

T.C.
ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

FARKLI TEKNİKLERLE ÜRETİLEN GEÇİCİ RESTORASYON
MATERYALLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN IN VITRO
KARŞILAŞTIRILMASI

CANEL TAN

DOKTORA TEZİ

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Şükriye Ece DOĞAN

ZONGULDAK

2026

T.C.
ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

FARKLI TEKNİKLERLE ÜRETİLEN GEÇİCİ RESTORASYON
MATERYALLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN IN VITRO
KARŞILAŞTIRILMASI

CANEL TAN

DOKTORA TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Şükriye Ece DOĞAN

ZONGULDAK

2026

Bu Tez Çalışması Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma
Projeleri Tarafından Desteklenmiştir (Proje No: 2024-33822697-03)

ÖNSÖZ

Doktora eğitimim boyunca bilgi birikimi ve deneyimlerini benimle paylaşan, tez çalışmam süresince yol gösterici olan ve çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Şükriye Ece Doğan'a,

Sadece Protetik Diş Tedavisi alanındaki eğitimim süresince değil lisans eğitimimde de bana katkı sağlayan, teorik bilgi birikimleri ve klinik uygulamalara yönelik katkılarıyla bana rehberlik eden, deneyim ve tecrübelerini benimle paylaşan Anabilim Dalımız öğretim üyeleri Sayın Prof. Dr. Ayşegül Köroğlu, Sayın Prof. Dr. Seda Cengiz ve Sayın Doç. Dr. Gaye Sağlam'a,

Her zaman yanımda olan, desteğini ve motivasyonunu esirgemeyen, birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum değerli çalışma arkadaşlarıma ve bölümümüz personeline...

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine maddi katkı sağlayan Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne...

Özverili desteklerinden dolayı Arş. Gör. İlker Emin Dağ'a,

Gerek lisans eğitimimdeki hocalığıyla gerekse Navadent Ağız ve Diş Sağlığı Polikliniği çatısı altında sunduğu çalışma olanaklarıyla tez sürecimi kolaylaştıran hocam Sayın Dr. Dt. Neslin Velioğlu'na ve tüm çalışma arkadaşlarıma,

Sayılsız özveriyle bugünlere ulaşmamı sağlayan, güçlü ve özgür bir birey olmamda en büyük paya sahip olan babam Şenol Şen ve merhum annem Ruziye Şen'e,

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, desteği ve varlığıyla bana güç veren biricik kardeşim Aysel Kalaycıoğlu'na,

Sevgi ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bu süreçteki tüm zorlukları aşmamda her daim yanımda olan, en büyük dayanağım hayat arkadaşım Mehmet Zeki Tan'a

Tüm kalbimle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Canel TAN
Ocak 2026,
Zonguldak

ÖZET

Canel Tan. Farklı Tekniklerle Üretilen Geçici Restorasyon Materyallerinin Mekanik Özelliklerinin *In Vitro* Karşılaştırılması. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Zonguldak, 2026.

Geçici restorasyonlar, daimi restorasyon tamamlanana kadar geçen süreçte hastanın estetik, fonetik ve fonksiyonel gereksinimlerini karşılayan; dentin hassasiyetini önleyen ve final restorasyona ilişkin görsel ve işlevsel bir ön izlenim sunan protezlerdir. Bu restorasyonların kullanım süresi boyunca hasta konforu ve fonksiyonel etkinliği büyük önem taşımaktadır. Çiğneme fonksiyonunun sürdürülebilmesi ve temporomandibular eklem ile nöromüsküler sistem arasındaki fizyolojik dengenin korunabilmesi için geçici restorasyon materyallerinin yeterli mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu çalışma; konvansiyonel, CAD-CAM sistemi ve 3B Yazıcı ile üretilen geçici restorasyon materyallerindeki kalınlık farkının materyalin mekanik özelliklerine (bükülme dayanımı, eğilme modülü, sertlik değeri) etkisinin incelenmesi amacıyla yapıldı. Çalışmamızda kullanılmak üzere farklı tekniklerle üretilen örnekler EN ISO 4049:2019 standartlarına uygun olarak çubuk formunda 25x2 mm boyutlarında ve her materyalden üç farklı kalınlıkta (1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm) toplamda 90 örnek hazırlandı (n=10). Örnekler, Universal Test Makinesinde 1 mm/dakika çapraz başlık hızı ile üç nokta bükme testine tabi tutuldu; elde edilen veriler kullanılarak bükülme dayanımı ve eğilme modülü değerleri hesaplandı. Mikrosertlik ölçümleri, bükme testi sonrası kırılan örnekler arasından rastgele seçilen numuneler üzerinde gerçekleştirildi. Ayrıca, kırık yüzeylerin morfolojik değerlendirilmesi amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri elde edildi. Çalışmanın sonuçlarına göre, bükülme dayanımı ve eğilme modülü açısından tüm kalınlık gruplarında en yüksek değerler CAD-CAM yöntemi ile üretilen örneklerde, en düşük değerler ise konvansiyonel yöntemle üretilen örneklerde saptandı. Mikrosertlik değerlendirmelerinde ise kalınlıktan bağımsız olarak 3B yazıcı ile üretilen örneklerin en yüksek sertlik değerlerini gösterdiği belirlendi.

Anahtar Sözcükler: 3 Boyutlu yazıcı, CAD-CAM, Geçici restorasyon, Konvansiyonel, PMMA,

ABSTRACT

Canel Tan. In Vitro Comparison of the Mechanical Properties of Temporary Restoration Materials Produced Using Different Techniques. Zonguldak Bülent Ecevit University, Institute of Health Sciences, Department of Prosthetic Dentistry, Doctoral Thesis, Zonguldak, 2026.

Temporary restorations are prostheses that meet the patient's aesthetic, phonetic, and functional requirements during the period until the permanent restoration is completed; prevent dentine sensitivity; and provide a visual and functional preview of the final restoration. Patient comfort and functional efficiency are of great importance throughout the period of use of these restorations. Temporary restoration materials must possess sufficient mechanical properties to maintain chewing function and preserve the physiological balance between the temporomandibular joint and the neuromuscular system. This study was conducted to investigate the effect of thickness differences in conventional, CAD-CAM system and 3D printer-produced temporary restoration materials on the mechanical properties of the material (bending strength, flexural modulus, hardness value). For use in our study, samples produced using different techniques were prepared in accordance with EN ISO 4049:2019 standards in the form of rods measuring 25x2 mm and in three different thicknesses (1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm) for each material, totalling 90 samples (n=10). The samples were subjected to a three-point bending test on a Universal Testing Machine at a crosshead speed of 1 mm/minute; the bending strength and flexural modulus values were calculated using the data obtained. Microhardness measurements were performed on samples randomly selected from among the broken samples after the bending test. In addition, scanning electron microscope (SEM) images were obtained for morphological evaluation of the fracture surfaces. According to the results of the study, the highest values in terms of bending strength and flexural modulus were found in the samples produced using the CAD-CAM method in all thickness groups, while the lowest values were found in the samples produced using the conventional method. In microhardness evaluations, it was determined that the samples produced with the 3D printer showed the highest hardness values, independent of thickness.

Keywords: 3D Printer, CAD-CAM, Conventional, PMMA, Temporary restoration,

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAY.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL DİZİNİ	x
TABLO DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Geçici Restorasyonların Kullanım Alanları	6
2.1.1. Tam kuron restorasyonlar	6
2.1.2. Lamine veneerler	6
2.1.3. İnley ve onley restorasyonlar	7
2.1.4. İmplant üstü protetik tedavide uygulanan geçici restorasyonlar	7
2.2. Geçici Restorasyonların Sınıflaması	9
2.2.1. Üretim tekniklerine göre geçici restorasyon sınıflaması	9
2.2.2. Kullanım sürelerine göre geçici restorasyon sınıflaması.....	13
2.2.3. Kullanılan materyallere göre geçici restorasyon sınıflaması.....	14
2.3. Geçici Kuron-Köprü Restorasyonlarının Mekanik Özellikleri	19
2.3.1. Materyallerin mekanik özellikleri.....	19
2.4. Mekanik Testler.....	21
2.4.1. Bükülme testi	21
2.4.2. Sertlik testi	24
2.5. Dijital Üretim Yöntemleri	25
2.6. Eksiltmeli Üretim Yöntemleri (CAD-CAM)	26
2.6.1. CAD-CAM tarihçe.....	26
2.6.2. CAD-CAM sisteminin çalışma prensibi	26
2.6.3. CAD-CAM Sisteminin avantajları	27
2.6.4. CAD-CAM sisteminin dezavantajları.....	28
2.6.5. CAD-CAM sistemlerinde kullanılan geçici materyalleri	28
2.7. Eklemeli Üretim Yöntemleri (3 Boyutlu Yazıcı)	30
2.7.1. 3 Boyutlu yazıcıların diş hekimliği uygulamalarında yer alması	30

2.7.2. 3 Boyutlu yazıcıların üretim basamakları	31
2.7.3. 3 boyutlu yazıcı sistemleri	31
2.7.4. 3 Boyutlu yazıcıların avantajları	33
2.7.5. 3 boyutlu yazıcıların dezavantajları	34
2.7.6. 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan geçici restorasyon materyalleri	34
2.8. Yüzey Analiz İşlemleri	35
2.8.1. Stereomikroskop	35
2.8.2. Atomik kuvvet mikroskobu	35
2.9.3. Taramalı elektron mikroskopu	35
2.9. Tez Çalışmasında Kullanılan Geçici Restorasyon Materyalleri	36
2.9.1. Imident (Imicryl, Konya, Türkiye)	36
2.9.2. Telio CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn)	36
2.9.3. Optiprint Lumina (Dentona, Dortmund,Almanya)	37
4. GEREÇ VE YÖNTEM	38
3.1. Geçici Örneklerinin Konvansiyonel Yöntemle Hazırlanması	39
3.2. CAD-CAM Geçici Örneklerinin Hazırlanması	40
3.3. Geçici Örneklerinin 3 Boyutlu Yazıcı ile Hazırlanması	41
3.4. Kullanılan Testler ve Cihazlar	45
3.4.1. Üç nokta bükülme testi	45
3.4.2. Sertlik testi	47
3.4.2. SEM ile örneklerin yüzey görüntülerinin incelenmesi	48
3.5. İstatistiksel Analiz	49
5. BULGULAR	51
4.1. Bükülme Dayanımı Değerleri	52
4.2. Eğilme Modülü Değerleri	54
4.3. Sertlik Değerleri	56
4.4. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi	58
5. TARTIŞMA	60
6. SONUÇLAR	74
7. KAYNAKLAR	75
8. ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

3B	Üç Boyutlu
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
µm	Mikrometre
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskopisi
ANSI/ADA	Amerikan Diş Hekimleri Birliği Dental Malzemeler, Aletler ve Ekipman Konseyi
BJ	Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat
Bis-GMA	Bis- A-glisidil metakrilat
CAD-CAM	Bilgisayar Destekli Tasarım- Bilgisayar Destekli Üretim
DED	Doğrudan Enerji Biriktirme
DLP	Dijital Işık İşleme
FDM	Eriyik Yığma Modelleme
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
KHN	Knoop Sertlik Değeri (Knoop Hardness Number)
ME	Malzeme Ekstrüzyonu
MJ	Malzeme Püskürtme
MMA	Metil Metakrilat
MRP	Mikro Dolgulu Güçlendirilmiş Poliakrilat
MPa	Megapascal
N	Newton
OMP-N	Organik Modifiye Polimer Ağı
PBF	Toz Yatağı Füzyonu
PEMA	Polietilmetakrilat
PMMA	Polimetilmetakrilat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SL	Tabaka Laminasyonu
SLA	Stereolitografi
STL	Standart Üçgenleme Dili
TME	Temporomandibular Eklem
UDMA	Üretan Dimetakrilat
UV	Ultraviyole
VHN	Vickers Sertlik Sayısı
W	Watt

ŞEKİL DİZİNİ

Sekil

Sayfa

1. Direkt yöntemle geçici restorasyon aşamaları A) İlk ölçünün alınması B) Ağızdan çıkarılan geçici rezin materyali C) Geçici restorasyonun tesviye ve polisaj işlemleri D) Direkt teknikle üretilen geçici restorasyonun son hali.	10
2. Selülöz asetat geçici kuron materyali.	15
3. Polimetilmetakrilat geçici kuron materyali.	16
4. Bis-akrilik kompozit rezin geçici kuron materyali.	17
5. Kuvvet karşısında materyalde oluşan gerilim tipleri.	20
6. 3 Nokta bükülme testinin şematik görünümü	23
7. 4 Nokta bükülme testinin şematik görünümü	23
8. Sertlik testinin şematik görünümü	25
9. CAD-CAM sistemlerinin üretim evreleri.	27
10. 3B yazıcıların üretim basamakları	31
11. Konvansiyonel geçici materyali.	36
12. CAD-CAM geçici bloğu.	37
13. 3B yazıcı geçici reçinesi.	37
14. 3B yazıcı ile üretilen termoplastik poliüretan kalıp.	39
15. Geçici materyalinin kalıba yerleştirilmesi.	39
16. Polimerizasyon süreci.	40
17. Çalışmada kullanılan hassas kesim cihazı.	40
18. CAD-CAM örneklerinin elde edilmesi.	41
19. Örneklerin dijital model görünümü.	41
20. Çalışmada kullanılan 3B yazıcı.	42
21. 3B yazıcı ile üretilen örnekler.	42
22. Ultrasonik temizleme cihazı.	43
23. Örneklerin post-kürleme süreci.	43
24. Otomatik zımparalama cihazı.	44
25. A) Konvansiyonel teknikle üretilen örnekler B) CAD-CAM ile üretilen örnekler C) 3B yazıcı ile üretilen örnekler.	44
26. Zımparalama sonrası örneklerin dijital kumpasla ölçümü A) 1.5 mm kalınlığındaki örnek B) 2 mm kalınlığındaki örnek C) 2.5 mm kalınlığındaki örnek	44
27. Yapay tükürük solüsyonu.	45

28. Etüvde yapay tükürük solüsyonunda bekletilen test örnekleri.....	45
29. Universal test cihazı.	46
30. Bükülme dayanımı test düzeneği.	46
31. Kırılmış test örneği.....	47
32. Çalışmada kullanılan sertlik cihazı.	48
33. Sertlik ölçümüne ait görüntü.....	48
34. Örneklerin kaplanmasıda kullanılan cihaz.	49
35. SEM analizinde kullanılan cihaz.....	49
36. Geçici restorasyon materyallerinin üretim yöntemi ve kalınlığa bağlı bükülme dayanımı değerleri (MPa).....	53
37. Geçici restorasyon materyallerinin üretim yöntemi ve kalınlığa bağlı eğilme modülü değerleri (MPa).	55
38. Geçici restorasyon materyallerinin üretim yöntemi ve kalınlığa bağlı sertlik değerleri (HV).	57
39. Konvansiyonel (A–C), CAD-CAM (D–F) ve 3B yazıcı (G–I) yöntemleriyle üretilen örneklerin $\times 250$, $\times 500$ ve $\times 1000$ büyütmelede elde edilen SEM görüntüleri.	59

TABLO DİZİNİ

Tablo

Sayfa

1. Geçici Restorasyon Materyallerinin Ticari Adı, Üretim Tekniği, Üretici Firmaları ve Lot Numaraları	38
2. Üretim tekniği, kalınlık ve etkileşim etkilerine ait iki yönlü ANOVA analizi.	51
3. Farklı Üretim Teknikleri ve Kalınlıklara Göre Bükülme Dayanımı (MPa).....	52
4. Farklı üretim teknikleri ve kalınlıklara göre eğilme modülü (MPa) değerlerinin karşılaştırılması.	54
5. Farklı Üretim Teknikleri ve Kalınlıklara Göre Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması.....	57



1. GİRİŞ

Sabit protetik tedavinin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için ön şart, en uygun geçici restorasyonun hazırlanmasıdır. Geçici restorasyonlar, biyolojik ve biyomekanik gereksinimleri karşılamalarının yanı sıra hekim için nihai protezin tasarımı ve tedavi planlamasında önemli bir şablon görevi görmektedir (1). Tedavi sürecinde kalıcı restorasyonun tamamlanmasına kadar geçen zaman diliminde oluşabilecek dentin hassasiyetini azaltmak, yumuşak dokuların ideal biçimde şekillenmesini sağlamak ve dişlerin yer değiştirmesini engellemek gibi önemli işlevleri de bulunmaktadır (2). Ayrıca bu restorasyonlar hastayı psikolojik, estetik ve fonksiyonel olarak daimi protezine hazırlamaktadır (3).

Geçici restorasyonlar; yapımında kullanılan materyal türüne göre konvansiyonel ya da dijital olarak üretilebilir. Konvansiyonel yöntemle üretilen geçici restorasyonlar direkt, indirekt veya direk-indirekt olarak hazırlanabilmektedir. Kullanılacak olan materyal seçimine göre uygulanacak teknik önem kazanmaktadır. Direkt teknik ile klinik ortamında geçici restorasyon yapımına olanak sağlanırken indirekt teknikte üretim laboratuvarında gerçekleşmektedir. Direkt-indirekt teknik ise hazırlanacak olan geçici restorasyonun dış yüzeyinin indirekt, iç yüzeyinin ise direkt teknik kullanılarak kombine şekilde oluşturulmasıdır (3–5).

Son 50 yılda dünyada görülen teknolojik devrim ile her alanda olduğu gibi diş hekimliğinde de yeni malzemeler ve ileri teknoloji içeren sistemler kullanıma girmiştir. Dijital teknolojilerin klinik ve laboratuvar uygulamalarına entegrasyonu ile restoratif işlemlerde konvansiyonel yöntemlerin ortaya koyduğu dezavantajların büyük ölçüde ortadan kaldırılmasına olanak tanımıştır. Dijital sistemler, hasta ve hekim açısından artırılmış konfor sağlamalarının yanı sıra, daha hızlı ve verimli bir üretim süreci sunmaktadır (6). Bu bağlamda, Bilgisayar Destekli Tasarım- Bilgisayar Destekli Üretim (CAD-CAM) sistemleri ve 3 Boyutlu (3B) Yazıcı teknolojileri, sundukları çeşitli avantajlar sayesinde dijital diş hekimliğinde önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Diş preparasyonunun ardından fonksiyonel bozuklukların ve bölgesel komplikasyonların oluşmasını önlemek için kullanım amacına ve süresine uygun farklı teknik ve materyallerle yapılan geçici restorasyonlar hem daimi protetik tedavinin başarı oranını arttırmakta hem de hastanın bu süreci fonetik, estetik ve fonksiyonel bir kayıp yaşamadan geçirmesini sağlamaktadır (7).

Bu tez çalışmasının amacı; konvansiyonel, CAD-CAM sistemi ve 3B Yazıcı ile üretilen geçici restorasyon materyallerindeki kalınlık farkının materyalin mekanik özelliklerine (bükölme dayanımı, eğilme modölü, sertlik değeri) etkisinin *in vitro* olarak incelenmesidir. Çalışmanın sıfır hipotezleri;

- a) Farklı üretim tekniklerinin geçici kuron materyalinin mekanik özelliklerine etki etmeyeceğı,
- b) Geçici kuron materyalindeki kalınlık farkının mekanik özelliklerinde fark yaratmayacağı yönündedir.



2. GENEL BİLGİLER

Sabit protetik tedavinin başarısında önemli bir role sahip olan geçici restorasyonlar 1930'lu yıllarda diş hekimliği uygulamaları arasında yerini almıştır (8). Protetik terminolojiye göre geçici restorasyonlar; daimi restorasyonun uygulanmasına kadar geçen ara dönemde estetik görünümün, fonksiyonel yeterliliğin ve/veya yapısal stabilitenin korunmasını amaçlayan sabit, hareketli ya da maksillofasiyal protezler olarak tanımlanmaktadır (9).

Geçici kuronlar, interim kuronlar, tedavi restorasyonları ve intermediate restorasyonlar olarak adlandırıldıkları gibi bazı araştırmacılar tarafından 'farklı işlevleri ve amaçları olan geçici restorasyonlar' olarak da kabul edilmektedir (5,10,11).

Geçici restorasyonlar, planlanan daimi protezin şekil ve işlevini belirlemeye olanak sağlamaktadır (12). Bunun yanı sıra daimi restorasyon yapımına kadar geçen süreçte hastanın estetik, fonetik ve fonksiyonel ihtiyaçlarının idamesini sağlanması, olası dentin hassasiyetini önlenmesi, final restorasyon hakkında hastaya görsel ve işlevsel fikir vermek gibi amaçlarla kullanılır. Ayrıca oklüzal ve/veya vertikal ilişkilerin yeniden düzenlenmesinin hedeflendiği olgularda ya da yumuşak doku şekillendirmesinin düşünüldüğü vakalarda geçici restorasyonlar bir tanı aracı olarak da tercih edilirler (11,13,14).

İdeal Geçici Restorasyonların Özellikleri

1. Marjinal adaptasyonu iyi olmalı,
2. Pulpal dokularda irritasyona sebep olmamalı,
3. Isı iletkenliği bulunmamalı,
4. Porozite içermemeli,
5. Plak birikiminin önlenmesi için iyi polisajlı, pürüzsüz yüzeye sahip olmalı,
6. Hijyenin kolaylıkla sağlanabileceği nitelikte olmalı,
7. Periodontal dokuların sağlığını koruyabilecek fizyolojik embraşür ve konturlara sahip olmalı,
8. Mekanik ve fiziksel dayanımı iyi olmalı,
9. Boyutsal stabilitesini koruyabilmeli,
10. Estetik ve konforlu olmalı,
11. Renk değişikliği göstermemeli,
12. Çiğneme kuvvetlerine karşı koyabilecek tutuculuk ve dirence sahip olmalı,

13. Gerektiğinde yerinden rahatlıkla çıkartılabilmeli ve simante edilebilme kolaylığına sahip olmalı,
14. Kullanım süresince hastanın oklüzal fonksiyonlarının idamesini sağlayabilmeli,
15. Maliyeti düşük, tamiri kolay olmalı,
16. Alerjen bir yapıya sahip olmamalı,
17. Toksik olmamalı,
18. Prepare edilen dişlerin stabilizasyonunu sağlamalıdır (3,8,15).

Geçici Restorasyonların Kullanım Amaçları

1. Prepare edilmiş dişlerde hassasiyeti önler,
2. Pulpal dokuları termal, bakteriyel ve kimyasal uyaranlardan korur,
3. Dişleri oluşabilecek çürük ve kırıklardan korur,
4. Hastanın konforlu süreç geçirmesini sağlar,
5. Çiğneme fonksiyonunu devam ettirir,
6. Estetik beklentiyi karşılar,
7. Dayanak dişlerin migrasyonunu önler,
8. Hastaya psikolojik destek sağlar,
9. Karşıt dişlerde meydana gelebilecek aşırı eruptif hareketlerin önlenmesine yönelik koruyucu bir rol oynar,
10. Diş çekimini takiben ilgili bölgenin hızlı bir şekilde restore edilmesine olanak tanır, diş eksikliklerini fonksiyonel ve estetik açıdan tamamlar,
11. Periodontal olarak elverişli ortam sağlar ve yumuşak dokuyu şekillendirir,
12. Hastanın oral hijyeninin değerlendirilmesine yardımcı olur,
13. Daimi restorasyondan önce dikey boyut ve oklüzal ilişki kaydını belirlemeye, fonetiğin ve çiğneme fonksiyonunun değerlendirilmesine yardımcı olur,
14. Ortodontik tedavi gören hastalarda braketler için dayanak görevi görür,
15. Hastanın ve hekimin daimi restorasyon hakkında fikir sahibi olmasını sağlar,
16. Prognozu şüpheli olan dayanak dişlerin değerlendirilmesine olanak sağlar (2,5,7,16).

Preparasyonu tamamlanmış dişler, besin tüketimi ve solunum sırasında meydana gelen termal ve kimyasal uyaranlara karşı korunabilmeleri amacıyla geçici restorasyonlara ihtiyaç duyar (17,18). Geçici restorasyonlar; iyi bir marjinal uyum,

anatomik aksiyal konturlar, fizyolojik papil şekillendirmesi ile pürüzsüz ve polisajlı yüzey özellikleri sayesinde hedeflenen periodontal sağlığın korunmasına da katkı sağlar (19).

Prepare edilmiş dişleri; fonksiyonel kuvvetler ve karşıt ark ile olan temas sonucu meydana gelebilecek kırık ve aşınmalardan korumak bu restorasyonların temel amaçları arasındadır. Doğru şekilde hazırlandıkları takdirde, çiğneme sırasında oluşabilecek travmalara karşı yanak, dudak ve dil gibi yumuşak dokuların korunmasına da katkı sağlarlar (20,21).

Daimi restorasyon yapılana kadar geçen süre içerisinde geçici restorasyonlar çiğneme fonksiyonunu devam ettirmelidir. Bunun için geçici restorasyonlarda kullanılacak materyalin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi ve buna uygun seçimi önem kazanmaktadır. Tedavi sürecinde birden fazla kez takılıp çıkarılabilen geçici restorasyonlar; kırılmaya ve aşınmaya karşı dirençli olmalı, stabilitesini korumalı, oklüzal kuvvetlere karşı dayanıklı olmalı, çıkarıldığında deformasyona uğramamalı ve gerektiğinde tekrar kullanılabilir özellikte olmalıdır (17,21).

Hastanın konuşma ve gülme sırasında dişsiz bölgelerin görünmesi estetik kaygılarının da artmasına sebep olmaktadır. Görünür bölgelerdeki dişsizliğin giderilmesi için yapılacak geçici restorasyonların dişlere uygun renk ve şekilde yapılması kabul edilebilir estetik sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır (22).

Geçici restorasyonlar hem hekime hem de hastaya daimi restorasyonun bitimi hakkında fikir verir. Geçici restorasyon üzerinde düzenlemeler yapılarak istenilen diş formunun belirlenmesi, hastanın dudak desteği ve fonasyonu hakkında yol gösterici olur (23).

Destek dişlerin periodontal sağlığının değerlendirilmesi ve karşıt dişlerden gelen oklüzal kuvvetlere karşı dayanıklılığı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlarlar (23).

Oklüzal ilişkilerin yeniden oluşturulması, dikey boyutun değiştirilmesinin planlandığı olgularda daimi protetik yaklaşımlar öncesi, dişeti konturu veya lokalizasyonunda değişiklik yapılması düşünüldüğünde bir tanı aracı olarak da tercih edilir (24).

Periodontal tedavi gereksinimi olan sabit protez hastalarında, geçici restorasyonun kullanım süresi büyük önem taşımaktadır. Bu restorasyonlar, dişeti sağlığını en iyi şekilde koruyup sürdürebilecek özellikte olmalıdır (2).

Geçici restorasyonların periodontal dokularla uyumlu olabilmesi için konturlarının doğal diş morfolojisine benzer şekilde tasarlanması ve marjinal kenarlarının dişeti dokusunu irrite etmeyecek uygunlukta olması gerekmektedir. Aşırı konveks ya da düz konturlar ile marjinal kenarları uzun olan restorasyonlar, dişetinde travmaya yol açarak inflamasyon, dişeti çekilmesi ve hipertrofik dişeti oluşumu gibi istenmeyen periodontal reaksiyonlara neden olabilir (8,25).

2.1. Geçici Restorasyonların Kullanım Alanları

2.1.1. Tam kuron restorasyonlar

Preparasyonu tamamlanan dişlerin dentin yüzeylerinin açık kalması, dişleri dış etkenlere karşı savunmasız hale getirmektedir. Bu nedenle tam kuron preparasyonu yapılan dişlere geçici restorasyon yapılması klinik açıdan büyük önem taşımaktadır. Özellikle posterior bölgede oklüzal fonksiyonun devamlılığı, diş migrasyonunun önüne geçilmesi, eklem ve nöromüsküler yapının fizyolojik fonksiyonlarının korunabilmesi için geçici restorasyon yapılması gerekmektedir (2,12). Ayrıca geçici restorasyon ile oklüzal temasın oluşturulması, optimal yapılmış proksimal kontaklar hastanın çiğneme fonksiyonunu yerine getirmesini sağlarken gıda sıkışmasını önleyerek dişeti sağlığının korunmasına da yardımcı olur (26).

2.1.2. Laminate veneerler

Laminate veneer restorasyonlarda genellikle minimal preparasyon yapılmasına rağmen, prepare edilmiş diş yüzeyini bakteri invazyonunun engellenmesi, termal ve kimyasal uyaranlara karşı korunması, hastanın konforunun sağlanması, estetik beklentilerin karşılanması ve oluşabilecek dentin hassasiyetinin önlenmesi açısından geçici restorasyonların uygulanması önemlidir (2). Hastadan alınan fotoğraf, video gibi görsellerle teknisyen tarafından hazırlanan tanısal mum modelleme ile ağız içerisinde anında geçici restorasyon uygulanabilir. Bu sayede hekim tüm estetik parametreleri, dentolabial ve fonetik analizleri de en iyi şekilde yapabilir (7).

Bu tür restorasyonlar için hazırlanacak olan geçici restorasyonlarda yetersiz tutuculuk gözlenebildiğinden, simantasyonda kullanılacak materyali iyi seçmek gerekir. Kullanılacak olan simanın preparasyon alanından kolay ve etkin bir şekilde

uzaklaştırılması gerekir. Preparasyon alanında kalan siman artıkları laminate veneerin simantasyonu sırasında bonding işlemini etkileyecektir (27–29).

Dumfahrt ve Göbel (27) geçici siman seçiminde öjenol içeren materyallerin kullanılmaması gerektiğini belirtmiş ve diş renginde rezin bazlı simanların tercih edilmesini önermiştir. Elledge ve ark. (30) prepare edilen saha üzerinde retansiyon alanları açılarak tutuculuğun arttırılmasını önermektedir.

2.1.3. İnley ve onley restorasyonlar

Teknolojinin diş hekimliğinde de hızla ilerlemesi ve adeziv sistemlerin gelişmesi ile seramik inley ve onley restorasyonların kullanımı artmıştır. Bu tür restorasyonların kavite hazırlığında pulpaya yaklaşıma bağlı olarak pulpanın korunması ve hastada gelişebilecek termal ya da mekanik hassasiyetin önlenmesi adına geçici restorasyonların uygulanması klinik açıdan gereklidir. Yapılan geçici restorasyonlar, hazırlanacak porselen restorasyonların kalınlığının yeterli olup olmadığının kontrolü, arklar arası ilişkinin devamlılığı, dışı dış etkenlerden koruması gibi avantajlar sunar. Ayrıca kavite hazırlığından sonra desteksiz ve ince kalan diş dokularının fonksiyon esnasında kırılma riski bulunmasından dolayı hazırlanan geçici restorasyon ile kırılma riski de elimine edilmiş olur (31).

2.1.4. İmplant üstü protetik tedavide uygulanan geçici restorasyonlar

İmplant Desteksiz Geçici Restorasyonlar

İmplant cerrahisini takiben, kalıcı protez aşamasına kadar olan geçiş döneminde hastanın fonksiyonel yeterliliğini ve estetik beklentilerini sağlamak üzere planlanan sabit ya da hareketli geçici restorasyonlardır (32).

İmplant destekli olmayan sabit geçici restorasyonlar hem implantlara hem de doğal dişlere yönelik protetik tedavi planlandığında, preparasyon uygulanmış dişlerden destek alınarak, yumuşak dokulara ve implant iyileşme başlıklarına temas etmeyecek şekilde tasarlanırlar. Bu tür restorasyonların yumuşak doku üzerinde istenmeyen baskı kuvvetlerini elimine etmesi en büyük avantajlarından (7).

İmplant Destekli Geçici Restorasyonlar

Geçici restorasyonlar, implant yerleştirme işlemi sırasında ya da uygun bir iyileşme sürecinin ardından klinik olarak uygulanabilmektedir. "İmmediat restorasyon" terimi; implant yerleştirilmesinden sonraki 48 saat içerisinde, restorasyonun karşıt dişlerle tam oklüzal temas kurmadan implant üzerine sabitlenmesini tanımlarken, "immediat yükleme" kavramı protezin aynı süre içerisinde oklüzal temas sağlanarak yapılan protez uygulamalarını ifade etmektedir. Restorasyonun ya da yüklemenin zamanlamasına ilişkin klinik karar ise, implantın primer stabilitesi, mevcut kemik kalitesi ile çevre sert ve yumuşak dokuların durumu gibi faktörler dikkate alınarak belirlenmektedir (33).

Hastanın estetik, fonetik ve fonksiyonel ihtiyaçlarını karşılayan implant destekli geçici restorasyonlar aynı zamanda yumuşak doku şekillendirmesi ve ideal dişeti çıkış profilinin oluşturulmasında da önemli role sahiptir (34).

Geçici restorasyonlar implantların yerleştirilmesinin ardından geçen süreye bağlı olarak gecikmiş yükleme, immediat yükleme ve erken yükleme şeklinde yapılabilmektedir (35). İmplant yerleştirilmesinin ardından 2-4 ay içerisinde yapılan geçici restorasyonlar gecikmiş yükleme olarak adlandırılır. İlgili implant sistemlerinde metal veya plastik materyalden üretilmiş geçici dayanak ile geçici restorasyon implantlar üzerine vidalanarak yerleştirilmekte ve restorasyon üzerinde düzenlemeler gerçekleştirilebilmektedir. İstenilen bölgelere kompozit rezin materyali ile ilave yapılarak, yumuşak dokunun çıkış profili ve interproksimal alanların şekillenmesi sağlanır (7).

Jemt (36) tarafından yapılan bir araştırmada, implant üzerinin açılmasını takiben iyileşme başlığına geçici restorasyon uygulanmasının, uygulanmadığı durumlara göre implant çevresi yumuşak doku onarımı üzerinde daha olumlu bir etki oluşturduğu rapor edilmiştir.

İmplant yerleştirme ve yükleme protokolleri ilk tedavi protokolüne göre implant yerleştirilmesini takiben 3 ila 6 ay bekleme süresinden sonra yüklemeyi önermekteydi. Teknolojinin hızlı gelişimi, implant yüzey yapılarındaki değişimler ve yara yeri iyileşmesinin anlaşılması ile bu protokollerde güncelleme gereksinimi duyulmuştur. Özellikle son yıllarda hastaların implant tedavisine olan yoğun ilgisi ve hasta beklentilerinin karşılanabilmesi amacıyla geçici protezler ve immediat yükleme protokollerinin daha kısa zaman diliminde gerçekleşmesi önem kazanmıştır (37).

İmmediat yükleme protokolü, genel olarak implant yerleştirilmesini takiben ilk 48 saat içerisinde uygulanmaktadır. Bununla birlikte, Avrupa Osteointegrasyon Birliği (European Association for Osseointegration), bu sürenin 72 saate kadar uzayabileceğini belirtmektedir (38–40).

Tam dişsizlik vakalarında immediat yükleme protokolü kapsamında, hastanın mevcut total protezi, geçici dayanaklar aracılığıyla vida tutuculu geçici sabit hibrit proteze dönüştürülebilmektedir. İmplantlar üzerine yerleştirilen geçici dayanaklar, mevcut protez üzerinde uygun şekilde modifiye edilerek, kimyasal polimerize akrilik rezin materyali ile proteze sabitlenmektedir (33).

Estetiğin ön planda olduğu anterior bölge immediat yüklemede laboratuvarda hazırlanan ya da CAD-CAM ile kişisel olarak üretilen geçici restorasyonlar kullanılmaktadır. Bu tür restorasyonlar servikal dişeti şekillendirmesi, implant çevresi yumuşak dokuyu desteklemesi ve tüm iyileşme süresince kök formunu ve papil şeklini devam ettirmesi açısından önemlidir. İmplant üstü geçici restorasyonlar uygun servikal ve kuron konturlarına göre hazırlandığında dişeti ve interdental papil oluşumuna, periimplanter dokuların desteklenmesine de olanak sağlar (41,42).

2.2. Geçici Restorasyonların Sınıflaması

Geçici restorasyonların hasta ağızında kullanım süresi, vakaya uygun yapım teknikleri ve en uygun materyal seçiminin yapılabilmesi için ayrı ayrı kategorize edilerek sınıflandırılmıştır.

Geçici restorasyonlar;

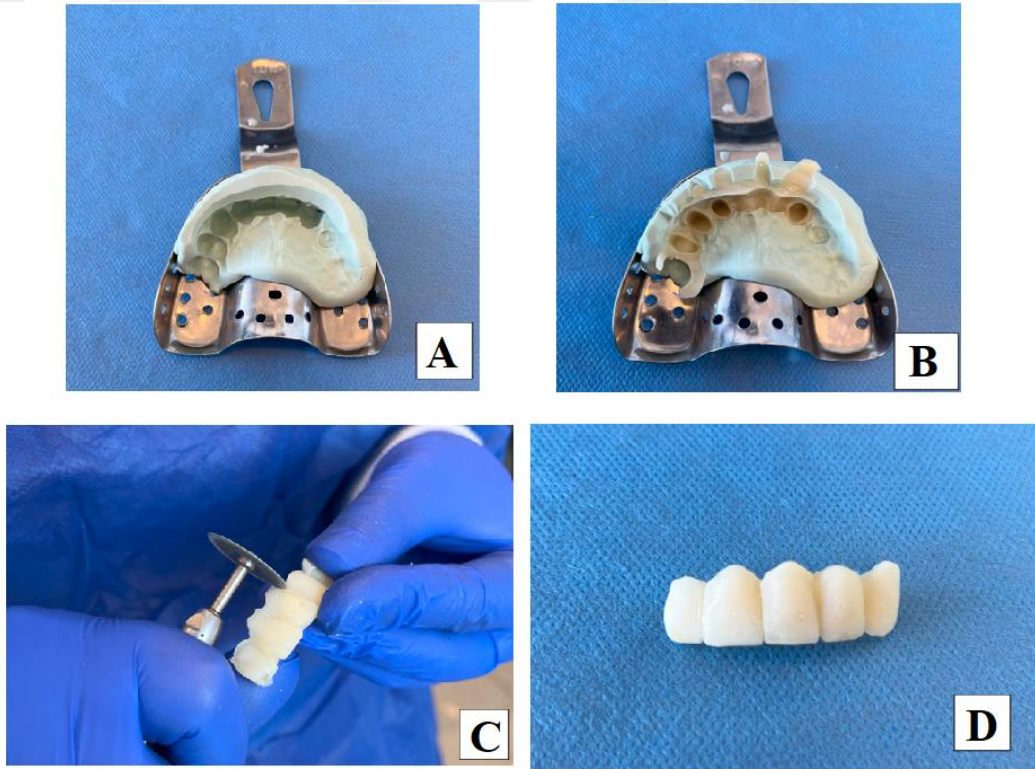
- Üretim tekniklerine,
- Kullanım sürelerine,
- Kullanılan materyallere göre sınıflandırılmaktadır (43).

2.1.1. Üretim Tekniklerine Göre Geçici Restorasyon Sınıflaması

Klinik ve/veya laboratuvar ortamında gerçekleşen geçici restorasyon üretim teknikleri şunlardır;

Direkt Teknik

Klinik ortamında ağız içerisinde geçici restorasyon yapımına olanak sağlayan bu teknikte preparasyona başlamadan önce restorasyon bölgesinden alınan ölçü ile hastanın mevcut dişinin negatifi elde edilir. Prepare dişlere ince bir tabaka izolasyon maddesi (vazelin) sürülür. İlk alınan ölçü içerisinde preparasyon alanına rezin esaslı geçici restorasyon materyali konulur ve polimerize olmadan ağız içerisine yerleştirilir. Bir süre beklendikten sonra ölçü ağızdan çıkartılır ve diş formundaki rezin üzerinden fazlalıklar uzaklaştırılıp tekrar ağza yerleştirilir. Polimerizasyonun tamamlanmasını beklemeden ölçünün ağızdan çıkarılmasındaki amaç polimerizasyon sırasında açığa çıkan ısının pulpal ve yumuşak dokulara zarar vermesinin önüne geçmek ve olası retantif bölgelerden çıkarılmasını kolaylaştırmaktır (5,43) (Şekil 1).



Şekil 1. Direkt yöntemle geçici restorasyon aşamaları A) İlk ölçünün alınması B) Ağızdan çıkarılan geçici rezin materyali C) Geçici restorasyonun tesviye ve polisaj işlemleri D) Direkt teknikle üretilen geçici restorasyonun son hali.

Geçici restorasyon materyali olarak özellikle polimetilmetakrilat (PMMA) ve polietilmetakrilat (PEMA) kullanıldığı durumlarda diş üzerinde polimerizasyonun sonlanmasının beklenildiği durumlarda dişin soğutulması gerekmektedir. PMMA'nın

pulpada 7°C'ye kadar ısı artışına sebep olduğu bildirilmektedir. Bu amaçla polimerizasyon aşamasında oluşacak ısı artışını azaltabilmek için; polimerizasyonun başlangıç aşamasında geçici restorasyonu ağızdan çıkarma ve polimerizasyonun ağız dışında tamamlanması, hava-su spreyi ile soğutma ve su ile yıkama yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak ekzotermik reaksiyon sonucu oluşan ısı artışı 4°C'nin altına indirilebilmektedir (44). Son aşama olarak polimerize olmuş geçici restorasyonun tesviye ve polisajı yapılır (3,4,31).

Direk tekniğin avantajları

1. Geçici restorasyonun yapımı için ekstra bir randevuya gerek yoktur.
2. Geçici restorasyon takılana kadar geçen sürede hastanın ağrı ve/veya hassasiyeti olmaz (5).

Direkt tekniğin dezavantajları

1. Yapım aşaması hassasiyet gerektirir.
2. Metakrilat türevi geçici restorasyon materyallerinin kullanımı, pulpa üzerinde ısısal ve kimyasal uyaranlara bağlı olumsuz etkilere neden olabilir.
3. Uygun marjinal uyum sağlanamayabilir.
4. Geçici restorasyon materyalinin polimerizasyonu sırasında gerçekleşen ekzotermik reaksiyona bağlı termal ısı artışı ile, polimerizasyonu tamamlanmamış materyalde bulunan serbest monomer ve kimyasal bileşenlerin pulpa ve çevre dokularda irritasyona neden olabilir (3,5).

İndirekt Teknik

Preparasyon öncesi ve sonrasında hastadan alınan ölçülerde elde edilen modeller üzerinde laboratuvar ortamında restorasyonun hazırlanması esasına dayanan bu teknikte; prepare diş bölgesinin ve karşıt arkın ölçüsü alınarak elde edilen model üzerinde geçici restorasyon hazırlanabilir. Diğer bir indirekt teknikte ise; alçı model üzerinde istenilen ve büyüklükte mum örnek oluşturulur, mum örneğin bulunduğu alçı model üzerinden hidrokolloid ölçü maddesi ile tekrar ölçü alınır ve mum uzaklaştırılır. Bu işlemi takiben preparasyon yapılan bölgeye geçici restorasyon materyali konulur ve ölçü modele yeniden yerleştirilir. Restorasyon materyalinin polimerizasyonunun tamamlanması ile gerekli tesviye ve polisaj işlemleri yapılır (4,45).

İndirekt tekniğin avantajları

1. Çok üyeli geçici restorasyonlar kolaylıkla yapılabilir.
2. Geçici restorasyonun model üzerinden uzaklaştırılması esnasında, restorasyonun yerine modelin esnetilmesi ile daha iyi kenar uyumu elde edilebilir.
3. Son ölçüden önce preparasyon bölgelerinin (giriş yolu, tutuculuk vb.) incelenmesine imkan sağlar.
4. Tekrar kullanıma olanak sağlayan elastik modelin, polimerizasyon büzülmesi sonucu oluşan marjinal uyumsuzlukların giderilmesine olanak sağlamasıdır (2,46).

İndirekt tekniğin dezavantajları

1. Alçı modellerin esneme dirençlerinin elastik modellerden daha az olması sebebiyle iyi izolasyon yapılmayan tutucu bölgelerinde adaptasyon sorunları oluşabilir.
2. Maliyeti nispeten yüksektir (5).

Polimerizasyon sırasında %8 oranında büzülme gösteren PMMA'nın ağız içerisinde direkt teknikle yapımı marjinal uyumsuzluklara sebep olacağından indirekt teknik tercih edilmelidir (2).

İndirekt tekniğin direk tekniğe göre avantajları

1. Geçici restorasyonun alçı model üzerinde tamamlanması polimerizasyon büzülmesi ve distorsiyon riskini en aza indirir.
2. Geçici restorasyonun polimerizasyonu ağız dışında gerçekleştiği için diş ve çevre dokular ile artık monomerin teması olmayacağından pulpal ve yumuşak dokulardaki kimyasal irritasyon en az düzeyde gerçekleşir.
3. Polimerizasyonun ekzotermik reaksiyon göstermesi ile oluşan ısı direkt teknikte geri dönüşümsüz pulpa harabiyetine neden olabilir. İndirekt teknik ile bunun önüne geçilmiş olur.
4. Polimerize olmamış rezin kaynaklı oluşan hidrokarbonların hasta tarafından aspire etmesi elimine edilir.
5. Direkt tekniğe göre marjinal uyumları daha iyidir.
6. Yapımı direkt tekniğe göre daha kolaydır (11,47).

Direkt-indirekt Teknik

Geçici restorasyonun iç yüzeyinin direkt; dış yüzeyinin ise indirekt şekilde elde edildiği bu teknik daha az tercih edilmektedir. Preparasyon yapılmadan önce alınan ölçüden elde edilen modele transparan propilen plaklar ile geçici restorasyonun dış yüzeyini oluşturacak bir matriks hazırlanır. Bu matriks kullanılarak indirekt teknik ile geçici restorasyonun dış yüzeyleri hazırlanır. Dış preparasyonunu takiben, matriks içerisine geçici restorasyon materyali yerleştirilir ve direkt teknikteki gibi matriks prepare edilen dişler üzerine yerleştirilerek geçici restorasyonun iç yüzeyleri hazırlanır. Transparan tabaka rezin materyal polimerize olduktan sonra geçici restorasyonun üzerinden uzaklaştırılır (4,31).

Direkt- İndirekt tekniğin avantajları

1. Direk tekniğin aksine geçici restorasyon materyalinin kötü koku ve tadı hastayı rahatsız etmez.
2. Polimerizasyon aşamasında ortaya çıkan ısı kaynaklı pulpa ve çevre dokuların irritasyonun önüne geçilir.
3. Hastanın koltukta geçirdiği süre daha azdır.
4. En uygun marjinal adaptasyon sağlanır (2,15).

Direkt- İndirekt Tekniğin Dezavantajları

1. Direkt tekniğe göre yapım aşamasının daha uzundur (31).

2.1.2. Kullanım Sürelerine Göre Geçici Restorasyon Sınıflaması

Kısa Süreli Geçici Restorasyonlar

Kısa süreli geçici restorasyonlar; oklüzal ve proksimal kontakt devamlılığı, dentin ve pulpa dokusunun korunması, estetik, diş migrasyonun önüne geçilmesi ve periodontal sağlığın korunması amacıyla hazırlanmaktadır (2).

Basit tekniklerle kısa zaman diliminde hazırlanan restorasyonlar geçici siman ile simante edilirler. Preparasyonu tamamlanan özellikle vital dişler çevresel uyaranlara karşı hassasiyet geliştirebileceğinden preparasyon sonrası aynı seansta geçici restorasyonların yapılması gerekmektedir (2,11,48).

Uzun Süreli Geçici Restorasyonlar

Kısa süreli geçici restorasyonların sağladığı temel işlevlere ek olarak uzun süreli geçici restorasyonlar; temporomandibular eklem (TME) disfonksiyonlarının tedavisinde, implant uygulamaları gibi zaman alıcı tedavilerde ve oklüzal dikey boyutun yeniden düzenlenmesi gereken olgularda tedavi planlamasının başarısını ve öngörülebilirliğini desteklemek amacıyla tercih edilmektedir (11,26).

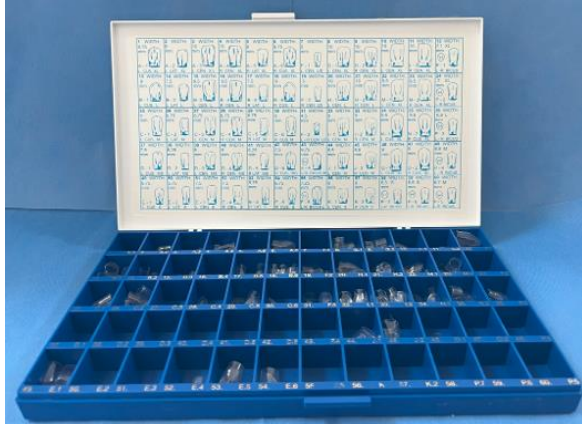
Uzun süreli kullanılacak olan geçici restorasyonun sertlik, kırılma direnci, yoğunluk gibi fiziksel ve mekanik özellikleri klinik başarı açısından büyük önem taşımaktadır. Akrilik esaslı restorasyonlarda düşük kırılma direncine bağlı olarak meydana gelen çatlak oluşumları, bu materyallerin klinik başarısızlıklarının başlıca nedenleri arasında yer almaktadır (46).

2.1.3. Kullanılan Materyallere Göre Geçici Restorasyon Sınıflaması

Hazır (Prefabrike) Geçici Restorasyonlar

Metal Restorasyonlar: Gümüş-kalay, bizmut-kalay, nikel-krom, alüminyum veya paslanmaz çelikten üretilen bu restorasyonlar, posterior dişlerde tercih edilirler. Mekanik özellikleri iyi olmasına rağmen estetik beklentiyi karşılamamaktadırlar. Preparasyonu tamamlanan dişlere uygun kuron seçimi yapıp; kole bölgesi, oklüzal temaslar ve kenar uyumu sağlandıktan sonra kuron içerisine rezin doldurularak restorasyon hazırlanır ve uygun siman ile simante edilir (49).

Selülöz Asetat Restorasyonlar: Her bir dişe uygun form ve ebatları bulunan bu restorasyonlar, şeffaf ve ince yapıdadırlar. Tek renk seçenekleri mevcuttur. Kole bölgesinin kesilip şekillendirilmesi ile prepare edilen dişe uyumlandırılır. Resin ile şekillendirilerek kullanılan bu restorasyonlar rezinin polimerizasyonu sağlandıktan sonra asetat kesilerek çıkartılır (6) (Şekil 2).



Şekil 2. Selülöz asetat geçici kuron materyali.

Polikarbonat Restorasyonlar: Polikarbonat materyalinin mikro cam fiber ile güçlendirilmesiyle üretilen bu restorasyonlar diğer hazır restorasyonlardan daha estetik ve doğal görünümde olmalarının yanında kırılma ve aşınma dirençleri de yüksektir. Piyasada kesici, kanin, küçükazı dişlere uygun farklı boyutları bulunmaktadır. Gerekli oklüzal uyumlandırma, iç yüzey ve marjinal adaptasyonun yapılmasının ardından diş ve diş eti izole edilerek kuron içerisine rezin doldurulup diş üzerine yerleştirilir ve polimerizasyon sonrası polisaj işlemlerinin ardından restorasyon hazır hale getirilir (11).

Kişiyeye Özel Geçici Restorasyonlar

Geleneksel olarak rezin esaslı materyaller ya da otopolimerize akrilik rezinlerden yapılmaktadırlar. Bu amaçla; PMMA, PEMA, bis-akrilik kompozit rezin, epimin rezin, ışıkla polimerize olan rezinler ve ısı ile polimerize rezinler kullanılmaktadır (13).

Polimetil Metakrilat

PMMA 1940'lı yıllardan itibaren kullanılan ve geçici restorasyonda en çok tercih edilen materyaldir (11). Amorf yapı sergileyen PMMA toz ve likitin karıştırılmasıyla elde edilir. Şeffaf bir materyaldir. Materyalin toz kısmında polimer ya da dibutil fitalat yer alırken, likit kısmını metilmetakrilat oluşturmaktadır. Polimerizasyon, tozun içerisinde bulunan benzoil peroksit ile likit içerisindeki dimetil p-toluidin karıştırılması ile gerçekleşir (26,50).

Üstün fiziksel özellikleri bulunan bu materyal; yüksek dayanıklılığa sahip, estetik, renk stabilitesi ve marjinal uyumu iyi, polisajı kolay ve maliyeti düşüktür.

Metakrilat rezinler arasında Knoop sertlik değeri 18-20 KHN arasında olup en sert rezindir (50,51) (Şekil 3).



Şekil 3. Polimetilmetakrilat geçici kuron materyali.

Tüm rezinlerde olduğu gibi PMMA da bir miktar su imbibisyonu göstermektedir. Bu durum restorasyonun zamanla renklenmesine ve yumuşamasına sebep olur (51).

PMMA polimerizasyonu ekzotermik reaksiyon olup açığa çıkan ısı pulpal dokulara zarar verdiğiinden dolayı indirekt teknik uygulamalarında kullanılması önerilir. Ayrıca pulpa ve yumuşak dokuları irrite eden artık monomer açığa çıkartması ve polimerizasyon büzülmesinin fazla olması en büyük dezavantajlarıdır. Aşınmaya karşı düşük direnç ve keskin bir kokuya sahip olmaları da materyalin dezavantajları arasında yer almaktadır (8,26,48,49).

Polietil Metakrilat

Metil metakrilata alternatif olarak 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanan PEMA (46), diş hekimliğinde kullanılan metakrilat grupları arasında PMMA'dan sonra en sert olan materyaldir. Polimerizasyon sırasında pulpal ve çevre yumuşak dokularda oluşturdıkları ekzotermik reaksiyonda açığa çıkan ısı PMMA'dan daha azdır (48). PEMA'ların artık monomer salınımı ve polimerizasyon büzülmesi daha az olup dokular tarafından nispeten daha iyi tolere edilir. Sertlik, aşınma dirençleri ve renk stabiliteleri PMMA ile kıyaslandığında daha azdır (25,48). Tercihen kısa süreli geçici restorasyonlarda kullanımı daha uygundur (6,46).

Bis-akrilik Kompozit Rezin

Geçici restorasyon yapımı için geliştirilen Bis-akril kompozit rezinler Bis- A- glisidil metakrilat (Bis-GMA) ya da Bowen rezinler olarak da adlandırılırlar. Bis-fenol A ve glisidil metakrilatın bileşiminden oluşmaktadır. Bowen, 1960’larda epoksi rezinin restoratif bir materyal olarak kullanımını önermiştir. Epoksi rezinin polimerizasyonun yavaş olması daha hızlı polimerize olan bir monomer arayışına yol açmıştır. Bunun üzerine Bowen Bis-GMA monomerini sentezlemiştir. Bis-GMA viskoz bir likittir ve hızlı polimerize olur. Bu temel monomer diğer düşük vizkozitedeki monomerlerin ilavesi ile klinik kullanıma hazır hale getirilmiştir. Vücut ısısına yakın bir ısıya sahip bu materyalin kokusu ve tadı yoktur. Radyoopaktır. Bis-akril kompozit rezinlerin metakrilatlara göre birtakım üstünlükleri vardır. Bunlar; daha düşük polimerizasyon ısısına ve büzülmesine sahip olmaları, artık monomer içermemeleri, kenar uyumlarının iyi olması, iyi aşınma direnci, kolay tamir edilebilmesi ve kullanım kolaylığı olarak sıralanabilir. Dezavantajları ise; yüzey sertliğinin düşük olması, kırılabilirliği ve yüksek maliyetidir. Eğilme ve abrazyona direncinin yüksek olması sebebiyle uzun köprülerde geçici restorasyon materyali olarak kullanılması önerilmektedir (11,26,48,52) (Şekil 4).



Şekil 4. Bis-akrilik kompozit rezin geçici kuran materyali.

Epimin Rezin

Bileşiminde epoksi rezin bulunan epimin rezin, etilimin türevi bir plastiktir. Oksitin imin grubu tarafından oluşan epimin rezinin epoksi rezinden ayıran belirgin farkı budur. Bis- fenolün etilen imin türevi olan bir pat ve benzen sülfonik asit

esterinde oluşan katalizörden meydana gelir. Pat ve katalizörün karıştırılmasıyla çapraz bağlanma ile polimerizasyonu gerçekleşir. Esnek yapıda bulunan epimin rezin, karıştırıldıktan 15 dakika sonra oluşan çapraz bağlanmalar ile rijit bir form kazanır. Epimin katalizörü yumuşak dokuda aşırı duyarlılığa sebep olur. Polimerizasyon sonucu artık monomer içermemeleri, ekzotermik reaksiyon sonrası oluşan ısı artışının minimal düzeyde olması, kısa sürede sertleşmesi, pulpal irritasyonun az olması gibi avantajları bulunmaktadır. Aşınma, gerilme ve sıkışma dirençlerinin az olması, renk seçiminin az ve renk stabilitesinin yetersiz olması dezavantajlarındandır (25,53).

Işıklı Polimerize Olan Rezinler

1980'li yıllarda kullanılmaya başlanan ışıkla polimerize olan rezinler, yapısında üretan dimetakrilat (UDMA) içeren mikro partiküllü kompozit rezinlerdir. Polimerizasyonu başlatabilmek için kamforokinon/amin foto başlatıcı içerirler (11,50,54).

Bu rezinlerin kullanımında, pulpayı korumak ve komşu dişlerin oluşturduğu tutucu alanlardan kuru rahatça çıkarabilmek amacıyla; indirekt metot tercih edilmektedir. Işığın uygulama süresi seçilen renge, materyalin kalınlığına ve ışık kaynağına bağlı olmakla birlikte kuru her yüzeyine 40-60 saniye ışık uygulanması yeterlidir (48).

Mikro partiküllü yapısı sayesinde aşınma direnci ve yüzey sertliği iyi, manipülasyonu kolay ve polimerizasyon bütülmesi azdır. Estetik bir materyaldir. Ayrıca artık monomer içermediği için toksik değildir (11,54).

Göreceli olarak daha maliyetli olan bu materyallerin, yüksek kırılma kırılma göstermeleri ve cilalanabilme özelliklerinin sınırlı olması önemli dezavantajlarındandır (11).

Isı ile Polimerize Olan Rezinler

Yüksek mekanik dayanıklılığa sahip bu rezin materyallerin uzun süreli geçici restorasyonların hazırlanmasında kullanımı önerilmektedir. Estetik görünüm sunmaları ve yapısal dirençlerinin yüksek olması, bu materyallerin başlıca avantajları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, ısı ile polimerize edilen rezinlerle geçici restorasyonların hazırlanması, özel ekipman kullanımını zorunlu kılmakta ve daha uzun süreli işlemler gerektirmektedir (26,53,55).

2.3. Geçici Kuron-Köprü Restorasyonlarının Mekanik Özellikleri

2.3.1. Materyallerin Mekanik Özellikleri

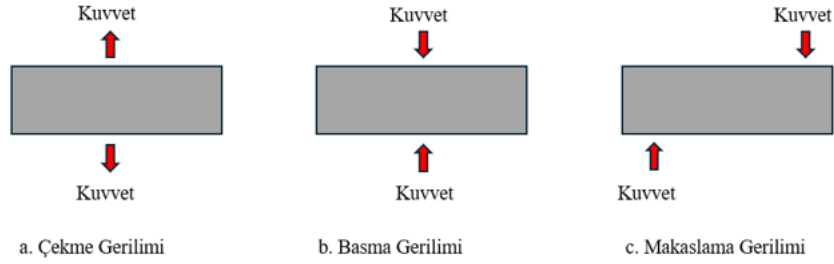
Geçici restorasyonların kullanım süresi göz önünde bulundurulduğunda hasta konforu ve geçici restorasyonların işlevini nasıl yerine getirdiği önem kazanmaktadır. Hastaların çiğneme fonksiyonlarını etkin bir biçimde sürdürebilmesi ve TME ile nöromüsküler sistem arasındaki fizyolojik ilişkinin devamlılığının sağlanabilmesi için, yeterli mekanik ve fiziksel özelliklere sahip restoratif materyallerin kullanımı gereklidir. Fonksiyonel yüklere karşı direnç, materyal seçiminde önemli ve değerlendirilmesi gereken bir mekanik özelliktir. Geçici restorasyonlar ağız içinde gerilim, sıkışma, makaslama ve eğilme kuvvetlerinin yanı sıra ağız ortamında değişen termal ve kimyasal birçok etken altında çiğneme kuvvetlerine maruz kaldıklarından kullanım süresince dayanıklılığının öngörülebilmesi için mekanik özelliklerin iyi bilinmesi gerekir.

Gerilim (Stress)

Bir materyale harici bir kuvvet uygulandığında, bu kuvvete karşı materyal içerisinde oluşan eşit büyüklükte ancak zıt yöndeki iç kuvvet 'gerilim' olarak tanımlanır. Uygulanan kuvvetin yönüne bağlı olarak farklı gerilim türleri ortaya çıkmaktadır (56) (Şekil 5).

- a. *Çekme Gerilimi (Tension Stress)*: Aynı doğrultuda fakat zıt yönde uygulanan, materyalin uzamasına neden olacak kuvvetlere karşı koyan iç kuvvettir (56,57).
- b. *Basma Gerilimi (Compressive Stress)*: Aynı doğrultuda uygulanan, materyali sıkıştırmak isteyen iki farklı kuvvetin neden olduğu deformasyona karşı koyan kuvvettir (56,57).
- c. *Makaslama Gerilimi (Shear Stress)*: Farklı düzlemde ve zıt yönde birbirine paralel bir materyali diğer materyal üzerinde kaydırmaya yönelik kuvvete karşı koyan kuvvettir (56,57).
- d. *Kompleks Gerilimler*: Materyale tek kuvvet uygulamanın çok zor olduğu klinik ortamında, gerilimlerden biri diğerine göre daha baskın olabilir. Fakat mutlaka

birden fazla gerilim oluşmaktadır ve bu duruma kompleks gerilim adı verilir (50).



Şekil 5. Kuvvet karşısında materyalde oluşan gerilim tipleri.

Gerilme (Strain)

Kuvvet uygulanması ile materyalde meydana gelen boyutsal değişimin materyalin kuvvet uygulanmadan önceki orijinal boyuta oranına gerilme denir. Kısaca birim boyutta meydana gelen uzunluk değişimidir (51).

Dayanıklılık (Strenght)

Materyalin kırılması için gereken en yüksek gerilim miktarıdır (50).

- Kırılma Dayanımı (Fracture strength):* Kuvvet uygulanan materyalin kırıldığı andaki gerilim miktarıdır (56).
- Yorgunluk Dayanımı (Fatigue strength):* Materyalin kısa süreli küçük ve siklik darbelere karşı gösterdiği dirençtir. Yükün Bir kez uygulanması materyalde kırılmaya sebep olmaz iken tekrarlanarak uygulanması sonucu materyalin dayanıklılığı azalabilir ve ani kırığa neden olabilir. Bu duruma yorgunluk dayanımı adı verilir (51).
- Bükülme Dayanımı (Flexural Strength):* İki ucu desteklenen bir yapının orta noktasından uygulanan kuvvet altında gösterdiği dayanımdır. Kırılma ile ilişkili mekanik bir özellik olan bükülme dayanımı çekme kuvvetlerine karşı materyalin dayanımının bir ölçüsüdür. Yüksek bükülme dayanımına sahip materyaller ile elde edilen restorasyonların kırılmaya karşı dirençleri daha fazladır (58).

Elastik modülü (Young Modulus)

Elastik modülü olarak da bilinen Young Modülü, bir malzemenin elastiklik sınırları içerisindeki rijiditesini ifade eden bir ölçüttür. Bir malzemeye gerilme ya da basma kuvveti uygulandığında, bu modül malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç seviyesini belirtir (51).

Sertlik (Hardness)

Bir materyalin aşınma ve abrazyona karşı direnç gösterme kapasitesidir (56). Diş hekimliğinde, bir materyalin sertlik düzeyi, değerlendirilmesi gereken önemli bir özelliktir. Materyalin sertliğinin, karışık dişlerde istenmeyen düzeyde aşınmaya yol açmayacak aynı zamanda kendi yapısında da aşınmaya neden olmayacak bir seviyede olması gerekmektedir (59).

2.4. Mekanik Testler

Dental materyallerin mekanik özellikleri klinik ortamında ve laboratuvar şartlarında farklı mekanik testler kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Materyalin kuvvet ya da basınç altındaki deformasyonunu kategorize etmek amacıyla kullanılan mekanik testler statik ve dinamik testler olarak ikiye ayrılabilir. Statik testler, sabit bir kuvvet altında materyalde gözlenen deformasyon ve hasarı belirtmek için kullanılırken; dinamik testler ise tekrarlayan kuvvetler altında materyalde oluşan deformasyonları ölçmek için kullanılan test yöntemleridir. Literatürde sıklıkla kullanılan çekme testleri (tensile test), basma testi, eğme testi (bowing test), sürünme testi (creeping test), bükülme testi (bending test), sertlik testi (hardness test) statik testlere; darbe testi (impact test) ve yorulma testleri (fatigue test) ise dinamik testlere örnektir (60).

2.4.1. Bükülme testi

Geçici restorasyonlar kullanımı süresince çiğneme kuvvetlerine karşı koyabilecek dayanıklılığa sahip olmalıdır. Özellikle gövde sayısının fazla olduğu durumlarda, dikey boyut rehabilitasyonu yapılması planlanan uzun süreli tedavi gerektiren vakalarda, implant tedavisi ve TME rahatsızlığında, bruksizm gibi hastanın iradesi dışında gelişen parafonksiyonel alışkanlıkların protez üzerinde aşırı yük

oluşturduğu durumlarda geçici restorasyonların fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için mekanik dayanımlarının yeterli olması, kuvvetlere karşı dirençli olmaları gerekmektedir (2,61).

Literatürde geçmişten günümüze kullanılan farklı geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde bükülme testi sıklıkla tercih edilen yöntemler arasındadır. Materyalde aynı anda basma, çekme ve makaslama kuvvetleri oluşturan bu test yöntemi ile güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilir. Test sonucunda her iki ucu desteklenen bir materyalin kuvvet altında gösterdiği dayanım ölçülmüş olur (58,62).

Materyallerin bükülme dayanımları farklı testlerle ölçülebilmektedir (60). Bunlar:

1. Tek eksenli bükülme testleri
 - a. Üç nokta yükleme testi (three point bending)
 - b. Dört nokta yükleme testi (four point bending)

2. İki eksenli bükülme testleri

1. Tek eksenli bükülme testleri

- a. Üç nokta yükleme testi (three point bending)

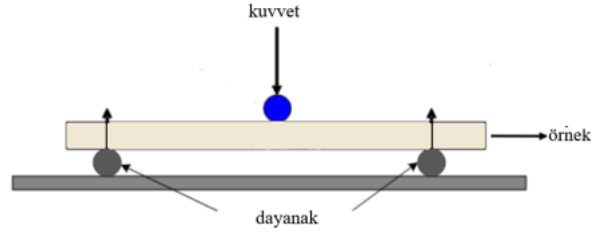
Dikdörtgen şeklinde hazırlanan örnekler iki dayanak üzerine yerleştirilir ve örneğin orta noktasından uygulanan statik bir yük bükülme ile dayanımları hesaplanır (Şekil 6). Üç-nokta bükülme testi olarak adlandırılan bu test aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

Formülde σ bükülme dayanıklılığını, l destekler arası mesafeyi, b örneğin genişliğini, d örneğin kalınlığını ve P kırılma esnasındaki maksimum yükü tanımlamaktadır (50,63).

Yük uygulaması ile dikdörtgen örnek bükülmeye başlar ve örneğin üst yüzeyinde boy kısalması, alt yüzeyinde ise boy uzaması gözlenir. Bu durum örneğin üst yüzeyinde kompresif stresler oluştururken alt yüzeyinde gerilme stresi meydana getirir. Örnekte oluşan stres ve gerinimlerin sıfır olduğu nötral eksen bölgesinde ise örnek boyutunda hiçbir değişiklik gözlenmez (50,58).

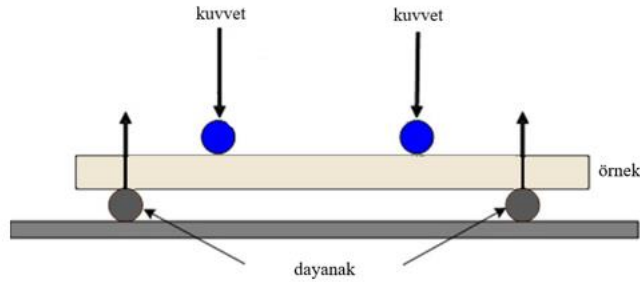
Üç nokta bükülme dayanıklılığı testi dental rezinler için Amerikan Dişhekimleri Birliği Diş Malzemeleri, Aletleri ve Ekipmanları Konseyi (*American Dental Association Council of Dental Materials, Instruments and Equipment*) (ANSI/ADA) şartnamesi No. 12 Uluslararası Standardizasyon Örgütü (*International Organization for Standardization, ISO*) 1567'nin bir bölümüdür (63).



Şekil 6. 3 Nokta bükülme testinin şematik görünümü (56).

b. Dört nokta bükülme testi (four point bending)

İki dayanak üzerine yerleştirilen dikdörtgen şeklindeki örneklerin orta kısmına iki noktadan yük uygulanması ile bükülme dayanımının hesaplandığı test yöntemidir. Yükün uygulanacağı noktalar dayanaklar arasındaki uzaklığın $1/4$ ü kadar uzakta konumlanmalıdır (53) (Şekil 7).



Şekil 7. 4 Nokta bükülme testinin şematik görünümü (56).

2. İki eksenli bükülme testleri

Disk formunda hazırlanan örneklerin hem merkezine hem de diskin dış yüzeyinden simetrik olarak karşı kuvvetin uygulandığı test yöntemleridir. İki eksenli testler, disk şeklindeki örneklerin yüzey kusurlarından veya köşe ve kenarlarındaki defektlerden daha az etkilendiği için örneklerin bar şeklinde hazırlandığı tek eksenli testlere kıyasla daha güvenilir kabul edilmektedir (64). İki eksenli testler daha

güvenilir olmasına rağmen; ISO uygulanabilirliğinin daha kolay olması ve tekrarlanabilirliği nedeniyle 3 nokta bükülme testini standart olarak kabul etmiştir (65).

Geçici restorasyonların kırılma özelliklerinin belirlenmesinde elastik modülün, değerlendirilmesi gereken önemli mekanik parametreler arasında yer almaktadır. Elastik modül, gerilimin gerinmeye oranı olarak tanımlanmakta olup, birim gerinmeye karşılık gelen gerilme miktarı azaldıkça elastikiyet değeri de düşmektedir. Yüksek dayanım gösteren materyaller, buna paralel olarak yüksek elastik modül değerleri sergilemektedir (50).

Eğilme modülü, elastik modüle benzer şekilde malzemenin rijitliğiyle ilişkili bir parametre olmakla birlikte, tanımladığı mekanik davranış açısından farklılık göstermektedir. Elastik modül, bir malzemenin uygulanan gerilme altında elastik deformasyona karşı gösterdiği direnci ifade ederken; eğilme modülü, malzemenin bükülme yükleri altındaki deformasyonunu tanımlamaktadır. Her iki kavram mekanik açıdan yakın ilişkili olsa da aynı özelliği temsil etmemektedir. Bazı malzemelerde elastik modül ile eğilme modül değerleri birbirine oldukça yakın ya da eşit olabilmekte; ancak çoğu durumda bu iki parametre farklı büyüklükler olarak rapor edilmektedir (66).

Eğilme modül aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$E_f = \frac{Pl^3}{4bh^3d}$$

Formülde; E_f eğilme modülü, l destekler arası mesafeyi, b örneğin genişliğini, d örneğin kalınlığını, h maksimum bükülme miktarını ve P kırılma esnasındaki maksimum yükü tanımlar (63).

2.4.2. Sertlik testi

Katı bir malzemenin sertliği, sabit bir sıkıştırma kuvveti uygulandığında kalıcı bir şekil değişikliğine karşı direncinin bir ölçüsü olarak tanımlanabilir. Metaller, seramikler ve polimerlerin çoğunda sertlik, yüzeyin plastik deformasyonu ile ilgilidir (67). Yüzey sertliğini ölçmek amacıyla en yaygın olarak kullanılan yöntemler Barcol, Brinell, Rockwell, Shore A, Vickers ve Knoop testleridir. Bu testler arasındaki temel

fark, sertlik ölçümünde kullanılan girinti oluşturan uçların geometrik şekillerinin farklı olması ve sertliğin hesaplanma biçimleridir (50).

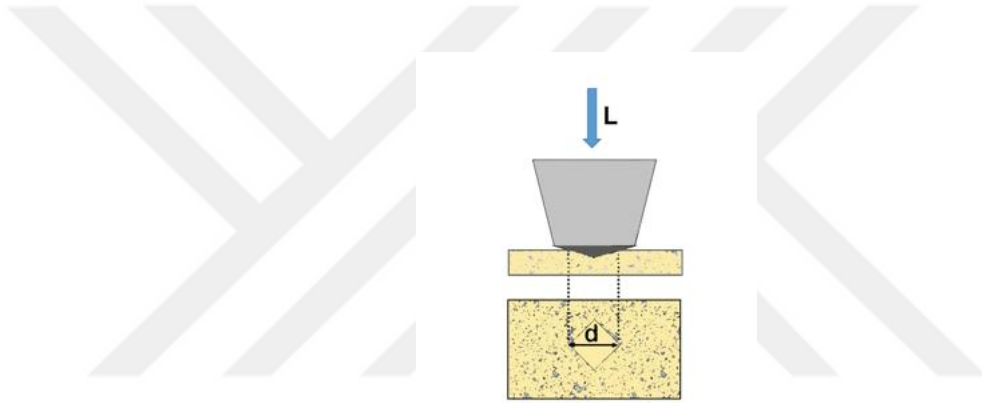
Sertliği ölçülecek materyalin yüzeyine, tepe açısı 136° olan kare tabanlı piramit şeklindeki elmas uç ile belirli bir kuvvet uygulanarak bir iz oluşturulur. Yük kaldırıldıktan sonra, oluşan kare biçimindeki izin köşegen uzunlukları ölçülerek değerlendirme yapılır. Vickers sertlik değeri VHN olarak adlandırılır (51) (Şekil 8).

VHN değeri şu formülle hesaplanmaktadır:

$$\text{VHN: } 1.8544 \times L/d^2$$

L: yük, kg cinsinden ölçülür

d: köşeden köşeye ölçülen diyagonal uzunluk, mm cinsinden ölçülür (67).



Şekil 8. Sertlik testinin şematik görünümü (67).

2.5. Dijital Üretim Yöntemleri

Son elli yıl içerisinde küresel ölçekte yaşanan teknolojik devrim, birçok alanda olduğu gibi diş hekimliğinde de yeni materyallerin ve gelişmiş sistemlerin kullanılmasını sağlamıştır. Diş hekimliğinde klinik uygulamalar ve laboratuvar süreçlerinde yüksek teknolojinin entegrasyonu "dijital iş akışı" olarak adlandırılmaktadır (68).

Eksiltmeli (Subtractive Manufacturing) ve Eklemeli Üretim Yöntemleri (Additive Manufacturing) dijital üretim sürecini oluşturmaktadır. Eksiltmeli üretim yöntemleri arasında yer alan CAD-CAM; seramik, kompozit, akrilik veya metal gibi blokların, bilgisayar ortamında oluşturulan tasarımlara dayanarak hassas freze makineleri ile işlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Eklemeli üretim yöntemi olan 3B yazıcı sistemleri ise, dijital verilerin kullanılmasıyla nesnelerin katmanlar halinde elde

edilmesi sürecidir. Bu iki üretim yöntemi arasındaki temel ayrım, CAD-CAM sisteminin mevcut malzemeyi aşındırarak şekillendirmesi, 3B yazıcıların ise malzemeyi katmanlar halinde üst üste ekleyerek oluşturmasıdır (69).

2.6. Eksiltmeli Üretim Yöntemleri (CAD-CAM)

2.6.1. CAD-CAM tarihçe

Bilgisayar destekli tasarım ve üretim teknolojisi, ilk olarak 1960'lı yıllarda havacılıkta ve endüstriyel alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeleri takiben, 1971 yılında Fransız diş hekimi Dr. François Duret, diş hekimliğinde kullanılmak üzere bir dental CAD-CAM sistemi geliştirmiştir. Dr. Duret, 1984 yılında ilk dental CAD-CAM restorasyonunu üretmiş ve daha sonra Sopha sistemini tasarlamıştır. Aynı dönemde İsviçreli Dr. Werner Mörmann, ilk ticari CAD-CAM sistemini geliştirerek Cerec sistemini piyasaya sunmuştur. Eş zamanlı olarak, Dr. Andersson 1983 yılında yüksek hassasiyetli dental kuronların üretimini mümkün kılan Procera sistemini geliştirmiştir. Bu teknolojinin ilk dönemlerinde yalnızca inley, onley, lamina veneer ve tek kuron üretimi gerçekleştirilebilirken, günümüzde sabit bölümlü protezlerden implant üst yapılarına ve cerrahi kılavuzlara, total ve parsiyel protezlere kadar çok çeşitli restorasyonların üretimi mümkün hale gelmiştir (70).

2.6.2. CAD-CAM sisteminin çalışma prensibi

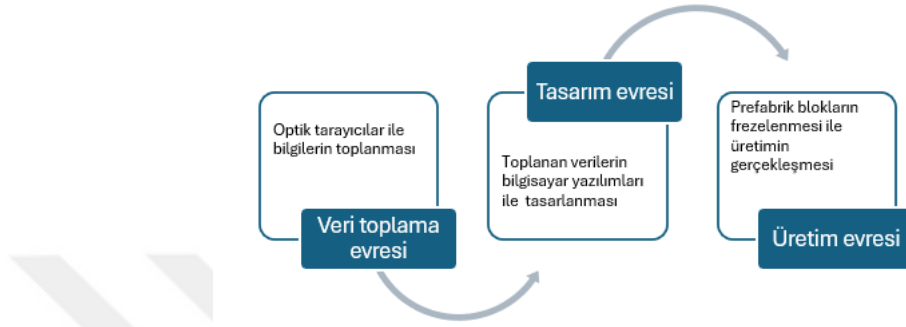
CAD (Computer Aided Design-Bilgisayar Destekli Tasarım); bir materyalin bilgisayar ortamında tasarımının yapılması iken; CAM (Computer Aided Manufacturing-Bilgisayar Destekli Üretim) ise tasarımın bilgisayar aracılığı ile üretilmesi işlemidir (71).

CAD-CAM sistemleri temel olarak 3 evrede üretim gerçekleştirir (Şekil 9).

- *Veri toplama evresi:* Optik tarayıcı kullanılarak hastanın oklüzal topografisi, dişlerin formu ve boyutları, proksimal temasların konumu ve çeneler arası ilişkilerde diş pozisyonlarına ilişkin bilgi toplamayı içerir (72).
- *Tasarım evresi:* Toplanan verilerin özel bilgisayar yazılımları kullanılarak planlanıp tasarlanması evresidir. CAD-CAM sistemleri içerisindeki bu

yazılımlar her dişe özgü hazır tasarım modelleri içermektedir. Uygun tasarım modeli belirlendikten sonra bunun üzerinde düzenlemeler yapılarak tasarım son halini alır (70).

- *Üretim evresi:* Prefabrik blokların frezelenmesi ile bilgisayar ortamında tasarlanan modellerin elde edilme evresidir (70).



Şekil 9. CAD-CAM sistemlerinin üretim evreleri.

2.6.3. CAD-CAM sisteminin avantajları

1. Konvansiyonel ölçü yöntemlerinde gerekli olan farklı ölçü materyallerinin kullanımı, hastaya uygun ölçü kağıdının seçimi, materyalin ağız içinde belirli bir süre bekletilmesi ve alınan ölçünün dental laboratuvara ulaştırılması gibi basamaklar dijital ölçüleme ile ortadan kaldırılır.
2. Tek seansta üretimin gerçekleştirilebilmesi hasta ve hekim için zaman tasarrufu sağlar.
3. Restorasyon üretim süreçlerindeki basamakların azaltılması, insan faktörüne bağlı hataların en aza indirilmesini sağlar ve bu sayede uyumu daha yüksek restorasyonların elde edilmesine olanak tanır.
4. Laboratuvar üretimi gerektiren indirekt restorasyonlarda olası çapraz enfeksiyon riski önlenir.
5. Restorasyon tasarımlarının CAD yazılımları aracılığıyla dijital ortamda gerçekleştirilmesi diş teknisyenine tasarım sürecinde kolaylık sağlar.
6. Diş hekimi ve diş teknisyeninin protez tasarımını eş zamanlı olarak dijital ortamda inceleyebilmesine ve tasarıma ilişkin verilerin dijital dosya formatında arşivlenmesine olanak tanır (70,73–75).

2.6.4. CAD-CAM sisteminin dezavantajları

1. Maliyeti yüksektir.
2. Etkin kullanımı zor olduğu için klinik uygulamalarından önce pratik eğitim gerektirir.
3. Monokromatik blokların renk seçeneğinin sınırlı olması, anterior bölge estetiğinin sağlanabilmesinde beklentiye her zaman karşılayamayabilir.
4. İntraoral kameralar ve ekstraoral tarayıcılar ile gerçekleştirilen dijital ölçümler sırasında, kullanılan cihazların sınırlı çözünürlük kapasitesi vardır.
5. Derin subgingival preparasyon bölgelerinin taranarak dijital ortama aktarılması zordur. Bu tür klinik durumlarda, sağlıklı ve net bir dijital veri elde edilebilmesi için etkin bir gingival retraksiyon uygulaması gerekir (76,77).

2.6.5. CAD-CAM sistemlerinde kullanılan geçici materyalleri

CAD-CAM sistemleri ile PMMA veya kompozit rezin içerikli prepolimerize disk/blok kullanılarak sabit geçici restorasyonlar üretilebilmektedir (12). Bu blok/diskler yüksek ısı ve basınç altında polimerize olduklarından dolayı daha homojen bir yapı sergilemektedirler. Ayrıca yüksek basınç altında gerçekleştirilen polimerizasyon sonucunda materyalin mekanik özellikleri de direkt yöntemle kıyaslandığında daha gelişmiştir (78).

Telio-CAD® (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)

Telio-CAD blokları çapraz bağlı PMMA ve renk pigmentlerinden oluşan geçici materyalidir. Bu materyaller yüksek homojenite sergilemekte ve standardize edilip üretildikleri için polimerizasyon büzülmesi göstermemektedir. Maaliyetleri oldukça yüksektir. 6 farklı renkte (BL3, A1, A2, A3, A3,5 ve B1) ve 2 farklı boyutta (B40L ve B55) blokları mevcuttur. 12 aya kadar kullanım ömürleri vardır.

Anterior ve posterior geçici restorasyonlar, implant üstü geçici restorasyonlar, TME rahatsızlıkları ve en fazla 2 gövdeli posterior geçici köprü uygulamaları endikasyonları arasındadır (79,80).

Vita-CAD Temp (Vita-Zahnfabrik, Almanya)

MRP (Microfilled Reinforced Polyacrylate, mikro dolgulu güçlendirilmiş poliakrilat) materyali olarak bilinen mikro düzeyinde doldurucu içeren, fiber içeriği bulunmayan, yüksek homojeniteye sahip ve düz olmayan çapraz bağlı akrilat monomerden oluşur. Yapısında %14 oranında mikro silikon dioksit partikül doldurucuları yer almaktadır. Bu inorganik mikro doldurucular ağ yapının içerisine girerek homojen bir yapı oluştururlar. Bu özel yapı Vita tarafından MRP materyali olarak adlandırılmıştır. Vita'nın üç boyutlu renk skalasına uygun 4 farklı renk seçeneği (0M1T, 1M2T, 2M2T, 3M2T) mevcuttur. Estetik beklentinin yüksek olduğu vakalarda kullanılmak üzere renk geçişli blokları da vardır. Piyasada blok ve büyük disk şeklinde bulunan Vita CAD Temp yaygın olarak en az 2 yıllık kullanım süresi olan parsiyel kuronlar, anterior ve posterior tek kuronlar, en fazla 2 gövdeye sahip anterior ve posterior köprüler için uygundur (81).

Ceramill A-Temp (Amann Girrbach GmbH, Pforzheim, Almanya)

PMMA ve metakrilik asitin ester bazlı çapraz bağlanması sonucu oluşan polimerler, boya, artık peroksit ve maksimum %1 oranında artık metil metakrilat (MMA) monomeri içermektedir. Disk ve blok şeklinde bulunan Ceramill Temp aynı zamanda ekstra açık (bleach), açık (light), orta (middle), koyu (dark) olmak üzere 4 farklı renk seçeneğine sahiptir. Homojen renk yapısına sahip disklerin ağız içi kullanım ömrü 3 yıla kadar uzanabilirken, renk geçişi içeren disklerin klinik dayanımı genellikle 12 ay ile sınırlıdır. Endikasyonları, anterior ve posterior geçici tam kuron, 14 üyeye kadar geçici kuron ve köprü (en fazla yan yana 2 gövde içerecek şekilde), Ti-base, bireysel dayanak ve diş eti şekillendirme uygulamalarıdır (82).

artBloc Temp (Merz Dental GmbH, Lütjenburg, Almanya)

İçerisinde %98 oranında PMMA, %1 oranında metil metakrilat ve %1 oranında benzoil peroksit bulunmaktadır. Yüksek çapraz bağlı iç içe geçmiş organik modifiye polimer ağı (OMP-N) oluşan bu bloklar inorganik doldurucu ve fiber içermemektedir. Bu materyalin konvansiyonel yöntemlerle üretilen veya CAD-CAM sistemleri ile üretilen diğer geçici kuron köprü materyalleri arasında kırılma dayanımının en yüksek olduğu üretici tarafından belirtilmiştir. Diş eti şekillendirmesi, TME rahatsızlıkları, geçici kuron restorasyonları, 4 üyeli köprü restorasyonları için endikedir. Klinik olarak 3 yıla kadar kullanım ömürleri vardır (83).

VOCO Structur CAD (VOCO, Almanya)

Metakrilat yapısında, polimer matriks içerisinde %27 oranında inorganik doldurucu içeren bir bloktur. 3 yıla kadar klinik kullanım ömrü vardır. Kırılma direnci yüksektir. Optik özellikleri sayesinde ışık yansıtma kapasitesi yüksektir. 3 farklı rengi (A1, A2, A3) ve 2 farklı şekli (disk, blok) bulunur. Endikasyonları; anterior ve posterior geçici kuronlar, implant üstü geçici kuronlar ve bitişik en fazla 2 gövdesi bulunan köprü restorasyonlarıdır (84).

Artegral ImCrown (Merz Dental GmbH, Lütjenburg, Almanya)

PMMA esaslı, plağa dirençli olmasını sağlayan OMP-N'den oluşmaktadır. CEREC 3D ve CEREC inLab için kullanımı uygun geçici restorasyon diskidir. Yalnızca anterior dişlerde kullanımı endikedir (85).

2.7. Eklemeli Üretim Yöntemleri (3 Boyutlu Yazıcı)

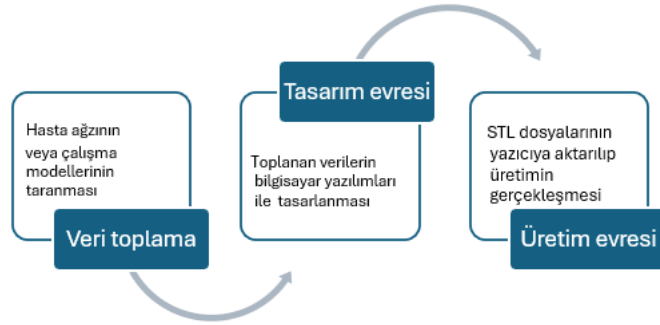
2.7.1. 3 Boyutlu Yazıcıların Diş Hekimliği Uygulamalarında Yer Alması

Eklemeli üretim yöntemi; sıvı ya da katı formdaki malzemelerin, dijital bir model temel alınarak katı bir nesne elde edilmesini sağlayan üretim yöntemidir. 3B yazıcı sistemleri, dijital ortamda tasarlanmış nesnelerin fiziksel olarak katmanlar halinde katı formda üretilmesini ifade ederken; bu işlemi gerçekleştiren cihaza ise 3B yazıcı adı verilmektedir (86–88).

1980'li yıllarda ilk olarak mühendislik alanında kullanılmaya başlanan eklemeli üretim yöntemi günümüzde diş hekimliğinde de hızla yaygınlık kazanmıştır. Modern diş hekimliğinde dikkat çeken bir yenilik olan “hızlı prototipleme” yöntemi, CAD verilerinden yararlanarak katman katman malzeme eklenmesi ile üç boyutlu modellerin oluşturulmasını ifade etmektedir. Eklemeli üretim kavramının yanı sıra, literatürde “katmanlı üretim”, “katı serbest form üretimi” ve “3B baskı” gibi terimlere de sıkça rastlanmaktadır (89,90). Diş hekimliğinin farklı dallarında kullanımı artan 3B yazıcılar genel olarak, kuron-köprü restorasyonları, hareketli bölümlü protez, total protez, geçici restorasyonlar, kişiye özel ölçü kaşıklarının üretimi, ortodontik braket, tanı modeli eldesi, cerrahi kılavuzlar, oklüzal splint, çene yüz protezi üretiminde yaygın şekilde tercih edilmektedir (89).

2.7.2. 3 Boyutlu yazıcıların üretim basamakları

3B yazıcı sistemleriyle restorasyon üretim süreci, veri toplama işlemi ile başlamaktadır. Bu veriler, intraoral ya da ekstraoral tarayıcılar aracılığıyla elde edilmekte; hastanın ağız içi yapıları veya hazırlanan modeller dijital olarak taranmaktadır. Elde edilen dijital veriler, CAD yazılımları kullanılarak sanal modeller hâline getirilmekte ve genellikle Standard Triangulation Language (STL) formatında kaydedilmektedir. Charles Hull tarafından geliştirilen ve CAD yazılımı ile 3D yazıcı arasında veri aktarımı için altın standart olarak kabul edilen STL dosya formatı modellerin yüzeyini üçgenlerle ifade etmektedir. Tasarım süreci tamamlandıktan sonra STL dosyası yazıcı sistemine aktarılır; ardından üretim aşamasına geçilir ve elde edilen yapının final polimerizasyonu gerçekleştirilir (87,91,92) (Şekil 10).



Şekil 10. 3B yazıcıların üretim basamakları.

2.7.3. 3 boyutlu yazıcı sistemleri

Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (The American Section of the International Association for Testing Materials), eklemeli üretim yöntemlerini yedi farklı kategoriye ayırmıştır. Bunlar; Stereolitografi (SLA), Malzeme püskürtme (material jetting, MJ), Malzeme ekstrüzyonu (ME) veya eriyik yığma modelleme (fused deposition modelling, FDM), Yapıştırıcı ile katmanlı imalat (Binder jetting, BJ), Toz yatağı füzyonu (powder base fusion, PBF), Tabaka laminasyonu (sheet lamination, SL) ve Doğrudan enerji biriktirme (Direct energy deposition, DED) yöntemleri olarak tanımlanmaktadır. Diş hekimliği uygulamalarında en yaygın

kullanılan eklemeli üretim yöntemleri Stereolitografi (SLA) ve Malzeme Püskürtme (MJ) yöntemleri olarak öne çıkmaktadır (90).

Stereolitografi (SLA); 1986 yılında geliştirilen ve ilk eklemeli üretim yöntemi olarak kabul edilen bu teknik, üretilcek nesnenin dijital olarak oluşturulmuş enine kesitlerinin taranması ve ardından ultraviyole (UV) lazer yardımıyla fotopolimer reçinenin polimerize edilmesi esasına dayanmaktadır. Lazer ışını, bir dizi optik mercek aracılığıyla odaklanmakta ve daha sonra iki ayrı galvanometrik ayna üzerinden yansıtılarak yönlendirilmektedir. Bu aynalar, UV'ye duyarlı reçine tankına lazer ışınını ileterek her bir katmanın seçici olarak sertleşmesini sağlamaktadır. Bu işlem, üç boyutlu yapının tüm katmanları tamamlanana dek ardışık olarak tekrarlanmaktadır (69,92). SLA teknolojisi karmaşık geometrilere sahip nesnelerin üretimini mümkün kılmaktadır. Nesnelerin üretiminde 'support' diye adlandırılan ilave destek yapılarına gereksinim duyduğu için, bu yöntemin ek malzeme tüketimi ve buna bağlı olarak üretim süresi fazladır. Kullanılan reçineler maliyetli ve raf ömürleri kısadır (87,92).

Dijital ışık işleme (DLP); SLA ve DLP teknolojileri arasındaki temel fark, polimerizasyon sürecinde kullanılan ışık kaynağından kaynaklanmaktadır. SLA yönteminde sıvı fotopolimer reçine, tarayıcı lazer yardımıyla seçici olarak polimerize edilirken; DLP teknolojisinde bu işlem, dijital bir ışık projektörü aracılığıyla gerçekleştirilmekte ve tüm katman eşzamanlı olarak sertleştirilmektedir (87).

Malzeme püskürtme (MJ); "Polijet yazıcılar" olarak da adlandırılan bu yöntemde, sıvı haldeki fotopolimer reçine, piezoelektrik kontrollü yazdırma başlıkları aracılığıyla yüzeye seçici olarak püskürtülmekte ve ardından UV ışıkla anında polimerize edilerek katmanlı üretim süreci tamamlanmaktadır (87).

Malzeme ekstrüzyonu (ME) veya eriyik yığma modelleme (FDM); bu yöntem, termoplastik esaslı malzemelerin (örneğin plastik filament) eritilerek yapı platformuna biriktirilmesi esasına dayanmaktadır. Materyalin bulunduğu başlıktan ürün çekilir, ısıtılır ve katmanların biriktirilmesiyle 3B model elde edilir. Ekstrüzyon başlığı yatay düzlemde hareket kabiliyetine sahipken, üretim platformu her katmanın tamamlanmasının ardından dikey ekseninde aşağı ya da yukarı yönde konum değiştirebilmektedir (87,90).

Yapıştırıcı ile katmanlı imalat (BJ); toz formdaki malzemenin bir silindir yardımıyla yüzeye serilmesi ve ardından hareketli bir başlık ile ilgili bölgelere bağlayıcı madde uygulanması işlemine dayanmaktadır. Her bir katmanın oluşturulmasının ardından platform aşağı doğru hareket eder ve bu süreç, istenen üç

boyutlu nesne tamamlanana kadar tekrarlanır. Ayrıca bağlayıcının içerisine renk pigmentleri eklenebilmesi sayesinde istenilen renklerde ve estetik özelliklere sahip çeşitli nesneler üretilebilmektedir (87).

Toz yatağı füzyonu (PBF); bir platform üzerine serilmiş toz halindeki materyalin lazer ışını veya bir bağlayıcı ile birleştirilmesiyle bir toz katmanı önceki katmanın üstüne serilir ve istenilen nesne üretilene kadar birleştirilmeye devam eder (92,93).

Tabaka laminasyonu (SL); tabaka veya malzeme rulolarının katmanlar halinde kesilerek üst üste yapıştırılması ile gerçekleştirilmesidir. İki farklı şekilde uygulanabilen bu yöntemde, ya her bir katman öncelikle lazer veya mekanik bir kesici yardımıyla hassas biçimde kesilip sonrasında yapıştırılır, ya da katmanlar önce yapıştırılıp ardından istenen geometrik şekiller doğrultusunda kesim işlemi gerçekleştirilir (92).

Doğrudan enerji biriktirme (DED); hammadde yüzeyinin belirli bir bölgesine odaklanarak lazer veya elektron ışını gibi yüksek enerjili bir kaynak aracılığıyla malzemenin eritilmesini esas alır. Eritilen malzeme, alt tabakaya birikerek onunla bütünleşir. Bu işlem, her bir katmanın ardışık olarak oluşturulmasıyla tekrarlanır ve nihayetinde istenen üç boyutlu yapı tamamlanır (90,92).

2.7.4. 3 Boyutlu yazıcıların avantajları

1. Ekonomiktir.
2. Üretim aşamasının hızlı olması, süreç verimliliğini artırarak zaman tasarrufu sağlar.
3. Nesnelerin tasarlanması kolaydır.
4. Dijital olarak tasarlanan dosyalar, kolayca paylaşılabilir olmaları sayesinde veri iletimi ve ürün tasarımı üzerinde hızlı değişiklikler yapılmasına ve özelleştirilmesine olanak sağlar.
5. Karmaşık geometrik nesnelerin üretimi yapılabilir.
6. Üretim sürecinde minimum düzeyde atık malzeme oluşturmaktadır.
7. Kullanılan malzemeler geri dönüştürülebilir.
8. Materyal çeşitliliği fazladır (94–96).

2.7.5. 3 boyutlu yazıcıların dezavantajları

1. Geniş kapsamlı ve büyük nesnelerin üretimi zaman alır.
2. Üretilen nesnelerin yüzey pürüzlülüğü eksiltmeli imalatla üretilen nesnelere kıyasla daha fazladır (95,96).

2.7.6. 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan geçici restorasyon materyalleri

3B yazıcı kullanılarak üretilen geçici restorasyonların mekanik ve biyolojik özellikleri yapılan birçok çalışmada başarılı bulunmuştur (97–100). Bu dijital üretim ile geleneksel yöntemde karşılaşılan ekzotermik reaksiyonlar ile oluşan pulpa ve yumuşak doku harabiyetlerinden kaynaklanan dezavantajları yok ettiği gibi uyum problemini de önemli oranda azaltmıştır (101).

NextDent C&B MFH (NextDent, Soesterberg, Hollanda)

Geçici kuron-köprü restorasyonları için üretilen akrilik ester bazlı monomer içeren mikro doldurucu bu rezinler, uzun süreli geçici restorasyon kullanımı için geliştirilmiştir. Lazer veya DLP tabanlı 3B yazıcılarla birlikte kullanımı uygundur (102).

Varseo Smile Temp (Bego, Bremen, Almanya)

Geçici kuron köprü materyali olarak üretilen rezin içerikli reçinelerdir. Bego tarafından geliştirilen bu materyalin uyumunun yüksek olması, sitotoksitite göstermemesi, polisajının kolay ve boyutsal stabilitesinin iyi olması üretici firma tarafından öne çıkan özellikleri olarak bildirilmektedir. A2, A3, C2 olmak üzere farklı renkleri bulunmaktadır (103).

Temp Print, (GC Europe, Buckinghamshire, İngiltere)

MMA içermeyen geçici kuron ve köprü restorasyonları için biyouyumlu geçici reçinesidir. DLP tabanlı 3B yazıcı sistemlerinde kullanımı uygundur. Açık ve orta olmak üzere 2 farklı renk seçeneği bulunmaktadır. Mekanik özellikleri yüksektir. Uzun dönem geçici restorasyon kullanımı için endikedir (104).

2.8. Yüzey Analiz İşlemleri

2.8.1. Stereomikroskop

1892 yılından günümüze laboratuvar uygulamalarında yaygın olarak kullanılan stereomikroskop, kısmen büyük mikroskopik örnekler ile yapılan çalışmalarda üç boyutlu derinlik algısı sağlamaktadır. İncelenen nesnenin her iki yönden farklı açılarla görüntüsü değerlendirilebilmekte ayrıca bu özelliği ile üç boyutlu derinlik algısı oluşturulmaktadır (105).

2.8.2. Atomik kuvvet mikroskobu

Atomik kuvvet mikroskopisi (AFM), keskin bir prob ile numune yüzeyi arasında oluşan Van der Waals etkileşimlerini esas alarak çalışan bir yüzey analiz tekniğidir. Bu yöntem; yüzey dokusu, pürüzlülük, morfolojik yapı, boyutsal özellikler ve hacim dağılımlarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. AFM, nanometre düzeyinde yüksek çözünürlükte üç boyutlu görüntüleme olanağı sunarak yüzey topografyasının ayrıntılı biçimde ortaya konmasını sağlar. Elektron mikroskoplarıyla karşılaştırıldığında, daha basit bir yapı ve daha düşük maliyet sunan görüntüleme yöntemidir (106).

2.9.3. Taramalı elektron mikroskobu

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), materyal yüzey morfolojisinin yüksek çözünürlükte değerlendirilmesini sağlayan ileri bir görüntüleme yöntemidir. Bu teknikte, yüksek enerjili elektron demeti numune yüzeyine yönlendirilmekte ve yüzeyle etkileşim sonucu açığa çıkan ikincil ve geri saçılan elektronlar algılanarak görüntü elde edilir. SEM analizi, özellikle kompozit materyallerde güçlendirici fazların matriks ile olan etkileşiminin ve matriks içerisindeki tanecik dağılımının ayrıntılı olarak incelenmesine olanak tanır. Elektron kaynağından yayılan ışınlar, numune yüzeyini sistematik olarak taramakta; yüzeyden yansıyan elektronlar dedektörler aracılığıyla toplanarak görüntüye dönüştürür. Analiz öncesinde, numunenin elektron demeti altında yüklenmesini önlemek amacıyla yüzeyin ince bir

iletken tabaka ile kaplanması gerekir. Bu kaplama işlemi çoğunlukla karbon veya altın kullanılarak vakum ortamında gerçekleşir. SEM yöntemi, materyalin yüzey topografisi, mikroyapısal özellikleri ve bileşimi hakkında kapsamlı bilgi sunar (106).

2.9. Tez Çalışmasında Kullanılan Geçici Restorasyon Materyalleri

2.9.1. Imident (Imicryl, Konya, Türkiye)

Geçici kuren restorasyonu için üretilen PMMA esaslı materyal olup kadmiyum içermemektedir. Oda sıcaklığında toz ve likitin karıştırılmasıyla elde edilen akriliğin polimerizasyonu kendiliğinden gerçekleşir. Hamurlaşma ve polimerizasyon süresi yeterlidir. A0, A1, A2, A3, A4 olmak üzere çeşitli renk seçenekleri mevcuttur. Ürün ISO 13485:2003 Tıbbi Cihazlar Kalite Yönetim Sistemi altında üretilmektedir (107) (Şekil 11).

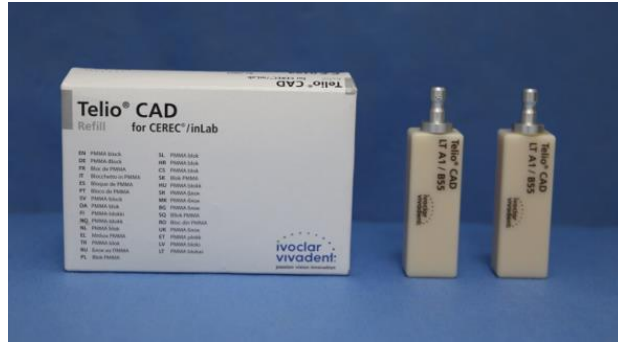


Şekil 11. Konvansiyonel geçici materyali.

2.9.2. Telio CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn)

CAD-CAM sistemlerinde kullanılmak üzere üretilen PMMA esaslı geçici restorasyon bloklarıdır. Blokların içeriğini %1 renk pigmentasyonu ve %99.5 PMMA oluşturmaktadır. Piyasada altı farklı renk seçeneği mevcuttur. Homojeniteleri yüksektir. Standardize edilip üretildiklerinden dolayı polimerizasyon büzülmesi göstermemektedirler. Polisajı kolaydır. Maliyeti yüksek bloklardır. Bu bloklar anterior ve posterior geçici restorasyonlar, implant üstü geçici restorasyonlar, TME rahatsızlıklarının tedavileri, oklüzyon rehabilitasyonu ve en fazla 2 gövdeyi içeren

anterior ve posterior köprülerde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ağız içinde en fazla 12 aya kadar kullanılabilir (79) (Şekil 12).



Şekil 12. CAD-CAM geçici bloğu.

2.9.3. Optiprint Lumina (Dentona, Dortmund, Alemanya)

Optiprint Lumina, geçici restorasyon yapımında kullanılan yarı saydam bir 3B yazıcı reçinesidir. Yüksek dolgu içeriğine sahip bu reçine, mükemmel marjinal adaptasyona ve dayanıklılığa sahiptir. VITA diş renk skalasına uygun mevcut renk seçenekleri ile ek bir bitirme işlemi gerekmeksizin yüksek estetik beklentileri karşılar. Ayrıca, gerektiğinde restorasyonlar kompozit rezinler ile kolayca özelleştirilebilir. İşlenmesi ve cilalanması son derece pratiktir (108) (Şekil 13).



Şekil 13. 3B yazıcı geçici reçinesi.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında; farklı tekniklerle üretilen (konvansiyonel, CAD-CAM, 3B yazıcı) geçici restorasyon materyallerindeki kalınlık farkının materyalin mekanik özelliklerine etkisi bükülme dayanımı testi ve sertlik testi ile değerlendirildi. Araştırma, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda gerçekleştirildi. Tez çalışmasında kullanılan sarf malzemeler ve hizmet alımları, Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü 2024-33822697-03 kod numaralı bilimsel araştırma projesiyle temin edildi.

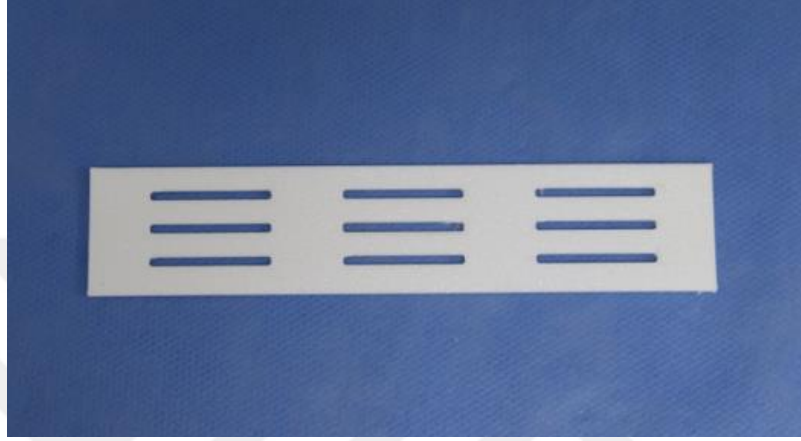
Çalışmamızda kullanılmak üzere farklı tekniklerle üretilen örnekler EN ISO 4049:2019 standartlarına uygun olarak çubuk formunda 25x2 mm boyutlarında ve her materyalden üç farklı kalınlıkta (1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm) hazırlandı. Her bir örnek grubu için numune sayısını belirlemek amacıyla güç analizi yapıldı. G*Power 3.1.9 programı kullanılarak yapılan güç analizi sonucunda, geniş bir etki büyüklüğü ($d = 0.95$), %95 güç ve %5 tip I hata düzeyi ile tekrarlı ölçümler ANOVA analizi için her materyalden 30 örnek, her örnek grubundan 10'ar adet olacak şekilde toplamda 90 örneğin yeterli olduğu bulundu ($n=10$). Tablo 1'de kullanılan geçici restorasyon materyallerinin ticari adı, üretim tekniği, üretici firmaları ve lot numaraları gösterilmiştir.

Tablo 1. Geçici restorasyon materyallerinin ticari adı, üretim tekniği, üretici firmaları ve lot numaraları.

Materyal Ticari Adı	Üretim Tekniği	Üretici Firmaları	Lot Numaraları
Imident	Konvansiyonel	Imicryl, Konya, Türkiye	225002
Telio CAD	CAD-CAM	Ivoclar Vivadent, Lihtenştayn	Z04XFV
Optiprint Lumina	3B Yazıcı	Dentona, Dortmund, Almanya	23100881

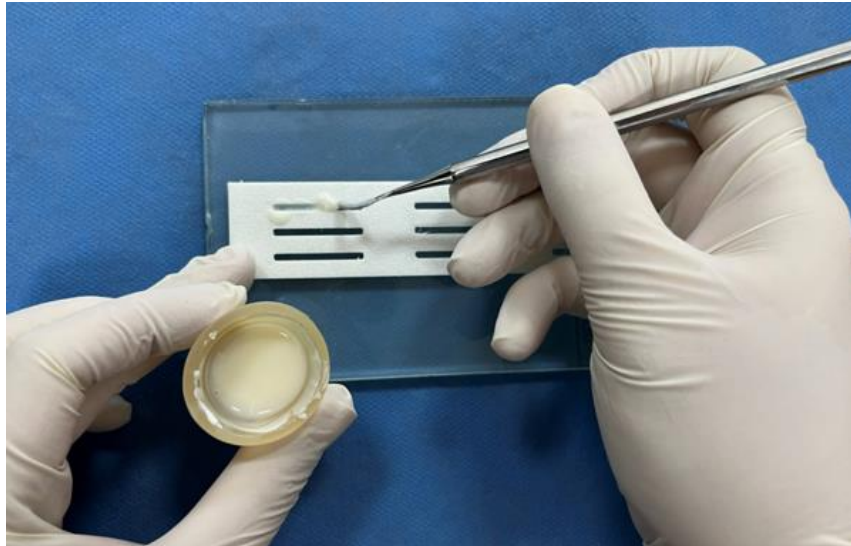
3.1. Geçici Örneklerinin Konvansiyonel Yöntemle Hazırlanması

Çalışmada konvansiyonel yöntemle hazırlanacak örneklerde standardizasyon sağlanması amacıyla dijital olarak tasarlanan ve 3B yazıcı ile üretilen termoplastik poliüretan esaslı Ultrafuse TPU (BASF, Ludwigshafen, Almanya) materyalinden elde edilen kalıp kullanıldı (Şekil 14).



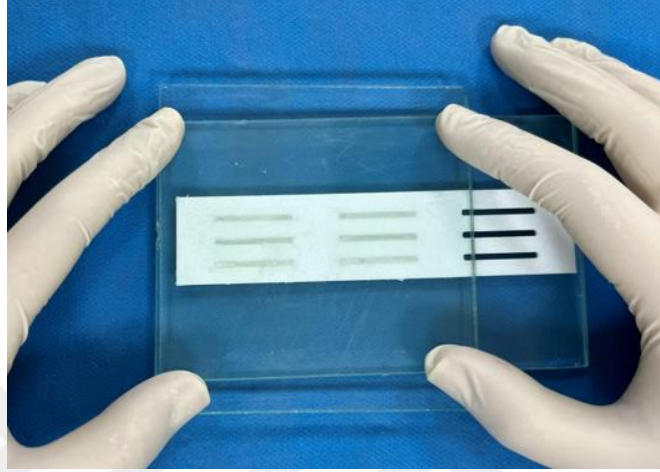
Şekil 14. 3B yazıcı ile üretilen termoplastik poliüretan kalıp.

Üretici firmanın önerdiği şekilde 24 gram toz ile 10 gram likit homojen şekilde karıştırılarak silikon kalıba yerleştirildi (Şekil 15).



Şekil 15. Geçici materyalinin kalıba yerleştirilmesi.

Kalıbın alt ve üst yüzeylerine hem düzgün bir yüzey elde edilebilmesi hem de porozitenin engellenmesi amacıyla cam plaka yerleştirildi ve polimerizasyon süreci tamamlanana kadar cam yüzeye parmakla hafif basınç uygulandı (Şekil 16). Polimerizasyonu tamamlanan örneklerin yan kısımlarına taşan fazlalıklar frez ile uzaklaştırıldı.



Şekil 16. Polimerizasyon süreci.

3.2. CAD-CAM Geçici Örneklerinin Hazırlanması

CAD-CAM bloklarından elde edilen çubuk formundaki örnekler Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda hassas kesim cihazı (Secotom-60, Struers SAS, Fransa) kullanılarak üretildi (Şekil 17,18).



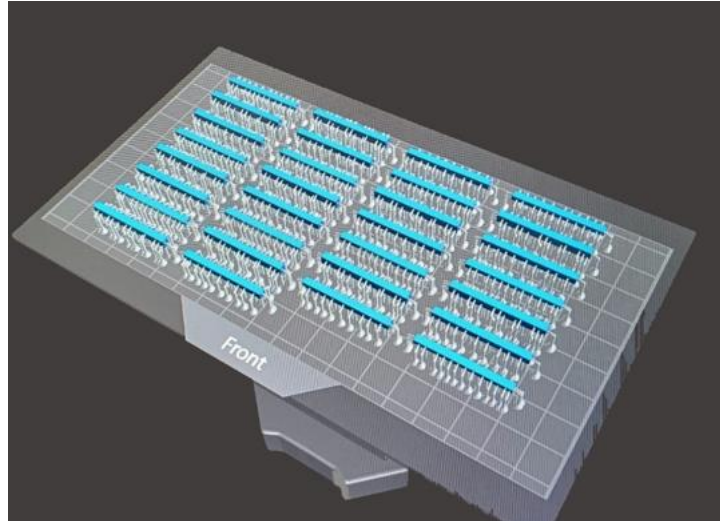
Şekil 17. Çalışmada kullanılan hassas kesim cihazı.



Şekil 18. CAD-CAM örneklerinin elde edilmesi.

3.3. Geçici Örneklerinin 3 Boyutlu Yazıcı ile Hazırlanması

3B yazıcı örneklerin tasarımı 25x2 mm boyutlarında ve 3 farklı (1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm) kalınlıkta dikdörtgen çubuk formunda olacak şekilde dijital ortamda Dassault Solidworks 2017 (Dassault Systemes, Solidworks Corps, ABD) programıyla tasarlandı. Üretimi gerçekleştirilecek örnekler, 3B yazıcıya uygun hale getirilmek üzere STL formatına dönüştürüldü ve üretici firmanın önerdiği parametrelere uygun olarak açık kaynak kodlu dilimleme yazılımı Chitubox aracılığıyla işlendi (Şekil 19).



Şekil 19. Örneklerin dijital model görünümü.

Optiprint Lumina sıvı geçici reçinesi kullanılarak DLP tabanlı yazıcı (Elegoo Mars 4 Shenzhen Elegoo Technology Co, Çin) ile örnekler üretildi (Şekil 20).



Şekil 20. Çalışmada kullanılan 3B yazıcı.

3B yazıcıda üretim, %100 ışık gücünde 4.2 mW/cm^2 ışık şiddeti üretim yönü yatay (0 derece) ve katman kalınlığı $100 \text{ }\mu\text{m}$ olacak şekilde, her bir katman için 2.5 saniyelik kürleme süresi kullanılarak gerçekleştirildi (Şekil 21).



Şekil 21. 3B yazıcı ile üretilen örnekler.

Üretim tamamlandıktan sonra tüm örnekler, üretici firma önerisi doğrultusunda 5 dakika boyunca izopropil alkol içerisinde ultrasonik temizleyicide (Isolab, Eschau, Almanya) temizlendi (Şekil 22).



Şekil 22. Ultrasonik temizleme cihazı.

200 W gücündeki kütleme ünitesinde 5 dakika boyunca post-kütleme işlemi uygulanarak polimerizasyon tamamlandı (Şekil 23).



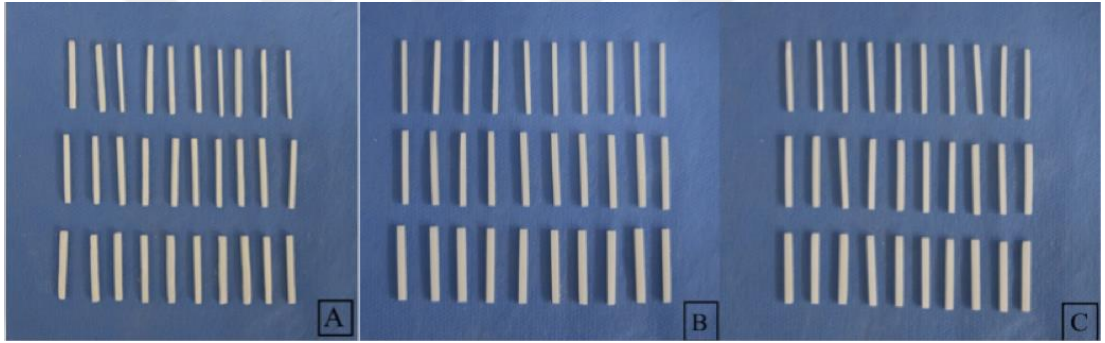
Şekil 23. Örneklerin post-kütleme süreci.

Elde edilen tüm örneklerin yüzey düzeltmeleri sırasıyla 400, 600 ve 800 grenli ıslak zımpara kağıtları ile otomatik zımparalama cihazı (Metkon Forcipol 2v Grinder-Polisher, Metkon Instruments Inc., Türkiye) kullanılarak gerçekleştirildi (Şekil 24).

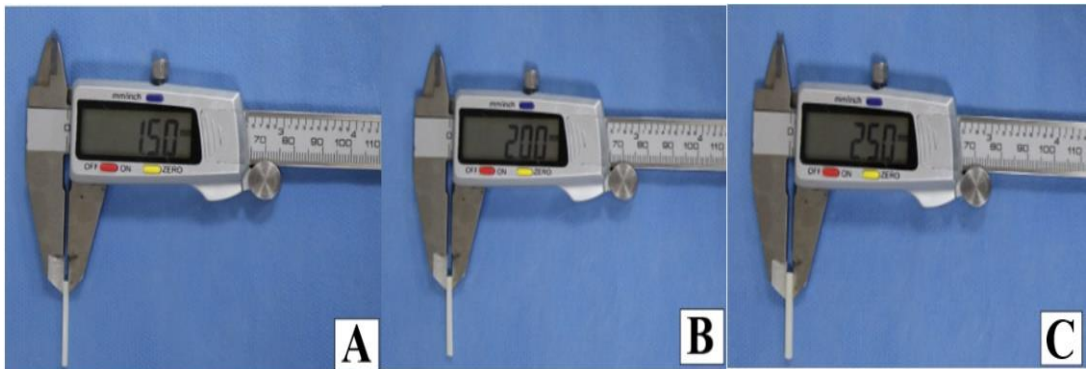


Şekil 24. Otomatik zımparalama cihazı.

Bu çalışmada elde edilen tüm örnekler, Şekil 25 ve Şekil 26'da gösterilmektedir.



Şekil 25. A) Konvansiyonel teknikle üretilen örnekler B) CAD-CAM ile üretilen örnekler C) 3B yazıcı ile üretilen örnekler.

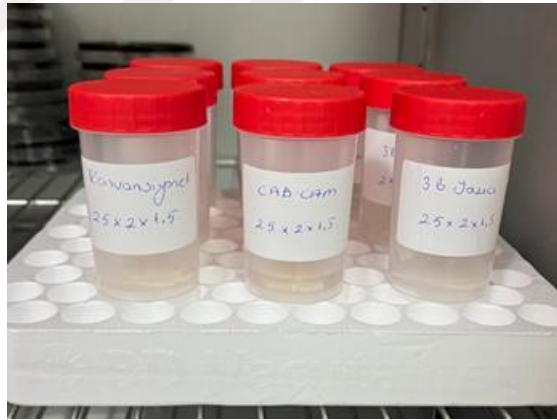


Şekil 26. Zımparalama sonrası örneklerin dijital kumpasla ölçümü A) 1.5 mm kalınlığındaki örnek B) 2 mm kalınlığındaki örnek C) 2.5 mm kalınlığındaki örnek.

Elde edilen örnekler, bükülme ve sertlik testleri uygulanmadan önce, 37 °C sıcaklıktaki etüvde, yapay tükürük solüsyonu *Testonik®* (Colin Kimya Sanayi A.Ş., İstanbul, Türkiye) (Şekil 27) içerisinde bir hafta süreyle bekletildi ve bu süreçte solüsyon her gün yenilendi (Şekil 28).



Şekil 27. Yapay tükürük solüsyonu.

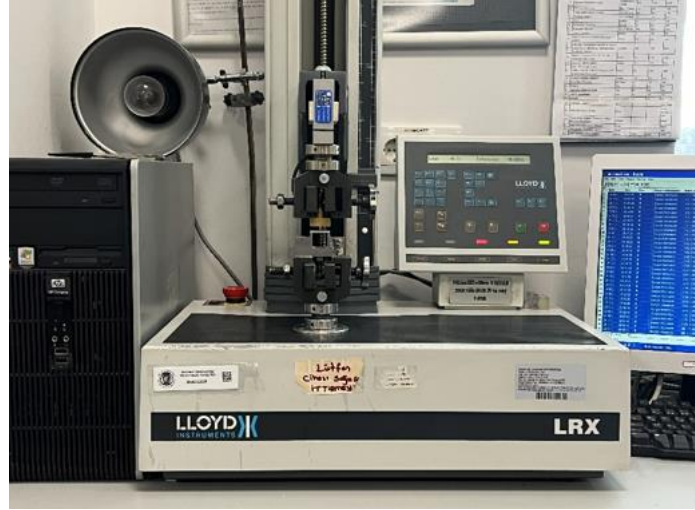


Şekil 28. Etüvde yapay tükürük solüsyonunda bekletilen test örnekleri.

3.4. Kullanılan Testler ve Cihazlar

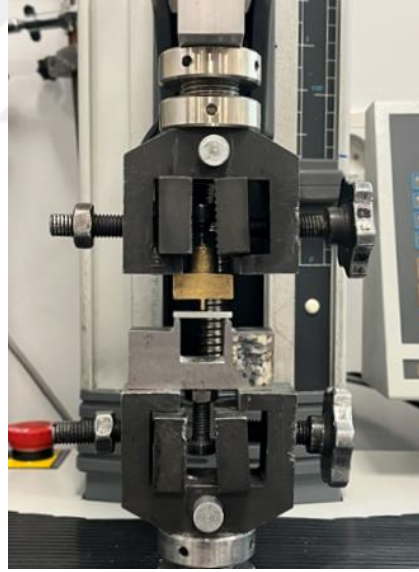
3.4.1. Üç nokta bükülme testi

Hazırlanan örneklerin üç nokta bükülme testi; Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarı'nda Universal test cihazı (Lloyd LRX, Fareham, İngiltere) kullanılarak gerçekleştirildi (Şekil 29).



Şekil 29. Universal test cihazı.

Çalışmada kullanılan test cihazına standart bir üç nokta bükülme düzeneği yerleştirildi. Boyutları 25 mm olan numuneler, birbirine paralel konumlandırılmış ve aralarındaki mesafe 20 mm olarak ayarlanmış destekler üzerine yerleştirildi (Şekil 30).



Şekil 30. Bükülme dayanımı test düzeneği.

ISO 1567 standardına uygun biçimde test hızı 5 mm/dakika olarak ayarlandı. Her bir numunenin orta noktasına kırılma gerçekleşene kadar kuvvet uygulandı. Bükülme dayanımı ve eğilme modülün hesaplanabilmesi için elde edilen maksimum yük değerleri kaydedildi. Kırılan örnek görseli Şekil 31’de gösterilmektedir.

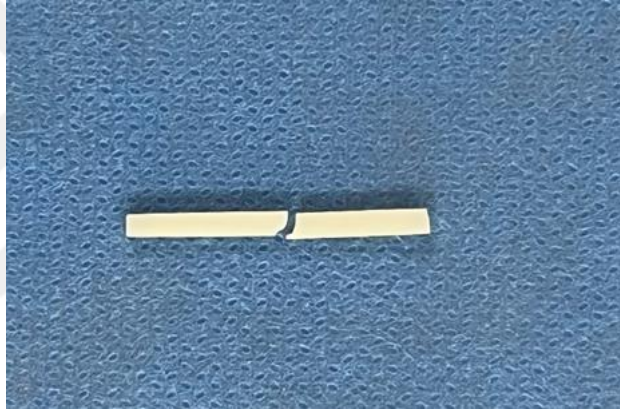
Bükülme dayanımı formülü:

$$\sigma = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

Eğilme modül formülü:

$$E_f = \frac{Pl^3}{4bh^3d}$$

Yukardaki formülde; σ MPa türünde bükülme dayanımını, E_f eğilme modülü, l destekler arası mesafeyi (20 mm), b örneğin genişliğini (2 mm), d örneğin kalınlığını (1.5 mm, 2 mm, 2.5 mm), h maksimum bükülme miktarını (mm) ve P kırılma esnasındaki maksimum yükü N cinsinden tanımlar. Elde edilen değerler sonucunda yukarıdaki formüller kullanılarak bükülme dayanımı ve eğilme modülü hesaplandı.



Şekil 31. Kırılmış test örneği.

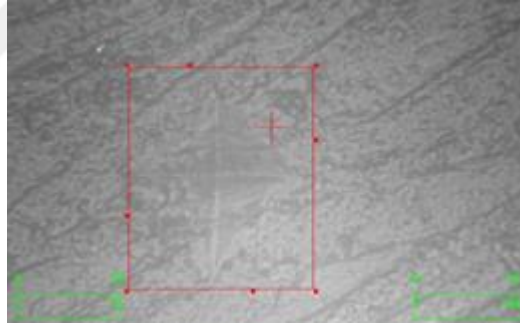
3.4.2. Sertlik testi

Bükülme testi sonucunda kırılan örnekler arasından rastgele seçilen numunelerin sertlik ölçümleri, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Makine Mühendisliği Fakültesi, Metalurji ve Materyal Mühendisliği Bölümü, Sertlik ve Triboloji Laboratuvarı'nda bulunan sertlik cihazı (Vickers hardness tester, HMV-2, Shimadzu, Japonya) kullanılarak gerçekleştirildi (Şekil 32).



Şekil 32. Çalışmada kullanılan sertlik cihazı.

Çalışma kapsamında mikrosertlik ölçümleri sırasında numunelere 98.07 mN (10 gf) yük 15 saniye süreyle uygulandı. Oluşan izler x40 büyütme altında incelenerek ölçümleri gerçekleştirildi (Şekil 33).



Şekil 33. Sertlik ölçümüne ait görüntü.

3.4.2. SEM ile örneklerin yüzey görüntülerinin incelenmesi

Bükülme dayanımı ve sertlik testlerinin ardından seçilen örneklerin yüzeyleri, görüntüleme sırasında yük birikimini önlemek amacıyla sıçratma kaplama (sputter coating) tekniği kullanılarak altın ile kaplandı (Quorum Q150R ES, Quorum Technologies Ltd., Ashford, Kent, İngiltere) (Şekil 34). Altın kaplama işlemi takiben örnekler, görüntüleme sırasında yüzey morfolojisinin doğru şekilde değerlendirilebilmesi amacıyla, taramalı elektron mikroskop cihazının metal tutucu yüzeyine elektron demetine dik konumda sabitlendi. SEM cihazı (Quanta FEG 450, Oxford Instruments, Udem, Hollanda) kullanılarak yüksek vakum modu altında

×250, ×500 ve ×1000 büyütme oranlarında incelendi ve elde edilen görüntüler kaydedildi (Şekil 35).



Şekil 34. Örneklerin kaplanmasında kullanılan cihaz.



Şekil 35. SEM analizinde kullanılan cihaz.

3.5. İstatistiksel Analiz

Çalışmada elde edilen veriler IBM SPSS (SPSS, Chicago, IL, ABD) programı kullanılarak analiz edildi. Ölçümlerin normal dağılımı Shapiro-Wilk testi ile tespit edildi. Sürekli değişkenler için ortalama $\pm$ standart sapma ($\bar{X} \pm SS$) ve medyan (Q1–Q3) değerleri raporlandı.

Geçici restorasyon materyallerinin mekanik özellikleri (bükülme dayanımı, eğilme modülü, sertlik) üzerinde üretim tekniği ve kalınlık seviyesinin etkileri, İki Yönlü Varyans Analizi (Two-Way ANOVA) ile değerlendirildi. Ana etkiler ve

etkileşim (teknik/kalınlık) test edilmiş olup, etki büyüklüğü olarak kısmi eta kare (partial eta squared, η^2) değerleri kullanıldı.

ANOVA varsayımlarının değerlendirilmesi kapsamında, verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro–Wilk testi ile, varyansların homojenliği ise Levene testi ile incelendi. Gruplar arası karşılaştırmalar Kruskal–Wallis testi kullanılarak gerçekleştirilirken, aynı üretim tekniği içerisinde farklı kalınlık seviyelerinin karşılaştırılmasında Friedman testi uygulandı.

İstatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak belirlendi.



4. BULGULAR

Bu çalışmada, konvansiyonel, CAD-CAM ve 3B yazıcı teknikleri ile üretilen geçici restorasyon materyallerinin farklı kalınlık seviyelerinde (1.5 mm, 2 mm ve 2.5 mm) bükülme dayanımı, eğilme modülü ve sertlik özellikleri değerlendirildi.

Tablo 2. Üretim tekniği, kalınlık ve etkileşim etkilerine ait iki yönlü ANOVA analizi.

Mekanik Özellik	Kaynak	Kareler Toplamı (SS)	Sd	Kareler Ortalaması (MS)	p	η^2
Bükülme dayanımı	Model (Düzeltilmeli)	81017.514	8	10127.189	<0.001	0.955
	Üretim Tekniği	74651.065	2	37325.533	<0.001	0.952
	Kalınlık	2265.749	2	1132.875	<0.001	0.374
	Üretim Tekniği × Kalınlık	4100.700	4	1025.175	<0.001	0.519
	Hata (Error)	3797.950	81	46.888		
	Toplam	999548.574	90			
	Düzeltilmiş Toplam	84815.464	89			
Eğilme modülü	Model (Düzeltilmeli)	19841195.128	8	2480149.391	<0.001	0.945
	Üretim Tekniği	11908048.629	2	5954024.315	<0.001	0.911
	Kalınlık	7437587.017	2	3718793.508	<0.001	0.865
	Üretim Tekniği × Kalınlık	495559.481	4	123889.870	<0.001	0.300
	Hata (Error)	1156390.847	81	14276.430		
	Toplam	218927191.389	90			
	Düzeltilmiş Toplam	20997585.975	89			
Sertlik	Model (Düzeltilmeli)	2404.575	8	300.572	<0.001	0.569
	Üretim Tekniği	2333.697	2	1166.848	<0.001	0.561
	Kalınlık	16.730	2	8.365	0.691	0.009
	Üretim Tekniği × Kalınlık	54.149	4	13.537	0.663	0.029
	Hata (Error)	1823.169	81	22.508		
	Toplam	58427.446	90			
	Düzeltilmiş Toplam	4227.744	89			

ANOVA sonuçlarına göre, bükülme dayanımı üzerinde hem üretim tekniğinin hem de kalınlığın istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturduğu görüldü ($p<0.001$). Ayrıca üretim tekniği $\times$ kalınlık etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlı bulundu ($p<0.001$) (Tablo 2).

Eğilme modülü için üretim tekniği ve kalınlığın etkileri ile üretim tekniği $\times$ kalınlık etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p<0.001$) (Tablo 2).

Sertlik parametresinde ise yalnızca üretim tekniğinin istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğu, kalınlık ve üretim tekniği $\times$ kalınlık etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmadığı belirlendi ($p>0.05$). Bu bulgulara göre, bükülme dayanımı ve eğilme modülü hem üretim tekniği hem de kalınlıktan etkilenmekteyken, sertlik değerleri ise üretim tekniğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Tablo 2).

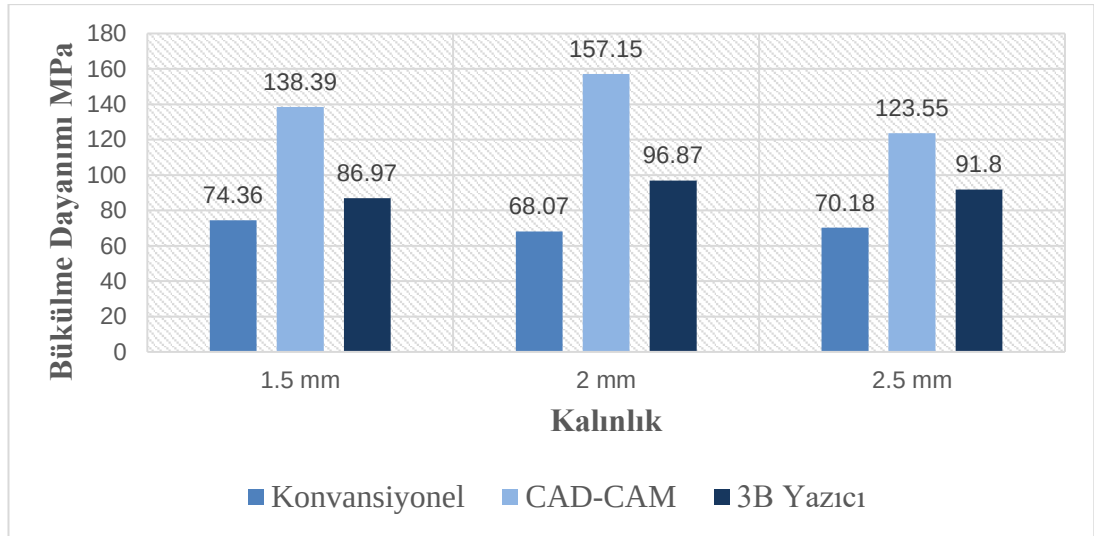
4.1. Bükülme Dayanımı Değerleri

Farklı tekniklerle (konvansiyonel, CAD-CAM, 3B yazıcı) üretilen geçici restorasyon materyallerinin kalınlık farkının bükülme dayanımı üzerine olan etkisine ait sonuçlar Tablo 3'te sunulmaktadır. Ayrıca bu değerlerin şematik görünümü, Şekil 36'da gösterilmektedir.

Tablo 3. Farklı Üretim Teknikleri ve Kalınlıklara Göre Bükülme Dayanımı (MPa)

	Konvansiyonel (n=30)	CAD-CAM (n=30)	3B yazıcı (n=30)		
	$\bar{X} \pm SS$ (min-max)	$\bar{X} \pm SS$ (min-max)	$\bar{X} \pm SS$ (min-max)	z^*	P
1.5 mm (n=10)	74.36 ± 6.08^A (67.45-82.42)	138.39 ± 8.34^{Ba} (124.74-150.48)	86.97 ± 7.67^{Ca} (75.15-97.51)	18.200	<0.001
2 mm (n=10)	68.07 ± 4.47^A (60.31-74.00)	157.15 ± 9.92^{Bb} (144.18-170.31)	96.87 ± 5.66^{Cb} (87.71-104.55)	20.000	<0.001
2.5 mm (n=10)	70.18 ± 7.15^A (60.91-81.42)	123.55 ± 6.49^{Bc} (116.94-134.03)	91.80 ± 3.56^{Ca} (84.30-95.55)	17.760	<0.001
z^{**}	3.724	21.912	8.689		
P	0.155	<0.001	0.013		

*Kruskal Wallis Testi**Friedman testi; $\bar{X} \pm SS$: Ortalama $\pm$ Standart Sapma; min: minimum; max: maksimum; p: Önem düzeyi *** $p<0.05$: İstatistiksel olarak önemliliği göstermektedir. ^{A-C} Aynı harfe ait materyaller arasında fark yoktur. ^{a-c} Aynı harfe sahip kalınlıklar arasında fark yoktur.



Şekil 36. Geçici restorasyon materyallerinin üretim yöntemi ve kalınlığa bağlı bükülme dayanımı değerleri (MPa).

Bükülme dayanımı verilerinin analizi sonucunda, üretim tekniğinin tüm kalınlık gruplarında istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturduğu gözlemlendi ($p < 0.001$) (Tablo 3).

1.5 mm kalınlığındaki örneklerde en yüksek ortalama bükülme dayanımı CAD-CAM yöntemiyle üretilen örneklerde elde edildi (138.39 ± 8.34 MPa). Bunu 3B yazıcı ile üretilen örnekler (86.97 ± 7.67 MPa) ve konvansiyonel yöntemle üretilen örnekler (74.36 ± 6.08 MPa) izledi (Tablo 3).

2 mm kalınlık grubunda en yüksek bükülme dayanımı CAD-CAM grubunda (157.15 ± 9.92 MPa), ardından 3B yazıcı ile üretilen örneklerde (96.87 ± 5.66 MPa) ve konvansiyonel grupta (68.07 ± 4.47 MPa) gözlemlendi (Tablo 3).

2.5 mm kalınlıktaki örneklerde ise en yüksek bükülme dayanımı CAD-CAM yöntemiyle üretilen örneklerde elde edilirken (123.55 ± 6.49 MPa), bunu 3B yazıcı grubu (91.80 ± 3.56 MPa) ve konvansiyonel grup (70.18 ± 7.15 MPa) izlemektedir (Tablo 3).

Aynı materyal grubuna ait farklı kalınlıktaki örneklerde meydana gelen bükülme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında; konvansiyonel yöntemle üretilen örneklerde farklı kalınlık seviyeleri arasında bükülme dayanımı açısından anlamlı farklılık görülmedi ($p = 0.155$) (Tablo 3).

CAD-CAM grubunda kalınlık değişiminin bükülme dayanımı üzerinde anlamlı etkisi olduğu saptandı ($p < 0.001$). Bu grupta en yüksek dayanım 2 mm kalınlıkta elde edilirken, 2.5 mm kalınlıkta ise belirgin bir düşüş gözlemlendi (Tablo 3).

3B yazıcı ile üretilen restorasyonlar içerisinde bükülme dayanımının kalınlığa bağlı olarak anlamlı farklılık gösterdiği belirlendi ($p=0.013$) (Tablo 3). En yüksek dayanım 2 mm kalınlıktaki örneklerde elde edilirken (96.87 ± 5.66 MPa), 1.5 mm ve 2.5 mm kalınlığındaki örnekler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmedi.

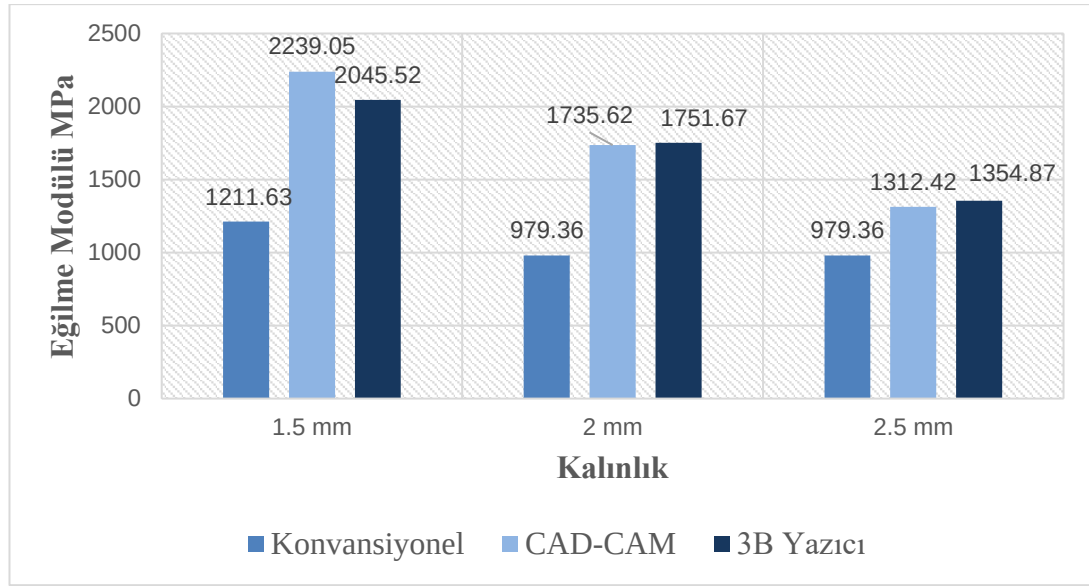
4.2. Eğilme Modülü Değerleri

Konvansiyonel, CAD-CAM ve 3B yazıcı teknikleriyle üretilen geçici restorasyon materyallerinde kalınlık farkının eğilme modülü üzerindeki etkisine ilişkin bulgular Tablo 4 ve Şekil 37’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Farklı üretim teknikleri ve kalınlıklara göre eğilme modülü (MPa) değerlerinin karşılaştırılması.

	Konvansiyonel (n=30)	CAD-CAM (n=30)	3B yazıcı (n=30)		
	$\bar{X} \pm SS$ (min-max)	$\bar{X} \pm SS$ (min-max)	$\bar{X} \pm SS$ (min-max)	z^*	P
1.5 mm (n=10)	1211.63 ± 133.68^{Aa} (985.50-1441.83)	2239.05 ± 174.98^{Ba} (2008.15-2501.01)	2045.52 ± 167.02^{Ca} (1821.23-2333.44)	21.677	<0.001
2 mm (n=10)	979.36 ± 69.94^{Ab} (886.59-1102.15)	1735.62 ± 124.30^{Bb} (1463.52-1943.44)	1751.67 ± 90.59^{Bb} (1604.80-1891.83)	19.365	<0.001
2.5 mm (n=10)	716.66 ± 96.20^{Ac} (614.54-926.90)	1312.42 ± 92.83^{Bc} (1186.80-1441.37)	1354.87 ± 75.42^{Bc} (1250.03-1499.62)	19.667	<0.001
z^{**}	23.791	25.806	25.055		
P	<0.001	<0.001	<0.001		

*Kruskal Wallis Testi**Friedman testi; $\bar{X} \pm SS$: Ortalama $\pm$ Standart Sapma; min: minimum; max: maksimum; p: Önem düzeyi *** $p < 0.05$: İstatistiksel olarak önemliliği göstermektedir. ^{A-C} Aynı harfe ait materyaller arasında fark yoktur..^{a-c} Aynı harfe sahip kalınlıklar arasında fark yoktur.



Şekil 37. Geçici restorasyon materyallerinin üretim yöntemi ve kalınlığa bağlı eğilme modülü değerleri (MPa).

Üretim teknikleri arasında yapılan karşılaştırmalarda, tüm kalınlık değerlerinde eğilme modülü açısından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık saptandı ($p < 0.001$) (Tablo 4). 1.5 mm kalınlıkta en yüksek eğilme modülü CAD-CAM grubunda (2239.05 ± 174.98 MPa), ardından 3B yazıcı grubunda (2045.52 ± 167.02 MPa) elde edilirken, konvansiyonel grup (1211.63 ± 133.68 MPa) en düşük değerleri gösterdi.

2 mm kalınlıktaki örneklerde üretim teknikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptandı ($p < 0.001$) (Tablo 4). 3B yazıcı (1751.67 ± 90.59 MPa) ve CAD-CAM (1735.62 ± 124.30 MPa) gruplarının eğilme modülü değerleri birbirine yakın olup aynı istatistiksel grupta yer aldı. Buna karşın, konvansiyonel yöntemle üretilen örneklerin eğilme modülü değeri (979.36 ± 69.94 MPa), diğer üretim tekniklerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha düşük bulundu.

2.5 mm kalınlıktaki örneklerde de üretim teknikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu belirlendi ($p < 0.001$) (Tablo 4). 3B yazıcı (1354.87 ± 75.42 MPa) ve CAD-CAM (1312.42 ± 92.83 MPa) grupları benzer eğilme modülü değerleri sergilerken, konvansiyonel yöntemle üretilen örneklerin eğilme modülü değeri (716.66 ± 96.20 MPa) anlamlı düzeyde daha düşük olarak tespit edildi.

Aynı materyal grubuna ait farklı kalınlıktaki örneklerde meydana gelen eğilme modülü değerleri karşılaştırıldığında; konvansiyonel olarak üretilen geçici restorasyon materyallerinde farklı kalınlıklar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlemlendi.

($p < 0.001$) (Tablo 4). Eğilme modülü değerlerinin 1.5 mm kalınlıkta en yüksek olduğu (1211.63 ± 133.68 MPa), 2 mm kalınlıkta azalma gösterdiği (979.36 ± 69.94 MPa) ve 2.5 mm kalınlıkta en düşük seviyeye indiği belirlendi (716.66 ± 96.20 MPa).

CAD-CAM yöntemiyle üretilen geçici restorasyonlarda eğilme modülü değerleri kalınlık grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdi ($p < 0.001$) (Tablo 4). En yüksek eğilme modülü 1.5 mm kalınlığındaki örneklerde (2239.05 ± 174.98 MPa), ardından 2 mm'lik örneklerde (1735.62 ± 124.30 MPa) ve en düşük ise 2.5 mm kalınlıktaki örneklerde görüldü (1312.42 ± 92.83 MPa).

3B yazıcı ile üretilen geçici restorasyon materyallerinin eğilme modülü değerleri, kalınlık grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdi ($p < 0.001$) (Tablo 4). En yüksek eğilme modülü değeri 1.5 mm kalınlıktaki örneklerde elde edilirken (2045.52 ± 167.02 MPa), 2 mm kalınlıkta bu değer azalmakta (1751.67 ± 90.59 MPa), 2.5 mm kalınlıkta ise en düşük seviyede gözlenmektedir (1354.87 ± 75.42 MPa). Bu sonuçlar, hem CAD-CAM hem de 3B yazıcı gruplarında kalınlık artışıyla birlikte eğilme modülü değerlerinin sistematik bir azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

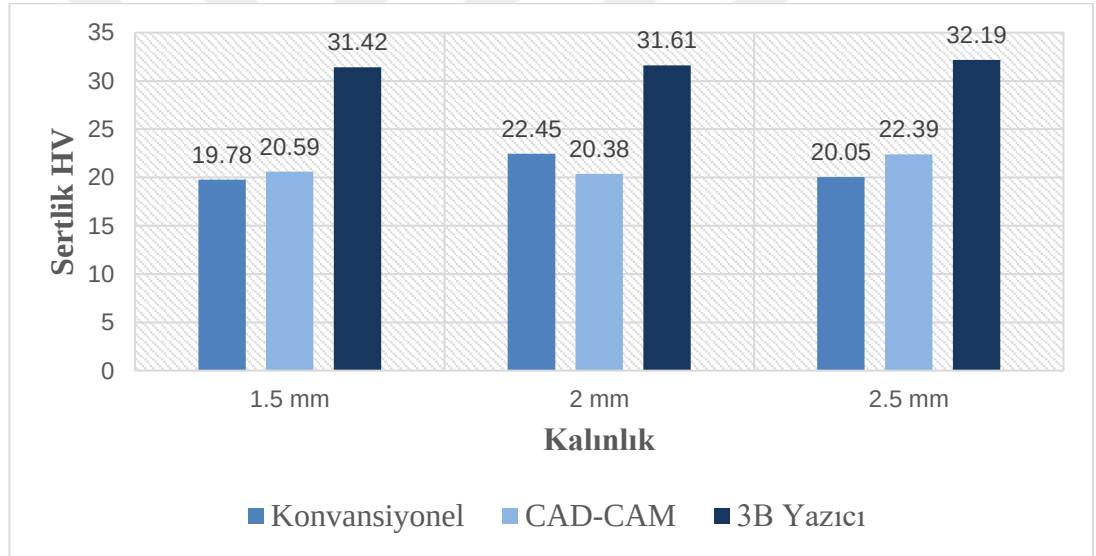
4.3. Sertlik Değerleri

Konvansiyonel, CAD-CAM ve 3B yazıcı teknikleriyle üretilen geçici restorasyon materyallerinde kalınlık farkının sertlik değerleri üzerindeki etkisine ait sonuçlar Tablo 5 ve Şekil 38'de yer almaktadır.

Tablo 5. Farklı Üretim Teknikleri ve Kalınlıklara Göre Sertlik Değerlerinin Karşılaştırılması.

	Konvansiyonel (n=30)	CAD-CAM (n=30)	3B yazıcı (n=30)		
	$\bar{X} \pm SS$ (min-max)	$\bar{X} \pm SS$ (min-max)	$\bar{X} \pm SS$ (min-max)	z^*	P
1.5 mm (n=10)	19.78 ± 2.85 ^A (15.69-24.58)	20.59 ± 2.70 ^A (16.67-25.93)	31.42 ± 5.75 ^B (23.52-41.65)	15.200	<0.001
2 mm (n=10)	22.45 ± 6.13 ^A (13.64-37.05)	20.38 ± 3.57 ^A (12.20-24.58)	31.61 ± 4.45 ^B (25.13-40.25)	14.600	<0.001
2.5 mm (n=10)	20.05 ± 4.51 ^A (12.39-26.66)	22.39 ± 6.04 ^A (18.23-35.68)	32.19 ± 5.18 ^B (24.58-43.89)	7.800	0.020
z^{**}	1.559	0.083	0.315		
P	0.459	0.959	0.854		

*Kruskal Wallis Testi**Friedman testi; $\bar{X} \pm SS$: Ortalama $\pm$ Standart Sapma; min: minimum; max: maksimum; p: Önem düzeyi ***p<0.05: İstatistiksel olarak önemliliği göstermektedir. ^{A-C} Aynı harfe ait materyaller arasında fark yoktur.



Şekil 38. Geçici restorasyon materyallerinin üretim yöntemi ve kalınlığa bağlı sertlik değerleri (HV).

1.5 mm kalınlıktaki geçici restorasyonlarda sertlik değerleri üretim tekniklerine göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir (p<0.001) (Tablo 5). Bu kalınlıkta en yüksek sertlik değerleri 3B yazıcı tekniğiyle üretilen örneklerde elde edildi (31.42 ± 5.75). CAD-CAM (20.59 ± 2.70) ve konvansiyonel (19.78 ± 2.85) gruplarının sertlik değerleri ise birbirine yakın bulundu.

2 mm kalınlık seviyesinde üretim teknikleri arasında sertlik açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edildi (p <0.001) (Tablo 5). En yüksek

ortalama sertlik değeri 3B yazıcı grubunda saptandı (31.61 ± 4.45). CAD-CAM (20.38 ± 3.57) ve konvansiyonel (22.45 ± 6.13) grupların sertlik değerleri birbirine yakın olup, 3B yazıcı grubuna kıyasla daha düşük olduğu görüldü.

2.5 mm kalınlıktaki örneklerde sertlik değerleri üretim tekniğine bağlı istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir ($p = 0.020$) (Tablo 5). Bu kalınlıkta 3B yazıcı ile üretilen restorasyonlar en yüksek sertlik değerini göstermektedir (32.19 ± 5.18). CAD-CAM (22.39 ± 6.04) ve konvansiyonel (20.05 ± 4.51) grupları arasında ise sertlik açısından benzer bir dağılım gözlenmektedir.

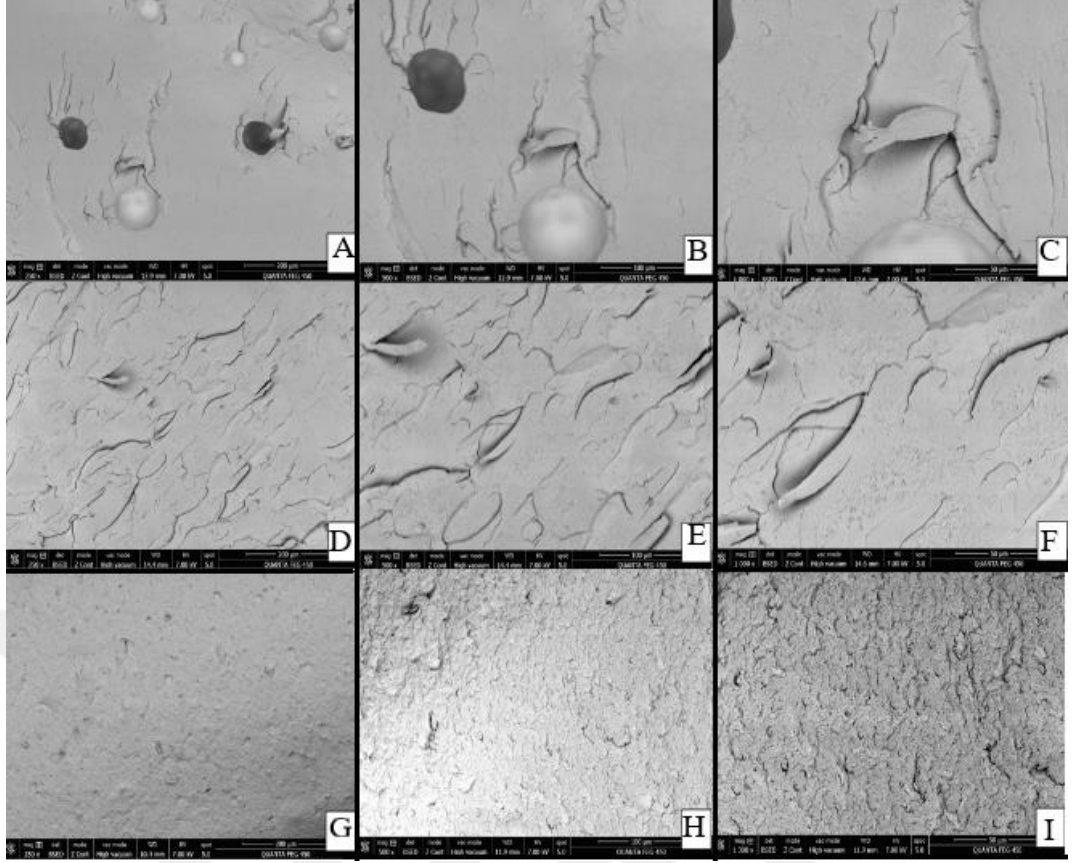
Aynı materyal grubuna ait farklı kalınlıktaki örneklerde meydana gelen sertlik değerleri karşılaştırıldığında; konvansiyonel yöntemle üretilen restorasyonlarda sertlik değerlerinin kalınlık grupları arasında değişkenlik gösterdiği, ancak bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı gözlemlendi ($p = 0.459$) (Tablo 5).

CAD-CAM yöntemiyle üretilen restorasyonlarda sertlik değerleri arasında kalınlık değişimine bağlı istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmedi ($p = 0.959$) (Tablo 5).

3B yazıcı ile üretilen restorasyonlarda farklı kalınlık seviyeleri arasında sertlik açısından istatistiksel açıdan anlamlı fark bulunmadı ($p = 0.854$) (Tablo 5). 1.5 mm, 2 mm ve 2.5 mm kalınlıklarda elde edilen sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu görüldü.

4.4. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi

Tüm gruplardan rastgele seçilen birer test örneğinin taramalı elektron mikroskopunda (Quanta FEG 450, Oxford Instruments, Udem, Hollanda) x250, x500 ve x1000 büyütme altındaki SEM görüntüleri sırayla Şekil 39’ da gösterildi.



Şekil 39. Konvansiyonel (A–C), CAD-CAM (D–F) ve 3B yazıcı (G–I) yöntemleriyle üretilen örneklerin $\times 250$, $\times 500$ ve $\times 1000$ büyütme elde edilen SEM görüntüleri.

SEM görüntüleri sonucunda farklı üretim yöntemlerine bağlı olarak geçici restorasyon materyallerinin yüzey morfolojisinde bazı farklılıklar olduğu gözlemlendi. Konvansiyonel yöntemle üretilen örneklerin yüzey yapısının daha heterojen olduğu, yer yer yüzey pürüzlülüğü ve mikro boşlukların bulunduğu görüldü. CAD-CAM yöntemiyle üretilen örneklerde ise yüzey morfolojisinin daha homojen ve kompakt olduğu izlendi. 3B yazıcı yöntemiyle üretilen örneklerde katmanlı üretim tekniğine özgü olarak katman sınırlarının seçilebilir olduğu ve katmanlar arası geçiş bölgelerinde morfolojik düzensizliklerin görülebildiği tespit edildi. Gözlenen bu mikro yapısal özelliklerin, üretim yöntemlerine bağlı olarak materyalin mekanik davranışı üzerinde etkili olabilecek faktörler arasında yer alabileceği ve çalışmada elde edilen mekanik test bulguları ile genel olarak uyum gösterdiği değerlendirilmektedir.

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, farklı üretim teknikleri (konvansiyonel, CAD-CAM, 3B yazıcı) ile hazırlanan geçici restorasyon materyallerinde kalınlık farkının materyalin mekanik özelliklerine etkisi; üç nokta bükülme testi ve sertlik testi aracılığıyla değerlendirildi. Elde edilen bulgular doğrultusunda, çalışmada ortaya konulan sıfır hipotezleri (H_0) istatistiksel olarak anlamlı farklar gözlemlendiğinden reddedildi. Bulguların sonuçlarına göre farklı tekniklerle üretilen geçici kuron materyalinin bükülme dayanımı, eğilme modülü ve sertlik değerlerinde anlamlı farklılıklar bulunduğu, materyal kalınlığındaki değişimlerin de bu mekanik özelliklere kısmen anlamlı fark yarattığı görüldü.

Geçici restorasyonlar; daimi protezin estetik, fonksiyonel ve fonetik özelliklerinin değerlendirilmesine olanak sağlayan, aynı zamanda diş ve çevre dokuların korunmasına katkıda bulunan ara restorasyonlardır. Bu restorasyonlar; hasta konforunun sağlanması, dentin hassasiyetinin önlenmesi, maksillo-mandibuler ilişkilerin sürdürülmesi, yumuşak doku şekillendirmesi ve oklüzal ilişkilerin değerlendirilmesi gibi çok yönlü klinik amaçlarla kullanılmaktadır (26).

Geçici restorasyonlar; tercih edilen materyal türü ve uygulama yaklaşımına bağlı olarak, konvansiyonel (geleneksel) olarak veya dijital teknolojilere dayalı sistemler (CAD-CAM ve 3B yazıcılar) kullanılarak hazırlanabilmektedir. Konvansiyonel teknikle üretilen geçici restorasyonlar farklı materyaller kullanılarak indirekt ve direkt tekniklerle yapılabilir. Direkt teknik, geçici restorasyonun klinikte doğrudan ağız içinde hazırlanmasını ifade ederken; indirekt teknik, restorasyonun laboratuvar ortamında ya da ağız dışında hazırlanarak daha sonra hastaya uygulanmasıdır (4,5).

Son yıllarda dünya genelinde yaşanan teknolojik gelişmeler, diş hekimliği alanında da yeni materyallerin ve ileri teknolojiye dayalı sistemlerin klinik ve laboratuvar uygulamalarına girmesine olanak sağlamıştır. Klinik ve laboratuvar süreçlerinde dijital teknolojilerin kullanılması, restorasyonların üretiminde kullanılan konvansiyonel yöntemlere özgü birçok dezavantajın ortadan kaldırılmasına fırsat tanımaktadır. Dijital sistemler, hasta ve hekim açısından daha konforlu uygulamalar sunmalarının yanı sıra, daha kısa sürede ve daha öngörülebilir üretim süreçleri sağlar. Bu gelişmelere paralel olarak, sundukları çeşitli avantajlar sayesinde CAD-CAM ve

üç boyutlu (3B) yazıcı sistemlerine olan ilginin dijital diş hekimliği kapsamında giderek arttığı görülmektedir.

Geçici restorasyonlarda tercih edilen materyal ve tekniklerin, planlanan tedavinin fonksiyonel gereksinimlerini karşılayacak nitelikte olması gerekir. Geçici kuron materyallerinin seçiminde ise, tedavinin süresi ve klinik ihtiyaçlar doğrultusunda, ilgili materyalin mekanik ve fiziksel özelliklerinin dikkatle değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda hekim, materyal seçiminde tedavi süresini, biyomekanik gereklilikleri ve mevcut klinik koşulları kapsamlı bir şekilde göz önünde bulundurmalıdır.

Mekanik özellikler, bir materyalin dışardan uygulanan kuvvetlere gösterdiği ölçülebilir tepkileri tanımlamakta olup; bükülme direnci, esneklik, kırılma dayanıklılığı, sertlik ve kırılma gibi parametreleri kapsamaktadır. Bükülme dayanımı restorasyonların fonksiyonel yükler altındaki rijiditesini ve kırılmaya karşı direncini yansıtmaktadır. Elastik modül, bir malzemenin uygulanan gerilme altında elastik deformasyona karşı gösterdiği direnci ifade ederken; eğilme modülü, malzemenin bükülme yükleri altındaki deformasyonunu tanımlamaktadır. Bir materyal yüzeyinin aşınma ve abrazyona karşı gösterdiği direnç, o materyalin sertliği olarak ifade edilir (50,58,67).

Geçici kuron ve köprü protezlerinin klinik kullanımı sırasında karşılaşılan en yaygın sorunlardan biri, materyallerin çeşitli etkenlere bağlı olarak kırılmaya eğilimli olmasıdır. Bu durum, restoratif materyallerin mekanik özelliklerinin tedavi başarısı açısından kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Mekanik özellikler, bir materyalin dışardan uygulanan kuvvetler karşısında gösterdiği ölçülebilir tepkileri tanımlamakta olup; elastiklik, kırılma dayanıklılığı, bükülme direnci, esneklik, sertlik ve kırılma gibi parametreleri kapsamaktadır (50,51).

Ağız ortamında uygulanan çeşitli kuvvetler arasında, bükülme kuvveti en sık karşılaşılan yük tipidir. Bu nedenle, özellikle köprü restorasyonlarda bükülme dayanımı, değerlendirilmesi gereken en kritik mekanik özelliklerden biri olarak öne çıkmaktadır (50,63).

Laboratuvar ortamındaki statik bükülme testleri, ağız içi dinamik koşulları tam olarak yansıtmasa da farklı materyallerin klinik performanslarının karşılaştırılmasına olanak tanır. Bu mekanik özellikleri analiz etmek amacıyla, statik ve dinamik yüklemeleri içeren tek veya çift eksenli bükülme testleri yaygın olarak kullanılmaktadır (60).

Tek eksenli ve çift eksenli test yöntemleri, numune geometrisi ve yükleme şekli bakımından farklılık göstermektedir. Tek eksenli bükülme testinde, dikdörtgen formda hazırlanan örnekler iki dayanak üzerine yerleştirilmekte ve örneğin orta noktasına uygulanan kuvvet ile oluşan bükülme direnci hesaplanmaktadır. Çift eksenli bükülme testlerinde ise disk şeklindeki numunelere merkezden ve diskin dış yüzeyinden simetrik olarak uygulanan karşı kuvvetler ile materyalin bükülme dayanımı değerlendirilmektedir (63).

American Dental Association Council of Dental Materials, Instruments and Equipment (ANSI/ADA), Deutsches Institut für Normung (DIN) ve International Organization for Standardization (ISO) gibi uluslararası standartlar, materyallerin özelliklerinin incelendiği birçok çalışmada referans ve rehber olarak kullanılmaktadır (109–111). Bükülme dayanımı ve eğilme modülü, geçici restorasyon materyallerinin mekanik performansını, özellikle dayanıklılık ve esneme direnci açısından değerlendirmede sıkça başvurulmuş temel parametrelerdir. Polimer esaslı restoratif materyallerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde, üç nokta bükülme testi ile sertlik testi yaygın olarak kullanılmaktadır (112–115). Bu çalışmada, materyallerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla, üç nokta bükülme testi ve sertlik testi tercih edildi.

Bu çalışmada, diş hekimliğinde geçici protetik restorasyonların üretiminde kullanılan üç temel yöntem karşılaştırıldı: Geleneksel toz-likit PMMA, CAD-CAM PMMA blokları ve 3B yazıcılar için geliştirilmiş geçici restorasyon reçineleri. Güncel dijital dental teknolojilerden yararlanılarak bu yaklaşımların mekanik özellikleri değerlendirildi ve aralarındaki farklılıklar analiz edildi.

Klinikte yaygın olarak tercih edilen geleneksel PMMA materyali İmident (Imicryl, Konya, Türkiye), CAD-CAM yöntemiyle üretilen Telio-CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn) ve kullanım oranı giderek artan 3B yazıcı reçinesi Optiprint Lumina (Dentona, Dortmund, Almanya) materyalleri çalışmamıza dahil edildi.

Çalışmada hazırlanan örneklerin sayısı, power analizine göre her grup için gerekli olan minimum 9 adetlik gereksinimi karşılamakla birlikte, ölçümlerde daha yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik sağlamak amacıyla literatürdeki benzer çalışmalarda (113,116–119) yaygın olarak kabul görmüş standarda uygun olarak her malzeme türü ve her kalınlık düzeyi için 10 adet örnek üretildi.

Restorasyonların mekanik özellikleri klinik ortamında ve laboratuvar şartlarında farklı analizlerle değerlendirilebilmektedir. *In vitro* çalışmalar, materyal ve üretim yöntemine bağlı etkilerin dış ortam değişkenlerinden bağımsız, izole biçimde değerlendirilmesini sağlayarak mekanik test ölçümlerinde yüksek tekrarlanabilirlik ve standardizasyon sunar; temel avantajı ise, kontrol edilebilir ve tekrarlanabilir test koşulları altında daha kısa bir sürede çok sayıda standartlaştırılmış numunenin incelenebilmesidir (120).

Çalışmada sabit geçici restorasyonların farklı üretim yöntemleri ve kalınlıklarda üretilmiş örneklerinin bükülme dayanımı ve yüzey sertliği yönünden karşılaştırılması amacıyla literatürde sıkça kullanılan *in vitro* yaklaşım tercih edilmiştir (115,116,121).

Geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerini *in vitro* olarak değerlendiren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Digholkar ve ark. (114) geçici materyallerin bükülme dayanımı ve yüzey sertliğini incelerken, Tahayeri ve ark. (86) materyallerin eğilme modülünü değerlendirmiştir. Benzer şekilde Park ve ark. (122) da farklı geçici restorasyon materyallerinin bükülme dayanımını araştırmıştır. Bununla birlikte Simoneti ve ark. (123) ile Crenn ve ark. (118) tarafından yürütülen çalışmalar, bizim çalışmamıza benzer şekilde geçici restorasyon materyallerinin bükülme dayanımı, eğilme modülü ve yüzey sertliğini test etmiştir.

Literatür incelendiğinde bu çalışmaların büyük bir kısmında farklı geçici restorasyon materyallerin tek ve sabit bir kalınlık üzerinden değerlendirildiği görülmektedir. Ancak geçici restorasyonların klinik başarısı yalnızca kullanılan materyalin türüyle sınırlı olmayıp restorasyonun tasarımsal parametrelerine özellikle de materyal kalınlığıyla yakından ilişkilidir. Klinik uygulamalarda preparasyon miktarı, okluzal mesafe ve estetik gereksinimler gibi faktörlere bağlı olarak geçici restorasyonlar farklı kalınlıklarda hazırlanabilmektedir. Mevcut çalışmamızı literatürdeki benzer çalışmalardan ayrılan yönü, geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerini farklı üretim teknikleri ve değişen kalınlık seviyelerini ele alarak klinik kullanıma yönelik kapsamlı bir değerlendirme ortaya koymasındır.

Geçici restorasyonlarda bükülme dayanımı, özellikle uzun süreli kullanım, parafonksiyonel alışkanlıklar ve çok üyeli köprüler söz konusu olduğunda kritik bir mekanik özelliktir. Laboratuvar testleri klinik koşulları tam olarak yansıtmasa da kontrollü ortam sağlamaları nedeniyle materyallerin karşılaştırılmasına olanak tanır.

Literatürde, bükülme direncinin yalnızca materyal bileşimine değil, aynı zamanda üretim yöntemine de bağlı olduğu gösterilmiştir (117,124,125).

Cho ve Choi (126) farklı tekniklerle (konvansiyonel, CAD-CAM, 3B yazıcı) hazırlanan geçici restorasyon materyallerinin bükülme dayanımı inceledikleri çalışmalarında, CAD-CAM yöntemiyle üretilen örneklerin en yüksek bükülme dayanımı sergilediğini, bunu 3B yazıcıyla üretilen örneklerin izlediğini ve konvansiyonel yöntemle hazırlanan materyallerin en düşük bükülme dayanımına sahip olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda elde edilen bükülme dayanımı sonuçları da bu bulgularla uyumlu olup, farklı kalınlıklarda (1.5 mm, 2 mm ve 2.5 mm) ölçülen değerler incelendiğinde, tüm kalınlıklarda CAD-CAM grubunun en yüksek, 3B yazıcı grubunun orta düzeyde ve konvansiyonel grubun ise en düşük bükülme dayanımı değerlerini gösterdiği belirlendi. Ayrıca kalınlık artışıyla birlikte bükülme dayanımında gözlenen artış eğilimi, kesit alanının büyümesine bağlı olarak yük taşıma kapasitesinin artmasıyla açıklanabilir. Bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, geçici restorasyonların bükülme dayanımının hem üretim yöntemi hem de restorasyon kalınlığında anlamlı biçimde etkilendiği ve özellikle yüksek mekanik dayanım gerektiren klinik durumlarda CAD-CAM yönteminin avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

Al-Qahtani ve ark. (127) tarafından yapılan araştırmada, üretim yönteminin geçici restorasyonların mekanik nitelikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Geleneksel ve dijital olarak üretilen geçici restorasyonlar bükülme dayanımı testlerine tabi tutulmuş ve gruplar arasında istatistiksel anlamlı farklar gözlemlendiğini raporlamışlardır. Elde edilen bulgulara göre, CAD-CAM prepolimerize bloklardan üretilen restorasyonlar en yüksek bükülme dayanımını sergilerken, 3B yazıcı reçineleriyle hazırlanan örneklerin ise bu bloklara eşdeğer veya oldukça yakın değerler gösterdiği belirtilmiştir. Benzer şekilde, çalışmamızın bulguları sonucunda CAD-CAM tekniği ile restorasyonlarda en yüksek bükülme direncini sağlayan yöntem olduğunu ortaya koyarken, 3B yazıcı ile üretilen materyallerin orta düzeyde performans gösterdiğini ve konvansiyonel yöntemin ise en düşük dayanımı sergilediğini doğrulamaktadır. Bu sonuçlar, dijital üretim teknolojilerinin geçici restorasyonlarda mekanik performansı artırmada belirgin bir avantaj sağladığını desteklemektedir.

Yılmaz ve Yeşil (128) gerçekleştirdikleri çalışmada; konvansiyonel yöntem, CAD-CAM sistemi ve 3B yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilen geçici restorasyonları

mekanik özellikleri karşılaştırılmış; elde edilen bulgular doğrultusunda, CAD-CAM tekniğiyle üretilen restorasyonların mekanik dayanıklılık açısından geleneksel yöntemlere kıyasla daha üstün performans gösterdiği bildirilmiştir.

Konvansiyonel ve 3B yazıcı ile üretilen geçici kuron materyallerinin bükülme dayanımını karşılaştıran Simoneti ve ark. (123) konvansiyonel yöntemle hazırlanan geçici kuron materyallerinin, 3B yazıcı ile üretilen örneklerle kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bükülme dayanımı sergilediğini bildirmiş ve bu durumu daha homojen bir polimerizasyon yapısına sahip olmalarıyla ilişkilendirmiştir. Buna karşın çalışmamızda, bükülme dayanımı açısından yapılan karşılaştırmada 3B yazıcı grubunun konvansiyonel gruba göre daha yüksek değerler gösterdiği belirlenmiştir. Bu farklılığın, 3B yazıcı reçinesinin materyal içeriği ile üretim parametreleri ve post-kürleme protokollerindeki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Literatürde Alageel (112) tarafından yürütülen benzer bir araştırmada, farklı üretim tekniklerinin geçici restorasyon materyallerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmalarında konvansiyonel yöntemle hazırlanan örnekler, CAD-CAM sistemiyle üretilen restorasyonlar ve 3B yazıcı (NextDent, Asiga) kullanılarak elde edilen materyallerin bükülme dayanımı değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, dijital üretim yaklaşımlarının bükülme dayanımı bakımından geleneksel yöntemle göre daha yüksek performans sergilediğini göstermiştir. Mevcut çalışmamızdaki sonuçlar bu araştırmada elde edilen bulgularla uyumlu olarak, dijital üretim ile hazırlanan örneklerin (CAD-CAM ve 3B Yazıcı sistemleri), konvansiyonel yöntemle hazırlanan örneklerle kıyasla daha üstün bükülme dayanımı değerlerine sahip olduğunu desteklemektedir.

Termal döngü ile yaşlandırma protokolünün geçici restorasyon materyallerinin bükülme dayanımı üzerine etkisini inceleyen Öztürk ve Öngül (113) 3B yazıcı ile üretilen geçici restorasyonların konvansiyonel yöntemle üretilenlere göre daha yüksek performans parametreleri sağladığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, çalışmamızda elde edilen sonuçlar da 3B yazıcı ile üretilen örneklerin bükülme dayanımı açısından konvansiyonel yöntemle üretilenlere göre daha dirençli olduğunu ortaya koymuştur. Bu uyumlu bulgular, 3B yazıcı teknolojisinin geçici restorasyonlarda mekanik dayanımı artırma potansiyeline sahip olduğunu desteklemektedir.

Bu çalışmada hazırlanan örnekler 37 °C'de 7 gün süreyle yapay tükürük ortamında depolanmıştır. Sezin (129) benzer şekilde örneklerini 37 °C'de ancak daha uzun bir süre olan 30 gün boyunca muhafaza etmiştir. Perea-Lowery ve ark. (124),

Burduroğlu ve Keyf (17), Ribeiro ve ark. (130) ise örneklerini distile su veya tükürük ortamında saklamayı tercih etmiştir. Ayrıca Belmonte ve ark. (131) ve Haselton ve ark. (132) da çalışma protokollerinde, bizim araştırmamıza paralel olarak, örnekleri 37 °C’de yapay tükürük bulunan bir inkübatörde depolamıştır. Literatür incelendiğinde, örneklerin depolanmasına ilişkin kabul görmüş ve standartlaştırılmış bir protokolün bulunmadığı görülmektedir. Bu durum, farklı saklama ortamları ve sürelerinin materyal performansı üzerinde değişken sonuçlara yol açabileceğini göstermektedir.

Perea-Lowery ve ark. (124) farklı CAD-CAM geçici kuron materyallerini kullanarak materyal türü ve saklama koşullarının bükülme dayanımı üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmalarında, örneklerin yarısını kuru ortamda, diğer yarısını ise 37 °C’de distile su içerisinde 1 ay süreyle bekletmişlerdir. Uygulanan testler sonucunda hem materyal türünün hem de saklama koşullarının materyalin bükülme dayanımı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler gösterdiğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, çalışmamızda farklı üretim yöntemleriyle hazırlanmış ve farklı kalınlıklara sahip geçici kuronlar karşılaştırıldığında, en yüksek bükülme dayanımı CAD-CAM ile üretilen 2 mm kalınlığa sahip örneklerde gözlenmiştir. Bu bulgular, kuron kalınlığının yanı sıra üretim yöntemi ve materyal seçiminin de mekanik performans üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Burduroğlu ve Keyf (17) çeşitli geçici restorasyon materyalinin (CAD-Temp, Telio CAD, Revotek LC, Protemp 4, Dentalon Plus, İmident) mekanik özelliklerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, yüzey hazırlığı için tüm örnekler, dört aşamalı bir zımparalama protokolüne (400, 800, 1,200 ve 2,400) tabi tutulmuş ve ardından numuneler bir hafta boyunca 25°C’de distile suda bekletilmiştir. Çalışmalarının sonucunda İmident ve Protemp 4 materyallerinin en yüksek bükülme dayanımı değerlerini gösterdiği rapor etmişlerdir. Mevcut çalışmamızın sonuçları, bu bulgulardan farklı bir eğilim sergilemektedir. İmident ve Telio-CAD materyalleri arasındaki karşılaştırmada en yüksek bükülme dayanımı CAD-CAM ile üretilen Telio-CAD grubunda gözlenmiş, en düşük dayanım ise konvansiyonel yöntemle üretilen İmident örneklerinde ortaya çıkmıştır. Konvansiyonel olarak hazırlanan İmident gibi PMMA esaslı materyaller polimerizasyon büzülmesi, mikroporozite ve değişken çalışma koşulları nedeniyle daha heterojen bir yapı sergileyip daha düşük bükülme dayanımı gösterdiği düşünülmektedir. Bu faktörler bir arada değerlendirildiğinde, çalışmamızda Telio-CAD’in en yüksek, konvansiyonel İmident materyalinin ise en

düşük bükülme dayanımını göstermesinin, CAD-CAM üretim sürecinin sunduğu üstün yapısal ve mekanik avantajlardan kaynaklandığı söylenebilir.

Belmonte ve ark. (131) geçici kuron materyallerinde kalınlık farkının mekanik özelliklere etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm kalınlıklarında iki farklı materyal (Structur 3 ve Structur Premium) kullanmışlardır. Hazırlanan örnekler 37 °C’de yapay tükürük içerisinde 28 gün bekletildikten sonra üç nokta bükülme testine tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda Structur Premium’un, Structur 3’e kıyasla daha yüksek bükülme dayanımı dolayısıyla daha üstün mekanik özellik sergilediğini ve materyaldeki kalınlık farkının bu parametre üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı bildirilmişlerdir. Bu bulgular, çalışmamızın sonuçlarıyla da uyumlu olup, konvansiyonel yöntemle üretilen geçici restorasyonlarda materyal kalınlığının bükülme dayanımı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olmadığını ortaya koymaktadır.

Eğilme modülü, restoratif materyallerin elastik deformasyona karşı direncini yansıtan ve fonksiyon sırasında oluşan bükülme kuvvetleri altında restorasyonun rijiditesini belirleyen önemli bir mekanik parametredir. Mevcut çalışmada geçici restorasyonlar 1.5 mm, 2.0 mm ve 2.5 mm olmak üzere farklı klinik kalınlıklarda değerlendirilmiş olup, elde edilen eğilme modülü sonuçları kalınlığın bu mekanik özellik üzerindeki etkisinin göz ardı edilemeyeceğini göstermektedir (66).

Farklı CAD-CAM geçici kuron materyallerinin eğilme modülü Perea-Lowery ve ark. (124) tarafından incelenmiş; materyal tipinin yanı sıra saklama koşullarının (kuru/distile su) da eğilme modülü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Tez çalışmamızda CAD-CAM yöntemiyle üretilen örneklerin en yüksek eğilme modül değerleri sergilediği, konvansiyonel yöntemle hazırlanan örneklerin ise en düşük değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, geçici restorasyon materyallerinin eğilme modülünün yalnızca materyal içeriğine değil, aynı zamanda üretim tekniğine de güçlü biçimde bağlı olduğunu göstermektedir. Endüstriyel koşullarda polimerize edilen CAD-CAM blokların daha homojen mikro yapıya ve daha yüksek polimerizasyon derecesine sahip olmasının, konvansiyonel yöntemlere kıyasla daha yüksek eğilme modül değerleriyle sonuçlanmış olabileceği düşünülmektedir.

Nakornnoi ve ark. (133) farklı 3B yazıcı reçinelerini farklı kalınlıklarda (0.50 mm, 0.75 mm ve 1.00 mm) değerlendirdikleri çalışmalarında, bükülme dayanımı ve eğilme modülünün hem materyal türüne hem de kalınlığa bağlı olarak anlamlı şekilde

değiştiğini bildirmiştir. İlgili çalışmada Duran ve Dental LT Clear V2 materyallerinde kalınlık artışıyla birlikte bükülme dayanımı ve eğilme modülü değerlerinin azaldığı, NextDent Ortho Flex materyalinde ise kalınlık artışına paralel olarak bu mekanik parametrelerin arttığını rapor edilmiştir. Çalışmamızda ise 1.5 mm, 2.0 mm ve 2.5 mm kalınlığında örnek gruplarında farklı üretim tekniklerinden bağımsız olarak eğilme modül değerlerinin kalınlık artışıyla birlikte azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Bu yönüyle bulgularımız mevcut çalışma ile kısmen benzerlik göstermektedir. Bu farklılığın; çalışmalarda kullanılan kalınlık aralıklarının farklı olması, materyallerin kimyasal bileşimleri, polimer zincir uzunlukları ve esnekliğindeki farklılıklara ek olarak, klinik olarak daha kalın restorasyonlarda stres dağılım mekanizmalarının değişmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Konvansiyonel olarak üretilen farklı geçici kuron materyallerinin kalınlık değişkeninin eğilme modülü üzerindeki etkilerini inceleyen Belmonte ve ark. (131) araştırmalarının sonucunda çalışmamızdan farklı olarak materyal kalınlığındaki farklılıkların eğilme modülü üzerinde sınırlı düzeyde etkili olduğunu saptamışlardır. Ancak çalışmamızın bulguları, bu sonuçlarla tam olarak örtüşmemekte olup konvansiyonel yöntemle üretilen geçici restorasyon materyallerinde eğilme modül değerlerinin kalınlığa göre anlamlı düzeyde farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Bu üretim tekniğinde en yüksek eğilme modül değeri 1.5 mm kalınlıkta elde edilmiş, 2 mm'de eğilme modül belirgin şekilde azalmış ve 2.5 mm kalınlıkta ise değerler en düşük seviyeye ulaşmıştır. Bu farklılığın, konvansiyonel yöntemlerde polimerizasyonun materyal boyunca homojen ilerlememesi ve artan kalınlıkla birlikte iç bölgelerde porozite ile gerilme birikiminin artmasına bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Diş hekimliğinde materyal seçiminde sertlik önemli bir değerlendirme kriteridir. Restoratif bir materyalin sertliğinin, karşıt dişlerde aşırı ve istenmeyen aşınmaya yol açmayacak düzeyde olması, aynı zamanda kendi yüzeyinde erken veya belirgin aşınma göstermeyecek kadar yeterli olması beklenmektedir (59).

Perea-Lowery ve ark. (124) çeşitli CAD-CAM geçici kuron materyallerinde materyal tipi ve saklama koşullarının sertlik üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Örneklerin yarısını kuru ortamda, diğer yarısını ise 37 °C'de distile su içerisinde 1 ay süreyle bekletmişlerdir. Yapılan testler sonucunda hem kullanılan materyalin hem de saklama koşullarının sertlik değerlerini istatistiksel olarak etkilediğini raporlamışlardır. Buna karşılık, mevcut çalışmamızda farklı kalınlıklarda üretilen

CAD-CAM geçici restorasyonların sertlik değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu farklılığın, Perea Lowery ve ark.'nın (124) çalışmasında materyal kompozisyonu ve çevresel koşulların değişken olarak ele alınmasına karşın, bizim çalışmamızda aynı materyal kullanılarak yalnızca kalınlık parametresinin değerlendirilmiş olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Al-Qahtani ve ark. (127) geçici restorasyonların mekanik özelliklerine üretim yönteminin etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, konvansiyonel ve dijital sistemler kullanılarak geçici restorasyonlar üretilmiş ve materyalin sertlik değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak 3B yazıcı reçinelerinin CAD-CAM blokları ve konvansiyonel PMMA örneklerine kıyasla anlamlı olarak daha yüksek değerler sergilediği raporlamışlardır. Çalışmamızda elde edilen istatistik sonuçlarına göre 3B yazıcı ile hazırlanan restorasyonlar en yüksek sertlik değerine sahipken, CAD-CAM ve konvansiyonel tekniklerle hazırlanan materyallerin birbirine oldukça yakın değerler sergilemiştir.

Öztürk ve Öngül (113) tarafından yürütülen araştırmada, 3B yazıcı ve konvansiyonel yöntem ile üretilen geçici restorasyon materyallerin yüzey sertliği karşılaştırılmıştır. Çeşitli bitim işlemleri (zımparalama, diskle polisaj ve sızdırmazlık ajanı) uygulanan örneklerin Vickers sertlik değerleri ölçülmüştür. Bulgular doğrultusunda, 3B yazıcı ile üretilen örneklerin konvansiyonel olarak hazırlanan materyallere kıyasla daha üst düzey yüzey sertliği özellikleri gösterdiğini raporlamaktadırlar. Bu sonuçlar, mevcut çalışmamızın bulguları ile paralellik göstermekte olup, çalışmamızda da 3B yazıcı ile üretilen geçici restorasyonların konvansiyonel yöntemle hazırlananlara kıyasla daha üstün sertlik özellikleri gösterdiği belirlenmiştir.

Simoneti ve ark. (123) geçici kuron materyallerinin sertlik değerleri üzerinde üretim yönteminin etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, konvansiyonel yöntemin yüzey sertliği açısından 3B yazıcı ile üretilen geçici materyallere kıyasla daha avantajlı olduğunu bildirmiştir. Buna karşın çalışmamızda yapılan analizler sonucunda, 3B yazıcı grubunun konvansiyonel gruba göre istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek sertlik değerleri sergilediği saptanmıştır. Bu farklılığın, çalışmamızda kullanılan güncel 3B yazıcı reçinesinin materyal içeriği ile optimize edilmiş üretim parametreleri ve hassas post-kürleme protokollerinin bir sonucu olabileceği düşünülmektedir.

Çeşitli geçici kuron materyallerinin (CAD-Temp, Telio CAD, Revotek LC, Protemp 4, Dentalon Plus, İmident) yüzey sertlik özelliklerini karşılaştıran Burduroğlu ve Keyf (17), örnekleri mekanik yüzey işlemine (zımparalama) tabi tutmuş ve 25°C’de distile su ortamında yedi gün bekletmişlerdir. Bu materyaller arasında CAD-Temp, Telio CAD ve İmident’in, en yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu ifade etmişlerdir. Çalışmamızda ise, İmident, Telio CAD ve Optiprint Lumina materyalleri farklı kalınlıklarda değerlendirilmiş; elde edilen bulgular, İmident ve Telio CAD materyallerinin birbirine yakın sertlik değerleri gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durumun, her iki materyalin benzer polimer matris yapısına ve dolgu içeriğine sahip olması ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, çalışmamızda kalınlık değişkeninin yüzey sertliği üzerinde belirleyici bir etki oluşturmaması ve Burduroğlu ve Keyf’in (17) çalışmasından farklı olarak uzun süreli saklama veya yapay yaşlandırma protokollerinin uygulanmamış olması, literatürde bildirilen bulgularla kısmi farklılıkların ortaya çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Rayyan ve ark. (134) tarafından yürütülen çalışmada, CAD-CAM ile üretilen geçici restorasyon bloklarının, geleneksel yöntemlerle hazırlanan materyallere kıyasla anlamlı ölçüde daha stabil ve üstün yüzey sertliği sergilediğini bildirmişlerdir. Çalışmamızın sonuçları ise bu çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermemektedir. CAD-CAM ve konvansiyonel üretimle elde edilen farklı kalınlıktaki restorasyonlar arasında anlamlı istatistik fark bulunmamıştır. Bu durumun özellikle farklı klinik kalınlık parametreleri söz konusu olduğunda, her zaman istatistiksel olarak anlamlı olmayabileceğini göstermektedir. Bu sonuç, geçici restorasyonların mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde üretim tekniğinin tek başına belirleyici bir faktör olmayabileceğini düşündürmektedir. Özellikle klinikte karşılaşılan farklı restorasyon kalınlıklarının söz konusu olduğu durumlarda, üretim yöntemine bağlı avantajların her zaman istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ortaya çıkmayabileceği görülmektedir.

Digholkar ve ark. (114) farklı yöntemlerle elde ettikleri geçici restorasyonların bükülme dayanımı ve mikrosertliğini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında 25×2×2 mm boyutlarında örnekler hazırlamışlardır. Öncelikle örnekler üç nokta bükülme testine tabi tutulmuş, kırılma sonrası elde edilen örnekler üzerinde mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, CAD-CAM yöntemiyle üretilen PMMA blok örneklerin en yüksek bükülme dayanımını sergilediği, mikrosertlik açısından ise en yüksek değerlerin 3B yazıcı ile üretilen

örneklerde ölçüldüğü bildirilmiştir. Çalışmamızda da aynı mekanik testler uygulanmış olup, elde edilen bulguların söz konusu sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir

Başka bir çalışmada Wechkunanukul ve ark. (117) farklı üretim yöntemleri ile hazırlanan geçici restorasyonların bükülme dayanımı, yüzey sertliği parametrelerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada, konvansiyonel yöntem, CAD-CAM ve 3B yazıcı kullanılarak hazırlanan örnekler üzerinde testler uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, en yüksek bükülme dayanımı CAD-CAM ile üretilen örneklerde gözlenirken, 3B yazıcı ile hazırlanan örnekler en düşük bükülme dayanımı değerlerini gösterdiğini raporlamışlardır. Bu araştırmanın aksine bizim çalışmamızda CAD-CAM yöntemi bu kalınlık seviyesinde en yüksek dayanım değerine ulaşan teknik olarak öne çıkarken 3B yazıcı ile üretilen materyaller orta düzeyde, konvansiyonel yöntem ise en düşük performansı göstermiştir. Sonuçlardaki bu farklılık kullanılan 3B yazıcı reçinelerinin içeriklerinin farklı olmasından kaynaklanmakta olup, üretim tekniklerinin mekanik özellikler üzerindeki etkisinin hem malzeme türüne hem de kullanılan protokole bağlı olabileceğini göstermektedir.

Crenn ve ark. (118) 3B yazıcı teknolojisiyle üretilen geçici restorasyon materyalleri ile konvansiyonel yöntemle hazırlanmış geçici restorasyonların mekanik özelliklerini karşılaştırmak amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında, iki farklı 3B baskı reçinesi ile kontrol grubu olarak geleneksel akrilik esaslı geçici restorasyon materyalini değerlendirmişlerdir. Çalışmada hazırlanan örnek gruplarının bükülme dayanımı, eğilme modülü ve mikrosertlik değerleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda 3B yazıcı ile üretilen geçici restorasyon materyallerinin konvansiyonel geçici materyallerle benzer mekanik özellik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Çalışmamızda farklı sonuçlar elde edilmiş olup kalınlık farkı (1.5 mm, 2. mm ve 2.5 mm) göz önünde bulundurulduğunda tüm kalınlıklarda 3B yazıcı ile üretilen örnekler konvansiyonel olarak üretilen örneklerden daha yüksek sertlik, bükülme dayanımı ve eğilme modülü değerleri sergilediği belirlenmiştir. Bulguları arasındaki bu farklılık materyal bazlı değişkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışmamızda 1.5 mm, 2 mm ve 2.5 mm kalınlıkta örnekler kullanılmış olup, numune kalınlığının mekanik özellikler üzerinde belirleyici bir etkisi olabileceği gözlenmiştir.

3B yazıcıyla üretilen geçici restorasyonlarda baskı yönü ve restorasyon kalınlığı, mekanik özellikleri belirleyen temel parametreler arasında yer almaktadır. Literatürde, baskı yönünün 3B baskı materyallerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini değerlendiren çalışmalarda; 0° (yatay) konumda üretilen örneklerin, 90°

(dikey) yönlü baskıya kıyasla kalınlık değışimlerine daha duyarlı olduğu rapor edilmiştir (86,135). Bu nedenle, çalışmamızda mekanik testlerde ölçüm doğruluğunu artırmak amacıyla baskı oryantasyonu 0° olarak tercih edildi.

Yapılan çalışmalarda, baskı yönünün özellikle bükölme dayanımı etkili olduğu, buna karşın eğilme modölü ve mikrosertlik üzerindeki etkisinin daha sınırlı olduğu bildirilmektedir (136,137).

Castro ve ark. (137) çalışmalarında, 90° baskı yönünün bazı 3B yazıcı reçinelerinde daha yüksek mekanik performans sağlayabildiğini rapor etmiştir. Mevcut tez çalışmasında ise 3B yazıcı örnekler 0° baskı yönü kullanılarak üretilmiş olup, bu parametre sabit tutularak kalınlık farkının (1.5 mm, 2 mm ve 2.5 mm) mekanik özellikler üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, kalınlık artışıyla birlikte bükölme dayanımı değerlerinde artış, eğilme modöl değerlerinde ise azalma eğilimi olduğunu göstermiştir. Bu durum artan kesit alanının katmanlar arası zayıflıkları kompanse etmesiyle ilişkilendirilmiştir. Ancak aynı kalınlık artışının 3B yazıcı gruplarında eğilme modölünü düşürmesi, materyalin bükölme karşısında daha esnek bir karakter sergilediğini düşündürmektedir.

Keşler ve ark. (138) 3B yazıcı ile üretilen geçici restorasyon materyallerinde baskı yönü-mekanik direnç arasındaki ilişkiyi değerlendirdikleri çalışmalarda, baskı yönünün bükölme dayanımı ve eğilme modölü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu; katmanların yük uygulama yönüne daha uygun konumlandığı baskı yönlerinde daha yüksek mekanik değerler elde edilirken, katmanlar arası ara yüzeylerin yük yönüne dik olduğu durumlarda mekanik performansın azaldığı bildirilmiştir. Çalışmamızda, baskı yönü yatay olacak şekilde standartlaştırılmış olup, üretim yöntemine bağlı olarak bükölme dayanımı ve eğilme modölü değerlerinde anlamlı farklılıklar saptanmıştır. Ayrıca restorasyon kalınlığının artmasıyla (1.5–2.5 mm) tüm üretim yöntemlerinde bükölme dayanımı değerleri artmış olup yatay baskı yönünde dahi katman etkilerinin artan kesit alanı ile kısmen kompanse edilebildiğini düşündürmektedir. Buna karşın eğilme modölü açısından özellikle 3B yazıcı gruplarında kalınlık artışıyla birlikte gözlenen azalma eğilimi, yatay katman diziliminin daha kalın örneklerde elastik deformasyon kapasitesini artırarak bükölmeye karşı rijitliği azaltmasıyla açıklanabilir. Bu bulgular; optimal mekanik performans için üretim yöntemi, baskı açısı ve restorasyon kalınlığının bir bütün olarak değerlendirilmesi gerektiğini kanıtlamaktadır.

Sonuç olarak, geçici restorasyonların mekanik performansının yalnızca materyal türüne bağlı olmadığını; üretim yöntemi ve restorasyon kalınlığı gibi tasarımsal değişkenlerin birlikte ele alınmasının gerekli olduğunu göstermektedir. Klinik gereksinimleri karşılayacak yeterli mekanik dayanımın elde edilebilmesi için, her vaka özelinde uygun kalınlık ile üretim yönteminin birlikte ele alınmasının gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen test sonuçları arasındaki farklılıkların; geçici restorasyon materyallerinin türü, üretim teknikleri ve çalışmaya özgü diğer parametrelerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma *in vitro* olarak gerçekleştirilmiş olup, elde edilen bulguların gerçek klinik koşullardaki ağız içi nemi, sıcaklık değişimlerini, çiğneme kuvvetlerini ve biyolojik faktörleri tam olarak yansıtmaması çalışmamızın önemli bir sınırlılığıdır. Ayrıca, test örnekleri standart çubuk formunda hazırlanmış olsa da bu formun gerçek restorasyonların anatomik yapısı ve klinik yük dağılımını birebir temsil etmemektedir. Gelecek çalışmalarda, farklı üretim teknikleriyle hazırlanan geçici restorasyon materyallerinin kırılma dayanımı, aşınma direnci ve benzeri mekanik özellikleri alternatif test yöntemleri ile incelenebilir ve *in vivo* çalışmalarla desteklenebilir. Bu yaklaşım, materyallerin mekanik performansını farklı açılardan değerlendirme olanağı sağlayarak daha kapsamlı ve klinik olarak geçerli sonuçların elde edilmesine olanak tanıyabilir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgulara dayanarak ulaşılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. Farklı üretim yöntemleriyle (konvansiyonel, CAD-CAM ve 3B yazıcı) hazırlanan geçici restorasyon materyalleri arasında bükülme dayanımı, eğilme modülü ve mikrosertlik açısından anlamlı farklılıklar belirlenmiştir.
2. Yüksek mekanik dayanım gerektiren klinik durumlarda geçici restorasyonların dijital yöntemlerle üretilmesinin, konvansiyonel yöntemlere kıyasla restorasyonların bükülme dayanımı ve eğilme modülü açısından daha uygun bir seçenek olarak değerlendirilebilir.
3. Kalınlık artışı (1.5 mm'den 2.5 mm'ye) tüm üretim yöntemlerinde bükülme dayanımını artırırken, eğilme modülü değerlerinde azalma eğilimi ile ilişkili bulundu.
4. Materyal kalınlığından bağımsız olarak, klinik kullanımda yüzey sertliğinin ön planda olduğu durumlarda, 3B yazıcı ile üretilen geçici restorasyonların diğer üretim yöntemlerinden daha iyi bir seçenek olarak değerlendirilebilir.
5. Üretim yöntemi ve restorasyon kalınlığının, geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerini etkileyen temel parametreler olduğu belirlenmiştir.
6. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, geçici restorasyonların tasarımında üretim yöntemi ve kalınlığın birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

7. KAYNAKLAR

1. Gratton DG, Aquilino SA. Interim restorations. Dent Clin North Am 48(2): 487–97, 2004.
2. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. Fundamentals of fixed prosthodontics. 3rd edition. pp. 149–163, Quintessence Publishing Company, Chicago, IL, USA, 2012.
3. Bağış B, Basmacı DFÇ, Ustaömer DS, Özen B. Sabit geçici restorasyonlar. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 16(3): 42–9, 2006.
4. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. Sabit Protezin Temelleri (Çev.Ed: Ünsal MK, Üşümez A). Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 2004.
5. Garg P, Ravi R, Ghalaut P. Outcome of provisional restorations on basis of materials and techniques of choice: A systematic review. EAS Journal of Dentistry and Oral Medicine 3(1): 6–15, 2021.
6. Yeşil Duymuş Z, Fındık Aydın S. Geçici restoratif materyallere güncel bakış. Ed: Ergün G. Geçici Protez Uygulamaları, Malzemeler ve Yapım Tekniklerine İlişkin Güncel Yaklaşımlar. 1. Baskı. s.6–11, Türkiye Klinikleri, Ankara, 2022.
7. Karagözoğlu İ, Parlar Öz Ö. Protetik tedavilerde geçici restorasyonların önemi. Ed: Ergün G. Geçici Protez Uygulamaları, Materyalleri ve Yapım Tekniklerine İlişkin Güncel Yaklaşımlar. 1. Baskı. s.1–5, Türkiye Klinikleri, Ankara, 2022.
8. Kaiser DA, Cavazos E Jr. Temporization techniques in fixed prosthodontics. Dent Clin North Am 29(2): 403–12, 1985.
9. The Glossary of Prosthodontic Terms. J Prosthet Dent 94: 10–92, 2005.
10. Lodding DW. Long-term esthetic provisional restorations in dentistry. Curr Opin Cosmet Dent 4: 16–21, 1997.
11. 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. J Prosthet Dent 70(5): 474–97, 2003.
12. Miura S, Fujisawa M, Komine F, Maseki T, Ogawa T, Takebe H, Nara Y. Importance of interim restorations in the molar region. J Oral Sci 61(2): 195–9, 2019.

13. Lieu C, Nguyen TM, Payant L. In vitro comparison of peak polymerization temperatures of five provisional restoration resins. *J Can Dent Assoc* 67: 36–9, 2001.
14. Jain S, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, Al Wadei MHD, Gupta SG, Othman AAA, Alshehri AH, Alqarni H, Mobarki AH, Motlaq K, Bakmani HF, Zain AA, Hakami AJ, Sheayria MF. 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* 14: 1–40, 2022.
15. Boberick KG, Bachstein TK. Use of a flexible cast for the indirect fabrication of provisional restorations. *J Prosthet Dent* 82(1): 90–3, 1999.
16. Rosenstiel SF, Land MF, Walter R. *Contemporary Fixed Prosthodontics*. 6th edition. Elsevier Health Sciences, pp.439-480, 2015.
17. Burduroğlu HD, Keyf F. In vitro comparison of mechanical and physical properties of various provisional restoration materials. *Essentials of Dentistry* 2(1): 1–8, 2023.
18. Federick DR. The provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent* 34(5): 520–6, 1975.
19. Latifoğlu S. Direkt teknikle hazırlanan geçici kuronların kenar uyumları ve serviko-okluzal boyut değişiminin karşılaştırılmalı olarak incelenmesi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 2001.
20. Koumjian JH, Nimmo A. Evaluation of fracture resistance of resins used for provisional restorations. *J Prosthet Dent* 64(6): 654–7, 1990.
21. Larson WR, Dixon DL, Aquilino SA, Clancy JM. The effect of carbon graphite fiber reinforcement on the strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent* 66(6): 816–20, 1991.
22. Osman YI, Owen CP. Flexural strength of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent* 70(1):94–96, 1993.
23. Luthardt RG, Stössel M, Hinz M, Vollandt R. Clinical performance and periodontal outcome of temporary crowns and fixed partial dentures: A randomized clinical trial. *J Prosthet Dent* 83(1):32–9, 2000.
24. Lieu C, Nguyen TM, Payant L. In vitro comparison of peak polymerization temperature of 5 provisional resins. *J Can Dent Assoc* 67(1):36–9, 2001.

25. Davidoff SR. Heat-processed acrylic resin provisional restorations: an in-office procedure. *J Prosthet Dent* 48(6): 673–5, 1982.
26. Vahidi F. The provisional restoration. *Dent Clin North Am* 31(3): 363–81, 1987.
27. Dumfahrt H, Göbel G. Bonding porcelain laminate veneer provisional restorations: an experimental study. *J Prosthet Dent* 82(3): 281–5, 1999.
28. Aykent F, Usumez A, Ozturk AN, Yucel MT. Effect of provisional restorations on the final bond strengths of porcelain laminate veneers. *J Oral Rehabil* 32(1): 46–50, 2005.
29. Peumans M, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Vanherle G. Porcelain veneers: a review of the literature. *J Dent* 28(3): 163–77, 2000.
30. Elledge DA, Hart JK, Schorr BL. A provisional restoration technique for laminate veneer preparations. *J Prosthet Dent* 62(2): 139–42, 1989.
31. Burke FJ, Murray MC, Shortall AC. Trends in indirect dentistry: 6. Provisional restorations, more than just a temporary. *Dent Update* 32(8): 443–4, 447–8, 450–2, 2005.
32. Poggio CE, Salvato A. Bonded provisional restorations for esthetic soft tissue support in single-implant treatment. *J Prosthet Dent* 87(6): 688–91, 2002.
33. Santosa RE. Provisional restoration options in implant dentistry. *Aust Dent J* 52(3): 234–42, 2007.
34. Zaher AM, Haeberle CB, Alhashim A. Reinforcement of an interim fixed prosthesis with a denture metal mesh. *J Prosthet Dent* 126(4): 603–605, 2021.
35. Aparicio C, Rangert B, Sennerby L. Immediate/early loading of dental implants: a report from the Sociedad Española de Implantes World Congress consensus meeting in Barcelona, Spain, 2002. *Clin Implant Dent Relat Res* 5(1): 57–60, 2003.
36. Jemt T. Restoring the gingival contour by means of provisional resin crowns after single-implant treatment. *Int J Periodontics Restorative Dent* 19(1): 20–9, 1999.
37. Zöllner A, Ganeles J, Korostoff J, Guerra F, Krafft T, Brägger U. Immediate and early non-occlusal loading of Straumann implants with a chemically modified surface (SLActive) in the posterior mandible and maxilla: interim results from a prospective multicenter randomized-controlled study. *Clin Oral Implants Res* 19(5): 442–50, 2008.
38. Huynh-Ba G, Oates TW, Williams MAH. Immediate loading vs. early/conventional loading of immediately placed implants in partially edentulous

- patients from the patients' perspective: A systematic review. 6th ITI Consensus Conference, Amsterdam, Netherlands, April 17–19, 2018 (Clin Oral Implants Res, 29, Suppl 16: 255–269: 2018).
39. De Bruyn H, Raes S, Matthys C, Cosyn J. The current use of patient-centered/reported outcomes in implant dentistry: a systematic review. 4th Consensus Conference of the European Association for Osseointegration (EAO), Pfäffikon, Schwyz, Switzerland, February 11–14, 2015 (Clin Oral Implants Res, 26, Suppl 11: 45–56: 2015).
 40. Cochran DL, Morton D, Weber HP. Consensus statements and recommended clinical procedures regarding loading protocols for endosseous dental implants. Fourth ITI Consensus Conference of the International Team for Implantology (ITI), Stuttgart, Germany, August 26–28, 2008 (Int J Oral Maxillofac Implants, 19, Suppl: 109–113: 2004).
 41. Zhang J, Chen L, Tang H, Zhang R. An alternative technique for fabricating an implant-supported interim prosthesis by using a fully digital approach. J Prosthet Dent 127(2): 228–232, 2022.
 42. Steigmann M, Monje A, Chan HL, Wang HL. Emergence profile design based on implant position in the esthetic zone. Int J Periodontics Restorative Dent 34(4): 559–563, 2014.
 43. Oblak J. Temporary restorations. University of Zagreb School of Dental Medicine, Department of Fixed Prosthodontics, Master's Thesis, Zagreb, 2024.
 44. Castelnovo J, Tjan AH. Temperature rise in pulpal chamber during fabrication of provisional resinous crowns. J Prosthet Dent 78(5): 441–446, 1997.
 45. Rangarajan V, Padmanabhan TV. Textbook of Prosthodontics. 3rd edition. Elsevier Health Sciences, pp.518-530, 2017.
 46. Davis S, O'Connell B. The provisional crown. J Ir Dent Assoc 50(4): 167–172, 2004.
 47. Bayindir F, Kürklü D, Yanikoğlu ND. The effect of staining solutions on the color stability of provisional prosthodontic materials. 34th Annual Meeting of the European Prosthodontic Association, Kosovo, September 23–25, 2010 (J Dent, 40: 41–46: 2012).
 48. Christensen GJ. The fastest and best provisional restorations. J Am Dent Assoc 134(5): 637–639, 2003.

49. Christensen GJ. Provisional restorations for fixed prosthodontics. J Am Dent Assoc 127(2): 249–252, 1996.
50. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR, editors. Phillips' Science of Dental Materials. 12th edition. Elsevier Health Sciences, pp.48-68, 2012.
51. Zaimoğlu A, Can G, Ersoy E, Aksu L. Diş hekimliğinde maddeler bilgisi. s. 25–182, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 1993.
52. Driscoll CF, Woolsey G, Ferguson WM. Comparison of exothermic release during polymerization of four materials used to fabricate interim restorations. J Prosthet Dent 65(4): 504–506, 1991.
53. McCabe JF, Anderson JN. Applied dental materials. 7th edition. Oxford, England; Boston, USA: Blackwell Scientific Publications, s. 153–154, 1990.
54. Gegauff AG, Pryor HG. Fracture toughness of provisional resins for fixed prosthodontics. J Prosthet Dent 58(1): 23–29, 1987.
55. Khan Z, Razavi R, von Fraunhofer JA. The physical properties of a visible light-cured temporary fixed partial denture material. J Prosthet Dent 60(5): 543–545, 1988.
56. Duymuş ZY, Özdoğan A. Dental seramiklerin dayanıklılıklarının değerlendirilmesinde kullanılan bükülme dayanımı testleri. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi 28(4): 625–628, 2018.
57. Atik D. Sağlık Bilimleri Alanında Yeni Trendler II. Ankara: Duvar Yayınları, s. 9–19, Aralık 2022.
58. Kunt GE, Çetiner RB. Mekanik testler: bükülme dayanıklılığı ve ölçümü, sıkıştırma, germe, eğilme, bağlanma, çekme, itme, makaslama. Türkiye Klinikleri Journal of Prosthodontics-Special Topics 3(3): 210–215, 2017.
59. Gladwin MA, Bagby MD. Clinical aspects of dental materials. 5th edition. Jones & Bartlett Learning, Burlington, USA, s. 33–45, 2000.
60. Aydemir B. Diş malzemelerinde mekanik testler ve doğru test için gereklilikler. 7. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 470–477. Antalya, Ekim 2022.
61. Fox CW, Abrams BL, Doukoudakis A. Provisional restorations for altered occlusions. J Prosthet Dent 52(4): 567–572, 1984.
62. O'Brien WJ. Dental materials and their selection. 4th edition. Quintessence Books, Chicago, IL, USA, s. 12–23, 2002.

63. Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's Restorative Dental Materials. 13th edition. Elsevier Health Sciences, USA, s. 83–104, 2011.
64. Seo DG, Roh BD. The comparison of relative reliability on biaxial and three point flexural strength testing methods of light curing composite resin. *J Korean Acad Conserv Dent* 31(1): 58–65, 2006.
65. ISO 4049:2019, Dentistry — Polymer-based restorative materials.
66. Rodrigues Junior SA, Zanchi CH, Carvalho RVD, Demarco FF. Flexural strength and modulus of elasticity of different types of resin-based composites. *Braz Oral Res* 21: 16–21, 2007.
67. Broitman E. Indentation hardness measurements at macro-, micro-, and nanoscale: a critical overview. *Tribol Lett* 65(1): 23, 2017.
68. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive technology: update on current materials and applications in dentistry. *J Prosthodont* 26(2): 156–163, 2017.
69. Ergün G, Erbulak Z. Geçici protezlerin CAD/CAM sistemleri ve 3 boyutlu yazıcılar ile üretimine ilişkin güncel gelişmeler. Ergün G, editör. *Geçici Protez Uygulamaları, Materyalleri ve Yapım Tekniklerine İlişkin Güncel Yaklaşımlar*. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri, p. 49–55, 2022.
70. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am* 55(3): 559–570, 2011.
71. Abdullah AO, Tsitrou EA, Pollington S. Comparative in vitro evaluation of CAD/CAM vs conventional provisional crowns. *J Appl Oral Sci* 24(3):258-263, 2016.
72. Palin W, Burke FJ. Trends in indirect dentistry: 8. CAD/CAM technology. *Dent Update* 32(10): 566–572, 2005.
73. Barutçugil Ç, Bilgili D, Barutçugil K, DüNDAR A, Büyükkaplan UŞ, Yılmaz B. Discoloration and translucency changes of CAD-CAM materials after exposure to beverages. *J Prosthet Dent* 122(3): 325–331, 2019.
74. Liu PR. A panorama of dental CAD/CAM restorative systems. *Compend Contin Educ Dent* 26(7): 507–512, 2005.
75. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 204(9): 505–511, 2008.

76. Christensen GJ. Computerized restorative dentistry. State of the art. J Am Dent Assoc 132(9): 1301–1303, 2001.
77. Karaalioğlu OF, Duymuş ZY. Diş hekimliğinde uygulanan CAD/CAM sistemleri. Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg 2008(1): 25–32, 2008.
78. Alt V, Hannig M, Wöstmann B, Balkenhol M. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. Dent Mater 27(4): 339–347, 2011.
79. Telio CS. Telio CAD: Instructions for Use. Ivoclar Vivadent Technical, 4-32, 2009.
80. Ivoclar Vivadent AG. Telio CAD. [Internet]. Erişim Tarihi: 17 Eylül 2024. Erişim Adresi: https://www.ivoclar.com/tr_tr/products/digital-processes/telio-cad
81. Burduloğlu HD. Çeşitli geçici kron materyallerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin in-vitro karşılaştırılması. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015.
82. Amann Girrbach. Ceramill-A-Temp. [Internet]. Erişim Tarihi: 17 Eylül 2024. Erişim Adresi: <https://www.amanngirrbach.com/en-gb/material/polymers/ceramill-a-temp/>
83. Merz Dental. artBlock Temp. [Internet]. Erişim Tarihi: 17 Eylül 2024. Erişim Adresi: <https://www.merz-dental.de/en/digital-solutions/pmma/artbloccr-temp>
84. OCO GmbH. Structur-CAD. [Internet]. Erişim Tarihi: 17 Eylül 2024. Erişim Adresi: https://www.voco.dental/en/portaldatal/1/resources/products/instructions-for-use/e1/structur-cad_ifu_e1.pdf
85. Merz Dental GmbH. Innovation. [Internet]. Erişim Tarihi: 17 Eylül 2024. Erişim Adresi: <https://www.medicalexpo.com/prod/merz-dental-gmbh/product-73246-717778.html>
86. Tahayeri A, Morgan M, Fugolin AP, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer CS, Ferracane JL, Bertassoni LE. 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. Dent Mater 34(2): 192–200, 2018.
87. Revilla-León M, Meyers MJ, Zandinejad A, Özcan M. A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing work flow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations. J Esthet Restor Dent 31(1): 51–57, 2019.

88. Revilla-León M, Sadeghpour M, Özcan M. An update on applications of 3D printing technologies used for processing polymers used in implant dentistry. *Odontology* 108(3): 331–338, 2020.
89. Das L, Sarkar A, Pal H, Adak A, Saha S, Sarkar S. Rapid prototyping: a future of modern dentistry. *IOSR J Dent Med Sci* 18(4): 8–14, 2019.
90. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D printing in dentistry—state of the art. *Oper Dent* 45(1): 30–40, 2020.
91. Gross BC, Erkal JL, Lockwood SY, Chen C, Spence DM. Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences. *Anal Chem* 86(7): 3240–3253, 2014.
92. Arslan B, Nalbant L, Nalbant AD, Nadirov M. Üç boyutlu yazıcıların dental kullanımında güncel protetik yaklaşımlar. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 31(3): 459–470, 2021.
93. Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 219(11): 521–529, 2015.
94. Alammar A, Kois JC, Revilla-León M, Att W. Additive manufacturing technologies: current status and future perspectives. *J Prosthodont* 31(S1): 4–12, 2022.
95. Berman B. 3-D printing: the new industrial revolution. *Bus Horiz* 55(2): 155–162, 2012.
96. Ford S, Despeisse M. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *J Clean Prod* 137: 1573–1587, 2016.
97. Atria PJ, Bordin D, Marti F, Nayak VV, Conejo J, Benalcázar Jalkh E, Witek L, Sampaio CS. 3D-printed resins for provisional dental restorations: comparison of mechanical and biological properties. *J Esthet Restor Dent* 34(5): 804–815, 2022.
98. Mishra SK. Current evidence on the 3D-printed provisional restorations. *Int J Prosthodont Restor Dent* 13(3): 121–122, 2023.
99. Alzahrani SJ, Hajjaj MS, Azhari AA, Ahmed WM, Yeslam HE, Carvalho RM. Mechanical properties of three-dimensional printed provisional resin materials for crown and fixed dental prosthesis: a systematic review. *Bioengineering* 10(6): 663, 2023.
100. İnçer N, Külünk Ş, Kısakürek S, Duran I. Evaluation of the flexural and repair bond strengths of 3D-printed temporary restorations. *BMC Oral Health* 25(1): 1487, 2025.

- 101.Mai HN, Lee KB, Lee DH. Fit of interim crowns fabricated using photopolymer-jetting 3D printing. J Prosthet Dent 118(2): 208–215, 2017.
- 102.NextDent C&B MFH Micro-Filled Hybrid. [Internet]. Erişim Tarihi: 17 Eylöl 2024. Erişim Adresi: <https://nextdent.com/products/cb-mfh-micro-filled-hybrid/>
- 103.Bego. VarseoSmile Temp (Bego, Bremen, Almanya). [Internet]. Erişim Tarihi: 17 Eylöl 2024. Erişim Adresi: <https://www.bego.com/3d-printing/materials/varseosmile-temp>
- 104.GC.Temp Print. [Internet]. Erişim Tarihi: 17 Eylöl 2024. Erişim Adresi: <https://campaigns-gceurope.com/temp-print/>
- 105.Simon-Stickley A. Image and imagination of the life sciences: The stereomicroscope on the cusp of modern biology. NTM International Journal of History and Ethics of Natural Sciences, Technology and Medicine 27(2):109-144, 2019.
- 106.Çankaya N, Sökmen Ö. Polimerler-kil nanokompozitlerinde kullanılan bazı yüzey analiz yöntemleri. Teknik Bilimler Dergisi 11(1):20-32, 2021.
- 107.Imident. Imicryl [Internet]. Erişim tarihi: 17 Mart 2025. Erişim adresi: https://www.imicryl.com/imident_68_u_tr.html
- 108.Dentona. Optiprint lumina [Internet]. Erişim tarihi: 17 Mart 2025. Erişim adresi: <https://dentona.de/en/optiprint/3d-printing-resins/optiprint-lumina/48268>
- 109.Georgiev D. In-vitro flexural strength assessment of 3d printed custom resins for temporary fixed dental restorations. Int J Sci Res 10:274-278, 2022.
- 110.Ling L, Ma Y, Malyala R. A novel CAD/CAM resin composite block with high mechanical properties. Dent Mater 37(7):1150-1155, 2021.
- 111.Spintzyk S, Geis-Gerstorfer J, Bourauel C, Keilig L, Lohbauer U, Brune A, Greuling A, Arnold C, Rues S, Adjiski R, Sawada T, Lümke mann N, Stawarczyk B, Ilie N, Frankenberger R, Dudek MC, Strickstro ck M, Begand S. Biaxial flexural strength of zirconia: A round robin test with 12 laboratories. Dent Mater 37(2):284-295, 2021.
- 112.Alageel O. Characterization of temporary dental crown materials prepared by different digital technologies. Proceedings of the 9th World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Sciences (EECSS'23), Brunel University, London, United Kingdom, August 03–05, Paper No: ICBES 153, 2023.

- 113.Ozturk G, Ongul D. Investigation of the effects of thermal cycling and surface treatments on interim resin materials produced with additive manufacturing. *Mater Plast* 61(4):41–51, 2024.
- 114.Digholkar S, Madhav VN, Palaskar J. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *J Indian Prosthodont Soc* 16(4):328–334, 2016.
- 115.Poonacha V, Poonacha S, Salagundi B, Rupesh PL, Raghavan R. In vitro comparison of flexural strength and elastic modulus of three provisional crown materials used in fixed prosthodontics. *J Clin Exp Dent* 5(5):212–217, 2013.
- 116.Idrissi HA, Annamma LM, Sharaf D, Jaghsi AA, Abutayyem H. Comparative evaluation of flexural strength of four different types of provisional restoration materials: An in vitro pilot study. *Children (Basel)* 10(2):380, 2023.
- 117.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. *Eur J Dent* 19(3):697-703, 2025.
- 118.Crenn MJ, Rohman G, Fromentin O, Benoit A. Polylactic acid as a biocompatible polymer for three-dimensional printing of interim prosthesis: mechanical characterization. *Dent Mater J* 41(1):110-116, 2022.
- 119.Bergamo ETP, Campos TMB, Piza MMT, Gutierrez E, Lopes ACO, Witek L, Coelho PG, Celestrino M, Carvalho LF, Benalcázar Jalkh EB, Bonfante EA. Temporary materials used in prosthodontics: the effect of composition, fabrication mode, and aging on mechanical properties. *J Mech Behav Biomed Mater* 133:105333, 2022.
- 120.Heintze SD. How to qualify and validate wear simulation devices and methods. *Dent Mater* 22(8):712-734, 2006.
- 121.Astudillo-Rubio D, Delgado-Gaete A, Bellot-Arcís C, Montiel-Company JM, Pascual-Moscardó A, Almerich-Silla JM. Mechanical properties of provisional dental materials: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 13(2):e0193162, 2018.
- 122.Park SM, Park JM, Kim SK, Heo SJ, Koak JY. Flexural strength of 3D-printing resin materials for provisional fixed dental prostheses. *Materials* 13(18):3970, 2020.

- 123.Simoneti DM, Pereira-Cenci T, Dos Santos MBF. Comparison of material properties and biofilm formation in interim single crowns obtained by 3D printing and conventional methods. *J Prosthet Dent* 127(1):168-172, 2022.
- 124.Perea-Lowery L, Gibreel M, Vallittu PK, Lassila L. Characterization of the mechanical properties of CAD/CAM polymers for interim fixed restorations. *Dent Mater J* 39(2):319-325, 2020.
- 125.Britto VT, Cantelli V, Collares FM, Bertol CD, Della Bona Á. Biomechanical properties of a 3D printing polymer for provisional restorations and artificial teeth. *Dent Mater* 38(12):1956-1962, 2022.
- 126.Cho WT, Choi JW. Comparison analysis of fracture load and flexural strength of provisional restorative resins fabricated by different methods. *J Korean Acad Prosthodont* 57(3):225-231, 2019.
- 127.Al-Qahtani AS, Tulbah HI, Binhasan M, Abbasi MS, Ahmed N, Shabib S, Farooq I, Aldahian N, Nisar SS, Tanveer SA, Vohra F, Abduljabbar T. Surface properties of polymer resins fabricated with subtractive and additive manufacturing techniques. *Polymers* 13(23):4077, 2021.
- 128.Yılmaz G, Yeşil Z. A new era in provisional restorations: evaluating marginal accuracy and fracture strength in additive, subtractive and conventional techniques. *BMC Oral Health* 25(1):909, 2025.
- 129.Sezin M. Resistencia a la flexión y módulo elástico de resinas de alta, mediana y baja densidad. *Rev Fac Odontol* 28(3):14-21, 2018.
- 130.Ribeiro AKC, de Freitas RFCP, de Carvalho IHG, de Miranda LM, da Silva NR, de Fátima Dantas de Almeida L, Zhang Y, da Fonte Porto Carreiro A, de Assunção E Souza RO. Flexural strength, surface roughness, micro-CT analysis, and microbiological adhesion of a 3D-printed temporary crown material. *Clin Oral Investig* 27(5):2207-2220, 2023.
- 131.Serrano-Belmonte I, Roca-Cánovas N, Linares-Tovar EK, Martínez-Cánovas A, Pérez-Fernández V. The influence of the thickness of the materials for the provisionalization in minimally invasive restorations. *Materials (Basel)* 15(20):7238, 2022.
- 132.Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Vargas MA. Flexural strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent* 87(2):225-228, 2002.

- 133.Nakornnoi T, Bunjerdjin P, Santiwong P, Sipiyaruk K, Neoh SP, Chintavalakorn R. The influence of thickness on the mechanical behaviors of 3D printing resins for orthodontic retainers. *Int J Biomater* 2024:7398478, 2024.
- 134.Rayyan MM, Aboushelib M, Sayed NM, Ibrahim A, Jimbo R. Comparison of interim restorations fabricated by CAD/CAM with those fabricated manually. *J Prosthet Dent* 114(3):414-419, 2015.
- 135.Alharbi N, Osman R, Wismeijer D. Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations. *J Prosthet Dent* 115(6):760-767, 2016.
- 136.Alqarawi FK. The influence of printing orientation on the properties of 3D-printed polymeric provisional dental restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Funct Biomater* 16(8):278, 2025.
- 137.de Castro EF, Nima G, Rueggeberg FA, Giannini M. Effect of build orientation in accuracy, flexural modulus, flexural strength, and microhardness of 3D-printed resins for provisional restorations. *J Mech Behav Biomed Mater* 136:105479, 2022.
- 138.Keßler A, Hickel R, Ilie N. In vitro investigation of the influence of printing direction on the flexural strength, flexural modulus and fractographic analysis of 3D-printed temporary materials. *Dent Mater J* 40(3):641-649, 2021.

8. ÖZGEÇMİŞ

Canel TAN, 2008 tarihinde İstanbul Orhan Cemal Fersoy Lisesi'nden mezun oldum. Lisans eğitimimi 2013-2019 yılları arasında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nde aldım. 2021 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı'nda doktora eğitimine başladım.

