

Editör

Prof. Dr. Sabiha Zela ÜLKÜ

gece
kitaplığı

**Protetik Diş
Hekimliği
Alanında
Uluslararası
Araştırmalar ve
Değerlendirmeler**

**Ekim
2025**

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı

Birinci Basım / First Edition • © Ekim 2025

ISBN • 978-625-388-778-0

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Gece Kitaplığı / Gece Kitaplığı

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 0312 384 80 40

web: www.gecekitapligi.com

e-mail: gecekitapligi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 42488

PROTETİK DİŞ
HEKİMLİĞİ ALANINDA
ULUSLARARASI
ARAŞTIRMALAR VE
DEĞERLENDİRMELER

EDİTÖR

PROF. DR. SABİHA ZELAL ÜLKÜ

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİNDE AĞIZ İÇİ TARAYICILARDA HASSASİYET

Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre ÖZDEN - 1

Bölüm 2

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİNDE ÖLÇÜ İŞLEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Elifnaz ÖZEN SÜTÜVEN- 17

Bölüm 3

İMLANT ÜSTÜ PROTEZLERDE DİJİTAL YAKLAŞIMLAR VE İŞ AKIŞI

Dr. Esra SÖNMEZ - 35

Bölüm 4

PROTETİK DİŞ HEKİMLİĞİNDE FOTOPOLİMER DENTAL REÇİNELER

Esra Ayşe DİLAVERLER YARDIM, Selen Elif MERT 49

Bölüm 5

SABİT PROTEZLERDE MARJİNAL UYUM

Yeliz HAYRAN– 71

Bölüm 6

DİŞ HEKİMLİĞİNDE RENK VE RENK BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Onur Doğan DAĞ, Göknil ALKAN DEMETOĞLU– 87

Bölüm 7

DİŞ HEKİMLİĞİNDE DİJİTAL GÜLÜŞ TASARIMI

Özgül ALVER, Ayşegül KURT– 105



Bölüm 4

PROTETİK DİŞ HEKİMLİĞİNDE FOTOPOLİMER DENTAL REÇİNELER

Esra Ayşe DİLAVERLER YARDIM¹

Selen Elif MERT²

Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi AD, ORCID: 0000-0002-7066-3032
Doktora Öğrencisi, İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Protetik Diş Tedavisi AD, ORCID: 0000-0001-8018-9381

GİRİŞ

Protetik diş hekimliğinde kullanılan üretim yöntemleri, son yıllarda dijital teknolojilerin gelişimine paralel olarak önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Geleneksel döküm, presleme ve frezeleme temelli üretim yöntemlerinin yerini, bilgisayar destekli tasarım ve üretim sistemleri (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing – CAD/CAM) ile birlikte eklemeli üretim teknolojileri (Additive Manufacturing – AM) almaya başlamıştır. Bu teknolojiler, üretim doğruluğunu ve işlem hızını artırarak materyal kullanımında verimlilik sağlamış, aynı zamanda kişiye özgü protetik restorasyonların üretilmesini mümkün kılmıştır.

Dijital üretim yöntemlerinin benimsenmesi, yalnızca teknik bir yenilik değil; aynı zamanda klinik protetik yaklaşımın felsefesinde de belirgin bir değişime yol açmıştır. CAD/CAM ve eklemeli üretim temelli sistemler, üretim süreçlerinin standartlaşması, tekrarlanabilirliği ve dijital doğrulama olanakları sayesinde, manuel işleme dayalı varyasyonları azaltmakta ve öngörülebilir klinik sonuçlar elde edilmesini kolaylaştırmaktadır (Revilla-León ve Özcan, 2019). Bu dönüşüm, laboratuvar bağımlılığını azaltmakta, klinik uygulamalarda işlem sürelerini kısaltmakta ve hasta memnuniyetini artırmaktadır.

Eklemeli üretim teknolojileri, dijital ortamda oluşturulan üç boyutlu model verilerinin, belirli bir düzen içinde katman katman eklenmesi prensibine dayanmaktadır. Geleneksel eksiltmeli üretim tekniklerinin aksine, materyal kazıma veya aşındırma yerine katman ekleme prensibiyle çalışan bu yöntem, malzeme kaybını azaltmakta, karmaşık geometrilerin üretimine olanak tanımakta ve kişiye özel restorasyonların yüksek hassasiyetle üretilmesini mümkün kılmaktadır (Mangano ve ark., 2020; Alifui-Segbaya ve ark., 2020). Ayrıca, dijital veri temelli üretim süreci, tasarım dosyalarının güvenli biçimde saklanması, tekrar üretimi ve modifikasyonuna olanak sağlayarak klinik izlenebilirliği artırmaktadır.

Eklemeli üretim sistemlerinin diş hekimliği pratiğinde klinik olarak uygulanabilir hale gelmesi, fotopolimer bazlı reçine materyallerinin geliştirilmesiyle mümkün olmuştur. Bu materyaller, belirli dalga boyundaki ışık altında fotopolimerizasyon yoluyla sertleşen monomer, oligomer ve fotobaşlatıcı bileşenlerden oluşmaktadır. Polimerizasyon mekanizmasının kontrol edilebilir olması, bu reçinelerin mekanik dayanım, optik stabilite ve biyouyumluluk açısından farklı klinik gereksinimlere göre optimize edilmesine imkân tanımaktadır. Başlangıçta yalnızca modeller ve cerrahi rehberler için tasarlanan reçineler, günümüzde geçici restorasyonlar, implant üstü yapılar, protez kaideleri, ölçü kaşıkları, oklüzal splintler ve ortodontik apareyler dahil olmak üzere geniş bir uygulama

alanına sahiptir (Unkovskiy ve ark., 2021).

Dijital iş akışının sunduğu hız, doğruluk ve tekrarlanabilirlik avantajları, eklemeli üretim teknolojilerini hem laboratuvar hem de klinik süreçlerde verimli, maliyet etkin ve standartlaştırılabilir bir üretim alternatifi haline getirmiştir. Fotopolimer reçine kimyasındaki son gelişmeler, bu materyallerin yalnızca geçici restorasyonlarda değil, aynı zamanda daimi restoratif uygulamalarda da kullanılabilmesini ortaya koymaktadır (Kessler ve ark., 2022). Ayrıca, son dönemde geliştirilen biyobazlı ve hibrit reçine formülasyonları, çevresel sürdürülebilirlik ve biyoyumluluk açısından bu teknolojinin potansiyelini artırmaktadır.

Sonuç olarak, eklemeli üretim teknolojileri, protetik diş hekimliğinde üretim süreçlerini yeniden tanımlamış ve dijital iş akışının ayrılmaz bir bileşeni haline gelmiştir. Bu sistemler, dijital tasarım, malzeme bilimi ve klinik uygulama arasındaki entegrasyonu güçlendirerek, günümüzde yalnızca bir üretim yöntemi değil, dijital temelli, öngörülebilir ve hasta merkezli bir tedavi anlayışını temsil etmektedir.

1. 3B Baskı Teknolojileri

Eklemeli üretim sistemleri, dijital diş hekimliğinde kişiye özel üretimi mümkün kılan temel teknolojilerdendir. Bu sistemlerde dijital olarak tasarlanan model, materyalin katman katman eklenmesiyle üç boyutlu biçimde oluşturulur. Hem laboratuvar hem de klinik süreçlerde yüksek doğruluk, tekrarlanabilirlik ve zaman tasarrufu sağlamaktadır. Geleneksel üretim yöntemlerinde karşılaşılan malzeme kaybı, uzun işlem süreleri ve operatöre bağlı değişkenlikler, eklemeli üretim sistemlerinin kullanımının artmasıyla önemli ölçüde azaltılmıştır. Ayrıca, dijital tasarım verilerinin klinik ve laboratuvar ortamları arasında kolaylıkla aktarılabilmesi, üretim sürecinde standardizasyonun sağlanmasına ve hata oranının azalmasına katkıda bulunmaktadır. Diş hekimliğinde kullanılan 3B baskı teknolojileri genel olarak iki ana grupta incelenmektedir: fotopolimerizasyon temelli sistemler ve diğer ileri üretim teknolojileri.

Fotopolimerizasyon Sistemleri (SLA, DLP, LCD)

Fotopolimerizasyon temelli yazıcılar, diş hekimliği pratiğinde en yaygın kullanılan 3B baskı sistemleridir. Bu teknoloji, ışığa duyarlı sıvı reçinenin belirli dalga boyundaki ışıkla katman katman sertleştirilmesi esasına dayanır (Şekil 1). Katman kalınlığı genellikle 25–100 mikrometre arasında değişir ve bu parametre baskı süresi ile yüzey kalitesini doğrudan etkiler (Unkovskiy et al., 2021). Yüksek çözünürlük ve düzgün yüzey kalitesi sunmaları, bu sistemleri özellikle geçici restorasyon, cerrahi rehber, model ve protez kaide üretiminde tercih edilir hâle getirmiştir.

- **SLA (Stereolitografi):** SLA sistemleri, ultraviyole lazer ışını kullanarak sıvı rezini noktasal olarak polimerize eder. Bu yöntemle yüksek çözünürlükte ve karmaşık geometrili yapılar üretilebilir. Ancak baskı süresi görece uzundur ve işlem sonrası (post-curing, destek temizliği) aşamaları daha fazla zaman gerektirir. SLA baskılar, 0.025–0.05 mm hassasiyetle üretim yapabildiğinden, implant cerrahi rehberleri, hassas modelleme çalışmaları ve estetik bölge geçici restorasyonları için uygundur (Revilla-León & Özcan, 2019). Bununla birlikte, sistemin lazer tabanlı olması nedeniyle ekipman maliyeti yüksektir ve reçine tüketimi fazladır.

Avantajları: Yüksek çözünürlük, detay başarısı, pürüzsüz yüzey.

Sınırlılıkları: Yavaş üretim, yüksek ekipman maliyeti, reçine kaybı.

- **DLP (Digital Light Processing):** DLP sistemleri, sıvı rezinin katmanlarını tek seferde sertleştiren dijital projektör ışığı kullanır. Bu nedenle SLA'ya kıyasla baskı süresi yaklaşık %40–60 oranında daha kısadır. Katman bazında toplu kütleme sayesinde üretim hızı artar; ancak her katmanda ışık dağılımı kenar bölgelerde hafif çözünürlük düşüşüne yol açabilir. Bu sistemler, laboratuvar modelleri, geçici köprüler, splintler ve cerrahi rehberlerin seri üretiminde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, tek platformda çoklu baskı yapabilme kapasitesi klinik verimliliği artırır. Tek baskıda çok sayıda örnek üretebilme avantajı, klinik verimliliği artırır.

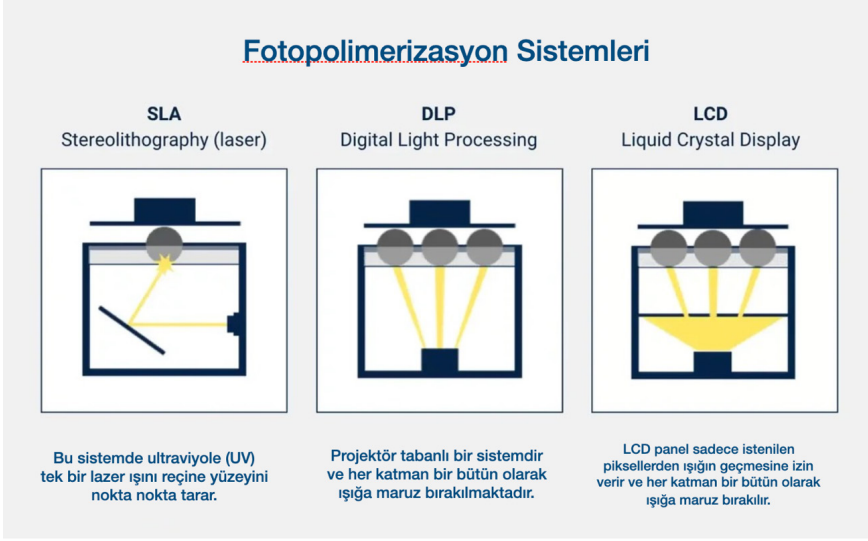
Avantajları: Hızlı üretim, yüksek verimlilik, seri baskı olanağı.

Sınırlılıkları: Kenar bölgelerde ışık difüzyonu nedeniyle çözünürlük kaybı, periyodik projektör kalibrasyonu ihtiyacı.

- **LCD (Liquid Crystal Display):** LCD sistemleri, LED ışık kaynağından gelen ışığı LCD ekran aracılığıyla reçine havuzuna yansıtarak polimerizasyonu sağlar. Bu teknoloji, DLP sistemlerine benzer şekilde katman bazlı sertleşme prensibiyle çalışır, ancak ışık yoğunluğu ve homojenliği ekran kalitesine bağlıdır. Baskı maliyeti düşük, cihaz bakımı kolaydır. Bu nedenle LCD yazıcılar küçük ölçekli kliniklerde, eğitim ortamlarında ve prototip üretiminde sık tercih edilir. Çözünürlük ve yüzey kalitesi SLA ve DLP'ye göre nispeten düşüktür; ancak hasta başı geçici restorasyon veya ölçü kaşığı gibi düşük yük altındaki yapılar için yeterlidir.

Avantajları: Düşük maliyet, kolay kullanım, bakım kolaylığı.

Sınırlılıkları: Orta çözünürlük, ekran ömrü sınırlaması, reçine seçimi kısıtlılığı.



Şekil 1: Fotopolimerizasyon Sistemleri

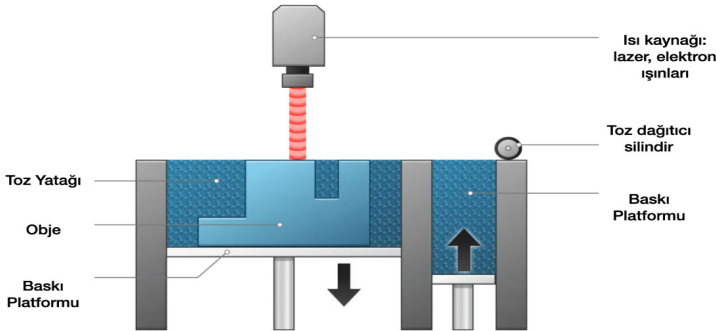
Diğer Teknolojiler (FDM, Jetting, Powder Bed Fusion vb.)

Fotopolimerizasyon dışındaki sistemler diş hekimliğinde daha sınırlı, ancak belirli alanlarda tamamlayıcı rol üstlenir.

Malzeme Ekstrüzyonu (FDM – Fused Deposition Modeling): Eritilmiş termoplastik filamentlerin katman katman biriktirilmesi prensibine dayanır. Reçine tabanlı sistemlere kıyasla yüzey kalitesi daha düşüktür, bu nedenle doğrudan restoratif üretimlerde sınırlıdır. Bu yöntem düşük maliyetli donanım ve sarf malzemeleri sayesinde kolay erişilebilir bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Ancak üretim sırasında katmanlar arası bağlanmanın sınırlı olması, basım süresince oluşabilecek boşluklar ve yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler, elde edilen ürünlerin çözünürlük ve mekanik dayanım açısından fotopolimerizasyon veya toz füzyonu tabanlı yöntemlerle karşılaştırıldığında daha zayıf olmasına yol açmaktadır (van Noort, 2012). Diş hekimliği bağlamında malzeme ekstrüzyonu tabanlı sistemler genellikle yüksek doğruluk gerektirmeyen uygulamalarda tercih edilmektedir. Örneğin ortodontik tedavi planlamasında çalışma modellerinin hazırlanmasında, cerrahi planlamaya yönelik anatomik modellerin üretilmesinde ve eğitim amaçlı diş veya çene prototiplerinin oluşturulmasında kullanıldığı bildirilmektedir (Camardella et al., 2017). Bununla birlikte, mekanik dayanımın ve yüzey kalitesinin sınırlı olması nedeniyle sabit protezler, implant üstü yapılar veya uzun dönemli restoratif uygulamalar gibi klinik olarak yük taşıyan alanlarda kullanılmaları uygun bulunmamaktadır.

Material Jetting: Sıvı rezin damlacıkları püskürtülerek eş zamanlı polimerize edilir. Bu sistemin en önemli avantajı, farklı malzemelerin ve renklerin aynı anda işlenebilmesi ve yüksek yüzey kalitesi elde edilebilmesidir. Diş hekimliği tarafında daha çok estetik planlama prototipleri, eğitim modelleri ve cerrahi simülasyonlar için kullanılmaktadır (González de Villaumbrosia et al., 2020). Bununla birlikte, mekanik dayanım sınırlı olduğundan daimi restorasyonlarda kullanım imkânı bulunmamaktadır. Ayrıca bu sistemlerin maliyetinin yüksek olması ve kullanılan malzemelerin biyouyumluluk açısından sınırlı çeşitliliğe sahip olması, yaygın klinik kullanımını kısıtlamaktadır (Alharbi et al., 2016).

Powder Bed Fusion: Toz halindeki polimer veya metal partiküllerin lazer ya da elektron ışını ile sinterlenmesi esasına dayanır. Katman katman ilerleyen bu üretim süreci, karmaşık geometrilere sahip yapıların yüksek mekanik dayanım ile elde edilmesine olanak tanır. Powder Bed Fusion'da yapı platformu üzerine ince bir toz tabakası serilir, ardından lazer veya elektron ışını bu tabakanın gerekli bölgelerini eriterek birleştirir. Her katman tamamlandığında platform aşağı iner, yeni toz tabakası yayılır ve bu işlem model tamamen oluşuncaya kadar tekrarlanır (Şekil 2). Diş hekimliğinde özellikle metal altyapı protezler ve implant abutment üretiminde kullanılır. Bu grup, özellikle metal alaşımların yüksek mekanik dayanım ile işlenmesine imkân tanıdığı için diş hekimliğinde sabit protez altyapıları, parsiyel protez iskeletleri, implant abutmentleri ve titanyum implantların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Mangano et al., 2017). Bununla birlikte Powder Bed Fusion teknolojilerinin en önemli dezavantajı, üretilen yüzeylerin genellikle pürüzlü olması ve post-processing işlemlerinin (örneğin tesfiye, polisaj) zorunlu hale gelmesidir. Ayrıca üretim maliyetlerinin yüksekliği ve cihaz boyutlarının büyük olması, klinik kullanımı çoğunlukla dental laboratuvarlarla sınırlı tutmaktadır (Revilla-León & Özcan, 2019).



Şekil 2: Powder Bed Fusion Sistemi

Sheet Lamination: İnce tabakaların yapıştırılması veya kaynaştırılması prensibine dayanır. Diş hekimliği alanında sınırlı düzeyde kullanım alanı bulunmuş olup, özellikle eğitim amaçlı anatomik modellerin hazırlanmasında tercih edilmektedir (Frazier, 2014). Yöntemin düşük maliyeti ve basitliği avantaj sağlasa da, mekanik dayanım ve yüzey kalitesi açısından yetersiz kalması nedeniyle klinik restoratif uygulamalarda kullanımı mümkün değildir. Buna rağmen, dental eğitim ve planlama süreçlerinde anatomik yapıların düşük maliyetli biçimde modellenmesi için uygun bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 1. 3B Baskı Sistemlerinin Karşılaştırılması

YÖNTEM	ENERJİ TÜRÜ	ÜRETİM HIZI/ ÇÖZÜNÜRLÜK	DIŞ HEKİMLİĞİNDE KULLANIM DÜZEYİ	KULLANILAN MATERİYALLER	KULLANIM ALANI
LCD	Dijital projektör (UV/LED)	UV lazer	Orta / Orta	Yaygın kullanım	Yaygın kullanım
DLP	Dijital projektör (UV/LED)	Yüksek / Yüksek	Orta / Çok Yüksek	Yaygın kullanım	Yaygın kullanım
SLA	UV lazer	Yüksek / Yüksek	Orta / Çok Yüksek	Fotopolimer reçineler	Cerrahi rehberler, geçici restorasyonlar, hassas modeller
LED + LCD ekran	Orta / Orta	Yaygın kullanım	Yaygın kullanım	Fotopolimer reçineler	Klinik ve eğitim amaçlı prototipler, model üretimi

Sheet Lamination	Material Jetting	Powder Bed Fusion	Materyal Ekstrüzyonu
Ultrasonik kaynak / yapıştırma	Püskürtme kafası + UV kür	Lazer/elektron ışını	Isıtılmış nozul (termoplastik ekstrüzyon)
Yüksek / Düşük	Orta / Yüksek	Düşük / Yüksek	Orta / Düşük
Nadir kullanım	Sınırlı kullanım	Yaygın kullanım	Sınırlı kullanım
Polimer veya kâğıt tabakalar	Fotopolimer reçineler (çoklu malzeme/renek)	Co-Cr alaşımları, titanyum alaşımları (Ti-6Al-4V)	PLA, ABS, PEEK/PEKK
Eğitim amaçlı anatomik modeller	Estetik planlama, simülasyon modelleri, çok materyalli baskılar	Sabit protez altyapıları, parsiyel protez iskeletleri, implant parçaları	Ortodontik modeller, eğitim amaçlı prototipler

2. Fotopolimer Dental Reçinelerin Yapısı ve Sınıflandırılması

Eklemeli üretim teknolojilerinde kullanılan dental fotopolimer reçineler, dijital diş hekimliğinde üretilen modellerin, geçici ve daimi restorasyonların, cerrahi rehberlerin ve protez kaidelerinin temel yapı taşlarını oluşturur. Bu materyaller; ışığa duyarlı monomerler (çoğunlukla metakrilat veya dimetakrilat türevleri), oligomerler, çapraz bağlayıcı ajanlar ve fotobaşlatıcılardan oluşur. Polimerizasyon işlemi, belirli dalga boyundaki ışığın etkisiyle zincir reaksiyonu şeklinde gerçekleşir. Bu sürecin et-

kinliği; kullanılan ışık kaynağının spektral özellikleri, katman kalınlığı, oksijen inhibisyonu ve post-curing koşullarıyla yakından ilişkilidir (Van Noort ve ark., 2020).

Fotopolimer rezinlerin bileşimi ve formülasyonu, eklemeli üretimle elde edilen dental ürünlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik performansını belirleyen temel unsurdur. Kullanılacak rezinenin seçimi; uygulama alanına (ör. geçici restorasyon, cerrahi guide, model rezini, hibrit sistem), ışık kaynağı tipine (lazer, DLP, LCD) ve post-processing parametrelerine bağlı olarak optimize edilmelidir. Fotopolimer rezinler monomerler, oligomerler ve fotobaşlatıcılar olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır.

Monomerler, fotopolimer rezinlerde esas yapı taşı metakrilat ve akrilat esaslı monomerlerdir. En sık kullanılan monomerler arasında bisfenol A-glisidil dimetakrilat (Bis-GMA), üretan dimetakrilat (UDMA), trietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA) ve etoksietil metakrilat (EEMA) bulunur (Lovell et al., 2001). Monomerler, viskoziteyi ve çapraz bağlanma derecesini belirleyerek polimerizasyonun akışkanlığını ve mekanik dayanımı etkiler. Bis-GMA yüksek çapraz bağlanma potansiyeliyle sert ve dayanıklı bir yapı sağlarken kırılabilirliği artırır; UDMA daha düşük viskozitesiyle polimerizasyon bütülmesini azaltır; TEGDMA ise akışkanlığı artırarak çapraz bağ yoğunluğunu düzenler.

Oligomerler (örneğin poliüretan akrilatlar), reçineye esneklik ve darbe dayanımı kazandırır. Monomerlerin sert yapısını dengelemek ve polimerizasyon sırasında oluşan iç gerilmeleri azaltmak amacıyla formülasyona eklenir (Velo et al., 2022).

Fotobaşlatıcı ajanlar, belirli dalga boyundaki ışığı absorbe ederek serbest radikal oluşturur ve polimerizasyonu başlatır. VPP sistemlerinde sıklıkla camphorquinone (CQ), phenylbis(2,4,6-trimethylbenzoyl) phosphine oxide (BAPO) ve diphenyl(2,4,6-trimethylbenzoyl)phosphine oxide (TPO) kullanılır. Fotobaşlatıcının ışık kaynağıyla uyumu, kür derinliğini ve dolayısıyla baskının mekanik bütünlüğünü doğrudan belirler (Neumann et al., 2020).

Fotopolimer reçinelerin klinik performansı, kimyasal yapıdaki fonksiyonel grupların yanı sıra katı faz içeriği, fotobaşlatıcı tipi ve polimer ağ yoğunluğu gibi parametrelerden de etkilenmektedir. Bu nedenle üreticiler, mekanik dayanım, yüzey pürüzsüzlüğü ve biyouyumluluk gibi özellikleri optimize etmek amacıyla reçine formülasyonlarını sürekli olarak geliştirmektedir. Günümüzde, fotopolimer reçineler kimyasal yapılarına ve klinik kullanım amaçlarına göre altı temel grupta sınıflandırılmaktadır: model reçineleri, geçici/restoratif reçineler, cerrahi rehber reçineleri,

protez kaide ve ölçü kaşığı reçineleri, oklüzal splint/gece plağı reçineleri ve daimi/hibrit reçineler (Revilla-León ve Özcan, 2019; Alharbi ve ark., 2021; Kessler ve ark., 2022; Yüceer ve ark., 2025). Bu sınıflama, materyallerin yalnızca kullanım amacına göre değil, ışık geçirgenliği, viskozite, mekanik direnç ve biyouyumluluk özellikleri açısından da farklı formülasyonlara sahip olduğunu göstermektedir. Her reçine tipi, kendine özgü fiziksel ve kimyasal gereksinimlere göre optimize edilmekte olup; post-processing süreci, nihai mekanik dayanım ve klinik başarı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

Model Reçineleri (Model Resins)

Model reçineleri, dijital ölçü verilerinin fiziksel forma dönüştürülmesinde kullanılır. Bu materyaller yüksek boyutsal doğruluk, düşük polimerizasyon büzülmesi ve pürüzsüz yüzey kalitesi sunar. Renk olarak genellikle opak gri veya bej tonları tercih edilir; bu sayede diş ve yumuşak doku kontrastı daha kolay değerlendirilir. Eklemeli üretim modelleri, geleneksel alçı modellerin yerini almış ve dijital arşivleme olanağı sağlamıştır. Kullanım örnekleri: NextDent Model 2.0, Detax Freeprint Model, Formlabs Model Resin (Zhang et al., 2021).

Bu reçineler, dijital ölçülerin klinik doğruluğunu fiziksel forma en doğru şekilde aktaran materyal grubudur.

Geçici / Restoratif Reçineler (Temporary Restorative Resins)

Geçici kuron ve köprülerin üretiminde kullanılır. Bu reçineler, kısa süreli klinik kullanımda estetik, kenar uyumu ve yüzey pürüzsüzlüğü açısından yüksek performans göstermelidir. Eklemeli üretim yöntemiyle üretilen geçici restorasyonlar, CAD/CAM freze bloklara kıyasla daha az materyal israfı ve hızlı yeniden üretim avantajı sunar. Örnekler: NextDent C&B, Formlabs Temporary CB Resin, Detax Freeprint Temp. Çalışmalar bu materyallerin kenar uyumu ve oklüzal doğruluğunun tatmin edici olduğunu göstermektedir (Alharbi et al., 2021).

Bu reçineler, dijital geçiş sürecinde estetik ve fonksiyonun korunmasını sağlayan temel ara materyallerdir.

Cerrahi Rehber Reçineleri (Surgical Guide Resins)

Bu reçineler biyouyumlu tıbbi sınıf IIa materyaller olarak sertifikalandırılmıştır. Yüksek mekanik rijitlik, optik saydamlık ve sterilizasyon dayanımı özellikleriyle implant cerrahisinde güvenilir konumlandırma sağlar. Fotopolimerizasyon sonrası yetersiz kürlenme, yüzey pürüzlülüğü ve monomer kalıntısı riskini artırabileceğinden üretici protokollerine uyum önemlidir. Klinikte sık kullanılan örnekler: NextDent SG, Form-

labs Surgical Guide Resin (Revilla-León & Özcan, 2019).

Cerrahi rehber reçineleri, dijital cerrahi planlamanın doğruluğunu hastaya güvenli biçimde aktaran materyallerdir.

Protez Kaide ve Ölçü Kaşığı Reçineleri (Denture Base / Tray Resins)

Bu grup, kimyasal olarak benzer yapıda olan ancak farklı klinik gereksinimlere hizmet eden iki alt reçine tipini kapsar: Protez kaide reçineleri ve ölçü kaşığı reçineleri.

Protez kaide reçineleri, tam ve parsiyel protezlerin akrilik tabanlarının üretiminde kullanılır. Yüksek kırılma dayanımı, düşük su emilimi, renk stabilitesi ve biyouyumluluk bu materyallerin temel gereksinimleridir. Eklemeli üretimle üretilen protez kaideleri, konvansiyonel sıcak polimerize akriliklerle benzer mekanik özellik gösterirken, post-curing süresi ve ışık yoğunluğu nihai dayanımı belirleyici rol oynar (Kessler et al., 2022). Örnek materyaller: NextDent Denture Base, DENTCA Denture Base, Detax Freeprint Denture.

Ölçü kaşığı reçineleri, bireyselleştirilmiş ölçü kaşıklarının üretiminde kullanılır. Bu materyallerde sertlik, boyutsal kararlılık ve deformasyona direnç öne çıkar. 3B baskı ile üretilen ölçü kaşıkları, konvansiyonel akriliklere kıyasla daha hafif ve ölçü doğruluğu açısından daha güvenilirdir. Örnek: NextDent Tray, Detax Freeprint Tray (Şekil 3).

Bu iki reçine grubu, dijital protez planlama sürecinde ölçüden protez kaidesine uzanan zincirin tamamlayıcı elemanlarıdır.

Oklüzal Splint ve Gece Plağı Reçineleri (Splint / Night Guard Resins)

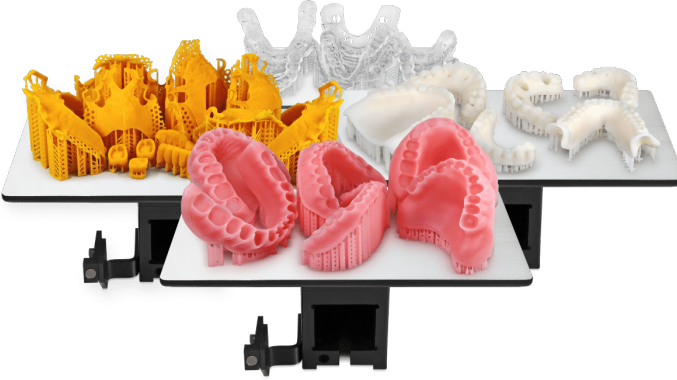
Son yıllarda oklüzal splint ve brüksizm plaklarının dijital olarak üretilmesiyle birlikte bu amaç için özel reçine formülasyonları geliştirilmiştir. Splint reçineleri, yüksek elastik modül, uzun süreli ağız içi stabilite ve şeffaflık gereksinimlerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Bu materyaller biyouyumlu olup uzun dönem ağız içi temas için güvenlidir. Örnek: NextDent Splint, Formlabs Dental LT Clear, Detax Freeprint Splint.

Splint reçineleri, fonksiyonel oklüzal tedavilerde dijital üretim zincirinin en yeni halkasını temsil etmektedir. (Şekil 3)

Daimi / Hibrit Reçineler (Permanent / Hybrid Resins)

Bu reçineler, uzun dönem klinik kullanım amacıyla geliştirilen hibrit kompozit materyallerdir. İçeriklerindeki seramik veya nano doldurucu partiküller, aşınma direncini ve kırılma dayanımını artırır. Renk stabilitesi ve translüsenesi özellikleri, estetik bölgelerde kullanım potansiyelini güçlendirmiştir. Formlabs Permanent Crown Resin ve NextDent C&B MFH, bu sınıfta klinik onay alan materyallerdendir (Jiang et al., 2022; Kessler et al., 2022).

Hibrit reçineler, gelecekte daimi restorasyonlarda tam dijital üretim hedefinin en önemli bileşeni olarak değerlendirilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3: Model, Daimi ve Gece Plağı Reçineleri

Tablo 2. Reçine tipleri ve kullanım alanları

Reçine Tipi	Klinik Kullanım Alanı	Temel Özellikler	Örnek Materyaller
Model Reçineleri	Tanısal modeller, implant planlaması	Boyutsal doğruluk, düşük büzülme, opak renk	NextDent Model 2.0, Detax Freeprint Model
Geçici Restoratif Reçineler	Geçici kuron ve köprüler	Kısa süreli kullanım, yüksek yüzey kalitesi	NextDent C&B, Formlabs Temporary CB Resin

Cerrahi Rehber Reçineleri	İmplant rehberleri	Biyouyumluluk, sterilizasyon dayanımı	NextDent SG, Formlabs Surgical Guide
Protez Kaide Reçineleri	Tam ve parsiyel protez tabanları	Kırılma dayanımı, renk stabilitesi	NextDent Denture Base, DENTCA Base
Ölçü Kaşığı Reçineleri	Bireyselleştirilmiş ölçü kaşıkları	Sertlik, boyutsal kararlılık	NextDent Tray, Detax Freeprint Tray
Splint Reçineleri	Oklüzal splint ve brüksizm plakları	Elastik modül, uzun dönem stabilite	NextDent Splint, Formlabs Dental LT Clear
Daimi / Hibrit Reçineler	Uzun dönem restorasyonlar	Seramik dolgulu yapı, estetik translüsensi	Formlabs Permanent Crown, NextDent C&B MFH

3. Fotopolimer Dental Reçinelerin Klinik Performansı

Dijital protez uygulamalarında kullanılan materyallerin klinik başarısı yalnızca üretim hızıyla değil, uzun dönem fonksiyonel performans, biyolojik uyumluluk ve hasta memnuniyetiyle de yakından ilişkilidir. Ekllemeli üretim teknolojileriyle geliştirilen fotopolimer reçineler, kısa sürede üretim olanağı sunarken; mekanik dayanım, estetik görünüm, biyoyumluluk ve klinik verimlilik açısından farklı performans profilleri sergileyebilmektedir (Revilla-León ve Özcan, 2019; Kessler ve ark., 2022). Bu parametrelerin bütüncül biçimde değerlendirilmesi, reçine bazlı materyallerin klinik güvenilirliğini anlamak açısından önem taşımaktadır.

Mekanik dayanım açısından değerlendirildiğinde, ekllemeli üretim reçinelerinin geçici restorasyonlarda tatmin edici sonuçlar sunduğu; ancak CAD/CAM bloklara kıyasla kırılma dayanımı, elastik modül ve aşınma direncinin görece daha düşük olabildiği bildirilmektedir (Tahayeri ve ark., 2020; Kim ve ark., 2021). Bu fark, katman bazlı üretim sürecinde polimer zincirlerinin yönlenmesi ve katmanlar arası bağlanmanın sınırlı olmasıyla ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte, post-curing süresi ve sıcaklığının optimize edilmesiyle bu farkın anlamlı ölçüde azaltılabildiği belirtilmiştir. Hibrit veya seramik dolgulu kompozit reçineler, bu alanda umut verici sonuçlar göstermekte; inorganik partikül katkıları sayesinde

aşınma direnci ve yüzey sertliği artmaktadır (Ortiz ve ark., 2023). Ancak bu materyallerin uzun dönem klinik doğrulaması ve çığneme yükü altında dayanıklılığı hâlen araştırma konusudur.

Estetik performans bakımından, fotopolimer reçineler başlangıçta yüksek parlaklık, translüensi ve renk uyumu sunarken, uzun süreli ağız içi maruziyet sonrasında renk değişimleri gözlenebilmektedir. Kahve, çay ve kırmızı şarap gibi pigmentli sıvıların etkisiyle yüzeyde belirgin renklenme oluştuğu; bu etkinin post-curing süresi, yüzey işlemi ve katman yönüne bağlı olarak değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (Güth ve ark., 2021; Papadiochou ve ark., 2022). Yüzeyin pürüzsüzlüğünü artıran glazing veya coating uygulamaları, pigment penetrasyonunu azaltarak renk stabilitesine olumlu katkı sağlamaktadır (Daghrery ve ark., 2023). Özellikle uzun süreli geçici restorasyonlarda, yüzey bitirme protokollerinin standardizasyonu estetik sürekliliğin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Biyouyumluluk yönünden, eklemeli üretim reçinelerinin güvenli kullanımını polimerizasyonun yeterliliğiyle doğrudan ilişkilidir. Yetersiz ışıkla sertleştirme işlemleri sonucu oluşan artık monomerlerin (ör. TEGDMA, UDMA) oral dokular üzerinde sitotoksik ve irritatif etkilere neden olabileceği gösterilmiştir (Sokołowski ve ark., 2021). Uygun dalga boyu, ışık yoğunluğu ve ısı kombinasyonlarının kullanıldığı post-curing protokollerinin, monomer dönüşüm oranını artırarak bu riski azalttığı kanıtlanmıştır (Alharbi ve ark., 2022; Ryu ve ark., 2020). Ayrıca oksijen inhibit tabakasının giderilmesiyle hücre uyumlu, daha inert yüzeylerin elde edildiği bildirilmiştir. Bu nedenle üretici önerilerine tam uyum, yalnızca mekanik ve estetik değil, biyolojik güvenlik açısından da belirleyici bir faktördür.

Klinik verimlilik açısından bakıldığında, dijital iş akışının sağladığı hız, öngörülebilirlik ve maliyet avantajı, fotopolimer reçinelerin en güçlü yönlerinden biridir. Dijital modellerin kısa sürede hazırlanabilmesi, cerrahi rehberlerin yüksek doğrulukla üretilebilmesi ve aynı anda çok sayıda restorasyonun üretilmesi hem klinik hem laboratuvar süreçlerinde zamandan tasarruf sağlar (Kalberer ve ark., 2022; Arcuri ve ark., 2023). Ayrıca dijital arşivleme sayesinde restorasyonların yeniden basımı veya modifikasyonu kolaylaşmakta, hasta takibi ve tedavi sürdürülebilirliği artmaktadır. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, başlangıçta cihaz yatırımı gerektirse de malzeme israfının azalması ve üretim süresinin kısılması, eklemeli üretimi uzun vadede maliyet etkin bir yöntem haline getirmektedir.

Genel olarak, güncel literatür verileri eklemeli üretim reçinelerinin kısa ve orta dönem klinik uygulamalarda yeterli mekanik performans, tatmin edici estetik görünüm ve biyouyumlu yüzey özellikleri sunduğunu ortaya koymaktadır. Uygun post-processing koşullarının uygulanması durumunda, bu materyallerin hem fonksiyonel dayanıklılık hem de biyolojik güvenlik açısından klinik olarak kabul edilebilir olduğu belirtilmektedir. Ancak uzun dönem renk stabilitesi, kırılma dayanımı ve aşınma direnci gibi parametrelerde daha fazla standardizasyon ve klinik çalışma gereksinimi devam etmektedir. Bu bağlamda, doğru materyal seçimi, uygun işlem protokolleri ve üretici önerilerine bağlı kalınması, eklemeli üretim restorasyonlarının klinik başarısını doğrudan belirleyen unsurlar arasında yer almaktadır.

4. Post-Processing İşlemleri

Eklemeli üretimle elde edilen dental reçinelerin nihai özellikleri yalnızca baskı parametrelerine değil, üretim sonrasında gerçekleştirilen işlemlere de bağlıdır. “Post-processing” olarak adlandırılan bu süreç; temizleme (washing), ışıkla sertleştirme (post-curing) ve yüzey bitirme işlemleri (polishing, glazing, coating) basamaklarını kapsamaktadır. Bu aşamalar, materyalin mekanik dayanımı, yüzey kalitesi, optik özellikleri ve biyouyumluluğu üzerinde belirleyici etkiye sahiptir (Bayarsaikhan ve ark., 2021; Lim ve ark., 2022). Her bir basamağın sonucu; kullanılan çözücü tipi, ışık dalga boyu, uygulama süresi, sıcaklık, oksijen varlığı ve yüzey işlem yöntemleri gibi parametrelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yetersiz post-processing uygulamaları, polimerizasyonun tamamlanamamasına bağlı olarak materyalde artık monomer kalıntısı, artmış yüzey pürüzlülüğü ve azalmış mekanik dayanım gibi istenmeyen etkilerle sonuçlanabilmektedir. Bu durum yalnızca restorasyonun fonksiyonel ömrünü kısaltmakla kalmamakta, aynı zamanda biyolojik güvenliği de olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla post-processing aşamaları, dijital üretim sürecinin yalnızca tamamlayıcı bir adımı değil, restorasyonun klinik başarısını doğrudan belirleyen kritik bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, uygun post-processing koşullarının sağlanması durumunda eklemeli üretim reçinelerinin geleneksel CAD/CAM materyalleriyle karşılaştırılabilir performans gösterebildiğini ortaya koymuştur (Guttridge ve ark., 2024; Lask ve ark., 2024). Bu nedenle her üretici tarafından belirlenen reçine-özel post-processing protokollerine titizlikle uyulması, hem mekanik hem de biyolojik açıdan güvenilir ve öngörülebilir sonuçlar elde edilmesi açısından zorunludur.

Temizleme (Washing)

Ekllemeli üretimle basılan yapıların yüzeyinde kalan polimerize olmamış reçine fazının uzaklaştırılması, polimerizasyonun tamamlanması ve mekanik dayanımın korunması açısından kritik bir aşamadır. Bu amaçla en sık alkol bazlı çözücüler (ör. izopropanol, etanol) kullanılır. Ancak yapılan çalışmalar, uzun süreli solvent temasının yüzey sertliği ve kırılma dayanımını olumsuz etkileyebileceğini bildirmektedir (Liu et al., 2024). Buna karşılık, deterjan katkılı su bazlı temizleme yöntemlerinin mekanik özellikler üzerinde daha koruyucu etki sağladığı ifade edilmiştir. Ultrasonik temizleme, rezidüel reçinelerin etkin uzaklaştırılmasında avantaj sağlar; ancak yüksek güçte veya uzun süreli uygulamalarda yüzey çatlaklarına neden olabileceği belirtilmektedir. Bu nedenle, temizleme süresi ve yöntemi, yalnızca yüzey kontaminasyonunu değil, aynı zamanda yapının uzun dönem mekanik stabilitesini de etkileyen bir faktör olarak ele alınmalıdır.

Işıklı Polimerizasyon (Post-curing)

Polimerizasyon derecesi, reçinelerin hem mekanik hem biyolojik performansını doğrudan belirler. Yetersiz ışık şiddeti veya kısa kürleme süresi, düşük dönüşüm oranına yol açarak mekanik zayıflık ve artmış monomer salınımla ilişkilendirilmektedir (Guttridge et al., 2024; Lassila et al., 2024). Buna karşılık, UV ışığıyla birlikte ısı desteği sağlanan protokollerin polimerizasyon verimini artırdığı ve artık monomer miktarını azalttığı gösterilmiştir (Bayarsaikhan et al., 2021). Ancak yüksek sıcaklık uygulamalarının bazı materyallerde renk stabilitesini olumsuz etkileyebileceği de rapor edilmiştir. Oksijenin polimerizasyonu inhibe eden etkisi göz önüne alındığında, gliserin, vakum veya inert atmosfer altında gerçekleştirilen post-curing uygulamalarının yüzey sertliğini ve dönüşüm oranını artırdığı bildirilmektedir (Lim et al., 2022). Dolayısıyla post-curing aşaması, yalnızca sertleşmeyi tamamlayan bir işlem değil; mekanik dayanım, biyoyumluluk ve optik kaliteyi şekillendiren belirleyici bir süreçtir.

Yüzey İşlemleri (Polishing, Glazing, Coating)

Yüzey işlemleri, ekllemeli üretim reçinelerinin estetik ve biyolojik performansını doğrudan etkileyen son basamaktır. Polisaj (polishing) işlemleri, yüzey pürüzlülüğünü azaltarak parlaklık kazandırır, ancak zamanla yüzey matlaşması ve renk değişimi görülebilir. Glazing ve coating uygulamaları, özellikle renklendirici ajanlara maruz kalan restorasyonlarda daha kalıcı parlaklık ve renk stabilitesi sağlar (Lask et al., 2024; Daghery et al., 2023). Coating işlemi, yüzeye ince bir şeffaf rezin tabakasının uygulanmasıyla oksijen inhibit tabakasını elimine eder ve yüzey pürüzlü-

lüğünü azaltır. Bu sayede hem monomer salınımı azalır hem de biyofilm tutunma potansiyeli düşer. Yüzeyin daha pürüzsüz olması, uzun dönem biyoyumluluk açısından avantaj sağlar. Bu nedenle yüzey işlemleri, yalnızca estetik bir adım değil; restorasyonun biyolojik ve mekanik performansını destekleyen tamamlayıcı bir süreç olarak görülmelidir.

Post-processing adımlarının eklemeli üretim reçinelerinin klinik başarısını doğrudan etkilediği görülmektedir. Uygun temizleme ve post-curing protokolleri, kırılma dayanımı ve sertliği artırmakta, monomer salınımını azaltarak biyoyumluluğu güçlendirmektedir. Yüzey işlemleri ise hem renk stabilitesini hem de plak retansiyonunu etkileyerek estetik ve biyolojik performansa katkı sağlar. Eksik veya hatalı uygulamalar, restorasyonun mekanik dayanımını ve hasta güvenliğini olumsuz etkileyebilir. Dolayısıyla post-processing, yalnızca teknik bir gereklilik değil; restorasyonun uzun dönem başarısını belirleyen klinik bir parametre olarak değerlendirilmelidir.

SONUÇ

Eklemeli üretim teknolojileri, protetik diş hekimliğinde yalnızca üretim süreçlerini değil, tedavi yaklaşımını da kökten değiştirmektedir. Fotopolimer reçineler, dijital iş akışının temel yapı taşlarından biri haline gelmiş; modellerden cerrahi rehberlere, geçici ve implant üstü restorasyonlardan protez kaidelerine kadar geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Güncel klinik bulgular, bu materyallerin kısa ve orta dönem uygulamalarda yeterli mekanik performans, estetik tatmin ve biyoyumluluk sunduğunu göstermektedir. Ancak kırılma dayanımı, aşınma direnci ve uzun dönem renk stabilitesi gibi parametrelerde hâlen geliştirilmeye açık alanlar bulunmaktadır. Bu noktada, post-processing adımlarının standardizasyonu, hem mekanik hem biyolojik açıdan güvenilir sonuçların elde edilmesinde belirleyici bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Geleceğe yönelik olarak hibrit ve biyobazlı reçinelerin geliştirilmesi, hem sürdürülebilirlik hem biyoyumluluk açısından yeni bir dönemin başlangıcını temsil etmektedir. Aynı zamanda çok materyalli (multi-material) ve tam renkli baskı sistemlerinin gelişimi, restorasyonların doğruluğunu ve kişiselleştirilebilirliğini artıracaktır. Dijital tasarım yazılımlarının yapay zekâ destekli hale gelmesiyle birlikte, klinisyenlerin tedavi planlamasında daha öngörülebilir ve hasta odaklı çözümler üretebilmeleri mümkün olacaktır. Bu teknolojik ilerlemeler, diş hekimliği eğitimiyle bütünleştiğinde, yeni kuşak hekimlerin dijital sistemleri yalnızca kullanan değil, yönlendiren bir konuma ulaşmasını sağlayacaktır.

Sonuç olarak, eklemeli üretim sistemleri ve reçine bazlı materyaller, protetik diş hekimliğinde çağdaş tedavi anlayışının merkezine yerleşmiştir. Bu teknolojilerin geleceği, yalnızca donanım ve yazılım gelişmelerine değil; bilimsel doğrulamalara, standardizasyon protokollerine ve multidisipliner araştırmalara bağlıdır. Yakın gelecekte, dijital ve biyobazlı yaklaşımların birleşimiyle daha dayanıklı, biyouyumlu ve çevre dostu restoratif çözümlerin günlük klinik pratiğin bir parçası haline geleceği öngörülmektedir. Eklemeli üretim, diş hekimliğinin yalnızca üretim araçlarını değil, düşünme biçimini de yeniden tanımlamaktadır.

KAYNAKÇA

- Alharbi, N., Osman, R. B., & Wismeijer, D. (2016). Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(6), 760–767. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.12.002>
- Alharbi, N., Osman, R. B., & Wismeijer, D. (2021). Effects of post-curing light exposure time on the flexural strength, hardness, and color stability of 3D-printed provisional restorative materials. *Journal of Prosthodontics*, 30(5), 412–418. <https://doi.org/10.1111/jopr.13248>
- Alharbi, N., Osman, R. B., & Wismeijer, D. (2022). Influence of different post-curing methods on the degree of conversion and cytotoxicity of 3D printed resins. *Dental Materials*, 38(1), 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.09.004>
- Alifui-Segbaya, F., George, R., & Bajunaid, S. O. (2020). Additive manufacturing in prosthodontics: A review of current applications and future perspectives. *Journal of Prosthodontic Research*, 64(4), 407–416. <https://doi.org/10.1016/j.jpjor.2020.01.003>
- Arcuri, C., Martinelli, M., & De Angelis, F. (2023). Digital workflow for complete-arch implant rehabilitation: A narrative review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 129(3), 351–359. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.11.017>
- Bayarsaikhan, E., Lim, J. H., & Song, S. Y. (2021). Effect of post-curing temperature on mechanical properties and biocompatibility of 3D-printed dental resins. *Polymers*, 13(13), 2211. <https://doi.org/10.3390/polym13132211>
- Camardella, L. T., Vilella, O. D. V., & Breuning, K. H. (2017). Accuracy of printed dental models made with 2 prototype technologies and different designs of model bases. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 151(6), 1178–1187. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.12.011>
- Daghrery, H., Chu, T. M. G., & Flinn, B. D. (2023). Surface coating effects on color stability and stain resistance of 3D printed dental resins. *Dental Materials*, 39(2), 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.11.012>
- Frazier, W. E. (2014). Metal additive manufacturing: A review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), 1917–1928. <https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z>
- González de Villaumbrosia, P., Martínez-Rus, F., Pradies, G., & Suárez, M. J. (2020). Comparison of digital and conventional implant impressions: Influence on clinical fit of final restorations. *Journal of Clinical Medicine*, 9(6), 1902. <https://doi.org/10.3390/jcm9061902>
- Güth, J. F., Keul, C., & Stimmelmayer, M. (2021). Color stability and aging resistance of 3D printed resin materials for dental applications. *Dental Materials Journal*, 40(5), 1103–1111. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-275>
- Guttridge, N. M., Lask, E., & Lim, J. H. (2024). Effect of post-curing parameters on flexural properties of 3D printed dental resins. *Journal of Prosthodontic Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.2186/jpr.24.101>
- Jiang, X., Tsoi, J. K. H., & Matinlinna, J. P. (2022). Mechanical and optical

- properties of 3D printed permanent crown materials: An in vitro study. *Dental Materials*, 38(11), 1712–1721. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.08.004>
- Kalberer, N., Mehl, A., & Reich, S. (2022). Efficiency and accuracy of digital workflows in fixed prosthodontics. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(6), 893–901. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.017>
- Kessler, A., Reymus, M., Hickel, R., & Kunzelmann, K. H. (2022). Mechanical properties of 3D printed denture base resins: A comparative study. *Dental Materials*, 38(7), 1027–1037. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.04.010>
- Kim, D., Park, J., & Shin, S. H. (2021). Mechanical properties of interim restorative materials fabricated by 3D printing versus milling: An in vitro comparison. *Prosthodontic Research & Practice*, 20(2), 85–92. <https://doi.org/10.2186/prp.21.015>
- Lask, E., Guttridge, N. M., & Lim, J. H. (2024). Influence of polishing and glazing on the surface roughness and color stability of printed dental resins. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/jerd.13112>
- Lim, J. H., Song, S. Y., & Bayarsaikhan, E. (2022). Effect of oxygen inhibition on the surface hardness and degree of conversion of post-cured dental resins. *Polymers*, 14(9), 1804. <https://doi.org/10.3390/polym14091804>
- Liu, M., Zhang, Q., & Lin, H. (2024). Solvent cleaning methods and their effect on the mechanical performance of printed dental resins. *Materials*, 17(1), 55. <https://doi.org/10.3390/ma17010055>
- Lovell, L. G., Newman, S. M., & Bowman, C. N. (2001). The effects of light intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. *Dental Materials*, 17(6), 504–511. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(00\)00124-1](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(00)00124-1)
- Mangano, F., Luongo, F., Shibli, J. A., & Mangano, C. (2017). Immediate loading of single and multiple implants using 3D printed titanium frameworks: A prospective clinical study. *Journal of Dentistry*, 66, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.09.008>
- Mangano, F., Raffa, G. M., & Adhikari, R. (2020). Additive manufacturing in dentistry: Current technologies, clinical implications, and future trends. *International Journal of Computerized Dentistry*, 23(1), 1–15.
- Neumann, M., Reymus, M., Hickel, R., & Kunzelmann, K. H. (2020). Evaluation of photoinitiators in 3D printing resins for dental applications. *Dental Materials*, 36(9), 1115–1124. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.05.004>
- Ortiz, P., Arrieta, M., & Castaño, R. (2023). Reinforced hybrid 3D printing resins with inorganic fillers for dental restorations. *Polymers*, 15(3), 590. <https://doi.org/10.3390/polym15030590>
- Papadiochou, S., Pissiotis, A., & Kontonasaki, E. (2022). Discoloration behavior of 3D printed provisional restorative materials. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(4), 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.022>
- Revilla-León, M., & Özcan, M. (2019). Additive manufacturing technologies

- used for processing polymers: Current status and potential application in prosthetic dentistry. *Journal of Prosthodontics*, 28(2), 146–158. <https://doi.org/10.1111/jopr.12786>
- Ryu, J. E., Cho, S. A., & Kwon, K. R. (2020). Cytotoxicity evaluation of photopolymerized 3D printing resins after different post-curing times. *Polymers*, 12(11), 2580. <https://doi.org/10.3390/polym12112580>
- Sokołowski, J., Szczesio, A., Bociong, K., & Domarecka, M. (2021). Influence of residual monomer content on cytotoxicity of 3D printed dental resins. *Materials*, 14(18), 5322. <https://doi.org/10.3390/ma14185322>
- Tahayeri, A., Morgan, M., & Fugolin, A. P. (2020). 3D printed versus CAD/CAM milled interim restorations: Mechanical and wear comparison. *Dental Materials*, 36(11), 1486–1493. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.08.009>
- Van Noort, R. (2012). *Introduction to dental materials* (4th ed.). Elsevier.
- Van Noort, R., et al. (2020). Additive manufacturing in dental research: Materials, processes, and applications. *Dental Materials*, 36(8), 1095–1106. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.05.001>
- Velo, M., Arrieta, M. P., & Martínez, J. (2022). Polyurethane acrylates in dental applications: A review of mechanical behavior and formulation strategies. *Polymers*, 14(11), 2290. <https://doi.org/10.3390/polym14112290>
- Yüceer, M., Dilaverler, E. A., & Mert, S. E. (2025). Evaluation of clinical performance of newly developed photopolymer hybrid resins for permanent dental restorations. *Journal of Advanced Dental Research*, 17(1), 45–58.
- Zhang, Z. C., Li, P. L., & Chu, F. (2021). Dimensional accuracy and surface quality of 3D printed dental model resins. *Dental Materials Journal*, 40(2), 299–307. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-230>