

T.C
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ABD

**BESİN TAKLİDİ SİVİLLERİN 3 BOYUTLU YAZICILAR
İLE ÜRETİLMİŞ GEÇİCİ RESTORASYON
MATERYALİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Murat ESER

UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŐMANI
Doç. Dr. Orhun EKREN

ADANA 2022

T.C
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ABD

**BESİN TAKLİDİ SIVILARIN 3 BOYUTLU YAZICILAR
İLE ÜRETİLMİŞ GEÇİCİ RESTORASYON
MATERYALİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Murat ESER

UZMANLIK TEZİ

**TEZ DANIŐMANI
Doç. Dr. Orhun EKREN**

**Bu alıőma TDH-2021-13664 nolu proje olarak Çukurova Üniversitesi Araştırma
Projeleri Birimi tarafından desteklenmiőtir.**

ADANA 2022

KABUL VE ONAY

X X X X

TEŞEKKÜR

Teşekkürler.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KABUL VE ONAY	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Geçici Restorasyon Yapımında Kullanılan Bazı Materyaller	5
2.1.1. Polimetil Metakrilatlar (PMMA)	5
2.1.2. Polietil Metakrilat (PEMA)	5
2.1.3. Bis-akril Kompozit Resinler	6
2.2. Besin Taklidi Sıvılar	7
2.2.1. Heptan	7
2.2.2. Etanol	8
2.2.3. Sitrik Asit	8
2.3. Geçici Restorasyonların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	8
2.3.1. Bükülme Dayanımı ve Ölçümü	9
2.3.2. Elastik Modül	10
2.3.3. Yüzey Sertliği ve Ölçümü	11
3. GEREÇ ve YÖNTEM	12
3.1. Örneklerin Hazırlanması	12
3.2. Besin Taklidi Sıvıların Hazırlanması	13
3.3. Örneklerin Solüsyonlarda Bekletilmesi	13
3.4. Kullanılan Testler ve Cihazlar	14
3.4.1. Kırılma Testi	14
3.4.2. Sertlik Testi	15

3.5. SEM Analizi.....	16
3.6. İstatiksel Analiz.....	16
4. BULGULAR.....	17
4.1. Mekanik Özelliklerin Bulguları	17
4.2. SEM Bulguları	21
5. TARTIŞMA.....	25
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	33
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:Sayfa No:

Şekil 2.1. Üç Nokta Bükme Testinde Görülen Kuvvetler Craig' Restorative Dental Material ¹¹	10
Şekil 3.1. Örneklerin Sıvılarda Bekletilmesi	14
Şekil 3.2. Testometrik Cihazı	15
Şekil 3.3. Knoop Sertlik Cihazı	16
Şekil 4.1. Geleneksel hazırlanan örneklerin 100x büyütme SEM görüntüleri.....	21
Şekil 4.2. Geleneksel üretilmiş örneklerin 250X ve 1000x SEM görüntüleri.....	22
Şekil 4.3. Kazıma İle Üretilen Örneklerin 100X SEM Görüntüsü	23
Şekil 4.4. Eklemeli(3D) Üretilen Örneklerin 100X SEM Görüntüsü	24
Şekil 5.1. Knoop sertlik test görüntüsü.....	28
Şekil 5.2. Üretim yöntemleri arasındaki SEM farklılığı	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge No:Sayfa No:

Çizelge 2.1. Geçici restorasyon üretim yöntemleri.....	6
Çizelge 3.1. Çalışmada Kullanılan Örnekler	12
Çizelge 3.2. Solüsyonlar	13
Çizelge 4.1. Geleneksel yöntem ile hazırlanan örneklerin bulguları	17
Çizelge 4.2. Kazıma ile Hazırlanan Örneklerin Bulguları	18
Çizelge 4.3.. 3D ile Hazırlanan Örneklerin Bulguları.....	19
Çizelge 4.4. Tüm Örneklerin Karşılaştırmalı Bulguları.....	20



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CAD/CAM: Bilgisayar destekli dizayn/bilgisayar destekli üretim

3D: Üç boyutlu

PMMA: Polimetil metakrilat

PEMA: Polietil metakrilat

Tg: Camsi geçiş sıcaklığı

MPa: Megapaskal

GPa: Gigapaskal

Ark.: Arkadaşları

Mm: Mikrometre

KHN: Knoop Sertlik

°C: Santigrat

pH: Power of Hydrogen

N: Newton

µm: Mikrometre

mm/dk: milimetre/ dakika

g/f: Gram/kuvvet

sn: Saniye

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

Stl.: Stereolitografi

ÖZET

Besin Taklidi Sıvıların 3 Boyutlu Yazıcılar İle Üretilmiş Geçici Restorasyon Materyalinin Mekanik Özelliklerine Etkisinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Sabit bölümlü protezlerin yapımı sürecinde prepare edilen dişlerde oluşabilecek hassasiyeti önlemek, kimyasal ve termal etkenlerden korumak, hastada kaybolan fonksiyon, fonasyon ve estetiği geri kazandırmak amacıyla üretilen restorasyonlara geçici restorasyonlar denir. Geçici restorasyon, daimi restorasyon teslim edilene kadar diş dokusunun korunması, yumuşak doku rehabilitasyonu, oklüzyon adaptasyonu gibi amaçlarla kullanılabilir. Uzun yıllar geçici restorasyonlar geleneksel yöntemlerle üretilmekteydi ancak gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayar destekli üretim yöntemleri(CAD/CAM) kullanılarak, eksiltmeli veya eklemeli üretim yöntemleri kullanılarak, geçici restorasyonlar üretilmektedir. Eklemeli üretim yöntemlerinden olan üç boyutlu yazıcı teknolojisi(3D), bu alanda güncel sayılabilecek bir teknolojidir ve kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Geçici restorasyonlar biyolojik, mekanik ve estetik ihtiyaçları karşılayabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Tedavi planlamasına göre restorasyonların ağızda uzun süre kalması gerekebilir. Özellikle COVID-19 pandemisi döneminde hastalar 6 ay ile 1 yıl gibi uzunca bir süre geçici restorasyonlarını kullanmışlardır. Ağız içi, dental malzemeler için çok yıpratıcı bir ortam oluşturabilir. Bireyin beslenme alışkanlıklarına bağlı olarak besinlerin içeriği ve tükürük, restorasyonların yapılarını bozabilir, mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyebilir. Bu nedenle geçici restorasyonlarda deformasyonlar ve kırılmalar görülebilmektedir.

Yaptığımız çalışmanın amacı; besin taklidi sıvıların üç farklı üretim yöntemi kullanılarak üretilmiş geçici restorasyon materyalinin mekanik özelliklerine etkisinin karşılaştırmalı incelenmesidir.

Bu çalışmanın sonuçları hekime, hastaların beslenme alışkanlığının geçici restorasyonların mekanik özelliklerini nasıl etkileyeceği hakkında bilgiler verecektir. Böylece hekim hastanın beslenme alışkanlıklarına göre en uygun materyal tercihinde bulunabilecektir.

Anahtar kelimeler: 3 Boyutlu Yazıcı, Besin Taklidi Sıvılar, Tabakalı Üretim,

ABSTRACT

Comparative Evaluation of the Effect of Nutritional Mimic Liquids on the Mechanical Properties of Temporary Restoration Material Produced by 3D Printers

Provisional restoration is fabricated in order to prevent the sensitivity of prepared teeth that may occur during the construction of fixed partial dentures, to protect them from chemical and thermal injuries, and to restore the lost function, phonation and aesthetics. Provisional restoration can also be used for purposes such as soft tissue rehabilitation, occlusal adaptation until the permanent restoration is delivered. For many years, provisional restorations were produced with traditional methods, but with the developing technology, they can also be produced by using computer aided production methods (CAD / CAM) like subtracting and additive manufacturing (3D). Three-dimensional printer technology (3D) is a technology that can be considered up-to-date in this field and its use is becoming more and more common.

Provisional restorations should have properties that can meet biological, mechanical and aesthetic needs. Depending on the treatment planning, restorations may need to function for longer periods. Especially during the COVID-19 pandemic, patients used their provisional restorations for 6 months to 1 year. The oral cavity can create a hostile environment for dental materials. Depending on the nutritional habits, the content of nutrients and saliva can disrupt the structures of restorations and affect their mechanical and physical properties. For this reason, deformations and fractures can be seen in provisional restorations.

The aim of the study is to evaluate the effect of food-simulating liquids on the mechanical properties of provisional restoration material produced by using three different production methods.

In the light of this study, it will enable the clinician to predict the possible effects of patient's dietary habits on provisional restoration. It will give an idea to the clinician to determine the most suitable provisional restoration production method to choose in order to make more durable restorations when needed.

Keywords: 3D Printer, Food Simulation Liquids, Layered Manufacturing

1.GİRİŞ

Geçici protezler genellikle geçici restorasyon veya ara restorasyon olarak adlandırılan, belirli bir süre için estetiği, stabilizasyonu ve/veya işlevi yerine getirmesi için tasarlanmış ve ardından daimi bir restorasyon ile değiştirilecek olan bir restorasyon olarak tanımlanır.¹Geçici restorasyonlar; sabit bölümlü protez yapılmadan önce hastaların kaybettiği fonksiyon, fonasyon ve estetiğin geri kazandırılması, açığa çıkan dentin tübüllerinin korunması, çeşitli nedenlerle dişleri fazla aşınmış hastaların rehabilitasyonu, tam ağız restorasyonlarda okluzal dikey boyutun değerlendirilmesi, diş eti şekillendirilmesi, komplike vakalarda hastalara nihai restorasyonun şeklini geri dönüşümsüz herhangi bir işlem yapmadan ağız içerisinde göstermesi amacı ile kullanılabilir.²⁻⁶Geçici restorasyonların önemi bazen hastalar ve hekimler tarafından hafife alınabilmektedir. Ancak kötü yapılmış uyumsuz bir geçici restorasyon, daimi restorasyonun tedavisinin başarısını tehlikeye atabilir. Bu nedenle geçici protezlerin kullanımı çok önemlidir.³Geçici protezler çiğneme kuvvetlerine karşı dayanıklı olmalı, diş stabilize etmeli, pulpayı ve periyodonsiyumu korumalı, diş eti kenar uyumu ve estetiği iyi olmalıdır. Kabul edilebilir bir geçici protez, yerine yapılacak olan daimi protezin hemen hemen tüm özelliklerini taşımalıdır.^{7,8}

Geçici restorasyonların yapımında klinikte; polimetil metakrilatlar (PMMA), polietil metakrilatlar (PEMA), bis-akril kompozit rezinler gibi materyaller kullanılmaktadır.⁷Geçici restorasyonlar geleneksel olarak üretilbildiği gibi bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) teknolojisi ile eksiltmeli (kazıma) ve eklemeli üretim yöntemleri kullanılarak da üretilbilmektedir. Bu alanda diğer üretim yöntemlerine kıyasla eklemeli bir üretim yöntemi olan, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi (3D), güncel ve birçok alanda oldukça popüler bir üretim teknolojisidir.⁹

Mekanik özellikler materyalin kuvvet karşısında gösterdiği davranışı ifade eder. Kuvvet karşısında mekanik özelliklerinin değişmemesi protetik restorasyonlarda istediğimiz en önemli özelliklerden biridir.^{10,11}Geçici protez materyalleri daimî restorasyonlara göre düşük kırılma direncine sahiptir. Bu nedenle, uzun süre geçici protez kullanması gereken hastalarda, uzun gövdeli geçici protez planlandığında, aşırı kuvvet alan bölgelerde, geçici protez materyali yeterli mekanik özelliklere sahip olmalıdır. Geçici protez materyalini seçerken dayanıklılık, kırılma tokluğu, sertlik gibi

mekanik özellikler dikkate alınmalıdır. Geçici restorasyon üretirken dayanıklı materyallerin kullanılması oluşabilecek problemleri en aza indirecektir.^{12,13}

Geçici restorasyonların mekanik özellikleri ve yüzey sertlikleri, hastaların ağız ortamından ve yediği besinlerin içeriğinden etkilenebilir.¹⁴⁻¹⁶ Materyalin aşırı su emmesi, restorasyonun polimer zincirleri arasındaki bağları zayıflatarak (plastikleştirici etki) camsı geçiş sıcaklığını(Tg) düşürür. Bu da restorasyonun boyutsal stabilitesi etkileyebilir ve restorasyonun yumuşamasına neden olabilir.¹⁷ Hastaların yediği besinlerin içeriğinin geçici restorasyon materyali üzerine etkisi in vitro olarak besin taklidi sıvılarda bekletilerek değerlendirilir.¹⁸ Bu sıvılar Amerikan Gıda ve İlaç Dairesine (Food and Drug Administration; FDA, ABD) göre su, sitrik asit, heptan ve çeşitli konsantrasyonlarda etanol olarak belirlenmiştir.¹⁹

Literatürde besin taklidi sıvıların dental kompozitlere etkisi ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Geçici protez yapımında kullanılan materyallerin kimyasal yapıları dental kompozitlere benzediğinden besin taklidi sıvılardan benzer oranda etkilenebilir.^{20,21}

Akova ve ark. dental kompozitlerde, besin taklidi sıvılara maruz bırakıldıklarında kompozitin doldurucu-matris ara yüzünde bozulmalar gözlemiş ve kompozitlerin yumuşadığını raporlamışlardır.^{14,22} Mohammadi ve ark. dental kompozit matrisinin yumuşamasına, silan ile dolgu-rezin matrisi arasındaki bağın su absorpsiyonu ile hidrolitik olarak parçalanmasının neden olabileceğini bildirmiştir.¹⁵ Yap ve ark. kompozitlerin bozulmasının sadece maruz kaldığı kuvvetlere bağlanamayacağı, aynı zamanda kimyasal bozulmanın da etkili olduğunu tespit etmiştir. Kompozitin yapısını organik çözücülerin bozabileceği gibi su veya zayıf asitlerin de etkileyebileceğini göstermiştir.²³ Voltarelli ve ark. restoratif materyallerin yüzey değişikliklerinin kısmen kimyasal bozulmalar ile ilişkili olduğunu ve besin taklidi sıvıların restorasyonun dış yüzeyini yumuşatarak mekanik aşınmaya karşı savunmasız hale getirdiğini öne sürmüştür.²⁴ Bu değişimlerin sonucu olarak veya farklı nedenlerle restorasyonda kırılmalar, bozulmalar ve yüzey özelliklerinde değişiklikler meydana gelebilir.

Alharbi ve ark, 3 boyutlu yazıcı ile silindirik şekilde üretilmiş hibrit kompozit rezin materyallerinin baskı oryantasyonunun, mekanik özelliğine etkisini değerlendirmiştir. Katmanlar yükleme yönüne dik şekilde vertikal üretilen örnekler(297 MPa), katmanları yükleme yönüne paralel şekilde yatay üretilen örneklere(257 MPa) kıyasla daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Vertikal ve yatay iki baskı

oryantasyonu arasında basınç dayanımı değerleri arasında anlamlı fark bulunmuştur($P=0.002$). Ancak bu çalışmada ağız sıvılarının ve besin maddelerinin materyaller üzerine etkisi göz ardı edilmiştir.²⁵Tahayeri ve ark. 3 boyutlu yazıcılar ile üretilen örneklerin üretim esnasındaki katman kalınlıklarının örneklerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini test etmiştir. 25, 50 ve 100 μm katman kalınlığı ile yazdırılmış örneklerin arasında elastik modül değerlerinde($\sim 1.5 \text{ GPa}$) istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ancak 50 μm katman kalınlığı ile üretilen örnekler, 25 ve 100 μm katman kalınlığıyla üretilen örneklerle kıyasla elastik modül değeri kısmen yüksek çıkmıştır. Ancak in vitro olarak yapılan bu çalışmada ağız sıvıları ve besin maddelerinin materyaller üzerine etkileri göz ardı edilmiştir.²⁶

Akova ve ark. besin taklidi sıvılara maruz bırakılan geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerini değerlendirmiştir. Seçilen 4 geçici restorasyon materyali: (1) Dentalon Plus (DP), (2) Protemp II (PII), (3) Systemp C&B (SCB) and (4) Integrity (INTG).Kullanılan tüm materyallerinbükülme dayanımı(FS) ve Knoop mikro-sertlik değerleri(KHN), etanol solüsyonuna maruz bırakıldıktan sonra kontrol grubuna göreönemli ölçüde düşük çıkmıştır ($P<0.05$). Heptan solüsyonuna maruz bırakılan gruplardan SCB için FS değerlerindeki ve PII için KHN değerlerindeki düşüş istatistiksel olarak anlamlı çıkmıştır($P<0.05$). Sitrik asit solüsyonuna maruz bırakıldıktan sonra, PII ve INTG için KHN değerleri, kontrol grubu örneklerinden önemli ölçüde yüksek çıkmış($P<0.05$) ve SCB ve INTG için FS değerlerindeki düşüş istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur($P<0.05$).Bu çalışma besin taklidi sıvıların, geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerini etkilediğini göstermiştir. Ancak bu çalışmada da günümüzde hızla popülerlik kazanan 3D yazıcılar ile üretilmiş geçici restorasyon materyaline yer verilmemiştir.¹⁴

Digholkar ve ark. farklı üretim yöntemleri ile üretilmiş geçici restorasyon materyallerinin bükme mukavemeti ve mikro-sertliğinikarşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göreeksiltme(kazıma) yöntemi ile üretilen geçici restorasyon materyalinin bükme mukavemeti(104.20 MPa), geleneksel üretim yöntemi ile üretilen geçici restorayon materyalinin bükme mukavemetine(95.58 MPa)ve 3D ile üretilen geçici restorasyon materyallerinin bükme mukavemetine(79.54 MPa)kıyasla anlamlı olarak farklı çıkmıştır($P<0.05$). Ancak kazıma yöntemi ve geleneksel yöntem ile üretilen geçici restorasyon materyalleri arasında bükme mukavemeti değerleri arasında anlamlı bir fark

bulunmamıştır($P=0.64$).AyrıcaKnoop mikro sertlik değerlerine göre3D(32.77 KHN), eksiltme(kazıma)(25.33 KHN) ve geleneksel üretim yöntemi(27.36 KHN) gruplarının anlamlı fark bulunmuştur($P<0.05$).Ancak bu çalışmada da ağız sıvıları ve besin maddelerinin materyallere etkileri göz ardı edilmiştir.²⁷

Ekren ve ark. besin taklidi sıvıların üç farklı geçici restorasyon materyalinin yüzey sertliğine etkisini incelemiştir. Örneklerin hepsi 7 günlük süre ile besin taklidi sıvılara maruz bırakıldıklarında Knoop sertlik değerleri, hiçbir sıvıya maruz bırakılmamış kontrol grubu örneklerinden daha düşük bulunmuştur ($P<0.05$). Ancak bu çalışmada kazıma ve 3D yöntemleri ile üretilen örneklerle yer verilmemiştir.²⁰

Yaptığımız çalışmanın amacı; besin taklidi sıvıların üç farklı üretim yöntemi kullanılarak üretilmiş geçici restorasyon materyalinin mekanik özelliklerine etkisinin karşılaştırmalı incelenmesidir. Çalışmanın hipotezi; besin taklidi sıvıların, farklı yöntemler ile üretilmiş geçici restorasyonların mekanik özelliklerine etkisi yoktur.

Bu çalışma ışığında hekimin, hastaların beslenme alışkanlıklarının geçici restorasyona muhtemel etkilerini öngörebilmesini sağlayacaktır. Gerekli durumlarda daha dayanıklı geçici restorasyonlar yapılabilmesi için hekime seçmesi gereken en uygun geçici restorasyon üretim yöntemini belirlemesi hakkında fikir verecektir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Geçici Restorasyon Yapımında Kullanılan Bazı Materyaller

Geçici restorasyon yapımında kullanılan materyaller şu şekilde sıralanabilir:⁷

1. Polimetil metakrilatlar (PMMA)
2. Polietil metakrilatlar (PEMA)
3. Bis-akril kompozit rezinler

2.1.1. Polimetil Metakrilatlar (PMMA)

Polimetil metakrilatlar 1940'lı yılların başından günümüze en sık kullanılan geçici restorasyon materyalidir.^{3,28} Polimetil metakrilatların Knoop mikro sertlik değeri 18 ile 20 KHN arasındadır ve diğer geçici rezin materyallere kıyasla oldukça serttir.¹⁰ Dayanıklılığı, renk stabilitesi ve marjinal uyumu iyidir ve polisajı kolaydır. Ucuzdur ve kolay tamir edilebilir.²⁹ PMMA imbibisyon yoluyla yapısına bir miktar su emer. Bu da yapısının zaman içinde yumuşamasına ve restorasyonun renklenmesine neden olur.¹⁰ Polimerizasyonu sırasında fazla hacimsel büzülme göstermesi, artık monomer kalıntılarının pulpa ve yumuşak dokuları irrite etmesi ve aşınmaya karşı dirençsiz oluşu malzemenin dezavantajlarıdır. Ayrıca malzemenin kokusu birçok hastayı rahatsız eder.²⁹

2.1.2. Polietil Metakrilat (PEMA)

Polietil metakrilat(PEMA) 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. PEMA, PMMA ile karşılaştırıldığında birçok avantajlara ve dezavantajlara sahiptir.²⁸ PEMA düşük kırılma direncine ve yüzey sertliğine sahiptir.¹⁰ Renk stabilitesi ve aşınmaya karşı dirençleri PMMA ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Polimerizasyonu sırasında açığa çıkardığı ısı miktarı ve çevre dokuları maruz bıraktığı kimyasal irritasyon miktarı PMMA a göre oldukça azdır. Bu sebeple direkt teknikle hazırlanan geçici restorasyonlarda güvenle kullanılabilir.^{29,30} Kısa süreli kullanılacak vakalarda kullanımı daha uygun olacaktır.^{3,31}

2.1.3. Bis-akril Kompozit Rezinler

Kompozit rezin geçici malzemeleri, kimyasal olarak iki veya daha fazla malzemenin birleşiminden oluşmaktadır. Bu malzemelerin çoğu, bis-GMA'ya benzer hidrofobik bir malzeme olan bis-akril rezindir. Otopolimerize, görünür ışıkla polimerize veya hem otopolimerize hem görünür ışıkla polimerize formları da mevcuttur. Kompozit malzemelerin çoğu otomatik karışım ve dağıtım yapan kartuşlu sistemler ile kullanılmaktadır. Bu malzemenin kullanımının hızlı ve kolay hale getirir ancak oldukça pahalıdır.³ Bis akril kompozitlerin ilk 24 saatte yüksek elastik modülü ve kopma modülü değerleri gösterdiği, ancak zaman içinde bu değerlerde büyük düşüş olduğu gösterilmiştir.^{13,32} Bis-akril kompozitler diğer kompozit malzemelerle uyumludur, ancak tamir ve ekleme için değişikliklerin yapılması zordur.³

Çizelge 2.1. Geçici restorasyon üretim yöntemleri

Geçici Restorasyon Üretim Yöntemleri



Geleneksel Üretim Yöntemleri

- Direkt
- İndirekt



CAD/CAM Üretim Yöntemleri

- Kazıma(eksiltme) Yöntemi
- Eklemeli Üretim Yöntemi(3D)

Geçici restorasyonlar geleneksel olarak; (direkt teknik) hasta koltukta otururken veya (indirekt teknik) hastadan alınan ölçüden laboratuvar da alçı model elde ederek, alçı modelin üzerinde üretilmektedir. Direkt tekniğin indirekt tekniğe göre avantajı, ölçü alımı, alçı dökme gibi ekstra işlemler olmadan hasta ağzında restorasyonun üretilmesidir. Bu da zaman ve malzemelerin verimli kullanılmasını sağlar. İndirekt tekniğin direkt tekniğe göre avantajı ise, restorasyon alçı model üzerinde yapıldığı için hastanın dişleri ve çevre dokuları, polimerizasyon reaksiyonu sırasında meydana gelen ısıya ve geçici restorasyon içerisinde bulunan polimerize olmamış artık monomere veya diğer tahriş edici kimyasallara maruz kalmamasıdır.^{3,33,34}

Bununla birlikte, alternatif bir üretim yöntemi olan çağdaş ve yenilikçi bilgisayar destekli tasarım/bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) sistemleri kullanılarak geçici restorasyonlar üretilebilir. CAD/CAM sistemleri ile geçici restorasyon, önceden polimerize edilmiş katı bir malzeme bloğundan istenmeyen parçaların freze edilerek kesilip çıkartılması ile (eksiltici imalat) veya üç boyutlu yazıcılar kullanılarak malzemenin katman katman eklenmesiyle (eklemeli imalat) istenilen geçici restorasyon oluşturulur. CAD/CAM ile geçici restorasyon üretiminin geleneksel üretime göre avantajları, hastaya özel verilerin kolay erişilebilirliği, kayıp veya kırık durumunda yeni restorasyonların hızlı üretilebilmesi olabilir. Yapılan birçok çalışma geleneksel üretime kıyasla CAD/CAM sistemleri ile üretimin daha avantajlı olduğunu göstermiştir.³⁵⁻³⁸

2.2. Besin Taklidi Sıvılar

Ağız ortamında gerilme, sıkıştırma, gibi mekanik kuvvetlerin yanında, bireyin beslendiği besinlerin içeriği ve tükürüğün sürekli maruziyeti restoratif materyallerin yüzey yapısını etkileyebilir.^{39,40} Literatürde, besinlerin içeriğinin ağız içerisinde restorasyonlar üzerine nasıl bir etki yaptığı, in vitro çalışmalarda besin taklidi sıvılar kullanılarak test edilmiştir.^{41,42} Amerikan Gıda ve İlaç Dairesine (Food and Drug Administration; FDA, ABD) göre besin taklidi sıvılar; su, sitrik asit, heptan ve çeşitli konsantrasyonlarda etanol olarak belirlenmiştir.¹⁹ Heptan tereyağı, yağlı etler ve bitkisel yağları simüle eder. Etanol çözeltisi, alkollü içecekleri simüle eder. Sitrik asit, sebze ve meyveleri, asitli içecekleri taklit eder. Su, ağız ortamındaki tükürüğü simüle eder.¹⁴

2.2.1. Heptan

Heptan, alkanlar sınıfından olan petrolden elde edilen doymuş bir hidrokarbondur. Erime noktası $-90,61\text{ }^{\circ}\text{C}$, kaynama noktası ise $98,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Heptanın molekül formülü C_7H_{16} olup molekül ağırlığı $100,21\text{ g/mol}$ dur. Heptan buharlaşabilen ve kolayca tutuşabilen bir sıvıdır, suda çözünmez, alkol, kloroform ve eterde çözünebilir.^{43,44} Heptan, tereyağı, yağlı etler ve bitkisel yağları taklit eder.¹⁴

2.2.2. Etanol

Etanolün moleköl formölü C_2H_6O şeklinde olup, C_2H_5OH olarak da ifade edilebilmektedir. Molekül ağırlığı 46.07g/mol dır. Etanol renksiz, berrak, hafif hoş kokulu, buharlaşabilen ve kolayca tutuşabilen, higroskopik bir sıvıdır. Su ile karışabilir. Karbonhidratların fermentasyonu yoluyla üretilebileceği gibi, etilen, asetilen ve sülfitten de üretilebilir. Metan oksidasyonu ve etil sülfidin hidroliziyle de üretilebilir. Alkollü içeceklerde kullanılan tek alkol türüdür. Ayrıca çözücü olarak kullanılabilir. ^{43,45}

2.2.3. Sitrik Asit

Sitrik asit, halk arasında limon tuzu olarak da bilinen, karboksilik asitlerden, renksiz, kristal yapılı moleköl ağırlığı 210,1g/mol olan organik bir bileşiktir. Formölü $C_6H_8O_7$ şeklindedir. Hemen hemen tüm bitkilerde ve birçok hayvanın vücut sıvısında bulunur. Alkol, kloroform, eter ve suda çok iyi çözünür. Endüstriyel olarak şeker pekmezi gibi şeker eriyiklerinden üretilebilen, başta turunçgiller olmak üzere birçok meyvede de yüksek miktarlarda bulunan bir organik asittir. Ayrıca meyve sularına ve meşrubatlara da sitrik asit eklenmektedir. Farmakolojik şuruplar, efervesan tozlar ve tabletlerde ekşilik vermek için, peynir yapımında pH'ı ayarlamak için ve antioksidan olarak, meşrubatlarda marmelat, reçel ve şekerlemelerde ekşilik sağlamak için kullanılır. ^{43,46}

2.3. Geçici Restorasyonların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Dental materyaller, pH, tükürük ve ağız içi mekanik kuvvetlere sürekli veya sıklıkla maruz kalır. Bu nedenler zamanla restorasyonlarda uyumsuzluk, yapısında bozulma veya kırılma meydana gelebilir ve restorasyonun yeniden yapılması gerekebilir. Bu durum zamana ve maddi kaynakların harcanmasına mal olur. Bu nedenle restorasyonların dayanıklılığının öngörülebilmesi, materyalin mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi ile mümkündür. ^{11,13,47}

Mekanik özellikler materyalin kuvvet karşısında gösterdiği davranışı ifade eder. Protetik restorasyonun mekanik özelliklerinin kuvvet karşısında değişmemesi istediğimiz en önemli özelliklerden biridir. Ağız içerisinde maksimum oklüzal kuvvetler 200 ila 3500 N arasındaki değerlerde görülebilmektedir. Birinci ve ikinci molar dişler üzerindeki kuvvetler 400 ila 800 N arasında değişir. Protez kullanan hastalarda oklüzal

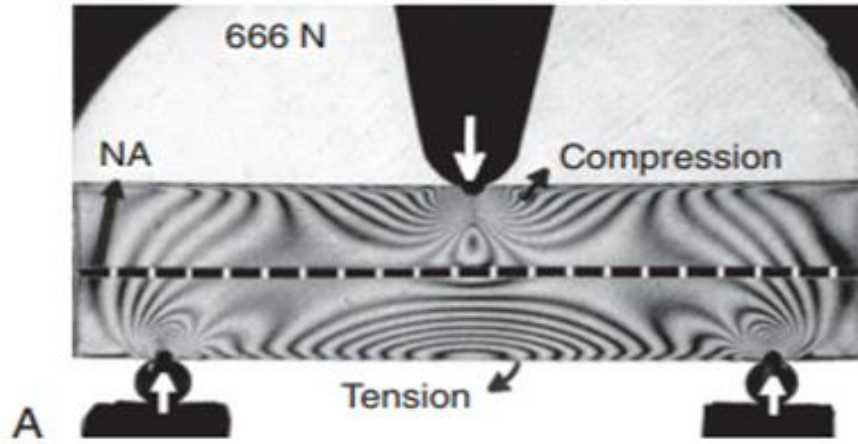
kuvvetler, genelde doğal dişli hastalara göre daha düşüktür. Hareketli bölümlü protezleri olan hastalar 65 ila 235 N aralığında oklüzal kuvvetler üretirler. Tam protezi olan hastalarda, kuvvet yaklaşık 100 N'dir. Hasta popülasyonlarındaki yaş ve cinsiyet farklılıkları kuvvet değerlerindeki büyük varyasyonlara neden olur.¹¹

Bükülme kuvveti, farklı kuvvet dinamikleri içerisinde ağız içerisinde en fazla görülen kuvvet tipidir. Bu sebeple bükülme dayanımı, özellikle köprü restorasyonlarda değerlendirilmesi gereken en önemli özelliklerin başında gelmektedir.^{10,11} Bükülme dayanımı (Flexural Strength) ve elastik modülü (Flexural Modulus), geçici protez malzemelerinin dayanıklılığını ve esnemeye karşı direncini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan iki mekanik özelliktir.⁴⁸ Polimer içerikli materyallerin mekanik özelliklerini test etmek için genellikle üç nokta bükme testi ve Knoop mikrosertlik testi kullanılır.⁴⁸

2.3.1. Bükülme Dayanımı ve Ölçümü

Bir malzemenin bükülme dayanımı, malzemenin her iki ucundan sabit iki çubukla alttan desteklenen ve üstten ortasından kuvvetin yüklendiği bir mekanizma ile tespit edilebilir. Böyle bir teste üç nokta bükme testi veya eğilme testi denir ve testte ölçülen maksimum strese bükülme dayanımı denir. Bu test sadece malzemenin dayanımını değil, aynı zamanda beklenen deformasyon miktarını da belirler. Üç-nokta bükülme testi kullanılarak bükülme dayanımı $\sigma = 3FL/2bd^2$ formülü ile hesaplanır.^{10,11} Bu formülde σ bükülme dayanıklılığını, L destekler arası mesafeyi, b örneğin genişliğini, d örneğin kalınlığını ve F kırılma esnasındaki maksimum yükü tanımlar.

Bükülme dayanımı ve eşlik eden deformasyon, oklüzal stresin şiddetli olabileceği uzun sabit kısmi protezlerde çok önemlidir. Örneklerin üzerine kuvvet uygulandığı zaman örnek kuvvetle aynı yönde bükülür. Çubuk şeklindeki örnekte oluşan gerinim, üst yüzeyde örnek boyunun kısalması ve alt yüzeyde örnek boyunun uzaması olarak kendini gösterir. Sonuç olarak üst tarafta kompresif, alt tarafta gerilme stresleri oluşur. Örnek içerisinde stres tipleri değişkenlik göstermektedir. Örnek içinde stresin ve gerilimlerin sıfır olduğu bir bölge vardır. Burası nötral eksen olarak tanımlanır. Nötral eksen bölgesinde örneğin boyutlarında hiçbir değişiklik olmaz. Dayanak bölgelerinde makaslama stresi de oluşur ancak kırılma işleminde önemli bir rolü yoktur.¹¹



Şekil 2.1.Üç Nokta Bükme Testinde Görülen Kuvvetler Craig' Restorative Dental Material¹¹

2.3.2. Elastik Modül

Elastik modül, stres gerilimeğrisinin eğimi ile ölçülen, bir malzemenin esnemeye karşı direncini tanımlar. Bir dental protez materyalinin kalınlığı arttığında direncide artsada elastik modülü değişmez. Elastik modül sabit bir değere sahiptir. Elastik modülü yüksek olan malzemeler, yüksek veya düşük mukavemet değerlerine sahip olabilir. Elastik modül, belirli bir kuvvet için esneme miktarı ne kadar düşükse, modülün değeri o kadar büyük olur. Örneğin, bir telin bükülmesi aynı şekil ve boyuttaki diğer tellerden çok daha zorsa, telde deformasyon meydana getirmek için daha yüksek stres gerekmektedir. Böyle bir malzeme, nispeten yüksek bir elastik modüle sahip olacaktır. Bu özellik dolaylı olarak diğer mekanik özelliklerle ilişkilidir. Örneğin, iki malzeme aynı orantısal limite sahip olabilir ancak elastik modülleri önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Çoğu dental biyomateryalin elastik modülü giganewton/m² (GN/m²) biriminde verilir ve gigapaskal (GPa) olarak da adlandırılır.¹¹

Üç-nokta bükme testi kullanılarak elastik modül $E_{flex} = \frac{L^3 F}{4wh^3 d}$ formülüne göre hesaplanır. Bu formülde E_{flex} elastik modülü, F kırılma esnasındaki maksimum yük, L destekler arası mesafeyi, w örneğin genişliğini, h örneğin kalınlığını, d materyaldeki kuvvetten kaynaklanan esnemesini tanımlar.⁴⁹

2.3.3. Yüzey Sertliği ve Ölçümü

Sertlik testi, cihaz yardımıyla örneğe sabit bir uç ile standart bir kuvvet veya ağırlık uygulanarak girinti oluşturulması ile ölçülür. Bu, oluşan girintinin şekli cihaz yardımıyla mikroskop altında göz ile ölçülerek, sertlik değeri hesaplanır. Standart bir yük ile girintinin boyutları, test edilen malzemenin penetrasyon direnciyle ters orantılı olarak değişir. Bu yüzden daha yumuşak malzemeler için daha hafif yükler uygulanır.

Sertlik, plastik deformasyona direnci ölçer. Diş hekimliğinde kullanılan materyallerin sertlik değerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Sertlik bir objenin freze edilmesini, tesviyesini, polisajını ve kullanım sırasında çizilmeye direncini etkiler.

En sık kullanılan yüzey sertliği ölçme yöntemleri; Barcol, Brinell, Rockwell, Shore A, Vickers ve Knoop'dur. Bu testlerin birbirinden farkı, çentik oluşturan ucun farklı şekillerde olması ve sertliğin hesaplama yöntemleridir. Knoop ve Vickers sertlik testleri mikro-sertlik testleri, Brinell ve Rockwell ise makro-sertlik testleri olarak sınıflandırılır.^{10,11}

Knoop Sertlik Testi:

Knoop sertlik testi, bir mikro sertlik testidir. Knoop sertlik yönteminde, girinti oluşturma ucuna değişen kuvvetler uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle ortaya çıkan girinti alanı uygulanan kuvvete ve test edilen malzemenin yapısına göre değişir. Bu yöntemin avantajı, büyük bir sertlik aralığına sahip malzemelerin basitçe test yükünü değiştirerek test edilebilmesidir. Çok hafif yük uygulamaları son derece hassas mikro girintiler ürettiğinden, bu test yöntemi, ilgili bir alanda sertlikte değişiklik gösteren malzemeleri incelemek için kullanılabilir. Yöntemin ana dezavantajları, yüksek düzeyde cilalanmış ve düz bir test numunesine duyulan ihtiyaç ve test işlemini tamamlamak için gereken süre olup, bu süre, diğer bazı daha az hassas kontrollü yöntemler için gereken süreden oldukça fazladır.¹¹

3.GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışmada besin taklidi sıvıların farklı üretim yöntemi kullanılarak üretilmiş geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerine etkisi değerlendirildi. Çalışmamız Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Kurulu'nca TDH-2021-13664 proje kodu ile desteklendi.

3.1. Örneklerin Hazırlanması

Çalışmamızda 3 farklı üretim yöntemi ile üretilen PMMA içerikli geçici kron köprü materyalleri kullanıldı.

Çizelge 3.1.Çalışmada Kullanılan Örnekler

Üretim Yöntemi	Materyal Tipi	Ticari İsmi	Üretici
3D	Polimetil metakrilat	Formlabs Temporary CB Resin	Formlabs, Somerville, MA, ABD
Kazıma	Polimetil metakrilat	Tempo-CAD Mono Color Disk	On-Dent, İzmir, Türkiye
Geleneksel	Polimetil metakrilat	IMIDENT	IMICRYL, Konya, Türkiye

Örneklerin her bir grup için örnek sayısı güç analizi(G*Power 3.1.9.7) ile belirlendi. (etki büyüklüğü 0.4, $\alpha=0.05$, güç=0.80, grup sayısı 4, minimum toplam örneklem sayısı 76). Her bir üretim yöntemi için 76şar örnek, toplam 228 örnek oluşturuldu.

Geleneksel üretim yöntemi ile üretilen örnekler içinPMMA materyali(Imicryl, Konya, Türkiye) kullanıldı. Materyalin toz ve likiti üreticinin talimatları doğrultusunda ideal gramajlarda karıştırılması için hassas terazide(Shimadzu AX120 Manuals, Kyoto, Japonya) tartılıp cam bir kap içerisinde elle karıştırıldı. Karıştırılan materyalin üzeri kapatılarak toz ve likidin tepkimeye girmesi beklendi. Ardından örnekler ISO10477 standartlarına uygun 25×2×2 mm ölçeklerindeki silikon kalıbın içerisine tepilip üzeri cam levha ile kapatıldı ve hafif pres uygulandı ve materyalin polimerizasyonu beklendi. Polimerize olan materyal kalıptan çıkartılarak tesviyesi yapıldı.

CAD/CAM kazıma yöntemi ile üretilen örnekler için PMMA disk materyali (On-dent, İzmir, Türkiye) kullanıldı. Örneklerin ölçeği ISO10477 standardına uygun olacak şekilde 25×2×2 mm ölçeklerindedijital olarak AutoCAD(AutoCAD, Autodesk, California, ABD) yazılımı ile STL. formatında hazırlandı. Materyalin PMMA diskinden kazınması için CAD/CAM (Cerec inLab MC X5, Dentsply Sirona, Bensheim, Almanya) sistemleri kullanıldı ve istenilen ölçeklerde materyaller kazınarak oluşturuldu.

CAD/CAM 3D üretim yöntemi ile üretilen örnekler için PMMA rezin materyali (Formlabs Temporary CB Resin, Somerville, ABD) kullanıldı. Kazıma yöntemi için kullanılan ISO10477 standardına uygun dijital veri, 3D yazıcıda örneklerin üretilmesi için de kullanıldı. Örnekler 3 boyutlu yazıcı cihazında yatay olarak 50 µm katman kalınlığında üretildi. Cihazdan çıkan örnekler tabladan ayrılıp artık monomerinden arındırılması için 4 dakika alkolde yıkandı. Örnekler nihai polimerizasyonu için üretici talimatları doğrultusunda ışın cihazında kürlendi. Ardından destek çubuklarından ayrılıp tesviyesi yapıldı.

3.2. Besin Taklidi Sıvıların Hazırlanması

Hazırlanan her bir üretim grubundaki örnekler kendi içianderastgele 4 gruba ayrıldı (n=19). Bu örnekler heptan, 0.02 M sitrik asit, %50 etanol ve kontrol grubu olarak distile su solüsyonlarına maruz bırakıldı. Örneklerin besin taklidi sıvılara maruz bırakılmasının mekanik özelliklerine etkisi incelendi.

Çizelge 3.2. Solüsyonlar

SOLÜSYON	SİMÜLASYON TİPİ
Distile Su	Tükürük
Heptan	Yağ, Yağlı etler, Bitkisel Yağlar
%50 Etil Alkol	Alkollü içecekler, Ağız Çalkalama Solüsyonları
0.02 M Sitrik Asit	İçecekler, Sebzeler, Meyveler, Farmakolojik Şuruplar

3.3. Örneklerin Solüsyonlarda Bekletilmesi

Her bir üretim yöntemine ait örnekler kendi içinde 4 gruba ayrılmasıyla toplamda 12 grup oluştu. Bu örnekler oda sıcaklığında cam kaplar içerisinde besin

taklidi sıvılara 1 hafta süre ile aralıksız maruz bırakıldı. Bekleme süresinin sonunda örnekler akarsu altında yıkanarak temiz bir peçete ile kurulandı.

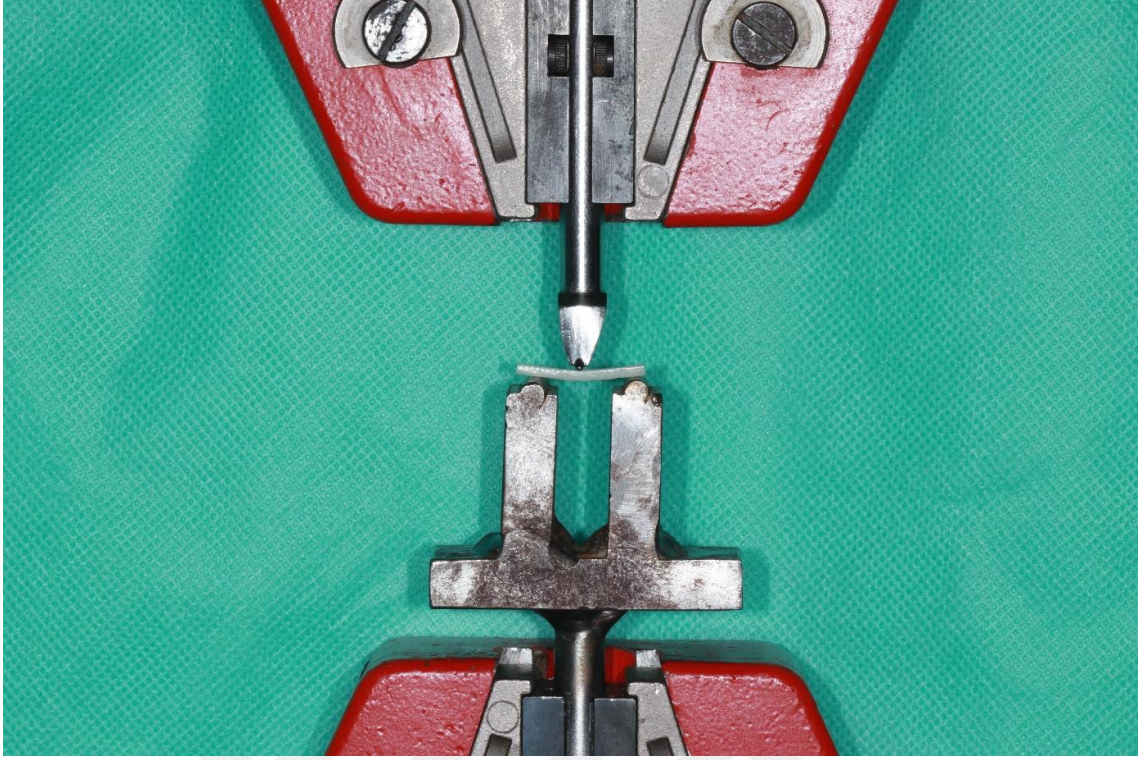


Şekil 3.1. Örneklerin Sıvılarda Bekletilmesi

3.4. Kullanılan Testler ve Cihazlar

3.4.1. Kırılma Testi

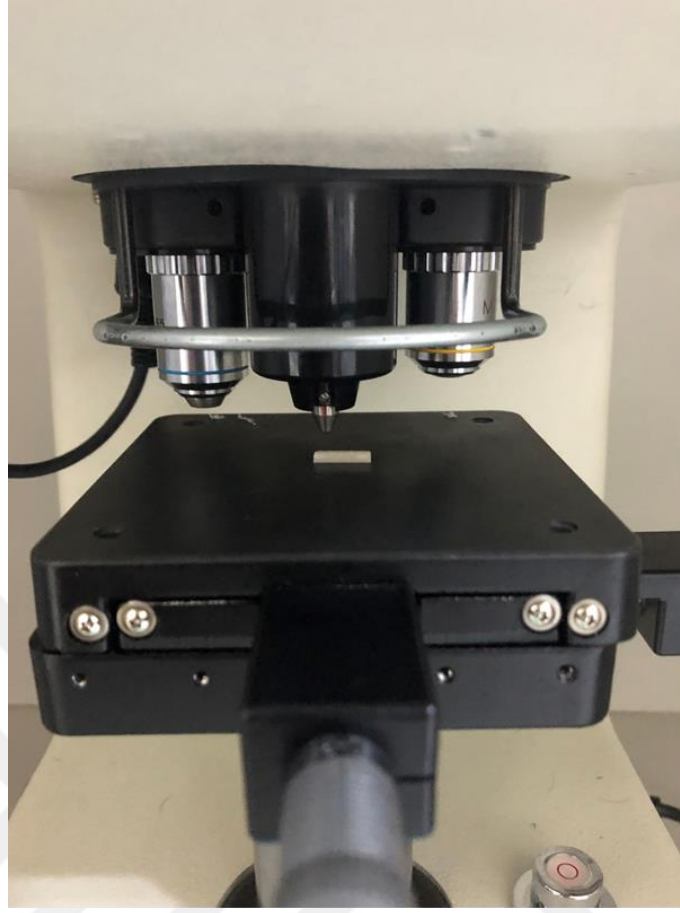
Örneklerin ölçümü Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarında bulunan Testometrik cihazı (Testometric M270, Lancashire, İngiltere) ile yapıldı. Örneklerin orta noktası ölçülerek işaretlendi. Örneklerin kalınlığı ve genişliği tam orta noktasından kumpas (Mitutoyo, Vernier Caliper, Japonya) ile ölçüldü. Ardından örnekler alttaki destekler arası mesafe 20 mm olacak şekilde ISO10477 standartlarına uygun rastgele sırayla Testometrik cihazına yerleştirildi. Kuvvet uygulayacak uç üstten ve ortadan $(1,0 \pm 0,3)$ mm/dk ile kuvvet uyguladı ve örnekler kırılana kadar kuvvet uygulamaya devam edildi. Örnekler kırılır kırılmaz cihaz durduruldu ve maksimum değer bilgisayara kaydedildi.



Şekil 3.2. Testometrik Cihazı

3.4.2. Sertlik Testi

Örneklerin yüzey sertliği ölçümü Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Laboratuvarında bulunan Knoop mikrosertlik cihazı(Buehler MMT-3, Waukagen Lake Bluff, IL, USA) ile yapıldı. Kırılan örneklere cihazın ucu ile 100 g/f kuvvet 15sn uygulanarak kırılan örneklerin her iki ucundan ve tam ortadan olmak üzere 3 farklı noktadan girinti oluşturuldu. Bu girintiler tek bir araştırmacı tarafından okunarak ölçüldü. Ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması o örneğin Knoop Sertlik değeri olarak kaydedildi.



Şekil 3.3.Knoop Sertlik Cihazı

3.5. SEM Analizi

Her gruptan rastgele seçilmiş 1 er örneğin kırık yüzey incelemesiÇ.Ü. Merkezi Araştırma Laboratuvarında (ÇÜMERLAB) taramalı elektron mikroskobu(SEM)(Quanta Feg 650, Eindhoven, Hollanda) ile yapılmıştır. Örnekler 100X, 250X, 500X, 1000X büyütmede incelenmiştir.

3.6. İstatiksel Analiz

Verilerin analizi SPSS programında yapılmıştır. Veriler homojen dağıldı. Veriler normal dağılım gösterdiği için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) Tukey istatistiksel analiztesti kullanıldı. Değerler($p < 0,05$)sonuçlandığında istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

4.BULGULAR

4.1. Mekanik Özelliklerin Bulguları

Geleneksel, kazıma ve 3D yazıcı yöntemi ile hazırlanan örnekler besin taklidi sıvılarda bekletildikten sonra, mekanik özellikleri değerlendirilmek için Knoop sertlik, bükülme dayanımı ve elastik modül ortalama değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki çizelgelerde örneklerin ortalama değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Geleneksel yöntem ile hazırlanan örneklerin bulguları

GELENEKSEL YÖNTEM İLE HAZIRLANAN ÖRNEKLER			
	Knoop Sertlik Değeri(KHN)	Bükülme Dayanımı(MPa)	Elastik Modül(MPa)
Distile Su	13±1.2 ^a	91.3±11.8 ^{a,b}	2502±271.5 ^{a,b}
Heptan	12.9±1.4 ^{a,b}	92.1±17.1 ^{a,b}	2701±612.9 ^a
Alkol	11.8±1 ^b	81.3±9.4 ^a	2326±445.1 ^b
Sitrik Asit	13.2±1 ^a	93.7±11.3 ^b	2601±269.4 ^{a,b}

NOT: Dikey yönde aynı küçük harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p \geq 0.05$).

Geleneksel yöntem ile üretilen örneklerin ortalama;sertlik, bükülme dayanımı ve elastik modül değerleri tablodaki gibidir. Bu verilere göre distile su(13±1.2 KHN), heptan(12.9±1.4 KHN) ve sitrik asit(13.2±1 KHN) solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($p \geq 0.05$).Alkol(11.8±1 KHN) ve heptan(12.9±1.4 KHN) solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($P=0.063$). Ancak alkol solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değerleri ile distile su ve sitrik asit solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır($p \leq 0.05$).

Geleneksel yöntem ile üretilen örneklerin ortalama bükülme dayanımı verilerine göre distile su(91.3±11.8 MPa), heptan(92.1±17.1 MPa) solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama bükülme dayanımı değerleri ile alkol(81.3±9.4 MPa), sitrik asit(93.7±11.3 MPa) solüsyonlarında bekletilen örneklerin bükülme dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($p \geq 0.05$). Distile suda bekletilen

örneklerin ortalama bükülme dayanımı değerleri ile heptan solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama bükülme dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($P=0.997$). Ancak alkol solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama bükülme dayanımı verileri ile sitrik asit solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama bükülme dayanımı verileri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır($P=0.02$).

Geleneksel yöntem ile üretilen örneklerin ortalama elastik modül verilerine göre, distile su(2502 ± 271.5 MPa) vesitrik asit(2601 ± 269.4 MPa) solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama elastik modül değerleri ile heptan(2701 ± 612.9 MPa) ve alkol(2326 ± 445.1 MPa), solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama elastik modül değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($p\geq0.05$). Ancak heptan solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama elastik modül değeri ile alkol solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama elastik modül değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır($P=0.039$).

Çizelge 4.2.Kazıma ile Hazırlanan Örneklerin Bulguları

KAZIMA YÖNTEMİ İLE HAZIRLANAN ÖRNEKLER			
	Knoop Sertlik Değeri(KHN)	Bükülme Dayanımı(MPa)	Elastik Modül(MPa)
Distile Su	19.1 ± 2^a	118.7 ± 15.2^a	2472 ± 240.8^a
Heptan	18.8 ± 3.1^a	112.6 ± 11.7^a	2544 ± 741.2^a
Alkol	17.5 ± 2.2^a	115.3 ± 12.4^a	2412 ± 278.7^a
Sitrik Asit	18 ± 2.7^a	114.3 ± 9.4^a	2415 ± 211.1^a

NOT: Dikey yönde aynı küçük harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p\geq0.05$).

Kazıma yöntemi ile üretilen örneklerin ortalama; sertlik, elastik dayanım, elastik modül değerleri tablodaki gibidir. Bu verilere göre distile su(19.1 ± 2 KHN), heptan(18.8 ± 3.1 KHN), alkol(17.5 ± 2.2 KHN), sitrik asit(18 ± 2.7 KHN) solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($p\geq0.05$).

Kazıma yöntemi ile üretilen örneklerin ortalama bükülme dayanımı verilerine göre distile su(118.7 ± 15.2 MPa), heptan(112.6 ± 11.7 MPa), alkol(115.3 ± 12.4 MPa),

sitrik asit(114.3 ± 9.4 MPa) solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama bükülme dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($p \geq 0.05$).

Kazıma yöntemi ile üretilen örneklerin ortalama elastik modül verilerine göre, distile su(2472 ± 240.8 MPa), heptan(2544 ± 741.2 MPa), alkol(2412 ± 278.7 MPa), sitrik asit(2415 ± 211.1 MPa) solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama elastik modül değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($p \geq 0.05$).

Çizelge 4.3..3D ile Hazırlanan Örneklerin Bulguları

3 BOYUTLU YAZICI İLE HAZIRLANAN ÖRNEKLER			
Solüsyonal ar	Knoop Sertlik Değeri(KHN)	Bükülme Dayanımı(MPa)	Elastik Modül(MPa)
Distile Su	16.4 ± 4.6^a	$137.1 \pm 15.7^{a,b}$	4162 ± 396.1^a
Heptan	24.5 ± 3.9^b	127.7 ± 10.2^b	4268 ± 449.5^a
Alkol	23 ± 2.6^b	139.7 ± 7.4^a	4218 ± 307.4^a
Sitrik asit	17.7 ± 4.3^a	143.5 ± 15.8^a	4425 ± 317^a

NOT: Dikey yönde aynı küçük harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p \geq 0.05$).

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen örneklerin ortalama; sertlik, bükülme dayanımı ve elastik modül değerleri tablodaki gibidir. Bu verilere göre, distile suda bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değerleri(16.4 ± 4.6 KHN) ve sitrik asit solüsyonunda bekletilen örneklerin sertlik verileri(17.7 ± 4.3 KHN) arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($P=0.772$). Alkolde bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değeri(23 ± 2.6 KHN) ve heptan solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değeri(24.5 ± 3.9 KHN) arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($P=0.649$). Ancak distile su ve sitrik asit solüsyonunda bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değerleri ile alkol ve heptan solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama Knoop sertlik değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark($p \leq 0.01$) gözlenmiştir.

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen örneklerin bükülme dayanım verilerine göre, distile su(137.1 ± 15.7 MPa), alkol(139.7 ± 7.4 MPa) ve sitrik asit(143.5 ± 15.8 MPa) solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama bükülme dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($p \geq 0.05$). Distile su(137.1 ± 15.7 MPa) ve heptan(127.7 ± 10.2 MPa) solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama bükülme

dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($P=0.12$). Ancak Heptan solüsyonunda bekletilen örneklerin, alkol ve sitrik asit solüsyonlarında bekletilen örneklere göre, ortalama bükölme dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmiştir($p\leq 0.05$).

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen örneklerin ortalama elastik modöl verilerine göre, distile su(4162 ± 396.1 MPa), heptan(4268 ± 449.5 MPa), alkol(4218 ± 307.4 MPa), sitrik asit(4425 ± 317 MPa) solüsyonlarında bekletilen örneklerin ortalama elastik modöl değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($p\geq 0.05$).

Çizelge 4.4. Tüm Örneklerin Karşılaştırmalı Bulguları

MİKROSERTLİK(KHN)	GELENEKSEL	KAZIMA	3D
DİSTİLE SU	$13\pm 1.2^{A-a}$	$19.1\pm 2^{B-a}$	$16.4\pm 4.6^{C-a}$
HEPTAN	$12.9\pm 1.4^{A-a,b}$	$18.8\pm 3.1^{B-a}$	$24.5\pm 3.9^{C-b}$
ALKOL	$11.8\pm 1^{A-b}$	$17.5\pm 2.2^{B-a}$	$23\pm 2.6^{C-b}$
SİTRİKASİT	$13.2\pm 1^{A-a}$	$18\pm 2.7^{B-a}$	$17.7\pm 4.3^{B-a}$
BÜKÖLME DAYANIMI(MPa)	GELENEKSEL	KAZIMA	3D
DİSTİLE SU	$91.3\pm 11.8^{A-a,b}$	$118.7\pm 15.2^{B-a}$	$137.1\pm 15.7^{C-a,b}$
HEPTAN	$92.1\pm 17.1^{A-a,b}$	$112.6\pm 11.7^{B-a}$	$127.7\pm 10.2^{C-b}$
ALKOL	$81.3\pm 9.4^{A-a}$	$115.3\pm 12.4^{B-a}$	$139.7\pm 7.4^{C-a}$
SİTRİKASİT	$93.7\pm 11.3^{A-b}$	$114.3\pm 9.4^{B-a}$	$143.5\pm 15.8^{C-a}$
ELASTİK MODÖL(MPa)	GELENEKSEL	KAZIMA	3D
DİSTİLE SU	$2502\pm 271.5^{A-a,b}$	$2472\pm 240.8^{A-a}$	$4162\pm 396.1^{B-a}$
HEPTAN	$2701\pm 612.9^{A-a}$	$2544\pm 741.2^{A-a}$	$4268\pm 449.5^{B-a}$
ALKOL	$2326\pm 445.1^{A-b}$	$2412\pm 278.7^{A-a}$	$4218\pm 307.4^{B-a}$
SİTRİKASİT	$2601\pm 269.4^{A-a,b}$	$2415\pm 211.1^{A-a}$	$4425\pm 317^{B-a}$

NOT: Yatay yönde aynı büyük harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p\geq 0.05$).

-Dikey yönde aynı küçük harfler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur ($p\geq 0.05$).

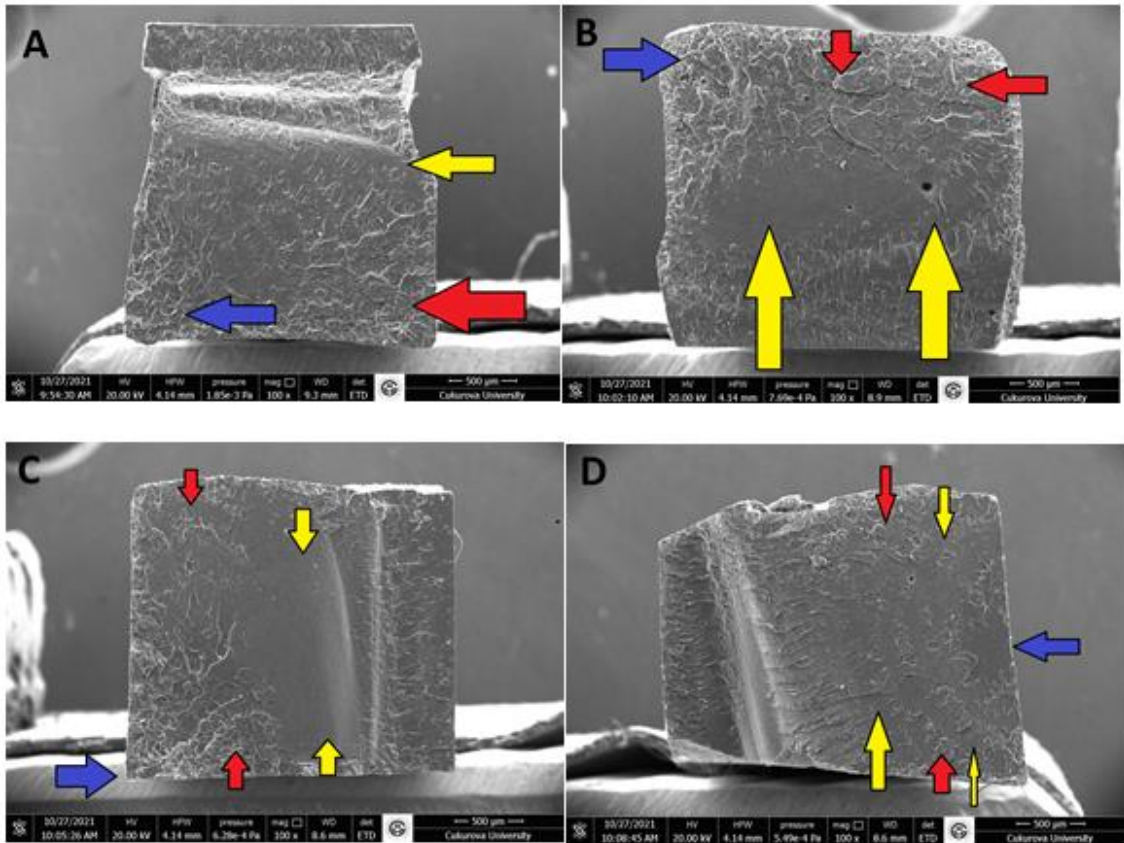
Solüsyonların ortalama; Knoop sertlik, bükölme dayanımı ve elastik modöl verilerinin üretim yöntemlerinin birbirleri ile karşılaştırmalı değerlendirilmesi çizelge 4.4. de gösterilmektedir. Bu tabloda bulunan Knoop sertlik değerine göre; kazıma yöntemi ile üretilmiş sitrik asit solüsyonunda bekletilmiş örneklerin ortalama Knoop sertlik değeri(18 ± 2.7 KHN) ile 3D yazıcı ile üretilmiş sitrik asit solüsyonunda bekletilmiş örneklerin ortalama Knoop sertlik değerleri(17.7 ± 4.3 KHN) arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur($P=0.95$). Ancak diğer tüm solüsyonların ortalama

Knoop sertlik değerlerinde, üretim yöntemleri birbirleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır($p \leq 0.05$)

Tüm solüsyonların ortalama bükülme dayanımı değerleri, üretim yöntemlerinin birbirleri ile karşılaştırmalı değerlendirildiğinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır($P \leq 0.05$)

Solüsyonların ortalama elastik modül değerleri, üretim yöntemlerinin birbirleri ile karşılaştırmalı değerlendirildiğinde geleneksel üretilen örnekler ile kazıma yöntemi ile üretilen örneklerin aralarında istatistiksel olarak fark yoktur($p \geq 0.05$). Üç boyutlu yazıcı ile üretilen örneklerin ortalama elastik modül değerleri kazıma ve geleneksel üretim yöntemi ile üretilen örneklerin ortalama elastik modül değerlerinden istatistiksel olarak farklı bulunmuştur($p \leq 0.05$).

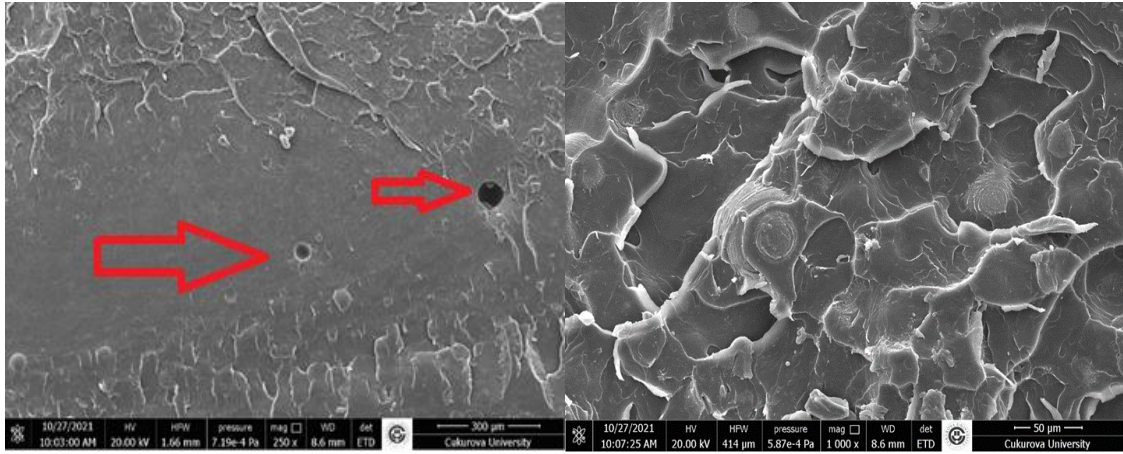
4.2. SEM Bulguları



Şekil 4.1. Geleneksel hazırlanan örneklerin 100x büyütme SEM görüntüleri

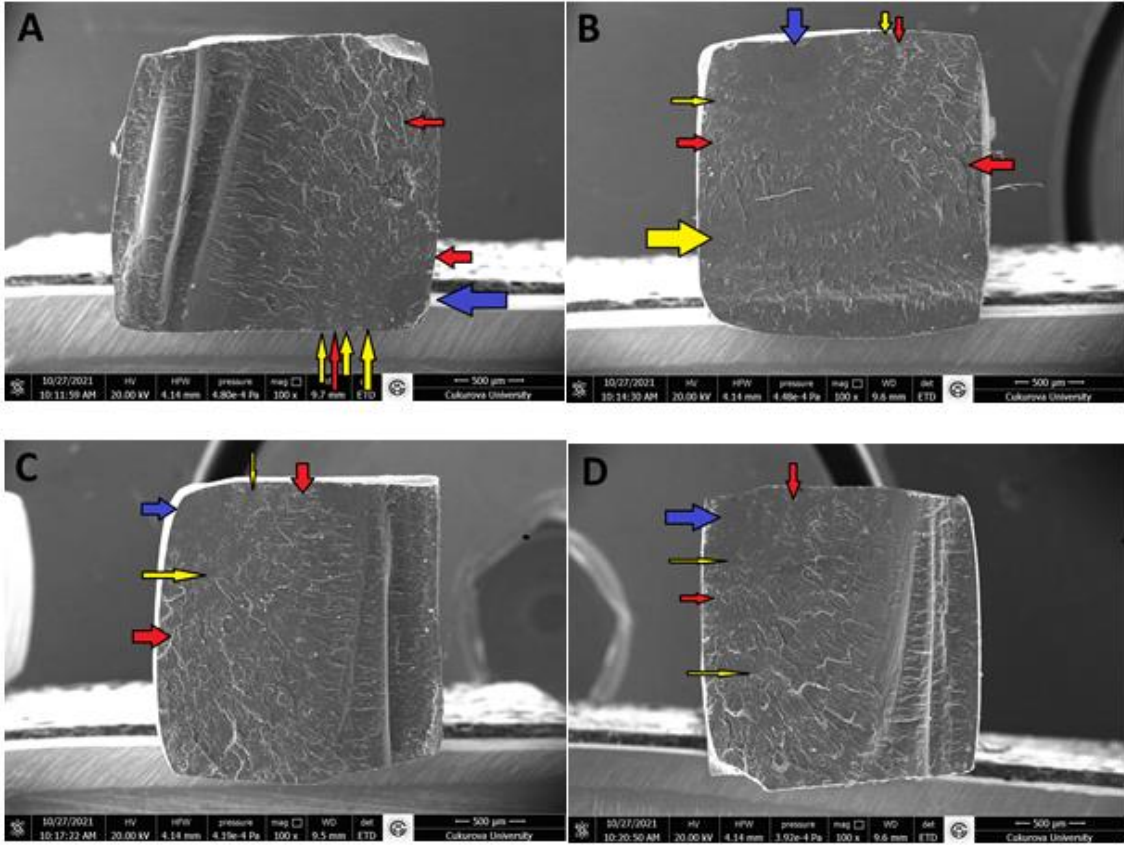
A:Distile Su B:Heptan C:Alkol D:Sitrik Asit

Şekil 4.1. dekiresimler geleneksel yöntem ile üretilen örneklerin besin taklidi sıvılara maruz bırakıldıktan sonra kırılarak, kırık yüzeylerinin SEM görüntülerinin incelenmesidir. Mavi ile gösterilen ok kuvvetin uygulandığı doğrultudan çatlağın başlama merkezidir. Ayrılma bu merkezden yayılarak kırılma gerçekleşmiştir. Sarı ok ile gösterilen yüzeyde çatlak hızlıca ilerlemiştir. Bu yüzden SEM’de izlenen görüntü pürüzsüzdür. Ancak kırmızı ok ile gösterilen bölgelerdeki pürüzlü yüzeylerde materyal süneker kırılmıştır. Geleneksel yöntem ile üretilmiş bu örneklerde kırık yüzeyinde yaygın olarak pürüzlü yüzeyler bulunmaktadır. Buda materyalde sünek kırılma olduğunu gösterir.



Şekil 4.2. Geleneksel üretilmiş örneklerin 250X ve 1000x SEM görüntüleri

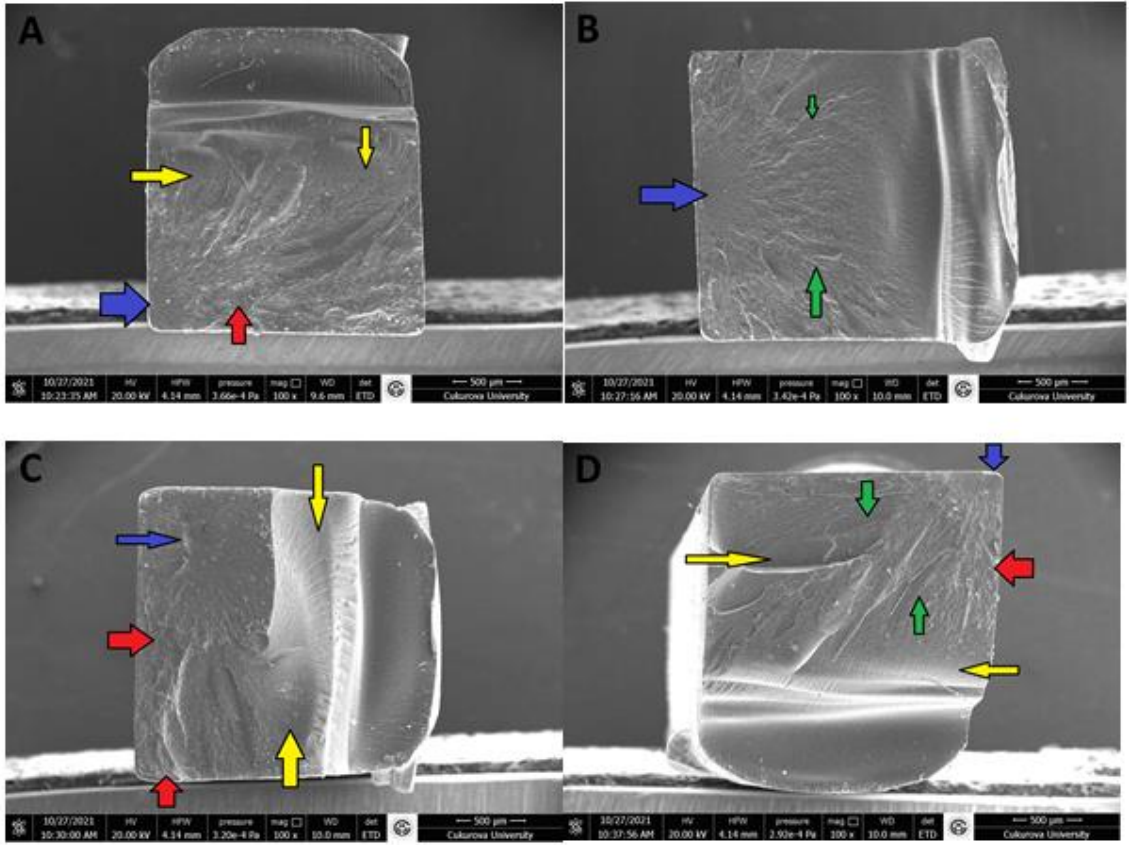
Geleneksel üretim yöntemi ile üretilen örnekler elle üretildiği için heterojen bir yüzey yapısı sergilemektedir. Şekil 4.2. de okla gösterilen hava kabarcığı materyalin yapısında boşluklar oluşturmaktadır. Bu boşluklar geleneksel üretim yöntemi ile üretilen örneklerde sıklıkla gözlenmektedir.



Şekil 4.3. Kazıma İle Üretilen Örneklerin 100X SEM Görüntüsü

A:Distile Su B:Heptan C:Alkol D:Sitrik Asit

Şekil4.3. deki resimler kazıma yöntemi ile üretilmiş örneklerin besin taklidi sıvılara maruz bırakıldıktan sonra kırılarak, kırık yüzeylerinin SEM görüntülerinin incelenmesidir. Kazıma yönteminde üretim yapmak için kullanılan materyalin kırık yüzeyin nispetenhomojen görünmektedir. Mavi ile gösterilen ok kuvvetin uygulandığı doğrultudan çatlağın başlama merkezidir. Bu görüntü geleneksel üretilen örneklere kıyasla SEM de daha net seçilebilmektedir. Ayrılma bu merkezden yayılarak kırılma gerçekleşmiştir. Sarı ok ile gösterilen yüzeyde çatlak hızlıca ilerlemiştir. Bu yüzden SEMde izlenen görüntü pürüzsüzdür. Ancak kırmızı ok ile gösterilen bölgelerdeki pürüzlü yüzeylerde materyal sünerek kırılmıştır. Kazıma yöntemi ile üretilmiş örneklerin kırık yüzeylerinde fazla pürüzlü oluşumlar gözlenmektedir. Bunun sebebi örnek kırılırken daha çok elastik deformasyona maruz kalmasıdır. Bu nedenle örnek kırılırken sünek kırılmıştır.



Şekil 4.4. Eklemeli(3D) Üretilen Örneklerin 100X SEM Görüntüsü

A:Distile Su B:Heptan C:Alkol D:Sitrik Asit

Şekil 4.4. deki resimler eklemeli üretim yöntemi(3D) ile üretilmiş örneklerin besin taklidi sıvılara maruz bırakıldıktan sonra kırılarak, kırık yüzeylerinin SEM görüntülerinin incelenmesidir. Örnek yüzeyi nispeten homojen görünmektedir. Mavi ile gösterilen ok kuvvetin uygulandığı doğrultudan çatlağın başlama merkezidir. Ayrılma bu merkezden yeşil okla gösterildiği gibi yayılarak örnek içinde ilerlemiş ve kırılma gerçekleşmiştir. Sarı ok ile gösterilen pürüzsüz yüzeyler diğer üretim yöntemlerine kıyasladaha sık gözlenmektedir. Kırmızı ok ile gösterilen bölgelerdeki pürüzlü yüzeyler nispeten azdır. Örneklerin SEM görüntülerine bakıldığında gevrek kırılma gözlenmiştir.

5. TARTIŞMA

Çalışmamızda besin taklidi sıvıların 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş geçici restorasyonların mekanik özelliklerine etkisinin karşılaştırmalı değerlendirmesi incelenmiştir. Çalışmamızın, besin taklidi sıvıların farklı üretim yöntemleri kullanılarak üretilmiş geçici restorasyonların mekanik özelliklerine etkisi yoktur, hipotezi reddedilmiştir.

Uzun yıllar geleneksel olarak elle üretilen geçici restorasyonlar, günümüzde bilgisayar sistemleri (CAD/CAM) kullanılarak, farklı şekillerde üretilmektedir. CAD/CAM teknolojisi üretim yöntemleri içerisinde üç boyutlu yazıcı ile üretim yöntemi, üretimdeki son teknoloji olmasıyla birlikte oldukça popülerdir.³⁶⁻³⁸ CAD/CAM kullanılarak, özellikle üç boyutlu yazıcı yöntemi ile üretilen geçici restorasyonların diğer üretim yöntemlerine kıyasla ağız içerisinde mekanik olarak nasıl bir performans gösterdiği hakkında literatürde herhangi bir bilgi bulamadık. Bu nedenle çalışmamızda bu üç farklı üretim yöntemi kullanılarak üretilen geçici restorasyon materyallerinin mekanik özelliklerini karşılaştırdık.

Geleneksel geçici restorasyon üretim yönteminde polimetil metakrilatlar (PMMA), polietil metakrilatlar (PEMA), bis-akril kompozit rezinler gibi materyaller kullanılmaktadır.⁷ Bunlardan PMMA 1940'lı yılların başından günümüze sıklıkla kullanılan geçici restorasyon materyalidir.^{3,28} Bu yüzden çalışmamızda farklı üretim yöntemleri ile geçici restorasyon üretmek için PMMA içerikli geçici restorasyon materyalleri kullanıldı.

Çalışmamızda hazırlanan örneklerin boyutu ve şekli ISO10477 standartlarına göre, 25×2×2 mm ölçeklerinde dikdörtgen prizması şeklinde üretildi.^{50,51} Geleneksel üretim yöntemi ile örnekleri hazırlamak için ISO10477 standartlarına uygun silikon kalıp oluşturuldu. Bu kalıp içerisine geleneksel geçici restorasyon materyali uygulandı ve kalıbın açık yüzeyi cam levha ile kapatılarak polimerizasyonu tamamlanana kadar hafif basınç altında beklendi.⁷ ISO10477 standartlarında örnekler, çalışmamızın aksine silikon kalıp ile değil, paslanmaz çelik kalıp kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca literatürde paslanmaz çelik kalıp kullanılarak örneklerin üretildiği çalışmalar mevcuttur. Paslanmaz çelik kalıp kullanılarak örnekler üretildiğinde, silikon kalıbın sürekli kullanılmasından kaynaklanan yıpranmanın önüne geçilebilir. Böylelikle üretilen her örneğin standart

olması sağlanabilirdi. Ancak örnekler, geçici restorasyon materyalinin polimerize olmasından sonra çıkartılırken paslanmaz çelik kalıba yapışarak kırılmış veya bozulmuştur. Ayrıca klinik uygulamada hasta ağızında üretilen geçici restorasyonlar paslanmaz çelik kalıp ile değil, silikon kalıp ile üretilmektedir. Bu nedenle çalışmamızda üretim için silikon kalıp tercih edilmiştir.

CAD/CAM teknolojisi kullanılarak üretilen örnekler ISO10477 standartlarına uygun boyutlarda hazırlanan STL. formatındaki verinin bilgisayarda işlenmesi ile; eksiltme yöntemi ile hazırlanan örnekler PMMA bloklardan kazınarak, üç boyutlu yazıcı teknolojisi ile üretilen örnekler ise sıvı fotopolimer PMMA reçineden katman katman üretilmiştir.³⁶⁻³⁸ Alharbi ve ark. yapmış olduğu çalışmada gösterildiği gibi katmanların üretim doğrultusu materyalin dayanımını etkileyebilir.²⁵ Kuvveti en iyi karşılayan üretim doğrultusu katmanların uygulanacak kuvvete dik doğrultuda ve 50µm katman kalınlığında üretilmesidir.^{25,26} Çalışmamızda kullandığımız üç boyutlu yazıcı ile üretilen örnekleri, üç nokta bükme testinde uygulanan kuvvete dik, üretim tablası üzerinde yatay konumda olacak şekilde 50µm katman kalınlığında ürettik.

Hastaya yapılan geçici restorasyon, kullanımı ile birlikte ağız içerisinde çeşitli etkilere maruz kalır. Ağız ortamında bireyin beslenme sırasında tükettiği besinlerin içeriği ve restoratif materyalin sürekli tükürükle teması materyallerin yüzey yapısını etkiler.^{17,21} Materyalin mekanik özelliklerinin test edildiği çalışmalarda, ağız ortamının restorasyonlarda meydana getirdiği birtakım değişiklikleri test etmek için besin taklidi sıvılar kullanılmıştır.^{41,42} Kimyasal besin taklidi sıvılar yerine doğal yiyecekler ve içecekler de bireyin beslenmesini taklit etmek için kullanılabilirdi.⁵² Yağlı ürünleri et, asitli yiyecekler meyve kullanarak taklit edebilirdik. Ancak bu gibi katı gıdaları, çalışmamızda uyguladığımız metot ile test etmemiz mümkün olmayacaktı. Ayrıca doğal yiyeceklerdeki etkilerin konsantrasyonları ayarlanamayacağından örnekler üzerine etkileri diğer çalışmalardaki standardı sağlamayacaktı. Bu nedenle çalışmamızda hastaların beslenme tiplerini taklit etmek için Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration; FDA, ABD) yönergesindeki kimyasal besin taklidi sıvılar (su, sitrik asit, heptan, etanol) kullanılmıştır.¹⁹

Çalışmamızda farklı üretim yöntemleri kullanılarak üretilen geçici restorasyon materyalleri besin taklidi sıvılarda (heptan, alkol, sitrik asit) ve distile suda 1 hafta süre ile bekletilmiştir. Çalışmamızda distile suda bekletilen örnekler kontrol grubu olarak

seçilmiştir. Literatürde, herhangi bir sıvıda bekletilmemiş örneklerin kontrol grubu olarak seçildiği çalışmalar bulunmaktadır.⁵³ Ancak herhangi bir sıvıda bekletilmemiş örneklerin olduğu çalışmalar kliniği yansıtmada yetersiz kalacaktır. Çünkü yapılan geçici protezler muhakkak hasta ağızda ağız sıvılarına maruz kalır.

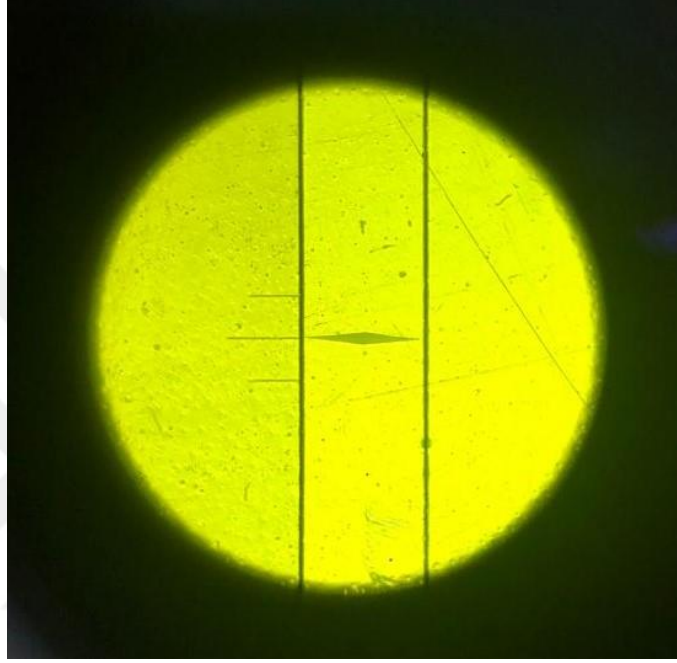
Kao ve ark. besin taklidi sıvıların kompozitlerin yüzey özellikleri üzerindeki maksimum etkisinin, solüsyonlar içerisine bırakıldıktan sonraki ilk 7 gün içerisinde meydana geldiğini bildirmiştir.¹⁸ Bu nedenle bizde çalışmamızda örnekleri 1 hafta süre ile aralıksız olarak besin taklidi sıvılar içerisinde oda sıcaklığında beklettik. Bu süre kimyasal maruziyet için fazla gözükebilir. Ancak ağız içerisinde restorasyonlar tükürük, yiyecek ve içeceklerde bulunan kimyasal maddelere dişler temizlenene kadar aralıklı veya sürekli olarak maruz kalabilir. Bununla birlikte kimyasal maddeler, restorasyonların üzerindeki çatlaklarda, yetersiz polisajlanmış yüzeylerde, diş taşı gibi kalıntıların arasında kalarak restorasyonu kimyasal etkilere sürekli maruz bırakabilir. Ayrıca ağız içerisinde besinlerin bakteriyel ayrışması sonucu açığa çıkan son ürünler restorasyonları sürekli kimyasal etki altında bırakabilir.²¹

Restorasyonların dayanıklılığının öngörülebilmesi, materyalin mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi ile mümkündür.^{11,13,47} Mekanik özellikler materyalin kuvvet karşısında gösterdiği davranışı ifade eder. Bükülme kuvveti, farklı kuvvet dinamikleri içerisinde ağız içerisinde en fazla görülen kuvvet tipidir. Bu sebeple bükülme dayanımı, özellikle köprü restorasyonlarda değerlendirilmesi gereken en önemli özelliklerin başında gelmektedir.^{10,11}

Bükülme dayanımı (Flexural Strength) ve elastik modül (Flexural Modulus), geçici protez malzemelerinin dayanıklılığını ve esnemeye karşı direncini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan iki mekanik özelliktir. Polimer içerikli materyallerin mekanik özelliklerini test etmek için genellikle 3 nokta bükme testi ve sertlik testi kullanılır.⁴⁸ Bu nedenle çalışmamızda örneklerin mekanik özelliklerini test etmek için üç nokta bükme testi ve sertlik testi kullandık.

Dental çalışmalarda Knoop ve Vickers sıklıkla kullanılan sertlik test yöntemleridir.⁵⁴ Knoop sertlik testi kullanıldığında örnek üzerine şekil 5.1. deki gibi girinti oluşur. Girinti biçim olarak eşkenar dörtgen şeklindedir. Mekanizmanın batıcı ucu materyale girdiğinde girintiyi oluşturur. Batıcı uç materyal yüzeyinden çıkarken oluşan girintide elastik geri kazanım meydana gelir ve girinti şekli daralır. Knoop sertlik

testinin oluşturduğu girintide bu elastik geri kazanımın büyük çoğunluğukısa köşegen boyunca gerçekleşir. Bu yüzden Knoop sertlik testinde görüntünün en uzun köşegeninin uzunluğu ölçülerek değer hesaplanır.¹⁰Böylelikle elastik geri kazanımdan doğan sapma miktarı azalır. Bu nedenle çalışmamızda sertlik testi için Knoop sertlik testi kullanılmıştır.



Şekil 5.1.Knoop sertlik test görüntüsü

Digholkar ve ark. yapmış olduğu çalışmada üç farklı üretim yöntemi ile üretilmiş geçici restorasyonların Knoop sertlik değerleri ve bükme dayanımları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ortalama Knoop sertlik değerleri; geleneksel yöntem(27.36 KHN), kazıma yöntemi(25.33 KHN), 3D yazıcı yöntemi(32.77 KHN) bulunmuştur. Bu değerlerin bizim elde ettiğimiz değerlerden yüksek olmasının sebebi, örneklerin herhangi bir kimyasala maruz bırakılmadan test edilmesi olabilir. Ayrıca Digholkar ve ark. yapmış olduğu çalışmada Knoop sertlik testinin batıcı ucu örnek üzerine 50 gf kuvvet ile 15 sn kuvvet uygulamıştır. Biz çalışmamızda Knoop sertlik testinin batıcı ucunu örnek üzerine, ISO10477 standartlarına uygun olarak 100 gf kuvvetle 15 sn kuvvet uyguladık. Digholkar ve ark elde ettiği sonuçlara göre ortalama bükme dayanımı değerleri; geleneksel yöntem(95.58 MPa), kazıma yöntemi(104.20 MPa), 3D yazıcı yöntemi(79.54 MPa) bulmuştur. Bu değerlerden geleneksel ve kazıma

yöntemi ile elde edilen sonuçlar çalışmamızla benzerdir. Ancak 3D ile elde edilen değerin bizim çalışmamızdan farklı çıkmasının nedeni kullanmış olduğu yazıcı sisteminin bizimkinden farklı oluşu olabilir.²⁷

Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlara göre; geleneksel olarak üretilen geçici protez materyali maruz bırakıldığı kimyasallardan benzer oranda etkilenmiştir. Ancak etil alkol solüsyonunda bekletilen örneklerin Knoop sertlik, bükülme dayanımı ve elastik modül ortalama değerleri diğer solüsyonlarda bekletilen örneklerin ortalama değerlerinden düşük çıkmıştır. Etil alkolde bekletilen örneklerin Knoop sertlik değerindeki(11.8 ± 1 KHN) düşüş kontrol grubuna(13 ± 1.2 KHN, 91.3 ± 11.8 MPa, 2502 ± 271.5 MPa) göre istatistiksel olarak anlamlı olsa da bükülme dayanımı(81.3 ± 9.4 MPa) ve elastik modül(2326 ± 445.1 MPa) ortalama değerlerindeki düşüş istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu durumun sebebi etil alkolün geçici kron materyalinin yapısındaki bağları bozarak, polimer yüzeyinin yer yer parçalanması olabilir.⁴⁰ Bu parçalanma sonucunda materyalin matris ve doldurucu ara yüzünde bozulmalar materyalin yüzey sertliğinde düşüş meydana getirmiş olabilir.²⁰

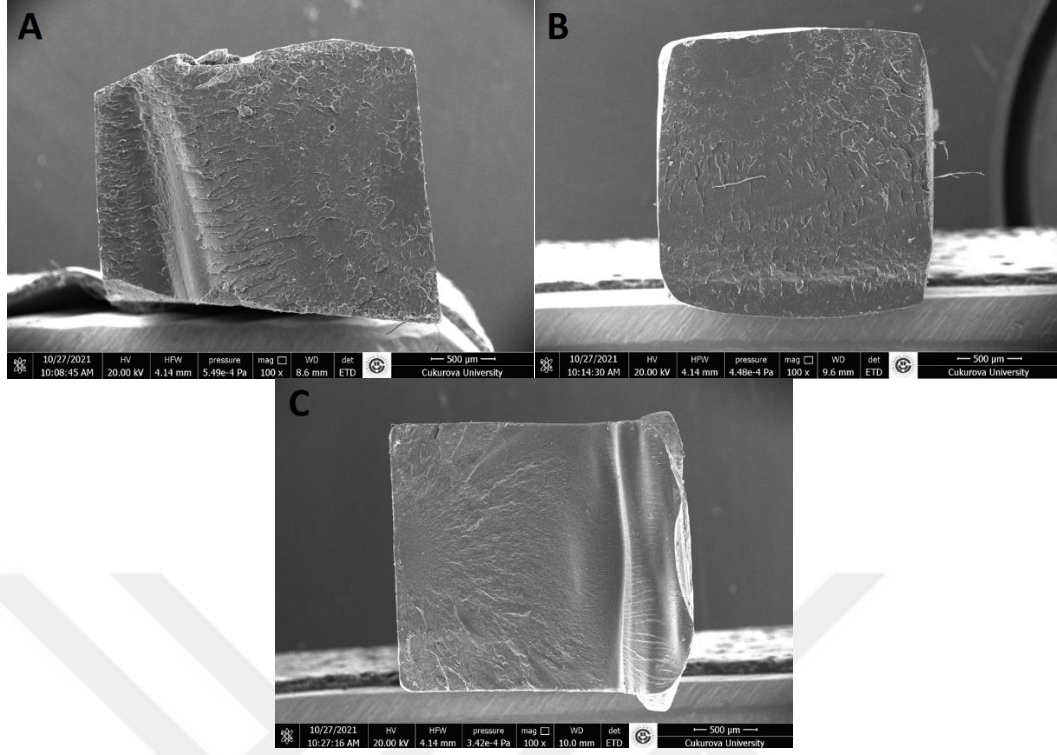
Çalışmamızdan elde ettiğimiz sonuçlara göre bilgisayar destekli kazıma yöntemi ile üretilen geçici protez materyalleri maruz bırakıldığı kimyasallardan benzer oranda etkilenmiştir. Besin taklidi sıvılarda bekletilen bu materyallerin ortalama Knoop sertlik, bükülme dayanımı ve elastik modül değerleri kontrol grubu ile kıyaslandığında istatistiksel olarak farklı değildir. Bunun nedeni endüstriyel olarak polimerize edilen geçici restorasyon blokları, geleneksel üretilen geçici restorasyon materyallerine göre daha az artık monomer içerir ve daha homojen bir iç yapı gösterir. Bu yüzden geçici materyalleri benzer oranda etkilenmiş olabilir.

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlara göre bilgisayar destekli eklemeli üretim yöntemi 3D yazıcı ile üretilen geçici protez materyalleri kontrol grubu olan su ve sitrik aside maruz bırakıldığında ortalama Knoop sertlik değerleri heptan ve alkol solüsyonlarına maruz bırakılan geçici protez materyallerine göre istatistiksel olarak anlamlı düşük çıkmıştır. Bunun nedeni materyalin yapısındaki organik doldurucuların su ve asit tarafından bozularak materyali etkilemesi olabilir.^{23,55} Ayrıca polimerler arası bağlar su absorpsiyonu sonucu hidrolitik olarak parçalanmış olabilir. Bu da restorasyonun yumuşamasına neden olmuş olabilir.^{15,17}

Üreticinin talimatı doğrultusunda 3D yazıcı ile üretilen materyal izopropil alkolde yıkanarak son kütleme cihazına sokulur. Burada alkol, materyal üzerindeki artık monomeri uzaklaştırır. Çalışmamızda kullanılan alkol solüsyonu aynı etkiyi yapmış, materyal üzerindeki artık monomerleri temizlemiş olabilir.⁵⁶ Ayrıca alkol materyali dehidrate ederek materyalin sertliğinde artışa neden olmuş olabilir.¹⁸ Heptan solüsyonunda bekletilen materyalin, Knoop sertlik değerindeki artışın iki olası açıklaması olabileceğini düşündük. Heptanın son kütleme sırasında materyal yüzeyinde oksijen inhibisyonunu azaltması veya materyal yüzeyinin yağ bileşiğiyle kaplanarak çözelti içerisindeki sıvının materyalin iç yapısına nüfuz etmesini engellemiş olması olabilir.^{53,57}

3D yazıcı ile üretilen örneklerin ortalama bükülme dayanımı ve elastik modül değerlerine göre solüsyonlar kontrol grubu olan distile suya göre benzer oranda geçici protez materyalini etkilemiştir.

Tüm üretim yöntemlerinin Knoop sertlik, bükme dayanımı ve elastik modül değerleri karşılaştırıldığında geleneksel olarak üretilen örneklerin bilgisayar destekli üretilen örneklerden anlamlı olarak düşük çıkmıştır. Bunun en büyük nedeni şüphesiz geleneksel üretim yöntemindeki insan odaklı faktörlerdir. Bu üretimden kaynaklanan boşluklar SEM görüntülerinde sıklıkla izlenmiştir. MM Rayyan ve ark. yapmış olduğu çalışmada gösterildiği gibi CAD/CAM ile üretilen geçici restorasyonların, geleneksel olarak üretilen geçici restorasyonlara göre daha iyi renk stabilitesine, daha yüksek mekanik özelliklere ve daha iyi uyuma sahiptir.⁵⁷Yapılan birçok çalışma geleneksel üretime kıyasla CAD/CAM sistemleri ile üretimin daha avantajlı olduğunu göstermiştir.³⁶⁻³⁸



Şekil 5.2. Üretim yöntemleri arasındaki SEM farklılığı
A:Geleneksel Üretim **B:**Kazıma ile Üretim **C:**3D ile Üretim

Tüm üretim yöntemlerinin örneklerinin SEM görüntüleri şekil 5.2. gösterilmiştir. Geleneksel üretim yöntemi ile üretilen örnekler elle üretildiği için, örneğin içerisinde hava kabarcığı ve yer yer boşluklar gözlenmektedir. Bu boşlukların geleneksel üretim yöntemi ile üretilen örneklerde gözlenmesi üretimin insan tarafından yapılmasından dolayı hatalar barındırmasından kaynaklanmaktadır. Bu defektler materyalin dayanımını etkileyebilir.

Şekil 5.2. deki SEM görüntüleri incelendiğinde geleneksel üretim yöntemi ile üretilen örneğin kırık yüzeyi kazıma yöntemi ile üretilen örneğin kırık yüzeyine çok benzemektedir. Ancak 3D ile üretilen örneklerin kırık yüzeyinin SEM görüntüsü diğer yöntemlerden oldukça farklıdır. Diğer yöntemlerde sıklıkla gözlenen materyalin sünekle kırılmasından kaynaklanan pürüzler 3D ile üretilen örneklerde çok daha azdır. Bu da 3D ile üretilen örneklerin daha az elastik deformasyona maruz kalarak kırıldığını göstermektedir. Bu SEM görüntüleri 3D ile üretilen örneklerin elastik modül değerlerinin diğer üretim yöntemlerinin elastik modül değerlerine göre daha yüksek çıkması ile paralellik göstermektedir.

Ağız içerisindeki ısı yeme-içme ile birlikte sürekli değişir alınan nefesle bile ağız içerisindeki sıcaklık değişmektedir. Literatüre bakıldığında yapılan birçok çalışma 37 °C de örnekleri bekletmiştir.^{20,22} Ağız içerisinde özellikle yemek yeme ve yutkunma esnasında dişler birbirine temas eder.⁵⁸ Alınan besinlerin içeriğinin mekanik özellikleri değerlendirilirken bu kuvvetlerinde göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu yüzden bundan sonraki çalışmalarda örneklerin termal siklus altında, çiğneme simülasyonu ile beraber besin taklidi sıvılarda bekletilerek testlerinin yapılması faydalı olacaktır. Böylelikle kliniği daha iyi yansıtan çalışmalar yapılabilir.



6.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

1. Üretim yöntemindeki farklılıklar, geçici restorasyonların mekanik özellikleri üzerine etkilidir.
2. Geleneksel ve kazıma yöntemi ile üretilen alkol solüsyonu içerisinde bekletilen örneklerin mekanik özellikleri kontrol, heptan ve sitrik asit solüsyonunda bekletilen örneklerin mekanik özellikleri görenispeten daha düşük çıkmıştır. 3D yazıcı ile üretilen örnekler ise solüsyonlardan benzer oranda etkilenmiştir.
3. Hastalara uzun dönem geçici restorasyon kullanırılması gerektiğinde 3D ile üretilmiş restorasyonların üretilmesi restorasyonun, mekanik olarak daha dayanıklı olmasını sağlayabilir.

KAYNAKLAR

1. The Glossary of Prosthodontic Terms. *The Journal Of Prosthetic Dentistry*, 2005.
2. **Zeighami S, Siadat H, Nikzad S.** Full mouth reconstruction of a bruxer with severely worn dentition: a clinical report. *Case reports in dentistry*, 2015.
3. **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*, 2003; 90(5):474-497.
4. **Baldissara P, Comin G, Martone F, Scotti R.** Comparative study of the marginal microleakage of six cements in fixed provisional crowns. *The Journal of prosthetic dentistry*, 1998; 80(4): 417-422.
5. **Blasi A, Alnassar T, Chiche G.**Injectable technique for direct provisional restoration. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 2018; 30(2): 85-88.
6. **Lee H, Paek J, Noh K, Kwon K R.** Precise Reproduction of Soft Tissue Structure around the Pontic Area Using Computer-Aided Design and Manufacturing. *Journal of Prosthodontics*, 2019; 28(2): 216-218.
7. **Shillingburg T H.** *Sabit Protezin Temelleri*. 3. Baskı, Quintessence Yayıncılık Ltd. Şti., 2010.
8. **Fox C W, Abrams B L, Doukoudakis A.** Provisional restorations for altered occlusions. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 1984; 52(4): 567-572.
9. **Jockusch J, Özcan M.** Additive manufacturing of dental polymers: An overview on processes, materials and applications. *Dental Materials Journal*, 2020; 39(3):345-354.
10. **Anusavice K, Phillips R, Shen C, Rawls H.** *Phillips' science of dental materials*. 12th ed, , Elsevier Science (USA), 2003.
11. **Craig R, Powers J, Sakaguchi R.** *Craig's restorative dental materials*. 13th ed. St. Louis, Mo.: Mosby Elsevier, 2006.
12. **Knobloch L A, Kerby R E, Pulido T, Johnston W M.** Relative fracture toughness of bis-acryl interim resin materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 2011; 106 (2): 118-125
13. **Ireland M F, Dixon D L, Breeding L C, Ramp M H.** In vitro mechanical property comparison of four resins used for fabrication of provisional fixed restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, 1998; 80(2): 158-162.
14. **Akova T, Ozkomur A, Uysal H.** Effect of food-simulating liquids on the mechanical properties of provisional restorative materials. *Dental Materials*. 2006; 22(12):1130-1134
15. **Mohammadi E, Pishavar L, Mirzakouchaki Boroujeni P.** Effect of food simulating liquids on the flexural strength of a methacrylate and silorane-based composite. *PloS one*, 2017; 12(12): e0188829.
16. **Mei M L, So S Y, Li H, Chu C H.** Effect of heat treatment on the physical properties of provisional crowns during polymerization: an in vitro study. *Materials*, 2015; 8(4): 1766-1777.
17. **Abdulmohsen B, Parker S, Braden M, Patel M.** A study to investigate and compare the physicommechanical properties of experimental and commercial temporary crown and bridge materials. *Dental Materials*, 2016; 32(2):200-210.

18. **Kao E C.** Influence of food-simulating solvents on resin composites and glass-ionomer restorative cement. *Dental Materials*, **1989**; 5(3): 201-208.
19. Food, Administration D. FDA guidelines for chemistry and technology requirements of indirect additive petitions. Washington, DC: FDA 1976.
20. **Ekren O, Özkömür A, Gürbüz C C.** Besin taklidi sıvıların üç farklı geçici kron materyalinin yüzey sertliğine etkisi. *EÜ Diş Hek Fak Derg*, **2014**; 35: 23-7.
21. **Yap A U, Mah M K, Lye C P, Loh P L.** Influence of dietary simulating solvents on the hardness of provisional restorative materials. *Dental Materials*, **2004**; 20(4): 370-376.
22. **Akova T, Ozkomur A, Aytutuldu N, Toroglu MS.** The effect of food simulants on porcelaincomposite bonding. *Dental Materials*, **2007**; 23:1369-1372.
23. **Yap A U, Tan S H L, Wee S S C, Lee C W, Lim E L C, Zeng K Y.** Chemical degradation of composite restoratives. *Journal of Oral Rehabilitation*, **2001**; 28(11): 1015-1021.
24. **Voltarelli F R, Santos-Daroz C B D, Alves M C, Cavalcanti A N, Marchi G M.** Effect of chemical degradation followed by toothbrushing on the surface roughness of restorative composites. *Journal of Applied Oral Science*, **2010**; 18: 585-590.
25. **Alharbi N, Osman R, Wismeijer D.** Effect of build direction on the mechanical properties of 3D printed complete coverage interim dental restorations. *The Journal of prosthetic dentistry*, **2016**; 155(6): 760-767.
26. **Tahayeri A, Morgan M, Fugolin A, Bompolaki D, Athirasala A, Pfeifer C.** 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dental Materials*, **2018**; 34(2): 192-200.
27. **Digholkar S, Madhav V N V, Palaskar J.** Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *The Journal of the Indian Prosthodontic Society*, **2016**; 16(4): 328.
28. **Emtiaz S, Tarnow D P.** Processed acrylic resin provisional restoration with lingual cast metal framework. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **1998**; 79(4): 484-488.
29. **Christensen GJ.** The fastest and best provisional restorations. *The Journal of the American Dental Association*, **2003**; 134(5): 637-639.
30. **Davidoff S R.** Heat-processed acrylic resin provisional restorations: an in-office procedure. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **1982**; 48(6): 673-675.
31. **Krug RS.** Temporary resin crowns and bridges. *Dental Clinics of North America*, **1975**; 19(2): 313-320.
32. **Diaz-Arnold AM, Dunne JT, Jones AH.** Microhardness of provisional fixed prosthodontic materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **1999**; 82:525-8.
33. **John P, Muthukumar B, Kumar M V.** Comparison of the effect of dentin bonding, dentin sealing agents on the microleakage of provisional crowns fabricated with direct and indirect technique-an invitro study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, **2015**; JCDR, 9(6), ZC54.
34. **Crispin BJ, Watson JF, Caputo AA.** The marginal accuracy of treatment restorations: a comparative analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **1980**; 44:283-90.

35. **Reeponmaha T, Angwaravong O, Angwarawong T.** Comparison of fracture strength after thermo-mechanical aging between provisional crowns made with CAD/CAM and conventional method. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, **2020**; 12(4), 218.
36. **Sari T, Usumez A, Strasser T, Şahinbas A, Rosentritt M.** Temporary materials: comparison of in vivo and in vitro performance. *Clinical Oral Investigations*, **2020**; 24(11): 4061-4068.
37. **Alghazzawi T F.** Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *Journal of prosthodontic research*, **2016**; 60(2): 72-84.
38. **van Noort R.** The future of dental devices is digital. *Dental Materials*, **2012**;28:3-12
39. **Heintze S, Zappini G, Rousson V.** Wear of ten dental restorative materials in five wear simulators—results of a round robin test. *Dental Materials*,**2005**; 21: 304-317.
40. **McKinney J E, Wu W.** Chemical softening and wear of dental composites. *Journal of dental research*, **1985**; 64(11): 1326-1331.
41. **Eweis AH, Adrian U, Yap J, Yahya NA.** Dynamic analysis of bulk-fill composites: Effect of food-simulating liquids. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*,**2017**; 74: 183-188.
42. **Tanthanuch S, Kukiattrakoon B, Eiam-O-Pas K, Pokawattana K, Pamanee N, Thongkamkaew W, Kochatung A.** Surface changes of various bulk-fill resin-based composites after exposure to different food-simulating liquid and beverages. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*,**2018**; 30: 126-135.
43. **Budavari S, O'Neil M J, Smith A, Heckelman P E.** *The merck index*. 15th., USA:Royal Society of Chemistry, **1989**.
44. Erişim:(<https://tr.warbletoncouncil.org/heptano-9424#menu-6>) 2022.Erişim tarihi: 06.04.2022.
45. Erişim: (<https://www.aplusgalvaniz.com/etil-alkol/#:~:text=Etanol%20renksiz%2C%20hafif%20ho%C5%9F%20kokulu,olarak%20da%20ifade%20edilmektedir...>) 2022. Erişim tarihi:06.04.2022.
46. Erişim:(<http://www.mikroteknik.com.tr/urunler/sitrik-asit-monohidrat/>) 2022. Erişim tarihi: 04.04.22.
47. **Haselton D R, Diaz-Arnold A M, Vargas M A.** Flexural strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **2002**; 87 (2): 225-228.
48. **Kerby R E, Knobloch L A, Sharples S, Peregrina A.** Mechanical properties of urethane and bis-acryl interim resin materials. *The Journal of prosthetic dentistry*, **2013**; 110(1): 21-28.
49. Erişim: (https://en.wikipedia.org/wiki/Flexural_modulus) 2021.Erişim tarihi: 08.12.21
50. **Balkenhol M, Mautner M C, Ferger P, Wöstmann B.** Mechanical properties of provisional crown and bridge materials: chemical-curing versus dual-curing systems. *Journal of dentistry*, **2008**; 36(1): 15-20.
51. **Lassila L V J, Nohrström T, Vallittu P K.** The influence of short-term water storage on the flexural properties of unidirectional glass fiber-reinforced composites. *Biomaterials*, **2002**; 23(10): 2221-2229.
52. **Teaford M F, Ross C F, Ungar P S, Vinyard C J, Laird M F.** Grit your teeth and chew your food: Implications of food material properties and abrasives for rates of dental microwear formation in

- laboratory *Sapajus apella* (Primates). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **2021**; 583: 110644.
53. **Yesilyurt C, Yoldas O, Altintas S H, Kusgoz A.** Effects of food-simulating liquids on the mechanical properties of a silorane-based dental composite. *Dental materials journal*, **2009**; 28(3): 362-367.
54. **Jainaen A, Palamara JE, Messer HH.** The effect of resin-based sealers on fracture properties of dentine. *Int Endod J.* **2009**; 42(2):136-43.
55. **Rayyan M M, Aboushelib M, Sayed N M, Ibrahim A, Jimbo R.** Comparison of interim restorations fabricated by CAD/CAM with those fabricated manually. *The Journal of prosthetic dentistry*, **2015**; 114(3): 414-419.
56. Erişim:(<https://dental.formlabs.com/indications/temporary-crowns-and-bridges-guide/>) 2022. Erişim tarihi: 20.01.22
57. **Soderholm K J.** Leaking of fillers in dental composites. *Journal of Dental Research*, **1983**; 62(2): 126-130.
58. **Yavuzylmaz H.** *Diş Morfolojisi-Fizyolojisi ve Oklüzyon*. 5.Baskı, Ankara: Gazi Üniversitesi İletişim Fakóltesi Basımevi, **2007**:637-650.

ÖZGEÇMİŞ

