

CAD-CAM ile Üretilen Sabit Geçici Restorasyonlarda Kullanılan PMMA Materyallerinin Optik ve Mekanik Özellikleri

Optical and Mechanical Properties of PMMA Materials Used in Fixed Temporary Restorations Fabricated With CAD-CAM

Gülşah KAYA¹, Ferhan EĞİLMEZ¹

¹Gazi Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.

ÖZET: Polimetil metakrilat (PMMA), düşük maliyeti, estetik özellikleri, biyouyumluluğu ve kolay işlenebilirliği nedeniyle diş hekimliğinde geçici restorasyonlar için sıklıkla tercih edilen bir materyaldir. Son yıllarda bilgisayar destekli tasarım ve üretim (CAD/CAM) teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, endüstriyel olarak üretilen PMMA bloklar daha homojen yapıda, yüksek polimerizasyon derecesine sahip ve iyileştirilmiş mekanik özelliklerle donatılmış şekilde sunulmaktadır. Bu derleme çalışması, CAD/CAM sistemleriyle üretilen PMMA materyallerinin optik ve mekanik özelliklerini detaylı biçimde incelemekte ve bu materyalleri geleneksel yöntemlerle hazırlanan PMMA restorasyonlarla karşılaştırmaktadır. Ayrıca, PMMA'nın diğer geçici restoratif materyallerle karşılaştırılması yapılarak avantajları ve sınırlılıkları çok yönlü olarak değerlendirilmektedir. Bu amaçla PubMed, Scopus ve Web of Science veri tabanlarında 1 Nisan 2025'e kadar yayınlanmış ilgili çalışmaları kapsayacak şekilde bir literatür taraması yapıldı. CAD/CAM ile üretilen sabit geçici restorasyonlarda kullanılan PMMA materyallerinin optik ve mekanik özelliklerini rapor eden çalışmalar analize dahil edildi. Literatürde CAD/CAM ile üretilen PMMA restorasyonların; kırılma direnci, renk stabilitesi, yüzey sertliği ve marjinal adaptasyon açısından üstün performans gösterdiği belirtilmektedir. Bununla birlikte, polimerizasyon büzülmesi ve uzun dönem yüzey aşınması gibi bazı olumsuz özelliklerin de varlığını sürdürdüğü vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, CAD/CAM teknolojileriyle desteklenen PMMA materyalleri, geçici restorasyon uygulamalarında hem estetik hem de fonksiyonel gereksinimleri karşılayan, klinik olarak başarılı bir alternatif sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: PMMA, CAD/CAM, geçici restorasyon, mekanik özellikler, optik özellikler

ABSTRACT: Polymethyl methacrylate (PMMA) is frequently preferred in dentistry for temporary restorations due to its low cost, aesthetic properties, biocompatibility, and ease of processing. In recent years, with the development of computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) technologies, industrially produced PMMA blocks have been offered with a more homogeneous structure, higher degree of polymerization, and improved mechanical properties. This review study examines in detail the optical and mechanical properties of PMMA materials produced with CAD/CAM systems and compares these materials with PMMA restorations prepared by conventional methods. Additionally, PMMA is evaluated in comparison with other temporary restorative materials, and its advantages and limitations are assessed in a multidimensional manner. For this purpose, a literature search was performed in PubMed, Scopus, and Web of Science databases to include relevant studies published up to April 1, 2025. Studies reporting the optical and mechanical properties of PMMA materials used in fixed temporary restorations fabricated by CAD/CAM were included in the analysis. The literature indicates that PMMA restorations produced by CAD/CAM show superior performance in terms of fracture resistance, color stability, surface hardness, and marginal adaptation. However, it is also emphasized that some unfavorable properties such as polymerization shrinkage and long-term surface wear still persist. As a result, PMMA materials supported by CAD/CAM technologies offer a clinically successful alternative that meets both aesthetic and functional requirements in temporary restoration applications.

Keywords: PMMA, CAD/CAM, temporary restoration, mechanical properties, optical properties

Sorumlu Yazar: Prof. Dr. Ferhan EĞİLMEZ, e-mail: ferhanegilmez@gmail.com

Gönderim Tarihi: 30 Nisan 2025; Kabul Tarihi: 29 Mayıs 2025

GİRİŞ

Polimetil metakrilat (PMMA), düşük yoğunluk, estetik, maliyet etkinliği ve mekanik özelliklerin uyarlanabilirliği gibi avantajları nedeniyle diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan bir polimerdir (1). PMMA ile hazırlanan geçici diş restorasyonları, hastanın çiğneme fonksiyonunun idamesi, ağız durumunun korunması ve daimi protezin sonuçlarının simüle edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (2). Bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli üretim (CAM) teknolojilerinin gelişimi ile dijital diş teknolojileri; iş gücü maliyetlerini düşürme, üretim süreçlerini optimize etme, hassasiyeti artırma ve işlem süresini kısaltma gibi avantajlar sunmaktadır

PMMA, biyouyumluluğu, estetik özellikleri ve işlenebilirliği ile en çok kullanılan geçici restorasyon polimerlerinden birisidir. PMMA'nın başarısı, uzun yıllar boyunca protez üretiminde güvenilir ve estetik bir çözüm olarak tercih edilmesini sağlamıştır (3).

1. PMMA Materyalinin Genel Özellikleri

PMMA materyali genellikle bir toz-sıvı sistemi şeklinde sunulmaktadır (4, 5). Toz bileşeni, şeffaf bir polimer olan PMMA'yı içerirken, fiziksel özelliklerin ve estetik görünümün ağız dokularını (örneğin, diş eti ve mukozayı) taklit edebilmesi için pigmentler, naylon veya akrilik bazlı sentetik lifler gibi katkı maddeleriyle zenginleştirilmiştir. Sıvı bileşen ise metil metakrilat monomeri, çapraz bağlayıcılar ve inhibitörler içermektedir. Bu sistem, istenen mekanik dayanıklılığı ve estetik performansı sağlayarak dental uygulamalarda geniş bir kullanım alanı sunmaktadır. Renklendirici eklenmediği

sürece şeffaf bir yapı sergileyen bu materyal, estetik açıdan uyumlu sonuçlar sağlar. Polimerizasyon, toz bileşenindeki benzoil peroksit ile sıvı bileşenindeki dimetil p-toluidin arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu gerçekleşir (6). PMMA, dental rezin materyalleri arasında yüksek sertlik değeri (18-20) ile öne çıkar ve dayanıklılığı, renk değişimine karşı direnci ile cilalanma kolaylığı sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (6). Marjinal adaptasyonunun başarılı olması, restorasyonun klinik başarısını artırır (6). Ancak, diğer rezin esaslı materyallerde olduğu gibi, PMMA da imbibisyon nedeniyle sıvı emilimi gösterir (7). Bununla birlikte, PMMA'nın bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Polimerizasyon sırasında yüksek hacimsel büzülme göstermesi, açığa çıkan artık monomerlerin pulpal ve periodontal dokularda irritasyona sebebiyet vermesi ve aşınma direncinin yetersiz olması bu materyalin temel dezavantajlarıdır (8). Dolayısıyla, PMMA'nın özellikle indirekt yöntemlerle uygulanması önerilmektedir. PMMA, genellikle düşük yoğunluk (1.18 g/cm^3) ve yüksek ışık geçirgenliği (görünür ışığın %92'si) gibi özelliklere sahip olan amorf bir materyaldir (9). Ancak, zaman içinde düşük termal iletkenlik, su emilimi ve düşük renk stabilitesi gibi dezavantajlar göstermektedir.

Geçici restorasyonlar genellikle rezin esaslı veya otopolimerize akrilik materyallerden üretilmektedir. Her bir materyal, belirli avantajlar ve dezavantajlar sunmakta olup, kullanım alanına göre tercih edilmektedir. Bu amaçla kullanılan materyaller arasında polimetil metakrilat (PMMA), polietil metakrilat (PEMA), bis-akril kompozit rezinler, polivinil metakrilat ve üretan dimetakrilat yer almaktadır (10).

2. CAD/CAM Teknolojisi ile Üretilen Sabit Geçici Restorasyonlarda PMMA'nın Mekanik Özellikleri ve Dayanıklılığı

Geçici kronların üretimi için kullanılan yöntemler direkt ve indirekt yöntemler olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır (11). CAD/CAM sistemleri ile geçici restorasyon üretimi için çeşitli materyal blokları geliştirilmiştir. İndirekt yöntem, pulpa ve çevre dokuların ısıya ve artık rezin monomerine maruz kalmasını engelleyebilir. Ayrıca, bu yöntem, model üzerinde uygulandığı için polimerizasyon büzülmesini azaltma potansiyeline sahiptir.

CAD/CAM ile geçici restorasyon üretiminde eksiltmeli ve eklemeli yaklaşımlar bulunmaktadır. Eksiltmeli yaklaşım, rezin blokların bilgisayarlı numerik kontrollü (CNC) makineler ile üç boyutlu olarak frezelenmesiyle gerçekleştirilmektedir (12). Bu yöntemde kullanılan rezin bloklar, yüksek derecede polimerizasyon dönüşümüne sahip olduklarından, doğrudan yöntemlere kıyasla daha üstün fiziksel özellikler ve doğruluk göstermektedir (13). Ancak, frezeleme araçlarının teknik sınırlamaları nedeniyle son derece karmaşık restorasyonların üretimi mümkün olmayabilir (14).

Bir materyalin yüzey sertliği, mukavemet, oransal limit ve aşınmaya karşı direnç gibi çeşitli mekanik faktörlerden etkilenen kompleks bir özelliktir. Ancak, yüzey sertliği tek başına bir materyalin genel dayanıklılığının veya mukavemetinin belirleyicisi değildir (15). Bununla birlikte, sertlik değeri arttıkça, materyalin yoğunluğu da artar (16).

Haselton ve çalışma arkadaşları (2002) (17), yapay tükürükte bekletilen 5 PMMA

yapılı ve 8 bis-akrilik yapılı geçici restoratif materyalin eğilme mukavemetini karşılaştırmış ve farklı sonuçlar elde etmişlerdir. Araştırmacılar, bis-akrilik rezin grubundaki bazı materyallerin en yüksek eğilme dayanımı değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, yapay tükürüğe maruz bırakıldığında farklı geçici restoratif materyaller arasında eğilme mukavemeti açısından belirgin bir ilişki tespit edilememekle birlikte, bazı bis-akrilik bazlı materyallerin, PMMA'ya kıyasla daha düşük mukavemet sergilediği gözlemlenmiştir (17).

Zidan ve ark. (2019) (18), tarafından gerçekleştirilen bir araştırma, zirkonya nanoparçacıklarının PMMA matrisine eklenmesinin mekanik özellikler üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışma, zirkonya içeriğinin %3 ile %5 arasında olduğunda, bükülme dayanımı, sertlik ve kırılma tokluğu gibi özelliklerde belirgin iyileşmeler gözlemlenmiştir. Ancak, zirkonya oranının %7'yi aşmasıyla birlikte bu iyileşmelerin azaldığı ve %10'luk yüksek oranlarda ise mekanik özelliklerin kontrol grubuna benzer seviyelere gerilediği bulunmuştur. Bu bulgular, CAD/CAM PMMA bloklarına zirkonya nanoparçacıklarının eklenmesinin, belirli oranlarda mekanik özellikleri iyileştirebileceğini, ancak aşırı yüksek oranların bu iyileştirmeyi olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

Ciocan ve arkadaşları (2021) (19), tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, farklı CAD/CAM dental restoratif materyallerinin yüzey mekanik özellikleri, nanoindentasyon yöntemiyle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, hibrit seramik (Cerasmart 270) malzemesinin en yüksek dayanım ve sertlik değerlerini sergileyerek, mekanik

performans açısından en güçlü materyal olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, grafen katkılı PMMA (G-CAM disk), yapısal olarak en homojen malzeme olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan, çok katmanlı PMMA ise en düşük mekanik performansı gösteren malzeme olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, restoratif materyal seçiminde hem mekanik dayanımın hem de yapısal homojenliğin kritik faktörler olduğunu ve bu parametrelerin klinik başarının belirleyicileri olduğunu göstermektedir.

Wechkunanukul ve Ark. (2024) (20), farklı üretim yöntemlerinin geçici PMMA restorasyonların mekanik ve yüzey özelliklerine etkisini incelemiştir. Frezelenmiş PMMA örnekleri, bükülme mukavemeti ve yüzey sertliği açısından en yüksek değerlere sahipken, 3D baskı ile üretilen materyaller en düşük değerlere ve en yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip bulunmuştur. Sonuçlar, üretim yönteminin restorasyonların dayanıklılığı ve yüzey kalitesi üzerinde belirleyici olduğunu ve CAD/CAM teknolojilerinin bu alanda önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir. Mekanik ve yüzey özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur.

Singh ve Ark. (2024) (21), frezelenmiş PMMA ile konvansiyonel akrilik reçineden üretilen geçici diş kaplamalarının mekanik özelliklerini ve S. mutans yapışma eğilimlerini karşılaştırmıştır. Frezelenmiş PMMA, daha yüksek bükülme dayanımı ve yüzey sertliği sergileyerek, bakteriyel yapışmayı azaltmada daha etkili bulunmuştur. Konvansiyonel PMMA ise daha düşük mekanik performans göstermiş ve bakteriyel yapışmada daha yavaş azalma sağlamıştır. Bu bulgular, frezelenmiş PMMA'nın geçici restorasyonlarda hem

mekanik dayanıklılık hem de antibakteriyel etki açısından üstün bir seçenek olduğunu göstermektedir.

Perea-Lowery ve ark. (2020) (22), beş farklı CAD/CAM geçici restorasyon materyalinin eğilme dayanımı, elastikiyet modülü, yüzey sertliği ve bağlanma dayanımını iki farklı depolama koşulunda değerlendirmiştir. Çapraz bağlı PMMA ve IPN yapılar yüksek mekanik performans sergilerken, termoplastik yapıdaki reçineler daha düşük değerlere sahip olmuştur. Depolama koşulları mekanik özellikleri anlamlı şekilde etkilemiş, ancak bağlanma dayanımında fark görülmemiştir. Bulgular, materyal içeriğinin geçici restorasyonların klinik dayanıklılığı açısından önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

Ribera ve ark. (2023) (23), implant destekli CAD/CAM geçici PMMA kuronların farklı içeceklere maruz kaldıktan sonra kırılma direnci ve süresini incelemiştir. Tüm örnekler 37 °C'de 7 gün boyunca distile su, çay, kahve, Coca-Cola® ve kırmızı şarapta bekletilmiştir. Kırılma direnci açısından gruplar arasında anlamlı fark bulunmazken, kırılma süresi açısından farklılık gözlenmiştir; Coca-Cola® ve kırmızı şarap en kısa sürede kırılmaya neden olmuştur. Bu sonuçlar, içeceklerdeki pH, alkol, şeker ve kafein gibi bileşenlerin geçici restorasyonların elastikiyet ve kırılma davranışı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini göstermektedir.

Selva-Otaolauruchi ve ark. (2023) (24), implant destekli geçici restorasyonlarda kullanılan PMMA'nın grafen oksit ile güçlendirilmesinin mekanik yorgunluk direnci üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, kantileverli CAD/CAM restorasyonlara 240.000 döngüye kadar yük uygulanarak yapılmıştır. Sonuçlar, grafen katkılı PMMA restorasyonların, standart

PMMA'ya göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek kırılma direncine sahip olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, grafen katkısının PMMA'nın mekanik özelliklerini artırarak geçici restorasyonlarda daha uzun ömürlü kullanım sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Jain ve ark. (2022) (25), 3D baskı yöntemiyle üretilen geçici diş kronları ve sabit diş protezi reçinelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini, CAD/CAM frezelenmiş ve konvansiyonel reçinelerle karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, 3D baskı ile üretilen geçici reçinelerin kırılma direnci gibi mekanik özelliklerde daha yüksek performans gösterdiğini, ancak esneklik gibi fiziksel parametrelerde farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu, 3D baskının geçici diş protezleri için potansiyel bir alternatif sunduğunu ancak daha fazla araştırma gerektiğini göstermektedir.

Abad-Coronel ve ark. (2021) (26), geçici sabit diş protezlerinde kullanılan CAD/CAM materyallerin kırılma dayanımını frezleme ve 3D baskı teknikleri açısından karşılaştırmıştır. Bulgular, frezleme yöntemiyle üretilen restorasyonların, 3D baskı ile üretilenlerden istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek kırılma dayanımına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, frezleme yönteminin daha dayanıklı restorasyonlar sunduğunu; 3D baskı tekniğinin ise daha düşük stresli kısa süreli durumlarda alternatif bir seçenek olabileceğini göstermektedir.

Jeong ve Kim (2019) (12), CAD/CAM geçici restorasyonların onarımında yüzey işleme yöntemlerinin ve onarım malzemelerinin etkilerini incelemiştir. Çalışma, CAD/CAM malzemelerinin geleneksel malzemelere göre klinik kullanım için uygun mekanik özellikler

sunduğunu ve yüzey işleme yöntemlerinin (SiC kağıdı, kumlama, hidroflorik asit) bağlanma kuvvetini artırdığını belirtmiştir. Ayrıca, hidroflorik asit etching'in PMMA'da bağlanma kuvvetini azalttığı, ancak bis-akrilik reçinelerde (Luxatemp ve Protemp 4) artırdığı bulunmuştur. Bu sonuçlar, CAD/CAM malzemelerinin onarımında doğru yüzey işleme ve onarım malzemesi seçimlerinin önemini ortaya koymaktadır.

Rosentritt ve ark. (2017) (27), bu çalışmada CAD/CAM yöntemiyle üretilen geçici PMMA kronların kırılma direncini, farklı sabitleme yöntemleri ve altyapılarla karşılaştırmıştır. Tüm örnekler simüle edilen klinik koşulları hasarsız geçse de, kırılma dirençleri sabitleme şekline ve abutment tipine göre anlamlı farklılık göstermiştir. Sonuçlar, geçici CAD/CAM kronların klinik olarak güvenli olduğunu ancak yapıştırma yöntemi ve altyapı tasarımının dayanıklılığı doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır.

3. CAD/CAM Teknolojisi ile Üretilen Sabit Geçici Restorasyonlarda PMMA'nın Optik Özellikleri

Geçici polimer restorasyonların klinik ortamda uzun süre kullanılması, estetik görünümlerinin de önem kazanmasına neden olur (28). "Yüksek yoğunluklu polimerler" olarak bilinen bu materyaller, optimize edilmiş sıcaklık ve basınç parametreleri ile standart endüstriyel koşullarda polimerize edilerek üretilir. İç yapılarına bağlı olarak polimer bloklar, seramik materyallere göre CAD/CAM işlemi için uygun özellikler sunar ve marjinal alanlarda bile çok ince bir kalınlıkta frezelenabilir (29).

Bir restorasyonun estetik başarısı, sert dokuların optik özelliklerine, kullanılan

restoratif materyale ve bunlar arasındaki etkileşime bağlıdır. Renk uyumu dışında, Kelly ve ark (30), translüsensiye estetik açıdan önemli bir faktör olarak tanımlamış ve materyal seçiminde kritik bir husus olduğunu belirtmişlerdir. Çoğunlukla tek renkli materyallerden üretilen veya monolitik polimer bloklardan frezelenen geçici restorasyonlarda, estetik açıdan zorlu alanlarda klinik olarak kabul edilebilir sonuçların elde edilmesinde translüsensi önemli bir faktör olmaktadır. Materyalin translüsensi özellikleri, daha önce yapılan çalışmalarda polimerizasyon yöntemi, ışık cihazının markası ve matriks türü gibi faktörlere göre incelenmiştir. Ayrıca, polimerlerin floresan özellikleri, ağız boşluğundaki dental restorasyonların optik davranışını etkileyen önemli bir parametre olarak yer almaktadır (31).

PMMA bazlı bazı materyaller, doldurucu içermeyen ve endüstriyel polimerizasyon süreçlerinden geçen homojen iç yapıları sayesinde, seramik gibi kristal yapıya materyallere kıyasla ışık kırılması ve yansımalarını en aza indirerek yüksek ışık geçirgenliği sergilemektedir. Ancak, belirli PMMA türevleri, çapraz bağlanma ve interpenetrasyon gibi modifikasyonlar sonucunda daha düşük ışık geçirgenliği gösterebilir. Üretim süreçlerinde uygulanan kesme ve cilalama işlemlerinin bu materyallerin optik özellikleri üzerindeki etkisi minimaldir, bu da CAD/CAM restorasyonlarının dayanıklılığını ve estetik kalitesini artırmaktadır (32).

Wu ve ark. (2025) (33), CAD/CAM malzemelerinin translüsans (TP00) ve opalesans (OP) özelliklerini, malzeme türü, kalınlık ve yüzey işleme yöntemleri açısından incelemiştir. Çalışma, kalınlık arttıkça translüsansın azaldığını ve

opalesansın bazı malzemelerde arttığını, bazı malzemelerde ise azaldığını göstermiştir. Ayrıca, yüzey işleme yöntemlerinin translüsansı azalttığı ve opalesansı artırdığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, CAD/CAM malzemelerinin estetik özelliklerini optimize etmek için kalınlık ve yüzey işleme faktörlerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Gueth ve ark. (2013) (34), tarafından gerçekleştirilen çalışmada değerlendirilen yüksek yoğunluklu polimer materyaller, mekanik ve estetik özellikleri açısından umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. Özellikle PMMA bazlı yüksek yoğunluklu polimerlerin yüksek translüsensi özelliği, restorasyonlarda belirgin bir renk adaptasyonu sağlayarak çevre dış dokusunun rengini daha iyi yansıtmasını ve estetik entegrasyonun artmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, ışıkla polimerize olan simanlarla iyi bir adeziv bağlantı kurabilmeleri, klinik uygulamalarda önemli bir avantaj sunmaktadır.

Tieh ve ark. (2022)(35), yapılan sistematik derlemede, diş protezlerinde kullanılan materyallerin optik özellikleri ve renk stabiliteyi kapsamlı şekilde incelenmiştir. Çalışmada, farklı üretim teknikleri ve materyal kompozisyonlarının, özellikle CAD/CAM teknolojisiyle üretilen akrilik esaslı dişlerin, ışık geçirgenliği ve renk değişimine olan direncini doğrudan etkilediği vurgulanmıştır. PMMA bazlı materyallerin, daha homojen yapıları sayesinde daha iyi optik stabilite sunduğu belirtilirken; bazı hibrit ve kompozit yapıdaki dişlerin, çevresel etkilere karşı daha fazla renk değişimine uğrayabildiği bildirilmiştir. Ayrıca, yüzey işleme yöntemleri ve kullanılan polimerizasyon

tekniklerinin de optik özellikleri önemli ölçüde etkileyebileceği ifade edilmiştir.

Alp ve arkadaşları (2019) (36), dört farklı CAD/CAM PMMA materyali (AvaDent, Vynacron, Merz ve Polident) kahve ile yapılan termal döngülere karşı test edilmiştir. Sonuçlar, tüm materyallerin renk değişiminin gözle görülemeyecek kadar küçük olduğunu ve kahveye karşı iyi bir renk stabilitesine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, materyallerin yüzey pürüzlülüğü artmış olsa da, bu artış klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır. Merz materyali ise diğerlerine göre en düşük ışık geçişi (translucens) değerini göstermiştir. Genel olarak, CAD/CAM PMMA materyalleri optik ve yüzey özelliklerini iyi bir şekilde korumaktadır

4. CAD/CAM ve Geleneksel Yöntemle Üretilen PMMA Materyallerin Karşılaştırılması

CAD/CAM ile üretilen geçici restorasyonların, direkt yöntemle üretilenlere kıyasla daha üstün performans gösterebileceğine dair kanıtlar bulunmaktadır (37). Geçici CAD/CAM restorasyonların piyasaya sürülmesi, klinik pratiğinde üretim sürecini kolaylaştırma ve aynı zamanda daha dayanıklı, fonksiyonel geçici restorasyonlar sunma potansiyeli taşıırken, bu materyallerin maliyetinin daha yüksek olması, kullanımını sınırlayabilmektedir (37). Başarılı bir restorasyonun elde edilebilmesi için, oral ortamda iyi bir marjinal uyum, iç adaptasyon ve yeterli mekanik dayanıklılığın sağlanması gerekmektedir. Yetersiz marjinal uyum, geçici restorasyonların diş etlerinde inflamasyona neden olarak tedavi sürecini olumsuz etkileyebilir (38). Manuel olarak üretilen ve

CAD/CAM ile üretilen geçici restorasyonların su absorpsiyonu, kırılma direnci ve yüzey sertliği gibi özellikleri karşılaştırılmıştır ve sonuçlar, manuel üretilen restorasyonların daha yüksek su absorpsiyonuna ve daha fazla hacimsel materyal kaybına sebep olduğunu göstermiştir (37). Ayrıca, CAD/CAM ile üretilen restorasyonlar, manuel üretilenlere göre daha yüksek kırılma direnci ve yüzey sertliği sergilemiştir (37). Tarama elektron mikroskobu incelemesi, CAD/CAM restorasyonlarında rezin matriksinin daha az bozulduğunu göstermiştir.

Polimerize rezin materyallerin kompozisyonu ve polimerizasyon yöntemleri, ağız içindeki kullanımlarında renk stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu materyaller, genellikle kısa bir süre içinde renk değişimine uğrayabilirler (39). Resin bileşimindeki farklılıklar, polimerizasyon hızını etkileyebilir, ancak bu materyaller zamanla bozulmaya meyillidir. Sonuç olarak, materyalin su emme kapasitesi, polimerizasyon yöntemine ve kullanılan bileşenlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (39).

Al-Dwairi ve arkadaşları (2020) (40), CAD/CAM yöntemiyle üretilen PMMA materyaller ile geleneksel yöntemle üretilen PMMA materyalleri karşılaştırmıştır. Çalışmada CAD/CAM gruplarının, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve darbe dayanımı açısından geleneksel gruba kıyasla daha üstün mekanik özellikler gösterdiği bulunmuştur. Bu sonuçlar, CAD/CAM yöntemiyle hazırlanan PMMA materyallerin daha dayanıklı olabileceğini göstermektedir.

5. CAD/CAM Teknolojisi ile Üretilen Sabit Geçici Restorasyonlarda PMMA ile PEEK Materyalinin Karşılaştırılması

Polietereterketon (PEEK), mekanik özellikleri açısından PMMA'ya kıyasla üstün performans sergilemektedir (41). PEEK, güçlendirilmiş karbon fiberler ile güçlendirildiğinde kemik dokusuna benzer elastisite modülü (18 GPa) ile mükemmel eğilme direnci sağlar. Buna karşılık, PMMA'nın daha düşük mekanik performansı, özellikle kırılma tiplerinde de kendini gösterir (42). Estetik açıdan ise PEEK'in grimsi kahverengi rengi, ön dişlerde estetik restorasyonlar için uygun olmamaktadır, bu nedenle kompozit rezin gibi daha estetik materyallerin kullanım gerekliliği doğmaktadır. Sonuç olarak, PEEK, mekanik üstünlüğü ve dayanıklılığı ile PMMA'dan daha güçlü bir seçenek sunarken, estetik kaygılar için kompozit rezinle birleşim önerilmektedir (43).

Abdullah ve ark. (44), bir çalışmada özellikle PEEK ve PMMA materyallerinin, manuel yöntemle üretilen bis-akril yapılı geçici kronlara göre daha iyi yüzey kalitesi ve daha yüksek mekanik dayanıklılık gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, CAD/CAM yöntemiyle üretilen geçici kronların termal döngü sonrasında daha iyi boyutsal stabilite sağladığı ve marjinal uyumlarını daha uzun süre koruduğu tespit edilmiştir.

SONUÇ

PMMA, diş hekimliğinde uzun yıllardır kullanılan, estetik ve fonksiyonel avantajlar sunan geniş kullanım alanına sahip, geliştirilmeye açık bir materyaldir. CAD/CAM teknolojisinin gelişimi, PMMA bazlı materyallerin üretiminde hassasiyet, dayanıklılık ve renk stabilitesini artırarak klinik kullanımını daha da

yaygınlaştırmıştır. Ancak, polimerizasyon büzülmesi, sıvı emilimi ve uzun vadeli aşınma gibi dezavantajlar, PMMA'nın geliştirilmesi için yeni yaklaşımlar gerektirmektedir. Bununla birlikte, PMMA'nın mekanik özelliklerini daha da artırmak için ileri seviye kompozit materyallerle entegrasyonu üzerine yapılan çalışmalar devam etmektedir. Bu gelişmeler, diş hekimliği uygulamalarında PMMA'nın etkinliğini ve dayanıklılığını artırarak hasta konforunu ve tedavi başarısını olumlu yönde etkileyecektir.

Çıkar Çatışması Beyanı: Yazarlar, bu çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

KAYNAKÇA

1. Huettig F, Prutscher A, Goldammer C, Kreutzer CA, Weber H. First clinical experiences with CAD/CAM-fabricated PMMA-based fixed dental prostheses as long-term temporaries. *Clinical oral investigations*. 2016;20:161-8.
2. Al-Thobity AM. The impact of polymerization technique and glass-fiber reinforcement on the flexural properties of denture base resin material. *European journal of dentistry*. 2020;14(01):092-9.
3. Frazer RQ, Byron RT, Osborne PB, West KP. PMMA: an essential material in medicine and dentistry. *Journal of long-term effects of medical implants*. 2005;15(6).
4. Sakaguchi RL, Powers JM. *Craig's Restorative Dental Materials-E-Book: Craig's Restorative Dental Materials-E-Book: Elsevier Health Sciences*; 2011.
5. Zafar MS, Ahmed N. Nano-mechanical evaluation of dental hard tissues using indentation technique. *World Appl Sci J*. 2013;28(10):1393-9.
6. Christensen GJ. The fastest and best provisional restorations. *The Journal of the American Dental Association*. 2003;134(5):637-9.

7. Anderson JN. Applied dental materials: Blackwell Scientific Publications; 1961.
8. Shenoy A, Rajaraman V, Maiti S. Comparative analysis of various temporary computer-aided design/computer-aided manufacturing polymethyl methacrylate crown materials based on color stability, flexural strength, and surface roughness: An in vitro study. Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research. 2022;13(Suppl 1):S130-S5.
9. Díez-Pascual AM. PMMA-Based Nanocomposites for Odontology Applications: A State-of-the-Art. International Journal of Molecular Sciences. 2022;23(18):10288.
10. Burns DR, Beck DA, Nelson SK. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. The Journal of prosthetic dentistry. 2003;90(5):474-97.
11. Orsi IA, Soares RG, Villabona CA, Panzeri H. Evaluation of the flexural strength and elastic modulus of resins used for temporary restorations reinforced with particulate glass fibre. Gerodontology. 2012;29(2):e63-e8.
12. Jeong KW, Kim SH. Influence of surface treatments and repair materials on the shear bond strength of CAD/CAM provisional restorations. The journal of advanced prosthodontics. 2019;11(2):95-104.
13. Shamseddine L, Mortada R, Rifai K, Chidiac JJ. 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. 2016;116(2):242-8.
14. Koch GK, Gallucci GO, Lee SJ. Accuracy in the digital workflow: From data acquisition to the digitally milled cast. The Journal of prosthetic dentistry. 2016;115(6):749-54.
15. Diaz-Arnold AM, Dunne JT, Jones AH. Microhardness of provisional fixed prosthodontic materials. The Journal of Prosthetic Dentistry. 1999;82(5):525-8.
16. Donovan T, Hurst R, Campagni W. Physical properties of acrylic resin polymerized by four different techniques. The Journal of Prosthetic Dentistry. 1985;54(4):522-4.
17. Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Vargas MA. Flexural strength of provisional crown and fixed partial denture resins. The Journal of prosthetic dentistry. 2002;87(2):225-8.
18. Zidan S, Silikas N, Alhotan A, Haider J, Yates J. Investigating the mechanical properties of ZrO₂-impregnated PMMA nanocomposite for denture-based applications. Materials. 2019;12(8):1344.
19. Ciocan LT, Ghitman J, Vasilescu VG, Iovu H. Mechanical properties of polymer-based blanks for machined dental restorations. Materials. 2021;14(23):7293.
20. Wechkunanukul N, Klomjit K, Kumtun T, Jaikumpun P, Kengtanyakich S, Katheng A. Comparison of Mechanical and Surface Properties between Conventional and CAD/CAM Provisional Restorations. European Journal of Dentistry. 2024.
21. Singh P, Shenoy A, Nallaswamy D, Maiti S. Comparative Evaluation of Microbial Adhesion on Provisional Crowns Fabricated With Milled Polymethyl Methacrylate (PMMA) and Conventional Acrylic Resin: A Prospective Clinical Trial. Cureus. 2024;16(7).
22. Perea-Lowery L, Gibreel M, Vallittu PK, Lassila L. Characterization of the mechanical properties of CAD/CAM polymers for interim fixed restorations. Dental materials journal. 2020;39(2):319-25.
23. Ribera OK, Mendes JM, Mendes J, Barreiros P, Aroso C, Silva AS. Influence of popular beverages on the fracture resistance of implant-supported bis-acrylic resin provisional crowns: an in vitro study. Polymers. 2023;15(16):3411.
24. Selva-Otaola E, Fernández-Estevan L, Solá-Ruiz MF, García-Sala-Bonmati F, Selva-Ribera I, Agustín-Panadero R. Graphene-doped polymethyl methacrylate (PMMA) as a new restorative material in implant-prosthetics: In vitro analysis of resistance to mechanical fatigue. Journal of Clinical Medicine. 2023;12(4):1269.
25. Jain S, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, Al Wadei MHD, Gupta SG, et al. Physical and mechanical properties of 3D-printed provisional crowns and fixed dental prosthesis resins compared to CAD/CAM milled and conventional provisional resins: A systematic

review and meta-analysis. *Polymers*. 2022;14(13):2691.

26. Abad-Coronel C, Carrera E, Mena Córdova N, Fajardo JI, Aliaga P. Comparative analysis of fracture resistance between CAD/CAM materials for interim fixed prosthesis. *Materials*. 2021;14(24):7791.

27. Rosentritt M, Raab P, Hahnel S, Stöckle M, Preis V. In-vitro performance of CAD/CAM-fabricated implant-supported temporary crowns. *Clinical Oral Investigations*. 2017;21:2581-7.

28. Cakan U, Kara HB. Effect of liquid polishing materials on the stainability of bis-acryl interim restorative material in vitro. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2015;113(5):475-9.

29. Göncü Başaran E, Ayna E, Vallittu PK, Lassila LV. Load-bearing capacity of handmade and computer-aided design-computer-aided manufacturing-fabricated three-unit fixed dental prostheses of particulate filler composite. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2011;69(3):144-50.

30. Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1996;75(1):18-32.

31. Azzopardi N, Moharamzadeh K, Wood DJ, Martin N, van Noort R. Effect of resin matrix composition on the translucency of experimental dental composite resins. *Dental Materials*. 2009;25(12):1564-8.

32. Fasbinder DJ. Chairside CAD/CAM: an overview of restorative material options. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* (15488578). 2012;33(1).

33. Wu Z, Tian J, Wei D, Zhang Y, Lin Y, Di P. Effects of thickness and polishing treatment on the translucency and opalescence of six dental CAD-CAM monolithic restorative materials: an in vitro study. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):579.

34. Gueth JF, Zuch T, Zwinge S, Engels J, Stimmelmayer M, Edelhoff D. Optical properties of manually and CAD/CAM-fabricated polymers. *Dental materials journal*. 2013;32(6):865-71.

35. Tieh MT, Waddell JN, Choi JJE. Optical properties and color stability of denture teeth—

A systematic review. *Journal of Prosthodontics*. 2022;31(5):385-98.

36. Alp G, Johnston WM, Yilmaz B. Optical properties and surface roughness of prepolymerized poly (methyl methacrylate) denture base materials. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2019;121(2):347-52.

37. Rayyan MM, Aboushelib M, Sayed NM, Ibrahim A, Jimbo R. Comparison of interim restorations fabricated by CAD/CAM with those fabricated manually. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2015;114(3):414-9.

38. Al Rifaiy M. Evaluation of vertical marginal adaptation of provisional crowns by digital microscope. *Nigerian Journal of Clinical Practice*. 2017;20(12):1610-7.

39. Ruyter I, Nilner K, Möller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dental Materials*. 1987;3(5):246-51.

40. Al-Dwairi ZN, Tahboub KY, Baba NZ, Goodacre CJ. A comparison of the flexural and impact strengths and flexural modulus of CAD/CAM and conventional heat-cured polymethyl methacrylate (PMMA). *Journal of Prosthodontics*. 2020;29(4):341-9.

41. Bathala L, Majeti V, Rachuri N, Singh N, Gedela S. The role of polyether ether ketone (PEEK) in dentistry—a review. *Journal of medicine and life*. 2019;12(1):5.

42. Rosentritt M, Hahnel S, Engelhardt F, Behr M, Preis V. In vitro performance and fracture resistance of CAD/CAM-fabricated implant supported molar crowns. *Clinical oral investigations*. 2017;21:1213-9.

43. Papathanasiou I, Kamposiora P, Papavasiliou G, Ferrari M. The use of PEEK in digital prosthodontics: A narrative review. *BMC Oral Health*. 2020;20:1-11.

44. Abdullah AO, Tsitrou EA, Pollington S. Comparative in vitro evaluation of CAD/CAM vs conventional provisional crowns. *Journal of applied oral science*. 2016;24:258-63.

Kaya G, Egilmez F. CAD/CAM ile üretilen sabit geçici restorasyonlarda kullanılan PMMA materyallerinin optik ve mekanik özellikleri, *Van Dış Hekimliği Dergisi* 2025;6(1):36-45.