

TC
ORDU ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ



FARKLI 3D YAZICI REÇİNELERİN RENK STABİLİTESİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

UZMANLIK TEZİ

Bengisu KOCA
ORCID: 0000-0003-2040-5999

Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Serdar AKARSU

ORDU-2025

TC
ORDU ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ



FARKLI 3D YAZICI REÇİNELERİN RENK STABİLİTESİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

UZMANLIK TEZİ

Bengisu KOCA
ORCID: 0000-0003-2040-5999

Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Serdar AKARSU

ORDU-2025

ONAY

Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı uzmanlık öğrencisi Bengisu KOCA tarafından hazırlanan ve Doç. Dr. Serdar AKARSU danışmanlığında yürütülen “**Farklı 3D Yazıcı Reçinelerin Renk Stabilitesinin Karşılaştırılması**” adlı bu tez, jürimiz tarafından 30.04.2025 tarihinde oybirliği ile Uzmanlık Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Serdar AKARSU İmza

Başkan : Doç. Dr. Serdar AKARSU İmza
Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Ordu Üniversitesi

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Sultan AKTUĞ KARADEMİR İmza
Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Ordu Üniversitesi

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Samet ATASOY İmza
Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Ordu Üniversitesi

Dekan : Prof. Dr. Varol ÇANAKÇI İmza

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Arş. Gör. Dt. Bengisu KOCA

TEŞEKKÜR

Tüm uzmanlık eğitimim boyunca her konuda bilgi, birikim ve tecrübelerini benden esirgemeyen ve vizyonlu bakış açısıyla bana her zaman yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Serdar AKARSU' ya,

Uzmanlık eğitimim süresince mesleki bilgi ve tecrübelerini paylaşarak desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Serdar BAĞLAR, Dr. Öğr. Üyesi Sultan AKTUĞ KARADEMİR, Dr. Öğr. Üyesi Samet ATASOY ve Dr. Öğr. Üyesi Ebru USLU CENDER' e,

Birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum sevgili eş kıdemlilerim Arş. Gör. Zeliha Işıl METİN' e, Arş. Gör. Eda KARAARSLAN' a ve üniversite yıllarımdan bu yana beraber olduğum dostlarım Arş. Gör. Sena Nur YİĞİN ve Arş. Gör. Ayşegül KAYA' ya ve sevgili asistan arkadaşlarıma,

Uzmanlık eğitimim boyunca desteğini her zaman hissettiğim, her türlü zorlukta sabırla bana destek olan, bu tezi hazırladığım süreçte tüm nazımı çeken sevgili meslektaşım Uzm. Dt. Enes BODUR' a,

Hayatım boyunca maddi manevi desteklerini her zaman üzerimde hissettiğim, bu günlere gelmeme vesile olan ve kızları olduğum için kendimi çok şanslı hissettiğim sevgili annem Türkan KOCA' ya, sevgili babam Meftun KOCA' ya ve birtanecik abim Bükeyhan KOCA' ya sonsuz teşekkür ederim.

Arş. Gör. Dt. Bengisu KOCA

ÖZET

FARKLI 3D YAZICI REZİNLERİN RENK STABİLİTELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Amaç: Bu çalışmanın amacı iki farklı 3 boyutlu yazıcı rezin, bir CAD/CAM rezin nanoseramik blok ve bir nanohibrit kompozit rezinin uzun dönem kahve solüsyonunda bekletildikten sonra renk stabiliteelerini karşılaştırmaktır.

Gereç ve Yöntem: Bu çalışmada rezin nanoseramik CAD/CAM blok (Grup CS, Cerasmart, GC Europe), nanohibrit kompozit rezin (Grup CME, Clearfil Majesty Esthetic, Kuraray) ve iki farklı 3 boyutlu yazıcı rezini (Grup VS, VarseoSmile Crown plus, BEGO ve Grup CT, Crowntec (CT, Saremco), SaremcoDental AG) kullanıldı. Her materyalden 8 mm çapında 2 mm kalınlıkta 20 numune olmak üzere toplam 80 disk şeklinde numune hazırlandı. Numuneler 30 gün boyunca her gün 45 dakika kahve solüsyonunda bekletildi. Kahve solüsyonu her gün yenisiyle değiştirildi. Numuneler günün geri kalanında distile suda bekletildi. Renk değişimi aynı gözlemci tarafından spektrofotometre (VITA Easyshade® Advance V, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) ile 1.gün, 7.gün, 14.gün ve 1.ay sonunda kaydedildi. Renk farklılığını belirlemede CIEL*a*b* renk sistemi kullanıldı. Veriler one way ANOVA istatistiksel analiz ile değerlendirildi. Post hoc testi olarak Tukey testi kullanıldı. p anlamlılık değeri <0.05 kabul edildi.

Bulgular: 30.günün sonunda, en az renk değişikliği Grup VS ($\Delta E=4.69$)’de bulunurken, en fazla renk değişimi Grup CS ($\Delta E=5.60$)’deydi. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktu ($p=0.69$).

Sonuçlar: 3B yazıcı rezinlerin renk değişikliği, CAD/CAM nanohibrit seramik bloklar ve kompozit rezinle benzerdi. Ancak tüm gruplarda renk değişimi klinik olarak kabul edilir değerin üzerindeydi ($\Delta E>1.8$). 3 boyutlu yazıcılar ve eklemeli imalat rezinleri için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: 3B yazıcı, CAD/CAM, kompozit rezin, renklenme

ABSTRACT

COMPARISON OF COLOR STABILITY OF DIFFERENT 3-D PRINTED RESINS

Aim: The aim of this study was to compare the color stability of two different 3D printing resin blocks, a CAD/CAM resin nanoceramic block and a nanohybrid composite resin after long-term exposure to coffee.

Material and Method: Resin nanoceramic CAD/CAM block (Group CS, Cerasmart, GC Europe), resin composite (Group CME, Clearfil Majesty Esthetic, Kuraray), and two different 3D printing resins (Group VS, VarseoSmile Crown plus, BEGO and Group SC, Crowntec (CT,Saremco), SaremcoDental AG) were used in this study. A total of 80 disk-shaped samples were prepared, 20 samples of each material with a diameter of 8 mm and a thickness of 2 mm. The samples were immersed in coffee solution for 45 minutes each day for 30 days. The coffee solution refreshed every day. The samples were kept in distilled water for the rest of the day. Color change was recorded by the same observer with a spectrophotometer (VITA Easyshade® Advance V, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) at the end of day 1, week 1, week 2 and month 1. CIELa*b* color system was used to determine color difference. Data were evaluated with one-way ANOVA statistical analysis. Tukey tests was used as post hoc tests. p significance value was accepted as <0.05.

Results: At the end of day 30, the least color change was found in Group VS ($\Delta E=4.69$), while the most color change was in Group CS ($\Delta E=5.60$). There was no statistically significant difference between the groups ($p=0.69$).

Conclusions: The color change of 3D printed resins was similar to CAD/CAM nanohybrid ceramic CAD/CAM blocks and composite resin. However, the color change in all groups was above the clinically acceptable value ($\Delta E>1.8$). More studies are needed for 3D printers and additive manufacturing resins.

Keywords: 3D printer, CAD/CAM, composite resin, staining

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ.....	I
TEŞEKKÜR	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ	IX
FORMÜLLER DİZİNİ.....	X
SİMGE VE KISALTMALAR.....	XI
1.GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Kompozit Rezinlerin Tarihçesi	4
2.2. Kompozit Rezinlerin İçeriği.....	4
2.2.2. İnorganik/Organik Doldurucular.....	6
2.2.3. Ara Bağlayıcılar	6
2.3. Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması	7
2.3.1. Doldurucu Partikül Boyutuna ve Yüzdesine Göre.....	7
2.3.2. Doldurucu Şekillerine Göre	8
2.3.3. Polimerizasyon Yöntemlerine Göre.....	10
2.3.4. Viskozitelerine Göre	11
2.5. GÜNCEL KOMPOZİT REZİNLER	12
2.5.1.Ormoserler	12
2.5.2.Self Adeziv Kompozit Rezinler	13
2.5.3.Giomerler	13
2.5.4. Bulk fill Kompozit Rezinler.....	14
2.5.5. Antibakteriyel Kompozit Rezinler	14
2.5.6. Hibrit Kompozitler.....	15
2.5.7. Siloran Esaslı Kompozitler	15
2.5.8. Nanokompozitler.....	16
2.5.9. Fiberle Güçlendirilmiş Kompozit Rezinler	16
2.5.10. Smart (Akıllı) Kompozit Rezinler.....	17
2.5.11. Monokromatik (Tek Renk) Kompozit Rezinler	17
2.6.1. Eksiltmeli İmalat Teknikleri	18

2.6.2. Eklemeli İmalat Teknikleri	20
2.7.DİŞ HEKİMLİĞİNDE RENK	28
2.7.1. Renk Analiz Sistemleri	29
2.7.2. Renk Ölçüm Şekilleri.....	31
2.7.3. Restoratif Materyallerde Renk Değişikliği	33
3. GEREÇ VE YÖNTEM	35
3.1. Çalışmada Kullanılan Rezin Restoratif Materyaller ve Cihazlar	35
3.2.1. 3B Yazıcı ile Yazdırılabilen Numunelerin Hazırlanması	37
3.2.2. CAD-CAM ile Üretilabilen Numunelerin Hazırlanması (Grup CS).....	43
3.3. Numunelerin Başlangıç Renk Ölçümlerinin Yapılması.....	47
3.4. Numunelerin Kahvede Yaşlandırılması	47
3.5. Renk Farklılığının Hesaplanması.....	51
4.BULGULAR	53
5. TARTIŞMA.....	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
7. KAYNAKÇA.....	71
8.ÖZGEÇMİŞ.....	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 2.1: Bis-GMA monomerinin kimyasal yapısı.....	4
Şekil 2.2: TEG-DMA monomerinin kimyasal yapısı	5
Şekil 2.3: UDMA monomerinin kimyasal yapısı	5
Şekil 2.4: Bis-EMA monomerinin kimyasal yapısı	5
Şekil 2.5: D3MA monomerinin kimyasal yapısı (Siang Soh et al., 2006).....	5
Şekil 2.6: Silan.....	7
Şekil 2.7: Doldurucuların Şekillerine Göre Sınıflandırması (Liu vd., 2021)	9
Şekil 2.8: VAT Fotopolimerizasyon Mekanizmasıyla Çalışan Baskı Yöntemleri (Caussin et al., 2024).....	22
Şekil 2.9: LCD (mSLA) Baskı Şeması (Junk & Bär, 2023)	25
Şekil 2.10: DLP Baskı Şeması (Pagac vd., 2021).....	26
Şekil 2.11: Munsell Renk Sistemi (Cochrane, 2014).....	29
Şekil 2.12: VITA Classic Renk Kılavuzu	32
Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan Phrozen Sonic Mini 8K yazıcı.....	39
Şekil 3.2: Yapı platformundaki numunelerin baskı oryantasyon yönleri.....	39
Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan VarseoSmile Crown plus rezin	40
Şekil 3.4: Çalışmada kullanılan yıkama cihazı.....	40
Şekil 3.5: Çalışmada kullanılan post-kürleme cihazı (Phrozen Cure, Phrozen 3D, Hsinchu City, Tayvan).....	41
Şekil 3.6: Çalışmada kullanılan Crowntec (CT, Saremco) rezin	43
Şekil 3.7: Çalışmada kullanılan kazıma cihazı (Ceramill Motion 2; Amann Girrbaach, Austria).....	44
Şekil 3.8: Cerasmart (GC,Europe) CAD/CAM blok.....	44
Şekil 3.9: Kazıma cihazına yerleştirilen Cerasmart CAD/CAM blok.....	45

Şekil 3.10: Çalışmada kullanılan hassas kesme makinesi (Microtome, Mecatome T180, Fransa)	45
Şekil 3.11: Çalışmada kullanılan elmas disk hassas kesim bıçağı (Isomet wafering blades, Buehler, IL, USA).....	46
Şekil 3.12: Clearfil Majesty Esthetic Kompozit (Kuraray,Japonya)	46
Şekil 3.13: Çalışmada kullanılan polisaj lastikleri (Clearfil Twist Dia, Kuraray, Japonya)	47
Şekil 3.14: Çalışmada kullanılan çözünebilir kahve (Nescafe Classic, Nestle, Switzerland)	48
Şekil 3.15: Kahvede renklendirilmiş VarseoSmile (BEGO) numuneler.....	48
Şekil 3.16: Kahvede renklendirilmiş Crowntec (CT, Saremco) Numuneler	49
Şekil 3.17: Kahvede renklendirilmiş Cerasmart (GC, Europe) bloktan elde edilen numuneler.....	49
Şekil 3.18: Kahvede renklendirilmiş Clearfil Majesty Esthetic Numuneler	50
Şekil 3.19: Vita EasyShade Renk Ölçüm Cihazı.....	51
Şekil 4.1: Rezin Restoratif Materyallerin Ortalama 30 Gün Boyunca ΔE Değerleri.....	54

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No:

Tablo 2.1: Eklemeli İmalat Tekniklerinin Çalışma Prensiplerine Göre Sınıflandırması (Caussin vd., 2024).....	22
Tablo 3.1: Çalışmada Kullanılan Rezin Restoratif Materyaller ve İçerikleri ...	36
Tablo 3.2: Çalışmada Kullanılan Cihazlar	37
Tablo 3.3: 3B Baskı Cihazının Teknik Özellikleri.....	38
Tablo 3.4: Yıkama Cihazının Teknik Özellikleri	41
Tablo 3.5 Post-kürleme UV Lambası Teknik Özellikleri	42
Tablo 4.1: 4 Farklı Rezin Materyalin 30 gün Boyunca ΔE Değerlerinin Ortalamaları ve Standart Sapmalarının Karşılaştırılması.....	54

FORMÜLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Formül 3.1: CIEDE2000 Formülü..... 51



SİMGE VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
<	: Küçük
>	: Büyük
°C	: Santigrat derece
a*	: CIE Renk Sistemi, kırmızı-yeşil koordinatı
ACP	: Amorf Kalsiyum Fosfat
3B	: 3 boyutlu
3D	: Üç boyutlu (three-dimensional)
3DP	: Tree-dimensional printer (3 boyutlu yazıcı)
b*	: CIE Renk Sistemi, sarı-mavi Koordinatı
BHT	: Bütilenmiş hidroksitoluen
BisEMA	: Etoksi bisfenolA dimetakrilat
BisGMA	: Bisfenol glisidil metakrilat
BJ	: Binder jetting
BPO	: Benzoyl peroksit
CAD/CAM	: Computer aided design/ computer aided manufacturing
CIE	: Commission International De l'Eclairage
CLAD	: Continuous Laser Additive Deposition (Sürekli Lazer Destekli Biriktirme)
cm	: Santimetre
CME	: Clearfil Majesty Esthetic
CO₂	: Karbondioksit
CP	: Konvansiyonel Polisaj
CS	: Cerasmart

CT	: Crowntec
D₃MA	: Dekanediylol dimetakrilat
DL	: Dextrorotatory/Levorotatory (Işığı sağa ve sola döndüren izomerler)
DLP	: Digital Light Processing
DMD	: Digital micromirror device
DUP	: Dual Wavelength Photopolymerization (Çift Dalga Boylu Fotopolimerizasyon)
EBF₃	: Electron Beam Free Form Fabrication
EBM	: Electron Beam Melting
FDM	: Fused Deposition Modelling
γ	: Gama
γ-MPTS	: γ-metakriloksipropiltrimetoksisilan
HAP	: Hidroksiapatit
HEMA	: 2-hidroksietil metakrilat
IPA	: İzopropil alkol
K_C	: Doygunluk düzeltme katsayısı
K_g	: Kilogram
K_H	: Renk tonu düzeltme katsayısı
K_L	: Parlaklık düzeltme katsayısı
KRR	: Koruyucu Rezin Restorasyon
L*	: CIE sistemi Renk Değeri Koordinatı (Parlaklık)
L	: Litre
LCD	: Liquid crystal display
LED	: Light-emitting diode
LMD	: Laser Metal Deposition

LOM	: Laminated Object Manufacturing
MDPB	: 12-metakriloksidodesilpiridinyum bromür
MEHQ	: Hidrokinon monometil eteri
MJ	: Material jetting
MJM	: Multi jet modelleme
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
mSLA	: Maskeli stereolitografi
mW	: Milliwatt
nm	: Nanometre
OG	: Optiglaze
OLP	: Ölü Piksel (Dead Pixel)
P	: Anlamlılık değeri
PEEK	: Polietereterketon
Pekkton	: Poliarileterketon
pH	: potansiyel Hidrojen
PICN	: Polimer infiltre seramik ağ
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PRG	: Önceden reaksiyona girmiş cam dolgu parçacıkları (Pre-reactive glass)
S-PRG	: Yüzeysel önceden reaksiyona girmiş cam iyonmer (Surface pre-reactive)
F-PRG	: Tam önceden reaksiyona girmiş cam iyonmer (Full pre-reactive glass)
PSL	: Projection-based stereolithography
Ra	: Yüzey pürüzlülüğü

RCN	: Rezin nanoseramik
RGB	: Red/Green/Blue
R_T	: Rotasyon terimi
SD	: Standard Deviation (Standart Sapma)
SL vektörü	: Stereolitografi vektörü
SLA	: Stereolitografi
SLM	: Selective Laser Melting
SLS	: Selective Laser Sintering
S-PRG	: Surface pre-reacted glass ionomer (Önceden reaksiyona girmiş cam iyonomer)
SPSL	: Scanning- projection based stereolithography
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı)
SSL	: Scanning- based stereolithography
TEGDMA	: Trietilen glikol dimetakrilat
TPO	: Trimetilbenzoyl-difenilfosfin oksitin
UDMA	: Üretan dimetakrilat
USA	: United States of America
UV	: Ultraviyole
VA	: Vita Akzent
VCD	: Variable Change Dump (Değişken Değer Değişim Kaydı)
VPP	: VAT Fotopolimerizasyon
VS	: Varseosmile
W	: Güç birimi
WAAM	: Wire and Arc Additive Manufacturing
Δ	: Delta

- Δa** : Kırmızı-yeşil skalasındaki renk farkı
- Δb** : Sarı-mavi skalasındaki renk farkı
- $\Delta C'$** : Algısal doygunluk farkı (Chroma difference)
- ΔE** : Renk değişikliği
- $\Delta H'$** : Algısal renk tonu farkı (Hue difference)
- $\Delta L'$** : Algısal parlaklık farkı (Lightness difference)
- μm** : Mikrometre
- $\pm$ işareti** : Artı eksi



1.GİRİŞ

Kompozit rezinler restoratif tedavilerde en yaygın kullanılan materyallerden biri haline gelmiştir. Estetik özellikleri, uygulama tekniği ve bileşimde zaman içinde iyileştirmeler yapılmıştır (AlSheikh vd., 2024). Bileşiminde son teknolojilerle beraber yapılan iyileştirmelere rağmen uzun klinik kullanımda görülen renklenme sorunu klinik araştırmaların popüler konusu durumundadır (Jefferies, 2007). Restorasyon materyalinin kürlenmeden önce ve tamamen kürlendikten sonra, restorasyonun ömrü boyunca diş yapısıyla renk uyumunun iyi olması önemli bir klinik faktördür. Restorasyonlardaki renk farklılıkları restorasyon yenilemelerinin birincil nedenidir (Um & Ruyter, 1991; Yannikakis vd., 1998). Aynı zamanda cilalı yüzey dokusu ve parlaklık genel estetik sonuca önemli ölçüde katkıda bulunur. Bu nedenle restorasyonların pürüzsüz yüzeylere sahip olması estetik açıdan çok önemlidir. Eskiden kompozitler sadece ön dişlerin restorasyonunda tavsiye edilirken, günümüzde uyumu iyi ve asit ile kombine edilen dolguların ortaya çıkmasıyla ön dişler kadar arka dişlerin restorasyonunda da tercih edilir olmuştur (Maloo vd., 2022).

Restoratif materyallerin renk stabilitesini çeşitli faktörler etkileyebilir. Kahve, çay, şarap, nikotin, boyayıcı diğer içecek ve yiyecekler gibi dışsal etmenlerin materyal üzerine yapışması veya sızması yoluyla renklenme meydana gelebilir. Bu durum materyalin yüzey pürüzlülüğü ve materyale uygulanan polisaj teknikleri ile ilişkilidir (Gaintantzopoulou vd., 2005). Renklenmeye neden olan dış etkenlere maruziyet süresinin artışıyla renk değişimi doğru orantılıdır (Faris vd., 2023). Bu nedenle restoratif materyalin renk değişimlerine karşı direnç göstermesi gerekir.

İndirekt teknikle üretilen restorasyonlar, direkt teknik ile elde edilen restorasyonlara göre daha sağlam ve hassastır (Park vd., 2016; Shamseddine vd., 2016). İndirekt restorasyonlar laboratuvar ortamındaki ısı, ışık ve basınç uygulayan fırınlar sayesinde direkt restorasyonlara nazaran daha iyi ve kontrollü polimerizasyon oranına sahiptir. Bu durum monomer-polimer dönüşüm oranını arttırarak renklenmeyi etkileyen artık monomer miktarını azaltacaktır (Boaro vd., 2010). Aynı zamanda polimerizasyon büzülmesinin ağız dışı ortamda gerçekleşmesi de birçok avantajı beraberinde getirir (Dejak & Młotkowski, 2015).

Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretimin diş hekimliğine girdiği günden bu yana, dijital dental ürünleri üretmek için çok sayıda yeni yöntem geliştirildi (Duret & Preston, 1991). Günümüzde CAD/CAM üretim yöntemleri, çıkarmalı üretim ve son dönemlerde kullanım sıklığı artan eklemeli üretim olmak üzere 2 ana başlıkta incelenebilir (Moon vd., 2022). Eksiltmeli üretimde kullanılan bloklar; güçlendirilmiş polimer, kompozit rezin, metal ve seramik yapıda olabilirler (Sulaiman, 2020). Eksiltmeli teknikte kullanılan freze takımlarının boyutları ve frezeleme hareketlerinin aralığı bazı sınırlamalara neden olmaktadır (Koch vd., 2016). 1981 yılında Kodama'nın tanıttığı ve bu sınırlamaları ortadan kaldıran 3B baskı sistemi, karmaşık şekillere sahip yapıları tabaka tabaka inşa ederek 3 boyutlu modellerini oluşturur (Kodama, 1981; Hull, 1984). Aynı zamanda bu teknik eksiltmeli üretimdeki yüksek maliyetli frez ve bloklara ihtiyacı ortadan kaldırarak ekonomik bir avantaj da getirmektedir (Moon vd., 2022). Dental 3B yazıcılar aynı anda birden fazla restorasyon basabilirken, frezeleme aynı anda yalnızca bir restorasyon üretebilir (Daher vd., 2024). Aynı zamanda kullanılan rezinlerin onarılması daha kolaydır ve karşıt diş dokularında daha az aşınmaya neden olurlar (Sasany vd., 2024). 3B baskı bu avantajlarıyla birlikte; diş modelleri hazırlanması (Ngo vd., 2018), cerrahi rehber modeller, iskele üretimi (Shuai vd., 2021; Xu vd., 2022), endodonti (Anderson vd., 2018; Shah & Chong, 2018), ortodonti (Cousley, 2020; Goracci vd., 2023), hareketli protezler, geçici kronlar, inley, onley, overlay, tam kron ve veneer gibi indirekt restorasyonlar ve implantasyon süreci (Ngo vd., 2018) gibi diş hekimliğinin farklı alanlarında kullanılmaktadır.

Kahve, tadı ve uyarıcı etkileri sebebiyle dünya çapında sık tüketilen içeceklerden biridir. Kökeni Etiyopya'da 1000 yıldan fazla bir süre öncesine dayanan kahve, evrensel bir ürün haline gelerek dünyanın her yerindeki insanlar için günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası olmuştur (Mehari vd., 2021). Seviyeli kahve tüketiminin Tip 2 diyabet ve Parkinson gibi belirli hastalık risklerini azalttığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Salazar-Martinez vd., 2004; Sääksjärvi vd., 2008). Kahve tüketiminin dişlerde oluşturabileceği renklenme olası dezavantajlarından biridir. Renk değişikliği süreci oldukça karmaşıktır ve birden fazla bileşenin bir sonucu olarak meydana gelir. Bunlardan biri kromojen adı verilen, diş minesine yapışarak belli bir süre sonra gözle görülür lekelerle sebep olabilen pigmentlerdir. Ayrıca kahvenin yapısındaki asitler, diş minesini aşındırır ve diş renklenmeye daha duyarlı hale gelir (Kim vd., 2024).

Bu çalışmanın amacı rezin nanoseramik CAD/CAM blok, nanohibrit kompozit rezin ve iki farklı 3B yazıcı rezinin günlük yenilenen kahve solüsyonunda bekletilmesiyle oluşan renk değişiminin in vitro olarak incelenmesidir. Çalışmanın sıfır hipotezi materyal tipinin renklenmeyi etkilemeyeceğiydi.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Rezinlerin Tarihçesi

Kompozit rezinler dental restorasyonlarda en çok tercih edilen materyallerden biridir. Yaklaşık 50 yıldır diş hekimliğinin birçok alanında kullanılmaktadır. Kompozit rezinler önceki dental materyallerin bazı dezavantajlarını ortadan kaldırmıştır. Diş dokularıyla güçlü bir kimyasal bağ kurarak doğal diş dokularının korunmasına fayda sağlar. Akrilat esaslı gelişimi ve diş hekimliğine girişi 1950 yılının sonlarına dayanmaktadır (Zhou vd., 2019).

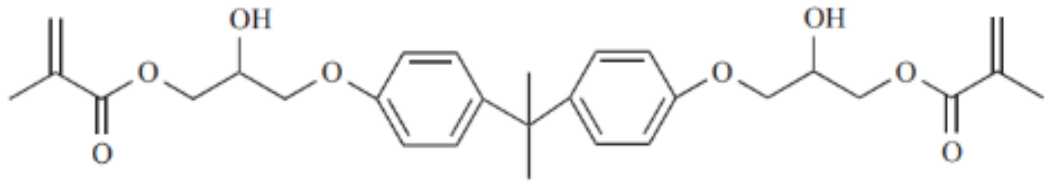
2.2. Kompozit Rezinlerin İçeriği

Kompozit rezinler 3 ana komponentten oluşmaktadır:

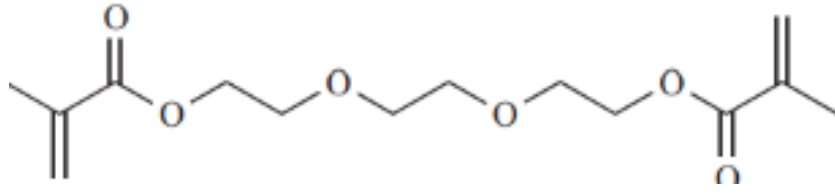
- Organik Rezin Matriks
- İnorganik/Organik Doldurucular
- Ara Bağlayıcılar

2.2.1. Organik Rezin Matriks

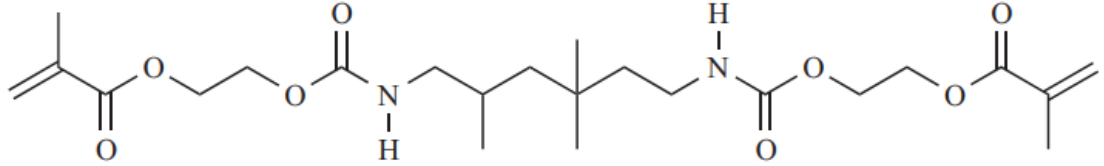
Bu faz multifonksiyonel monomerlerden ve başlatıcılardan oluşmaktadır. Organik matriks fazı diş hekimliğinde kullanılan kompozitlerin ana yapısını oluşturmaktadır. Güncel materyallerde görünür ışıkla başlatılan serbest radikal polimerizasyonu ile üretilirler. Bu faz doldurucuları içeren ve bağlayan fotopolimerize üç boyutlu sistemden oluşur. Bis-GMA (Şekil 2.1), TEGDMA (Şekil 2.2), UDMA (Şekil 2.3), Bis-EMA (Şekil 2.4), D₃MA (Şekil 2.5) ve HEMA en çok kullanılan baz monomerlerdir (Cho vd., 2022).



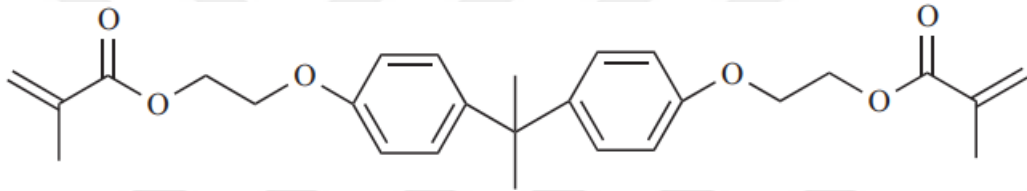
Şekil 2.1: Bis-GMA monomerinin kimyasal yapısı



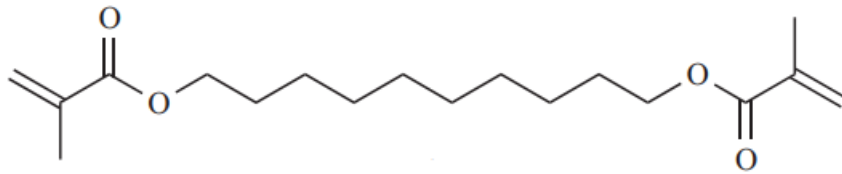
Şekil 2.2: TEG-DMA monomerinin kimyasal yapısı



Şekil 2.3: UDMA monomerinin kimyasal yapısı



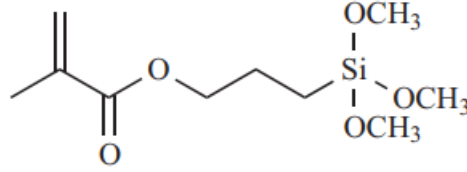
Şekil 2.4: Bis-EMA monomerinin kimyasal yapısı



Şekil 2.5: D3MA monomerinin kimyasal yapısı (Siang Soh et al., 2006)

Aromatik monomer Bisfenol A glisidil dimetakrilat (Bis-GMA), çoğu kompozit rezinin ana bileşenidir. Bis-GMA düşük polimerizasyon büzülmesi ve yüksek mekaniksel özellikler göstermektedir. Dönüşüm derecesini düşüren yüksek bir viskoziteye sahiptir ve bu viskozite fiziksel özelliklerini iyileştirmek için dolgu maddelerinin eklenmesini zorlaştırmaktadır. Trietilenglikol dimetakrilat (TEGDMA) ve üretan dimetakrilat (UDMA) gibi daha düşük viskozitedeki monomerler dönüşüm derecesini uygun hale getirmek için BisGMA'ya eklenmektedir. TEGDMA ve UDMA seyreltici olarak işlev görürler ve uzun alkil zincirleri nedeniyle BisGMA'dan daha

bağlayıcı ajanlarla modifiye edilmesini gerektirmektedir (Wang vd., 2021). Kullanılan en tipik ara bağlayıcı γ -metakriloksipropiltrimetoksisilandır (γ -MPTS). Moleküllerin bir ucu silika partiküllerinin hidroksil gruplarına bağlanırken, diğer ucu organik matrikse kopolimerize olur. Doldurucu-inorganik matriks arayüzündeki başarısız bağlantı, stres altında oluşan gerilimlerin materyal boyunca düzensiz dağılımına sebep olur ve kompozitte kırılmalara neden olabilir (Siang Soh vd., 2006).



Şekil 2.6: Silan

2.3. Kompozit Rezinlerin Sınıflandırılması

2.3.1. Doldurucu Partikül Boyutuna ve Yüzdesine Göre

2.3.1.1. Megafil

Aşınma direncini arttırmak için rezin kompozitlere büyük cam beta-kuvars parçacıkları eklenebilir. Megafil partiküllerin ortalama çapları 0,5 ila 2 mm arasındadır (Bayne & Swift Jr, 1994).

2.3.1.2. Makrofil Dolduruculu Rezin Kompozit

Bu kompozitler ortalama çapları 0.1 ila 100 μ m olan (Chaudhary vd., 2023) büyük küresel veya düzensiz şekilli partiküllerden oluşur. Opak ve aşınma dirençleri düşük kompozitlerdir (Yap vd., 2004).

2.3.1.3. Mikrofil Dolduruculu Rezin Kompozit (0.01 -0.05 μ m) (Chaudhary vd., 2023)

2.3.1.4. Hibrit Rezin Kompozit

Hibrit kompozitlerin içeriğinde ortalama çapları 0.01 ila 20 μ m olan partiküller bulunur (Chaudhary vd., 2023). Klinik olarak iyi fiziksel özelliklere sahiptirler. Ancak zamanla yüzeyleri pürüzlü hale gelir (Yap vd., 2004).

2.3.1.5.Mikrohibrit

Çapları daha küçük ince partiküller (0,04 ila 1 µm) mikro ince silika partikülleriyle karıştırılır. Mikrohibrit kompozitler hacimce %60 ila %70 oranında doldurucu içerir. Doldurucunun yoğunluğuna bağlı olarak bu ağırlıkça %77 ila %84 e karşılık gelmektedir. Yüksek aşınma direnci ve mekanik özellikler gösterdikleri için, hibrit kompozitlerle beraber stresin yüksek olduğu bölgelerin restorasyonunda kullanılabilirler (Yap vd., 2004).

2.3.1.6.Nanofill

Rezin matriks boyunca 1 ila 100 nm çapında partiküller bulunmaktadır. Nanofil esaslı kompozitlerden ilk kez 1990'ların başında bahsedilmiştir (Bayne vd., 1994). Ancak piyasaya çıkarılan ilk ürün olan Filtek Supreme (3M-ESPE) 2002'nin sonlarına denk gelmektedir (Yap vd., 2004).

2.3.1.7. Nanohibrit Rezin Kompozit (20-1400 nm) (Chaudhary vd., 2023)

Nanohibrit rezin kompozitlerde ortalama 20 ila 1400 nm çapta doldurucular bulunmaktadır. Nanofil ve nanohibrit yapıdaki kompozitler mikrohibrit kompozitlerden daha iyi fiziksel özellikler göstermişlerdir (García vd., 2006).

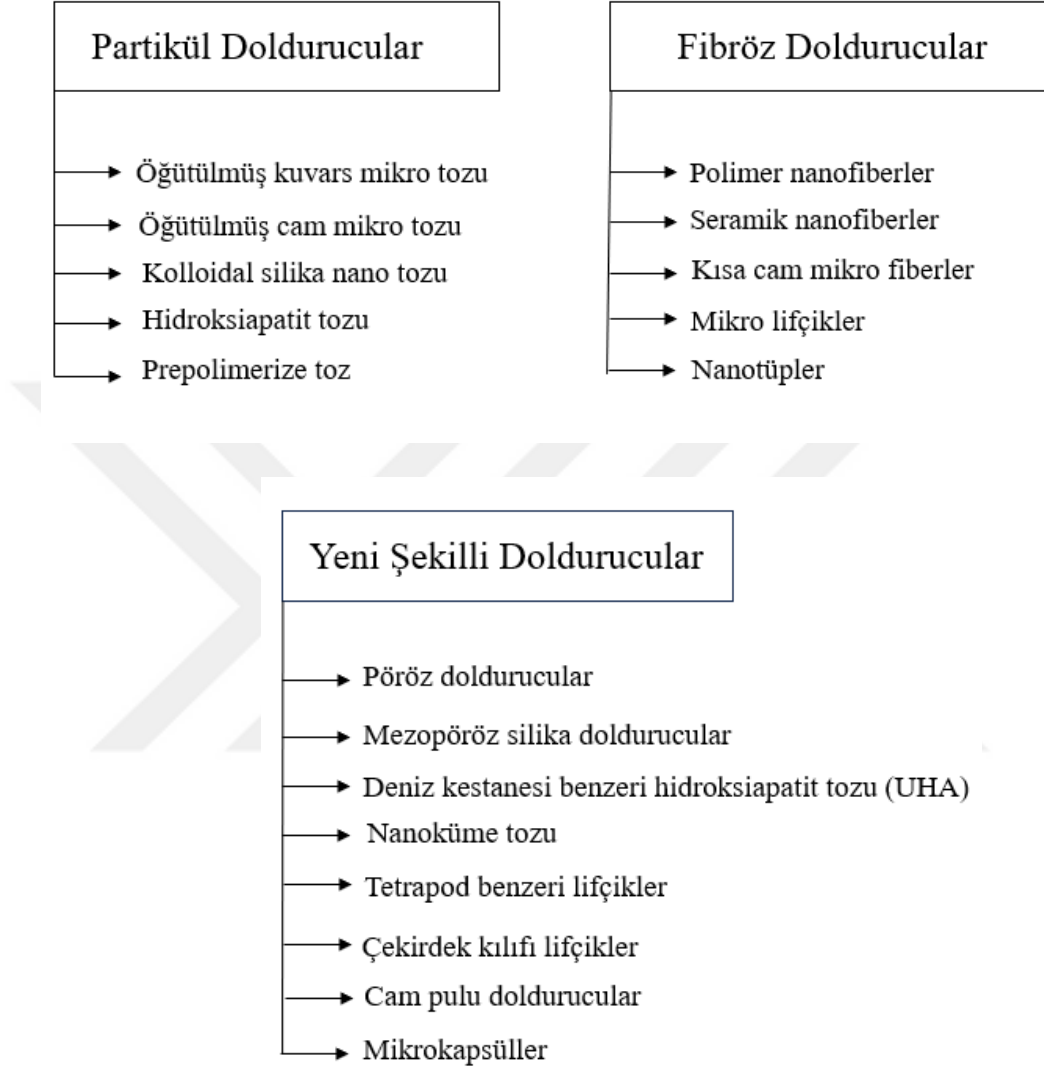
2.3.1.7.Nanohibrit (0.01 ~ 1 µm)

Nanometre boyutunda partikül eklenmiş büyük parçacıklardan (0.4-5 µm) oluşan kompozitlerdir. Tamamen nano boyutlu partiküllerden oluşmadığı için hibrit ürünlerdir (Sakaguchi & Powers, 2011) .

2.3.2. Doldurucu Şekillerine Göre

Doldurucular şekillerine göre, uzunluk/kesit oranının esas alındığı partikül doldurucular ve fibröz doldurucular ile uzunluk/kesit oranı doğru belirlenemeyen yeni ve özgün şekillere sahip doldurucular olarak 3 ana sınıfa ayrılabilir. Partikül doldurucular, uzunluk/kesit oranı 10 veya 10'dan küçük dolduruculardır. Bunlar; öğütülmüş kuvars mikro tozu, öğütülmüş cam mikro tozu, kolloidal silika nano tozu, hidroksiapatit tozu ve prepolimerize tozdan oluşur. Fibröz doldurucular ise uzunluk/kesit oranı 10'dan büyük dolduruculardır. Bunlar; polimer nanofiberler, seramik nanofiberler, kısa cam mikrofiberler, mikro lifçikler ve nanotüplerden oluşur. Yeni şekillere sahip dolduruculara ise pöröz doldurucular, mezopöröz doldurucular ve

tetrapod benzeri lifçikler örnek verilebilir. Doldurucuların şekillerine göre sınıflandırması Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7: Doldurucuların Şekillerine Göre Sınıflandırması (Liu vd., 2021)

Fiberler

Enine kesiti 250 µm'den az olan ve genellikle uzunluk/kesit çapı 100 veya daha fazla bir boyut oranına sahip olan uzamış homojen materyallerdir (Safwat vd., 2021). Whisker yani lifçik olarak bilinen fiberlerin ve kısa fiberlerin uzunluk/kesit oranı 100'den azdır. Cam fiberler silika ile benzer kırılma indeksine sahiptir ve kompozitlerde sık kullanılmaktadırlar (Khan vd., 2015; Vallittu, 2015).

Nanofiberler

Whiskerler (Lifçikler)

Çapı 5 nm ile 1 µm arasında değişir ve uzunluğu 10–200 µm aralığındadır. Seramik lifçikler, kompozitlerin eğilme direncini ve dayanıklılığını arttırmak amacıyla son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Elfakhri vd., 2022).

Nanotüpler

Uzunluk/kesit oranı yüksek içi boş fibröz dolduruculardır. Fiberlere benzer sertlik özellikleri vardır (Elfakhri vd., 2022).

Pöröz Doldurucular

Pöröz doldurucu bulunan rezinlerde, rezin matriks pöröz alanlara nüfuz ederek rezin matriks-doldurucu arayüzündeki mikromekanik bağlantıyı artırır (Elfakhri vd., 2022). Bu sayede rezinin aşınma direnci ve eğilme direnci artar. Yetersiz karıştırma veya viskozitenin yüksek oluşu rezin matriksin pöröz yapıya penetrasyonunu zorlaştırabilir (Rapp vd., 1998; Jandt vd., 2002; Ruddell vd., 2002). Gözeneklerin büyüklüğünü ve düzgünlüğünü kontrol etmek adına mezopöröz silika doldurucular geliştirilmiştir (Wang vd., 2017). Mezopöröz doldurucuların doldurucu/organik matriks arayüzünün bağlantısını iyileştirerek kompozitin mekanik özelliklerini geliştirdiği izlenmiştir (Samuel vd., 2009).

2.3.3. Polimerizasyon Yöntemlerine Göre

2.3.3.1. Otopolimerizan Kompozit Resinler (Kimyasal Polimerizasyon)

Bir self-cure kompozit genellikle iki patlı sisteme dayanır (Williams vd., 1990). Günümüzde çoğu self-cure kompozit direkt restorasyon materyali yerine rezin esaslı yapıştırıcı siman veya çekirdek materyali olarak kullanılmaktadır (Eliades vd., 2005). Çoğu self-cure kompozitte, BPO içerikli bir katalizör ve üçüncül amin içeren bir hızlandırıcı bazdan oluşur. BPO gerçekte bir katalizör değil, kimyasal başlatıcıdır (Eliades vd., 2005). Ayrıca klinisyene çalışma süresi sağlamak amacıyla bu kompozitlere düşük oranda inhibitör de eklenebilir (Williams vd., 1990; Van Landuyt vd., 2007). İnhibitörlere örnek olarak bütillenmiş hidroksitoluen (BHT) ve hidrokinon monometil eteri (MEHQ) verilebilir (Ođian, 2004; Van Landuyt vd., 2007).

2.3.3.2. Fotopolimerizan Kompozit Rezinler

Restoratif materyallerin kontrol edilebilirliği amacıyla fotopolimerizan kompozitler geliştirildi (Williams vd., 1990). Başlatıcı olarak kamforokinon/amin veya alternatif olarak Lucirin TPO kompleksi kullanılır (Sun & Chae, 2000; Neumann vd., 2006; Kwon vd., 2012). Bu tip materyallerin polimerizasyonu içeriğindeki dimetakrilat monomerlerinin görünür ışık veya UV ışık ile uyarılarak yüksek oranda çapraz bağlı polimer oluşturmaya dayanmaktadır. Bu reaksiyon başlatma, yayılma ve sonlandırma olmak üzere üç adımdan oluşur (Kloosterboer, 1988; Anseth vd., 1995; Lovell vd., 2001; Bowman & Kloxin, 2008). Uyarılmış molekül ayrışarak diğer moleküllerle etkileşime girer ve monomerlerin hızlı polimerizasyonunu sağlayan radikaller oluşturur (Minges, 1989; Williams vd., 1990; Odian, 2004).

Fotopolimerizan kompozitlerin polimerizasyon öncesi materyalin kaviteye yerleştirilmesi ve manipülasyonu için klinisyene yeterli zamanı sağlaması en büyük avantajlarından biridir (Cramer vd., 2011).

2.3.3.3. Dual-cure Kompozit Rezinler

Dual- cure kompozitler otopolimerizan kompozitler gibi bir katalizör (başlatıcı) ve baz (hızlandırıcı) olmak üzere iki pattan oluşur. Ancak ilave olarak baz patında görünür ışıkla aktive olabilen kamforokinon/amin fotobaşlatıcı sistem bulunmaktadır (Feng & Suh, 2006a, 2006b). Kimyasal polimerizasyon iki patın karıştırılmasıyla başlar ve materyal bu süreçte herhangi bir zamanda ışıkla polimerize edilebilir (Feng & Suh, 2006a).

2.3.4. Viskozitelerine Göre

2.3.4.1. Kondanse Edilebilen Kompozitler

Bu kompozitler amalgama benzer bir his sağlamak ve aproksimal kontakta daha kolay restorasyonu amacıyla visküz üretilmiştir. Yüksek viskozite ve kondenzasyona direnç sebebiyle matris bandı bir miktar yanal yer değiştirebilir. Ancak artan viskozite, uygun marjinal adaptasyonu zorlaştırır. Bu sebeple çoğu klinisyen marjinal adaptasyonu sağlamak amacıyla önce akışkan kompozit uygulamaktadırlar (Heymann vd., 2012).

2.3.4.2. Akışkan Kompozitler

Akışkan kompozitler geleneksel kompozitlere göre %20 ila %25 oranında daha az doldurucu içeren düşük viskoziteli rezin kompozitlerdir (Bayne vd., 1998). Bu kompozitler daha az doldurucu oranıyla yada daha fazla seyreltici monomer eklenmesiyle elde edilebilir (Payne, 1999). Yüksek esneyebilme kabiliyeti sebebiyle stresin yoğunlaştığı kole lezyonlarında kullanılabilir. Doldurucu oranının düşük olması nedeniyle polimerizasyon büzülmesi yüksektir ve zayıf mekanik özelliklere sahiptir (Baroudi & Rodrigues, 2015). Akışkan kompozitlerin restorasyon sırasında ara katman olarak kullanılması polimerizasyon büzülme stresini bir miktar azaltabilir (Kemp-Scholte & Davidson, 1990; De Gee vd., 1993). Akışkan kompozitler koruyucu rezin restorasyon (KRR) olarak adlandırılan minimal invaziv sınıf I kaviteelerde (Cohen & Newtown, 2008), pit ve fissür örtücü olarak (Beauchamp vd., 2008) ve kavite astar materyali olarak (Payne, 1999) kullanılmaktadır.

2.5. GÜNCEL KOMPOZİT REZİNLER

2.5.1.Ormoserler

Geleneksel kompozit rezinlerin dezavantajlarından biri olan polimerizasyon büzülmesinin getirdiği dezavantajları aşmak amacıyla yeni bir tür olan organik olarak modifiye edilen seramikler üretilmiştir (Wolter vd., 1994). Ormoserler monomer sistemindeki son gelişmelerden biridir. Geleneksel kompozitlerden farklı olarak ormoserlerin matriks fazı, polimerize olabilen organik ünitlerin ilave edildiği SiO₂ temelli inorganik bir iskeletten oluşmaktadır. Çapı 0,7 µm olan doldurucular bu matrikse dağılmış haldedir. Doldurucu çapı ile minifil kompozitlere benzemektedir (Yap vd., 2004). Organik matriks fazı optik davranıştan ve esneklikten sorumludur (Cavalcante vd., 2011).

Doğal diş yapısına çok yakın bir termal genleşme katsayısına sahiptir (Baseren, 2004). Ormoserlerin daha az doldurucu içermesine rağmen, geleneksel kompozitlerle karşılaştırıldığında aşınma oranlarının daha az olduğu görülmüştür (Tagtekin vd., 2004; Yap vd., 2004). Üreticinin verdiği bilgilere göre, üretilen son ormoser kompozitlerde serbest monomer bulunmaz. Bu sayede sitotoksik etkinin ve alerjik riskin ortadan kaldırıldığı iddia edilmektedir (Cavalcante vd., 2011).

2.5.2. Self Adeziv Kompozit Resinler

Bu kompozitler teknik açıdan en hassas adım olan adezyon uygulamasını ortadan kaldırarak, restorasyon işlemini basitleştirme amacıyla geliştirilmiştir. Bu kompozitlerin içinde bulunan self-etching özelliğine sahip bir dimetakrilat monomeri olan gliserol fosfat dimetakrilat (Yuan vd., 2015), diğer metakrilatlarla çapraz bağlanma özelliğine ve kopolimerizasyon özelliğine sahiptir ve dişin mineral içeriğiyle kimyasal bağlanma potansiyeli bulunmaktadır. Günümüze kadar ticari olarak satılan tüm self adeziv rezin esaslı materyaller akışkandır. Ancak yapılan güncel çalışmalarda bu materyallerin bağlanma dayanım değerlerinin, diş yapısına ayrı uygulanan yapıştırıcı ajan ve kompozit rezinlerin bağlanma dayanım değerleri kadar yüksek olmadığı yönündedir (Poitevin vd., 2013). Self adeziv materyallerdeki monomerlerin asitliğinin, materyalin diş yüzeyine veya prizmatik mineye geniş çaptaki penetrasyonunu sağlayacak kadar düşük olmaması ve materyal viskozitesinin iyi bir adaptasyon için yeterince düşük olmaması bu durumun sebebidir (Yuan vd., 2015).

2.5.3. Giomerler

Kompozit rezinlerin ve cam iyonomerlerin en iyi özelliklerini birleştirerek, giomer adı verilen hibrit tür geliştirilmiştir. Giomerler kompozit rezin matrisine önceden reaksiyona girmiş cam dolgu parçacıkları (PRG) eklenmesiyle oluşur. Cam iyonomerlerden aldığı flor salma özelliği antikaryojenik bir etki oluşturur. Resin esaslı olduğu için iyi bir mekanik direnç ve estetik özelliklere de sahiptir (Rusnac vd., 2019).

Asit reaktif florür içeren cam dolgu partiküllerin su ortamında poliasitlerle reaksiyona girmesiyle giomerler elde edilir (Gordan vd., 2007). PRG partiküller ikiye ayrılır: Yüzey reaksiyon tipi (S-PRG) ve tam reaksiyon tipi (F-PRG) partiküller. S-PRG partiküllerde, partikülün sadece yüzeyi reaksiyona girerken cam çekirdek bozunmadan kalır. F-PRG partiküllerde ise partikül çekirdeği dahil reaksiyona girer, büyük miktarda florür açığa çıkar. F-PRG partiküller, S-PRG partiküllerden daha hızlı bozulmaktadır (Sunico vd., 2005).

Giomerler, geleneksel kompozitlerden ve rezin modifiye cam iyonomerlerden fiziksel olarak daha iyi özelliklere sahiptir ve estetik özellikleri rezin kompozitlere

benzerdir (Sunico vd., 2005). Florür salım ve yeniden şarj olabilme özellikleri florür içeren rezinlerden fazladır ve cam iyonomerlere benzerdir (Naoum vd., 2011).

Yapısında bulunan multifonksiyonel cam doldurucular sayesinde giomerler yüksek radyoopasite, yüksek aşınma direnci ve yüksek renk uyumuna sahiptir (Sunico vd., 2005).

2.5.4. Bulk fill Kompozit Rezinler

Bu rezin kompozitler sayesinde geleneksel inkremental doldurma tekniklerine kıyasla daha az tabakalama yapılarak kavite restorasyonu tamamlanmaktadır (Benetti vd., 2015). Geleneksel kompozit rezin üreticileri maksimum 2 mm tabaka uygulamasını önerirken, bulk fill kompozit üreticileri 4 veya 5 mm tabaka uygulamasını önermektedir (Tiba vd., 2013). Bu içerikteki birkaç modifikasyonla sağlanmıştır. Bunlardan biri düşük doldurucu hacmi ve küçük spesifik yüzey alanlarına sahip büyük dolgu parçacıklarının kullanılmasıdır. Bir diğeri yakın eşleşen kırılma indislerine sahip rezin monomer ve doldurucular eklenmesidir. Ek olarak yüksek reaktif fotobaşlatıcılar dahil edilebilir. Yüksek moleküler ağırlığa sahip monomerler eklenerek de polimerizasyon büzülmesi azaltılabilir, bu sayede derin kürlleme ve yeterli marjinal adaptasyon elde edilir (El-Safy vd., 2012; Fronza vd., 2017) Kavitenin tek seferde doldurulması zamandan tasarruf sağlar ve restorasyon bütününde daha az boşluk oluşmasını sağlar (Alqudaihi vd., 2019).

Materyal kalınlığının artması ışık penetrasyonunu kötüleştirir. Yüzeydeki tabaka iyi polimerize olurken, derin tabaklar iyi polimerize olamayabilir (Campodonico vd., 2011). Son dönemlerde, üreticiler, bulk fill teknik ile kullanılmaya uygun, polimerizasyon büzülmesi ve boşluk oluşumu azaltılmış, kürlleme derinliği artırılmış rezin kompozitleri piyasaya sundular (Campodonico vd., 2011; Moorthy vd., 2012) Yapılan çalışmalar ile bulk fill materyaller ile geleneksel inkremental rezin materyaller karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, bulk fill kompozitler daha düşük polimerizasyon büzülme stresine ve daha fazla polimerizasyon derinliğine sahiptir.

2.5.5. Antibakteriyel Kompozit Rezinler

Birçok çalışmada ikincil çürük insidansını azaltmak amacıyla antibakteriyel etkiye sahip ajanlar kompozitlere eklenmiştir. Bu materyallerin antibakteriyel etkisi ajan salınımına bağlıdır, ancak ajan salınımı materyalin mekanik özelliklerinde düşüş

(Swanson & Tinanoff, 1984; Ribeiro & Ericson, 1991), toksik etki, etkinlik kaybı (Ribeiro & Ericson, 1991) gibi dezavantajlara neden olur. Günümüzde antibakteriyel etkiye sahip 12-metakriloksidodesilpiridinyum bromür (MDPB) adında yeni bir monomer eklenerek çeşitli antibakteriyel rezinler üretilmektedir (Imazato, 2009). MDPB diğer monomerlerle kopolimerleşerek organik matriks içinde hareketsizleştirilir. Önceden polimerize edilerek hareketsizleştirilen bu ajan sayesinde diş yüzeyinde plak oluşumu engellenmektedir ve restoratif materyalin mekanik özellikleri korunmaktadır (Imazato vd., 1994).

Son çalışmalardan biri önceden reaksiyona girmiş cam iyonomer (S-PRG) partikülleri içeren rezin kompozitlerdir. Floroalüminosilikat cam ve poliakrilik asitin asit baz tepkimesi sonucu S-PRG partikülleri oluşur (Ikemura vd., 2003). Bu partikülleri içeren rezin kompozitler flor salınımı ve reşarjı yapabilmektedir (Vilchis vd., 2007). Ayrıca bu partiküllerin anti-plak özellikleri de kanıtlanmıştır (HIROSE vd., 2006; Yoshida vd., 2008).

2.5.6. Hibrit Kompozitler

1990'lı yıllarda tanıtılan hibrit kompozitlerin yapısında 2 µm'den küçük farklı çapta çok sayıda cam doldurucu ve çapı 0.04 µm boyutunda küresel silika bulunmaktadır. Bu durum cilalanabilirliklerini zorlaştırmaktadır (Chaudhary vd., 2023).

Hibrit kompozitler anterior ve posterior restorasyonlar için mekanik özellikler ve klinik performansın en iyi halini sunar (Leinfelder, 1995).

2.5.7. Siloran Esaslı Kompozitler

Siloran terimi, yapısında hem siloksan hem de oksiran yapılarını içeren hibrit monomer sistemleri tanımlamak için kullanılmaktadır (Eick vd., 2007). Siloran esaslı kompozitler halka açma katyonik polimerizasyon mekanizmasına sahiptir (Ilie vd., 2007; Leprince vd., 2010). Bu güncel materyallerin geleneksel metakrilat esaslı kompozitlerden daha yüksek bir temas açısına sahip olduğu ve plak adezyonunun daha düşük olduğu iddia edilmektedir (Beyth vd., 2007). Ayrıca siloran esaslı restorasyonların marjinal bütünlüğü ve mikrosızıntısı, metakrilat esaslı rezin restorasyonlardan daha üstündür (Palin vd., 2005).

2.5.8. Nanokompozitler

Rezin kompozitte organik matriks içinde bulunan partiküllerin boyutu ve yüzdeleri, materyalin cilalanabilirlik, aşınma ve kırılma direncinden sorumludur (Siang Soh vd., 2006). Nanohibrit kompozitler hibrit kompozit ve mikrofil kompozitlerin özelliklerinin sentezinden oluşur (Ünlü & Ülkü, 2020). Yapısında nano boyutta partiküller bulunan rezin kompozitler, partiküller arası boşlukların azalması sayesinde organik matriksi daha fazla korur. Bu durum doldurucu partiküllerin materyal yüzeyinde kopmasını azaltır (Turssi vd., 2003; Moraes vd., 2008). Bu sayede nanokompozitler mikro dolduruculu dolgu materyallerine göre daha iyi parlatma özellikleri gösterir (Turssi vd., 2000). Azalmış polimerizasyon büzülmesi, gelişmiş aşınma direnci (Moszner & Klapdohr, 2004) ve optik özellikler (Mitra vd., 2003), nanokompozitlerin diğer önemli özellikleridir. Nanokompozitlerin bulunan iki formu; öğütülmüş cam doldurucular ve ayrı nanopartiküllerden oluşan bir nanohibrit tip ve nano boyutlu doldurucu içeren “nanomer” tiptir (Rangreez & Mobin, 2019). Bu nanopartiküllerin kümelenmesiyle mikron boyutlarında “nanokümeler” oluşur (Yang vd., 2020). Bu nanokümeler güçlendirilmiş mekanizmaları sayesinde mikro dolduruculu dolgular ve nanohibrit dolgulardan daha dayanıklı ve güvenilir (Curtis vd., 2009). Küresel şekildeki nanopartiküller, pürüzsüz ve düzgün kenarlar sayesinde stresi rezin kompozit boyunca eşit dağıtır (Kaur vd., 2011).

2.5.9. Fiberle Güçlendirilmiş Kompozit Rezinler

Fiberle güçlendirilmiş kompozitlerin polimer matriksinde çapları değişken mikrometrelerde fiberler bulunmaktadır (Swolfs vd., 2019). Cam fiberle güçlendirilmiş kompozit rezinlerde, rezin matriksine ince cam fiberler silan bağlayıcı ajanlarla kimyasal olarak bağlanır. Bu kompozitlerde stres kompozitin yapısındaki polimerden fiber liflere aktarılır ve her bir fiber lifi çatlak yayılmasını önler (Safwat vd., 2021).

Fiberle güçlendirilmiş kompozit rezinler protetik alanda, eksik dişlerin rezin bağlayıcı adezivlerle yapıştırılan sabit protezlerle tedavisinde (Karaman vd., 2002), protez ve pontiklerin destek elemanlarının yapımında (Garoushi & Patil, 2013) ve post-kor yapıların yapımında (Mohan vd., 2015) kullanılmaktadır.

Cam fiberle güçlendirilmiş kompozit rezinler, kabul edilebilir estetik, yüksek aşınma direnci, yüksek dayanıklılık, metal içermemesi, alerjik olmayan yapısı, hasta başı uygulanabilirliği ve biyouyumluluk gibi özellikler sayesinde klinisyenlere bir çok avantaj sunmaktadır (Ferracane & Condon, 1992; Ramakrishna vd., 2001). Bu kompozitlerin en dikkat çekici özelliklerinden biri düşük yoğunlukta olmalarına rağmen yüksek sertlik ve dayanıklılığa sahip olmalarıdır (Swolfs vd., 2019).

2.5.10. Smart (Akıllı) Kompozit Resinler

Teknolojideki gelişmelerle birlikte kendini onarabilen kompozitler piyasaya sürülmüştür (Ünlü & Ülkü, 2020).

Akıllı materyaller dış bir uyarana özel ve kontrollü bir karşılık verebilir (Zrínyi vd., 2001). Epoksi sistem olarak adlandırılan bazı kompozitler, yapılarında rezin dolu mikrokapsüller içermektedir. Olası bir çatlakta, çatlağa komşu mikrokapsüller içindeki rezini serbest bırakır, serbest kalan rezin Grubbs katalizörüyle reaksiyon neticesinde polimerize olarak çatlağı tamir eder (Chaudhary vd., 2023).

Geleneksel dolgu materyallerine çeşitli eklemeler yapılarak, ikincil çürük oluşumu, aşınma, marjinal uyumsuzluklar, diş kırıkları ve restorasyon kırıkları gibi geleneksel dolgu materyallerinin kullanımında sık görülen başarısızlıkların azaltılması planlanır (Zrínyi vd., 2001). Bu amaçla ACP (amorf kalsiyum fosfat) bazlı materyaller diş hekimliğinin çeşitli alanlarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. ACP, biyoaktif polimerik kompozitlerin doldurucu fazında değerlendirilmektedir. ACP sürekli olarak kalsiyum ve fosfat iyonları salması sebebiyle diş yapısı üzerinde koruyucu ve onarıcı etkiye sahiptir (Skrtec & Antonucci, 2011). ACP içeren kompozitler, oral ortamın pH değeri düştüğünde (<5.8) yapılarında bulunan ACP'yi HAP (hidroksiapatite)'a çevirir ve kaybedilen hidroksiapatit bu şekilde yerine konur. Düşük pH'a verilen bu yanıt 'akıllı' tanımlamasına uymaktadır (Zhao vd., 2011).

2.5.11. Monokromatik (Tek Renk) Kompozit Resinler

Nanoteknoloji sayesinde, nanodoldurucular ve yapısında bulunan nanokümler kullanılarak tek renk sistemine sahip (monokromatik) kompozit rezinler piyasaya sürülmüştür. Bu kompozitin ilk örneği Omnicroma (Tokuyama Dental America)'dır (Simos, 2011). İçeriklerinde boya ve pigment bulunmaz, doldurucular dolguda komşu dişin rengine uygun kırmızı-sarı aralığındaki rengi üretir (Chaudhary vd., 2023).

Temeli “Akıllı Kromatik Teknoloji” ye dayanmaktadır (Teixeira vd., 2005). Monokromatik kompozitlerin “bukalemun etkisi” veya “renk ayarlama potansiyeli” ile herhangi bir diş rengine uyum sağlayabildiği iddia edilmektedir. Bu etki dişe çarpan ışığın yansımalarıyla elde edilir ve bu özellik sayesinde restorasyon öncesi kompozit rengini seçme aşaması elimine edilir (Rohym vd., 2023). Işık rezine ulaştıktan sonra, yüzeyde yayılır ve her yöne dağılır (Yılmaz Atalı vd., 2022).

Monokromatik kompozit rezinler ayrıca iyi cilalanabilirlik, yüksek eğilme mukavemeti, yüksek basınç dayanımı ve kolay klinik kullanım gibi çeşitli avantajlara sahiptir (Eliezer vd., 2020).

2.6.DİŞ HEKİMLİĞİNDE BİLGİSAYAR DESTEKLİ SİSTEMLER

2.6.1. Eksiltmeli İmalat Teknikleri

CAD/CAM sistemleri üç bileşenden oluşur:

- 1- Nesnenin bilgisayar tarafından işlenebilmesi için dijital verilere dönüştüren tarayıcı
- 2- Verilerin işlenebilmesi için bir yazılım programı
- 3- Verileri kullanarak ürünü üreten bir teknoloji (Beuer vd., 2008)

2.6.1.2. Frezeleme Sistemleri

2.6.1.3. CAD/CAM Rezin Esaslı Materyaller

Frezelelenebilir materyaller mum, metaller, polimetilmetakrilatlar (PMMA), kompozit rezinler, cam seramikler (Sulaiman, 2020), rezin nanoseraamikler (RCN) (Mainjot vd., 2016)(seramik parçacıklarıyla güçlendirilmiş polimerler), yüksek performanslı polimerler (güçlendirilmiş) (Sulaiman, 2020), polimer infiltre seramik ağ (PICN) (Mainjot vd., 2016) olarak değerlendirilebilir.

2.6.1.3.1. Kompozit Rezin Bloklar

Önceden polimerizasyonu sağlanmış frezelelenebilir kompozit rezin bloklar, polimerizasyon büzülmesi, monomerlerin sızdırabilirliği ve mekanik eksiklikler gibi direkt kompozitlerin bazı eksikliklerini gidermek amacıyla ağız dışında hazırlanır. Dayanıklılık ve diğer özellikler açısından kompozit rezin bloklar seramiklerle karşılaştırılmıştır (Magne vd., 2010; Mörmann vd., 2013). CAD/CAM kompozit rezin

bloklarına örnek olarak Paradigm MZ100, 3M ESPE (St. Paul, Minnesota) verilebilir (Sulaiman, 2020).

2.6.1.3.2. Rezin Nanoseramikler

Bir polimer matrikse gelişigüzel dağıtılmış nano boyutlu seramik partiküllerden oluşur. Yüksek sıcaklıkta polimerizasyonları sağlanır. Bu sınıftaki bloklara örnek olarak Lava Ultimate (3M ESPE), Cerasmart (GC Europe), Brilliant Crios (Coltene, Altstätten, İsviçre), Numerys HC, Grandio Block (Voco), Tetric CAD (Ivoclar), Katana Avencia Block (Kuraray, Noritake), KZR-CAD HR2 (Yamakin), Shofu HC (SHOFU Dental), Ambarino High Class (Creamed), Mazic Duro (Vericom) verilebilir. Piyasaya sürülen ilk işlenebilen rezin blok Paradigm MZ100, 3M ESPE (St. Paul, Minnesota), diğerlerinden farklı olarak fotopolimerizasyon sürecini termopolimerizasyon izler (Mainjot vd., 2016).

2.6.1.3.3. Polimer İnfiltrasyon Seramik Ağ

Vita Enamic (Vita Zahnfabrik) günümüzdeki tek PICN ürünüdür. CAD/CAM için üretilen ilk rezin-seramiktir. Birbirine penetre olabilen faza sahip çift seramik ve polimer ağı yüksek basınç ve yüksek sıcaklık altında polimerizasyonu neticesinde oluşur (Nguyen vd., 2012; Nguyen vd., 2014). Seramik faz ağırlıkça ürünün %86'sıdır (Awada & Nathanson, 2015; Mainjot vd., 2016).

2.6.1.3.4. Yüksek Performanslı Polimerler

Güçlendirilmiş polimerler, fiziksel, mekanik ve biyouyumlu özellikleri sebebiyle diş hekimleri tarafından tercih edilmektedir. Polietereeterketon (PEEK), termoplastik poliarileterketon (Pekkton) ve fiber destekli kompozit bloklar (Trinia, Shofu, Japonya) bu polimerlere örnek olarak verilebilir (Arnold vd., 2018; Negm vd., 2019).

2.6.1.4. Diş Hekimliğinde CAD/CAM Sistemlerin Avantajları

CAD/CAM teknolojisi sayesinde üretim sürecinde yeni materyallerin kullanılması, etkin maliyet, azaltılmış işçilik ve arttırılmış kalite kontrolü gibi bir çok avantajdan bahsedilmektedir (Miyazaki vd., 2009). Seramik bloklar önceden üretildiği için internal defektler elimine edilmiştir. Ayrıca bilgisayar programı yüksek aşınma direncine sahip ürünler için programlanmıştır.

Tüm taramalar bilgisayar ortamında depolanabilir (Birnbbaum vd., 2009).

Dijital taramalar sayesinde geleneksel ölçülerde uygulanan döküm, mumlama, pişirme gibi aşamalar elimine edilir (Mörmann vd., 1989). Ayrıca geleneksel ölçüler, ölçü malzemesindeki olası kabarcıklar, yırtıklar, kalıntılar ve eksik diş gibi dezavantajlardan muzdariptir (Christensen, 2005).

Sandalye başı sistem sayesinde hastalara tek seansta restorasyonları teslim edilmektedir (Aslam & Nadim, 2015).

2.6.1.5. Diş Hekimliğinde CAD/CAM Sistemlerin Dezavantajları

Günümüzde eksiltmeli üretim yapan cihazlarla üretilen restorasyonların uygulaması artıyor olsa da (Davidowitz & Kotick, 2011), eksiltmeli üretim yöntemleri aşırı malzeme tüketme dezavantajına sahiptir. Bu ekonomik ve çevresel bir yüküdür. Ayrıca bazı uygulamalar üretim prosedürleri ve yazılım nedeniyle sınırlıdır (Beuer vd., 2008). Bir diğer sınırlama ise ulaşılması zor lokasyon ve undercutların doğru şekilde işlenememesidir (Bosch vd., 2014). Ayrıca hekimlerin dijital ölçü alırken nem kontrolü, yumuşak doku çekilmesi gibi durumlarla ilgilenmesi gerekir (Aslam & Nadim, 2015).

2.6.2. Eklemeli İmalat Teknikleri

Eklemeli imalat teknikleri temel çalışma prensibine göre 7 genel sınıfa ayrılabilir. Bunlar; malzeme püskürtme (material jetting-MJ), bağlayıcı püskürtme (binder jetting-BJ), VAT fotopolimerizasyon (VPP) (Şekil 2.7), toz yatak füzyonu (powder bed fusion), materyal ekstrüzyonu (material extrusion), direkt enerji biriktirme (direct energy deposition) ve yaprak laminasyon (sheet lamination) dur.

Kullanılan materyal türüne göre de 3 ana sınıfa ayrılabilir. Bunlar; katı bazlı, toz bazlı ve sıvı bazlı materyallerdir (Tablo 2.1)(Ngo vd., 2018). Sıvı bazlı materyallerin kullanıldığı 3 boyutlu yazıcı teknolojilerindeki farklılıklar aşağıdaki şemada gösterilmiştir.

Katı bazlı

- Lamine Nesne İmalatı (Laminated Object Manufacturing -LOM)
- Birleştirmeli Yığma Modeli (Fused Deposition Modelling- FDM)
- Tel ve Ark Eklemeli İmalat (Wire and Arc Additive Manufacturing- WAAM)
- Elektron Işını Serbest Form İmalatı (Electron Beam Free Form Fabrication- EBF3)

Toz bazlı

- Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering- SLS)
- Elektron Işını Eritme (Electron Beam Melting- EBM)
- Seçici Lazer Eritme (Selective Laser Melting- SLM)
- Lazer Metal Yığma (Laser Metal Deposition- LMD)

Sıvı bazlı

- Malzeme Püskürtme (Material Jetting -MJ)
- Stereolithography (SLA)
- Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing- DLP)

Tablo 2.1: Eklemeli İmalat Tekniklerinin Çalışma Prensiplerine Göre Sınıflandırması (Caussin vd., 2024)

Katı Bazlı	Toz Bazlı	Sıvı Bazlı
Materyal Ekstrüzyon	Bağlayıcı Püskürtme	Malzeme Püskürtme
FDM (Birleştirmeli Yığılma Modeli)	3DP (3 Boyutlu Yazdırma)	MJM (Multi Jet Modelleme)
Tabaka Laminasyon	Toz Yatağı Füzyonu	VAT Fotopolimerizasyon
LOM (Lamine Nesne İmalatı)	SLM (Seçici Lazer Eritme)	SLA (Stereolitografi)
	EBM (Elektron Işını Eritme)	DLP (Dijital Işık İşleme)
	Yönlendirilmiş Enerji Birikimi	LCD (Likit Kristal Görüntüleme)
	CLAD(Sürekli Lazer Destekli Biriktirme) LMD (Lazer Metal Yığılma)	



Şekil 2.8: VAT Fotopolimerizasyon Mekanizmasıyla Çalışan Baskı Yöntemleri (Caussin et al., 2024)

2.6.3.1. 3B Yazıcı Çeşitleri

2.6.3.1.1. Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering- SLS)

Seçici Lazer Sinterleme katı dozaj formlarının üretiminde en güncel teknolojilerden biridir (Fina vd., 2018). SLS 3 boyutlu yapıları üretmek için toz parçacıklarını tabakalı ve selektif olarak sinterlemeye yarayan lazer içermektedir. Bir

toz yatağı, toz rezervuarı, tozu yatağa ileten bir silindir ve lazer kaynağından oluşur. Lazer toz yüzeyinde 3B tasarıma uygun spesifik desenler çizmek için yönlendirilir. İlk tabaka sinterlendikten sonra toz yatağı aşağı hareket ederken, toz rezervuarı yukarı hareket ederek yeni toz katmanının taşınmasını sağlar (Allahham vd., 2020). Günümüzde üretilen SLS yazıcıların büyük bir kısmı, az maliyetle yüksek güç sağlayan ve geniş bir yelpazede toz termoplastik materyal kullanımına imkan tanıyan karbondioksit (CO₂) lazer kullanmaktadır (Awad vd., 2020).

2.6.3.1.2. Tarayarak Işıklı Kürleme (Scanning Light Stereolithography-SLA)

Stereolitografi (SLA), dental alanda en eski ve en fazla kullanılan 3 boyutlu baskı üretim tekniğidir. Bu yöntem, yapı platformu hareketi ve lazer hareketine göre alt sınıflara ayrılmaktadır. Bu yöntemin temel prensibi lazerle polimerize edilen UV duyarlı likit monomerden katmanlanarak üretilen bir ürüne dayanmaktadır (A Kessler vd., 2020). Üretimden sonra yıkama ve kürlemeden oluşan iki önemli adım bulunmaktadır. Ürünün yüzeyinde kalan kürlenmemiş rezin kalıntılarını temizlemek için izopropil alkol (IPA) veya farklı çözücüler kullanılabilir. İzopropil alkol (IPA) de 10 dakikadan uzun süre bırakılırsa ürünler eğrilebilir (Taneva & Uzunov, 2020).

SLA ile 3 boyutlu baskı temel olarak rezin esaslı nesneler üretmek için kullanılmaktadır. Metal ve seramik nesneler de üretilebilir ancak sonrasında bu nesnelere de-binding ve sinterleme aşamaları uygulanması gerekir (Baumgartner vd., 2020).

2.6.3.1.2.1. Yapı Platformu Hareketi

Bu sınıfa giren iki yöntem vardır, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya tekniktir (Noorani, 2006; Melchels vd., 2010) ve ikisi de katmanlı baskı sürecine dayanır.

Aşağıdan yukarıya teknikte rezin, hareketli yapı platformunun üstündedir. Platform, yüzeyinde ince bir tabaka rezin olacak şekilde konumlandırılır. Lazer, açığa çıkan rezini tarayarak kürlenmiş 2 boyutlu bir tabaka oluşturur. Bir tabaka basıldıktan sonra platform aşağıya hareket eder ve bir silindir yeni kürlenmemiş rezin tabakası sağlar. Kür derinliği, rezin katman kalınlığından daha büyük olduğunda, katmanlar arasında güçlü bir yapışma sağlanır.

Yukarıdan aşağıya teknikte ise lazer rezervuarın altından tarayarak üretim yapar. Platform, altında sadece ince bir tabaka sıvı rezin olacak şekilde konumlandırılır. Bu tabaka lazer maruziyeti sonucu kürlenir ve platform yeni tabakanın kürlenebilmesi için yukarı kaldırılır. Bu, ürün oluşturulana kadar yinelenir.

Yukarıdan aşağıya tekniğin, aşağıdan yukarıya tekniğe göre bazı avantajları mevcuttur. Lazer baskı cihazının içinde sınırlandırıldığı için daha güvenli bir kullanıma sahiptir. Likit rezin ile rezervuarın pürüzsüz alt yüzeyinin tam kontağı sayesinde pürüzsüz parçalar üretilebilir. Kürleme işlemi fotopolimerizasyon ile kapalı bir ortamda gerçekleştiği için, oksijen inhibisyonu önlenmektedir. Ayrıca likit rezinin yeniden kaplanması yerçekimi sayesinde silindir ihtiyacı olmadan gerçekleşebilmektedir (Manapat vd., 2017).

2.6.3.1.2.2. Lazer Hareketi

Tarama tabanlı stereolitografi (scanning-based stereolithography- SSL) ve projeksiyon tabanlı stereolitografi (projection-based stereolithography- PSL) olmak üzere iki tekniktir (Chartier vd., 2002; Melchels vd., 2010; Emami vd., 2015).

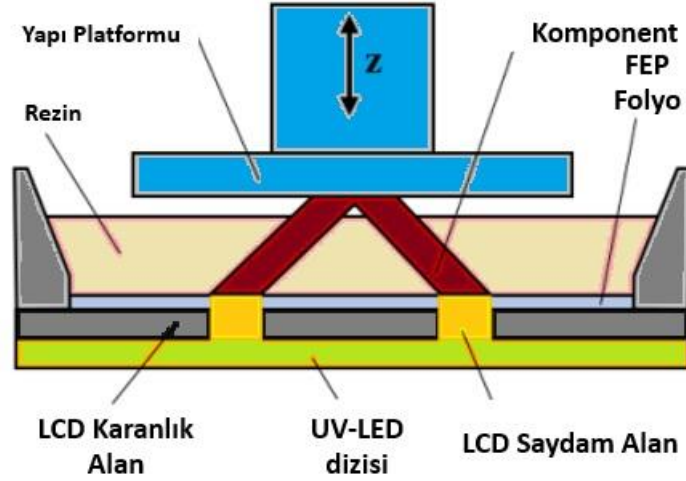
PSL üretim tekniği desenli lazer üreterek tabakaları tek bir lazer pozlamasıyla üretme tekniğine dayanmaktadır. SSL ise her tabaka yüzeyini tarayarak desenleri oluşturur. PSL küçük parçaların yüksek çözünürlüklü ve detaylı baskısı için uygundur çünkü desenli lazer ışığı limitli bir boyuta sahiptir. SSL ile baskı çözünürlüğü düşüktür bu sebeple büyük boyuttaki parçaların üretimine uygundur. PSL, her tabakayı tek bir lazer atışında bastığı için üretim SSL'den daha kısa sürmektedir. Günümüzde yapılan çalışmalarla SSL ve PSL'nin sentezi olan tarama-projeksiyon tabanlı stereolitografi (scanning-projection based stereolithography- SPSL) tekniği geliştirilmiştir. SPSL, PSL'in desenli lazer ışıklarını üretmede kullandığı dijital mikro ayna cihazı (digital micromirror device- DMD) nı hareket ettirerek, desenli lazer ışıkları ile rezin yüzeyini taramaktadır. Bu, büyük boyuttaki parçaların baskısına imkan tanır (Manapat vd., 2017).

2.6.3.1.2.3. mSLA

Eklemeli imalat süreçlerinin en güncel gelişmelerinden biri de temel prensibi SLA teknolojisine dayanan maskeli stereolitografidir (masked stereolithography- mSLA) (Junk & Bär, 2023). Standart form stereolitografideki lazer ışık kaynağı yerine

seri olarak bağlanmış LED ler kullanılmaktadır. Bunlar UV ışığı bir likit kristal ekran (liquid crystal display-LCD) üzerinden yayarak bir tabakayı tamamen maskeleyerek kürleyebilir. LCD, OLP gibi kare piksellerden oluşmaktadır (Lopes vd., 2014). LCD'nin görevi kürlenmesi planlanmayan kesitleri koyu alanlar olarak bırakmaktır. Burada belirleyici olan teorikte LCD'nin piksel boyutudur. Ancak mSLA gerçek sürecinde, vurgu yapılan piksellerin yanındaki materyal de kürlenmeden etkilenebilir ve bu çözünürlükte azalmaya yol açar (Junk & Bär, 2023). mSLA(LCD) teknolojisi Şekil 2.8'de şematize edilmiştir.

mSLA belirli koşullarda SLA'dan daha hızlı baskı süresine ulaşabilir. Bunun nedeni aynı sürede bir bölge yerine bir tabakanın tamamının üretilmesidir. LCD düşük maliyeti nedeniyle mSLA, bütçe dostu bir yazıcı türüdür (Lopes vd., 2014)



Şekil 2.9: LCD (mSLA) Baskı Şeması (Junk & Bär, 2023)

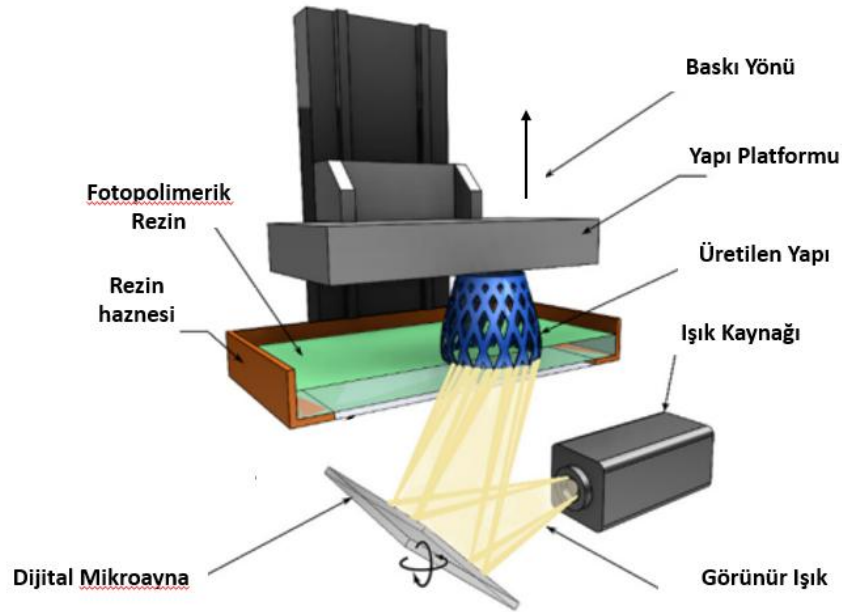
2.6.3.1.3. Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing- DLP)

DLP ve SLA teknolojisi çok benzerdir. Her ikisi de Amerikan Test ve Materyal Topluluğu'na göre eklemeli imalat kategorisindedir (*ISO/ASTM52900-15*; Standard Terminology for Additive Manufacturing-General Principles and Terminology. ASTM: West Conshohocken, PA, USA, 2009; Volume 10.04, Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies). SLA ve DLP arasındaki temel fark ışık kaynağıdır. Bu teknolojiye rezin tankına belli bir uzaklıkta konumlanan minyatür projektör kullanılır. Bu projektör iki ayrı konumda bir milyondan fazla dijital mikroyana cihazı (digital micromirror devices -DMD) içeren bir matriksten oluşur. Bu aynalar bir noktadan ışığı rezin tanka yansıtırken bir noktadan da ışığı tankın dışına

yönlendirir. Bu sayede tank tabanına pikseli bir görüntü yansıtılır (Wu vd., 2018). DLP teknolojisi Şekil 2.9’da şematize edilmiştir. Aynaların sayısı yansıtılan görüntü çözünürlüğünü etkilemektedir (Jones, 2014). Baskı süresi, baskı yüzeyi ve basılacak ürünlerin sayısına bağlı olmaksızın rezinin her bir tabakası için aynıdır (A Kessler vd., 2020). Bu teknoloji tek seanslık restorasyonlar için en ideal seçenektir.

Yansıtılan görüntü büyüdükçe karşılık gelen piksel genişliği artar ve bu basılacak tabakanın daha büyük yaklaşımına neden olur (Wu vd., 2018).

Bu teknolojinin dezavantajlarından biri, teknolojik sebeplerden dolayı, mümkün olan baskı hacmi, SLA teknolojisinden izin verdiği kadarıdır (Wu vd., 2018). Ayrıca bu teknoloji ile, SLA teknolojisi kullanılarak üretilen bir ürün kadar pürüzsüz bir yüzey elde edilemeyebilir (Nemeth vd., 2023).



Şekil 2.10: DLP Baskı Şeması (Pagac vd., 2021)

2.6.3.1.4. Birleştirmeli Yığılma Modeli (Fused Deposition Modelling- FDM)

Bu teknikte materyalin tabakalarını 3 boyutlu yazdırmak için termoplastik bir polimerden üretilen devamlı bir filament kullanılır (Ngo vd., 2018). Filament nozülde ısıtılarak eriyik hale getirilir ve sonrasında yapı platformuna ya da bir önceki basılmış katmanın üstüne sürülür. Filamentlerin tabaka genişliği kalınlığı, yönelimi, tabakalar arası veya tabaka içi hava boşlukları üretilen parçaların mekanik özelliklerini büyük

ölçüde etkilemektedir (Mohamed vd., 2015). Yapılan araştırmalar, tabakalar arasındaki bozulmanın mekanik zayıflamanın başlıca nedeni olduğunu ortaya koymuştur (Sood vd., 2010). Sürecin basitliği, yüksek hız ve düşük maliyet bu tekniğin avantajlarından. Diğer yandan tabaka tabaka görünüm, kötü yüzey kalitesi (Chohan vd., 2017), zayıf mekanik özellikler ve termoplastik materyal sınırlılığı bu tekniğin dezavantajlarından (Mohamed vd., 2015). FDM kullanılarak fiber ile güçlendirilmiş kompozit rezinler geliştirilmiştir. Bu 3 boyutlu basılan parçaların mekanik özelliklerini iyileştirmiştir (Parandoush & Lin, 2017).

2.6.3.1.5. Lamine Nesne Üretimi (Laminated Object Manufacturing- LOM)

Lamine nesne üretimi (LOM), içinde polimer esaslı folyoların da bulunduğu çok çeşitli materyaller kullanır. Her bir lamine tabakasında bir bıçak yada lazer ile kesme işlemi yaparak uzaysal desen oluşturur (Klosterman vd., 1998). Bu nedenle bu teknoloji, 3 boyutlu yapıların üretiminde eklemeli ve çıkarmalı üretim teknikleri arasında bir orta noktayı savunur.

2.6.3.2. 3 Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Rezin Esaslı Materyaller

Eklemeli imalatla kullanılan materyaller kullanım amacına göre çok çeşitlidir. Rezin materyaller VAT fotopolimerizasyonu teknolojisini kullanan SLA ve DLP tekniklerinde kullanılmaktadır. Bu tekniklerde kullanılan iki temel materyal ailesi bulunmaktadır. Her ailenin farklı bir polimerizasyon süreci vardır. Bunlar, akrilik veya metakrilat esaslı rezinlerin (veya akrilat uçlarla modifiye edilmiş diğer rezinlerin) radikal polimerizasyonu ve epoksi veya vinil eter esaslı rezinlerin katyonik polimerizasyonudur.

Akrilat ve metakrilat esaslı rezinler en çok tercih edilenlerdir ve serbest radikal fotopolimerizasyonuna dayanırlar. Serbest radikal fotopolimerizasyonu, ışıkla etkileşime giren zayıf bağların homoliz olması neticesinde serbest radikallerin ortaya çıktığı fotopolimerizasyon şeklidir. Bu rezin ailesinin molekül ağırlığı ve işlevselliği sistem davranışını büyük oranda etkiler. Tek işlevli akrilatlar düşük viskozite sunabilirken, birden fazla işlevli akrilatlar fleksibilitede ve reaksiyon sürelerinde azalmaya neden olur. Ayrıca yüksek işlevli rezinler daha yüksek viskoziteye sahiptir. Düşük molekül ağırlığı yüksek reaktivite ve sertlik sağlarken, yüksek molekül ağırlığına sahip rezin monomerleri daha esnek ve daha az reaktiftir.

Katyonic polimerizasyonu kullanan epoksi ve vinil eter bazlı rezinlerde, epoksi sistemler vinil eter sistemlerden daha fazla ancak akrilat ve metakrilat rezinlerden daha az tercih edilmektedir. Çift kürleme mekanizmasını incelemek (Esposito Corcione vd., 2015), her iki sistemin avantajlarını birleştirmek ve dezavantajlarını azaltmak adına radikal ve katyonic karışık polimerizasyon sistemleri kullanılabilir (Yugang vd., 2011; Kumar vd., 2012).

2.6.3.3. Diş Hekimliğinde 3 Boyutlu Yazıcı Sistemlerin Avantajları

3 boyutlu yazıcı sistemler ile katmanlı, vertikal olarak yönlendirilen bir nesne inşa edilebilir. Nesneler üretim odasının büyüklüğüne bağlı olarak çeşitli boyutlarda üretilmektedir. Eksiltmeli imalatla gereken frezeleme kuvveti burada gerekmediğinden pasif bir üretimden bahsedilebilir. Kullanılan materyaller geri dönüştürülebilmesi sayesinde materyal kaybı yaşanmamaktadır, bu ekonomik açıdan eklemeli üretimi ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca dijital bir ortamda tasarım yapılabilmesi ayrıntılı bir üretim imkanı sağlamaktadır (Jockusch & Özcan, 2020). Eklemeli imalatla envanterin dijital platformda saklanabilmesi, envanter masrafını azaltmaktadır. Yapılan karşılaştırmalarda eklemeli üretimle üretilen restorasyonların doğruluğunun, eksiltmeli tekniklere göre daha iyi olduğu görülmüştür (Bae vd., 2017).

2.6.3.4. Diş Hekimliğinde 3 Boyutlu Yazıcı Sistemlerin Dezavantajları

3 boyutlu üretilen restorasyonların ağız ortamındaki davranışı ile ilgili çok sınırlı veri vardır. Bu materyallerin plak oluşumu, elüsyon davranışı ve genel biyouyumluluğu hakkında daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Kullanılabilecek materyaller konusunda da bazı sınırlamalar mevcuttur. Özellikle polimerler alanında fotopolimerlere dayanan yazıcılar dijital diş hekimliğinde, VAT polimerizasyonu (SLA, DLP, DUP) yöntemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kullanılabilen rezinlerin çeşitliliğini büyük ölçüde kısıtlamaktadır (Andreas Kessler vd., 2020; Wedekind vd., 2021).

2.7.DİŞ HEKİMLİĞİNDE RENK

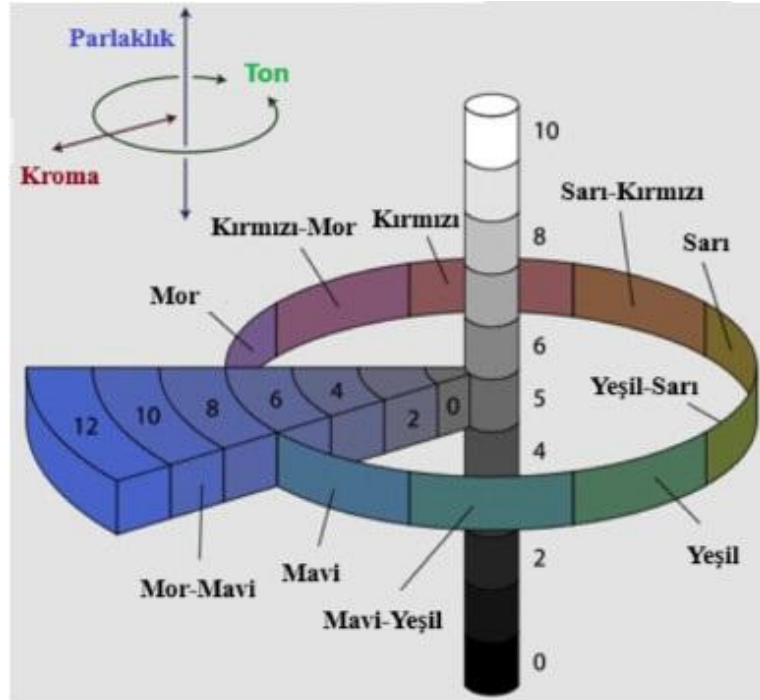
Kompozit rezinlerin en bariz optik özelliği renktir. Kroma, parlaklık ve ton gibi parametrelerin kombinasyonu sonucu renk ortaya çıkar (Leal, 2024). Restorasyonların bir diğer önemli optik parametresi de translusensi yani yarı saydamlıktır. Yüksek yarı saydamlığa sahip materyaller ışığı daha çok geçirir. Düşük yarı saydamlık materyalin

daha opak görünmesine neden olur (Barros vd., 2022; Furusawa vd., 2023; Fidan & Yağci, 2024). Görünümde etkili diğer optik parametreler floresans ve opalesanstır. Opalesans özelliği rezin materyalin değişken ışık kaynaklarında yanındaki doğal dişin optik özelliklerine benzerlik göstermesi durumudur. Floresans ise ultraviyole ışık varlığında görünür ışığın emilmesini ifade eder (Barros vd., 2022; Cruz da Silva vd., 2023; Fidan & Yağci, 2024). Rezinlerdeki yarı saydamlık ve opalesans özellikler rezinin yapısındaki matriks ve doldurucu fazın ışığı kırma özellikleriyle belirlenir (Yu & Lee, 2013). Floresans ise materyalin yapısındaki floresans pigmentlerine bağlıdır (Tabatabaei vd., 2019).

2.7.1. Renk Analiz Sistemleri

2.7.1.1. Munsell Renk Sistemi

Çok sayıda renk analiz sistemi mevcuttur ancak, evrensel tanınırlık, basitlik, tutarlılık ve esneklik gibi çeşitli nedenlerle Munsell renk sistemi dental alanda tercih edilmektedir (Şekil 2.10). Renk ağacı, renklerin Munsell sisteminde 3 boyutlu bir organizasyonunu temsil etmektedir (Vadher vd., 2014). Sayısal değerler olmaksızın nitel bir ölçüm sağlar (Akl vd., 2023). Genellikle 3 temel renk ölçütü vardır (Vadher vd., 2014):



Şekil 2.11: Munsell Renk Sistemi (Cochrane, 2014)

2.7.1.1.1. Munsell Hue (Ton)

Spektrumda saf halde yer alan beş ana grup renkten herhangi birine ton denir. Bu renkler kırmızı, sarı, yeşil, mavi ve mordur. Ayrıca bu beş ana rengin arasında beş ara ton da vardır (Chang vd., 2015). Ton, gözlemlenen ışıklı radyasyonun dalga boyuyla doğrudan alakalıdır (Vadher vd., 2014).

2.7.1.1.2. Munsell Chroma (Doygunluk)

Kroma, bir rengin doygunluk derecesidir (Chang vd., 2015). Başlangıçtaki ana rengin farklı seyreltilmelerine bağlı olarak değişir (Chu, 2004).

2.7.1.1.3. Munsell Value (Parlaklık)

Munsell renk sisteminde dikey eksen value parametresini ifade eder. 0 siyaha, 10 ise beyaza karşılık gelir (SARIKAYA & GÜLER, 2009; Sengez & Dörter, 2019). Kroma arttıkça value azalır, kroma ve value ters orantılıdır (Vadher vd., 2014).

2.7.1.2. CIEL*a*b* Renk Sistemi

1976 yılında tanımlanan CIEL*a*b* renk sistemi (L: parlaklık eksen; a*: kırmızı-yeşil eksen; b*: sarı-mavi eksen) tarafından elde edilen ΔE_{ab} , iki obje arasındaki total renk farkını veren standart parametredir. ΔE değeri hedefteki renk ile standartlaştırılmış L^* , a^* ve b^* değerleri arasındaki farkı veren tek bir değerdir (Pecho, Ghinea, Alessandretti, vd., 2016). Bu değer restorasyon ve dış rengi arasındaki uyum veya uyumsuzluğu tasvir eden kabul edilebilirlik veya algılanabilirlik eşik değerlerini ayarlamak için kullanılmaktadır (Paravina vd., 2019). Eğer değer ideal aralığın dışındaysa buna hangi parametrenin neden olduğunu göstermez. CIEL*a*b* ölçütündeki değer ne kadar büyükse, renk farkı da o kadar büyüktür ve bu fark insan gözü ile o kadar fazla algılanabilir (Pecho, Ghinea, Alessandretti, vd., 2016).

2.7.1.3. CIEDE2000 Renk Sistemi

2001 yılından itibaren hesaplanan ve algılanan renkler arasındaki farklılıkları minimuma indirmek için CIEL*a*b* temelli CIEDE2000 renk farkı formülü önerilmektedir (Güven vd., 2023). CIEDE2000'de CIEL*a*b* için parlaklık (S_L), kroma (S_C) ve ton (S_H) ağırlıklandırma işlemleri, rotasyon ve nötral renkler için de bazı eklemeler yapılmıştır (Melgosa vd., 2004).

2.7.1.4. CIE XYZ Renk Sistemi (RGB Renk Sistemi)

1931'de International Commission on Illumination (CIE) bir rengi üç ana renk olan kırmızı (R), mavi (B) ve yeşil (G) ile görsel olarak eşleştirmek adına XYZ tristimulus üzerinde çeşitli renk uzayları bulunan RGB renk sistemini ortaya sundu (Rashid vd., 2023).

2.7.2. Renk Ölçüm Şekilleri

2.7.2.1. Görsel Renk Ölçümü

Görsel renk ölçümünün bilinen sınırlamalarına rağmen renk ölçüm kılavuzlarının kullanımı ucuz ve basit bir seçenektir (Della Bona, 2020). Ancak göz yorgunluğu, gözlemci yorumu, klinik deneyim ve ortam koşulları gibi çeşitli faktörler sebebiyle sonuçlar oldukça değişkendir (Joiner, 2004; Haddad vd., 2009). Diş hekimliğinde görsel renk analizi, kılavuzda bulunan mevcut renklerle, diş yapıları veya dental materyaller arasında renk karşılaştırılması yoluyla yapılmaktadır. Dental alanda en sık kullanılan kılavuzlar VITA (VITA Classical ve VITA sistem 3D-Master) grubuna aittir (Della Bona, 2020).

Işık düzeltme cihazları, görsel renk ölçümünü kolaylaştırmak için nötr netlik sağlar ve ışık girişimini minimuma indirir. Bu cihaz sayesinde klinik ışık kaynağı, mevsim veya saatin renk ölçümünü etkilemesine engel olunur. Cihazın ışık kaynağı sık kullanılan dental spektrofotometrenin internal ışık kaynağına benzerdir (Fani vd., 2007). Bu cihazlar yansıyan ışığı azaltarak diş translusensisinin daha doğru değerlendirilmesini sağlar (Pimental & Tiossi, 2014).

2.7.2.1.1. VITA Classic (Lumin Vacuum)

VITA Classical renk kılavuzu sistemi 60 seneyi aşkın süredir standart olarak kullanılmaktadır. İçeriğinde 16 renk örneği ve opsiyonel olarak da VITA 3D- Master renk sisteminden üç adet ağartılmış renk içerir. Dişin A-D aralığındaki renk örneklerinden biriyle direkt olarak karşılaştırılmasıyla renk tespit edilir (Şekil 2.12) (Della Bona, 2020).



Şekil 2.1: VITA Classic Renk Kılavuzu

2.7.2.1.2. VITA 3D-Master

VITA şirketi Munsell renk tonu, doygunluk ve parlaklık bazında diş renginin görsel tespitinde kullanılmak üzere üç boyutlu bir rehber oluşturdu. Bu rehber parlaklık (1,2,3,4 ve 5), ton (L ,M veya R) ve doygunluk (1,1.5,2,2.5 veya 3)’tan oluşmaktadır (Pustina-Krasniqi vd., 2017). Vita Classic rengin tonunu baz alırken, Vita 3D Master rengin değerini belirlemektedir. Ayrıca bu kılavuz standartlaştırılmış bir renk farkı sağlamaktadır ($\Delta E = 5$)(Clary vd., 2016). Diş renginin belirlenmesinde sırasıyla parlaklık, doygunluk ve ton yer almalıdır (Sakaguchi & Powers, 2011).

2.7.2.2. Aletli Renk Ölçümü

2.7.2.2.1. Kolorimetreler

Kolorimetre görünür spektrumu okumak için filtrelenmiş fotodedektörler kullanan optik cihazlardır. Başlangıçta, CIE renk analiz fonksiyonlarını taklit eden geçirgenlik spektrumu olarak üç cam filtre (kırmızı, yeşil ve mavi) ile insan görsel sistem yanıtlarının simülasyonu sağlandı. Daha sonra cihazın doğruluğunu arttırmak için bir filtre bankası kullanıldı. Bir objenin rengini tespit etmek için, kolorimetre sensörleri objeden yansıyan farklı dalga boyu spektrumlarının toplamını hesaplayabilir. Son dönemdeki gelişmeler sayesinde, kolorimetreler opak objelerin ölçümünü doğru bir şekilde yapabilmektedir (Ruiz-López vd., 2022) Ayrıca görsel ölçümlerle kıyaslandığında daha doğru ölçümler yapılmaktadır (Vargas vd., 2023).

Güncel kolorimetrelere örnek olarak The ShadeVision (X-Rite, Grandville, MI, USA) ve ShadeEye NCC (Shofu, Menlo Park, CA, USA) verilebilir (Ragain, 2016).

2.7.2.2.2. Spektrofotometreler

Spektrofotometreler objelerin spektral yansıma veya geçirgenlik eğrisini değerlendirerek rengi ölçebilir. Bir spektrofotometre, tungsten filaman bir ampul veya LED lambayı beyaz ışık kaynağı olarak kullanır ve 400-700 nm dalga boyu aralığında bir ışık çıkışı oluşturur. Işık prizma tarafından 10 ve 20 nm aralığındaki dalga boyu bandına düşürülür. Işık objeye ulaştığında, yansiyabilir, içinden geçebilir veya saçılabilir. Bazı spektrofotometre tipleri, renk ölçümü esnasında, bir ağızlık yardımıyla ağız ortamını eksternal ışıklardan izole edebilir ve renk ölçümünün ortam ışığından etkilenmemesini sağlar (Brandt vd., 2017; Igiel vd., 2017). Piyasada bulunan yüksek kaliteli ve güvenilir spektrofotometrelere örnek olarak VITA EasyShade Compact (Vita North America, Yorba Linda, CA, USA) ve CrystalEye (Olympus America, Center Valley, PA, USA) verilebilir (Ragain, 2016). Bir spektrofotometre bir objeden yansıyan ışık enerjisini ölçerken farklı olarak bir kolorimetre yansıyan ışığı ölçer (Miyajiwala vd., 2017; Yoon vd., 2018).

2.7.2.2.3. Dijital Görüntüleme Cihazları

Hem görsel hem aletli renk ölçüm sistemleri birbirlerini tamamladıkları için güncel diş hekimliği pratiğinde beraber kullanılması tavsiye edilmektedir (Yuan vd., 2007).

Günümüzde intraoral tarayıcıların yüksek çözünürlüklü kameraları renk tespit etme amacıyla güncellenmiştir. Bu ölçü alma ve renk seçme işlemlerini tek bir cihazda birleştirdiği için klinisyenler için avantajlıdır (Akl vd., 2023). Bu tarayıcılardan elde edilen sonuçlar da görsel renk kılavuzlarına dayanmaktadır (Rashid vd., 2023).

2.7.3. Restoratif Materyallerde Renk Değişikliği

2.7.3.1. İçsel (İnternal) Renk Değişikliği

İçsel faktörler, organik rezin matriks ile doldurucu partiküllerin arayüzünde veya organik rezin matriks iç yapısında gerçekleşen UV ışınları ve termal enerji (Kolbeck vd., 2006) kaynaklı kimyasal durumları tanımlar. Bunlar amin gruplarının oksidasyonu, polimer matriksteki oksidasyon veya artık monomerler kaynaklıdır (Um & Ruyter, 1991). Polimerizasyon sonrası nemli ağız ortamına maruz kalan restoratif materyalde, su molekülleri içe doğru yer değiştirerek organik matriks içindeki iyonları hareketlendirir, doldurucu partikül ve aktivatörlerin arasından sızan artık monomerler

ve iyonlar dışarıya doğru yer değiştirir (Braden & Pearson, 1981; Fan vd., 1985; Ferracane, 1994). Restoratif materyallerde fotobaşlatıcı olarak sık kullanılan kamforokinon çok az ölçüde kullanılmasına rağmen materyal rengini önemli ölçüde etkilemektedir (Janda vd., 2004). Ayrıca uygulanan polimerizasyon formu ve süresi de materyalin renk kararlılığını etkilemektedir (Hosoya, 1999; Janda vd., 2004). Rezin materyalin su emilim derecesi ve polimer yapısının hidrofilikliği de renklenme sebeplerindendir (Um & Ruyter, 1991). Doldurucu oranı, boyutları ve hatta doldurucu tipi (organik, inorganik, pirojenik silika) (Ameye vd., 1981; Buchalla vd., 2002) renklenebilirlik üzerinde önemli bir paya sahiptir (Junior vd., 2008; Fontes vd., 2009). Bu renklenmeler materyalin iç yapısında meydana geldiği için polisaj veya son işlemlerle ortadan kaldırılamamaktadır (Setz vd., 1990; Kolbeck vd., 2006).

2.7.3.2. Dışsal (Eksternal) Renk Değişikliği

Eksternal renk değişikliği, dişin dış yüzeyindeki ekstrinsik ve topikal ajanlar sebebiyle ortaya çıkar (Eriksen & Nordbø, 1978). Eksternal renklenme direkt (metalik olmayan) ve indirekt (metalik) olarak iki gruba ayrılabilir. Direkt renklenme pelikül tabakasındaki maddelerde bulunan kromojenler kaynaklıdır. İndirekt renklenme ise diş yüzeyindeki kimyasal tepkimeler sonucunda meydana gelir. Renksiz metal tuzları ve katyonik antiseptikler bu renklenmeye sebep olur (Manuel vd., 2010). Ağız ortamı rezin kompozitlerin renk değişimine sebep olmaktadır (Uchida vd., 1998). Çay, kahve benzeri koyu renkli içeceklerde bulunan tannin ve kola, şarap gibi asidik içecekler kahverengi lekelere neden olabilir (Hattab vd., 1999). Kahvenin kola veya çaydan daha kuvvetli kromatojen etki gösterdiği görülmüştür (Luce & Campbell, 1988; Guler vd., 2005). Oral hastalıkların tedavisinde kullanılan topikal ajan klorheksidin de diş yapıları ve dental restorasyonlarda boyayıcı etki bırakmaktadır. Ayrıca tannin içeren gıdaların klorheksidinle eş zamanlı kullanılması kromatojenik etkiyi arttırmaktadır. Gıdalardaki denatüre proteinler ve demir tiyol grupları içerir ve bu gruplar demir sülfid oluşturarak renk değişikliğine sebep olur (Khokhar vd., 1991).

Materyalin renklenmeyi arttıran yüzey pürüzlülüğünü minimuma indirmek için cilalanabilirliğinin yüksek olması önemlidir (Dietschi vd., 1994). Renk değişiklikleri yüzeysel olduğunda polisaj ile giderilebilir ancak derin nüfuz etmiş renklenmeler genellikle polisajla giderilememektedir (Setz & Engel, 1994; Kolbeck vd., 2003).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmanın laboratuvar işlemleri Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Laboratuvarı ve Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı Laboratuvarında gerçekleştirildi. Bu in vitro çalışmada LCD teknolojisine sahip 3 boyutlu yazıcılarda üretilmeye uygun 2 farklı rezin numunesi, nanoseramik CAD/CAM blok ve geleneksel nanohibrit kompozit materyali kahve içerisinde 30 gün bekletildi. 1 gün, 7 gün, 14 gün ve 1 ay sonra renk değişimleri izlendi. Örneklem büyüklüğü, G*Power Software version 3.1.9.2 (Universitat Düsseldorf, Almanya) programı ile %95 güven aralığı ve 0.05 anlamlılık düzeyi baz alınarak hesaplandı. İşlemler aşağıda verilen sırayla uygulandı.

- Numunelerin hazırlanması
- Distile suda bekletilmesi ve başlangıç renk ölçümlerinin yapılması
- Numunelerin kahvede bekletilmesi ve renk ölçümlerinin yapılması
- Renk farklılıklarının karşılaştırılması

3.1. Çalışmada Kullanılan Rezin Restoratif Materyaller ve Cihazlar

Çalışmada kullanılan Varseosmile Crown plus (BEGO Bremen, Almanya), Crowntec (CT, Saremco), Cerasmart (GC, Europe) ve Clearfil Majesty Esthetic (Kuraray, Japonya) nanohibrit kompozit materyalin ticari adları ve içerikleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Çalışmada kullanılan cihazlar ve üretici firmaları Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Çalışmada Kullanılan Rezin Restoratif Materyaller ve İçerikleri

Materyal	Ticari adları	İçerikleri	Lot. Numarası
VarseoSmile Crown plus	3B-yazıcı rezin/ VarseoSmile Crown plus (VA; BEGO,Bremen, Almanya)	4,4 esterifikasyon ürünleri, izopropilidenedifenol, etoksilat ve 2-metilprop-2- enoik asit (50.00-<75.00 Wt%), difenil (2,4,6,- trimetilbenzoil) Fosfin oksit (<2.5 wt%)	601003
Crowntec	3B-yazıcı rezin/Saremco print CROWNTEC (Saremco Dental AG)	BisEMA trimetilbenzoildifenilfosfin oksid(% 0.1-1)	E617
Cerasmart	Rezin nanoseramik CAD/CAM blok Cerasmart (GC dental product Europe, Leuven, Belgium)	UDMA,Bis-EMA, Silika (20 nm), baryum oksid (% 0.1-1)	2104091
Clearfil Majesty Esthetic	Nanohibrit kompozit rezin/ Clearfil Majesty Esthetic (Kuraray, Japonya)	Bisfenol a diglisidildimetakrilat (2.5%- 10%), silanlanmış baryum cam doldurucu prepolimerize organik doldurucu, hidrofobik aromatik dimetakrilat, hidrofobik alifatik dimetakrilat, DL- kamforokinon, hızlandırıcılar, başlatıcılar, pigmentler	6U0250

Tablo 3.2: Çalışmada Kullanılan Cihazlar

Çalışmada Kullanılan Aletler	Model	Üretici Firma
Eksiltmeli Sistem Cihazı	Ceramill motion 2 milleme cihazı	(AmannGirrbach, Austria)
Kesme Makinesi	Mecatome T180 Presi	Eybens, France
Işık Cihazı	Elipar DeepCure-S (430-480 nm)	3M Oral Care, St. Paul, MN, USA
3B Yazıcı	Phrozen Sonic 8k Mini	Phrozen Tech, Hsinchu, Tayvan
Yıkama Cihazı	Phrozen Wash&Cure	Phrozen 3D, Hsinchu City, Tayvan
Post UV Kırılma Lambası	Phrozen Wash&Cure	Phrozen 3D, Hsinchu City, Tayvan

3.2. Numunelerin Hazırlanması

3.2.1. 3B Yazıcı ile Yazdırılabilen Numunelerin Hazırlanması

3.2.1.1. VarseoSmile Crown Plus ile Basılan Numuneler (Grup VS)

Çalışmanın 3B baskı numunelerini hazırlamak için yüksek çözünürlüklü LCD teknolojisi ile üretim yapan 3 boyutlu yazıcı Phrozen 8k Mini (Phrozen Tech., Hsinchu, Taiwan) cihazı kullanıldı (Şekil 3.1). Cihazın özellikleri Tablo 3.3’ de verilmiştir. 8 mm çapında ve 2 mm kalınlıktaki yuvarlak disk şeklindeki numuneler Blender (Blender Foundation, Amsterdam, The Netherlands) yazılımı ile tasarlandı. STL formatındaki tasarım dosyaları, Chitobox V1.7.0 (Guangdong, Çin) 3B baskı programı ile oryantasyon yönü 0 dereceye (Şekil 3.2) ve katman kalınlığı 50 mikrometreye ayarlandı. Modellere destekler eklendi ve dilimleme işlemi yapıldı. Üretime hazır

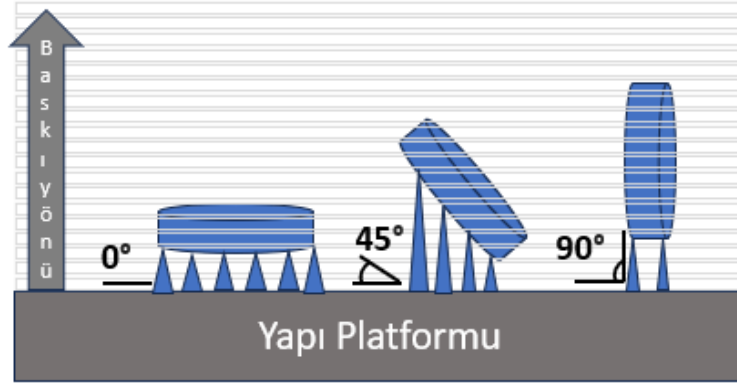
dosyalar yazıcıya aktarıldı. VarseoSmile Crown plus (Şekil 3.3) basılı restorasyonlar için parametreler, alt katman sayısı 6, pozlama süresi 4,5 saniye, alt pozlama 40 saniye, kaldırma mesafesi 8 mm ve kaldırma hızı 60 mm/s olarak ayarlandı. 0.05 mm'lik tabaka kalınlığı seçildi ve restorasyonlar, oklüzal yüzey yapı platformuna doğru 2 mm mesafede olacak şekilde yönlendirildi. Ø0,7 mm'lik destekler, 0,8 mm kalınlığındaki kavisli bir temele dayanıyordu. Bu parametreler ile üretilen 20 VS (VarseoSmile Crown plus) numunesi, önce 3 dakika boyunca yeniden kullanılabilir %95 etanolde, ardından 2 dakika boyunca taze %95 etanolde (Almagest AG, Sofya, Bulgaristan) olmak üzere ultrasonik bir yıkama cihazında iyice temizlendi (Şekil 3.4). Kalan rezin kalıntıları gidermek için numuneler ilave %95 etanol spreyi ile durulandı ve basınçlı hava kullanılarak kurutuldu. Destek yapılar aynı kesme diski (Separating disks, Dentorium, New York, ABD) kullanılarak çıkarıldı. Post-kürleme için 405 nm dalga boyuna sahip bir UV post-kürleme lambası (Phrozen Cure, Phrozen 3D, Hsinchu City, Tayvan) ile (2×5 dakika) polimerize edildi (Şekil 3.5). Çalışmada kullanılan yıkama cihazı ve post UV kürleme lambasının teknik özellikleri Tablo 3.4 ve Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.3: 3B Baskı Cihazının Teknik Özellikleri

Baskı Yöntemi	LCD Stereolitografi
Piksel boyutu	22
Piksel çözünürlüğü	7.536× 3.240
Baskı alanı, XYZ (mm)	165×72×180
Dalga boyu (nm)	405
Işık yoğunluğu(mW:/cm²)	2.8
Cihaz ağırlığı (kg)	13



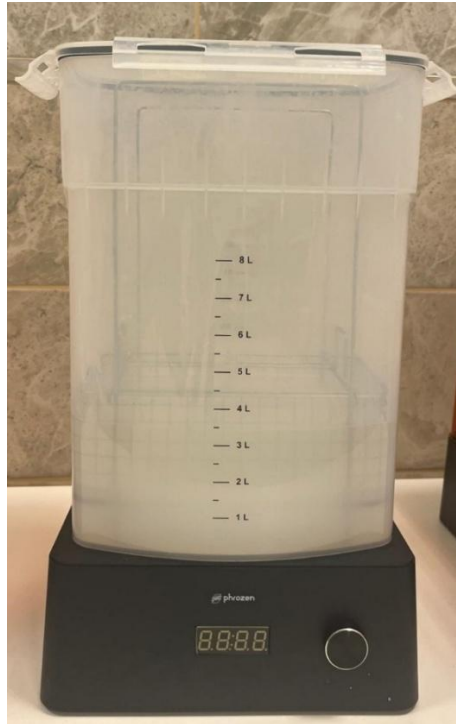
Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan Phrozen Sonic Mini 8K yazıcı



Şekil 3.2: Yapı platformundaki numunelerin baskı oryantasyon yönleri



Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan VarseoSmile Crown plus rezin



Şekil 3.4: Çalışmada kullanılan yıkama cihazı

Tablo 3.4: Yıkama Cihazının Teknik Özellikleri

Güç Oranı	48W
Veri Girişi	24 VCD
Ürün Boyutu	27.7×20.7×46.7 cm
Yıkama Haznesi Hacmi	8 L
Maksimum Model Boyutu	21.8×12.3×23.5 cm
Ağırlık	3.5 kg
Zamanlayıcı	0-30 dakika



Şekil 3.5: Çalışmada kullanılan post-kürleme cihazı (Phrozen Cure, Phrozen 3D, Hsinchu City, Tayvan)

Tablo 3.5 Post-kürleme UV Lambası Teknik Özellikleri

Güç Oranı	48 W
Veri Girişi	24 VCD
Ürün Boyutu	35.4×30.9×36.8
Döner tabla boyutu	Ø19.6 cm
Maksimum Model Boyutu	Ø25×23.5 cm
Ağırlık	3.9 kg
Zamanlayıcı	0-2 saat
LED dalgaboyu	405 nm

3.1.1.2. Crowntec ile Basılan Numuneler (Grup CT)

Çalışmanın 3B baskı numunelerini hazırlamak için yüksek çözünürlüklü LCD teknolojisi ile üretim yapan 3 boyutlu yazıcı Phrozen 8k Mini (Phrozen Tech., Hsinchu, Taiwan) cihazı kullanıldı. 8 mm çapında ve 2 mm kalınlıktaki yuvarlak disk şeklindeki numuneler Blender (Blender Foundation, Amsterdam, The Netherlands) yazılımı ile tasarlandı. STL formatındaki tasarım dosyaları, Chitubox V1.7.0 (Guangdong, Çin) 3B baskı programı ile oryantasyon yönü 0 dereceye ve katman kalınlığı 50 mikrometreye ayarlandı. Modellere destekler eklendi ve dilimleme işlemi yapıldı. Üretime hazır dosyalar yazıcıya aktarıldı. Crowntec (Şekil 3.6) basılı restorasyonlar için parametreler, alt katman sayısı 6, pozlama süresi 3,5-4,5 saniye, alt pozlama 25-35 saniye, kaldırma mesafesi 6 mm ve kaldırma hızı 60 mm/dk olarak ayarlandı. 0.05 mm’lik tabaka kalınlığı seçildi. Basım esnasında dinlenme modu ayarlandı ve numuneler çıkarıldıktan sonra 4 saniye bekletildi. Basılı numuneler banyo solüsyonundan çıkartılıp kalan rezin kalıntısı tamamen durulandı. Temizlendikten sonra, numuneler basınçlı hava kullanılarak kurutuldu. Fazla rezin, %95 etanole batırılmış bir fırça (Almagest AG, Sofya, Bulgaristan) kullanılarak Crowntec numunelerinden uzaklaştırıldı. Yüzey hafif mat bir görünüme kavuşuncaya kadar numuneler iyice temizlendi. Destek yapılarını çıkarmak için aynı kesme diski (Separating disks, Dentorium, New York, ABD) kullanıldı. Numuneler bir hava

şırıngasıyla kurutulduktan sonra, beş dakikalık iki set boyunca aynı post-kürleme lambası (Phrozen Cure, Phrozen 3D, Hsinchu City, Tayvan) ile polimerize edildi.



Şekil 3.6: Çalışmada kullanılan Crowntec (CT, Saremco) rezin

3.2.2. CAD-CAM ile Üretilen Numunelerin Hazırlanması (Grup CS)

5 eksenli CNC Ceramill motion 2 freze makinesine (AmannGirrbach, Avusturya) (Şekil 3.7) yerleştirilen Cerasmart bloktan (Şekil 3.8) 8 mm çapta silindirler elde edildi (Şekil 3.9). Elde edilen silindirden hassas kesme makinesi (Microtome, Mecatome T180, Fransa) (Şekil 3.10) ile düşük hızda su soğutmalı 0.3 mm kalınlığında elmas disk (Isomet wafering blades, Buehler, IL, USA) (Şekil 3.11) kullanılarak 2 mm kalınlıkta 20 numune elde edildi.



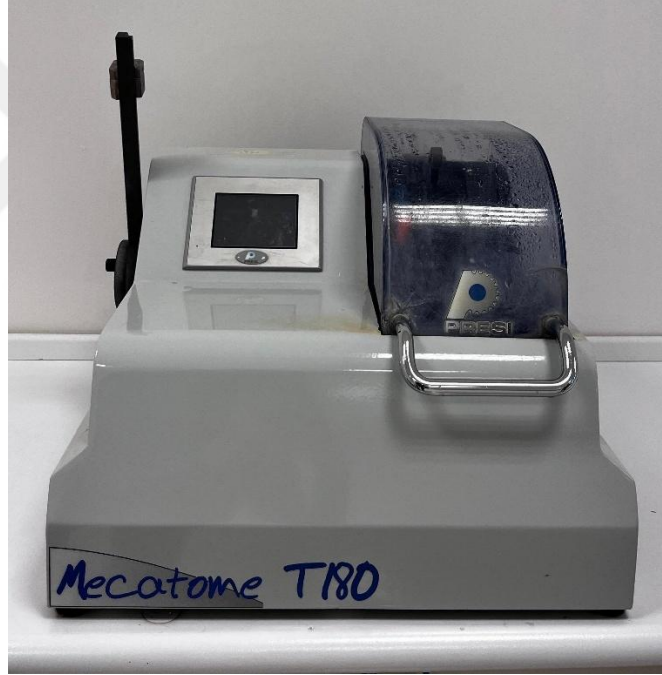
Şekil 3.7: Çalışmada kullanılan kazıma cihazı (Ceramill Motion 2; Amann Girrbach, Austria)



Şekil 3.8: Cerasmart (GC,Europe) CAD/CAM blok



Şekil 3.9: Kazıma cihazına yerleştirilen Cerasmart CAD/CAM blok



Şekil 3.10: Çalışmada kullanılan hassas kesme makinesi (Microtome, Mecatome T180, Fransa)



Şekil 3.11: Çalışmada kullanılan elmas disk hassas kesim bıçağı (Isomet wafering blades, Buehler, IL, USA)

3.2.3. Geleneksel Kompozit Numunelerin Hazırlanması (Grup CME)

Clearfil Majesty Esthetic (Şekil 3.12) nanohibrit kompozit numuneleri için de 8 mm çapında 2 mm kalınlığında silikon kalıplar hazırlandı. Numuneler hazırlanırken düz yüzeyler elde etmek için kalıpların altına şeffaf bant yerleştirildi. Kompozit resin materyaller ağız spatülü yardımıyla silindirik boşluğa yerleştirilerek üstüne düz yüzeyi sağlamak adına tekrar şeffaf bant yerleştirildi. Hafifçe baskı uygulanarak yeterli düzgün yüzey sağlandıktan sonra LED ışık cihazı ile her kompozit resin materyalinin üretici firmanın önerisine uygun polimerizasyonu yapıldı.



Şekil 3.12: Clearfil Majesty Esthetic Kompozit (Kuraray,Japonya)

Tüm numunelere son bitirme ve şekillendirme işlemleri (Clearfil Twist Dia, Kuraray, Japonya) (Şekil 3.13) üreticinin talimatları doğrultusunda iki aşamalı olarak uygulandı. Her numunede twist dia aynı yönde 15-20 saniye uygulandı ve yüzeyler standardize edildi.



Şekil 3.13: Çalışmada kullanılan polisaj lastikleri (Clearfil Twist Dia, Kuraray, Japonya)

3.3. Numunelerin Başlangıç Renk Ölçümlerinin Yapılması

Numunelerin başlangıç renk ölçümleri, Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Laboratuvarı'nda VITA EasyShade spektrofotometre (VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) cihazı ile yapıldı (Bozoğulları vd., 2023). Cihaz üretici firma talimatlarına uygun bir şekilde kalibre edildi. Ölçümler arasında cihazın kalibrasyonu yapıldı ve her ölçüm 3 kere tekrarlanarak $L^*a^*b^*$ renk verilerinin ayrı ayrı ortalamaları kaydedildi. Ölçümler gün ışığında yapıldı (Sasany vd., 2024).

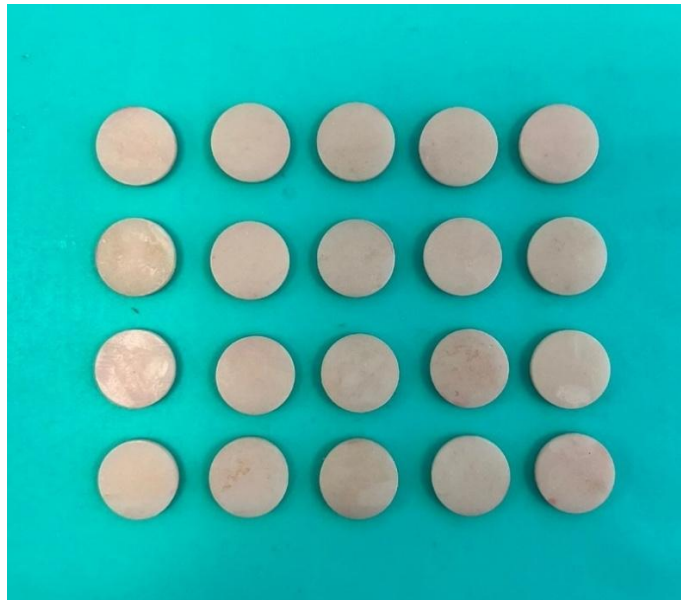
3.4. Numunelerin Kahvede Yaşlandırılması

Her gruptaki numuneler günlük 45 dakika kahve solüsyonunda bekletildi (Güler vd., 2009). Kahve solüsyonu (Nescafe Classic, Nestle, Switzerland) (Şekil 3.14) üretici firmanın talimatları doğrultusunda 200 ml kaynar suya 2 gram toz kahve olacak şekilde şeker ilavesiz hazırlandı. Numuneler yerleştirilmeden önce kahve oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakıldı. Kahve solüsyonu kontaminasyon riskini önlemek için günlük yenilendi (Dayan vd., 2019). Bu işlem 30 gün boyunca tekrarlandı (Ertas vd., 2006; Shin vd., 2020). Numuneler solüsyon periyotları dışında distile suda bekletildi. Her yeni solüsyon öncesi musluk suyu altında yumuşak fırça ile

fırçalandı. Kahvede renklendirilmiş tüm örnekler Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de verilmiştir.



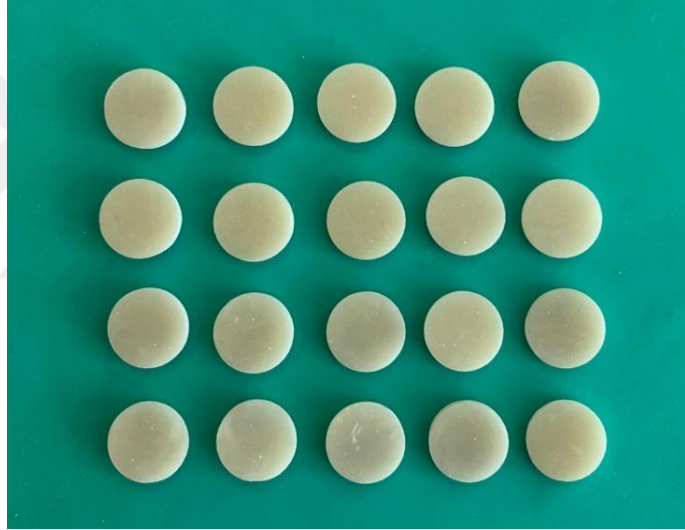
Şekil 3.14: Çalışmada kullanılan çözünebilir kahve (Nescafe Classic, Nestle, Switzerland)



Şekil 3.15: Kahvede renklendirilmiş VarseoSmile (BEGO) numuneler



Şekil 3.16: Kahvede renklendirilmiş Crowntec (CT, Saremco) Numuneler



Şekil 3.17: Kahvede renklendirilmiş Cerasmart (GC, Europe) bloktan elde edilen numuneler



Şekil 3.18: Kahvede renklendirilmiş Clearfil Majesty Esthetic Numuneler

1.Gün, 7.gün, 14.gün ve 1.ay sonunda numuneler musluk suyu altında fırçalandıktan sonra kurularak VITA EasyShade cihazı ile renk ölçümleri yapıldı (Şekil 3.19). Ölçümler A4 boyutunda beyaz arka fonda yapıldı (Dietschi vd., 1994; Zhang vd., 2000; Donmez & Okutan, 2022). Ölçümlerin standardizasyonunu sağlamak amacıyla cihaz ucu numuneye dik ve temas eder halde ölçümler yapıldı. Her ölçüm öncesi cihaz kalibrasyonu sağlandı. Aynı noktadan 3 farklı ölçüm yapıldı ve bu ölçümlerin ortalama $L^*a^*b^*$ değerleri kaydedildi. Ölçümler ve tüm işlemler standardizasyonu sağlamak amacıyla aynı gözlemci tarafından oda sıcaklığında gerçekleştirildi (Dayan vd., 2019). Ölçümlerin her gün aynı saatlerde yapılmasına özen gösterildi.



Şekil 3.19: Vita EasyShade Renk Ölçüm Cihazı

3.5. Renk Farklılığının Hesaplanması

Renk değişim farkları aşağıdaki CIEDE2000 formülü (Formül 3.1) kullanılarak hesaplandı.

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

Formül 3.1: CIEDE2000 Formülü

Bu formüle göre ΔL parlaklıktaki değişimi, ΔC kromadaki değişimi ve ΔH ise renk tonundaki değişimi ifade eder. S_L , S_C ve S_H görsel homojenite eksikliği kalibrasyonunda kullanılan parametrelerdir. K_L , K_C ve K_H sırasıyla parlaklık, kroma ve renk tonu düzeltme katsayılarını ifade eder ve değerleri 1 kabul edilmiştir. R_T mavi alanda kroma ve renk tonu farklılıkları arasındaki etkileşimi ifade eden bir rotasyon terimidir.

Kabul edilebilirlik sınırı $\Delta E_{00} < 1.8$ olarak alındı (Paravina vd., 2015).

3.6. Verilerin İstatistiksel Analizi

İstatistiksel analizler için SPSS (IBM SPSS 20.6 software; SPSS Inc., Chicago, IL, USA) programı kullanıldı. %95 anlamlılık seviyesi esas alındı. Verilerin istatistiksel analizinde One-way ANOVA ve ikili karşılaştırmalar için Post-hoc Tukey

testleri kullanıldı. Analiz sonuçları nicel veriler için ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde sunuldu. İstatistiksel anlamlılık değeri $p<0.05$ olarak alındı.



4.BULGULAR

1.günde yapılan ölçümlerde Grup VS'nin ortalama ΔE değeri 1.10 iken, Grup CT'nin ortalama ΔE değeri 1.53, Grup CS'nin ortalama ΔE değeri 1.81 ve Grup CME'nin ΔE değerinin 1.25 olduğu görülmüştür. Sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p<0.0001$). Yapılan ölçümlere göre 1. Günde en düşük ΔE değeri Grup VS' de görülürken, en yüksek ΔE değeri Grup CS'dedir. Ölçümlerde 3B yazıcı rezini Varseosmile ile nanohibrit kompozit Clearfil Majesty arasında anlamlı bir fark bulunmazken, Varseosmile ve rezin nanoseramik blok Cerasmart arasında anlamlı bir fark vardır.

7.günde yapılan renk ölçümlerinde Grup VS'nin ortalama ΔE değeri 3.02, Grup CT'nin ortalama ΔE değeri, 2.72, Grup CS'nin ortalama ΔE değeri 3.35 ve Grup CME'nin ortalama ΔE değeri 2.47 olarak bulunmuştur. Sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ($p<0.0001$). Ölçümlerde 7.günde en düşük ΔE değeri Grup CME'de görülürken, en yüksek ΔE değeri Grup CS' dedir. 3B yazıcı rezin Crowntec ile rezin nanoseramik blok Cerasmart'ın 7. Gündeki ölçümleri karşılaştırıldığında, aralarında anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur. Varseosmile ile nanohibrit kompozit Clearfil Majesty arasında da anlamlı bir fark vardır.

14. günde yapılan renk ölçümlerinde Grup VS'nin ortalama ΔE değeri 4.53, Grup CT'nin 4.51, Grup CS'nin 5.80 ve Grup CME'nin 3.78'dir. Sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır ($p<0.0001$). 14.günde en düşük ΔE değeri Grup CME'de görülürken, en yüksek ΔE değeri Grup CS'dedir. 14.gün ölçümlerinde Varseosmile ve Crowntec ile Clearfil Majesty arasında anlamlı bir fark olmadığı görülürken, Cerasmart grubunun diğer gruplarla arasında anlamlı bir fark vardır.

30.gün ölçümlerinde ortalama ΔE değerleri Grup VS, CT, CS ve CME için sırasıyla 4.69; 5.59; 5.60; 5.20 dir. Sonuçlar arasında anlamlı bir fark yoktur ($p=0.069$) (Tablo 4.1). Ölçümler arasında en düşük ΔE değeri Grup VS'de iken, en yüksek değer Grup CS'dedir (Şekil 4.1).

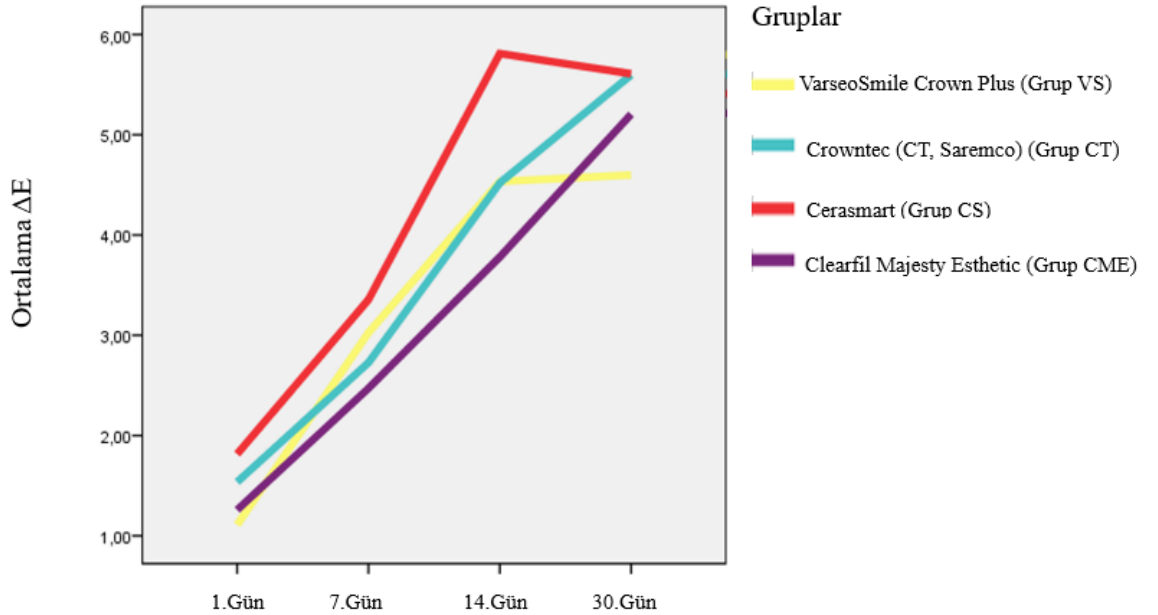
1.gün,7.gün, 14.gün ve 1.ayın sonunda ölçülen ΔE değerleri Tablo 4.1'de ve Şekil 4.1' de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: 4 Farklı Rezin Materyalin 30 gün Boyunca ΔE Değerlerinin Ortalamaları ve Standart Sapmalarının Karşılaştırılması

	Grup VS	Grup CT	Grup CS	Grup CME	
	Ortalama (SD)	Ortalama (SD)	Ortalama (SD)	Ortalama (SD)	P değeri*
1.gün	1.10 (0.51) ^A	1.53 (0.60) ^{AB}	1.81 (0.61) ^B	1.25 (0.38) ^A	<.0001
7.gün	3.02 (0.57) ^{AB}	2.72 (0.36) ^{BC}	3.35 (0.94) ^A	2.47 (0.40) ^C	<.0001
14.gün	4.53 (1.06) ^A	4.51 (1.26) ^A	5.80 (1.49) ^B	3.78 (1.13) ^A	<.0001
30.gün	4.69 (0.91) ^A	5.59 (0.53) ^A	5.60 (1.48) ^A	5.20 (1.62) ^A	.069

*One-way ANOVA sonuçlar

Her gün için farklı büyüklüklere sahip gruplar önemli ölçüde farklıdır (Tukey HSD testi) Satırlardaki büyük harf farklılıkları p< 0.05 anlamlılık düzeyinde belirgin farkları gösterir.



Şekil 4.1: Rezin Restoratif Materyallerin Ortalama 30 Gün Boyunca ΔE Değerleri

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, birçok avantajı sebebiyle eksiltmeli imalata iyi bir alternatif haline gelen eklemeli imalat teknolojisinde sık kullanılan rezin materyallerin optik özellikleri incelenmiş ve diğer rezin esaslı restoratif materyallerle karşılaştırılmıştır. 30. Gün sonunda 3B yazıcı rezin materyallerin renk stabilitesinin diğer rezin esaslı restoratif materyallerle benzer olduğu (Grup VS:4.69; Grup CT:5.59; Grup CS:5.60; Grup CME:5.20), gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ($p=0,69$) görüldüğü için rezin materyal tipinin renk stabilitesini etkilemeyeceği sıfır hipotezi kabul edilmiştir.

Literatürde 3B yazıcı rezin materyallerin mekanik özelliklerinin incelendiği çok sayıda çalışma olmasına rağmen, estetik kaygının temel sorunlarından biri olan renklenme ile ilgili çalışma sayısı sınırlıdır. Ağız içi ortama maruz kalan rezin restorasyonların yenilenmesini gerektiren en önemli nedenlerden biri renk değişimidir (Park vd., 2010). Renk değişiminin nedenleri arasında dehidratasyon, su Emilimi, yüzey pürüzlülüğü, reaksiyona girmeyen karbon çift bağları, plak birikimi ve boyayıcı ajanların rezinin yüzeysel tabakasında yarattığı pigmentasyon sayılabilir (Nasim vd., 2010; Lee vd., 2011). Bir rezin materyalin su Emilimi yüksekse, suda çözünen pigmentleri de yüksek oranda emebilir (Arocha vd., 2013). Resin materyallerin renk stabilitesi çeşitli fiziksel ve kimyasal koşullar sağlanarak iyileştirilmiştir. Bu iyileştirmeleri düşük su Emilimi, yüksek doldurucu oranı, azaltılmış parçacık boyutu ve ideal doldurucu/matriks bağlayıcı ajan sağlamaktadır (Dietschi vd., 1994).

Barutçugil ve arkadaşları ile Aydın ve arkadaşları çalışmalarında CAD/CAM materyallerini 30 gün distile su, şarap ve kahvede bekletmişlerdir. Kahvede bekletilen Cerasmart numunelerinin 30 günün sonunda ΔE değeri her iki çalışmada da klinik kabul edilebilir eşik değerinden yüksektir. Bu sonuç mevcut çalışma ile benzerdir. Barutçugil ve arkadaşları klinik kabul edilebilir renk değişimini kullanılan materyalin translusensliğine ve tonuna bağlamışlardır (Kim vd., 2007). Çalışmalarında kullandıkları Cerasmartın yüksek translusensiye sahip olması daha fazla renk değişiminin nedeni olabilir (Barutçugil vd., 2019; Aydın vd., 2020). Cerasmart CAD/CAM bloğun nanoseraamik partiküllerinin dalga boyu görünür ışığın dalga boyundan küçük olduğu için bloğun üzerinden ışık daha az saçılır ve daha yüksek

translusensi ortaya çıkar (Gueth vd., 2013; Awad vd., 2015). Kullanılan materyalin tipi, rengi ve kalınlığı materyalin optik davranışını etkileyebilir (Egilmez vd., 2018; Lucena vd., 2021).

Ortamda bulunan ışığın materyal yüzeyinde emilmesi ve saçılması sonucu, materyalin optik davranışı ortaya çıkar. Rezin esaslı kompozitlerde doldurucu partikül boyutu ve şekli ışığın saçılmasını, organik matriks ve pigmentlerin varlığı ise ışığın emilimini etkilemektedir (Arikawa vd., 2007; Pecho, Ghinea, do Amaral, vd., 2016; Perez vd., 2016). Yapılan çalışmalarda Crowntec ve Varseosmile yazıcı rezinlerin yapısındaki doldurucu partiküllerin ağırlıkça oranı üretici firmanın belirttiği aralıkta (%30-50) %33 olarak tespit edilmiştir (Mudhaffer vd., 2024). Partikül boyutları ise üretici firmanın verdiği bilgiye göre 0,7 μm 'dir (Sasany vd., 2024). Ancak doldurucu morfolojileri hakkında bilgi eksikliği mevcuttur. İnorganik partiküllerin zamanla materyal yüzeyinden koparak uzaklaşması boşluk oluşumuna neden olur, bu da yüzey pürüzlülüğünü artırır (Vichi vd., 2023). Bu durum uzun vadede yaşlanmaya bağlı yüzey bozulmasına sebep olabilir (Kessler vd., 2019). Ayrıca materyalin viskozitesini azaltmak için büyük doldurucu partikülleri tercih edildiğinde, materyalin uzun süreli depolama sürecinde tortu oluşabilir ve üretim esnasında katmanlar heterojen basılabilir (Kessler vd., 2019). Bu tortulaşma lazer ışığın saçılmasına neden olur ve polimerizasyon derinliğini azaltır. Düşük doldurucu oranı da aynı etkiyi yaparak ışığın saçılmasına neden olur ve kürlenmesi gereken matriks hacmini artırır (Kessler vd., 2019). Bu nedenle ideal mekanik, fiziksel ve optik özellikleri sağlayan koşulda tercih edilen doldurucu boyutu küçük ve doldurucu oranı yüksek olmalıdır. Küçük doldurucu boyutu ışık penetrasyonunu arttıracaktır (Jang vd., 2015; da Silva Pedrosa vd., 2021). Cerasmart CAD/CAM blok hacimce %71 oranında silika(20 nm) ve baryum cam(300 nm) nanoseramik düzensiz şekilli doldurucular içermektedir (Nagaş vd., 2017; Turker & Yuzbasioglu, 2024). Nagaş ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Cerasmart karşılaştırıldığı diğer CAD/CAM blok materyallere göre daha düşük doldurucu oranına sahip bulunmuştur. Mevcut çalışmada materyallerin 30. Gün sonunda kabul edilebilir sınırın üzerinde renk değiştirmesinin nedeni bu olabilir. Materyallerin kimyasal bileşimi hakkında net bilgilere ulaşılamaması, optik özellikleriyle olan ilişkisini saptamayı zorlaştırmaktadır.

Materyalin yapısında bulunan inorganik doldurucular kadar organik matrikste yer alan monomerler de optik davranışı etkilemektedir. Hatta yapılan çalışmalara göre renk stabilitesi, doldurucu oranına kıyasla organik matriksten daha fazla etkilenmektedir (Setz vd., 1991). Materyalin mekanik özellikleri için doldurucu oranı, doldurucu tipine göre daha etkindir, rezindeki monomer tipi ise organik matriks oranına göre daha önemlidir (Dietschi vd., 1994; Patel vd., 2004; Vichi vd., 2004; Topcu vd., 2009). Üreticiler tarafından verilen kısıtlı materyal içeriğine göre 3B yazıcı rezinlerde BisGMA gibi hidroksil gruplarına sahip, su emilimine yatkın ve visköz monomerler yerine muadili hidroksil grubu olmayan az visköz BisEMA monomeri kullanılmaktadır (Lemon vd., 2007; Dos Santos vd., 2008). 3B yazıcı rezinlerde tespit edilen bir diğer monomer UDMA'nın, BisGMA monomerine göre 3 kat fazla maksimum polimerizasyon oranına sahip olduğu görülmüştür (Lemon vd., 2007). Bunun sebebi yapısında bulunan -NH gruplarının molekül esnekliği ve zincir transfer reaksiyonlarını artırarak UDMA'yı daha reaktif hale getirmesidir (Floyd & Dickens, 2006). Bu sayede polimerizasyonu gerçekleştiremeyen monomer oranı azalır, bu sonuç renklenmeyi etkileyen artık monomer oranının azalmasını sağlar. Atasoy ve arkadaşlarının Crowntec, Varseosmile ve Cerasmart numunelerde artık monomer üzerine yaptıkları çalışmada tüm numunelerden ortak elde edilen hidrofobik az visköz BisEMA monomeri (Atasoy & Karademir; Arif vd., 2019; Kang vd., 2020), mevcut çalışmada Varseosmile ve Crowntec (BisEMA) (Mudhaffer vd., 2024) materyalinin Cerasmart (UDMA,BisEMA) (Atasoy & Karademir; Mourouzis vd., 2020) blok materyaliyle benzer ΔE değeri göstermesinin sebebi olabilir. Arocha ve arkadaşlarının çalışmasında laboratuvarında üretilen rezin materyali Adora (ADR), kıyaslandığı diğer rezin esaslı materyallere göre daha düşük renklenme göstermiştir. Bunun sebebi Adora'nın yapısında bulunan hidrofilize edilmemiş UDMA monomerine bağlanmaktadır (Arocha vd., 2013).

Rezin materyallerin renk stabilitesi matriks hidrofilitesinden önemli ölçüde etkilenirken inorganik ve organik yapı arasındaki bağlantı seviyesi materyalin renklenebilirliğinde büyük rol oynayan su emilimini etkilemektedir (Bagheri vd., 2005). Materyalin yüzey pürüzlülüğünü ve ıslanabilirliğini organik ve inorganik bileşimi etkilemektedir (Ozel vd., 2017). Rezin esaslı materyallerin rengini, organik matriks ve doldurucu gibi temel bileşenlerinin yanında yapısına ilave edilen

pigmentler, başlatıcı sistemler ve ara bağlayıcılar da etkilemektedir (Johnston & Reisbick, 1997). Organik matriks oranı yüksek, doldurucu partikül miktarı düşük rezin esaslı materyallerin su emiliminin daha fazla olduğu ve renk stabilitesinin de düşük olduğu tespit edilmiştir (Paolone vd., 2023).

Mevcut çalışmada tüm rezin esaslı materyal numuneleri için üretici firmalarının belirttiği A2 rengi kullanılmıştır. Ancak Alfaro ve arkadaşlarının çalışmasında çoğu materyalin başlangıç renginde Vita Classic sınıflamasına göre A2 dışında renkler bulunduğu saptanmıştır. Bu durum farklı materyaller arasında renk karşılaştırması yapan çalışmaların doğruluğunu etkileyecektir (Umaña Alfaro, 2024).

Literatürde yazıcı çeşidinin rezin esaslı materyallerle üretilen restorasyonların renk stabilitesini değiştirebileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Bozoğulları ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da eklemeli ve eksiltmeli imalat rezinleri termosiklus ile yaşlandırılmış ve kahve solüsyonunda 7 gün bekletilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve boyanabilirliğin karşılaştırıldığı çalışmada DLP teknolojisi ile üretilen Saremco Print Crowntec, Cerasmart'tan daha fazla renklenmiştir (Bozoğulları & Temizci, 2023). Bu çalışmada mSLA(LCD) 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılmıştır. DLP ve SLA temelli üretim yöntemi kullanan mSLA teknolojileri arasındaki en belirgin fark kürleme mekanizması farklılığıdır. mSLA teknolojisi sıralanmış UV-LED veya LED ışık kaynağı ile ışığı maskeleyerek ileten bir LCD ekrana sahiptir. Kürleme işleminde ışık LCD ekranın maskeleme işlevi sayesinde yalnızca kürlenmesi gereken alanda yoğunlaştırılır (Junk & Bär, 2023). Buna karşın DLP teknolojisinde ışık, hareketli dijital aynalar vasıtasıyla iletilerek bir tabaka aynı anda kürlenmektedir (Truxova vd., 2020; Davoudinejad, 2021). Bu üretim sürecindeki farklılık daha uzun sürede ama daha ayrıntılı ve pürüzsüz yüzeylerin mSLA teknolojisiyle elde edilmesini sağlıyor olabilir. Bu durum renk stabilitesini mutlaka etkilemektedir (Shin vd., 2020). Ellakany ve arkadaşları çalışmalarında mevcut çalışmaya benzer şekilde bir adet eksiltmeli imalat rezin esaslı materyal, SLA ve DLP teknolojilerinde üretilen iki rezin esaslı materyal ve kontrol grubu olarak geleneksel kompozit rezini çeşitli solüsyonlarda 1,7,30 gün bekletmiş ve renk değişikliklerini kaydetmiştir. Sonuçlarda DLP ile üretilen numune tüm zaman aralıklarındaki ölçümlerde SLA ile üretilen numunelerden daha büyük renk değişiklikleri göstermiştir (Ellakany vd., 2023).

Krajangta ve arkadaşları yaptıkları çalışmada rezin seramik hibrid materyal Varseosmile ve Cerasmart numuneler ile sığır dişini 30 günlük distile su ve kahve solüsyonunda bekleterek renk değişimi ve yüzey pürüzlülüğü açısından test etmişlerdir. 3B yazıcı numunelerin üretiminde Asiga DLP cihazı kullanılmıştır. Cerasmart ve Varseosmile numunelerin 30. Gün sonundaki ΔE değerleri arasında anlamlı fark bulunmadığını, ΔE değerlerinin bu çalışmaya benzer şekilde klinik olarak kabul edilebilir sınırın üzerinde olduğunu bildirmişlerdir (Krajangta vd., 2024).

Eklemeli imalatta katmanlı üretim süreci sebebiyle basılan parçalar anizotropik mekanik özellikler gösterirler (Puebla vd., 2012). Anizotropi bir nesnenin baskı yönüne göre farklı özellikler göstermesi durumudur (Unkovskiy vd., 2018). Baskı yönü, basılacak parçanın katman sayısını belirler. Baskı yönüne göre materyalin mekanik ve optik özellikleri değişkenlik gösterebilir (Kulkarni vd., 2000). Bakteriye adezyonun gerçekleştiği yüzey pürüzlülüğü sınırı $0.2 \mu m$ 'dir (Yadav vd., 2016). Ayrıca oluşan bu katmanların birleşme çizgileri de restorasyonun yüzey pürüzlülüğünün 0.2 'den yüksek olmasına neden olur. Bu çizgiler baskı yönüne bağlı olarak restorasyonun farklı yüzeylerine denk gelebilir. Bu durum boyayıcı ajanlarla temas eden bukkal yüzeyin pürüzlülüğünü etkileyebilir (Shim vd., 2020) .

Elde edilen baskı ürününün katmanlar arası adezyonu genellikle katman içi adezyondan daha zayıf olmaktadır (Kulkarni vd., 2000). Ancak Puebla ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada SLA teknolojisi ile üretilen numunelerin katmanlar arası adezyonun, katman içi adezyon kadar güçlü olduğu görülmüştür (Puebla vd., 2012). Numunelerin kesitlerini taramak için kullanılan stereolitografi(SL) vektörleri yapım yönü dikey olduğunda, yapım yönü horizontal olan numunelere göre daha iyi mekanik özellikler gösterecektir (Monzón vd., 2017). Post-kürleme işlemlerinin uygulanması anizotropi oranlarını minimuma indirmektedir (Monzón vd., 2017).

Tayaheri ve arkadaşları 0° ve 90° derece baskı yönünde üretilen numunelerin kalınlığı boyunca dönüşüm derecelerini incelemiştir. Numunelerin polimerizasyon kaynağına yakın olan üst kısmında dönüşüm derecesi, taban kısmına göre daha yüksek bulunmuştur (Tahayeri vd., 2018). Bu bilgiye göre, polimerizasyonun yüksek olduğu tabaka 0° derece baskı yönüyle üretilen yassı numunelerin renk ölçüm yüzeyinde bulunurken, 90° derece baskı yönüyle üretilen numunelerin renk ölçüm yüzeyinde

bulunmayacaktır. Bu durumda baskı derecesine bağımlı renk ölçüm alanında bulunan iyi polimerize edilmiş alanlar materyalin renk kararlılığında avantajlı olmasını sağlayacaktır (Tahayeri vd., 2018). Bu durum materyalin platforma paralelliğinin arttırılmasıyla sağlanabilir. Bu çalışmada baskı yönü 0° derecedir.

Baskı prosedürlerinde yapılan değişikliklerin materyallerin renk davranışlarına etkisini incelemek için çalışmalar yapılmıştır. Espinar ve arkadaşlarının çalışmasında dört farklı 3B yazıcı rezinin (Detax Freeprint Temp, Formlabs Temporary CB, Formlabs Permanent Crown ve GC TempPrint) 0° ve 90° derece baskı oryantasyon yönü parametrelerinde renk değişiklikleri kaydedilmiştir. Değerlendirilen rezinlerin yarısından fazlasında 0° ve 90° derece baskı yönü arasındaki renk farklılıklarının algılanabilirlik eşiğinden büyük olduğu görülmüştür (Espinar vd., 2023). Baskı yönündeki farklılıklar kullanılan rezin materyale göre değişebilir çünkü materyalin kimyasal yapısındaki değişikliklerin renk stabilitesini etkileyeceği öngörülmektedir (Bagueri & Jin).

Baskı sonrası işlemler platformdan ürünün çıkarılması, temizleme, post-kürleme ve destek yapıların çıkarılması olmak üzere dört aşamadan oluşur (Taormina vd., 2018). Baskı sonrası işlemler 3 boyutlu yazıcı materyallerin özelliklerini etkilemektedir. Bu prosedürlerin üretim doğruluğunu ve materyalin mekanik özelliklerini etkilediğini anlatan çalışmalar vardır (Unkovskiy vd., 2018; Wu vd., 2019; Kim vd., 2020; Reymus vd., 2020). Post-kürleme için UV bir post-polimerizasyon cihazı kullanılmaktadır (Hector Sandoval & Wicker, 2006). Özellikle post-kürleme süresinin materyallerin renk stabilitesi üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir (Kim vd., 2020). Lee ve arkadaşları çalışmalarında farklı sürelerde post-kürlemeye tabi tutulan numunelerin renk stabilitesini karşılaştırmışlardır. Numuneler 0,5,10 ve 20 dakikalık post-kürleme sürelerine göre sınıflara ayrılmıştır. Özellikle kahvede bekletilen numunelerin post-kürleme süresi arttıkça, ΔE değerleri azalmıştır. Post-kürleme süresinin 10 dakika ve üzeri olduğu koşullarda yüzey pürüzlülüğü artışı ortadan kalkmıştır (Lee vd., 2022). Bu durum boyayıcı pigmentlerin materyalin yapısına nüfuz etmesini engelleyecektir. Bu çalışmada da üretici talimatlarına uygun koşullarda 10 dakikalık post-kürleme uygulanmıştır.

Bayarsaikhan ve arkadaşlarının çalışmasında ise 15,30,60 ve 90 dakikalık post-kürleme sürelerine göre gruplara ayrılan 3B yazıcıda üretilmiş numunelerde 60 dakikanın üzerinde post-kürleme yapılan numunelerde dönüşüm derecesinde artış olmadığı görülmüştür (Bayarsaikhan vd., 2021).

Önceki bir çalışmada post-kürlemenin ve katman kalınlığının, 3 boyutlu yazıcılarda üretilen baskıların mekanik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışmaya göre post-kürleme yönteminin, baskının mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür (Perea-Lowery vd., 2021). Post-kürleme yapılmayan numunelerin dönüşüm derecesinin, tüm post-kürleme uygulanan numunelerden daha düşük olduğu izlenmiştir (Perea-Lowery vd., 2021).

Post-kürleme süresinin uzaması dönüşüm derecesini (Reymus vd., 2019) ve renk stabilitesini arttırırken, su teması açısı (ıslanabilirlik) ve serbest yüzey enerjisi azalmaktadır (Lee vd., 2022). Lee ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre post-kürleme süresinin uzaması materyalin renklenebilirliğini etkileyen suda çözünürlük değerini de azaltmaktadır (Lee vd., 2022). Dönüşüm derecesinin artması artık monomer miktarını azaltacaktır. Artık monomerler yüzey bozulmasına neden olur ve renklenebilirliği olumsuz yönde etkiler (Engler vd., 2020; Costa vd., 2024).

İndirekt rezin materyallerin çoğu direkt rezin esaslı materyallere göre daha yüksek dönüşüm derecesine sahip olduğu için daha iyi renk kararlılığı göstereceği kabul edilmektedir (Lee vd., 2011). Ancak bizim çalışmamızda CAD/CAM blok materyaller ve 3B yazıcı rezin materyaller ile nanohibrit kompozit materyalin ΔE değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Işıkla polimerize edilen rezin materyallerin monomer dönüşümü hiçbir zaman tamamlanmaz (Peutzfeldt, 1997). Monomerlerin tamamının polimerizasyona girememesi yapıda oluşan jel etkisinden kaynaklanır. Jel etkisi organik matriks ağını oluşturan bileşenlerin difüzyon hızını azaltır ve organik matriksi bloke ederek polimerizasyon oranını sınırlar (Obici vd., 2004). Bu nedenle eklemeli imalat yöntemiyle üretimde kullanılan rezinler için post-kürleme prosedürü temel aşamalardan biri haline gelmiştir (Wada vd., 2023).

Bu çalışmada renk değişikliğinin ölçüldüğü tüm günlerde en fazla renklemenin Grup CS de olduğu görülmüştür. Cerasmart numunelerindeki daha yüksek renklenme frez izlerinden kaynaklanabilir. Shin ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada inceledikleri CAD/CAM materyallerinin yüzeylerinde frez izlerinin kaldığını tespit etmişlerdir. 3B yazıcıda elde ettikleri numunenin yüksek büyütme görüntülerinde nispeten pürüzsüz bir yüzeyi olduğu görülmektedir. DLP tipi yazıcıyla basılan Nextdent C&B rezini yüzeyinde DLP teknolojisinde kullanılan mikro aynaların sebep olduğu bir desen bulundururken, SLA tipi yazıcıyla üretilen Formlabs rezininde Nextdent C&B rezinine kıyasla daha pürüzsüz bir yüzey görülmüştür. Bu karşılaştırma yapılırken materyallere henüz polisaj uygulaması yapılmamıştır. Bu durum eklemeli imalat yüzeyine uygulanacak polisaj tekniğinin önemini göstermektedir. Ayrıca bu sonuçlar kullanılan materyale göre değişebilir ancak eklemeli imalat teknolojisi için umut vadedicidir (Shin vd., 2020). Daha pürüzsüz yüzeye sahip olan eklemeli imalat numunelerinin, eksiltmeli olarak üretilen numunelerden daha yüksek renk stabilitesi beklenmektedir ancak bu durumu etkileyen, üretim süreci ve üretim sonrası süreci kapsayan çok sayıda faktör bulunmaktadır.

Rezin esaslı restorasyonların polisajı için polisaj diskleri, spiraller, polisaj pastaları (Heintze vd., 2006), üstünde alüminyum oksit ve elmas partiküller içeren polisaj lastikleri kullanılmaktadır (Reis vd., 2002). Kullanılan materyaller farklı partiküllere ve aşındırıcı özelliklere sahip olduğu için etkinlikleri de farklı olabilir (Devlukia vd., 2023).

Çakmak ve arkadaşlarının çalışmasında Varseosmile, Crowntec ve Cerasmart numunelere 2 aşamalı polisaj kiti (Diatech; Coltène AG) ve polisaj pastası (Zircon Brite; Klasse 4 Dental GmbH), Optiglaze ve Vita Akzent olmak üzere 3 ayrı polisaj prosedürü uygulanmıştır. Crowntec numunelerine uygulanan farklı polisaj teknikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur (CP için $\Delta E=0.89$, OG için $\Delta E=1.04$, VA için $\Delta E=1.52$). Glaze uygulanan Varseosmile numunelerinin renk stabilitesi ($\Delta E=1.38$) polisaj kiti ve polisaj pastası uygulanan numunelerden daha iyi (iyi)ken ($\Delta E=1.98$), polisaj kiti ve polisaj pastası uygulanan Cerasmart numuneleri ($\Delta E=0.47$) diğer polisaj tekniklerine göre daha az renklenmiştir (Çakmak vd., 2023). Bu çalışmalar materyallere uygulanan polisaj prosedürlerinin uygulanan materyal çeşidine göre renk stabilitesini etkilediğini göstermektedir (Kara vd., 2021). Bu

çalışmada gruplar arasında standardizasyonu sağlamak için tüm numunelere 0.2 µm yüzey pürüzlülük (Ra) değerine sahip iki adımlı twist dia polisaj kiti (Clearfil Twist Dia, Kuraray, Japonya) ile polisaj uygulanmıştır. Ayrıca Çakmak ve arkadaşlarının çalışmasına göre Cerasmart beklenmedik şekilde eklemeli imalat rezinlerine benzer ΔE değerleri göstermiştir. Bu bulgu mevcut çalışmada da elde edilmiştir.

Avunduk ve arkadaşları çalışmalarında, aralarında Crowntec ve Clearfil Majesty Esthetic nanohibrit kompozitin de bulunduğu rezin numunelere tek aşamalı ve çok aşamalı polisaj prosedürleri uyguladıktan sonra kahvede bekletmişlerdir. Saremco ve Clearfil Majesty kompozitin toplam yüzey pürüzlülükleri (Ra) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunurken, ΔE değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (Erturk-Avunduk vd., 2024). Buradan farklı polisaj teknikleri ile materyallerin renk stabilitelerinde değişkenlik olabileceği öngörülebilir.

Rezin materyallerin içeriğindeki inorganik yapı pörözlüdür. Bu durum renklendirici ajanların olumsuz etkisini arttıracaktır (Barakah & Taher, 2014). Restoratif materyallerin uygun şekilde bitirilmesi ve cilalanması klinik ömrü ve estetiği için çok önemlidir. Genelde, rezin materyallerin cilalanabilirliği yapısında bulunan doldurucu partikül oranıyla ilişkilendirilir (Strassler, 1990). Rezin materyallerde, farklı doldurucu partikül miktarı, doldurucu partiküllerin boyutu, doldurucu partiküller ile organik matriks arasındaki sertlik farklılıkları nedeniyle ideal cilalı yüzeyler elde etmek güçtür (Venturini vd., 2006). Ağırlıkça doldurucu yüzdesi fazla olan rezinlerde daha pürüzsüz yüzeyler elde edileceği düşünülür ancak organik matriksten daha sert olan doldurucu faz, organik matriks-doldurucu arayüzünde bozulmalara ve aşınmaya sebep olabilir (Gömleksiz & Gömleksiz, 2022). Polisaj sistemi, rezinin yapısından doldurucu partikülleri aşındırmalıdır. Bu kullanılan polisaj sisteminin aşındırıcı partiküllerinin, rezin materyalin doldurucu partiküllerinden daha agresif olmasıyla sağlanır. Aksi takdirde polisaj sistemi sadece yumuşak rezin matriksini çıkarır ve yüzeyde renklenmeye yatkın doldurucu partiküller kalır (de Oliveira vd., 2023). Almejrada ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 3 boyutlu yazıcı rezin materyal Nextdent C&B'ye farklı polisaj teknikleri uygulanarak; yapay tükürük, çay, kahve ve şarapta 6 ay süreyle bekletilmiştir. Alüminyum oksit ile bitirme ve cilalama yapılan numuneler, glaze uygulanan numunelerden tüm solüsyonlarda daha yüksek ΔE değeri göstermiştir. Uygulanan polisaj tekniği materyalin optik özelliklerini

değiştirmektedir. Ancak geçmişte yapılan bir çalışmada rezin materyallerin bitirme ve polisaj prosedürlerinin hiçbirinde mükemmel pürüzsüz yüzeye sahip olamadığı tespit edilmiştir (Erdemir vd., 2013; Almejrad vd., 2022). Hatta Avunduk ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada polisaj prosedürleri yüzeyde düzensizliklere sebep olmuş, yüzeyde çizik ve deliklerin oluştuğu görülmüştür (Erturk-Avunduk vd., 2024).

Özer ve arkadaşları kahve, çay ve yapay tükürkte bekletilen 3B yazıcı (Crowntec, Varseosmile) ve frezelenabilir (Cerasmart) rezin materyallerin 1. Ve 7. Gündeki renk değişimlerini incelemiştir. 1. Günde kahvede bekletilen numunelerin ölçümlerinde Cerasmart örneğin ΔE değeri, 3B yazıcı rezin materyaller Crowntec ve Varseosmile 'ın ΔE değerinden daha düşük olduğu görülürken 7.günde Cerasmart numunenin ΔE değeri 4.87, Crowntec'in ΔE değeri 4.70 ve Varseosmile'in ΔE değeri 6.00'dır. Mevcut çalışmadan farklı olarak tüm numunelere polisaj prosedürü olarak Sof-Lex elmas disk uygulanmıştır. Restorasyonların final yüzeyini belirleyen son aşama olarak kabul edilen polisaj işlemleri sonuçlardaki farklılığı açıklayabilir. Ayrıca bu çalışmadaki numunelerin solüsyonda bekleme süresi günlük 45 dakika iken, Özer ve arkadaşlarının çalışmasındaki numunelerin gün boyu solüsyonda bekletilmiş olması sonuçlardaki farklılığın nedeni olabilir. Bu, renklendirici ajanda bekletme süresinin materyallerin optik özelliklerini değiştirdiğini göstermektedir (Erdemir vd., 2012; Al-Dharrab, 2013; Özer vd., 2024)

Rezin restorasyonlar ağız ortamında diyetle bağlı sıcaklık değişimi, pH değişimi, ve çiğneme kuvvetleri gibi streslere maruz kalmaktadır (Pallikari & Iosifidou, 2004). Termosiklus diş hekimliğinde sıkça kullanılan yapay yaşlandırma yöntemlerinden biridir (El-Araby & Talic, 2007) ve bu yöntemle bis-akrilik ve metakrilat esaslı rezinlerin renk değişimi tespit edilebilir (Lang vd., 1998; Doray vd., 2001). Bu yapay yaşlandırma ağız ortamında uzun sürede meydana gelecek doğal yaşlanmayı hızlandırılmış bir şekilde taklit eder. Araştırılan materyalin uzun dönemde klinik başarısı hakkında bir ön bilgi sağlar (Hamza vd., 2017). Çakmak ve arkadaşlarının renk stabilitesini karşılaştırdıkları çalışmada eklemeli imalat rezini olarak Crowntec ve Varseosmile, eksiltmeli imalat rezini olarak Cerasmart kullanılmıştır. Mevcut çalışmadan farklı olarak Varseosmile grubu diğer gruplardan daha fazla renklenmiştir. Çakmak ve arkadaşlarının çalışmasında 10 000 döngülü kahve termosiklusu uygulanmıştır (Çakmak vd., 2023). Termosiklus rezin esaslı materyalleri hidrolitik

bozunmaya uğratarak yüzey pürüzlülüğünü arttırmaktadır (Dos Santos vd., 2015; Blackburn vd., 2018). Ayrıca kahvenin termosiklus eşliğinde uygulanması boyayıcı pigmentlerin penetrasyonunu arttırmaktadır (Subaşı vd., 2018; Yuan vd., 2018). İn vitro koşullarda ağız ortamındaki stres kaynaklarını simüle etmek için termosiklus döngülerinin yanı sıra farklı periyotlarda suda bekletme yöntemi de uygulanabilir (Özcan vd., 2013). Solüsyona daldırma yöntemi de özellikle renk değişiminin tespitinde sıkça kullanılmaktadır. Mevcut çalışmada numuneler 30 gün boyunca kahvede bekletilmiştir. Sonuçlardaki farklılığın nedeni bu yaşlandırma yöntemlerindeki farklılığa dayandırılabilir.

Sasany ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada bilgisayarda üretilen eklemeli (Varseosmile ve Crowntec) ve eksiltmeli rezin esaslı ve seramik esaslı materyallere potasyum alüminyum sülfat uyguladıktan sonra kahvede yaşlandırarak renk stabilitelerini ölçmüştür. 3 boyutlu yazıcı olarak Asiga DLP cihazı kullanılmıştır. Spektrofotometre olarak Konica (CM-26d; Konica Minolta) kullanılmıştır. Baskı sonrası işlem olarak potasyum alüminyum sülfat uygulanan gruplarda; Crowntec numunesinin renk değişimi klinik olarak algılanabilir eşiğin altında iken ($\Delta E=0.59$), Varseosmile numunesi orta seviyede klinik kabul edilemez renk değişimi göstermiştir ($\Delta E=2.24$). Ancak kahve termosiklusu uygulanmasıyla birlikte tüm gruplarda mevcut çalışmaya benzer klinik kabul edilemez renk değişimi meydana gelmiştir (Sasany vd., 2024).

İdeal rezin materyalin kararlı bir yapıda olması ve suya geçirgen olmaması gerekmektedir. Ancak rezinin yapısındaki polimer ağ difüzyon kontrollü bir süreç ile (Braden & Clarke, 1984) suyu absorbe edebilir. Su emilimi, tepkimeye girmeyen monomerlerin ve doldurucu iyonların, yan ürünlerin salınmasına neden olabilir (Zhang & Xu, 2008). Sızan ürünler matrikste boşluklar ve mikro çatlaklar (Wei vd., 2011) oluşturur (Barutçigil & Yıldız, 2012). Bu durum materyalin çözünürlüğünü artırır. Su emilimi ile materyalde mekanik özelliklerin bozulması, hacimde değişiklik, renk değişimi, aşınma direncinde azalma, organik matriks-doldurucu arayüzündeki kimyasal bağların hidrolizi gibi olumsuz sonuçlar görülebilir (Alshali vd., 2015; Mansouri & Zidan, 2018). Numunelerin solüsyona daldırma süresinin uzaması ile artan su emilimi (Musanje & Darvell, 2003; Liebermann vd., 2016) geleneksel ve bilgisayar destekli üretilen rezin esaslı materyallerde renk değişimini arttırmaktadır

(Taşın vd., 2022). Berli ve arkadaşlarının çalışmasında kullanılan LuxaPrint Ortho Plus materyali diğer eklemeli imalat rezinlerine göre, CAD/CAM ile üretilen numunelerden daha az su emilimi göstermiştir (Berli vd., 2020). Bu durum renklenebilirliği etkileyen su emilimi gibi fiziksel faktörlerin materyal tipine göre farklılık gösterebileceğini kanıtlamaktadır.

Kahve, yapısında bulunan çözücü maddeler ve tannik asit ile bulunduğu ortamın pH'ını düşürür ve yüzey pürüzlülüğünü artırır (Neppelenbroek vd., 2015). Ayrıca kahvenin yapısında bulunan polimer matrikse yatkınlıklarıyla bilinen pigmentler, düşük polariteye sahiptir ve materyalin yapısına kolayca nüfuz edebilir (Ardu vd., 2010; Peñate vd., 2021). Kahvenin diğer içeceklerden daha agresif etkiye sahip olmasını (Bitencourt vd., 2020; Al-Qahtani vd., 2021; Taşın vd., 2022) sağlayan bu özellikler bu çalışmada boyayıcı ajan olarak seçilmesine neden olmuştur (Haselton vd., 2004; e Silva vd., 2014; Poggio vd., 2017; Soares vd., 2019; Alharbi vd., 2021; Radwan vd., 2021)

Üretici talimatlarına uygun hazırlanan kahve çözeltisinin derişimi de materyal üzerindeki agresifliğini etkileyebilir. Gruber ve arkadaşları çalışmalarında CAD/CAM eklemeli (NextDent C&B) ve eksiltmeli imalat rezin materyallerine termal yaşlandırma uygulayarak distile su, kırmızı şarap ve kahvede bekletmişlerdir. Eklemeli imalat rezin materyalleri eksiltmeli olarak üretilen materyallerden daha yüksek ΔE değerleri göstermiştir. Mevcut çalışmada kahve solüsyonu verilen üretici talimatları doğrultusunda 2 gram kahve/ 200 ml kaynar su ile hazırlanırken, Gruber ve arkadaşlarının çalışmasında 7 gram kahve/ 200 ml kaynar su ile bizim çalışmamızdan daha derişik bir solüsyon hazırlanmıştır (Gruber vd., 2021). Sonuçlardaki farklılığın sebebi bu olabilir.

Yapılan araştırmalarda bir fincan kahvenin ortalama 15 dakikada tüketildiği ve bir kişinin günde ortalama 3.2 fincan kahve tükettiği hesaplanmıştır. Bu ortalamalara göre bir kişi günde yaklaşık 48 dakika kahve tüketmektedir (Güler vd., 2009). Bu durumu simüle etmek amacıyla numuneler her gün 45 dakika kahve solüsyonunda bekletilmiştir. Ancak her kişinin kahve tüketim sıklığının farklı olabileceği göz önünde bulundurulduğunda sonuçların değişeceği öngörülebilir. Alfaro ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 3 boyutlu yazıcı rezinlere (Varseosmile ve Crowntec) 4 aydan fazla

süreyi simüle edecek şekilde yaşlandırma uygulanmış ve numuneler kahve solüsyonuna 40 gün süreyle daldırılmıştır. Crowntec rezinlerin renk stabilitesinin daha iyi olduğu görülmüştür. Daldırma süresinin uzaması materyallerin davranışını etkilemiş olabilir (Umaña Alfaro, 2024).

Spektrofotometre gibi renk ölçüm cihazları standardize koşullar altında üretilmiş ve geliştirilmişlerdir (Ratzmann vd., 2008). Materyal renk analizlerinde spektrofotometreler görsel renk analizlerine kıyasla daha hızlı, güvenilir, tekrarlanabilir ve objektif veriler elde etmektedir ve çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Paul vd., 2004; Lee vd., 2011; Bahannan, 2014). Çalışma prensipleri, objenin spektral yansımaları ya da geçirgenliğini ölçmeye dayanmaktadır. Spektrofotometrede bulunan bir kaynaktan ışık çıkar ve sonra bir prizma tarafından 380-780 nm aralığında farklı dalga boylarına sahip bir spektruma dağıtılır. Objeden yansıyan ışığın, görünür ışıktaki bulunan her bir dalga boyu için miktarı ölçülür. Elde edilen veriler CIEL*a*b* renk koordinatlarına uygun sayısal verilere dönüştürülür (Berns, 2016).

Bu çalışmada objektif bir ölçüm ve sayısal değerler elde edebilmek için renk ölçümleri spektrofotometre ile yapılmıştır. Alghazali ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Vita EasyShade spektrofotometrenin her ölçüm öncesi kalibrasyonunun sağlandığı takdirde yüksek hassasiyetle ölçüm yaptığı ve güvenilir olduğu sonucuna varmışlardır (Kim-Pusateri vd., 2009; Alghazali vd., 2011) ancak bu kalibrasyonun yeterliliği hala sorgulanmaktadır. Çünkü yarı saydam rezin materyallerin doğru ölçümünün, opak bir yüzeyde kalibre edilen bir cihazla ne derece doğru ölçüleceği araştırmalar için bir soru işaretidir (Dietschi vd., 1994; Llana vd., 2011; Arocha vd., 2013; Nguyen vd., 2013).

Nagai ve arkadaşları DLP ve SLA ile üretilen Varseosmile rezinlerini ve Cerasmart CAD/CAM blok materyalin 6 aylık süreçte kırmızı şaraptaki renk değişimlerini kaydetmişlerdir. Varseosmile rezinleri mevcut çalışmaya benzer şekilde klinik kabul edilebilirlik sınırının üzerindeyken, farklı olarak Cerasmart klinik kabul edilebilirlik sınırının altında kalmıştır (Nagai vd., 2024). Bunun sebebi boyayıcı ajan olarak kırmızı şarap kullanımı olabilir. Ayrıca mevcut çalışmadan farklı kullanılan kontakt tip dijital spektrofotometre (CM-2600d Spectrophotometer; Konica Minolta

Healthcare Americas Inc) sonuçlardaki farklılığın sebebi olabilir. Yarı saydam numunelerde spektrofotometre ile renk ölçümünde salınan ışık numunelerden tam olarak yansıyamaz ve kenarlara doğru saçılır. Bu durum sistematik hatalara neden olabilir (Sasany & Yilmaz, 2022). Konica CM-2600d spektrofotometre, Vita Easysshade spektrofotometreden farklı olarak numunelerde kenarlarda saçılmayı önlemek adına cihaza entegre bir aydınlatıcı küreye sahiptir (Johnston, 2009).

Geleneksel CIEL*a*b* formülünün iyileştirilmesiyle elde edilen CIEDE2000 formülü renk farklılıklarının hesaplanmasında daha iyi sonuçlar elde etmektedir (Wee vd., 2007; Chu vd., 2010; Ghinea vd., 2010; Perez vd., 2016; Ardu vd., 2018; Paravina vd., 2019). Bu çalışmada da renk farklılıklarının tespitinde CIEDE2000 formülü kullanılmıştır. Klinik kabul edilebilirlik değeri ise $\Delta E < 1.8$ olarak belirlenmiştir ve 30. Günün sonunda tüm gruplarda ΔE değerlerinin klinik olarak kabul edilebilir değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür.

Eklemeli imalat yöntemiyle üretilen materyaller sıcaklık ve nem gibi çevresel koşullardan da etkilenebilirler. Ortam ısısının yükselmesi ile nem emilimi hızlanabilir (Puebla vd., 2012). Su absorpsiyonu ile materyalin çözünürlüğündeki artış renklenmeyi olumsuz yönde etkileyebilir. Ancak literatürde rezin ısısının yükselmesi ile monomer dönüşüm derecesinin arttığını kanıtlayan çalışmalar da mevcuttur (Perea-Lowery vd., 2021).

Alsarraf ve arkadaşları çalışmalarında bu çalışmaya benzer şekilde frezelenabilir CAD/CAM rezin esaslı materyalleri, 3B yazıcı rezin materyalleri ve geleneksel rezin materyalleri optik özellikleri ve mekanik özellikleri için karşılaştırmışlardır. Varseosmile materyali karşılaştırılan diğer frezelenabilir materyallerle benzer ΔE değerleri göstermiştir (AlSarraf, 2021). Bu bulgu mevcut çalışma ile uyumludur.

Günümüz dijital diş hekimliğinde her geçen gün daha fazla yer bulan 3B yazıcılar ve yazıcı rezinleri hakkında çok sayıda soru işareti ve belirsizlik mevcuttur. Literatürde bilgisayar destekli rezin esaslı materyallerin renk değişikliklerinin araştırıldığı çalışmalar son dönemde artmaktadır. Ancak sonuçlar arasında farklılıklar vardır çünkü dental alanda kullanım sıklığı artan 3B yazıcı materyallerin mekanik, fiziksel ve optik özelliklerini belirleyen aynı anda birden fazla faktör bulunmaktadır. Bu nedenle özelliklerle belirli bir faktör arasında doğrudan ilişki kurmak zordur.

Bunlar arasında baskıda kullanılan bilgisayar yazılımı, yazıcı tipi, baskı parametreleri, rezin tipi, rezinin saklama koşulları (Perea-Lowery vd., 2021), ortam ısısı, yıkama ve post-kürleme süreci, polimerizasyon için kullanılan ışık cihazı, uygulanan polimerizasyon süresi, rezin inorganik ve organik yapısı sayılabilir. Kimyasal bileşenlerini, değişen koşullarla birlikte değişen davranışlarını araştırarak, klinik ortamında doğru endikasyonlarda ve doğru yöntemlerle kullanımını yaygınlaştırmak ve pratik hale getirmek adına daha fazla çalışmaya gereksinim duyulmaktadır.

Bu çalışmanın bazı limitasyonları bulunmaktadır. Hazırlanan kahve solüsyonu, ağız ortamını etkileyen tüm çevresel etmenleri simüle edememiştir. Tükrük, sigara kullanımı, oral hijyen gibi faktörlerin etkisi bu çalışmada eksiktir. Ağız ortamında bulunan restorasyon materyalinin sadece polisajlı yüzeyi boyayıcı ajanlardan etkilenirken, çalışmamızda numunenin her iki yüzeyi de solüsyona maruz kaldığı için renklenmenin gerçek klinik koşullara göre daha fazla olabileceği öngörülmektedir.

Bu in vitro çalışmanın limitasyonları dahilinde, sıfır hipotezi kabul edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu in vitro çalışmadan elde edilen verilere bakıldığında,

- Çalışmaya dahil edilen tüm materyallerin renk değişiklikleri arasında çalışmanın 1. Ve 7. günlerinde fark varken, uzun dönemde fark olmadığı görüldü.

- Tüm materyallerde renklenme değerleri klinik kabul edilebilir sınırın üzerindeydi.

- 30. Gün sonunda 3B yazıcı rezin materyallerin ve diğer rezin esaslı restoratif materyallerin renk stabilitesi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görüldüğü için rezin materyal tipinin renk stabilitesini etkilemeyeceği sıfır hipotezi kabul edildi.

Rezinlerin yapısındaki doldurucu partiküllerin oranı ve büyüklüğünün aşınma direncini etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle farklı rezinler için farklı polisaj teknikleri gerekli olabilir. Farklı yazıcıların kullanılması, baskı parametrelerindeki değişiklikler, post-kürleme sürelerinin arttırılması 3B yazıcı rezin restorasyonların renk stabilitesini değiştirebilir. Bu nedenle bu faktörlerde yapılacak değişiklikler renk değişikliğini klinik kabul edilebilir sınırın altına düşürebilir.

İn vitro çalışmanın beraberinde getirdiği limitasyonlarla birlikte, 3B yazıcı materyallerin özelliklerini belirleyen çok sayıda faktör mevcuttur. Klinik ortamda kullanım sıklığı artan bu materyallerden gerekli verimin alınabilmesi için daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç vardır.

7. KAYNAKÇA

- Akl, M. A., Mansour, D. E., & Zheng, F. (2023). The role of intraoral scanners in the shade matching process: a systematic review. *Journal of Prosthodontics*, 32(3), 196-203.
- Al-Dharrab, A. (2013). Effect of energy drinks on the color stability of nanofilled composite resin. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 14(4), 704.
- Al-Qahtani, A. S., Tulbah, H. I., Binhasan, M., Abbasi, M. S., Ahmed, N., Shabib, S., Farooq, I., Aldahian, N., Nisar, S. S., & Tanveer, S. A. (2021). Surface properties of polymer resins fabricated with subtractive and additive manufacturing techniques. *Polymers*, 13(23), 4077.
- Alghazali, N., Burnside, G., Smith, P., Preston, A., & Jarad, F. (2011). Performance assessment of Vita Easy Shade spectrophotometer on colour measurement of aesthetic dental materials. *European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 19(4), 168.
- Alharbi, N., Alharbi, A., & Osman, R. (2021). Stain susceptibility of 3D-printed nanohybrid composite restorative material and the efficacy of different stain removal techniques: an in vitro study. *Materials*, 14(19), 5621.
- Allahham, N., Fina, F., Marcuta, C., Kraschew, L., Mohr, W., Gaisford, S., Basit, A. W., & Goyanes, A. (2020). Selective laser sintering 3D printing of orally disintegrating printlets containing ondansetron. *Pharmaceutics*, 12(2), 110.
- Almejrads, L., Yang, C. C., Morton, D., & Lin, W. S. (2022). The effects of beverages and surface treatments on the color stability of 3D-printed interim restorations. *Journal of Prosthodontics*, 31(2), 165-170.
- Alqudaihi, F. S., Cook, N. B., Diefenderfer, K. E., Bottino, M. C., & Platt, J. A. (2019). Comparison of internal adaptation of bulk-fill and increment-fill resin composite materials. *Operative dentistry*, 44(1), E32-E44.
- AlSarraf, H. A. (2021). *Mechanical and optical properties of machined, printed, and conventional dental polymers* [Boston University].
- Alshali, R. Z., Salim, N. A., Satterthwaite, J. D., & Silikas, N. (2015). Long-term sorption and solubility of bulk-fill and conventional resin-composites in water and artificial saliva. *Journal of Dentistry*, 43(12), 1511-1518.
- AlSheikh, R., Almajed, Y., Al Eid, F., Zainaldeen, S., Siddiqui, I. A., & Gaffar, B. (2024). The effect of beverage temperature on the surface roughness, microhardness, and color stability of the monoshade composite resin: An in vitro study. *The Saudi Dental Journal*, 36(5), 740-744.
- Alvarado, J. A., Maldonado, A., Juarez, H., & Pacio, M. (2013). Synthesis of colloidal ZnO nanoparticles and deposit of thin films by spin coating technique. *Journal of Nanomaterials*, 2013(1), 903191.
- Ameye, C., Lambrechts, P., & Vanherle, G. (1981). Conventional and microfilled composite resins. Part I: Color stability and marginal adaptation. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 46(6), 623-630.
- Anderson, J., Wealleans, J., & Ray, J. (2018). Endodontic applications of 3D printing. *International endodontic journal*, 51(9), 1005-1018.

- Anseth, K., Newman, S., & Bowman, C. (1995). Polymeric dental composites: properties and reaction behavior of multimethacrylate dental restorations. *Biopolymers* 11,
- Ardu, S., Braut, V., Gutemberg, D., Krejci, I., Dietschi, D., & Feilzer, A. J. (2010). A long-term laboratory test on staining susceptibility of esthetic composite resin materials. *Quintessence international*, 41(8).
- Ardu, S., Duc, O., Di Bella, E., Krejci, I., & Daher, R. (2018). Color stability of different composite resins after polishing. *Odontology*, 106, 328-333.
- Arif, R., Yilmaz, B., & Johnston, W. M. (2019). In vitro color stainability and relative translucency of CAD-CAM restorative materials used for laminate veneers and complete crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 122(2), 160-166.
- Arikawa, H., Kanie, T., Fujii, K., Takahashi, H., & Ban, S. (2007). Effect of filler properties in composite resins on light transmittance characteristics and color. *Dental materials journal*, 26(1), 38-44.
- Arnold, C., Hey, J., Schweyen, R., & Setz, J. M. (2018). Accuracy of CAD-CAM-fabricated removable partial dentures. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(4), 586-592.
- Arocha, M. A., Mayoral, J. R., Lefever, D., Mercade, M., Basilio, J., & Roig, M. (2013). Color stability of siloranes versus methacrylate-based composites after immersion in staining solutions. *Clinical Oral Investigations*, 17, 1481-1487.
- Aslam, K., & Nadim, R. (2015). A review on cad cam in dentistry. *JPDA*, 24(03), 112.
- Asmussen, E., & Peutzfeldt, A. (1998). Influence of UEDMA, BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. *Dental Materials*, 14(1), 51-56.
- Atasoy, S., & Karademir, S. A. Monomer Elution of Additive and Subtractive Manufactured Resins for Permanent Restorations. *The International journal of prosthodontics*, 1-14.
- Awad, A., Fina, F., Goyanes, A., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2020). 3D printing: Principles and pharmaceutical applications of selective laser sintering. *International Journal of Pharmaceutics*, 586, 119594.
- Awad, D., Stawarczyk, B., Liebermann, A., & Ilie, N. (2015). Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite resins with respect to thickness and surface roughness. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 113(6), 534-540.
- Awada, A., & Nathanson, D. (2015). Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(4), 587-593.
- Aydın, N., Karaoğluoğlu, S., Oktay, E. A., & Kılıçarslan, M. A. (2020). Investigating the color changes on resin-based CAD/CAM blocks. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), 251-256.
- Bae, E.-J., Jeong, I.-D., Kim, W.-C., & Kim, J.-H. (2017). A comparative study of additive and subtractive manufacturing for dental restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(2), 187-193.
- Bagheri, R., Burrow, M., & Tyas, M. (2005). Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *Journal of Dentistry*, 33(5), 389-398.

- Bagueri, A., & Jin, J. Photopolymerization in 3D printing. *ACS Appl Polym Mater* 2019; 1 (4): 593–611. In.
- Bahannan, S. A. (2014). Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. *Journal of Dentistry*, 42(1), 48-52.
- Barakah, H. M., & Taher, N. M. (2014). Effect of polishing systems on stain susceptibility and surface roughness of nanocomposite resin material. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(3), 625-631.
- Baroudi, K., & Rodrigues, J. C. (2015). Flowable resin composites: a systematic review and clinical considerations. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 9(6), ZE18.
- Barros, M. S., Silva, P. F. D., Santana, M. L. C., Bragança, R. M. F., & Faria-e-Silva, A. L. (2022). Effects of surrounding and underlying shades on the color adjustment potential of a single-shade composite used in a thin layer. *Restorative dentistry & endodontics*, 48(1).
- Barutçigil, Ç., & Yıldız, M. (2012). Intrinsic and extrinsic discoloration of dimethacrylate and silorane based composites. *Journal of Dentistry*, 40, e57-e63.
- Barutçigil, Ç., Bilgili, D., Barutçigil, K., DüNDAR, A., Büyükkaplan, U. Ş., & Yilmaz, B. (2019). Discoloration and translucency changes of CAD-CAM materials after exposure to beverages. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 122(3), 325-331.
- Baseren, M. (2004). Surface roughness of nanofill and nanohybrid composite resin and ormocer-based tooth-colored restorative materials after several finishing and polishing procedures. *Journal of biomaterials applications*, 19(2), 121-134.
- Baumgartner, S., Gmeiner, R., Schönherr, J. A., & Stampfl, J. (2020). Stereolithography-based additive manufacturing of lithium disilicate glass ceramic for dental applications. *Materials Science and Engineering: C*, 116, 111180.
- Bayarsaikhan, E., Lim, J.-H., Shin, S.-H., Park, K.-H., Park, Y.-B., Lee, J.-H., & Kim, J.-E. (2021). Effects of postcuring temperature on the mechanical properties and biocompatibility of three-dimensional printed dental resin material. *Polymers*, 13(8), 1180.
- Bayne, S. C., Heymann, H. O., & Swift Jr, E. J. (1994). Update on dental composite restorations. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 125(6), 687-701.
- Bayne, S. C., & Swift Jr, E. J. (1994). Review of the 1993 dental materials literature. *Dental Materials*, 10(1), 59-76.
- Bayne, S. C., Thompson, J. Y., Swift Jr, E. J., Stamatiades, P., & Wilkerson, M. (1998). A characterization of first-generation flowable composites. *The Journal of the American Dental Association*, 129(5), 567-577.
- Beauchamp, J., Caufield, P. W., Crall, J. J., Donly, K., Feigal, R., Gooch, B., Ismail, A., Kohn, W., Siegal, M., & Simonsen, R. (2008). Evidence-based clinical recommendations for the use of pit-and-fissure sealants: a report of the American Dental Association Council on Scientific Affairs. *The Journal of the American Dental Association*, 139(3), 257-268.
- Benetti, A. R., Havndrup-Pedersen, C., Honoré, D., Pedersen, M. K., & Pallesen, U. (2015). Bulk-fill resin composites: polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. *Operative dentistry*, 40(2), 190-200.

- Berli, C., Thieringer, F. M., Sharma, N., Müller, J. A., Dedem, P., Fischer, J., & Rohr, N. (2020). Comparing the mechanical properties of pressed, milled, and 3D-printed resins for occlusal devices. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(6), 780-786.
- Berns, R. S. (2016). *Color science and the visual arts: a guide for conservators, curators, and the curious*. Getty Publications.
- 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.
- Beyth, N., Domb, A. J., & Weiss, E. I. (2007). An in vitro quantitative antibacterial analysis of amalgam and composite resins. *Journal of Dentistry*, 35(3), 201-206.
- Birnbaum, N. S., Aaronson, H. B., Stevens, C., & Cohen, B. (2009). 3D digital scanners: a high-tech approach to more accurate dental impressions. *Inside Dentistry*, 5(4), 70-74.
- Bitencourt, S. B., Kanda, R. Y., de Freitas Jorge, C., Barão, V. A., Sukotjo, C., Wee, A. G., Goiato, M. C., & Pesqueira, A. A. (2020). Long-term stainability of interim prosthetic materials in acidic/staining solutions. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(1), 73-80.
- Blackburn, C., Rask, H., & Awada, A. (2018). Mechanical properties of resin-ceramic CAD-CAM materials after accelerated aging. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(6), 954-958.
- Boaro, L. C. C., Gonçalves, F., Guimarães, T. C., Ferracane, J. L., Versluis, A., & Braga, R. R. (2010). Polymerization stress, shrinkage and elastic modulus of current low-shrinkage restorative composites. *Dental Materials*, 26(12), 1144-1150.
- Bosch, G., Ender, A., & Mehl, A. (2014). A 3-dimensional accuracy analysis of chairside CAD/CAM milling processes. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(6), 1425-1431.
- Bowman, C. N., & Kloxin, C. J. (2008). Toward an enhanced understanding and implementation of photopolymerization reactions. *AIChE Journal*, 54(11), 2775-2795.
- Bozoğulları, H. N., Büyükerkmen, E. B., & Büyüközer Özkan, H. (2023). Comparison of surface roughness and color stability of different denture characterizing composite resins: The effect of different surface treatments. *Journal of Prosthodontics*, 32(S1), 53-60.
- Bozoğulları, H. N., & Temizci, T. (2023). Evaluation of the Color Stability, Stainability, and Surface Roughness of Permanent Composite-Based Milled and 3D Printed CAD/CAM Restorative Materials after Thermocycling. *Applied Sciences*, 13(21), 11895.
- Braden, M., & Clarke, R. (1984). Water absorption characteristics of dental microfine composite filling materials: I. Proprietary materials. *Biomaterials*, 5(6), 369-372.
- Braden, M., & Pearson, G. (1981). Analysis of aqueous extract from filled resins. *Journal of Dentistry*, 9(2), 141-143.
- Brandt, J., Nelson, S., Lauer, H.-C., von Hehn, U., & Brandt, S. (2017). In vivo study for tooth colour determination—visual versus digital. *Clinical Oral Investigations*, 21, 2863-2871.
- Buchalla, W., Attin, T., Hilgers, R.-D., & Hellwig, E. (2002). The effect of water storage and light exposure on the color and translucency of a hybrid and a microfilled composite. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 87(3), 264-270.

- Campodonico, C. E., Tantbirojn, D., Olin, P. S., & Versluis, A. (2011). Cuspal deflection and depth of cure in resin-based composite restorations filled by using bulk, incremental and transtooth-illumination techniques. *The Journal of the American Dental Association*, 142(10), 1176-1182.
- Caussin, E., Moussally, C., Le Goff, S., Fasham, T., Troizier-Cheyne, M., Tapie, L., Dursun, E., Attal, J.-P., & François, P. (2024). Vat photopolymerization 3D printing in dentistry: A comprehensive review of actual popular technologies. *Materials*, 17(4), 950.
- Cavalcante, L. M., Schneider, L. F. J., Silikas, N., & Watts, D. C. (2011). Surface integrity of solvent-challenged ormocer-matrix composite. *Dental Materials*, 27(2), 173-179.
- Chang, J.-Y., Chen, W.-C., Huang, T.-K., Wang, J.-C., Fu, P.-S., Chen, J.-H., & Hung, C.-C. (2015). Evaluation of the accuracy and limitations of three tooth-color measuring machines. *Journal of Dental Sciences*, 10(1), 16-20.
- Chartier, T., Chaput, C., Doreau, F., & Loiseau, M. (2002). Stereolithography of structural complex ceramic parts. *Journal of materials science*, 37, 3141-3147.
- Chaudhary, Y. S., Gade, V. J., Raut, A. W., Umale, K. G., Chaware, P. A., & Tugnayat, S. R. (2023). Smart composites—The new era in smart dentistry. *Arch Dent Res*, 12(2), 69-75.
- Chen, H., Wei, S., Wang, R., & Zhu, M. (2021). Improving the Physical–Mechanical Property of Dental Composites by Grafting Methacrylate-Polyhedral Oligomeric Silsesquioxane onto a Filler Surface. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 7(4), 1428-1437.
- Chen, W.-S., Chang, Y.-L., Hsiang, H.-I., Hsu, F.-C., & Yen, F.-S. (2011). Effects of titanate coupling agent on the dielectric properties of NiZn ferrite powders–epoxy resin coatings. *Ceramics International*, 37(7), 2347-2352.
- Chen, X., Zhou, Z., Lv, W., Huang, T., & Hu, S. (2009). Preparation of core–shell structured T-ZnOw/polyaniline composites via graft polymerization. *Materials Chemistry and Physics*, 115(1), 258-262.
- Cheng, L., Zhou, X., Zhong, H., Deng, X., Cai, Q., & Yang, X. (2014). NaF-loaded core–shell PAN–PMMA nanofibers as reinforcements for Bis-GMA/TEGDMA restorative resins. *Materials Science and Engineering: C*, 34, 262-269.
- Chohan, J. S., Singh, R., Boparai, K. S., Penna, R., & Fraternali, F. (2017). Dimensional accuracy analysis of coupled fused deposition modeling and vapour smoothing operations for biomedical applications. *Composites Part B: Engineering*, 117, 138-149.
- Christensen, G. J. (2005). The state of fixed prosthodontic impressions. *The Journal of the American Dental Association*, 136(3), 343-346.
- Chu, S. J. (2004). Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry. (No Title).
- 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, e2-e16.
- Clary, J. A., Ontiveros, J. C., Cron, S. G., & Paravina, R. D. (2016). Influence of light source, polarization, education, and training on shade matching quality. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 116(1), 91-97.
- Cochrane, S. (2014). The Munsell Color System: A scientific compromise from the world of art. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 47, 26-41.

- Cohen, R. G., & Newtown, P. (2008). The expanded use of improved flowable composite. *Dent Town*, 64, 25-35.
- Costa, M. P., Jacomine, J. C., Mosquim, V., Santin, D. C., Zabeu, G. S., Agulhari, M. A. S., Mondelli, R. F. L., Honório, H. M., & Wang, L. (2024). Analysis of color stability and degree of conversion of different types of resin composites. *Brazilian oral research*, 38, e003.
- Cousley, R. R. (2020). Introducing 3D printing in your orthodontic practice. *Journal of orthodontics*, 47(3), 265-272.
- Cramer, N., Stansbury, J., & Bowman, C. (2011). Recent advances and developments in composite dental restorative materials. *Journal of dental research*, 90(4), 402-416.
- Cruz da Silva, E. T., Charamba Leal, C. d. F., Miranda, S. B., Evangelista Santos, M., Saeger Meireles, S., Maciel de Andrade, A. K., & Japiassú Resende Montes, M. A. (2023). Evaluation of single-shade composite resin color matching on extracted human teeth. *The Scientific World Journal*, 2023(1), 4376545.
- Curtis, A. R., Palin, W. M., Fleming, G. J., Shortall, A. C., & Marquis, P. M. (2009). The mechanical properties of nanofilled resin-based composites: the impact of dry and wet cyclic pre-loading on bi-axial flexure strength. *Dental Materials*, 25(2), 188-197.
- Çakmak, G., Oosterveen-Rüegsegger, A. L., Akay, C., Schimmel, M., Yilmaz, B., & Donmez, M. B. (2023). Influence of polishing technique and coffee thermal cycling on the surface roughness and color stability of additively and subtractively manufactured resins used for definitive restorations. *Journal of Prosthodontics*.
- da Silva Pedrosa, M., Nogueira, F. N., de Oliveira Baldo, V., & Medeiros, I. S. (2021). Changes in color and contrast ratio of resin composites after curing and storage in water. *The Saudi Dental Journal*, 33(8), 1160-1165.
- Daher, R., Ardu, S., di Bella, E., Krejci, I., & Duc, O. (2024). Efficiency of 3D printed composite resin restorations compared with subtractive materials: Evaluation of fatigue behavior, cost, and time of production. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(5), 943-950.
- Davidowitz, G., & Kotick, P. G. (2011). The use of CAD/CAM in dentistry. *Dental Clinics of North America*, 55(3), 559-ix.
- Davoudinejad, A. (2021). Vat photopolymerization methods in additive manufacturing. In *Additive Manufacturing* (pp. 159-181). Elsevier.
- Dayan, C., Guven, M. C., Gencel, B., & Bural, C. (2019). A comparison of the color stability of conventional and CAD/CAM polymethyl methacrylate denture base materials. *Acta Stomatologica Croatica*, 53(2), 158.
- De Gee, A., Feilzer, A., & Davidson, C. (1993). True linear polymerization shrinkage of unfilled resins and composites determined with a linometer. *Dental Materials*, 9(1), 11-14.
- de Oliveira, A. G., Rocha, R. S., Spinola, M. d. S., Batista, G. R., Bresciani, E., & Caneppele, T. M. F. (2023). Surface smoothness of resin composites after polishing—A systematic review and network meta-analysis of in vitro studies. *European journal of oral sciences*, 131(2), e12921.
- DeArmitt, C., & Rethon, R. (2024). Dispersants and coupling agents. In *Applied Plastics Engineering Handbook* (pp. 559-575). Elsevier.

- Dejak, B., & Młotkowski, A. (2015). A comparison of stresses in molar teeth restored with inlays and direct restorations, including polymerization shrinkage of composite resin and tooth loading during mastication. *Dental Materials*, 31(3), e77-e87.
- Della Bona, A. (2020). *Color and appearance in dentistry* (Vol. 1). Springer.
- Devlukia, S., Hammond, L., & Malik, K. (2023). Is surface roughness of direct resin composite restorations material and polisher-dependent? A systematic review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(6), 947-967.
- Dietschi, D., Campanile, G., Holz, J., & Meyer, J.-M. (1994). Comparison of the color stability of ten new-generation composites: an in vitro study. *Dental Materials*, 10(6), 353-362.
- Donmez, M. B., & Okutan, Y. (2022). Marginal gap and fracture resistance of implant-supported 3D-printed definitive composite crowns: An in vitro study. *Journal of Dentistry*, 124, 104216.
- Doray, P. G., Li, D., & Powers, J. M. (2001). Color stability of provisional restorative materials after accelerated aging. *Journal of Prosthodontics*, 10(4), 212-216.
- Dos Santos, G., Alto, R. M., Sampaio Filho, H., Da Silva, E., & Fellows, C. (2008). Light transmission on dental resin composites. *Dental Materials*, 24(5), 571-576.
- Dos Santos, P. H., Catelan, A., Albuquerque Guedes, A. P., Umeda Suzuki, T. Y., de Lima Godas, A. G., Fraga Briso, A. L., & Bedran-Russo, A. K. (2015). Effect of thermocycling on roughness of nanofill, microfill and microhybrid composites. *Acta Odontologica Scandinavica*, 73(3), 176-181.
- Duret, F., & Preston, J. (1991). CAD/CAM imaging in dentistry. *Current opinion in dentistry*, 1(2), 150-154.
- e Silva, M. L. d. A., da Cunha Medeiros, F. D. S., Meireles, S. S., Duarte, R. M., & Andrade, A. K. M. (2014). The effect of drinks on color stability and surface roughness of nanocomposites. *European journal of dentistry*, 8(03), 330-336.
- Egilmez, F., Ergun, G., Cekic-Nagas, I., Vallittu, P. K., & Lassila, L. V. J. (2018). Comparative color and surface parameters of current esthetic restorative CAD/CAM materials. *The journal of advanced prosthodontics*, 10(1), 32-42.
- Eick, J. D., Kotha, S. P., Chappelow, C. C., Kilway, K. V., Giese, G. J., Glaros, A. G., & Pinzino, C. S. (2007). Properties of silorane-based dental resins and composites containing a stress-reducing monomer. *Dental Materials*, 23(8), 1011-1017.
- El-Araby, A. M., & Talic, Y. F. (2007). The effect of thermocycling on the adhesion of self-etching adhesives on dental enamel and dentin. *J Contemp Dent Pract*, 8(2), 17-24.
- El-Safty, S., Akhtar, R., Silikas, N., & Watts, D. (2012). Nanomechanical properties of dental resin-composites. *Dental Materials*, 28(12), 1292-1300.
- Elfakhri, F., Alkahtani, R., Li, C., & Khaliq, J. (2022). Influence of filler characteristics on the performance of dental composites: A comprehensive review. *Ceramics International*, 48(19), 27280-27294.
- Eliades, G., Eliades, T., & Watts, D. C. (2005). *Dental hard tissues and bonding*. Springer.
- Eliezer, R., Devendra, C., Ravi, N., Tangutoori, T., & Yesh, S. (2020). Omnichroma: one composite to rule them all. *Int J Med Sci*, 7(06), 6-8.

- Ellakany, P., Fouda, S. M., AlGhamdi, M. A., & Aly, N. M. (2023). Comparison of the color stability and surface roughness of 3-unit provisional fixed partial dentures fabricated by milling, conventional and different 3D printing fabrication techniques. *Journal of Dentistry*, 131, 104458.
- Emami, M. M., Barazandeh, F., & Yaghmaie, F. (2015). An analytical model for scanning-projection based stereolithography. *Journal of Materials Processing Technology*, 219, 17-27.
- Engler, M. L. P. D., Güth, J.-F., Keul, C., Erdelt, K., Edelhoff, D., & Liebermann, A. (2020). Residual monomer elution from different conventional and CAD/CAM dental polymers during artificial aging. *Clinical Oral Investigations*, 24(1), 277-284.
- Erdemir, U., Yıldız, E., & Eren, M. M. (2012). Effects of sports drinks on color stability of nanofilled and microhybrid composites after long-term immersion. *Journal of Dentistry*, 40, e55-e63.
- Erdemir, U., Yıldız, E., Eren, M. M., Özsoy, A., & Topcu, F. T. (2013). Effects of polishing systems on the surface roughness of tooth-colored materials. *Journal of Dental Sciences*, 8(2), 160-169.
- Eriksen, H. M., & Nordbø, H. (1978). Extrinsic discoloration of teeth. *Journal of clinical periodontology*, 5(4), 229-236.
- Ertas, E., Güler, A. U., Yücel, A. C., Koepf, H., & Güler, E. (2006). Color stability of resin composites after immersion in different drinks. *Dental materials journal*, 25(2), 371-376.
- Ertürk-Avunduk, A. T., Atılan-Yavuz, S., Filiz, H., & Cengiz-Yanardag, E. (2024). A comparative study of polishing systems on optical properties and surface roughness of additively manufactured and conventional resin based composites. *Scientific Reports*, 14(1), 25658.
- Espinar, C., Della Bona, A., Pérez, M. M., Tejada-Casado, M., & Pulgar, R. (2023). The influence of printing angle on color and translucency of 3D printed resins for dental restorations. *Dental Materials*, 39(4), 410-417.
- Esposito Corcione, C., Striani, R., Montagna, F., & Cannoletta, D. (2015). Organically modified montmorillonite polymer nanocomposites for stereolithography building process. *Polymers for Advanced Technologies*, 26(1), 92-98.
- Fan, P., Edahl, A., Leung, R., & Stanford, J. (1985). Alternative interpretations of water sorption values of composite resins. *Journal of dental research*, 64(1), 78-80.
- Fani, G., Vichi, A., & Davidson, C. L. (2007). Spectrophotometric and visual shade measurements of human teeth using three shade guides. *American Journal of Dentistry*, 20(3), 142-146.
- Faris, T. M., Abdulrahim, R. H., Mahmood, M. A., Mhammed Dalloo, G. A., & Gul, S. S. (2023). In vitro evaluation of dental color stability using various aesthetic restorative materials after immersion in different drinks. *BMC oral health*, 23(1), 49.
- Feng, L., & Suh, B. (2006a). The effect of curing modes on polymerization contraction stress of a dual cured composite. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 76(1), 196-202.

- Feng, L., & Suh, B. (2006b). A mechanism on why slower polymerization of a dental composite produces lower contraction stress. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 78(1), 63-69.
- Ferracane, J. (1994). Elution of leachable components from composites. *Journal of oral rehabilitation*, 21(4), 441-452.
- Ferracane, J., & Condon, J. (1992). Post-cure heat treatments for composites: properties and fractography. *Dental Materials*, 8(5), 290-295.
- Fidan, M., & Yağci, Ö. (2024). Effect of aging and fiber-reinforcement on color stability, translucency, and microhardness of single-shade resin composites versus multi-shade resin composite. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 36(4), 632-642.
- Fina, F., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2018). Powder bed fusion: The working process, current applications and opportunities. *3D printing of pharmaceuticals*, 81-105.
- Floyd, C. J., & Dickens, S. H. (2006). Network structure of Bis-GMA-and UDMA-based resin systems. *Dental Materials*, 22(12), 1143-1149.
- Fontes, S. T., Fernández, M. R., Moura, C. M. d., & Meireles, S. S. (2009). Color stability of a nanofill composite: effect of different immersion media. *Journal of Applied Oral Science*, 17, 388-391.
- Fronza, B., Ayres, A., Pacheco, R., Rueggeberg, F., Dias, C. T. d. S., & Giannini, M. (2017). Characterization of inorganic filler content, mechanical properties, and light transmission of bulk-fill resin composites. *Operative dentistry*, 42(4), 445-455.
- Furusawa, K., Kobayashi, S., Yamashita, A., Tichy, A., Hosaka, K., Shimada, Y., & Nakajima, M. (2023). Effect of filler load on structural coloration and color adjustment potential of resin composites. *Dental materials journal*, 42(3), 343-350.
- Gaintantzopoulou, M., Kakaboura, A., & Vougiouklakis, G. (2005). Colour stability of tooth-coloured restorative materials. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*, 13(2), 51-56.
- García, A. H., Lozano, M. A. M., Vila, J. C., Escribano, A. B., & Galve, P. F. (2006). Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 11(2), E215-220.
- Garoushi, S., & Patil, S. (2013). Single visit replacement of maxillary canine using fiber-reinforced composite resin. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 125-129.
- Ghinea, R., Pérez, M. M., Herrera, L. J., Rivas, M. J., Yebra, A., & Paravina, R. D. (2010). Color difference thresholds in dental ceramics. *Journal of Dentistry*, 38, e57-e64.
- Goracci, C., Juloski, J., D'Amico, C., Balestra, D., Volpe, A., Juloski, J., & Vichi, A. (2023). Clinically relevant properties of 3D printable materials for intraoral use in orthodontics: A critical review of the literature. *Materials*, 16(6), 2166.
- Gordan, V. V., Mondragon, E., Watson, R. E., Garvan, C., & Mjör, I. A. (2007). A clinical evaluation of a self-etching primer and a giomer restorative material: results at eight years. *The Journal of the American Dental Association*, 138(5), 621-627.

- Gömlüksiz, S., & Gömlüksiz, O. (2022). The effect of contemporary finishing and polishing systems on the surface roughness of bulk fill resin composite and nanocomposites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(6), 915-923.
- Gruber, S., Kamnoedboon, P., Özcan, M., & Srinivasan, M. (2021). CAD/CAM complete denture resins: an in vitro evaluation of color stability. *Journal of Prosthodontics*, 30(5), 430-439.
- Gueth, J.-F., Zuch, T., Zwing, S., Engels, J., Stimmelmayer, M., & Edelhoff, D. (2013). Optical properties of manually and CAD/CAM-fabricated polymers. *Dental materials journal*, 32(6), 865-871.
- Guler, A. U., Yilmaz, F., Kulunk, T., Guler, E., & Kurt, S. (2005). Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 94(2), 118-124.
- Güler, A. U., Güler, E., Yücel, A. Ç., & Ertaş, E. (2009). Effects of polishing procedures on color stability of composite resins. *Journal of Applied Oral Science*, 17, 108-112.
- Güven, M., Eroglu, E., & Demirekin, Z. (2023). Comparison of CIE94 and CIEDE2000 Color Difference Formulas Using Visual Shade Matching. *Selcuk Dental Journal*, 10(4), 160-166.
- Haddad, H. J., Jakstat, H. A., Arnetzl, G., Borbely, J., Vichi, A., Dumfahrt, H., Renault, P., Corcodel, N., Pohlen, B., & Marada, G. (2009). Does gender and experience influence shade matching quality? *Journal of Dentistry*, 37, e40-e44.
- Hamza, T. A., Alameldin, A. A., Elkouedi, A. Y., & Wee, A. G. (2017). Effect of artificial accelerated aging on surface roughness and color stability of different ceramic restorations. *Stomatological Disease and Science*, 1, 8-13.
- Haselton, D. R., Diaz-Arnold, A. M., & Dawson, D. V. (2004). Effect of storage solution on surface roughness of provisional crown and fixed partial denture materials. *Journal of Prosthodontics: Implant, Esthetic and Reconstructive Dentistry*, 13(4), 227-232.
- Hattab, F. N., Qudeimat, M. A., & AL-RIMAWI, H. S. (1999). Dental discoloration: an overview. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 11(6), 291-310.
- Hector Sandoval, J., & Wicker, R. B. (2006). Functionalizing stereolithography resins: effects of dispersed multi-walled carbon nanotubes on physical properties. *Rapid Prototyping Journal*, 12(5), 292-303.
- Heintze, S., Forjanic, M., & Rousson, V. (2006). Surface roughness and gloss of dental materials as a function of force and polishing time in vitro. *Dental Materials*, 22(2), 146-165.
- Heymann, H., Ritter, A., & Roberson, T. (2012). Introduction to composite restorations. *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry*. 6th ed. Singapore: Elsevier, 216-223.
- HIROSE, M., SAKU, S., & YAMAMOTO, K. (2006). Analysis of film layer formed on S-PRG resin surface. *日本歯科保存学雑誌*, 49(2), 309-319.
- Hosoya, Y. (1999). Five-year color changes of light-cured resin composites: influence of light-curing times. *Dental Materials*, 15(4), 268-274.
- Hull, C. W. (1984). Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. *United States Patent, Appl., No. 638905, Filed*.

- Igiel, C., Lehmann, K. M., Ghinea, R., Weyhrauch, M., Hangx, Y., Scheller, H., & Paravina, R. D. (2017). Reliability of visual and instrumental color matching. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 29(5), 303-308.
- Ikemura, K., Tay, F., Kouro, Y., Endo, T., Yoshiyama, M., Miyai, K., & Pashley, D. H. (2003). Optimizing filler content in an adhesive system containing pre-reacted glass-ionomer fillers. *Dental Materials*, 19(2), 137-146.
- Ilie, N., Jelen, E., Clementino-Luedemann, T., & Hickel, R. (2007). Low-shrinkage composite for dental application. *Dental materials journal*, 26(2), 149-155.
- Imazato, S. (2009). Bio-active restorative materials with antibacterial effects: new dimension of innovation in restorative dentistry. *Dental materials journal*, 28(1), 11-19.
- Imazato, S., Torii, M., Tsuchitani, Y., McCabe, J., & Russell, R. (1994). Incorporation of bacterial inhibitor into resin composite. *Journal of dental research*, 73(8), 1437-1443.
- Janda, R., Roulet, J. F., Kaminsky, M., Steffin, G., & Latta, M. (2004). Color stability of resin matrix restorative materials as a function of the method of light activation. *European journal of oral sciences*, 112(3), 280-285.
- Jandt, K. D., Al-Jasser, A. M., Al-Ateeq, K., Vowles, R. W., & Allen, G. C. (2002). Mechanical properties and radiopacity of experimental glass-silica-metal hybrid composites. *Dental Materials*, 18(6), 429-435.
- Jang, J., Park, S., & Hwang, I. (2015). Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin. *Operative dentistry*, 40(2), 172-180.
- 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.
- Jockusch, J., & Özcan, M. (2020). Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. *Dental materials journal*, 39(3), 345-354.
- Johnston, W. M. (2009). Color measurement in dentistry. *Journal of Dentistry*, 37, e2-e6.
- Johnston, W. M., & Reisbick, M. (1997). Color and translucency changes during and after curing of esthetic restorative materials. *Dental Materials*, 13(2), 89-97.
- Joiner, A. (2004). Tooth colour: a review of the literature. *Journal of Dentistry*, 32, 3-12.
- Jones, P. (2014). 3D-Printing Technology. *Journal of clinical orthodontics*, 48.
- Junior, S. A. R., Scherrer, S. S., Ferracane, J. L., & Della Bona, A. (2008). Microstructural characterization and fracture behavior of a microhybrid and a nanofill composite. *Dental Materials*, 24(9), 1281-1288.
- Junk, S., & Bär, F. (2023). Design guidelines for Additive Manufacturing using Masked Stereolithography mSLA. *Procedia CIRP*, 119, 1122-1127.
- Kang, Y.-A., Lee, H.-A., Chang, J., Moon, W., Chung, S. H., & Lim, B.-S. (2020). Color stability of dental reinforced CAD/CAM hybrid composite blocks compared to regular blocks. *Materials*, 13(21), 4722.
- Kara, D., Tekçe, N., Fidan, S., Demirci, M., Tuncer, S., & Balci, S. (2021). The effects of various polishing procedures on surface topography of CAD/CAM resin restoratives. *Journal of Prosthodontics*, 30(6), 481-489.

- Karaman, A. I., Kir, N., & Belli, S. (2002). Four applications of reinforced polyethylene fiber material in orthodontic practice. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 121(6), 650-654.
- Kaur, G., Cameron-Smith, D., Garg, M., & Sinclair, A. J. (2011). Docosapentaenoic acid (22: 5n-3): a review of its biological effects. *Progress in lipid research*, 50(1), 28-34.
- Kemp-Scholte, C. M., & Davidson, C. (1990). Complete marginal seal of Class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *Journal of dental research*, 69(6), 1240-1243.
- Kessler, A., Hickel, R., & Reymus, M. (2020). 3D printing in dentistry—State of the art. *Operative dentistry*, 45(1), 30-40.
- Kessler, A., Reichl, F.-X., Folwaczny, M., & Högg, C. (2020). Monomer release from surgical guide resins manufactured with different 3D printing devices. *Dental Materials*, 36(11), 1486-1492.
- Kessler, A., Reymus, M., Hickel, R., & Kunzelmann, K.-H. (2019). Three-body wear of 3D printed temporary materials. *Dental Materials*, 35(12), 1805-1812.
- Khan, A. S., Azam, M. T., Khan, M., Mian, S. A., & Rehman, I. U. (2015). An update on glass fiber dental restorative composites: a systematic review. *Materials Science and Engineering: C*, 47, 26-39.
- Khokhar, Z., Razzoog, M., & Yaman, P. (1991). Color stability of restorative resins. *Quintessence international*, 22(9).
- Kim-Pusateri, S., Brewer, J. D., Davis, E. L., & Wee, A. G. (2009). Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 101(3), 193-199.
- Kim, D., Shim, J.-S., Lee, D., Shin, S.-H., Nam, N.-E., Park, K.-H., Shim, J.-S., & 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), 2762.
- Kim, S.-H., Lee, Y.-K., Lim, B.-S., Rhee, S.-H., & Yang, H.-C. (2007). Metameric effect between dental porcelain and porcelain repairing resin composite. *Dental Materials*, 23(3), 374-379.
- Kim, S., Chung, S. H., Kim, R. J. Y., & Park, Y.-S. (2024). Investigating the role of chlorogenic acids and coffee type in coffee-induced teeth discoloration. *Acta Odontologica Scandinavica*, 82(1), 1-8.
- Kloosterboer, J. G. (1988). *Network formation by chain crosslinking photopolymerization and its applications in electronics*. Springer.
- Klosterman, D., Chartoff, R., Graves, G., Osborne, N., & Priore, B. (1998). Interfacial characteristics of composites fabricated by laminated object manufacturing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 29(9-10), 1165-1174.
- Koch, G. K., Gallucci, G. O., & Lee, S. J. (2016). Accuracy in the digital workflow: From data acquisition to the digitally milled cast. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(6), 749-754.
- Kodama, H. (1981). Automatic method for fabricating cubic shapes, as a three-dimensional information display method. *J. IEICE*, 64, 237-241.

- Kolbeck, C., Rosentritt, M., Behr, M., Lang, R., & Handel, G. (2003). Originalarbeiten-Farbbeständigkeit von Verblendkompositen nach künstlicher Alterung, Verfärbungslagerung und Reinigung. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 58(1), 14-18.
- Kolbeck, C., Rosentritt, M., Lang, R., & Handel, G. (2006). Discoloration of facing and restorative composites by UV-irradiation and staining food. *Dental Materials*, 22(1), 63-68.
- Krajangta, N., Klaisiri, A., Leelaponglit, S., Intralawan, N., Tiansuwan, P., & Pisethsalasai, N. (2024). Color alteration of CAD/CAM 3D-printed, milled resin-ceramic hybrid material compared to enamel. *Dental materials journal*, 43(3), 386-393.
- Kulkarni, P., Marsan, A., & Dutta, D. (2000). A review of process planning techniques in layered manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 6(1), 18-35.
- Kumar, S., Hofmann, M., Steinmann, B., Foster, E. J., & Weder, C. (2012). Reinforcement of stereolithographic resins for rapid prototyping with cellulose nanocrystals. *ACS applied materials & interfaces*, 4(10), 5399-5407.
- Kwon, T. Y., Bagheri, R., Kim, Y. K., Kim, K. H., & Burrow, M. F. (2012). Cure mechanisms in materials for use in esthetic dentistry. *Journal of investigative and clinical dentistry*, 3(1), 3-16.
- Lang, R., Rosentritt, M., Leibrock, A., Behr, M., & Handel, G. (1998). Colour stability of provisional crown and bridge restoration materials. *British dental journal*, 185(9), 468-471.
- Leal, B. M. (2024). Monochromatic Composite Resins: A Systematic Review. *PQDT-Global*.
- Lee, E.-H., Ahn, J.-S., Lim, Y.-J., Kwon, H.-B., & 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.
- Lee, Y.-K., Yu, B., Lim, H.-N., & Lim, J. I. (2011). Difference in the color stability of direct and indirect resin composites. *Journal of Applied Oral Science*, 19, 154-160.
- Leinfelder, K. F. (1995). Posterior composite resins: the materials and their clinical performance. *The Journal of the American Dental Association*, 126(5), 663-676.
- Lemon, M. T., Jones, M. S., & Stansbury, J. W. (2007). Hydrogen bonding interactions in methacrylate monomers and polymers. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 83(3), 734-746.
- Leprince, J., Palin, W. M., Mullier, T., Devaux, J., Vreven, J., & Leloup, G. (2010). Investigating filler morphology and mechanical properties of new low-shrinkage resin composite types. *Journal of oral rehabilitation*, 37(5), 364-376.
- Liebermann, A., Wimmer, T., Schmidlin, P. R., Scherer, H., Löffler, P., Roos, M., & Stawarczyk, B. (2016). Physicomechanical characterization of polyetheretherketone and current esthetic dental CAD/CAM polymers after aging in different storage media. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(3), 321-328. e322.
- Liu, J., Zhang, H., Sun, H., Liu, Y., Liu, W., Su, B., & Li, S. (2021). The development of filler morphology in dental resin composites: A review. *Materials*, 14(19), 5612.

- Llena, C., Lozano, E., Amengual, J., & Forner, L. (2011). Reliability of two color selection devices in matching and measuring tooth color. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 12(1), 19-23.
- Lopes, A. J., Lee, I. H., MacDonald, E., Quintana, R., & Wicker, R. (2014). Laser curing of silver-based conductive inks for in situ 3D structural electronics fabrication in stereolithography. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(9), 1935-1945.
- Lovell, L. G., Berchtold, K. A., Elliott, J. E., Lu, H., & Bowman, C. N. (2001). Understanding the kinetics and network formation of dimethacrylate dental resins. *Polymers for Advanced Technologies*, 12(6), 335-345.
- Luce, M. S., & Campbell, C. E. (1988). Stain potential of four microfilled composites. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 60(2), 151-154.
- Lucena, C., Ruiz-López, J., Pulgar, R., Della Bona, A., & Pérez, M. M. (2021). Optical behavior of one-shaded resin-based composites. *Dental Materials*, 37(5), 840-848.
- Magne, P., Schlichting, L. H., Maia, H. P., & Baratieri, L. N. (2010). In vitro fatigue resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic posterior occlusal veneers. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 104(3), 149-157.
- Mainjot, A., Dupont, N., Oudkerk, J., Dewael, T., & Sadoun, M. (2016). From artisanal to CAD-CAM blocks: state of the art of indirect composites. *Journal of dental research*, 95(5), 487-495.
- Maloo, L. M., Patel, A., Toshniwal, S. H., & Bagde, A. D. (2022). Smart materials leading to restorative dentistry: an overview. *Cureus*, 14(10).
- Manapat, J. Z., Chen, Q., Ye, P., & Advincula, R. C. (2017). 3D printing of polymer nanocomposites via stereolithography. *Macromolecular Materials and Engineering*, 302(9), 1600553.
- Mansouri, S. A., & Zidan, A. Z. (2018). Effect of Water Sorption and Solubility on Color Stability of Bulk-Fill Resin Composite. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 19(9), 1129-1134.
- Manuel, S., Abhishek, P., & Kundabala, M. (2010). Etiology of tooth discoloration-a review. *Nigerian Dental Journal*, 18(2), 56-63.
- Mehari, B., Chandravanshi, B. S., Redi-Abshiro, M., Combrinck, S., McCrindle, R., & Atlabachew, M. (2021). Polyphenol contents of green coffee beans from different regions of Ethiopia. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 17-27.
- Melchels, F. P., Feijen, J., & Grijpma, D. W. (2010). A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*, 31(24), 6121-6130.
- Melgosa, M., Huertas, R., & Berns, R. S. (2004). Relative significance of the terms in the CIEDE2000 and CIE94 color-difference formulas. *JOSA A*, 21(12), 2269-2275.
- Minges, M. L. (1989). *Electronic materials handbook: packaging* (Vol. 1). Asm International.
- Mitra, S. B., Wu, D., & Holmes, B. N. (2003). An application of nanotechnology in advanced dental materials. *The Journal of the American Dental Association*, 134(10), 1382-1390.

- Miyajiwala, J. S., Kheur, M. G., Patankar, A. H., & Lakha, T. A. (2017). Comparison of photographic and conventional methods for tooth shade selection: A clinical evaluation. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 17(3), 273-281.
- Miyazaki, T., Hotta, Y., Kunii, J., Kuriyama, S., & Tamaki, Y. (2009). A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental materials journal*, 28(1), 44-56.
- Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2015). Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects. *Advances in manufacturing*, 3, 42-53.
- Mohan, S. M., Gowda, E. M., & Shashidhar, M. (2015). Clinical evaluation of the fiber post and direct composite resin restoration for fixed single crowns on endodontically treated teeth. *medical journal armed forces india*, 71(3), 259-264.
- Monzón, M., Ortega, Z., Hernández, A., Paz, R., & Ortega, F. (2017). Anisotropy of photopolymer parts made by digital light processing. *Materials*, 10(1), 64.
- Moon, J.-M., Jeong, C.-S., Lee, H.-J., Bae, J.-M., Choi, E.-J., Kim, S.-T., Park, Y.-B., & Oh, S.-H. (2022). A comparative study of additive and subtractive manufacturing techniques for a zirconia dental product: An analysis of the manufacturing accuracy and the bond strength of porcelain to zirconia. *Materials*, 15(15), 5398.
- Moorthy, A., Hogg, C., Dowling, A., Grufferty, B., Benetti, A. R., & Fleming, G. (2012). Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. *Journal of Dentistry*, 40(6), 500-505.
- Moraes, R. R. d., Ribeiro, D. d. S., Klumb, M. M., Brandt, W. C., Correr-Sobrinho, L., & Bueno, M. (2008). In vitro toothbrushing abrasion of dental resin composites: packable, microhybrid, nanohybrid and microfilled materials. *Brazilian oral research*, 22, 112-118.
- Moszner, N., & Klapdohr, S. (2004). Nanotechnology for dental composites. *International Journal of Nanotechnology*, 1(1-2), 130-156.
- Mourouzis, P., Andreasidou, E., Samanidou, V., & Tolidis, K. (2020). Short-term and long-term release of monomers from newly developed resin-modified ceramics and composite resin CAD-CAM blocks. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 123(2), 339-348.
- Mörmann, W., Brandestini, M., Lutz, F., & Barbakow, F. (1989). Chairside computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence international*, 20(5).
- Mörmann, W. H., Stawarczyk, B., Ender, A., Sener, B., Attin, T., & Mehl, A. (2013). Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 20, 113-125.
- Mudhaffer, S., Althagafi, R., Haider, J., Satterthwaite, J., & Silikas, N. (2024). Effects of printing orientation and artificial ageing on martens hardness and indentation modulus of 3D printed restorative resin materials. *Dental Materials*, 40(7), 1003-1014.
- Musanje, L., & Darvell, B. (2003). Aspects of water sorption from the air, water and artificial saliva in resin composite restorative materials. *Dental Materials*, 19(5), 414-422.

- Nagai, T., Alfaraj, A., Chu, T. M. G., Yang, C. C., & Lin, W. S. (2024). Color stability of CAD-CAM hybrid ceramic materials following immersion in artificial saliva and wine. *Journal of Prosthodontics*.
- Nagaş, I. Ç., Eğilmez, F., Ergün, G., Vallittu, P., & Lassila, L. (2017). Farklı yüzey bitirme ve parlatma uygulamalarının nano-hibrit ve polimer infiltre seramiklerin ışık geçirgenliğine etkisi. *Acta Odontologica Turcica*, 34(3), 98-103.
- Naoum, S., Ellakwa, A., Martin, F., & Swain, M. (2011). Fluoride release, recharge and mechanical property stability of various fluoride-containing resin composites. *Operative dentistry*, 36(4), 422-432.
- Nasim, I., Neelakantan, P., Sujeer, R., & Subbarao, C. (2010). Color stability of microfilled, microhybrid and nanocomposite resins—an in vitro study. *Journal of Dentistry*, 38, e137-e142.
- Negm, E. E., Aboutaleb, F. A., & Alam-Eldein, A. M. (2019). Virtual evaluation of the accuracy of fit and trueness in maxillary poly (etheretherketone) removable partial denture frameworks fabricated by direct and indirect CAD/CAM techniques. *Journal of Prosthodontics*, 28(7), 804-810.
- Nemeth, A., Vitai, V., Czumbel, M. L., Szabo, B., Varga, G., Keremi, B., Hegyi, P., Hermann, P., & Borbely, J. (2023). Clear guidance to select the most accurate technologies for 3D printing dental models—A network meta-analysis☆. *Journal of Dentistry*, 134, 104532.
- Neppelenbroek, K. H., Kuroishi, E., Hotta, J., Marques, V. R., Moffa, E. B., Soares, S., & Urban, V. M. (2015). Surface properties of multilayered, acrylic resin artificial teeth after immersion in staining beverages. *Journal of Applied Oral Science*, 23(4), 376-382.
- Neumann, M. G., Schmitt, C. C., Ferreira, G. C., & Corrêa, I. C. (2006). The initiating radical yields and the efficiency of polymerization for various dental photoinitiators excited by different light curing units. *Dental Materials*, 22(6), 576-584.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
- Nguyen, J.-F., Migonney, V., Ruse, N. D., & Sadoun, M. (2012). Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization. *Dental Materials*, 28(5), 529-534.
- Nguyen, J.-F., Migonney, V., Ruse, N. D., & Sadoun, M. (2013). Properties of experimental urethane dimethacrylate-based dental resin composite blocks obtained via thermopolymerization under high pressure. *Dental Materials*, 29(5), 535-541.
- Nguyen, J., Ruse, D., Phan, A., & Sadoun, M. (2014). High-temperature-pressure polymerized resin-infiltrated ceramic networks. *Journal of dental research*, 93(1), 62-67.
- Noorani, R. (2006). Rapid prototyping: principles and applications. In: John Wiley and Sons Inc.
- Obici, A. C., Sinhoreti, M. A. C., Frollini, E., Correr Sobrinho, L., & Consani, S. (2004). Degree of conversion of Z250 composite determined by fourier transform infrared spectroscopy: comparison of techniques, storage periods and photo-activation methods. *Materials Research*, 7, 605-610.
- Odian, G. (2004). *Principles of polymerization*. John Wiley & Sons.

- Ozel, G. S., Guneser, M. B., Inan, O., & Eldeniz, A. U. (2017). Evaluation of C. Albicans and S. Mutans adherence on different provisional crown materials. *The journal of advanced prosthodontics*, 9(5), 335-340.
- Özcan, M., Corazza, P. H., Marocho, S. M. S., Barbosa, S. H., & Bottino, M. A. (2013). Repair bond strength of microhybrid, nanohybrid and nanofilled resin composites: effect of substrate resin type, surface conditioning and ageing. *Clinical Oral Investigations*, 17, 1751-1758.
- Özer, N. E., Şahin, Z., Çöl, C. Y., Arık, Ö., & Kılıçarslan, M. A. (2024). THE EFFECT OF DIFFERENT STAINING SOLUTIONS ON THE COLOR STABILITY OF PERMANENT INDIRECT COMPOSITE RESINS PRODUCED BY ADDITIVE AND SUBTRACTIVE TECHNIQUES. *Meandros Medical And Dental Journal*, 25(3), 262-278.
- Pagac, M., Hajnys, J., Ma, Q.-P., Jancar, L., Jansa, J., Stefek, P., & Mesicek, J. (2021). A review of vat photopolymerization technology: materials, applications, challenges, and future trends of 3D printing. *Polymers*, 13(4), 598.
- Palin, W. M., Fleming, G. J., Nathwani, H., Burke, F. T., & Randall, R. C. (2005). In vitro cuspal deflection and microleakage of maxillary premolars restored with novel low-shrink dental composites. *Dental Materials*, 21(4), 324-335.
- Pallikari, F., & Iosifidou, S. (2004). A study of aging in dental composites using IR and Raman spectroscopy. *e-Polymers*, 4(1), 069.
- Paolone, G., Mandurino, M., De Palma, F., Mazzitelli, C., Scotti, N., Breschi, L., Gherlone, E., Cantatore, G., & Vichi, A. (2023). Color stability of polymer-based composite CAD/CAM blocks: a systematic review. *Polymers*, 15(2), 464.
- Parandoush, P., & Lin, D. (2017). A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites. *Composite Structures*, 182, 36-53.
- Paravina, R. D., Ghinea, R., Herrera, L. J., Bona, A. D., Igiel, C., Linninger, M., Sakai, M., Takahashi, H., Tashkandi, E., & Mar Perez, M. d. (2015). Color difference thresholds in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 27, S1-S9.
- 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.
- Park, J.-K., Kim, T.-H., Ko, C.-C., Garcia-Godoy, F., Kim, H.-I., & Kwon, Y. H. (2010). Effect of staining solutions on discoloration of resin nanocomposites. *American Journal of Dentistry*, 23(1), 39.
- Park, J.-M., Hong, Y.-S., Park, E.-J., Heo, S.-J., & Oh, N. (2016). Clinical evaluations of cast gold alloy, machinable zirconia, and semiprecious alloy crowns: A multicenter study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(6), 684-691.
- Patel, S. B., Gordan, V. V., Barrett, A. A., & Shen, C. (2004). The effect of surface finishing and storage solutions on the color stability of resin-based composites. *The Journal of the American Dental Association*, 135(5), 587-594.
- Paul, S. J., Peter, A., Rodoni, L., & Pietrobon, N. (2004). Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 92(6), 577.

- Payne, J. H. (1999). The marginal seal of Class II restorations: flowable composite resin compared to injectable glass ionomer. *The Journal of clinical pediatric dentistry*, 23(2), 123-130.
- Pecho, O. E., Ghinea, R., Alessandretti, R., Pérez, M. M., & Della Bona, A. (2016). Visual and instrumental shade matching using CIELAB and CIEDE2000 color difference formulas. *Dental Materials*, 32(1), 82-92.
- Pecho, O. E., Ghinea, R., do Amaral, E. A. N., Cardona, J. C., Della Bona, A., & Pérez, M. M. (2016). Relevant optical properties for direct restorative materials. *Dental Materials*, 32(5), e105-e112.
- Peñate, L., Mercade, M., Arregui, M., Roig, M., Basilio, J., & Cedeño, R. (2021). Color stability of CAD/CAM interim material for long-term fixed dental prostheses vs. conventional materials after immersion in different staining solutions. *Journal of Composites Science*, 5(4), 106.
- Perea-Lowery, L., Gibreel, M., Vallittu, P. K., & Lassila, L. (2021). Evaluation of the mechanical properties and degree of conversion of 3D printed splint material. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 115, 104254.
- Perez, M. M., Hita-Iglesias, C., Ghinea, R., Yebra, A., Pecho, O. E., Ionescu, A. M., Crespo, A., & Hita, E. (2016). Optical properties of supra-nano spherical filled resin composites compared to nanofilled, nano-hybrid and micro-hybrid composites. *Dental materials journal*, 35(3), 353-359.
- Peutzfeldt, A. (1997). Resin composites in dentistry: the monomer systems. *European journal of oral sciences*, 105(2), 97-116.
- Pimental, W., & Tiozzi, R. (2014). Comparison between visual and instrumental methods for natural tooth shade matching. *Gen Dent*, 62(6), 47-49.
- Poggio, C., Vialba, L., Berardengo, A., Federico, R., Colombo, M., Beltrami, R., & Scribante, A. (2017). Color stability of new esthetic restorative materials: A spectrophotometric analysis. *Journal of functional biomaterials*, 8(3), 26.
- Poitevin, A., De Munck, J., Van Ende, A., Suyama, Y., Mine, A., Peumans, M., & Van Meerbeek, B. (2013). Bonding effectiveness of self-adhesive composites to dentin and enamel. *Dental Materials*, 29(2), 221-230.
- Puebla, K., Arcaute, K., Quintana, R., & Wicker, R. B. (2012). Effects of environmental conditions, aging, and build orientations on the mechanical properties of ASTM type I specimens manufactured via stereolithography. *Rapid Prototyping Journal*, 18(5), 374-388.
- Pustina-Krasniqi, T., Shala, K., Staka, G., Bicaj, T., Ahmed, E., & Dula, L. (2017). Lightness, chroma, and hue distributions in natural teeth measured by a spectrophotometer. *European journal of dentistry*, 11(01), 036-040.
- Radwan, H., Elnaggar, G., & El Deen, I. (2021). Surface roughness and color stability of 3D printed temporary crown material in different oral media (In vitro study). *Int. J. Appl. Dent. Sci*, 7, 327-334.
- Ragain, J. (2016). A review of color science in dentistry: shade matching in the contemporary dental practice. *J Dent Oral Disord Ther*, 4(2), 1-5.

- Ramakrishna, S., Mayer, J., Wintermantel, E., & Leong, K. W. (2001). Biomedical applications of polymer-composite materials: a review. *Composites science and technology*, 61(9), 1189-1224.
- Randolph, L. D., Palin, W. M., Leloup, G., & Leprince, J. G. (2016). Filler characteristics of modern dental resin composites and their influence on physico-mechanical properties. *Dental Materials*, 32(12), 1586-1599.
- Rangreez, T. A., & Mobin, R. (2019). Polymer composites for dental fillings. In *Applications of Nanocomposite Materials in Dentistry* (pp. 205-224). Elsevier.
- Rapp, M., Thomsson, J., Bayne, S., & Rathbun, K. (1998). Development of pre-polymerized branched-fiber filler particles. *Journal of dental research*,
- Rashid, F., Farook, T. H., & Dudley, J. (2023). Digital shade matching in dentistry: a systematic review. *Dentistry Journal*, 11(11), 250.
- Ratzmann, A., Klinker, T., Schwahn, C., Treichel, A., & Gedrange, T. (2008). Reproducibility of electronic tooth colour measurements.
- Reis, A. F., Giannini, M., Lovadino, J. R., & dos Santos Dias, C. T. (2002). The effect of six polishing systems on the surface roughness of two packable resin-based composites. *American Journal of Dentistry*, 15(3), 193-197.
- Reymus, M., Fabritius, R., Keßler, A., Hickel, R., Edelhoff, D., & Stawarczyk, B. (2020). Fracture load of 3D-printed fixed dental prostheses compared with milled and conventionally fabricated ones: the impact of resin material, build direction, post-curing, and artificial aging—an in vitro study. *Clinical Oral Investigations*, 24, 701-710.
- Reymus, M., Lümke, N., & Stawarczyk, B. (2019). 3D-printed material for temporary restorations: Impact of print layer thickness and post-curing method on degree of conversion. *Int. J. Comput. Dent*, 22(3), 231-237.
- Ribeiro, J., & Ericson, D. (1991). In vitro antibacterial effect of chlorhexidine added to glass-ionomer cements. *European journal of oral sciences*, 99(6), 533-540.
- Rohym, S., Tawfeek, H. E. M., & Kamh, R. (2023). Effect of coffee on color stability and surface roughness of newly introduced single shade resin composite materials. *BMC oral health*, 23(1), 236.
- Ruddell, D., Maloney, M., & Thompson, J. (2002). Effect of novel filler particles on the mechanical and wear properties of dental composites. *Dental Materials*, 18(1), 72-80.
- Ruiz-López, J., Perez, M. M., Lucena, C., Pulgar, R., López-Toruño, A., Tejada-Casado, M., & Ghinea, R. (2022). Visual and instrumental coverage error of two dental shade guides: an in vivo study. *Clinical Oral Investigations*, 26(9), 5961-5968.
- Rusnac, M. E., Gasparik, C., Irimie, A. I., Grecu, A. G., Mesaroş, A. Ş., & Dudea, D. (2019). Giomers in dentistry—at the boundary between dental composites and glass-ionomers. *Medicine and pharmacy reports*, 92(2), 123.
- Sääksjärvi, K., Knekt, P., Rissanen, H., Laaksonen, M., Reunanen, A., & Männistö, S. (2008). Prospective study of coffee consumption and risk of Parkinson's disease. *European journal of clinical nutrition*, 62(7), 908-915.
- Safwat, E. M., Khater, A. G., Abd-Elsatar, A. G., & Khater, G. A. (2021). Glass fiber-reinforced composites in dentistry. *Bulletin of the National Research Centre*, 45, 1-9.

- Sakaguchi, R. L., & Powers, J. M. (2011). *Craig's Restorative Dental Materials-E-Book: Craig's Restorative Dental Materials-E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Salazar-Martinez, E., Willett, W. C., Ascherio, A., Manson, J. E., Leitzmann, M. F., Stampfer, M. J., & Hu, F. B. (2004). Coffee consumption and risk for type 2 diabetes mellitus. *Annals of internal medicine*, 140(1), 1-8.
- Samuel, S. P., Li, S., Mukherjee, I., Guo, Y., Patel, A. C., Baran, G., & Wei, Y. (2009). Mechanical properties of experimental dental composites containing a combination of mesoporous and nonporous spherical silica as fillers. *Dental Materials*, 25(3), 296-301.
- SARIKAYA, I., & GÜLER, A. U. (2009). Diş Hekimliği Uygulamalarında Renk Kavramı. *Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*, 15(2), 118-129.
- Sasany, R., Donmez, M. B., de Paula, M. S., Kahveci, Ç., Ceylan, G., Yilmaz, B., & Çakmak, G. (2024). Stainability and translucency of potassium aluminum sulfate applied computer-aided design and computer-aided manufacturing materials after coffee thermocycling. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 36(3), 477-483.
- Sasany, R., & Yilmaz, B. (2022). Effect of stain brand and shade on color stability of stains applied on a CAD-CAM feldspathic ceramic. *Odontology*, 110(3), 452-459.
- Sengez, G., & Dörter, C. (2019). Estetik diş hekimliğinde renk seçimi. *Selcuk Dental Journal*, 6(2), 213-220.
- Setz, J., & Engel, E. (1994). Klinische Untersuchungen zur Farbbeständigkeit von Verblendkunststoffen. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 49(9), 735-737.
- Setz, J., Geis-Gerstorfer, J., & Lin, W. (1991). The effect of inorganic fillers on the properties of light-curing composites. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 46(10), 657-660.
- Setz, J., Lin, W., & Pfeifer, H. (1990). Color stability of light curing composites. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 45(10), 666-668.
- Shah, P., & Chong, B. (2018). 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. *Clinical Oral Investigations*, 22(2), 641-654.
- Shamseddine, L., Mortada, R., Rifai, K., & Chidiac, J. J. (2016). Marginal and internal fit of pressed ceramic crowns made from conventional and computer-aided design and computer-aided manufacturing wax patterns: An in vitro comparison. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 116(2), 242-248.
- Shi, J., Wang, Y., Gao, Y., & Bai, H. (2008). Effects of coupling agents on the impact fracture behaviors of T-ZnOw/PA6 composites. *Composites science and technology*, 68(6), 1338-1347.
- Shim, J. S., Kim, J.-E., Jeong, S. H., Choi, Y. J., & Ryu, J. J. (2020). Printing accuracy, mechanical properties, surface characteristics, and microbial adhesion of 3D-printed resins with various printing orientations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 124(4), 468-475.
- Shin, J.-W., Kim, J.-E., Choi, Y.-J., Shin, S.-H., Nam, N.-E., Shim, J.-S., & Lee, K.-W. (2020). Evaluation of the color stability of 3D-printed crown and bridge materials against various sources of discoloration: An in vitro study. *Materials*, 13(23), 5359.
- Shuai, C., Yang, W., Feng, P., Peng, S., & Pan, H. (2021). Accelerated degradation of HAP/PLLA bone scaffold by PGA blending facilitates bioactivity and osteoconductivity. *Bioactive Materials*, 6(2), 490-502.

- Siang Soh, M., Sellinger, A., & Uj Yap, A. (2006). Dental nanocomposites. *Current Nanoscience*, 2(4), 373-381.
- Silikas, N., & Watts, D. (1999). Rheology of urethane dimethacrylate and diluent formulations. *Dental Materials*, 15(4), 257-261.
- Simos, S. (2011). Direct composite resin restorations: placement strategies. *Dentistry today*, 30(8), 108-111.
- Skrtic, D., & Antonucci, J. M. (2011). Bioactive polymeric composites for tooth mineral regeneration: physicochemical and cellular aspects. *Journal of functional biomaterials*, 2(3), 271-307.
- Soares, I. A., Leite, P. K. B. d. S., Farias, O. R., Lemos, G. A., Batista, A. U. D., & Montenegro, R. V. (2019). Polishing methods' influence on color stability and roughness of 2 provisional prosthodontic materials. *Journal of Prosthodontics*, 28(5), 564-571.
- Sood, A. K., Ohdar, R. K., & Mahapatra, S. S. (2010). Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. *Materials & Design*, 31(1), 287-295.
- Strassler, H. (1990). Polishing composite resins to perfection depends on the filler. *Dental Office*, 10(4), 9-10.
- Subaşı, M. G., Alp, G., Johnston, W. M., & Yilmaz, B. (2018). Effects of fabrication and shading technique on the color and translucency of new-generation translucent zirconia after coffee thermocycling. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 120(4), 603-608.
- Sulaiman, T. A. (2020). Materials in digital dentistry—A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), 171-181.
- Sun, G., & Chae, K. (2000). Properties of 2, 3-butanedione and 1-phenyl-1, 2-propanedione as new photosensitizers for visible light cured dental resin composites. *Polymer*, 41(16), 6205-6212.
- Sunico, M. C., Shinkai, K., & Katoh, Y. (2005). Two-year clinical performance of occlusal and cervical giomer restorations. *OPERATIVE DENTISTRY-UNIVERSITY OF WASHINGTON-*, 30(3), 282.
- Swanson, T., & Tinanoff, N. (1984). Antiplatelet properties of sustained release SnF₂: pilot studies. *Journal of oral rehabilitation*, 11(1), 53-63.
- Swolfs, Y., Verpoest, I., & Gorbatikh, L. (2019). Recent advances in fibre-hybrid composites: materials selection, opportunities and applications. *International Materials Reviews*, 64(4), 181-215.
- Tabatabaei, M. H., Nahavandi, A. M., Khorshidi, S., & Hashemikamangar, S. S. (2019). Fluorescence and opalescence of two dental composite resins. *European journal of dentistry*, 13(04), 527-534.
- Tagtekin, D. A., Yanikoglu, F. C., Bozkurt, F. O., Kologlu, B., & Sur, H. (2004). Selected characteristics of an Ormocer and a conventional hybrid resin composite. *Dental Materials*, 20(5), 487-497.
- Tahayeri, A., Morgan, M., Fugolin, A. P., Bompolaki, D., Athirasala, A., Pfeifer, C. S., Ferracane, J. L., & Bertassoni, L. E. (2018). 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dental Materials*, 34(2), 192-200.

- Taneva, I., & Uzunov, T. (2020). Influence of post-polymerization processing on the mechanical characteristics of 3D-printed occlusal splints. *Journal of Physics: Conference Series*,
- Taormina, G., Sciancalepore, C., Messori, M., & 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.
- Taşın, S., Ismatullaev, A., & Usumez, A. (2022). Comparison of surface roughness and color stainability of 3-dimensionally printed interim prosthodontic material with conventionally fabricated and CAD-CAM milled materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(5), 1094-1101.
- Teixeira, E. C., Bayne, S. C., Thompson, J. Y., Ritter, A. V., & Swift, E. J. (2005). Shear bond strength of self-etching bonding systems in combination with various composites used for repairing aged composites. *Journal of Adhesive Dentistry*, 7(2).
- Tiba, A., Zeller, G. G., Estrich, C. G., & Hong, A. (2013). A laboratory evaluation of bulk-fill versus traditional multi-increment-fill resin-based composites. *The Journal of the American Dental Association*, 144(10), 1182-1183.
- Topcu, F. T., Sahinkesen, G., Yamanel, K., Erdemir, U., Oktay, E. A., & Ersahan, S. (2009). Influence of different drinks on the colour stability of dental resin composites. *European journal of dentistry*, 3(01), 50-56.
- Truxova, V., Safka, J., Seidl, M., Kovalenko, I., Volesky, L., & Ackermann, M. (2020). Ceramic 3D printing: Comparison of SLA and DLP technologies. *MM Sci. J*, 2020, 3905-3911.
- Turker, I., & Yuzbasioglu, E. (2024). Optical Properties of CAD/CAM Interpenetrating Phase Composites—An Overview. *Glass and Ceramics*, 81(5), 217-224.
- Turssi, C. P., de Moraes Purquerio, B., & Serra, M. C. (2003). Wear of dental resin composites: insights into underlying processes and assessment methods—a review. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 65(2), 280-285.
- Turssi, C. P., Saad, J., Duarte Jr, S., & Rodrigues Jr, A. L. (2000). Composite surfaces after finishing and polishing techniques. *American Journal of Dentistry*, 13(3), 136-138.
- Uchida, H., Vaidyanathan, J., Viswanadhan, T., & Vaidyanathan, T. K. (1998). Color stability of dental composites as a function of shade. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 79(4), 372-377.
- Um, C. M., & Ruyter, I. (1991). Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence international*, 22(5).
- Umaña Alfaro, G. (2024). Efecto del post curado en las propiedades físicas y mecánicas de resinas dentales de impresión 3D para restauraciones definitivas.
- Unkovskiy, A., Bui, P. H.-B., Schille, C., Geis-Gerstorfer, J., Huettig, F., & Spintzyk, S. (2018). Objects build orientation, positioning, and curing influence dimensional accuracy and flexural properties of stereolithographically printed resin. *Dental Materials*, 34(12), e324-e333.
- Ünlü, N., & Ülkü, S. G. (2020). Son 10 yılda kompozit rezin restorasyonlar: in vivo ve in vitro çalışmalarıyla bir derleme. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Dergisi*, 2(3), 124-145.

- Vadher, R., Parmar, G., Kanodia, S., Chaudhary, A., Kaur, M., & Savadhariya, T. (2014). Basics of color in dentistry: A review. *IOSR J Dent Med Sci*, 13(9), 78-85.
- Vallittu, P. K. (2015). High-aspect ratio fillers: fiber-reinforced composites and their anisotropic properties. *Dental Materials*, 31(1), 1-7.
- Van Landuyt, K. L., Snauwaert, J., De Munck, J., Peumans, M., Yoshida, Y., Poitevin, A., Coutinho, E., Suzuki, K., Lambrechts, P., & Van Meerbeek, B. (2007). Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials*, 28(26), 3757-3785.
- Vargas, M., Saisho, H., Maharishi, A., & Margeas, R. (2023). A practical, predictable, and reliable method to select shades for direct resin composite restorations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(1), 19-25.
- Venturini, D., Cenci, M. S., Demarco, F. F., Camacho, G. B., & Powers, J. M. (2006). Effect of polishing techniques and time on surface roughness, hardness and microleakage of resin composite restorations. *Operative dentistry*, 31(1), 11-17.
- Vichi, A., Balestra, D., Scotti, N., Louca, C., & Paolone, G. (2023). Translucency of CAD/CAM and 3D printable composite materials for permanent dental restorations. *Polymers*, 15(6), 1443.
- Vichi, A., Ferrari, M., & Davidson, C. L. (2004). Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dental Materials*, 20(6), 530-534.
- Vilchis, R. J. S., Yamamoto, S., Kitai, N., Hotta, M., & Yamamoto, K. (2007). Shear bond strength of a new fluoride-releasing orthodontic adhesive. *Dental materials journal*, 26(1), 45-51.
- Wada, J., Wada, K., Gibreel, M., Wakabayashi, N., Iwamoto, T., Vallittu, P. K., & Lassila, L. (2023). Effect of Surface Polishing on Physical Properties of an Occlusal Splint Material for Additive Manufacturing under Protection Gas Post-Curing Condition. *Polymers*, 15(3), 625.
- Wang, R., Habib, E., & Zhu, X. (2017). Synthesis of wrinkled mesoporous silica and its reinforcing effect for dental resin composites. *Dental Materials*, 33(10), 1139-1148.
- Wang, R., Zhang, M., Liu, F., Bao, S., Wu, T., Jiang, X., Zhang, Q., & Zhu, M. (2015). Investigation on the physical-mechanical properties of dental resin composites reinforced with novel bimodal silica nanostructures. *Materials Science and Engineering: C*, 50, 266-273.
- Wang, Y., Zhu, M., & Zhu, X. (2021). Functional fillers for dental resin composites. *Acta biomaterialia*, 122, 50-65.
- Wedekind, L., Güth, J.-F., Schweiger, J., Kollmuss, M., Reichl, F.-X., Edelhoff, D., & Högg, C. (2021). Elution behavior of a 3D-printed, milled and conventional resin-based occlusal splint material. *Dental Materials*, 37(4), 701-710.
- Wee, A. G., Lindsey, D. T., Shroyer, K. M., & Johnston, W. M. (2007). Use of a porcelain color discrimination test to evaluate color difference formulas. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 98(2), 101-109.
- Wei, Y.-j., Silikas, N., Zhang, Z.-t., & Watts, D. C. (2011). Hygroscopic dimensional changes of self-adhering and new resin-matrix composites during water sorption/desorption cycles. *Dental Materials*, 27(3), 259-266.

- Weng, Y., Howard, L., Guo, X., Chong, V. J., Gregory, R. L., & Xie, D. (2012). A novel antibacterial resin composite for improved dental restoratives. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 23, 1553-1561.
- Williams, D. F., Cahn, R. W., & Bever, M. B. (1990). Concise encyclopedia of medical & dental materials. (No Title).
- Wolter, H., Storch, W., & Ott, H. (1994). New inorganic/organic copolymers (Ormocer® s) for dental applications. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, 346, 143.
- Wu, D., Zhao, Z., Zhang, Q., Qi, H. J., & Fang, D. (2019). Mechanics of shape distortion of DLP 3D printed structures during UV post-curing. *Soft matter*, 15(30), 6151-6159.
- Wu, L., Zhao, L., Jian, M., Mao, Y., Yu, M., & Guo, X. (2018). EHMP-DLP: Multi-projector DLP with energy homogenization for large-size 3D printing. *Rapid Prototyping Journal*, 24(9), 1500-1510.
- Xu, Y., Zhang, F., Zhai, W., Cheng, S., Li, J., & Wang, Y. (2022). Unraveling of advances in 3D-printed polymer-based bone scaffolds. *Polymers*, 14(3), 566.
- Yadav, R. D., Raisingani, D., Jindal, D., & Mathur, R. (2016). A comparative analysis of different finishing and polishing devices on nanofilled, microfilled, and hybrid composite: a scanning electron microscopy and profilometric study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 9(3), 201.
- Yang, D.-L., Sun, Q., Niu, H., Wang, R.-L., Wang, D., & Wang, J.-X. (2020). The properties of dental resin composites reinforced with silica colloidal nanoparticle clusters: Effects of heat treatment and filler composition. *Composites Part B: Engineering*, 186, 107791.
- Yannikakis, S. A., Zissis, A. J., Polyzois, G. L., & Caroni, C. (1998). Color stability of provisional resin restorative materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 80(5), 533-539.
- Yap, A. U., Tan, C., & Chung, S. (2004). Wear behavior of new composite restoratives. *OPERATIVE DENTISTRY-UNIVERSITY OF WASHINGTON-*, 29, 269-274.
- Yılmaz Atalı, P., Doğu Kaya, B., Manav Özen, A., Tarçın, B., Şenol, A. A., Tüter Bayraktar, E., Korkut, B., Bilgin Göçmen, G., Tağtekin, D., & Türkmen, C. (2022). Assessment of micro-hardness, degree of conversion, and flexural strength for single-shade universal resin composites. *Polymers*, 14(22), 4987.
- Yoon, H. I., Bae, J. W., Park, J. M., Chun, Y. S., Kim, M. A., & Kim, M. (2018). A study on possibility of clinical application for color measurements of shade guides using an intraoral digital scanner. *Journal of Prosthodontics*, 27(7), 670-675.
- Yoshida, K., Saku, S., Ohashi, S., & Yamamoto, K. (2008). Anti-plaque of new fluoride release adhesion system. *Jpn J Conserv Dent*, 51, 493-501.
- Yu, B., & Lee, Y.-K. (2013). Comparison of stabilities in translucency, fluorescence and opalescence of direct and indirect composite resins. *European Journal of Esthetic Dentistry*, 8(2).
- Yuan, H., Li, M., Guo, B., Gao, Y., Liu, H., & Li, J. (2015). Evaluation of Microtensile Bond Strength and Microleakage of a Self-adhering Flowable Composite. *Journal of Adhesive Dentistry*, 17(6).

- Yuan, J. C.-C., Barão, V. A. R., Wee, A. G., Alfaro, M. F., Afshari, F. S., & 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.
- Yuan, J. C.-C., Brewer, J. D., Monaco Jr, E. A., & Davis, E. L. (2007). Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 98(2), 110-119.
- Yugang, D., Yuan, Z., Yiping, T., & Dichen, L. (2011). Nano-TiO₂-modified photosensitive resin for RP. *Rapid Prototyping Journal*, 17(4), 247-252.
- Zhang, F., Heydecke, G., & Razzoog, M. E. (2000). Double-layer porcelain veneers: effect of layering on resulting veneer color. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 84(4), 425-431.
- Zhang, Y., & Xu, J. (2008). Effect of immersion in various media on the sorption, solubility, elution of unreacted monomers, and flexural properties of two model dental composite compositions. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19, 2477-2483.
- Zhao, J., Liu, Y., Sun, W.-b., & Zhang, H. (2011). Amorphous calcium phosphate and its application in dentistry. *Chemistry Central Journal*, 5, 1-7.
- Zhou, J., Qiu, K., & Fu, W. (2005). The surface modification of ZnOw and its effect on the mechanical properties of filled polypropylene composites. *Journal of composite materials*, 39(21), 1931-1941.
- Zrínyi, M., Szilágyi, A., Filipcsei, G., Fehér, J., Szalma, J., & Móczár, G. (2001). Smart gel–glass based on the responsive properties of polymer gels. *Polymers for Advanced Technologies*, 12(9), 501-505.

8.ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı Bengisu KOCA

Yabancı Dili İngilizce

Öğrenim Durumu

Derece	Okul	Yıl
Lise	Samsun Garip Zeycan Yıldırım Fen Lisesi	2011-2015
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2015-2020
Uzmanlık	Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi	2022-
Deneyim	Okul	Yıl
Araştırma Görevlisi	Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi	2022-
Erasmus+ Hareketliliği	Staj Università Degli Studi di Foggia/ İTALYA	2024-2024

Yayınlar

1. Akarsu S., Atasoy S., Arıkan M., Koca B., Yiğın SN (2024). Effects of three disinfection solutions on residual monomers released from resin nanoceramic CAD/CAM blocks. *Heliyon*. [10.1016/j.heliyon.2024.e24369](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24369)

Uluslararası Sözlü Bildiriler

1. Kaya A., Koca B., Metin Z.I., Uslu Cender E. “Çürüksüz Servikal Lezyonların İki Farklı Nanohibrit Kompozit Rezin ile Tedavisi: 3 Olgu Sunumu” 10. Uluslararası Hipokrat Tıp ve Sağlık Bilimleri Kongresi, Aralık 2022.
2. Koca B., Yigin SN., Akarsu S. (2024). Effect of Polishing Systems and Surface Sealant on Composite Resin Colour Stability. FDI World Dental Congress, İstanbul, Türkiye.
3. Yigin SN., Koca B., Akarsu S. (2024). Effect of Home Bleaching on Colour Change of Discoloured Composites. FDI World Dental Congress, İstanbul, Türkiye.
4. Koca B., Akarsu S. (2024). Comparison of color stability of 3-D printed resins. Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Eklemeli İmalat Kongresi (IDCAM).

Uluslararası Poster Bildirileri

1. Koca B., Yigin SN., Akarsu S. (2023). Silikon İndex ile Polidiastema Vakalarının Estetik Rehabilitasyonu: 6 Vaka Raporu. TDB 27. Uluslararası Diş Hekimliği Kongresi, Ankara, Türkiye.
2. Koca B., Atasoy S. (2023). Multiple Diastema Closure with One Shade Composite Following Orthodontic Treatment: A Case Report. 26th Congress of the BaSS, Skopje, Republic of North Macedonia.

