme sırasında gözlemcilere yöneltilen "İki örnek arasında renk farkı görüyor musunuz?" sorusu PT'nin belirlenmesini, "Bu renk farkını

hastanın ağzında kabul edilebilir bulur musunuz?" sorusu ise AT'nin belirlenmesini sağlamaktadır [107].

ΔE değerlerinin klinik olarak yorumlanabilmesi amacıyla farklı dental materyaller üzerinde çok sayıda çalışma yapılmış ancak PT ve AT eşik değerleri konusunda tam bir fikir birliği sağlanamamıştır [105, 108].

Diş hekimliğinde CIELAB sisteminde %50:50 PT değeri ΔE_{ab} = 1,2 ve %50:50 AT değeri ΔE_{ab} = 2,7 olarak rapor edilmiştir. CIEDE2000 (ΔE_{00}) sisteminde ise PT eşik değeri ΔE_{00} = 0,8 ve AT eşik değeri ΔE_{00} =1,8 olarak belirlenmiştir [105].

AT ve PT eşik değerleri , diş hekimliği dahil olmak üzere birçok endüstri alanında önemli bir kalite kontrol aracı olarak kullanılmaktadır. PT değerine eşit veya bu değerin altındaki renk eşleşmeleri ideal kabul edilmektedir ancak klinik uygulamada tamamen algılanamaz bir eşleşme elde etmek genellikle maliyetli, zaman alıcı ve her durumda gerekli değildir. Bu nedenle AT değerinin belirlenmesi, restorasyonların klinik kabulünü öngörmeye yardımcı olmakla birlikte restorasyonun fonksiyonunu tamamlaması ve hastanın estetik beklentilerini karşılaması açısından yol gösterici olmaktadır. Ayrıca bu eşikler, dental materyallerin seçimi, klinik sonuçların yorumlanması ve in vivo–in vitro çalışmaların standardizasyonu açısından rehber niteliği taşımaktadır [106].

2.5.3. Renk ölçümü ve kullanılan sistemler

Diş hekimliğinde renk ölçümünün temel amacı, protetik materyallerin doğal ağız dokularının görünümlerini olabildiğince doğru şekilde taklit etmesini sağlamaktır. İndirekt bir restorasyon planlandığında, hastanın mevcut doğal diş yapısından görünür ışık spektrumunun tamamını kapsayan geçerli renk bilgilerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde elde edilmesi ideal kabul edilmektedir. Elde edilen bu renk bilgileri ile restorasyonun renk formülasyonu oluşturulmaktadır. Böylece restorasyon, farklı aydınlatma koşullarında dahi çevredeki doğal dokularla aynı veya en azından klinik olarak kabul edilebilir renk farkı sınırları içinde kalacak şekilde üretilebilmektedir [109].

Diş hekimliğinde renk ölçüm yöntemleri görsel renk seçimi ve dijital sistemlerin kullanımı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [94].

Görsel renk seçimi

Diş hekimliğinde en sık başvurulan yöntem olan görsel renk seçimi, hastanın dişi ve renk skalasının karşılaştırılmasına dayanan subjektif bir yöntemdir [80]. Görsel renk seçimi hızlı ve ekonomik olmasına rağmen bu yöntem subjektif olup ışık koşulları, renk skalaları, gözlemcinin yaşı ve psikolojik durumu, göz yorgunluğu, renk görme bozukluğu ve klinik deneyim gibi birçok hata kaynağına açıktır [110].

Görsel renk seçim işlemi restore edilecek dişler prepare edilmeden önce ve dişler dehidrate olmadan yapılmalıdır. Preparasyon işlemi sırasında mine, metal, siman aşındırılması ile ortaya çıkan artıklar ve biyolojik sıvılar dişlerin renginin farklı görünmesine neden olabilmektedir. Preparasyon sürecinde dişlerin dehidrate olması, optik özelliklerin değişmesine bağlı olarak parlaklık değerlerini artırmakta ve hatalı renk seçimine yol açabilmektedir. Renk seçimi öncesinde hastadan, hekimin dikkatini dağıtabilecek unsurların ortadan kaldırılması istenmelidir. Dudaklardaki ruj ve yoğun makyaj uygulamaları renk algısını etkileyebileceğinden, bu unsurlar temizlenmeli ya da nötralize edilmelidir. Ayrıca renk seçimi öncesinde diş yüzeyleri temiz ve lekesiz olmalıdır. Değerlendirme sırasında hekim, dik pozisyondaki hasta ile ışık kaynağı arasında ve aynı göz hizasında konumlanmalıdır. Retinadaki kon hücrelerinin kısa sürede yorulabildiği göz önünde bulundurularak, renk seçimi işlemi mümkün olduğunca kısa sürede, tercihen birkaç saniye içinde tamamlanmalıdır [111, 112].

Dijital sistemler ile renk seçimi

Diş hekimliğinde renk ölçüm cihazları ve sistemleri, objektif ölçüm yapabilmeleri, renk farklarını ve renk bileşenlerini nicel olarak ölçüp, sayısal biçimde ifade edebilmeleri ile görsel renk seçimine göre önemli avantajlar sunmaktadır [83]. Dijital sistemler ile renk ölçümünde kullanılan cihazlar spektrofotometreler, spektroradyometreler, kolorimetreler, dijital kamera ve görüntüleme sistemleridir [113].

Kolorimetre

Kolorimetreler, insan gözündeki kon tipi hücrelere benzeyen üç farklı sensör kullanarak bir yüzeyin kırmızı, mavi ve yeşil bileşenlerini belirlemekte ve elde edilen verileri CIELAB

renk sistemine dönüştürmektedir. Bu cihazlarda kullanılan sensörlerin zamanla yaşlanması ve spektral yansımayı kaydedememesi nedeniyle, spektrofotometrelere kıyasla daha az güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir. Kolorimetreler düz yüzeylerin ölçümü için tasarlanmış olup, diş yüzeyleri düz olmayıp çeşitli yüzey düzensizlikleri ve translüsent özellik göstermektedir. Bu translüsent yapı, özellikle kenar bölgelerdeki ışık kaybı nedeniyle hatalı renk değerlerinin ölçülmesine yol açabilmektedir. Bununla birlikte, farklı kolorimetre cihazları arasında ölçüm uyumunun düşük olduğu da bildirilmektedir [114, 115].

Spektroradyometre

Görünür spektrum boyunca nesnelerden yayılan veya yansıtılan ışınımın şiddeti ve parlaklık gibi radyometrik büyüklükleri ölçen spektroradyometreler, elde ettikleri renk ölçüm değerlerini CIELAB sistemindeki renk koordinatlarına dönüştürebilmektedir [115]. Spektrofotometreler ile aralarındaki temel fark, spektroradyometrelerin kendi içinde bir ışık kaynağına sahip olmamaları ve temassız ölçüm yapabilmeleridir [116].

Temaslı ölçüm yöntemlerinde, translüsent materyallerde ışığın bir kısmının materyal içinde dağılması ve yüzeye geri yansımadan kenarlara doğru ilerlemesi sonucunda kenar kaybı etkisi meydana gelebilmektedir [116]. Bu etki, harici ışık kaynakları kullanan ve ölçüm sırasında materyal yüzeyine doğrudan temas gerektirmeyen spektroradyometreler gibi temassız renk ölçüm cihazları ile azaltılabilmektedir [115, 117].

Spektrofotometre

Optik radyasyon kaynağı, ışığı dağıtan bir düzenek, ölçüm için optik sistem, bir dedektör ve elde edilen ışığı analiz edilebilir sinyale dönüştüren birimden oluşan spektrofotometreler, nesneden yansıyan ışık enerjisinin miktarını görünür spektrumda 1–25 nm'lik aralıklarla ölçmektedir [114]. Temel çalışma prensibi nesneden yansıyan ışığın, beyaz bir yüzeyden yansıyan ışığa oranının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Kolorimetre cihazı 3 dalga boyundaki ışığı ölçen 3 sensör içerirken spektrofotometre cihazı 3 sensör yerine birçok dalga boyunda detaylı ölçüm yapabilecek çok sayıda sensör içermektedir. Bu spektrofotometrik sisteme çoklu sensör denilmektedir. Metamerizmi ayırt edebilmesi ve 3 farklı ışık kaynağı altında (D65-100 günışığı, A-10° ampul ışığı, F2- 10° floresan ışığı) farklı ve detaylı ölçüm

değerleri vermesi sayesinde daha profesyonel ölçümlere ihtiyaç duyulan bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır [111, 118].

Dijital kameralar ve görüntüleme sistemleri

Temassız renk ölçüm yöntemlerinden biri olan dijital kameralar ve görüntüleme sistemleri, görüntüyü ışığa duyarlı bir yüzeye kaydetmekte ve her piksel için kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) değerleriyle temsil edilen dijital görüntüler oluşturmaktadır. Kameradaki RGB değerleri CIE'nin XYZ tristimulus değerleriyle uyuşmamaktadır. Bu nedenle doğru renk ölçümü için RGB verilerinin CIE XYZ sistemine dönüştürülmesi gerekmekte olup, bu işlem kamera karakterizasyonu olarak adlandırılmaktadır [113]. Bu yöntemin avantajları arasında temassız ölçüm yapılabilmesi, tüm diş yüzeyinin değerlendirilebilmesi, translüsensi ve yüzey eğriliğinden kaynaklanan sistematik hataların azaltılabilmesi, kayıtlı veri tabanı oluşturulabilmesi, hızlı ve kolay kullanım imkânı sunması yer almaktadır. Ayrıca diş morfolojisi, yüzey dokusu ve renk dağılımı hakkında da bilgi elde edilmesini mümkün kılmaktadır [119].

Etkili ve kolay kullanımları nedeniyle, renk tonunun nicel olarak değerlendirilmesinde hekim ve laboratuvar teknisyeni için ideal bir yardımcı araç olabilmekle birlikte dijital kamera sistemleri tek başlarına renk analizi için güvenilir kabul edilmemektedir [94]. Dijital görüntüleme ve renk skalalarından en verimli şekilde yararlanabilmek amacıyla, dişe en yakın renk skalası örneklerinin dişin yanına yerleştirildiği ek bir görüntü alınması da önerilmektedir [120].

Farklı ortam koşullarında ve farklı kamera sistemleriyle elde edilen görüntü verileri değişiklik gösterebilmesi nedeniyle, renk ölçüm doğruluğunu artırmak amacıyla uygun kalibrasyon ve renk düzeltme işlemlerinin yapılması gerekmektedir [121].

2.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, yüzeyin 3B topolojisini oluşturan ideal formundan tekrarlayan veya rastgele sapmalar olarak tanımlanmaktadır [122]. Rezin materyallerin yüzey pürüzlülüğü hem içsel hem de dışsal faktörlere bağlıdır. İçsel faktörler, monomer oranlarındaki farklılıklar ve doldurucu tipi, boyutu ve şekli gibi rezin materyallerinin bileşimi ve

polimerizasyon prosedürü ile ilişkilidir. Dışsal faktörler ise bitirme tekniğini ve uygulanan bitirme ve cilalama sistemlerindeki farklılıkları içermektedir [123]. Dental restorasyonlarda yüzey pürüzlülüğünün belirli bir eşik değerinin üzerinde olması plak birikimini artırmaktadır. Buna karşılık pürüzsüz ve cilalanmış yüzeyler düşük plak retansiyonu sağlamanın yanı sıra hasta konforunun artmasına, restorasyon ömrünün uzamasına, ağız hijyeninin iyileşmesine ve daha iyi bir estetik sonucun elde edilmesine katkıda bulunmaktadır [124]. Yüzey pürüzlülüğünün fazla olması ise restorasyonun renklenmeye açık olmasına, plak birikiminin kolaylaşmasına, dişetinde irritasyona, restorasyonda kenar renklenmesine ve sekonder çürüğe yol açmaktadır [125]. Dental materyallerin yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde optik ve taramalı elektron mikroskobu (scanning electron microscope, SEM) gibi nitel yöntemlerle birlikte yüzey profil analizleri gibi nicel yöntemler de kullanılabilmektedir. Yüzey profil ölçümleri için genellikle temaslı elmas uçlu ve temassız lazer tabanlı sistemler ile lazer yansıtma ölçüm sistemleri kullanılmaktadır [126, 127].

2.6.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm yöntemleri

Profilometre

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için sıklıkla kullanılan cihazlardan biri olan profilometre ile elde edilen pürüzlülük değerleri yüzey düzensizliklerinin nicel ölçüm sonuçlarını içermektedir [125, 126].

Profilometreler çalışma prensiplerine göre mekanik, optik ve lazer profilometreleri olarak üçe ayrılmaktadır [128].

Mekanik (Kontakt uçlu) profilometreler

Mekanik profilometreler, 5 μm yarıçapındaki, elmas tarayıcı ucun materyal yüzeyinde gezdirilmesi sırasında yüzeydeki girinti ve çıkıntılardan geçerek materyalin iki boyutlu (2B) yüzey profilinin çıkarılması prensibine dayalı olarak çalışmaktadır [129].

Optik profilometreler

Optik profilometre, yüzeyin hem niteliksel hem de niceliksel değerlendirilmesini sağlayan bir cihazdır. Optik ışınlar yardımıyla numune yüzeyine temas etmeden tarama yöntemiyle yüzey topografisi 3B olarak değerlendirilebilmektedir [130].

Lazer profilometreleri

Lazer profilometreleri, optik profilometreler gibi yüzeye temas etmeden ölçüm yapmaktadır. Bu profilometre tipinde ölçüm yapılacak yüzeye yaklaşık 100 µm çapında bir ışık spotu yönlendirilmektedir. Yönlendirilen lazer ışığının sapmasını ölçülmesi ile yüzey topografyasını 3B olarak oluşturabilmektedir. Bununla birlikte lazer profilometreleri ölçülen materyalin renk ve translusensi özelliklerinden etkilenebilmektedir [123].

Tarayıcı elektron mikroskobu (Scanning electron microscobe, SEM)

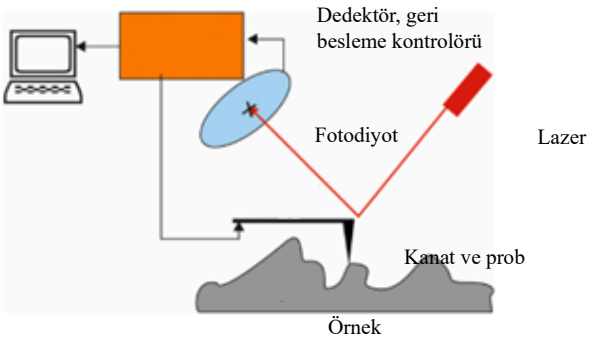
Örneğin ayrıntılı yüzey özelliklerini ortaya çıkarmak ve 3B yapısı hakkında bilgi sağlamak için ince bir şekilde odaklanmış elektron demeti kullanan SEM, örneğin yüzey özelliklerini, yüzeyden yayılan sekonder elektronlardan elde etmektedir [131, 132].

SEM analizinde örnek yüzeyinin elektriksel olarak iletken olması gerekmektedir. Bu nedenle iletken olmayan örnekler genellikle altın gibi metallerle kaplanmaktadır [133]. Bunun yanında, materyalin 3B yüzey yapısının görüntülenememesi ve cihazın vakum ortamında çalışmayı gerektirmesi, SEM'in başlıca sınırlamaları arasında yer almaktadır [123].

Atomik kuvvet mikroskobu (atomic force microscope, AFM)

1986 yılında Gerd Binnig, Calvin Quate ve Christoph Gerber tarafından bir malzemenin yüzey özelliklerini gerçek zamanlı olarak görüntüleyip ölçmek ve belgelemek için geliştirilen ilk etkili cihaz olan AFM, yüzey pürüzlülüğünün 3B, mikro ve nanometre seviyesinde ve yüksek çözünürlükte topografik görüntülerini sağlayabilmektedir[126, 134]. Çalışma prensibi yüzey ile prob arasındaki kuvvet etkileşimlerini algılamaya dayalı olan AFM, esnek bir kanatın ucuna sabitlenmiş bir prob ile örnek yüzeyi arasında oluşan 1 nN'den küçük ultra düşük kuvvetleri ölçmektedir (Şekil 2.12) [122]. Optik profilometre ile karşılaştırıldığında AFM yüzey yapısını daha detaylı inceleyip çok daha yüksek

çözünürlükte görüntüler elde ederken ölçüm hızı olarak daha yavaş olup ölçüm aralığı 100 µm × 100 µm boyutundaki bir yüzey ile sınırlı kalmaktadır [122, 134].



Şekil 2.12. AFM çalışma prensibi [134]

2.6.2. Yüzey pürüzlülüğü parametreleri

Yüzey özelliklerinin profilometre ile değerlendirilmesinde Ra, Rz, Rpm ve Rpm/Rz gibi çeşitli parametreler kullanılmaktadır [135, 136]. Bu parametreler, yüzey profilinin ortalama hat boyunca gösterdiği dikey sapmaların niceliksel olarak belirlenmesini sağlamaktadır.

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)

Bir ölçüm uzunluğu boyunca, yüzey profilindeki sapmaların mutlak değerlerinin aritmetik ortalaması olarak tanımlanan Ra, materyallerin yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde en sık kullanılan parametredir. Bu parametrenin ölçümü kolay olup, yüzeydeki yükseklik değişimlerinin genel bilgisini başarılı bir şekilde sunmaktadır. Buna karşılık yüzey profilindeki tepe ve çukurlar arasındaki yatay mesafe olarak tanımlanan yüzey dalga boyu hakkında bilgi verememekte ve yüzey profili üzerindeki küçük değişimlerin değerlendirilmesinde sınırlı kalmaktadır [137].

Ortalama maksimum profil yüksekliği (Rz)

Belirlenen ortalama hattan yukarıdaki en yüksek beş tepe ile aşağıdaki en derin 5 çukurun ortalama yüksekliğini ifade eden Rz değeri, Ra'ya göre daha hassas bir parametredir [137].

Maksimum vadi derinliği (Rv)

Belirlenen ölçüm uzunluğunda, yüzey profilinin referans hattı ile değerlendirme uzunluğu boyunca tespit edilen en derin vadi noktası arasındaki mesafeyi ifade eden parametredir. Her bir örneklem uzunluğundaki en derin vadi noktalarının aritmetik ortalaması ortalama maksimum vadi derinliği (Rvm) olarak tanımlanmaktadır [137].

Maksimum tepe yüksekliği (Rp)

Belirlenen ölçüm uzunluğunda, yüzey profilinin referans hattı ile değerlendirme uzunluğu boyunca tespit edilen en yüksek tepe noktası arasındaki mesafeyi ifade eden parametredir. Her bir örneklem uzunluğundaki en yüksek tepe noktalarının aritmetik ortalaması ise ortalama maksimum tepe yüksekliği (Rpm) olarak bilinmektedir [137].

Maksimum pürüz derinliği (Rmax, Rt)

Belirlenen ölçüm uzunluğundaki en yüksek tepe ile en düşük çukur arasındaki uzunluğu vermekte olan Rmax değeri aynı zamanda Rt olarak da bilinmektedir [137, 138].

2.7. Yüzey Bitirme İşlemleri

Eklemeli üretim teknolojisinde 3B CAD modellerin 2B katmanlara dilimlenerek bu katmanların üst üste yığılması işleyişine dayanan üretim süreci, basamaklanma olarak adlandırılan ve özellikle eğimli yüzeylerde gözlenen yüzey düzensizliklerine neden olmaktadır [139]. Basamaklanma etkisi sonucunda yüzey pürüzlülüğü artmakta ve üretimden sonra yüzey özelliklerini iyileştirmek için yüzey bitirme işlemleri gerekmektedir [38]. Yüzey bitirme işlemlerinin kullanılan materyale uygun olması önem taşımaktadır [140]. Eklemeli üretimde kullanılan rezinler yapı olarak akışkan kompozitlere benzerlik gösterdiğinden, üretici firmalar çoğunlukla geleneksel kompozit materyaller için kullanılan standart polisaj ve bitirme prosedürlerinin uygulanmasını önermektedir. Restoratif materyallerin yüzey bitirme işlemlerinde, karbür ve elmas frezler, aşındırıcı disk ve şeritler, silikon emdirilmiş lastik uçlar, bitirme ve polisaj pastaları gibi çeşitli araçlar kullanılmaktadır [123].

Diş hekimliğindeki yüzey bitirme malzemelerinde kullanılan aşındırıcı tipleri arasında alüminyum oksit, karbid bileşikleri, elmas partikülleri, silikon dioksit, zirkonyum oksit ve zirkonyum silikat bulunmaktadır. Alüminyum oksit partiküllerinin seramikle katılaştırılmış beyaz taşlar içine katılması, kağıt veya polimer disklere, bantlara yapıştırılması ya da lastik uçlara emdirilmesi ile bitirme ve polisaj işlemlerinde kullanılan malzemeler üretilmekte, aynı zamanda küçük partiküller halinde polisaj patına karıştırılarak yüzey parlatmasında kullanılabilmektedir. Bilinen en sert madde olan ve karbon elementinden oluşan elmas oldukça etkili bir aşındırma ajanı olup sertliğini uzun süre korumaktadır. Çeşitli boyutlarda ve dayanıklılıkta elmas tozu veya partikülleri elmas frezlerdeki gibi sert bir matrikse kaplanabildiği gibi lastiklerin ve polisaj patlarının içerisine de ince elmas partikülleri katılabilmektedir.

Yüzey bitirme işleminde kullanılan araçlardan biri olan aşındırıcı kaplanmış disk ve şeritler, ince polimer veya plastik bir zemin üzerine aşındırıcı partiküllerin yapıştırılması ile elde edilmektedirler [73, 141]. Bu disklerde genellikle alüminyum oksit partikülleri aşındırıcı materyal olarak tercih edilmektedir. Özellikle düz veya konveks yüzeylerde aşındırıcı kaplanmış diskler kullanışlı olup özellikle insizal kenar ve embraşürleri içine alan anterior bölge restorasyonlarında iyi sonuç vermektedirler [142]. Esnek olan bu diskler basınçsız bir şekilde su altında kullanılmaktadır [141].

Yüzey bitirme işlemlerinin amacı, restoratif materyallerin yüzey pürüzlülüğünün 0,45–0,64 µm olan mine dokusuna yakın olacak şekilde düzenlenmesini sağlamaktır [143]. Yüzey pürüzlülüğü değerinin 0,20 µm'den yüksek olduğu durumlarda plak retansiyonunu klinik olarak anlamlı düzeyde artmaktadır. Aynı zamanda 0,25 µm ile 0,50 µm arasındaki Ra değerleri dil tarafından algılanabilmekte ve hastada rahatsızlık hissine yol açmaktadır [123].

2.8. Yapay Yaşlandırma Yöntemleri

Protetik ve restoratif materyallerin, ağız içi koşullarını taklit eden ısı, ışık ve nem döngüleri gibi kontrollü çevresel faktörlere maruz bırakılarak hızlandırılmış testlere tabi tutulduğu yapay yaşlandırma yöntemleri, ağız içi ortamı taklit eden in vitro koşullar altında gerçekleştirilmektedir [104].

2.8.1. Sıvı ortamda bekleterek yaşlandırma

Materyaller, çoğunlukla su başta olmak üzere sodyum hipoklorit, yapay tükürük veya farklı enzimler içeren solüsyonlarda bekletilerek yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulabilmektedir [144]. En sık kullanılan yapay yaşlandırma yöntemi ise, materyallerin ağız içi sıcaklığını taklit edecek şekilde 37 °C'de belirli bir süre boyunca suda bekletilmesidir. Bu süre birkaç aydan birkaç yıla kadar değişebilmektedir [145, 146].

2.8.2. Fırçalama simülatörü ile yaşlandırma

Fırçalama simülatörü, diş fırçasını belirlenen açılar, hızlar ve kuvvetler altında tutarak fırçalama hareketlerini ve kuvvetini kontrol edebilen, ağız ortamında gerçekleştirilen diş fırçalama işleminin in vitro olarak taklit edilmesine olanak sağlayan bir cihazdır. Bu sistem sayesinde fırçalamanın diş yüzeyleri ve restoratif materyaller üzerindeki etkileri kontrollü koşullar altında değerlendirilebilmekte, klinik öncesi çalışmalarda fırçalama etkinliği incelenebilmektedir. Ayrıca farklı basınç düzeyleri ile aşırı fırçalama koşullarının materyaller üzerindeki etkileri de fırçalama simülatörü kullanılarak araştırılabilmektedir [147].

Bu tez çalışmasının amacı, rezin matriks seramik materyallere uygulanan farklı sürelerdeki son kürleme işleminin renk ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemek, örneklere uygulanan mekanik polisaj, fırçalama simülasyonu ve sıvıda bekletme ile gerçekleştirilen yaşlandırma işlemlerinin renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesidir.

Çalışmanın sıfır hipotezleri:

$H0_1$: Son kürleme süresi, rezin matriks seramik örneklerin renk değişimi (ΔE_{00}) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir.

$H0_2$: Mekanik polisaj işlemi, rezin matriks seramik örneklerin renk değişimi (ΔE_{00}) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir.

$H0_3$: Yaşlandırma işlemleri (sıvıda bekletme ve fırçalama), rezin matriks seramik örneklerin renk değişimi (ΔE_{00}) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Eklemeli üretim yöntemi ile disklerin üretimi ve belirlenen sürelerde son kürleme işlemleri Addpark İleri Mühendislik Teknolojileri A.Ş., zımparalama, sıvıda bekleterek yaşlandırma işlemleri ve profilometre ile örneklerin yüzey pürüzlülüğünün ölçümü Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Bilimsel Araştırma Laboratuvarları, spektrofotometre ile örneklerin renk ölçümü Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, ultrasonik temizleyicide temizleme ve fırçalama simülatörü ile yaşlandırma işlemi ise Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Bilimsel Araştırmalar Laboratuvarları'nda gerçekleştirildi. Son kürleme süresinin materyallerin renk stabiliteleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin in vitro ortamda değerlendirildiği tez çalışması Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından TDH-2025-9918 proje numarasıyla desteklendi.

3.1. Çalışma Gruplarının Oluşturulması

Tez çalışmasının örneklem büyüklüğü, G*Power yazılımı (Version 3.1.9.2; Heinrich Heine Üniversitesi, Düsseldorf, Almanya) kullanılarak yapılan güç analizi ile belirlendi. Etki büyüklüğü f=0,25, anlamlılık düzeyi α=0,05 ve istatistiksel güç %95 olarak kabul edildi. Analiz sonucunda, her bir alt grup için gerekli minimum örneklem büyüklüğü 10 olarak hesaplandı. Bu doğrultuda çalışmaya toplam 160 örnek dahil edildi.

''Eklemeli Üretim Teknolojisi ile Üretilen Hibrit Seramik Materyallerinin Farklı Son Kürleme Sürelerinin Renk Stabilitesine ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi'' başlıklı tez çalışmasında kullanılan materyal özellikleri Çizelge 3.1, cihazlar ise Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan rezin materyali

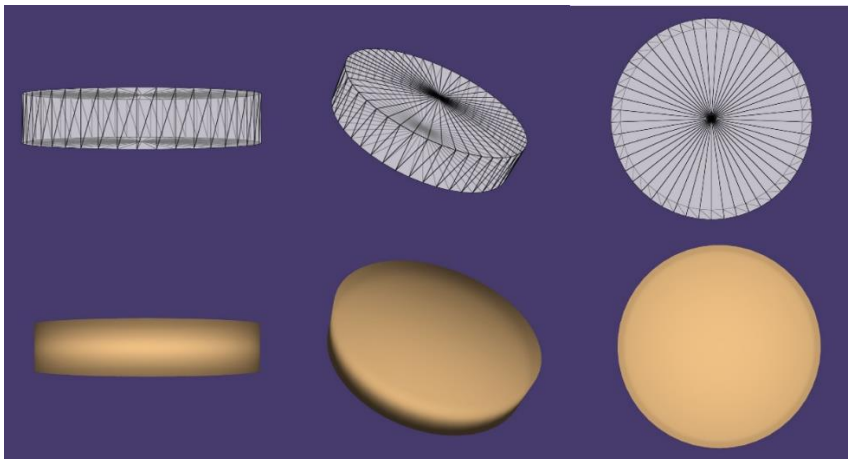
Materyal	Üretici	Yazıcı Tipi	Kimyasal İçerik	Endikasyon
Permanent Crown Rezin	FormLabs (FormLabs,Sommerville, MA, ABD.)	SLA	%50 - 75 esterifikasyon ürünleri (etoksile 4,4′-izopropilidendifenol, 2-metilprop-2-enoik asit) silanize dental cam metil benzoilformat <%2,5 difenil (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfin oksit %30-50 (0,7 µm) inorganik doldurucular.	Daimi kron restorasyonları, inley, onley ve lamine veneer restorasyonları

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan cihazların marka ve üretici firmaları

Kullanılan Cihaz	Marka	Üretici firma
3B Yazıcı	Form 3B+ Printer	FormLabs, Somerville, MA, ABD
Son kürleme fırını	Form Cure	FormLabs, Somerville, MA, ABD
Yıkama cihazı	Form Wash	FormLabs, Somerville, MA, ABD
Ultrasonik temizleyici	Elmasonic	Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Almanya
Spektrofotometre	VITA EasyShade Advance 4.0	VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya
Profilometre	Mahr Perthometer M2	Mahr M-1, Göttingen, Almanya
Zımpara cihazı	Buehler Polisher	Illinois, ABD
Fırçalama simülatörü	Lua Toothbrush Simulator-BS12	Lua Optomekatronik ARGE A.Ş., İstanbul, Türkiye

3.2. Örneklerin Tasarımı, Üretimi ve Son İşlem Prosedürlerinin Uygulanması

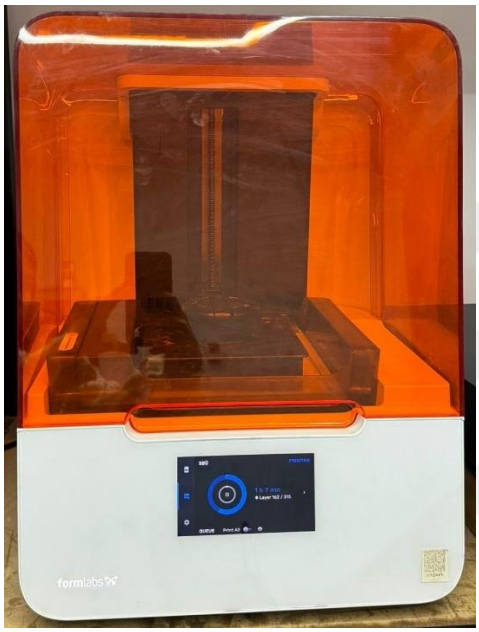
Örnekler, Exocad (exocad DentalCAD, exocad GmbH, Darmstadt, Almanya) kullanılarak 10 mm çapında ve 2 mm kalınlığında yuvarlak disk şeklinde tasarlandı (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Örneklerin exocad tasarımı

Örneklerin üretiminde metakrilik asit esterleri bazlı, fotopolimerize olabilen, daimi tek kron, inley, onley ve veneer restorasyonların üretimi için geliştirilmiş FormLabs Permanent Crown rezin materyali (FormLabs, Somerville, MA, ABD) kullanıldı.

Örnekler, FormLabs Form 3B+ yazıcı (FormLabs, Somerville, MA, ABD) (Resim 3.1) kullanılarak SLA baskı teknolojisi ile katman kalınlığı 50 µm ve oryantasyon açısı 0° olacak şekilde, 160 adet, 2x10 mm boyutunda, disk şeklinde üretildi.



Resim 3.1. FormLabs Form 3B+ yazıcı

Üretim platformundan ayrılan örnekler, üretici talimatlarına göre %99'luk IPA çözeltisi ile 3 dakika boyunca Form Wash (FormLabs, Somerville, MA, ABD) (Resim 3.2) yıkama cihazında temizlendi. Daha sonra örnekler basınçlı hava ile kurutuldu.



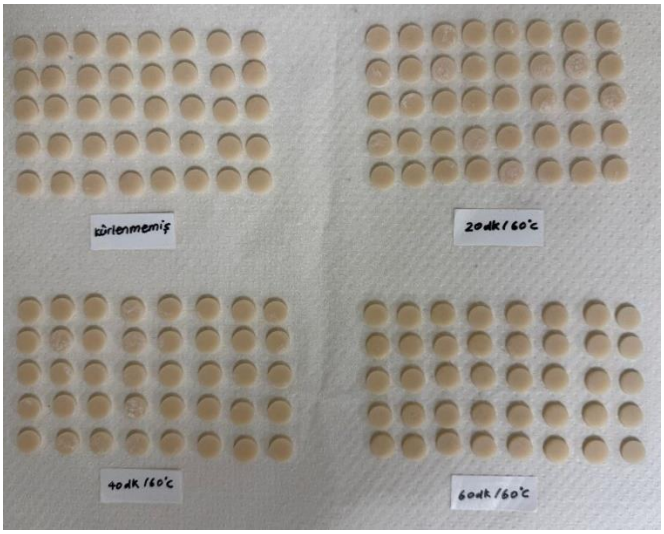
Resim 3.2. Form Wash yıkama cihazı

Üretilen örnekler her grupta 40 adet olacak şekilde 4 gruba ayrıldı. 1. gruba son kürleme işlemi uygulanmazken, 2. gruba 20 dakika, 3. gruba 40 dakika ve 4. gruba 60 dakika 60 ºC'de son kürleme işlemi Form Cure (FormLabs Inc., Somerville, MA, ABD) (Resim 3.3) UV-polimerizasyon cihazında uygulandı.



Resim 3.3. Form Cure UV polimerizasyon cihazı

Son kürleme işlemi bittikten sonra destek yapıları uzaklaştırılan örnekler yüzey bitirme işlemleri için hazır hale getirildi. Çalışma gruplarına ayrılan örnekler Resim 3.4'te gösterildi.



Resim 3.4. Örnek grupları

3.3. Örneklerin Yüzey Standardizasyonunun Sağlanması

Üretilen örneklerin kalınlıkları, 0-25 mm ölçüm aralığına ve 0.001 mm çözünürlüğe sahip sahip dijital kumpas ile (Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Japonya) 2 mm (±0,1 mm) olacak şekilde ölçüldü (Resim 3.5).



Resim 3.5. Örnek kalınlığının dijital kumpas ile ölçülmesi

Örnekler, üretimden sonraki yüzey düzensizliklerini en aza indirmek ve standardizasyonu sağlamak amacı ile dakikada 200 devir dönen zımpara cihazında (Buehler Polisher, Illinois, ABD) (Resim 3.6) su soğutması altında ve sabit hızda sırası ile 600, 800, 1000, 1200 gridlik silikon karbit aşındırma kağıtları ile zımparalandı (Resim 3.7). Kalın zımparalama aşamasından sonra 2000 gridlik silikon karbit aşındırma kağıdı kullanılarak ince zımparalama işlemi tamamlandı.



Resim 3.6. Zımpara cihazı



Resim 3.7. Örneklerin sabit su altında zımparalama işlemi

Zımparalama işlemi sonrasında örnekler Elmasonic ultrasonik temizleyicide (Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Almanya) (Resim 3.8) 3 dakika süreyle temizlendi. Hava su spreyi ile tüm örnekler kurutuldu.



Resim 3.8. Ultrasonik temizleyici

3.3.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Örneklerin yüzey pürüzlülüğü ölçümü için Mahr Perthometer M2 (Mahr M-1, Göttingen, Almanya) profilometre cihazı kullanıldı (Resim 3.9).



Resim 3.9. Profilometre cihazı

Örneklerin farklı bölgelerinden olacak şekilde Ra ölçümleri üçer kez tekrarlandı.

3.3.2. Renk ölçümü

Örneklerin renk ölçümü için dijital sistemlerden biri olan Vita Easyshade Advance 4.0 (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya) spektrofotometre cihazı kullanıldı (Resim 3.10).



Resim 3.10. Spektrofotometre cihazı

Ölçüm ortamının standardize edilmesi amacıyla renk ölçümleri, D65 standart aydınlatma koşullarını sağlayan, iç bölümü nötral gri renkte olan renk ölçüm kutusunda, beyaz renkli arka plan üzerinde [148], 6500 ºK renk sıcaklığına sahip ışık altında ve karanlık bir ortamda yapıldı (Resim 3.11).



Resim 3.11. D65 standart aydınlatma ortamı olan renk ölçüm kutusu

Ölçüm cihazı üretici firmanın önerisi doğrultusunda kalibre edilerek her bir örnek için başlangıç ölçümleri aynı hat üzerinde belirlenen 3 farklı noktadan yapıldı. Elde edilen L*, a*, b* sayısal değerleri kaydedilerek ortalamaları alındı (Resim 3.12).



Resim 3.12. Spektrofotometre ile yapılan renk ölçümünün sayısal değerleri

3.4. Mekanik Polisaj İşlemi

Mekanik polisaj işlemi için, içinde alüminyum oksit ve elmas partikülleri bulunan termoplastik elastomerden üretilmiş 2 adımlı Sof-Lex elmas polisaj sistemi (3M ESPE, St. Paul, MN, ABD) kullanıldı (Resim 3.13).



Resim 3.13. 3M ESPE Sof-Lex elmas polisaj sistemi

Mekanik polisaj işlemi maksimum 35.000 rpm devire sahip mikro motor (Marathon, Daegu, Güney Kore) ile firma önerileri doğrultusunda, su altında 15.000-20.000 rpm sabit devirde ve 20 saniye sürede yapıldı. Elmas polisaj sistemindeki spiral lastikler önce bej renkli daha sonra ise mor renkli olacak şekilde her örneğin tek bir yüzeyine aynı uygulayıcı tarafından uygulandı. Firma önerilerine göre spiral lastiklerde deformasyon izlendiğinde yeni spiral lastik kullanıldı.

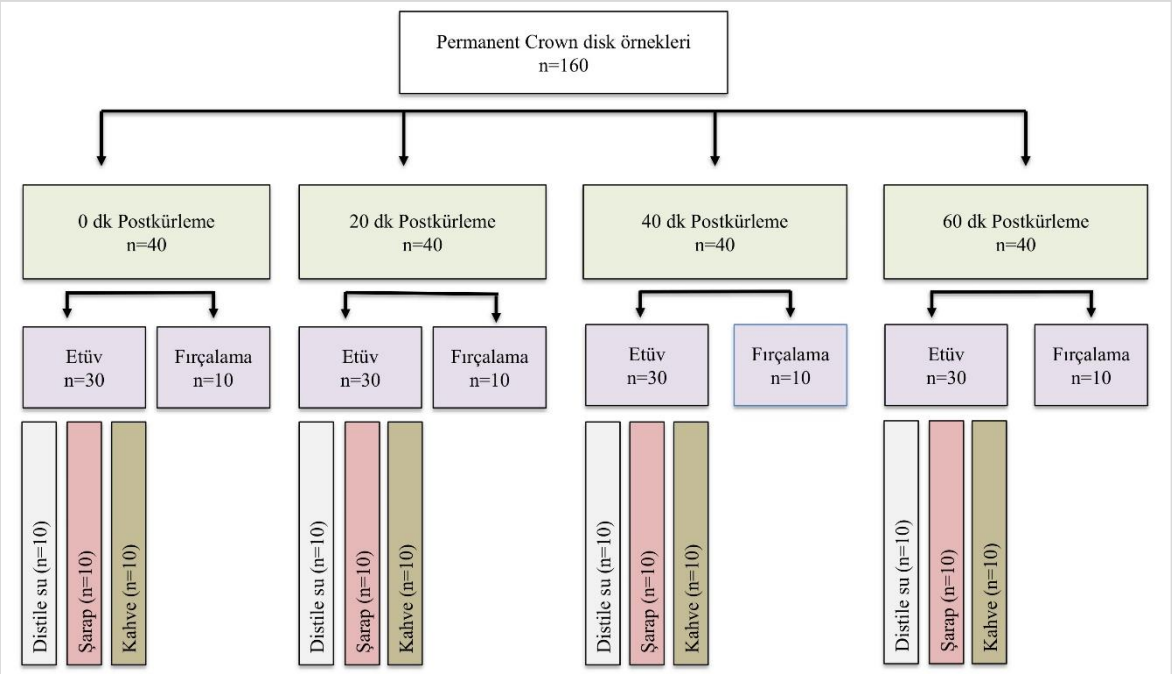
3.4.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Mekanik polisaj işlemi sonrası tüm örneklerin yüzey pürüzlülüğü başlangıç ölçüm basamaklarında olduğu gibi yapıldı ve sayısal değerler kaydedildi.

3.4.2. Renk ölçümü

Mekanik polisaj işlemi sonrası tüm örneklerin renk ölçümü başlangıç ölçüm basamaklarında olduğu gibi yapıldı ve sayısal değerler kaydedildi.

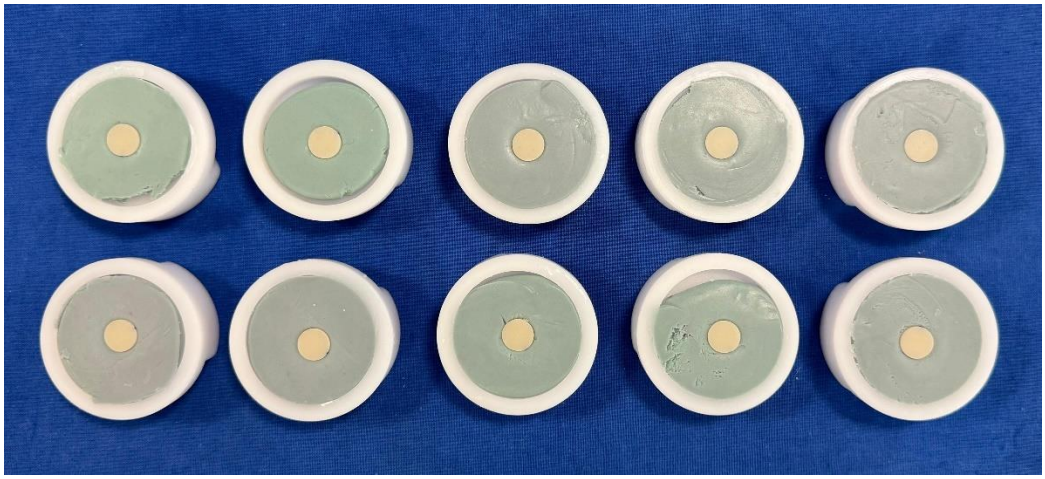
Mekanik polisaj işlemi tamamlanan örnekler yaşlandırma işlemlerine göre gruplara ayrıldı (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Örneklerin gruplara ayrılmasının şematik gösterimi

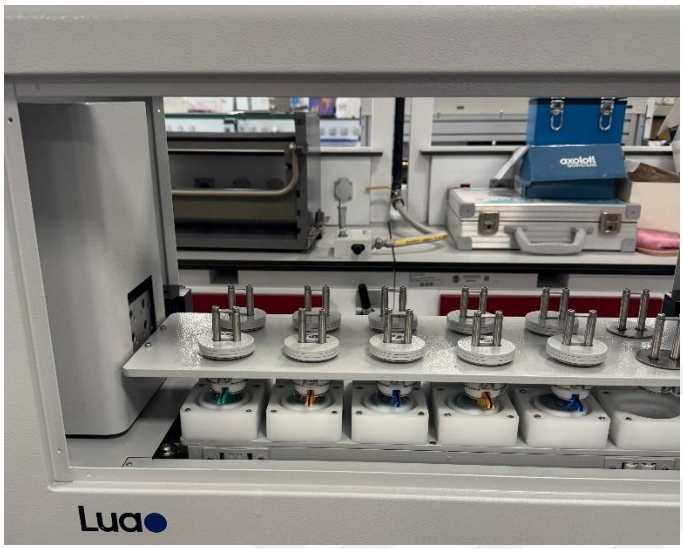
2.5. Fırçalama Simülatörü ile Yaşlandırma İşlemi

Yaşlandırma öncesi renk ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri tamamlanan örnekler için Lua Toothbrush Simulator - BS12 (Lua Optomekatronik ARGE A.Ş., İstanbul, Türkiye) fırçalama cihazı kullanıldı. Fırçalama simülatörü için örnekler cihazın kalıplarına ZetaPlus (Zhermack SpA, Badia Polesine, Rovigo, İtalya) C tipi silikon ölçü materyali ile üst yüzeyleri silikon tavanın 1 mm üzerinde kalacak ve kalıpların merkezinde olacak şekilde gömüldü (Resim 3.14).



Resim 3.14. Örneklerin kalıplara yerleştirilmesi

Örnekler, 90 mm/sn devir hızında, ileri-geri lineer fırçalama hareketi ile 10 mm hareket mesafesinde, 4,5 Hz frekansta, 200 gramlık (≈ 2N) kuvvet altında fırçalandı [149] (Resim 3.15).



Resim 3.15. Fırçalama simülatöründeki yaşlandırma işlemi

Fırçalama işlemi için orta sertlikte kıllar içeren manuel diş fırçası (Colgate Extra Clean Colors, Colgate-Palmolive Co.) (Resim 3.16) kullanıldı.



Resim 3.16. Fırçalama simülatöründe kullanılan diş fırçası

Her bölüm, 1:1 oranda hazırlanan distile su ve diş macunu Sensodyne Promine (Haleon, Weybridge, İngiltere) (Resim 3.17) karışımı ile enjektör yardımıyla dolduruldu.



Resim 3.17. Fırçalama simülasyonunda kullanılan diş macunu

Ağız içindeki 6 aylık fırçalamaya karşılık gelen 5000 döngü sonunda diş fırçaları ve macun solüsyonu değiştirildi. 1 yıllık fırçalamaya denk gelecek şekilde 10 000 fırçalama döngüsü tamamlandı [150, 151]. Yaşlandırma sonunda numuneler distile su ile durulandı.

3.5.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

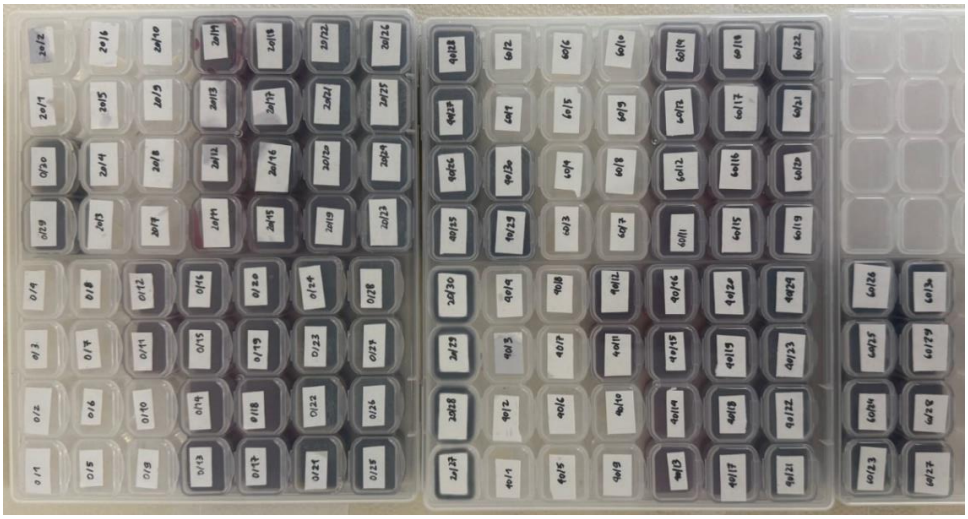
Fırçalama işlemi sonrasında örneklerin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri tekrarlandı. Elde edilen sayısal değerler kaydedildi.

3.5.2. Renk ölçümü

Fırçalama işlemi sonrasında örneklerin renk ölçümleri tekrarlandı. Elde edilen sayısal değerler kaydedildi.

3.6. Sıvıda Bekleterek Yaşlandırma İşlemi

Mekanik polisaj işlemi tamamlanan örneklerin bir kısmı sıvı ortamda bekletilerek yaşlandırıldı. Bu yaşlandırma testi için her son kürleme grubundan elde edilen 30 örnek üç alt gruba ayrıldı ve distile su, kahve ve kırmızı şarap içerecek olan numaralandırılmış bölmelere yerleştirildi. Örneklerin üzerleri tamamıyla kapalı olacak şekilde sıvılar bölmelere eklendi (Resim 3.18).



Resim 3.18. Distile su, şarap ve kahve solüsyonlarına konulan örnekler

Renklendirici ajanlar olarak kahve için Nescafe Gold (Nestlé S.A., Vevey, İsviçre), şarap için ise Yakut kırmızı sek şarap (Kavaklıdere Şarapları A.Ş., Ankara, Türkiye) kullanıldı (Resim 3.19).



Resim 3.19. Renklendirici solüsyon olarak kullanılan kırmızı sek şarap ve kahve

Örnekler ağız içi koşullarını taklit etmek için 37°C'de 7 gün boyunca etüv cihazında (Dedeoğlu, İstanbul, Türkiye) (Resim 3.20) bekletildi ve 24 saatte bir solüsyonlar değiştirildi [152].



Resim 3.20. Etüv cihazı

3.7. CIEDE2000 Renk Ölçüm Formülü ile ΔE_{00} Hesaplanması

Renk parametrelerinin ölçümü sonrasında örneklere ait renk değişim değerleri, CIEDE2000 formülü kullanılarak hesaplandı. ΔE_{00} değerleri, üretim sonrası ile mekanik polisaj sonrası,

mekanik polisaj ile sıvıda bekleterek yaşlandırma ve mekanik polisaj ile fırçalama işlemi sonrası ölçümler arasındaki renk farkları hesaplanarak elde edildi.

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left[\left(\left(\frac{\Delta L^*}{kL \cdot SL}\right)^2\right) + \left(\left(\frac{\Delta C^*}{(kC \cdot SC)}\right)^2\right) + \left(\left(\frac{\Delta H^*}{(kH \cdot SH)}\right)^2\right) + RT \cdot \left(\frac{\Delta C^*}{(kC \cdot SC)}\right) \cdot \left(\frac{\Delta H^*}{(kC \cdot SC)}\right)\right]} \quad (3.1)$$

3.8. İstatistiksel Analiz

Çalışmanın istatistiksel analizleri IBM SPSS Statistics 24.0 (IBM Corp., Released 2016. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 24.0. Armonk, NY, USA: IBM Corp.), Jamovi 2.4 (The Jamovi Project, 2022. Jamovi (Version 2.4). Sydney, Australia: The Jamovi Project), RStudio 2023.09.0 (RStudio Team, 2023. RStudio: Integrated Development Environment for R (Version 2023.09.0), Boston, MA, USA: Posit Software, PBC) yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yüzey pürüzlülüğü (Ra, µm) ile renk değişimi değerleri (ΔE_{00}) istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Analiz öncesinde, sürekli değişkenlerin parametrik test varsayımlarını karşılayıp karşılamadığı normal dağılım açısından Shapiro–Wilk testi, çarpıklık-basıklık katsayıları ve Q–Q grafikleriyle; varyans homojenliği ise Levene testi ile incelenmiştir. Mekanik polisaj öncesinde elde edilen ölçümlerde dört son kürleme grubunun karşılaştırılması için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Aynı örneklerden elde edilen mekanik polisaj öncesi ve sonrası ölçümlerin değerlendirilmesinde, zamanın grup içi faktör ve son kürleme süresinin grup dışı faktör olarak tanımlandığı tekrarlı ölçümlü ANOVA kullanılmıştır. Yaşlandırma sonrası elde edilen değerler ve yaşlandırma sonrası–mekanik polisaj sonrası fark değerlerinin analizinde ise son kürleme süresi ve yaşlandırma yöntemi ana etkileri ile bu iki faktör arasındaki etkileşimi incelemek amacıyla iki yönlü ANOVA uygulanmıştır. Omnibus test sonucunun anlamlı bulunduğu durumlarda gruplar arası çoklu ikili karşılaştırmalar Bonferroni düzeltmesi ile gerçekleştirilmiştir. Verilere ilişkin özet istatistikler, düzeltilmiş marjinal ortalamalar, standart hata ve %95 güven aralığı ile sunulmuştur. Etki büyüklüğü kısmi eta-kare (η^2p) ile raporlanmış, istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Yüzey Pürüzlülüğü Bulguları

4.1.1. Mekanik polisaj öncesi yüzey pürüzlülüğü bulguları

Tek yönlü ANOVA sonuçlarına göre, son kürleme süresinin mekanik polisaj öncesi yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi bulunmuştur ($F(3,156)=12,263$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,191$) (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Son kürleme süresinin mekanik polisaj öncesi yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine ilişkin tek yönlü ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	*p*	η^2p
Son kürleme süresi	0,049	3	0,016	12,263	*<0,001*	0,191
Hata	0,209	156	0,001			

Sd: Serbestlik derecesi, η^2p: Etki büyüklüğü (kısmi eta-kare)

Üretim sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde, 20 dakika son kürlenmiş grubun mekanik polisaj öncesi yüzey pürüzlülüğü değerlerinin diğer gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük olduğu belirlenmiş, diğer gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Son kürleme gruplarında mekanik polisaj öncesi yüzey pürüzlülüğü (Ra, µm) değerlerinin karşılaştırılması

Son Kürleme	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Son kürlenmemiş	$0,160^{a}$	0,006	0,148	0,171
20 dk son kürlenmiş	$0,112^{b}$	0,006	0,101	0,124
40 dk son kürlenmiş	$0,148^{a}$	0,006	0,136	0,159
60 dk son kürlenmiş	$0,141^{a}$	0,006	0,130	0,153

SH: Standart hata, Farklı üst simge harfler $^{(abcd)}$, ikili karşılaştırmalarda gruplar arası anlamlı farklılığı ifade eder ($p<0,05$).

4.1.2. Mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü bulguları

Tek yönlü ANOVA sonuçlarına göre, son kürleme süresinin mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu bulunmuştur ($F(3,156)=16,713$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,243$) (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Son kürlemenin mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine ilişkin tek yönlü ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	*p*	η^2p
Son kürleme süresi	0,108	3	0,036	16,713	*<0,001*	0,243
Hata	0,335	156	0,002			

Sd: Serbestlik derecesi, η^2p: Etki büyüklüğü (kısmi eta-kare)

Mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde, son kürlenmemiş grubun diğer gruplara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 20 dakika son kürlenmiş grubun, son kürlenmemiş ve 60 dakika son kürlenmiş gruplara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Son kürleme gruplarında mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü (Ra, μm) değerlerinin karşılaştırılması

Son Kürleme Süresi	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Son kürlenmemiş	$0,204^{a}$	0,007	0,189	0,218
20 dk son kürlenmiş	$0,134^{b}$	0,007	0,119	0,148
40 dk son kürlenmiş	$0,151^{bc}$	0,007	0,137	0,166
60 dk son kürlenmiş	$0,168^{c}$	0,007	0,153	0,182

SH: Standart hata, Farklı üst simge harfler $^{(abcd)}$, ikili karşılaştırmalarda gruplar arası anlamlı farklılığı ifade eder ($p<0,05$).

Tekrarlı ölçümlü ANOVA sonuçlarına göre, mekanik polisaj öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinde zamanın ana etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($F(1,156)=29,706$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,160$). Ayrıca, zaman ile son kürleme süresi arasındaki etkileşim de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F(3,156)=3,577$; $p=0,015$; $\eta^2p=0,064$). Bu bulgular, mekanik polisaj öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin

genel olarak anlamlı düzeyde değiştiğini ve bu değişimin son kürleme gruplarına göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Son kürleme süresinin, mekanik polisaj öncesi-sonrası yüzey pürüzlülüğü değişimi üzerindeki etkisine ilişkin tekrarlı ölçümlü ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	*F*	*p*	η^2p
Zaman	0,046	1	0,046	29,706	*<0,001*	0,160
Zaman x Son kürleme	0,017	3	0,006	3,577	*0,015*	0,064
Hata	0,241	156	0,002			

Sd: Serbestlik derecesi, η^2p: Etki büyüklüğü (kısmi eta-kare)

Mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri mekanik polisaj öncesine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Mekanik polisaj öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması

Mekanik Polisaj	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Öncesi	$0,140^{a}$	0,003	0,135	0,146
Sonrası	$0,164^{b}$	0,004	0,157	0,171

SH: Standart hata, Farklı üst simge harfler $^{(abcd)}$, mekanik polisaj öncesi-sonrası anlamlı farklılığı ifade eder ($p<0,05$).

Son kürleme grupları içinde mekanik polisaj öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü değişimi incelendiğinde, yalnızca son kürlenmemiş grupta mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin mekanik polisaj öncesine göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde arttığı belirlenmiştir. Diğer son kürlenmiş gruplarda ise yüzey pürüzlülüğü değerlerinde artış gözlenmekle birlikte, bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$) (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Son kürleme gruplarında mekanik polisaj öncesi-sonrası yüzey pürüzlülüğü değişimi değerlerinin karşılaştırılması

Son Kürleme	Mekanik Polisaj	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
				Alt	Üst
Son kürlenmemiş	Öncesi	0,160[a]	0,006	0,148	0,171
	Sonrası	0,204[b]	0,007	0,189	0,218
20 dk son kürlenmiş	Öncesi	0,112[a]	0,006	0,101	0,124
	Sonrası	0,134[a]	0,007	0,119	0,148
40 dk son kürlenmiş	Öncesi	0,148[a]	0,006	0,136	0,159
	Sonrası	0,151[a]	0,007	0,137	0,166
60 dk son kürlenmiş	Öncesi	0,141[a]	0,006	0,130	0,153
	Sonrası	0,168[a]	0,007	0,153	0,182

SH: Standart hata, Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda son kürleme grupları içinde mekanik polisaj öncesi-sonrası anlamlı farklılığı ifade eder ($p<0,05$).

4.1.3. Yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü bulguları

İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre, son kürleme süresinin yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu belirlenmiştir ($F(3,144)=36,140$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,430$). Benzer şekilde, yaşlandırma yönteminin de yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri üzerinde anlamlı etkisi olduğu saptanmıştır ($F(3,144)=13,646$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,221$). Ayrıca, son kürleme süresi ile yaşlandırma yöntemi arasındaki etkileşim de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F(9,144)=4,262$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,210$) (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Son kürleme süresinin ve yaşlandırma yönteminin, yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisine ilişkin iki yönlü ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	*p*	η^2p
Son kürleme süresi	0,239	3	0,080	36,140	*<0,001*	0,430
Yaşlandırma Yöntemi	0,090	3	0,030	13,646	*<0,001*	0,221
Son kürleme süresi x Yaşlandırma Yöntemi	0,084	9	0,009	4,262	*<0,001*	0,210
Hata	0,317	144	0,002			

Sd: Serbestlik derecesi, η^2p: Etki büyüklüğü (kısmi eta-kare)

Son kürlenmemiş grubun yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin diğer gruplara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla

birlikte 20 dakika son kürlenmiş grubun yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin son kürlenmemiş ve 60 dakika son kürlenmiş gruplara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Son kürleme gruplarında yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü (µm) değerlerinin karşılaştırılması

Son Kürleme	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Son kürlenmemiş	0,257[a]	0,007	0,243	0,272
20 dk son kürlenmiş	0,155[b]	0,007	0,140	0,170
40 dk son kürlenmiş	0,175[bc]	0,007	0,160	0,190
60 dk son kürlenmiş	0,186[c]	0,007	0,172	0,201

SH: Standart hata, Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda gruplar arası anlamlı farklılığı ifade eder (p<0,05).

Fırçalama grubunun yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin diğer gruplara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Distile su, şarap ve kahve gruplarının yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Yaşlandırma yöntemi gruplarında yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü (µm) değerlerinin karşılaştırılması

Yaşlandırma	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Fırçalama	0,231[a]	0,007	0,216	0,246
Distile su	0,166[b]	0,007	0,152	0,181
Şarap	0,183[b]	0,007	0,168	0,197
Kahve	0,193[b]	0,007	0,179	0,208

SH: Standart hata, Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda gruplar arası anlamlı farklılığı ifade eder (p<0,05).

Sıvıda bekleterek yaşlandırma işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlerine bakıldığında (Çizelge 4.11) son kürlenmemiş grupta fırçalama grubunun, şarap ve kahve gruplarına göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük olduğu, fırçalama ile distile su grubu arasında ve şarap ile kahve grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı belirlenmiştir.

20 dakika ve 40 dakika son kürlenmiş grupta, fırçalama grubunun yüzey pürüzlülüğü değerlerinin distile su, şarap ve kahve gruplarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 20 dakika son kürlenmiş grupta şarap grubunun yüzey pürüzlülüğü değerlerinin distile su grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu saptanmıştır.

60 dakika son kürlenmiş grupta ise yaşlandırma yöntemleri arasında yüzey pürüzlülüğü değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır.

Çizelge 4.11. Son kürleme süresi – yaşlandırma yöntemi etkileşim gruplarında yaşlandırma sonrası yüzey pürüzlülüğü (µm) değerlerinin karşılaştırılması

Son Kürleme	Yaşlandırma Yöntemi	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
				Alt	Üst
Son kürlenmemiş	Fırçalama	0,254[a]	0,015	0,224	0,283
	Distile su	0,217[a]	0,015	0,188	0,247
	Şarap	0,268[b]	0,015	0,239	0,297
	Kahve	0,291[b]	0,015	0,261	0,320
20 dk son kürlenmiş	Fırçalama	0,212[a]	0,015	0,183	0,242
	Distile su	0,116[b]	0,015	0,087	0,146
	Şarap	0,160[c]	0,015	0,131	0,190
	Kahve	0,131[bc]	0,015	0,101	0,160
40 dk son kürlenmiş	Fırçalama	0,247[a]	0,015	0,218	0,277
	Distile su	0,146[b]	0,015	0,116	0,175
	Şarap	0,154[b]	0,015	0,125	0,183
	Kahve	0,153[b]	0,015	0,123	0,182
60 dk son kürlenmiş	Fırçalama	0,211[a]	0,015	0,181	0,240
	Distile su	0,186[a]	0,015	0,157	0,216
	Şarap	0,148[a]	0,015	0,119	0,178
	Kahve	0,199[a]	0,015	0,170	0,229

SH: Standart hata. Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda son kürleme grupları içinde yaşlandırma yöntemleri arasında anlamlı farklılığı ifade eder ($p<0,05$).

4.1.4. Yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farkı bulguları

İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre, son kürleme süresinin yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farkı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu belirlenmiştir ($F(3,144)=7,001$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,127$). Benzer şekilde, yaşlandırma

yönteminin de söz konusu fark üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi olduğu saptanmıştır (F(3,144)=12,950; p<0,001; η^2p=0,212). Buna karşın, son kürleme süresi ile yaşlandırma yöntemi arasındaki etkileşim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (F(9,144)=0,855; p=0,567; η^2p=0,051) (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Son kürleme süresinin ve yaşlandırma yönteminin; yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farkı üzerindeki etkisine ilişkin iki yönlü ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	*p*	η^2p
Son Kürleme Süresi	0,032	3	0,011	7,001	*<0,001*	0,127
Yaşlandırma Yöntemi	0,059	3	0,020	12,950	*<0,001*	0,212
Son Kürleme Süresi x Yaşlandırma Yöntemi	0,012	9	0,001	0,855	0,567	0,051
		14				
Hata	0,220	4	0,002			

Sd: Serbestlik derecesi, η^2p: Etki büyüklüğü (kısmi eta-kare)

Son kürlenmemiş grubun yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farkı değerlerinin diğer gruplara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiş, 20 dakika, 40 dakika, 60 dakika son kürlenmiş gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Son kürleme gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farklarının karşılaştırılması

Son Kürleme	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Son kürlenmemiş	0,054[a]	0,006	0,041	0,066
20 dk son kürlenmiş	0,021[b]	0,006	0,009	0,034
40 dk son kürlenmiş	0,024[b]	0,006	0,011	0,036
60 dk son kürlenmiş	0,018[b]	0,006	0,006	0,031

SH: Standart hata. Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda gruplar arası anlamlı farklılığı ifade eder (p<0,05).

Fırçalama grubunun yaşlandırma sonrası–mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farkı değerlerinin diğer gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiş, distile su, şarap ve kahve grupları arasında ise anlamlı bir fark saptanmamıştır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Yaşlandırma yöntemi gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğü farklarının karşılaştırılması

Yaşlandırma	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Fırçalama	0,061[a]	0,006	0,049	0,073
Distile su	0,010[b]	0,006	-0,002	0,022
Şarap	0,021[b]	0,006	0,009	0,033
Kahve	0,024[b]	0,006	0,012	0,036

SH: Standart hata. Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda gruplar arası anlamlı farklılığı ifade eder (p<0,05).

4.2. Renk Değişimi Bulguları

4.2.1. Mekanik polisaj öncesi – sonrası renk değişiminin incelenmesi

Tek yönlü ANOVA sonuçlarına göre, son kürleme süresinin mekanik polisaj öncesi ve sonrası renk değişimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğu belirlenmiş ($F(3,156)=20,267$; $p<0,001$; $\eta^2p=0,280$), mekanik polisaj öncesi-sonrası renk değişimi son kürleme gruplarına göre anlamlı farklılık göstermiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Son kürleme süresinin, mekanik polisaj öncesi-sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) üzerindeki etkisine ilişkin tek yönlü ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	*F*	*p*	η^2p
Son kürleme süresi	17,361	3	5,787	20,267	*<0,001*	0,280
Hata	44,544	156	0,286			

Sd: Serbestlik derecesi, η²p: Etki büyüklüğü (kısmi eta-kare)

İkili karşılaştırma sonuçlarına göre, son kürlenmemiş grubun mekanik polisaj öncesi-sonrası renk değişimi değerlerinin diğer gruplara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, 20 dakika son kürlenmiş, 40 dakika son kürlenmiş ve 60 dakika son kürlenmiş gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Son kürleme gruplarında mekanik polisaj öncesi-sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) değerlerinin karşılaştırılması

Son kürleme süresi	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Son kürlenmemiş	1,707[a]	0,084	1,541	1,874
20 dk son kürlenmiş	1,031[b]	0,084	0,864	1,198
40 dk son kürlenmiş	0,906[b]	0,084	0,740	1,073
60 dk son kürlenmiş	0,926[b]	0,084	0,759	1,093

SH: Standart hata. Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda gruplar arası anlamlı farklılığı ifade eder (p<0,05).

4.2.2. Yaşlandırma sonrası renk değişiminin incelenmesi

İki yönlü ANOVA sonuçlarına göre, son kürleme süresinin yaşlandırma sonrası–mekanik polisaj sonrası renk değişimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu belirlenmiştir (F(3,144)=156,871; p<0,001; η^2p=0,766). Benzer şekilde, yaşlandırma yönteminin de renk değişimi üzerinde anlamlı etkisi saptanmıştır (F(3,144)=527,752; <0,001; η^2p=0,917). Ayrıca, son kürleme süresi ile yaşlandırma yöntemi arasındaki etkileşim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (F(9,144)=49,564; p<0,001; η^2p=0,756) (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Son kürleme süresinin ve yaşlandırma yönteminin; yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) üzerindeki etkisine ilişkin iki yönlü ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Sd	Kareler Ortalaması	F	p	η^2p
Son Kürleme Süresi	519,597	3	173,199	156,871	*<0,001*	0,766
Yaşlandırma Yöntemi	1748,052	3	582,684	527,752	*<0,001*	0,917
Son Kürleme Süresi x Yaşlandırma Yöntemi	492,505	9	54,723	49,564	*<0,001*	0,756
		14				
Hata	158,988	4	1,104			

Sd: Serbestlik derecesi, η^2p: Etki büyüklüğü (kısmi eta-kare)

Son kürlenmemiş grubun yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası renk değişimi değerlerinin diğer gruplara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 20 dakika son kürlenmiş grubun renk değişimi değerlerinin diğer gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük olduğu saptanmıştır. Buna

karşın, 40 dakika son kürlenmiş grup ile 60 dakika son kürlenmiş grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Son kürleme gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) değerlerinin karşılaştırılması

Son Kürleme	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Son kürlenmemiş	7,540[a]	0,166	7,212	7,868
20 dk son kürlenmiş	2,940[b]	0,166	2,611	3,268
40 dk son kürlenmiş	3,775[c]	0,166	3,447	4,104
60 dk son kürlenmiş	3,609[c]	0,166	3,281	3,937

SH: Standart hata. Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda gruplar arası anlamlı farklılığı ifade eder ($p<0,05$).

İkili karşılaştırma sonuçlarına göre, yaşlandırma yöntemleri arasında renk değişimi değerleri tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark göstermiştir ($p<0,05$). Ortalama değerlere göre renk değişimi en yüksek şarap grubunda, en düşük ise distile su grubunda gözlenmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Yaşlandırma yöntemi gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) değerlerinin karşılaştırılması

Yaşlandırma	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
			Alt	Üst
Fırçalama	1,638[a]	0,166	1,309	1,966
Distile su	0,879[b]	0,166	0,550	1,207
Şarap	8,735[c]	0,166	8,407	9,063
Kahve	6,613[d]	0,166	6,284	6,941

SH: Standart hata. Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda gruplar arası anlamlı farklılığı ifade eder ($p<0,05$).

Son kürlenmemiş grupta distile su grubunun renk değişimi değerinin diğer gruplardan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Fırçalama grubunun renk değişimi değeri distile su grubundan yüksek, şarap ve kahve gruplarından ise daha düşüktür. Şarap ve kahve grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır.

20 dakika son kürlenmiş grupta, şarap grubunun renk değişimi değerinin diğer gruplara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kahve

grubunun renk değişimi değerlerinin fırçalama ve distile su grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, fırçalama ile distile su grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

40 dakika son kürlenmiş grupta, şarap grubunun renk değişimi değerinin diğer gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu bulunmuştur. Kahve grubunun renk değişimi değerinin ise fırçalama ve distile su gruplarına kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Buna karşın, fırçalama ile distile su grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

60 dakika son kürlenmiş grupta ise, şarap grubunun renk değişimi değerinin diğer gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kahve grubunun renk değişimi değerinin fırçalama ve distile su gruplarına kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak, fırçalama ile distile su grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Son kürleme süresi – yaşlandırma yöntemi etkileşim gruplarında, yaşlandırma sonrası – mekanik polisaj sonrası renk değişimi (ΔE_{00}) değerlerinin karşılaştırılması

Son Kürleme Süresi	Yaşlandırma	Ortalama	SH	%95 Güven Aralığı	
				Alt	Üst
Son kürlenmemiş	Fırçalama	2,111[a]	0,332	1,454	2,768
	Distile su	0,782[b]	0,332	0,126	1,439
	Şarap	13,931[c]	0,332	13,274	14,588
	Kahve	13,336[c]	0,332	12,679	13,992
20 dk son kürlenmiş	Fırçalama	1,484[a]	0,332	0,827	2,141
	Distile su	0,815[a]	0,332	0,159	1,472
	Şarap	6,601[b]	0,332	5,944	7,258
	Kahve	2,859[c]	0,332	2,202	3,515
40 dk son kürlenmiş	Fırçalama	1,429[a]	0,332	0,772	2,086
	Distile su	0,724[a]	0,332	0,067	1,380
	Şarap	7,175[b]	0,332	6,518	7,831
	Kahve	5,774[c]	0,332	5,117	6,431
60 dk son kürlenmiş	Fırçalama	1,526[a]	0,332	0,870	2,183
	Distile su	1,193[a]	0,332	0,537	1,850
	Şarap	7,234[b]	0,332	6,577	7,890
	Kahve	4,483[c]	0,332	3,826	5,139

SH: Standart hata. Farklı üst simge harfler [(abcd)], ikili karşılaştırmalarda son kürleme grupları içinde yaşlandırma yöntemleri arasında anlamlı farklılığı ifade eder ($p<0,05$).

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında SLA teknolojisi ile üretilen rezin matriks seramik disklerde farklı son kürleme sürelerinin (0, 20, 40 ve 60 dakika) ve disklere uygulanan yüzey bitirme işlemleri, sıvıda bekleterek ve fırçalama simülatörü ile yaşlandırma testlerinin renk stabilitesi ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri değerlendirildi. Elde edilen bulgular doğrultusunda, son kürleme süresi, mekanik polisaj işlemi ve yaşlandırma yöntemlerinin renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkili olduğu belirlendi. Bu nedenle, "Son kürleme süresi, rezin matriks seramik örneklerin renk değişimi (ΔE_{00}) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir." (H_{01}), "Mekanik polisaj işlemi, rezin matriks seramik örneklerin renk değişimi (ΔE_{00}) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir." (H_{02}) ve "Yaşlandırma işlemleri (sıvıda bekletme ve fırçalama), rezin matriks seramik örneklerin renk değişimi (ΔE_{00}) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir." (H_{03}) şeklinde oluşturulan sıfır hipotezler reddedildi.

Son yıllarda eklemeli üretim teknolojileri eksiltmeli üretim teknolojilerine karşı avantajları ve daha güncel bir teknoloji olmaları nedeniyle diş hekimliği dahil birçok üretim alanında kullanılmaya başlanmıştır. Bu avantajlar arasında üretim sırasında daha az malzeme harcanması, aynı anda birden fazla restorasyon üretimine olanak sağlayarak seri üretim yapılabilmesi, enerji verimliliği sağlanması, karmaşık geometrik yapıları yüksek doğrulukta üretebilmesi ve hastaya özel restorasyonların oluşturulabilmesi sayılabilmektedir [28]. Eklemeli üretim teknolojileri yedi ana kategori altında sınıflandırılmaktadır. Bu kategorilerden biri diş hekimliğinde en yaygın kullanılan yöntem olan SLA teknolojisini de içeren VP teknolojisidir [153]. SLA teknolojisi yüksek üretim çözünürlüğü ile düzgün yüzey özellikleri sağlayabilmesi nedeniyle dental restorasyonların üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir. Aynı zamanda, yeni hibrit malzemelerin geliştirilmesine olanak tanıyarak bu malzemelerin kompozisyonlarının oluşturulmasında büyük bir öneme sahiptir [43]. SLA teknolojisinde kullanılan materyaller fotopolimer rezinlerdir. Metakrilat bazlı dental rezinlerin de içinde bulunduğu fotopolimer rezinler, geçici ve daimi kronlar, inleyler, onleyler, veneerler, endokronlar ve sabit bölümlü protezlerin üretiminde kullanılabilmektedirler. Bununla birlikte, daimi restorasyonların eklemeli üretim teknolojisiyle üretilmesine olanak sağlayan materyaller hakkında bilimsel veriler sınırlıdır. Bu materyallerin mekanik özellikleri, boyutsal doğruluğu ve uyumu ile ilgili çelişkili

sonuçlar bildirilmektedir [154]. Bu durum standartlaştırılmış test protokollerinin bulunmaması, materyallerin yeterli dayanım ve aşınma direnci göstermemesi gibi performans sınırlılıkları ve uzun dönem klinik çalışmaların yetersizliği ile ilişkilendirilmektedir [155]. Kullanılan fotopolimer rezinlerin üretim sonrasında, mekanik özelliklerini ve biyouyumluluklarını iyileştirmek için son işlem prosedürlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu işlemler polimerize olmamış rezinin uzaklaştırılması amacıyla çözücü ile yıkama ve UV ışığı altında gerçekleştirilen son kürleme aşamalarını içermektedir. Bu adımların üretici firma tarafından önerilen şekilde uygulanması, üretilen restorasyonların istenilen kalitede olması açısından önem taşımaktadır. Özellikle son kürleme süresi, yıkama süresi ve ısıl işlem gibi parametrelerin optimize edilmesinin restorasyonların kalite ve güvenirliğini artırabileceği bildirilmektedir [156]. Bu nedenle bu çalışmada, son işlem prosedürlerinden biri olan son kürleme süresi bağımsız değişken olarak ele alınarak daimi restorasyonlarda kullanılan hibrit kompozit rezinler SLA teknolojisinde üretilerek değerlendirildi.

Örnekler, 2 mm kalınlığında ve 10 mm çapında diskler şeklinde, baskı süresini kısaltmak ve üretim verimliliğini artırmak amacıyla 0° oryantasyon açısı ve üretici firma önerileri ile 50 µm katman kalınlığında üretildi [16, 40, 157, 158].

İdeal daimi restorasyonlar, doğal diş estetiğini taklit ederek hastaların estetik beklentilerini karşılamalı ve bu özelliklerini uzun süre korumalıdır. Bununla birlikte ağız ortamı, protezleri renklendirici gıda ve içeceklere maruz bırakan bir yapıya sahiptir. Hastanın restorasyonları kullanım süresi boyunca bu restorasyonlarda meydana gelebilecek renklenmeler hasta memnuniyetsizliğine yol açabilmektedir [159]. Restorasyonlarda meydana gelebilecek renklenmeleri ve renk değişimlerini değerlendirebilmek amacıyla, in vitro çalışmalarda ağız içi kullanım koşullarını taklit edebilen laboratuvar yaşlandırma protokollerine ihtiyaç duyulmaktadır [160].

Protetik restorasyonlar, ağız ortamında nem, sıcaklık ve çeşitli kimyasal ajanlar gibi yaşlandırma faktörlerine maruz kalmaktadır. Nemli ortam, polimer matriks yapısına sahip olan materyallerde mevcut ağ yapısında degradasyona yol açabilmektedir. Meydana gelen değişim sadece degradasyonla sınırlı kalmayıp, ağız ortamındaki tükürük enzimleri ve asidik bileşenler materyallerin yüzey özelliklerini değiştirerek aşınmayı artırabilmektedir [161]. Tez çalışmamızda, polimer infiltre seramik ağ içerikli rezinden üretilen örnekler, 3 farklı

solüsyonda (distile su, şarap, kahve) bekletilerek yaşlandırma işlemine tabi tutuldu. Şarap ve kahve, içerdiği renklendirici ajanlar ve asidik bileşenler nedeniyle dental materyallerde renk değişimine neden olabilmekteyken, distile su ise yalnızca su absorbsiyonu ve hidrolitik etkiyi değerlendirmek amacıyla kontrol grubu olarak tercih edildi. Sıvıda bekleterek yaşlandırma sonrası materyallerde meydana gelen değişimlerin değerlendirilmesi amacıyla renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü parametreleri incelendi. Sıvıda bekletme işlemi yaklaşık 7 aylık kullanım süresine denk gelen 7 gün (168 saat) süre ile yapıldı [162, 163].

Diş hekimliğinde renk ölçüm yöntemleri görsel renk seçimi ve dijital sistemler ile yapılan renk seçimi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Görsel renk seçimi, renk skalaları kullanılarak gerçekleştirilirken enstrümantal yöntemler ile yapılan renk seçimi spektrofotometre, kolorimetre ve son dönemlerde intraoral dijital tarayıcılar gibi cihazlar ile gerçekleştirilmektedir [164]. Görsel renk seçiminin subjektif olması ve çevre koşullarından etkilenmeye açık olması nedeniyle dijital sistemlerin kullanılması önerilmektedir [111]. Liberato ve diğerlerinin [164] görsel ve enstrümental renk ölçüm yöntemlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, enstrümental yöntemlerin görsel renk seçimine kıyasla daha yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik sağladığını bildirmişlerdir. Enstrümental yöntemlerin içinde yer alan spektrofotometreler yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik sağlamaları, metamerizmi ayırt edebilmeleri nedeniyle diş hekimliğinde sıklıkla tercih edilmektedir [113]. Görsel yöntemlerle karşılaştırıldığında, spektrofotometrelerin doğruluğu %33 oranında artırdığı ve vakaların %93,3'ünde daha güvenilir renk eşleşmesi sağladığı bildirilmiştir [114]. Zlatarić ve diğerleri [165] VITA EasyShade Advance 4.0'ın ölçüm tekrarlanabilirliğini ve doğruluğunu in vitro ve in vivo ortamda değerlendirdikleri çalışmalarında, ölçüm tekrarlanabilirliğinin hem in vitro hem de in vivo ortamlarda oldukça yüksek olduğunu göstermişlerdir. İn vitro ve in vivo ortamlardaki renk farkı değerleri farklı olmakla birlikte, klinik olarak kabul edilebilir estetik sınırlar içinde olduğunu belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, VITA EasyShade Advance 4.0 renk ölçüm cihazının diş rengi belirlemede güvenilir ve etkili bir araç olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışmasında, 5 mm çapa sahip kontakt tip probu bulunan, spot ölçüm yapan VITA EasyShade Advance 4.0 spektrofotometre cihazı kullanıldı. Translusent cisimlerin renk ölçümü sırasında, cisme gelen ışığın kenarlardan saçılarak ölçüm alanı dışına çıkıp spektrofotometreye dönememesine kenar kaybı etkisi denilmektedir [113]. Kenar kaybı etkisini minimal hale getirmek amacıyla örnekler, spektrofotometrenin prob çapından daha geniş olacak şekilde 10 mm çapında üretildi.

Arka plan, örneklerin yerleştirildiği yüzey ile örneğin çevresinde algılanan alan olarak tanımlanmaktadır. İn vivo koşullarda arka plan çoğunlukla ağız boşluğunun karanlığı ile temsil edilmekteyken, in vitro çalışmalarda yapılan renk ve renk farkı değerlendirmelerinde arka plan rengi siyah, gri veya beyaz olarak tercih edilebilmektedir. Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization, ISO) tarafından yayımlanan ISO/TR 28642:2016 kılavuzunda, renk değerlendirmelerinde belirli bir renkte arka plan rengi kullanımına yönelik bir öneri bulunmamaktadır [148]. Bununla birlikte, arka plan renklerinin etkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır [148, 166]. Dudea ve diğerlerinin [166] gerçekleştirdiği çalışmada, akromatik (beyaz, gri ve siyah) renklere sahip arka planlar arasında yapılan renk ölçümlerinde anlamlı bir fark saptanamamışken, kromatik (mavi, kırmızı) arka planlarda yapılan renk ölçümlerinde istatistiksel olarak daha düşük sonuçlar rapor edilmiştir. P´erez ve diğerlerinin [148] siyah, gri ve beyaz arka planı karşılaştırdıkları çalışmalarında, beyaz arka planın renk farklılıklarını daha belirgin hale getirdiği gösterilmektedir. Bu nedenle, mevcut tez çalışmasında arka plan renginin ölçümler üzerinde etkisini minimal hale getirmek ve ölçümlerin daha hassas ve ayırt edici şekilde gerçekleştirilebilmesini sağlamak amacıyla beyaz renge sahip arka plan tercih edildi.

Renk seçimi sırasında kullanılan ışığın özellikleri renk seçimini etkilemektedir [80]. Görsel renk seçiminde doğal gün ışığı önerilmekte ancak gün ışığının gün boyunca değişkenlik göstermesi ve ilişkili renk sıcaklığının geniş bir aralıkta farklılık gösterebilmesi önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Bu sınırlamayı ortadan kaldırmak ve renk değerlendirmelerinde standardizasyonu sağlamak amacıyla yapay gün ışığı kaynaklarının kullanımı önerilmektedir [167]. Renk geriverim indeksi (color rendering index, CRI), bir ışık kaynağının renkleri doğal ışığa ne kadar doğru ve gerçekçi yansıttığını ifade eden bir parametredir. Yüksek CRI değerine sahip beyaz ışık, aydınlatma ortamının kalitesini iyileştirmekte ve renklerin doğru bir şekilde algılanmasını sağlayarak görsel doğruluğu artırmaktadır [168]. CRI değerinin yüksek olduğu (CRI ≥ 90) ve yaklaşık 6500 °K renk sıcaklığı ile doğal gün ışığını en iyi şekilde temsil eden D65 standart aydınlatıcılar, dental renk eşleştirmede doğal gün ışığına kıyasla daha güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlamaktadır [167]. Dudea ve diğerlerinin [166], D50 ve D65 aydınlatma koşullarını karşılaştırdıkları çalışmalarında iki ışık kaynağı ile yapılan renk ölçümlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı belirtilmektedir. Tez çalışmamızda, renk ölçümlerinin standardizasyonunu sağlamak ve klinik koşullara en yakın aydınlatma ortamını simüle

edebilmek amacıyla 6500 °K renk sıcaklığına sahip ortalama gün ışığını temsil eden D65 aydınlatma koşulları tercih edildi.

Renk farkı hesaplamasında kullanılan formüller arasında CIE tarafından önerilen ve en güncel yaklaşım olan CIEDE2000 (ΔE_{00}) renk farkı formülüdür [169]. Pecho ve diğerlerinin [100] CIELAB ve CIEDE2000 formüllerini kıyasladıkları çalışmalarında, CIEDE2000 renk farkı formülünün insan gözünün algısına en yakın sonuçlar sağladığı ve CIELAB renk farkı formülünün renk farklarını değerlendirmede daha az hassas olduğu gösterilmiştir. Aynı şekilde bu iki formülü karşılaştıran Gómez-Polo ve diğerleri [170] tarafından yapılan çalışmada CIEDE2000 renk farkı formülünün daha üstün ve doğru sonuçlar verdiği bildirilmiştir.

Renk farklarının hesaplanmasının ardından klinik olarak değerlendirilmesinde PT ve AT eşik değerleri önemli bir rol oynamaktadır. PT gözlemcilerin %50'sinin iki renk arasındaki farkı ayırt edebildiği en düşük değer olup, AT ise bu renk farkının %50 gözlemci tarafından klinik olarak kabul edilebilir bulunduğu en yüksek değeri ifade etmektedir [148, 169]. Kullanılan renk farkı formülüne bağlı olarak PT ve AT değerleri değişebilmektedir. Paravina ve diğerlerinin [107] PT ve AT değerlerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmalarında CIEDE2000 renk formülü için PT değeri ΔE_{00}=0,8 iken AT değeri ΔE_{00}=1,8 olarak bildirilmiştir. Aynı çalışmada, CIELAB renk formülü için PT ve AT değerleri sırasıyla 1,2 ve 2,7 olarak bildirilmiştir. Schussler ve diğerlerinin [171] yaptıkları daha güncel olan çalışmalarında, PT değerleri ΔE_{00}= 2,27-2,29 , AT değerleri ise 2,41-2,83 aralığında bildirilmiştir. PT ve AT eşik değerlerinin farklı olması kullanılan yöntem, gözlemci grubu ve değerlendirme koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir [106, 107].

CIEDE2000 renk farkı formülünün, CIELAB renk farkı formülüne göre, renk farkını daha hassas hesaplaması ve daha güncel bir formül olması nedeniyle CIEDE2000 renk farkı formülü tez çalışmamızda tercih edildi. PT ve AT eşik değerleri ise, Paravina ve arkadaşlarının yaptığı çalışmanın çok merkezli olması, geniş gözlemci grubuyla elde edilmesi ve literatürde yaygın olarak kabul görmesi nedeniyle dikkate alınarak sırasıyla 0,8 ve 1,8 olarak belirlendi.

Mekanik polisaj öncesi ve sonrası ölçümlerden elde edilen ΔE_{00} değerleri incelendiğinde, son kürlenmemiş grubun en yüksek ΔE_{00} değerine (1,707) sahip olduğu görülmüştür.

Polimerizasyonun yetersiz olması renk stabilitesini olumsuz etkilerken; 20, 40 ve 60 dakika son kürleme uygulanan gruplar arasında anlamlı fark bulunmaması, belirli bir polimerizasyon seviyesine ulaşıldıktan sonra mekanik polisajın renk değişimi üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu düşündürmektedir. Klinik açıdan bakıldığında tüm grupların değerlerinin algılanabilirlik eşik değerinin üzerinde olduğu ancak kabul edilebilirlik eşik değerinin altında olduğu görülmüştür. Tez çalışmasında mekanik polisaj işleminin daimi hibrit seramik örnekler üzerinde tüm son kürleme gruplarında klinik olarak kabul edilebilir düzeyde renk değişimine neden olduğu sonucuna varıldı.

Aşındırıcı partiküller ile gerçekleştirilen polisaj işlemi, materyal yüzeyinden selektif olarak madde uzaklaştırılmasına dayanan abraziv aşınma temeline dayanmaktadır. Bu süreç sırasında, yüzey morfolojisinde değişiklikler, mikroskobik çizikler ve yüzey altı yapısal değişimler oluşabilmekte ve bu durum yüzeyin ışığı yansıtma ve saçılma özelliklerini değiştirerek materyalin optik özelliklerini etkilemektedir. Işığın yüzeyden yansıma biçimindeki bu farklılaşma, renk ölçümlerinde değişiklik olarak ortaya çıkabilmekte ve renk parametrelerinde farklılıklara yol açabilmektedir [172]. Albrecht ve diğerleri [173], silikon karbid zımpara kağıdı, pomza süspansiyonu ile fırçalama ve polisaj pastası ile yaptıkları mekanik polisaj işlemi sonrasında, hem eklemeli hem de eksiltmeli üretim teknolojisi ile ürettikleri rezin seramik materyallerin tümünde AT eşik değeri altında renk değişimi olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamızda mekanik polisaj öncesi ve sonrası ΔE_{00} değerlerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan tek yönlü ANOVA analizine göre, mekanik polisaj işleminin renk değişimi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlendi. İkili karşılaştırma sonuçları incelendiğinde ise en yüksek ΔE_{00} değerinin son kürlenmemiş grupta elde edildiği görüldü. Bu bulgu, yetersiz polimerizasyon sonucu daha heterojen bir yüzey yapısı sergileyen ve matriksi son kürlenen gruplara göre daha düşük sertliğe sahip olan materyalin [174], polisaj işlemi sırasında yüzeyinde meydana gelebilecek düzensizliklere daha yatkın olması ve buna bağlı olarak ışık yansıma özelliklerindeki değişimin daha belirgin hale gelmesi ile açıklanabilir.

3B baskılı rezinlerde son kürleme süresinin uzatılması, dönüşüm derecesini artırarak artık monomer miktarını azaltmaktadır. Son kürleme süresindeki artış ile artık monomer salınımı ve materyalin çözünürlüğü belirgin şekilde azalmakta ve su absorbsiyonu düşerek rezinlerin fiziksel özellikleri ve biyouyumluluğu iyileşmektedir [175]. Yetersiz polimerizasyon sonucu düşük polimerizasyon derecesi gösteren materyallerde, yapıda kalan artık monomerler

nedeniyle yüzey bütünlüğü bozulmaktadır. Bu durum materyalin yüzeyinde meydana gelen yapısal bütünlük kaybı olarak bilinen yüzey degradasyonuna yol açabilmektedir [176]. Rezin materyallerde meydana gelen yüzey degradasyonu, rezin matriksin kimyasal ve mekanik etkilerle çözünmesi ve aşınması, doldurucu partiküllerin matriksten ayrılması ve mikro çatlak ile boşluk oluşumu gibi süreçleri kapsamaktadır. Bu durum, yüzey pürüzlülüğünde artışa ve renk stabilitesinin bozulmasına neden olabilmektedir [14, 177]. Çalışmamızda, yaşlandırma sonrası renk değişim değerleri incelendiğinde en yüksek ΔE_{00} değerinin son kürlenmemiş grupta (7,54), en düşük ΔE_{00} değerinin ise 20 dakika kürlenmiş gruba (2,94) ait olduğu görüldü. Son kürleme sürelerinin kıyaslandığı bu çalışmada, yetersiz polimerizasyonun renk stabilitesini olumsuz etkilediği; bunun, yapıda kalan artık monomerlerin su absorbsiyonunu ve hidrolitik degradasyonu artırarak polimer ağ yapısını zayıflatması ve boyayıcı ajanların materyal içerisine penetrasyonunu kolaylaştırması ile açıklanabilmektedir. Lee ve diğerlerinin [176], son kürleme sürelerini 0, 5, 10, 20 dakika olarak belirledikleri çalışmalarında son kürleme süresinin artmasıyla birlikte dönüşüm derecesinin arttığı ve renk stabilitesinin iyileştiği bildirilmiştir. Bununla birlikte yetersiz son kürleme durumunda ise, yapıda kalan artık monomerlerin su absorbsiyonunu artırarak boyayıcı ajanların materyale penetrasyonunu kolaylaştırdığı ve bunun daha yüksek ΔE_{00} değerleri verdiğini ifade etmişlerdir.

20 dakika son kürleme uygulanan grubun en düşük renk değişimini göstermesi, bu sürenin renk stabilitesi açısından daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. 40 ve 60 dakika son kürleme uygulanan gruplar arasında anlamlı fark bulunmaması ise son kürleme süresinin belirli bir eşik değerin üzerine çıkarılmasının renk stabilitesini daha fazla iyileştirmediğini göstermektedir. Alharbi ve diğerleri [178], son kürleme süresinin 40 dakika üzerine çıkarılmasına rağmen ilave bir iyileşme gözlenmemesini 3B baskı sırasında yapı içinde kalan monomerlerin kompleks iç yapı nedeniyle yüzeye ulaşmasının sınırlı olması ile monomerlerin daha fazla polimerizasyona süre uzasa dahi uğrayamayacağı ile açıklamışlardır. Son kürleme süresinin uzatılmasına rağmen polimerizasyon derecesinde ilave bir artış sağlanamaması, artık monomer miktarının daha fazla azaltılamamasını ve buna bağlı olarak renk stabilitesinde anlamlı bir değişim oluşmamasını açıklamaktadır.

20 dakika son kürlenmiş grubun aynı zamanda mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülük değerinin (0,134 μm) de diğer gruplara göre daha düşük çıkması, düşük yüzey pürüzlülüğünün materyali renk değişimine karşı koruyabileceğini göstermektedir.

Yüzeydeki mikro düzensizliklerin azalmasıyla pigmentlerin tutulabileceği alan azalmış, renklenme eğilimi daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir [179]. Aydın ve diğerleri [180], rezin materyaller üzerinde yaptıkları çalışmalarında, yüzey pürüzlülüğü ile renk değişimi arasında anlamlı bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmalarında en düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olan grubun en az renk değişimi gösterdiği, en yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip rezin grubunun ise en fazla renk değişimi gösteren grup olduğunu belirtmişlerdir.

Yaşlandırma yöntemlerinin değerlendirildiği analiz sonucunda, en yüksek renk değişiminin şarap grubunda (8,735), en düşük değişimin ise distile su grubunda (0,879) gözlenmesi, pigment içeriği yüksek ve asidik ortamların rezin matriks yapıda daha fazla renklenmeye neden olduğunu göstermektedir [181]. Fırçalama grubunda elde edilen ΔE_{00} değerlerinin (1,638) distile suya kıyasla daha yüksek, ancak şarap ve kahve gruplarına (6,613) göre daha düşük olması, mekanik aşındırmanın renk değişimi üzerindeki etkisinin kimyasal pigmentasyon etkilerine kıyasla daha sınırlı olduğunu düşündürmektedir. Lepri ve Palma-Dibb [182], rezin esaslı materyaller üzerinde fırçalama işleminin renk değişimini anlamlı olarak artırmayarak daha çok yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin olduğunu, renk değişiminin en çok şarap ve en az yapay tükürükte olacak şekilde esas olarak içeceklerden etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Düşük pH değerine sahip asidik yiyecek ve içecekler, polimer bazlı materyallerde rezin matriks içerisinde bulunan metakrilat ester bağlarını hidrolize ederek matriks yapısında por oluşumuna ve yüzey bütünlüğünün bozulmasına yol açmaktadır. Polimer ağ yapısının bozulması ile doldurucu partiküller matriksten kolaylıkla ayrılmakta ve mikro yapısal düzensizlikler meydana gelmektedir [14]. Kırmızı şarabın pH değerinin yaklaşık 3–4, kahvenin ise yaklaşık 5 değerinde olması, şarabın daha asidik olduğunu göstermektedir [183]. Kang ve diğerleri [181], kırmızı şarapların %12–13,5 oranında etanol içeriği ile pH ve kırmızı pigment bileşenlerinin renk değişimini etkileyebileceğini bildirmişlerdir. Şarapta bulunan asit ve etanolün, rezin yüzeyinde matriks degradasyonuna neden olarak pigmentlerin yüzeye ve materyal içerisine daha fazla absorbe olmasına yol açabilmektedir. Ayrıca etanol rezin matriksi yumuşatarak yapısal bozulmaya katkıda bulunmaktadır [184]. Kırmızı şarabın daha asidik olması ve etanol içermesi, bu çalışmada şarapta bekletilen örneklerde daha fazla renk değişimi gözlenmesini açıklamaktadır.

En düşük renk değişim değerinin distile suda bekletilen örneklerde gözlenmesi ise, distile suyun boyayıcı ajan içermemesi ile açıklanmaktadır. Al-Shami ve diğerlerinin [152] rezin materyaller üzerinde yaptıkları çalışmalarında, distile suda bekletilen örneklerin ΔE_{00} değerlerinin diğer solüsyonlarda bekleyen örneklere göre daha düşük çıkması çalışmamızdaki bulgular ile paralellik göstermektedir.

Distile suda bekletilen örnekler en düşük ΔE_{00} değerleri göstermesine rağmen , bu değerlerin sıfır olmaması, rezin matrikste su absorbsiyonuna bağlı oluşan şişme, plastisizasyon ve mikro yapısal değişimlerin materyalin optik özelliklerini etkileyerek renk değişimine neden olabileceğini düşündürmektedir. Rezin matriks içerisindeki doldurucu - matriks bağının kimyasal olarak bozulması, materyalin intrinsik yapısında meydana gelen değişimler sonucunda renk değişimine yol açabilmektedir [185].

Son kürleme süresi ve yaşlandırma yöntemi etkileşimi sonuçlarına bakıldığında, son kürlenmemiş grup için en yüksek renk değişiminin şarap (13,931) ve kahve gruplarında (13.336) olduğu, en düşük renk değişiminin ise distile su grubunda (0,782) olduğu gözlenmiştir. Son kürleme sonucunda yapıdaki artık monomer miktarı azalmaktadır. Son kürlenmemiş grupta daha fazla bulunan artık Bis-EMA monomerleri yapısında hidroksil grubu içermedikleri için güçlü intermoleküler hidrojen bağlarını oluşturamamaktadır. Bu durum polimer ağ stabilitesinin zayıf olmasını sağlayarak dış ortamdaki bileşenlerin matrikse daha kolay penetre olmasına neden olmaktadır [178, 186]. Çalışmamızda, son kürleme uygulanmayan grubun daha fazla renk değişimi göstermesi, bu mekanizma ile açıklanabilir. Bununla birlikte, şarap ve kahve gibi pigment içeriği yüksek içecekler, içeriklerindeki kromojen maddeler nedeniyle rezin matrikse penetre olarak belirgin renk değişimine neden olmaktayken distile su içinde kromojen maddeler bulunmamaktadır [14, 152, 185]. Polimer ağ yapısının daha zayıf olduğu son kürlenmemiş grupta şarap ve kahveye maruz bırakılan örneklerde ΔE_{00} değerlerinin daha yüksek bulunması, pigmentlerin matrikse daha kolay difüze olması ile açıklanabilir.

Son kürleme uygulanan gruplar ise, kendi içlerinde benzer sonuçlar göstermiştir. Şarap grubu, ΔE_{00} değerinde en yüksek değişimi gösterirken, kahve grubu ikinci sırada yer almış, fırçalama ve distile su grupları ise en az ΔE_{00} değerlerine sahiptir. Fırçalama ve distile su grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır. Bu bulgular, pigment içeriği yüksek ve asidik çözeltilerin renk değişimi üzerinde daha belirleyici olduğunu, son kürleme

ile artırılan polimerizasyon derecesinin ise bu etkiyi azalttığını ancak tamamen ortadan kaldıramadığını göstermektedir.

Tez çalışmamızda, renk değişiminin değerlendirilmesiyle birlikte, pigment tutulumunu ve böylece renk stabilitesini doğrudan etkileyen yüzey pürüzlülüğü de incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü, dental restoratif materyallerin estetik, biyolojik ve mekanik performansını doğrudan etkileyen parametrelerden biridir [123]. Restorasyon yüzeyindeki pürüzlülük artışı, mikroorganizmaların adezyonuyla plak retansiyonunun artmasına, yüzey renklenmelerine ve uzun dönemde çevre dokularda inflamatuar reaksiyonlarla beraber sekonder çürük oluşumuna yol açabilmektedir. Bununla birlikte pürüzlü yüzeyler materyalin dayanıklılığını olumsuz etkileyerek restorasyonun klinik başarısını azaltabilmektedir. Bu nedenle restoratif materyallerde yüzey pürüzlülüğünün kontrol altında tutulması, uzun dönem klinik başarı açısından büyük önem taşımaktadır [187].

Yüzey pürüzlülüğünü azaltarak materyalin yüzeyini pürüzsüz bir hale getirmek amacıyla yüzey bitirme işlemleri uygulanmaktadır [188]. Çalışmamızda kullanılan FormLabs Permanent Crown rezin materyalinde üretici firma talimatlarına göre üretim tamamlandıktan sonra uygun yüzey kalitesi elde edebilmek amacıyla akrilik ve kompozit materyaller için kullanılan geleneksel polisaj araç ve materyalleri kullanılabilmektedir. Ayrıca oklüzal yüzeylerin polisajı için Robinson fırçaları veya kauçuk esaslı spiral polisaj disklerinin de ideal olduğu belirtilmektedir [189]. Polisaj materyallerinin gren şekli, boyutu, sertliği, uygulanan basıncın miktarı, hızı ve işlem süresi polisaj işlemini etkileyebilmektedir [190, 191]. Bu doğrultuda, tez çalışmamızda ürün prospektüsünde yer alan önerilere göre mekanik polisaj için kauçuk esaslı spiral polisaj disklerinden olan 2 adımlı Sof-Lex polisaj sistemi tek bir uygulayıcı tarafından kullanıldı.

Yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan parametre, yüzey profilindeki merkez çizgisine göre meydana gelen dikey sapmaların aritmetik ortalamasını ifade eden Ra değeridir [123, 192]. Ağız içinde kullanılacak restoratif materyallerde ortalama yüzey pürüzlülüğünün plak tutulumunu önlemek için 0,2 μm Ra değeri kritik eşik olarak kabul edilirken [193], hastalar tarafından hissedilebilirlik sınırı ise yaklaşık 0,25 – 0,50 μm Ra değeri olarak bilinmektedir [194].

Yüzey pürüzlülüğü ölçüm yöntemlerinde yer alan profilometreler in vitro çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [192]. Profilometreler pratikte kolay uygulanabilirlikleri, maliyetlerinin uygun olması ve sayısal veri elde edilebilmesine olanak sağlamaları nedeniyle tercih edilmektedir. Profilometre ile değerlendirilemeyen yüzey morfolojisindeki değişimlerin 2B incelenebilmesi için SEM, 3B ve detaylı topografik görüntü alabilmek amacıyla ise AFM kullanılması önerilmektedir. Profilometrenin SEM veya AFM ile birlikte kullanımı, ölçümlerin nitel olarak desteklenmesini sağlamaktadır [195]. Tez çalışmamızda, yüzey pürüzlülüğünün nicel olarak değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan Ra parametresi tercih edilirken, ölçümlerin tekrarlanabilir ve standardize edilebilir olması ile yöntemin pratik uygulanabilirliği nedeniyle yüzey pürüzlülüğü ölçümleri kontakt profilometre ile gerçekleştirildi.

Diş hekimliğinde restorasyonların yüzey standardizasyonunu sağlayabilmek için bitirme ve polisajdan oluşan yüzey bitim işlemleri uygulanmaktadır. Bitirme işlemi, restorasyon yüzeyindeki 25 µm'den daha büyük partikül boyutuna sahip fazla materyalin uzaklaştırıldığı kaba düzeltme aşamasını ifade etmektedir. Polisaj işlemi ise bitirme aşamasını takiben uygulanan ve 25 µm'den daha küçük partiküllerin uzaklaştırılmasıyla yüzeydeki küçük çiziklerin giderilerek restorasyona düzgün ve parlak bir görünüm kazandırılmasını amaçlayan aşamadır [196-198]. Çalışmamızda yaşlandırma öncesi yüzey standardizasyonu amacıyla örneklere bitirme işlemi kapsamında örneklere sırasıyla 600, 800, 1000, 1200 ve 2000 grit silikon karbür zımpara kağıtları ile zımparalama işlemi uygulandı. Bitirme aşamasını takiben, polisaj işlemi iki aşamalı Sof-Lex Diamond polisaj seti kullanılarak gerçekleştirildi. Mekanik polisaj işleminin yüzey pürüzlülüğünü artırabildiğini gösteren çalışmalar nedeniyle işlemin yüzey pürüzlülüğüne etkisini değerlendirmek için hem mekanik polisaj öncesi hem de mekanik polisaj sonrası ölçümler yapıldı [143, 199].

Mekanik polisaj öncesi yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde Ra değerleri incelendiğinde, 20 dakika son kürlenmiş grubun (0,112 µm) diğer gruplara kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü gösterdiği belirlenmiştir. Son kürleme süresinin yeterli polimerizasyon sağlayarak yapıdaki artık monomer miktarını azaltması, yüzey bütünlüğünü iyileştirerek yüzey düzensizliklerini azaltmaktadır. Artık monomer varlığı materyalin fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek sertlik ve eğilme dayanımının azalmasına neden olmaktadır [200]. Bu durum, 20 dakika son kürleme süresinin yeterli polimerizasyon sağlayarak yüzey düzensizliklerini azalttığını düşündürmektedir.

Son kürleme süresinin artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ek bir azalma gözlenmemiştir. SLA teknolojisinde yaygın olarak kullanılan mikrodalga fırın, konvansiyonel fırın ve UV polimerizasyon yöntemlerini karşılaştıran Zhao ve diğerleri [201], polimerizasyon derecesindeki artış ile materyallerde hacimsel büzülme ve yüzey kalitesinde bozulmaların meydana gelebileceğini belirterek, uygun son kürleme yöntemi ve süresinin seçilmesinin önemine değinmişlerdir. Tez çalışmamızda mekanik polisaj öncesi yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde 40 ve 60 dakika son kürlenen grupların yüzey pürüzlülüğünde ilave bir azalma gözlenmemesi polimerizasyon derecesinin artması ile ortaya çıkan hacimsel büzülme ve mikroyapısal değişimler ile açıklanabilir.

Zımparalama işlemi sonrasında tüm grupların Ra değerlerinin plak tutma (0,2 μm) ve hissedilebilirlik (0,25 μm) eşiklerinin altında olduğu görülmektedir. Bu durum mekanik polisaj öncesinde elde edilen yüzeylerin klinik açıdan kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu göstermektedir.

Mekanik polisaj işleminin yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek için yapılan tekrarlı ölçümlü ANOVA sonuçlarına göre, mekanik polisajın yüzey pürüzlülüğü üzerinde genel olarak anlamlı bir artışa neden olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, zaman ile son kürleme süresi arasındaki etkileşimin de anlamlı bulunması, polisajın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin son kürleme gruplarına göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Grup içi karşılaştırmalar incelendiğinde, mekanik polisaj sonrası yüzey pürüzlülüğündeki artışın sadece son kürlenmemiş grupta istatistiksel olarak anlamlı olduğu; 20, 40 ve 60 dakika son kürlenen gruplarda ise yüzey pürüzlülüğünde artış gözlenmesine rağmen bu artışın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olmadığı görüldü.

Polisaj sisteminin etkili olabilmesi için, sistemde kullanılan aşındırıcı partiküllerin rezin materyalindeki doldurucu materyallerden daha sert olması ve yüzeyde çizik oluşumunu önlemek amacıyla boyutunun daha küçük olması gerekmektedir. Mohs mikrosertlik skalasına göre polisaj sistemlerinde kullanılan aşındırıcı partiküllerin sertlik sıralaması ise elmas > silisyum karbür > tungsten karbür > alüminyum oksit > zirkonyum silikat şeklindedir [202]. Sof-Lex polisaj setindeki aşındırıcı partikül olan alüminyum oksit ve elmas partiküllerin sertliği rezin matriksindeki seramik dolduruculardan ve çoğu doldurucudan belirgin olarak daha fazladır [190, 199].

Rezin materyallerin polisajı sırasında yüzey düzgünlüğünü etkileyen iki temel fenomen vardır. İlk olarak, daha düşük sertliğe sahip olan rezin matriksin selektif aşınması sonucunda, doldurucu partiküller mikroskobik düzeyde yüzeyden dışarı doğru çıkıntı yapmaktadır. İkinci fenomen ise, doldurucu partiküllerin materyal kütlesinden selektif olarak uzaklaştırılmasıdır. Bunun sonucunda, çapları doldurucu partikül boyutuna karşılık gelen boşluklar oluşmaktadır [199]. Vichi ve diğerleri [143], farklı bitirme ve polisaj sistemlerini daimi rezin esaslı örnekler üzerinde kıyasladıkları çalışmalarında, Sof-Lex Diamond polisaj sisteminin uygulandığı grubun en pürüzlü gruplardan biri olduğu (0,77 µm) ve diğer sistemlere kıyasla daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri gösterdiğini bildirilmişlerdir. Benzer şekilde Szczepaniak ve diğerleri [199], Sof-Lex Diamond polisaj sisteminde yer alan aşındırıcı partiküllerin yüksek sertliği (elmas: Mohs 10, alüminyum oksit: Mohs 9) nedeniyle rezin matriks üzerinde daha derin çizikler oluşturabileceğini ve bunun yüzey pürüzlülüğünü artırabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmamızda da bu bulgulara paralel olarak, mekanik polisaj işleminin beklenenin aksine yüzey pürüzlülüğünü artırıcı etki gösterdiği saptandı. Bu durum, kullanılan polisaj sistemindeki aşındırıcı partiküllerin yüksek sertliği ve buna bağlı olarak ortaya çıkan agresif aşındırıcı etki ile açıklanabilir. Bununla birlikte, çalışmada kullanılan rezin esaslı materyalde doldurucu partikül boyutu 0,7 µm olarak belirtilmiştir. Polisaj sistemindeki aşındırıcı partikül boyutları üretici firma tarafından belirtilmemesine rağmen, 0,7 µm'den büyük olması durumunda yüzeyde çizik oluşumuna sebep olmuş olabilir. Polisaj sırasında rezin matriks ve doldurucu fazın homojen olmayan ve kontrolsüz şekilde aşınması, yüzeyde partikül çıkıntıları ve boşluk oluşumuna yol açarak yüzey pürüzlülüğünü artırabileceğini düşündürmektedir.

Rezin matriksin polimer ağ yapısını tam oluşturamayıp, doldurucu partiküllere kıyasla daha yumuşak kalması, daha fazla aşınmaya uğramasına neden olabilmektedir [174]. Çalışmamızda mekanik polisaj sonrası Ra değerleri değerlendirildiğinde, son kürlenmemiş grubun (0,204 µm) diğer gruplara kıyasla daha yüksek değerler göstermesi, doldurucu çevresindeki matriksin sertleşmesini tamamlayamaması nedeniyle daha yumuşak kalması ve mekanik polisaj sırasında son kürleme işlemi gören gruplara kıyasla aşınmaya daha yatkın olması ile açıklanabilir [40].

Tez çalışmamızda mekanik polisaj öncesi ve sonrası Ra değerlerinin değişimi incelendiğinde, mekanik polisajın yüzey pürüzlülüğünü sadece son kürlenmemiş grupta (0,160 µm - 0,204 µm) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırdığı görülmüştür. Bu durum,

son kürleme uygulamasının materyalin stabilitesini artırarak daha dirençli bir yüzey oluşturabileceğini ve mekanik polisajın olası olumsuz etkisini azaltabileceğini göstermektedir [40, 56].

20 dakika son kürlenmiş grubun (0,134 μm) daha düşük yüzey pürüzlülüğü göstermesi, mekanik polisaj öncesi elde ettiğimiz bulgularla paralel olarak bu sürenin yüzey düzensizliklerinin azaltılmasında daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Aynı şekilde son kürleme süresinin 40 ve 60 dakikaya uzatılması yüzey pürüzlülüğünde ek bir iyileşme sağlamamış olup, belirli bir süreden sonra yüzey özelliklerinde anlamlı bir değişiklik oluşmadığını göstermektedir [40, 56].

Klinik açıdan değerlendirildiğinde, son kürlenmemiş grubun Ra değerlerinin plak retansiyon eşiğine yakın veya üzerinde olması (0,204 μm), yeterli sürede son kürleme uygulanmadan yapılan restorasyonların risk oluşturabileceğini göstermektedir [193, 194].

Restorasyonlardaki yüzey pürüzlülüğünü artıran nedenlerden biri de hastaların günlük olarak uyguladığı diş fırçalama işlemidir [193]. Diş macununun içinde temizleme etkinliğini artırmak amacıyla kullanılan aşındırıcılar, restoratif materyallerin yüzey pürüzlülüğü, parlaklık ve renk stabilitesi üzerinde değişikliklere neden olabilmektedir [203]. Kullanılacak materyallerin diş fırçalama sırasında maruz kaldığı mekanik stres altında nasıl performans göstereceğini öngörmek amacıyla, in vitro koşullarda fırçalama simülatörleri kullanılarak yaşlandırma testleri gerçekleştirilmektedir [204]. Tez çalışmasında sıvıda bekleterek yaşlandırma testine ek, ikinci bir yaşlandırma yöntemi olarak fırçalama simülatörü ile yaşlandırma testi seçildi.

Yapay yaşlandırma testlerinde belirli bir sürenin klinikte geçen süreye ne ölçüde karşılık geldiği konusunda bir fikir birliği bulunmamaktadır [104]. Bununla birlikte, fırçalama simülatöründe uygulanan 10 000 siklusun yaklaşık 1 yıllık klinik kullanıma karşılık gelebileceği ifade edilmektedir [150, 151]. 10 000 siklusun 1 yıla denk geldiği bildirilmekle birlikte Nam ve diğerleri [187], 20 000 siklusun 7 ila 10 yıllık yaşlandırmaya denk geldiğini baz alarak çalışma yapmışlardır. Restoratif materyallerde fırçalama nedeniyle meydana gelen aşınma diş macununun abrazyon potansiyeli, uygulanan fırçalama kuvveti ile diş fırçasının mekanik özellikleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir [205]. Fırçalama simülatöründe uygulanacak fırçalama yükü miktarı ISO (ISO 11609: 2017) standartlarına

göre 0,5-2,5 N arasında değişmektedir [149]. Fırçalama işleminde uygulanan kuvvetle birlikte bireyin uyguladığı fırçalama hareketi de önemlidir. Bass, Rolling, Fones, Leonard, Charters gibi fırçalama teknikleri olmasıyla birlikte bireylerin en sık tercih ettiği yöntem ileri-geri lineer hareket ile yapılan horizontal scrub tekniğidir [206]. Tez çalışmamızda 1 yıla denk gelen 10 000 siklus, ISO standartlarında belirtilen ideal kuvvet aralığında yer alan 2N'luk kuvvet ve çoğu bireyin tercih ettiği ileri-geri lineer fırçalama hareketi ile tüm örneklere standart bir şekilde fırçalama işlemi uygulandı.

Fırçalama ile yaşlandırma aşamasında içinde beyazlatıcı ajan bulunmayan, düşük abraziviteye sahip hidrate silika içeren ve mine koruyucu etki gösteren Sensodyne Promine (Haleon, Weybridge, İngiltere) diş macunu kullanıldı [207]. 1:1 ile 1:5 arasında değişen karışım oranının diş macununun viskozitesini azaltarak fırçalama koşullarının klinik kullanımı daha iyi temsil ettiği bildirilmektedir [208-210]. Çalışmamızda abraziv etkinin standardize edilebilmesi amacıyla macun ile distile su ile 1:1 oranında seyreltildi.

Yaşlandırma işlemleri sonrası Ra değerleri değerlendirildiğinde, son kürlenmemiş grubun (0,257 µm) diğer gruplara kıyasla daha yüksek Ra değerleri göstermesi, yetersiz polimerizasyonun çevresel etkilere karşı yüzey dayanıklılığını azalttığını göstermektedir [40, 56].

20 dakika son kürlenmiş grubun (0,155 µm) diğer gruplara kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü göstermesi, bu sürenin yüzey stabilitesi açısından daha etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Son kürleme süresinin uzatılması ile yüzey pürüzlülüğünde azalma görülmemiş olup, bu durum renk değişiminde de benzer şekilde izlendiği üzere, son kürleme süresinin belirli bir seviyeden sonra sınırlı katkı sağladığını düşündürmektedir.

Fırçalama işleminin diğer tüm gruplara kıyasla daha yüksek Ra değerleri gösteren yaşlandırma yöntemi olması (0,231 µm), mekanik aşındırıcı etkinin yüzey üzerinde daha belirgin bozulmalara yol açtığını ortaya koymaktadır [182]. Distile su (0,166 µm), şarap (0,183 µm) ve kahve (0,193 µm) grupları arasında anlamlı bir fark bulunmaması, sıvı ortamda gerçekleşen kimyasal etkilerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde benzer düzeyde etkili olduğunu düşündürmektedir. Albrecht ve diğerleri [173], eklemeli ve eksiltmeli teknolojiler kullanılarak üretilen rezin seramik örnekleri 5 000 döngü termal siklus ile yaşlandırmışlardır.

Çalışma sonucunda, termal siklusun renk stabilitesi üzerinde anlamlı olduğu, ancak yüzey pürüzlülüğü üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir.

Son kürleme süresi ile yaşlandırma yöntemi arasındaki anlamlı etkileşim, yüzey pürüzlülüğündeki değişimin yalnızca tek bir faktöre bağlı olmadığını, materyalin polimerizasyon derecesi ile maruz kaldığı yaşlandırma koşullarının birlikte belirleyici olabileceğini göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı son kürleme sürelerine maruz bırakılan daimi hibrit seramik restorasyon materyallerinin mekanik polisaj ve hızlandırılmış yapay yaşlandırma işlemleri sonrası meydana gelen renk ve yüzey pürüzlülüğü değişimlerinin değerlendirildiği bu in vitro çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Mekanik polisaj işleminin, materyallerin yüzey morfolojisini değiştirerek aynı zamanda renk değişimine de neden olabileceği görüldü.

- Yaşlandırma sonrası, en yüksek renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü son kürlenmemiş grupta, en düşük değerler ise 20 dakika son kürlenen grupta elde edildi. İlave kürleme süresinin bu özellikleri iyileştirmediği belirlendi.

- Yaşlandırma yöntemleri karşılaştırıldığında, en yüksek renk değişiminin şarapta bekletilen grupta, en düşük renk değişiminin ise distile suda bekletilen grupta meydana geldiği saptandı.

- Sıvıda bekleterek yaşlandırma yönteminin etkisi renk değişimi üzerinde fazlayken, fırçalama ile yaşlandırma yöntemi daha çok yüzey pürüzlülüğü üzerinde etki gösterdi.

- Mekanik polisaj öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlendirmelerinde, en düşük değerlerin 20 dakika son kürlenen grupta elde edildiği görüldü. Son kürleme süresinin artırılmasıyla, renk değişiminde olduğu gibi yüzey pürüzlülüğünde de ilave bir iyileşme sağlanamadığı tespit edildi.

- Mekanik polisaj işleminin yüzey pürüzlülüğü üzerinde artırıcı bir etkisi olduğu, bu etkinin özellikle son kürleme uygulanmayan grupta daha belirgin olduğu görüldü.

Çalışma sonuçları doğrultusunda, yeterli son kürleme süresinin uygulanmasının hem yüzey pürüzlülüğü hem de renk stabilitesi açısından önemli olduğu, özellikle 20 dakika son kürleme süresinin daha olumlu sonuçlar verdiği görüldü. Bununla birlikte, mekanik polisaj işleminin bazı durumlarda yüzey pürüzlülüğünü artırabileceği ve özellikle fırçalama gibi

mekanik yaşlandırma yöntemlerinin yüzey özelliklerini olumsuz etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmanın bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Örnekler 2 mm kalınlığında ve 10 mm çapında standart diskler şeklinde hazırlanmıştır. Bu boyutlar in vitro çalışmalarda standardizasyon sağlasa da in vivo ortamda bulunan anatomik kron yapısını yansıtmamaktadır. Protetik restorasyonlarda yer alan yüzey eğrilikleri ve oklüzal anatomi formu, mekanik polisaj etkinliğini ve renk ölçümlerini etkileyebilecek faktörler arasındadır.

Tez çalışmasının deneyleri in vitro ortamda yapılmıştır. İn vitro ortamlar, normal ağız içi ortamdaki sıcaklık ve pH değişimini, çiğneme kuvvetlerini ve mikrobiyal etkileşimleri tam olarak yansıtamamaktadır.

Çalışmada sıvıda bekleterek yaşlandırma süresi, literatürde uzun dönem yaşlandırma protokolleri için kesin bir zaman aralığı belirlenememiş olmasından dolayı 1 hafta ile sınırlandırılmıştır. Bu süre materyallerin kısa dönem davranışlarını değerlendirmek açısından yeterli olmakla birlikte daha uzun dönem klinik performansı gözlemlemek için yeterli olmayabilir. Daha uzun süreli uygulanan yaşlandırma testleri, hibrit seramik materyallerin uzun dönemde göstereceği renk ve yüzey değişimlerinin daha kapsamlı şekilde değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Tez çalışmasında kullanılan fırçalama simülatör cihazı sadece bir tip diş fırçası ile kullanılabilmektedir. Farklı diş fırçaları ile uyumlu çalışan cihazların kullanılması ile diş fırçalarının etkinliği ilerideki çalışmalarda değerlendirilebilir. Benzer şekilde çalışmada tek tip diş macunu kullanılmış olup, farklı aşındırıcılık özelliklerine sahip diş macunlarının materyal yüzeyleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi gelecekte yapılacak araştırmalar için faydalı olacaktır.

Tez çalışmasında yalnızca tek bir seramik dolgulu fotopolimer rezin materyali ve bu materyale uyumlu SLA üretim sistemine sahip tek bir cihaz kullanılmıştır. Farklı SLA cihazları, baskı parametreleri, rezin kompozisyonları ile birlikte farklı eklemeli üretim teknolojilerinin kullanılması, materyalin yüzey özellikleri ve optik stabilitesi üzerinde farklı etkiler oluşturabilmektedir. Bununla birlikte eklemeli üretim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler sonucunda yeni nesil üretim sistemleri geliştirilmektedir. İleride yapılacak

çalışmalarda bu cihazların kullanılması, çalışma sonuçlarının daha kapsamlı şekilde değerlendirilmesine yardımcı olacaktır.

Çalışmada yüzey pürüzlülüğü ve renk ölçümleri için kontak ölçüm prensibine sahip cihazlar kullanılmıştır. Ölçüm esnasında cihaz uçlarının yüzey ile temas etmesi, örneklerin yüzeyini minimal düzeyde etkilemiş olabileceği ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.

Zımparalama ve mekanik polisaj işlemi tek bir araştırmacı tarafından gerçekleştirilmesine rağmen uygulamalar sırasında kuvvet uygulaması minimal düzeyde farklılık göstermiş olabilir. Sabit kuvvet uygulayan otomatik sistemler yerine manuel sistemlerin tercih edilmesi bu çalışmanın sınırlılıkları arasındadır.

İleride yapılacak olan araştırmalar için farklı eklemeli üretim teknikleri ve farklı materyallerin kullanılması, baskı parametrelerinin sabit tutulmayıp bağımsız değişken olarak ele alınması ve son işlem prosedürlerinin son kürleme dışında kalan diğer aşamaları üzerinde araştırma yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Türk, A.G., Çömlekoğlu, M.D., Çömlekoğlu, M.E. (2022). Eklemeli Bilgisayar Destekli Üretim Yöntemleri. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 43(Supp: Özel Sayı), 85-94.

2. Alharbi, N., Wismeijer, D. and Osman, R. B. (2017) *Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. International Journal of Prosthodontics*, *30*(5), 474-484.

3. Zandparsa, R. (2014), Digital imaging and fabrication. *Dental Clinics of North America*, *58*(1), 135-158.

4. Sulaiman, T.A. (2020). Materials in digital dentistry - A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, *32*(2), 171-181.

5. Rezaie, F., Farshbaf, M., Dahri, M., Masjedi, M., Maleki, R., Amini, F., Wirth, J., Moharamzadeh, K., Weber, F.E. and Tayebi, L. (2023). 3D Printing of Dental Prostheses: Current and Emerging Applications. *Journal of Composites Science*, 7(2), 80.

6. Pillai, S., Upadhyay, A., Khayambashi, P., Farooq, I., Sabri, H., Tarar, M., and Tran, S.D. (2021). Dental 3D-printing: transferring art from the laboratories to the clinics. *Polymers*, *13*(1), 157.

7. Jockusch, J. and Ozcan, M. (2020). Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. *Dental Materials Journal*, *39*(3), 345-354.

8. Piedra-Cascón, W., Krishnamurthy, V. R., Att, W., and Revilla-León, M. (2021). 3D printing parameters, supporting structures, slicing, and post-processing procedures of vat-polymerization additive manufacturing technologies: a narrative review. *Journal of Dentistry*, *109*, 103630.

9. Taormina, G., Sciancalepore, C., Messori, M. and Bondioli, F. (2018). 3D printing processes for photocurable polymeric materials: technologies, materials, and future trends. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, *16*(3), 151-160.

10. Shah, M., Ullah, A., Azher, K., Ur Rehman, A., Juan, W., Aktürk, N., Tüfekci, C.S. and Salamci, M.U. (2023). Vat photopolymerization-based 3D printing of polymer nanocomposites: current trends and applications. *RSC Advances*, *13*(2), 1456-1496.

11. Intralawan, N., Wasanapiarnpong, T., Padipatvuthikul Didron, P., Rakmanee, T., Klaisiri, A. and Krajangta, N. (2022). Surface discoloration of 3D printed resin-ceramic hybrid materials against various stain beverages. *Journal of International Dental and Medical Research*, *15*(4), 1465-1471.

12. Della Bona, A., Corazza, P.H., & Zhang, Y. (2014). Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dental Materials*, *30*(5), 564-569.

13. Çelikel, P., Şengül, F., Büyüksefil, M., Aslan İnce, N. ve Şimşek Derelioğlu, S. (2024). Üç boyutlu yazıcılarda kullanılan iki farklı reçine materyalinde farklı polimerizasyon cihazlarının yüzey sertliğine etkisi: in vitro çalışma. *Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi, 30*(1), 67-73.

14. Nezir, M., Altınışık, H., Özyurt, E., Bayar, N. and Büyükgöze Dindar, M. (2025). The effects of mechanical and chemical degradation on the surface roughness, gloss, and color stability of bulk-fill resin composites. *BMC Oral Health, 25*(1), 1767.

15. Roselino, L.M.R., Chinelatti, M.A., Alandia-Román, C.C. and Pires-de-Souza, F.C.P. (2015). Effect of Brushing Time and Dentifrice Abrasiveness on Color Change and Surface Roughness of Resin Composites. *Brazilian Dental Journal, 26*(5), 507-513.

16. Kim, D., Shim, J.-S., Lee, D., Shin, S.-H., Nam, N.-E., Park, K.-H., Shim, J.-S. and Kim, J.-E. (2020). Effects of post-curing time on the mechanical and color properties of three-dimensional printed crown and bridge materials. *Polymers, 12*(11).

17. Nowacki, B., Kowol, P., Kozioł, M., Olesik, P., Wieczorek, J. and Wacławiak, K. (2021). Effect of Post-Process Curing and Washing Time on Mechanical Properties of mSLA Printouts. *Materials, 14*(17), 4856.

18. Cebeci, N.Ö. ve Tokmakcıoğlu, H.H. (2018). Protetik diş tedavisinde ekleme yöntemi ile üretim. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, *3*(1), 66-86.

19. Aral, M. ve Keskin, Y. (2024). Diş hekimliğinde 3 boyutlu eklemeli üretim: derleme. *Journal of International Dental Sciences (Uluslararası Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi), 10*(1), 1-11.

20. İnternet: ISO/ASTM 52900:2021(en). Additive manufacturing—general principles—fundamentals and vocabulary. ISO. URL: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-2:v1:en:term:3.9.1, Son erişim tarihi: 28.09.2024.

21. Beuer, F., Schweiger, J., & Edelhoff, D. (2008). Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British Dental Journal*, *204*(9), 505-511.

22. Davidowitz, G. and Kotick, P.G. (2011). The use of CAD/CAM in dentistry. *Dental Clinics*, *55*(3), 559-570.

23. 24. Marchesi, G., Camurri Piloni, A., Nicolin, V., Turco, G., and Di Lenarda, R. (2021). Chairside CAD/CAM materials: current trends of clinical uses. *Biology*, *10*(11), 1170.

24. van Noort, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dental Materials, 28*(1), 3-12.

25. Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons, 60*(5), 677-688.

26. Zhang, X. and Liou, F. (2021). Introduction to additive manufacturing. In *Additive Manufacturing*. Elsevier, 1-31.

27. Shaukat, U., Rossegger, E., and Schlögl, S. (2022). A review of multi-material 3D printing of functional materials via vat photopolymerization. *Polymers*, *14*(12), 2449.

28. Yavuz, E. ve Yılmaz, S. (2021). Diş hekimliğinde yeni ve hızla ilerleyen üretim teknolojisi: 3 boyutlu yazıcılar. *Akdeniz Tıp Dergisi, 7*(2), 197-205.

29. Taşın, S. and Ismatullaev, A. (2022). Comparative evaluation of the effect of thermocycling on the mechanical properties of conventionally polymerized, CAD-CAM milled, and 3D-printed interim materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry, 127*(1), 173.e1-173.e8

30. Javaid, M., and Haleem, A. (2019). Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, *9*(3), 179-185.

31. Torabi, K., Farjood, E. and Hamedani, S. (2015). Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics: a review of literature. *Journal of Dentistry (Shiraz), 16*(1), 1-9.

32. Al-Dulaijan, Y.A., Alsulaimi, L., Alotaibi, R., Alboainain, A., Alalawi, H., Alshehri, S., Khan, S.Q., Alsaloum, M., AlRumaih, H.S., Alhumaidan, A.A. and Gad, M.M. (2022). Comparative evaluation of surface roughness and hardness of 3D printed resins. *Materials, 15*(19), 6822.

33. Rahman, M.A., Saleh, T., Jahan, M.P., McGarry, C., Chaudhari, A., Huang, R., Tauhiduzzaman, M., Ahmed, A., Al Mahmud, A., Bhuiyan, M.S., Khan, M.F., Alam, M.S. and Shakur, M.S. (2023). Review of intelligence for additive and subtractive manufacturing: current status and future prospects. *Micromachines, 14*(3), 508.

34. Jockusch, J. and Özcan, M. (2020). Additive manufacturing of dental polymers: an overview on processes, materials and applications. *Dental Materials Journal, 39*(3), 345-354.

35. Revilla-León, M., & Özcan, M. (2019). Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *Journal of Prosthodontics*, *28*(2), 146-158.

36. Gibson, I., Rosen, D.W. ve Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies*. New York: Springer, 1-31.

37. Pereira, S., Vaz, A.I.F. and Vicente, L.N. (2018). On the optimal object orientation in additive manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 98*(5), 1685-1694.

38. Kumbhar, N.N. and Mulay, A. (2018). Post processing methods used to improve surface finish of products which are manufactured by additive manufacturing technologies: a review. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 99*(4), 481-487.

39. Özer, G. (2020). Eklemeli üretim teknolojileri üzerine bir derleme. *Niğde Ömer Halis demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *9*(1), 606-621.

40. Caussin, E., Moussally, C., Le Goff, S., Fasham, T., Troizier-Cheyne, M., Tapie, L., Dursun, E., Attal, J.-P., and François, P. (2024). Vat photopolymerization 3D printing in dentistry: a comprehensive review of actual popular technologies. *Materials*, *17*(4), 950.

41. Sampson, K.L., Deore, B., Go, A., Nayak, M.A., Orth, A., Gallerneault, M., Malenfant, P.R.L. and Paquet, C. (2021). Multimaterial vat polymerization additive manufacturing. *ACS Applied Polymer Materials, 3*(9), 4304-4324.

42. Vladić, G., Banjanin, B., Kašiković, N. and Pavlović, Ž. (2022). Chapter 6 - Vat photopolymerization. In Polymers for 3D Printing. William Andrew Publishing, 65-74.

43. Lee, H.E., Alauddin, M.S., Mohd Ghazali, M.I., Said, Z. and Mohamad Zol, S. (2023). Effect of different vat polymerization techniques on mechanical and biological properties of 3D-printed denture base. *Polymers, 15*(6).

44. Groth, C., Kravitz, N.D., Jones, P.E., Graham, J.W. and Redmond, W.R. (2014). Three-dimensional printing technology. *Journal of Clinical Orthodontics, 48*(8), 475-485.

45. Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M.C. ve Duysak, A. (2013). Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, 31*, 53-70.

46. Davoudinejad, A. (2021). Vat photopolymerization methods in additive manufacturing. In *Additive Manufacturing*. Elsevier, 159-181.

47. Pagac, M., Hajnys, J., Ma, Q.P., Jancar, L., Jansa, J., Stefek, P. and Mesicek, J. (2021). A review of vat photopolymerization technology: materials, applications, challenges, and future trends of 3D printing. *Polymers, 13*(4), 598.

48. Junk, S., and Bär, F. (2023). Design guidelines for additive manufacturing using masked stereolithography mSLA. *Procedia CIRP*, *119*, 1122-1127.

49. Orzeł, B. and Stecuła, K. (2022). Comparison of 3D printout quality from FDM and MSLA technology in unit production. *Symmetry, 14*(5), 910.

50. Kantaros, A., Ganetsos, T., Petrescu, F.I.T., Ungureanu, L.M. and Munteanu, I.S. (2024). Post-production finishing processes utilized in 3D printing technologies. *Processes, 12*(3), 595.

51. Revilla-Leon, M., Meyers, M.J., Zandinejad, A., & Özcan, M. (2019), A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing work flow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 3*1(1), 51-57.

52. Mostafavi, D., Methani, M.M., Piedra-Cascón, W., Zandinejad, A. and Revilla-León, M. (2021). Influence of the rinsing postprocessing procedures on the manufacturing accuracy of vat-polymerized dental model material. *Journal of Prosthodontics, 30*(7), 610-616.

53. Decker, C. (1998). The use of UV irradiation in polymerization. *Polymer International, 45*(2), 133-141.

54. Kessler, A., Hickel, R., and Reymus, M. (2020). 3D printing in dentistry—state of the art. *Operative Dentistry*, *45*(1), 30–40.

55. Batmaz, S.G., Susgun Yildirim, Z. and Ucar, Y. (2025). The effect of post-processing washing time on the physical and chemical properties of 3D printable resin materials. *BMC Oral Health, 25*(1), 1663.

56. Stansbury, J. W., and Idacavage, M. J. (2016). 3D printing with polymers: challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*, *32*(1), 54–64.

57. Carek, A., Dukaric, K., Miler, H., Marovic, D., Tarle, Z. and Par, M. (2022). Post-cure development of the degree of conversion and mechanical properties of dual-curing resin cements. *Polymers, 14*(17), 3649.

58. Diniță, A., Neacșa, A., Portoacă, A.I., Tănase, M., Ilinca, C.N. and Ramadan, I.N. (2023). Additive manufacturing post-processing treatments: a review with emphasis on mechanical characteristics. *Materials, 16*(13), 4610.

59. Lalatovic, A., Vaniev, M.A., Sidorenko, N.V., Gres, I.M., Dyachenko, D.Y. and Makedonova, Y.A. (2022). A review on vat photopolymerization 3D-printing processes for dental application. *Dental Materials, 38*(11), e284-e296.

60. Khudyakov, I.V. (2018). Fast photopolymerization of acrylate coatings: achievements and problems. *Progress in Organic Coatings, 121*, 151-159.

61. Bove, A., Calignano, F., Galati, M. and Iuliano, L. (2022). Photopolymerization of ceramic resins by stereolithography process: a review. *Applied Sciences, 12*(7), 3591.

62. Zakeri, S., Vippola, M. and Levänen, E. (2020). A comprehensive review of the photopolymerization of ceramic resins used in stereolithography. *Additive Manufacturing, 35*, 101177.

63. Joseph, B., Sam, R.M., Tharayil, A., Sagarika, V.K., Kalarikkal, N. and Thomas, S. (2022). Photopolymers for 3D printing. In *Polymers for 3D Printing*. William Andrew Publishing, 145-154.

64. Schwalm, R. (2007). Raw materials. In *UV Coatings*. Amsterdam: Elsevier, 94-139.

65. Gajapriya, M., Somasundaram, J. and Geetha, R. (2020). Fillers in composite resins-recent advances. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine, 7*(1), 2020.

66. Al-Ramadan, A., Abualsaud, R., Al-Dulaijan, Y.A., Al-Thobity, A.M. and Alalawi, H. (2024). Accuracy and fit of ceramic filled 3D-printed resin for permanent crown fabrication: an in vitro comparative study. *Prosthesis, 6*(5), 1029-1041.

67. Gracis, S., Thompson, V. P., Ferencz, J. L., Silva, N.R., & Bonfante, E.A. (2015). A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *International Journal of Prosthodontics*, *28*(3), 227-235.

68. Lawson, N.C., Bansal, R. and Burgess, J.O. (2016). Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. *Dental Materials, 32*(11), e275-e283.

69. Facenda, J.C., Borba, M. and Corazza, P.H. (2018). A literature review on the new polymer-infiltrated ceramic-network material (PICN). *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 30*(4), 281-286.

70. Sevmez, H., Bankoğlu Güngör, M. ve Yılmaz, H. (2019). Resin matrix ceramics. *Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi, 25*(3).

71. Anusavice, K.J., Shen, C., & Rawls, H. R. (2012). *Phillips' science of dental materials*. Elsevier Health Sciences.

72. Beaman, J.J., Bourell, D.L., Crawford, R.H., Marcus, H.L. and McAlea, K.P. (1997). *Solid freeform fabrication: a new direction in manufacturing*. Dordrecht: Springer.

73. O'Brien, W.J. (2002). *Dental materials and their selection* (10. Baskı). Chicago: Quintessence.

74. Crivello, J.V. and Reichmanis, E. (2014). Photopolymer materials and processes for advanced technologies. *Chemistry of Materials, 26*(1), 533-548.

75. O'Neill, P.F. (2018). Internal void fabrication via mask projection micro-stereolithography: a rapid repeatable microfluidic prototyping technique. Doktora tezi, Dublin City University, Dublin.

76. Riccio, C., Civera, M., Grimaldo Ruiz, O., Pedullà, P., Rodriguez Reinoso, M., Tommasi, G., Vollaro, M., Burgio, V. and Surace, C. (2021). Effects of curing on photosensitive resins in SLA additive manufacturing. *Applied Mechanics, 2*(4), 942-955.

77. Gibson, I., Rosen, D. and Stucker, B. (2015). Vat photopolymerization processes. In *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. New York, NY: Springer, 63-106.

78. Hull, C.W. (1984). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. *United States Patent*, No. 4,575,330.

79. Wee, A. G. (2006). Description of color, color replication process and esthetics. In S. F. Rosenstiel, M. F. Land and J. Fujimoto (Eds.), *Contemporary fixed prosthodontics.* (4th ed.). St. Louis: Mosby, pp. 710–712.

80. Sengez, G., & Dörter, C. (2019). Estetik diş hekimliğinde renk seçimi. *Selcuk Dental Journal*, *6*(2), 213-220.

81. Szymczyk, M. (2023). Chromophore. In *Encyclopedia of Color Science and Technology*. Cham: Springer International Publishing, 154-159.

82. Pugliese, D. and Malucelli, G. (2025). Toward the optimization of the optical behavior of transparent wood: current state of the art and perspectives. *Polymers, 17*(24), 3276.

83. Paravina, R.D. (2018). Understanding color. In *Ronald E. Goldstein's Esthetics in Dentistry*. Elsevier, 270-294.

84. Villarroel, M., Fahl, N., De Sousa, A.M., & de Oliveira, O. B. (2011). Direct esthetic restorations based on translucency and opacity of composite resins. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, *23*(2), 73-87.

85. Corfield, T. and Higgins, D. (2024). Comparison of human and porcine natural tooth fluorescence-A scoping study to inform research on dental materials and forensic dentistry. *Clinical and Experimental Dental Research, 10*(6), e70052.

86. Pepelascov, D.E., de Castro-Hoshino, L.V., da Silva, L.H., Hirata, R., Sato, F., Baesso, M.L., Centenaro, A.S., Novatski, A., Medina Neto, A. and Terada, R.S.S. (2022). Opalescence and color stability of composite resins: an in vitro longitudinal study. *Clinical Oral Investigations, 26*(3), 2635-2643.

87. Primus, C.M., Chu, C.C.Y., Shelby, J.E., Buldrini, E. and Heckle, C.E. (2002). Opalescence of dental porcelain enamels. *Quintessence International, 33*(6), 439-449.

88. Lee, Y.K. (2016). Opalescence of human teeth and dental esthetic restorative materials. *Dental Materials Journal, 35*(6), 845-854.

89. Touati, B., Miara, P. ve Nathanson, D. (1999). *Esthetic dentistry and ceramic restorations*. London, UK: Martin Dunitz.

90. Sarıkaya, I. ve Güler, A.U. (2009). Diş hekimliği uygulamalarında renk kavramı. *Türkiye Klinikleri Diş Hekimliği Bilimleri Dergisi, 15*(2), 118-129.

91. Vadher, R., Parmar, G., Kanodia, S., Chaudhary, A., Kaur, M., & Savadhariya, T. (2014). Basics of color in dentistry: A review. *IOSR-JDMS*, *13*, 78-85.

92. Sproull, R.C. (1973), Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, *29*(4), 416-424.

93. Fondriest, J. (2003). Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *International journal of Periodontics and Restorative Dentistry*, *23*(5), 467-480.

94. Bhat, V., Prasad, D.K., Sood, S. and Bhat, A. (2011). Role of colors in prosthodontics: application of color science in restorative dentistry. *Indian Journal of Dental Research, 22*(6), 804-809.

95. Güven, M., Eroğlu, E. ve Demirekin, Z. (2023). Comparison of CIE94 and CIEDE2000 color difference formulas using visual shade matching. *Selcuk Dental Journal, 10*(4), 160-166.

96. Okubo, S. R., Kanawati, A., Richards, M. W., and Childress, S. (1998). Evaluation of visual and instrument shade matching. The Journal of Prosthetic Dentistry, 80(6), 642-648.

97. Clarke, F.J.J., McDonald, R. and Rigg, B. (1984). Modification to the JPC79 colour–difference formula. *Journal of the Society of Dyers and Colourists, 100*(4), 128-132.

98. Luo, M. R., Cui, G., and Rigg, B. (2001). The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Research and Application,* 26(5), 340–350.

99. Luo, M.R. (2023). CIELAB. In *Encyclopedia of Color Science and Technology*. Cham: Springer International Publishing, 251-257.

100. Pecho, O. E., Ghinea, R., Alessandretti, R., Pérez, M. M., and Della Bona, A. (2016). Visual and instrumental shade matching using CIELAB and CIEDE2000 color difference formulas. Dental Materials, 32(1), 82-92.

101. Revilla-León, M., Sorensen, J.A., Nelson, L.Y., Gamborena, I., Yeh, Y.M., & Özcan, M. (2021). Effect of fluorescent and nonfluorescent glaze pastes on lithium disilicate pressed ceramic color at different thicknesses. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, *125*(6), 932-939.

102. Tejada-Casado, M., Herrera, L.J., Carrillo-Perez, F., Ruiz-López, J., Ghinea, R.I. and Pérez, M.M. (2024). Exploring the CIEDE2000 thresholds for lightness, chroma, and hue differences in dentistry. *Journal of Dentistry, 150*, 105327.

103. İnternet: Zschuessler, J. Defining Delta E. URL: https://zschuessler.github.io/DeltaE/learn/#toc-defining-delta-e, Son erişim tarihi: 01.03.2026.

104. Paravina, R.D., Ontiveros, J.C. and Powers, J.M. (2004). Accelerated aging effects on color and translucency of bleaching-shade composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 16*(2), 117-126.

105. Perez, M.D.M., Ghinea, R., Herrera, L.J., Ionescu, A.M., Pomares, H., Pulgar, R. and Paravina, R.D. (2011). Dental ceramics: a CIEDE2000 acceptability thresholds for lightness, chroma and hue differences. *Journal of Dentistry, 39*, e37-e44.

106. Paravina, R.D., Pérez, M.M., & Ghinea, R. (2019). Acceptability and perceptibility thresholds in dentistry: A comprehensive review of clinical and research applications. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, *31*(2), 103-112.

107. Paravina, R.D., Ghinea, R., Herrera, L.J., Bona, A.D., Igiel, C., Linninger, M., & Mar Perez, M.D. (2015). Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, *27*, 1-9.

108. Revilla-León, M., Umorin, M., Özcan, M., and Piedra-Cascón, W. (2020). Color dimensions of additive manufactured interim restorative dental material. The Journal of Prosthetic Dentistry, 123(5), 754-760.

109. Johnston, W.M. (2009). Color measurement in dentistry. *Journal of Dentistry, 37*(Suppl 1), e2-e6.

110. Huang, M., Ye, H., Chen, H., Zhou, Y., Liu, Y., Wang, Y., & Sun, Y. (2022). Evaluation of accuracy and characteristics of tooth-color matching by intraoral scanners based on Munsell color system: an in vivo study. *Odontology*, *110*(4), 759-768.

111. Kahramanoğlu, E., ve Özkan, Y. K. (2013). Diş hekimliğinde estetik ve renk. Cumhuriyet Dental Journal, 16(4), 339-347.

112. Vijayan, A. and Shibu, S.K. (2019). Colour matching in dentistry. *Journal of Biosciences, 7*(1), 1-7.

113. Kurt, M., Turhan Bal, B., & Bal, C. (2016). Güncel renk ölçüm yöntemleri: Sistematik derleme. *Turkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, *22*(2), 130-146.

114. Chu, S.J., Trushkowsky, R.D., & Paravina, R.D. (2010). Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *Journal of Dentistry*, *38*(2), e2-e16.

115. Joiner, A. and Luo, W. (2017). Tooth colour and whiteness: a review. *Journal of Dentistry, 67*(S), S3-S10.

116. Johnston, W.M., Ma, T., Kienle, B.H. and Bayne, S.C. (1996). Analysis of edge-losses in reflectance measurements of pigmented maxillofacial elastomer. *Journal of Dental Research, 75*(2), 752-760.

117. Kim, J.C., Yu, B. and Lee, Y.K. (2008). Influence of surface layer removal of shade guide tabs on the measured color by spectrophotometer and spectroradiometer. *Journal of Dentistry, 36*(12), 1061-1067.

118. Chu, S.J., Devigus, A., & Mieleszko, A.J. (2004). *Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry*. Illinois: Quintessence Publishing Company, 2.

119. Guan, Y.H., Lath, D.L., Lilley, T.H., Willmot, D.R., Marlow, I. and Brook, A.H. (2005). The measurement of tooth whiteness by image analysis and spectrophotometry: a comparison. *Journal of Oral Rehabilitation, 32*(1), 7-15.

120. Tabatabaian, F., Beyabanaki, E., Alirezaei, P., and Epakchi, S. (2021). Visual and digital tooth shade selection methods, related effective factors and conditions, and their accuracy and precision: A literature review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, *33*(8), 1084-1104.

121. Wee, A.G., Lindsey, D.T., Kuo, S. and Johnston, W.M. (2006). Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dental Materials, 22*(6), 553-559.

122. Ruzova, T. and Haddadi, B. (2025). Surface roughness and its measurement methods-analytical review. *Results in Surfaces and Interfaces*, 100441.

123. Filiz, H., Avunduk, A. T. E. ve Yanardağ, E. C. (2023). Diş hekimliğinde yüzey pürüzlülüğü araştırma yöntemleri: Derleme makalesi. *Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, *2*(2), 28-35.

124. Arslanoğlu, Z., Altan, H., Kale, E., Bilgiç, F. and Şahin, O. (2016). Nanomechanical behaviour and surface roughness of new generation dental fissure sealants. *Acta Physica Polonica A, 130*(1), 388-393.

125. Tuncer, D., Halaçoğlu, D.M., Çelik, Ç. ve Arhun, N. (2016). Bitirme ve parlatma sistemlerinin farklı tipteki kompozit rezinlerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Yeditepe Journal of Dentistry, 12*(2), 25-30.

126. Kakaboura, A., Fragouli, M., Rahiotis, C. and Silikas, N. (2007). Evaluation of surface characteristics of dental composites using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, *18*, 155-163.

127. Kessler, A., Kapor, S., Erdelt, K., Hickel, R., Edelhoff, D., Syrek, A., Güth, J.F. and Kühnisch, J. (2021). Two-body wear and fracture behaviour of an experimental paediatric composite crown in comparison to zirconia and stainless steel crowns dependent on the cementation mode. *Dental Materials, 37*(2), 264-271.

128. Dinçkal Yanıkoğlu, N. ve Sakarya, R.E. (2020). Test methods used in the evaluation of the structure features of the restorative materials: a literature review. *Journal of Materials Research and Technology, 9*(5), 9720-9734.

129. Palová, K., Kelemenová, T. and Kelemen, M. (2023). Measuring procedures for evaluating the surface roughness of machined parts. *Applied Sciences, 13*(16), 9385.

130. Yamanel, K. (2018). Farklı profilaktik parlatma işlemlerinin mikrohibrit ve nanohibrit kompozit rezinlerin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi. *Cumhuriyet Dental Journal, 21*(2), 85-92.

131. Sonia, T.A., Sreedharan, C.P.S. (2014). Experimental techniques involved in the development of oral insulin carriers. In *Oral Delivery of Insulin*. 169-217.

132. Webb, J. and Hawkes, J.H. (2003). Microscopy | scanning electron microscopy. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. 3922-3928.

133. Sharma, R. and Kumar, M.K. (2021). Nanoparticles: an overview preparation and characterization. *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications, 6*(5), 368-372.

134. Mei, L. and Guan, G. (2023). Profilometry and atomic force microscopy for surface characterization. *Nano TransMed, 2*(1), e9130017.

135. Whitehead, S. A., Shearer, A. C., Watts, D. C. and Wilson, N. H. F. (1995). Comparison of methods for measuring surface roughness of ceramic. *Journal of Oral Rehabilitation*, *22*(6), 421-427.

136. Joniot, S., Salomon, J. P., Dejou, J. and Grégoire, G. (2006). Use of two surface analyzers to evaluate the surface roughness of four esthetic restorative materials after polishing. *Operative Dentistry*, *31*(1), 39-46.

137. Gadelmawla, E.S., Koura, M.M., Maksoud, T.M.A., Elewa, I.M. and Soliman, H.H. (2002). Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology, 123*(1), 133-145.

138. Santos, P. M. and Júlio, E. N. (2013). A state-of-the-art review on roughness quantification methods for concrete surfaces. *Construction and Building Materials*, *38*, 912-923.

139. Wong, K. V., and Hernandez, A. (2012). A review of additive manufacturing. *International Scholarly Research Notices, 2012*(1), 208760.

140. Lu, Y., Wang, L., Dal Piva, A.M.O., Tribst, J.P.M., Nedeljkovic, I., Kleverlaan, C.J. and Feilzer, A.J. (2023). Influence of surface finishing and printing layer orientation on surface roughness and flexural strength of stereolithography-manufactured dental zirconia. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 143*, 105944.

141. Jefferies, S. R. (2007). Abrasive finishing and polishing in restorative dentistry: a state-of-the-art review. *Dental Clinics of North America, 51*(2), 379-397.

142. Ölmez, A. ve Kısbet, S. (2012). Kompozit rezin restorasyonlarda bitirme ve polisaj işlemlerindeki yeni gelişmeler. *Acta Odontologica Turcica, 30*(2), 115-122.

143. Vichi, A., Balestra, D. and Louca, C. (2024). Effect of different finishing systems on surface roughness and gloss of a 3D-printed material for permanent dental use. *Applied Sciences, 14*(16), 7289.

144. Yamauti, M., Hashimoto, M., Sano, H., Ohno, H., Carvalho, R.M., Kaga, M., Tagami, J., Oguchi, H. and Kubota, M. (2003). Degradation of resin-dentin bonds using NaOCl storage. *Dental Materials, 19*(5), 399-405.

145. Akın, G.E., Hergüner Siso, Ş. ve Akın, H. (2012). Termal siklus ve suda bekletmenin kendinden asitli adezivlerin dentine mikrogerilim bağlanma dayanımları üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 2012*(2), 125-131.

146. Ayaz, D.F., Tağtekin, D. ve Yanıkoğlu, F. (2011). Dentine bağlanma ve değerlendirme metodları. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 2011*(4), 49-56.

147. Ram, A.J., Somasundaram, J., Ganesh, B.S. and Roy, A. (2020). Knowledge about brushing simulator among dentists - a survey. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences, 11*, 1638-1644.

148. Pérez, M.M., Della Bona, A., Carrillo-Pérez, F., Dudea, D., Pecho, O.E. and Herrera, L.J. (2020). Does background color influence visual thresholds? *Journal of Dentistry, 102*, 103475.

149. Büyükgöze Dindar, M. and Tekbaş-Atay, M. (2023). The effect of brushing force on the surface properties and color stability of dental enamel. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Dergisi*.

150. Di Fiore, A., Stellini, E., Alageel, O. and Alhotan, A. (2024). Comparison of mechanical and surface properties of two 3D printed composite resins for definitive restoration. *The Journal of Prosthetic Dentistry, 132*(4), 839.e1-839.e7.

151. Sulaiman, T.A., Camino, R.N., Cook, R., Delgado, A.J., Roulet, J.F. and Clark, W.A. (2020). Time-lasting ceramic stains and glaze: a toothbrush simulation study. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 32*(6), 581-585.

152. Al-Shami, A.M., Alshami, M.A., Al-Kholani, A.I. and Al-Sayaghi, A.M. (2023). Color stability of nanohybrid and microhybrid composites after immersion in common coloring beverages at different times: a laboratory study. *BDJ Open, 9*(1), 39.

153. Schweiger, J., Edelhoff, D. and Güth, J.-F. (2021). 3D Printing in Digital Prosthetic Dentistry: An Overview of Recent Developments in Additive Manufacturing. *Journal of Clinical Medicine, 10*(9), 2010.

154. Balestra, D., Lowther, M., Goracci, C., Mandurino, M., Cortili, S., Paolone, G., Louca, C. and Vichi, A. (2024). 3D printed materials for permanent restorations in indirect restorative and prosthetic dentistry: a critical review of the literature. *Materials, 17*(6), 1380.

155. Yüceer, Ö.M., Kaynak Öztürk, E., Çiçek, E.S., Aktaş, N. and Bankoğlu Güngör, M. (2025). Three-dimensional-printed photopolymer resin materials: a narrative review on their production techniques and applications in dentistry. *Polymers, 17*(3), 316.

156. Cabrol, A., Chuy, V., Fron-Chabouis, H. and Naveau, A. (2025). Effectiveness of postprocessing on 3D printed resin biocompatibility in prosthodontics: a systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry, 134*(5), 1688-1700.

157. Scotti, C.K., de Amoêdo Campos Velo, M.M., Rizzante, F.A.P., de Lima Nascimento, T.R., Lia Mondelli, R.F. and Soares Bombonatti, J.F. (2020). Physical and surface properties of a 3D-printed composite resin for a digital workflow. *The Journal of Prosthetic Dentistry, 124*(5), 614.e1-614.e5.

158. Lopes-Rocha, L., Mendes, J.M., Garcez, J., Góis Sá, A., Pinho, T., Souza, J.C.M. and Torres, O. (2021). The effect of different dietary and therapeutic solutions on the color stability of resin-matrix composites used in dentistry: an in vitro study. *Materials, 14*(21), 6267.

159. Yerliyurt, K. and Sarıkaya, I. (2022). Color stability of hybrid ceramics exposed to beverages in different combinations. *BMC Oral Health, 22*(1), 180.

160. Nagai, T., Alfaraj, A., Chu, T.-M.G., Yang, C.-C. and Lin, W.-S. (2025). Color stability of CAD-CAM hybrid ceramic materials following immersion in artificial saliva and wine. *Journal of Prosthodontics, 34*(8), 836-844.

161. Firlej, M., Pieniak, D., Niewczas, A.M., Walczak, A., Domagała, I., Borucka, A., Przystupa, K., Igielska-Kalwat, J., Jarosz, W. and Biedziak, B. (2021). Effect of artificial aging on mechanical and tribological properties of CAD/CAM composite materials used in dentistry. *Materials*, *14*(16), 4678.

162. Karaokutan, I. ve Sayın Ozel, G. (2022). Farklı tekniklerle üretilmiş geçici materyallerine uygulanan yüzey polisaj işlemlerinin renk değişimi üzerine etkisi. *Selcuk Dental Journal*, *9*(2), 364-371.

163. Ertaş, E., Güler, A.U., Yücel, A.C., Köprülü, H. ve Güler, E. (2006). Color stability of resin composites after immersion in different drinks. *Dental Materials Journal, 25*(2), 371-376.

164. Liberato, W.F., Barreto, I.C., Costa, P.P., Costa de Almeida, C., Pimentel, W. and Tiossi, R. (2019). A comparison between visual, intraoral scanner, and spectrophotometer shade matching: a clinical study. *The Journal of Prosthetic Dentistry, 121*(2), 271-275.

165. Knezović, D., Zlatarić, D., Illeš, I.Ž., Alajbeg, M. and Žagar, M. (2015). In vivo and in vitro evaluations of repeatability and accuracy of VITA Easyshade® Advance 4.0 dental shade-matching device. *Acta Stomatologica Croatica, 49*(2), 112-118.

166. Dudea, D., Gasparik, C., Botos, A., Alb, F., Irimie, A., and Paravina, R. D. (2016). Influence of background/surrounding area on accuracy of visual color matching. *Clinical Oral Investigations*, *20*(6), 1167-1173.

167. Curd, F.M., Jasinevicius, T.R., Graves, A., Cox, V. and Sadan, A. (2006). Comparison of the shade matching ability of dental students using two light sources. *The Journal of Prosthetic Dentistry, 96*(6), 391-396.

168. Miao, Z., Shen, M., Gao, H., Liu, Z., Zhang, B., Wang, P., Liu, D., Qin, Z., Zhang, X., Gao, C., Hu, W. and Dong, H. (2025). High-CRI white organic light-emitting transistors with ultrathin emissive layers for full-color display. *Advanced Materials*, e14652.

169. Yılmaz, D., Karaağaçlıoğlu, L. ve Yılmaz, B. (2021). Hızlandırılmış yapay yaşlandırma uygulamasının cad-cam materyallerinin renklenmesi üzerindeki etkisi. *European Journal of Research in Dentistry, 5*(1), 19-28.

170. Gómez-Polo, C., Portillo Muñoz, M., Lorenzo Luengo, M.C., Vicente, P., Galindo, P. and Martín Casado, A.M. (2016). Comparison of the CIELab and CIEDE2000 color difference formulas. *The Journal of Prosthetic Dentistry, 115*(1), 65-70.

171. Schussler, V., Kawakami, D.Y., Garcia Rocha, M.A., Coelho Sinhoreti, M.A., Garcia Rocha, M. and Oliveira, D. (2024). Perceptibility and acceptability thresholds for color differences in ceramic shade tabs: a comparison between dentists and patients. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry, 16*(12), e1509-e1516.

172. Jefferies, S. R. (2007). Abrasive finishing and polishing in restorative dentistry: a state-of-the-art review. *Dental Clinics of North America, 51*(2), 379-397.

173. Albrecht, M., Schmidt, F., Menzel, F., Yassine, J., Beuer, F. and Unkovskiy, A. (2024). Comparative Analysis of Modern 3D-Printed Hybrid Resin-Ceramic Materials for Indirect Restorations: An In Vitro Study. *Polymers, 16*(22).

174. Bataweel, O.O., Roulet, J.-F., Rocha, M.G., Zoidis, P., Pereira, P. and Delgado, A.J. (2025). Effect of simulated tooth brushing on surface roughness, gloss, and color stability of milled and printed permanent restorative materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 37*(7), 1773-1783.

175. Aati, S., Akram, Z., Shrestha, B., Patel, J., Shih, B., Shearston, K., Ngo, H. and Fawzy, A. (2022). Effect of post-curing light exposure time on the physico–mechanical properties and cytotoxicity of 3D-printed denture base material. *Dental Materials, 38*(1), 57-67.

176. Lee, E.H., Ahn, J.S., Lim, Y.J., Kwon, H.B. and Kim, M.J. (2022). Effect of post-curing time on the color stability and related properties of a tooth-colored 3D-printed resin material. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 126*, 104993.

177. Alshammari, R.R., Alshihah, N. and Aldweesh, A. (2025). Quantitative evaluation of surface roughness and mass loss for different types of composite resins used for clear aligner attachments: an in vitro study. *Frontiers in Materials, 12*.

178. Alharbi, S., Alshabib, A., Algamaiah, H., Aldosari, M. and Alayad, A. (2025). Influence of post-printing polymerization time on the elution of residual monomers and water sorption of 3D-printed resin composite. *Materials, 18*(12).

179. Silva, A. L. F., Geng-Vivanco, R., Tonani-Torrieri, R., and Pires-de-Souza, F. D. C. P. (2021). Stain resistance and surface roughness of CAD/CAM processed hybrid ceramic. *Color Research & Application*, *46*(4), 901-908.

180. Aydın, N., Topçu, F.T., Karaoğlanoğlu, S., Oktay, E.A. and Erdemir, U. (2021). Effect of finishing and polishing systems on the surface roughness and color change of composite resins. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry, 13*, e446-e454.

181. Kang, Y.-A., Lee, H.-A., Chang, J., Moon, W., Chung, S.H. and Lim, B.-S. (2020). Color stability of dental reinforced CAD/CAM hybrid composite blocks compared to regular blocks. *Materials, 13*(21).

182. Lepri, C.P. and Palma-Dibb, R.G. (2012). Surface roughness and color change of a composite: influence of beverages and brushing. *Dental Materials Journal, 31*(4), 689-696.

183. Saba, D.A., Salama, R.A. and Haridy, R. (2017). Effect of different beverages on the color stability and microhardness of CAD/CAM hybrid versus feldspathic ceramic blocks: an in vitro study. *Future Dental Journal, 3*(2), 61-66.

184. Ezmek, B. and Aydın, N. (2023). Do polishing methods and colorant beverages affect the color stainability of 3D-printed permanent restorations? *Journal of Advanced Oral Research, 14*, 161-168.

185. Huang, W., Ren, L., Cheng, Y., Xu, M., Luo, W., Zhan, D., Sano, H. and Fu, J. (2022). Evaluation of the color stability, water sorption, and solubility of current resin composites. Materials, 15(19), 6710.

186. Hatamleh, M.M. and Furuse, A.Y. (2024). Bis-EMA/Bis-GMA ratio effects on resin-properties and impregnated fiber-bundles. *Dental Materials, 40*(10), 1652-1657.

187. Nam, N.-E., Shin, S.-H., Lim, J.-H., Shim, J.-S. and Kim, J.-E. (2021). Effects of artificial tooth brushing and hydrothermal aging on the mechanical properties and color stability of dental 3D printed and CAD/CAM materials. *Materials, 14*(20), 6207.

188. Büyükpolat, M., Aydın, N., Karaoğlanoğlu, S., Ersöz, B. ve Öztürk, F. (2025). Effects of different polishing systems on the surface roughness, microhardness and gloss of 3D-printed resins. *BMC Oral Health, 25*(1), 1878.

189. İnternet: Formlabs. Permanent Crowns Guide. URL: https://dental.formlabs.com/eu/indications/permanent-crowns/guide/#3950851, Son erişim tarihi: 24.03.2026.

190. Choi, M.-S., Lee, Y.-K., Lim, B.-S., Rhee, S.-H. and Yang, H.-C. (2005). Changes in surface characteristics of dental resin composites after polishing. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 16*(4), 347-353.

191. Lins, F.C.R., Ferreira, R.C., Silveira, R.R., Barros Pereira, C.N., Moreira, A.N. and Silami Magalhães, C. (2016). Surface roughness, microhardness, and microleakage of a silorane-based composite resin after immediate or delayed finishing/polishing. *International Journal of Dentistry, 2016*(1), 8346782.

192. Babina, K., Polyakova, M., Sokhova, I., Doroshina, V., Arakelyan, M. and Novozhilova, N. (2020). The effect of finishing and polishing sequences on the surface roughness of three different nanocomposites and composite/enamel and composite/cementum interfaces. *Nanomaterials*, *10*(7), 1339.

193. Yuan, J. C. C., Barão, V. A. R., Wee, A. G., Alfaro, M. F., Afshari, F. S. and Sukotjo, C. (2018). Effect of brushing and thermocycling on the shade and surface roughness of CAD-CAM ceramic restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, *119*(6), 1000-1006.

194. Jones, C.S., Billington, R.W. and Pearson, G.J. (2004). The in vivo perception of roughness of restorations. *British Dental Journal, 196*(1), 42-45.

195. Kocaağaoglu, H., Aslan, T., Gürbulak, A., Albayrak, H., Taşdemir, Z. and Gümüş, H. (2017). Efficacy of polishing kits on the surface roughness and color stability of different composite resins. *Nigerian Journal of Clinical Practice, 20*(5).

196. Gonçalves, M.A., Teixeira, V.C.F., Rodrigues, S.S.M.F.G., de Oliveira, R.S.M.F. and Salvio, L.A. (2012). Evaluation of the roughness of composite resins submitted to different surface treatments. *Acta Odontológica Latinoamericana, 25*(1), 89-95.

197. Mukhija, B., Kandaswamy, D. and Venkatesh, V. (2012). Surface roughness of a nanocomposite after finishing with three different polishing systems: a two-dimensional profilometric evaluation. *International Journal of Clinical Dentistry, 5*(4).

198. Marghalani, H.Y. (2010). Effect of finishing/polishing systems on the surface roughness of novel posterior composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 22*(2), 127-138.

199. Szczepaniak, M.E., Krasowski, M. and Bołtacz-Rzepkowska, E. (2022). The effect of various polishing systems on the surface roughness of two resin composites—an in vitro study. *Coatings, 12*(7), 916.

200. Engler, M.L.P.D., Güth, J.-F., Keul, C., Erdelt, K., Edelhoff, D. and Liebermann, A. (2020). Residual monomer elution from different conventional and CAD/CAM dental polymers during artificial aging. *Clinical Oral Investigations, 24*(1), 277-284.

201. Zhao, J., Yang, Y. and Li, L. (2020). A comprehensive evaluation for different post-curing methods used in stereolithography additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes, 56*, 867-877.

202. Ozdemir, B., Ilday, N.O., Ozdemir, S.B., Suleyman, F. and Duymus, Z.Y. (2022). The effect of erosive beverages and polishing systems on the surface properties of nanohybrid composite resin. *Nigerian Journal of Clinical Practice, 25*(3), 248-254.

203. Di Fiore, A., Stellini, E., Basilicata, M., Bollero, P. and Monaco, C. (2022). Effect of Tooth paste on the Surface Roughness of the Resin-Contained CAD/CAM Dental Materials: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(3), 767.

204. Rosentritt, M., Sawaljanow, A., Behr, M., Kolbeck, C. and Preis, V. (2015). Effect of tooth brush abrasion and thermo-mechanical loading on direct and indirect veneer restorations. *Clinical Oral Investigations, 19*(1), 53-60.

205. Hamza, B., Tanner, M., Körner, P., Attin, T. and Wegehaupt, F.J. (2021). Effect of toothbrush bristle stiffness and toothbrushing force on the abrasive dentine wear. *International Journal of Dental Hygiene, 19*(4), 355-359.

206. Weng, L., Wen, J., Cui, G., Liang, J., Pang, L. and Lin, H. (2023). Comparison of modified bass, rolling, and current toothbrushing techniques for the efficacy of plaque control - a randomized trial. *Journal of Dentistry, 135*, 104571.

207. Yapar, M.İ., Çelik, N. ve Özekin, İ.Ç. (2026). Effects of whitening toothpastes on aesthetic and mechanical properties of anterior composite restorations: a preclinical evaluation. *Applied Sciences, 16*(3), 1447.

208. Wiegand, A., Burkhard, J.P.M., Eggmann, F. and Attin, T. (2013). Brushing force of manual and sonic toothbrushes affects dental hard tissue abrasion. *Clinical Oral Investigations, 17*(3), 815-822.

209. Simões, A.C.C.D., Dionizio, A., Câmara, J.V.F., Sabino-Arias, I.T., Levy, F.M., Ventura, T.M.O., Buzalaf, N.R., Batista, T.B.D., Magalhães, A.C., Groisman, S. and Rabelo Buzalaf, M.A. (2020). Do commercial whitening dentifrices increase enamel erosive tooth wear? *Journal of Applied Oral Science, 28*, e20190163.

210. Fragapane, F., Tanner, M., Attin, T. and Wegehaupt, F.J. (2026). Effect of different dilution levels of toothpastes on the abrasive wear on enamel and dentin in in vitro studies. *Scientific Reports, 16*(1), 5073.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Şahin, Günseli Sıla

Uyruğu :T.C.

Eğitim Derecesi	**Okul/Program**	**Mezuniyet Yılı**
Uzmanlık	Gazi Üniversitesi / Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı	Devam Ediyor
Lisans	Hacettepe Üniversitesi/ Diş Hekimliği Fakültesi	2021
Lise	Nesibe Aydın Yıldızlar Lisesi	2016

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**
2023-halen	Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı	Araştırma görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Şahin G.S., Dağal Ö., Yıldırım A.Z. ‘‘Clinical Management of Soft Tissue Contours Around a Single-Tooth Implant in the Anterior Maxilla: A Case Report’’, Acta Scientific Dental Sciences, cilt. 9, sa.10, ss.72-77, 2025.



GAZİLİ OLMAK AYRICALIKTIR...