T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE BASILAN REZİN/POLİMER BAZLI İMPLANT CERRAHİSİ REHBERLERİNİN FARKLI STERİLİZASYON YÖNTEMLERİ SONRASI TERMAL VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU: İN-VİTRO ÇALIŞMA

Sundus HEKİMOĞLU
ORCID : 0000-0003-3614-2409

DENTAL BİYOMALZEMELER ANABİLİM DALI
Dental Biyomalzemeler Yüksek Lisans Programı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İZMİR
MAYIS (2025)

TEZ KODU: DEU.HSI.MSc 2021970176

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE BASILAN REZİN/POLİMER BAZLI İMPLANT CERRAHİSİ REHBERLERİNİN FARKLI STERİLİZASYON YÖNTEMLERİ SONRASI TERMAL VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU: İN-VİTRO ÇALIŞMA

Sundus HEKİMOĞLU
ORCID :0000-0003-3614-2409

DENTAL BİYOMALZEMELER ANABİLİM DALI
Dental Biyomalzemeler Yüksek Lisans Programı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aliye AKCALI
ORCID : 0000-0001-9811-0627

İZMİR
MAYIS (2025)

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

ETİK BEYANI

Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğum "Üç boyutlu yazıcı ile basılan rezin/polimer bazlı implant cerrahisi rehberlerinin farklı sterilizasyon yöntemleri sonrası termal ve mekanik karakterizasyonu: bir in-vitro çalışma" başlıklı Yüksek Lisans tezim içinde elde ettiğim verileri, bilgileri, belgeleri akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tezimde yararlandığım eserlere bilimsel kurallara uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin özgün olduğunu, tezimin çalışma ve yazımında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza:

Sundus HEKİMOĞLU
08.05.2025

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını tamamlarken, bana rehberlik eden, akademik gelişimime büyük katkılar sağlayan ve her aşamada desteklerini esirgemeyen değerli danışmanım **Prof. Dr. Aliye Akcalı'ya** en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Bilgisi, deneyimi ve yönlendirmeleriyle sadece bu çalışmaya değil, bilimsel bakış açıma da büyük değer kattı. Akademik yolculuğum boyunca bana ilham veren, bilimsel düşüncenin disiplin ve azimle nasıl harmanlanması gerektiğini gösteren, sabrı ve desteğiyle her zaman yolumu aydınlatan bir hoca olduğu için kendisine gönülden minnettarım.

Çalışmam kapsamında kullanılan cerrahi rehber örneklerinin üç boyutlu yazıcı ile titizlikle üretilmesini sağlayan ve süreç boyunca desteğini esirgemeyen **Doç. Dr. Önder Gürlek**'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel süreçteki katkılarından dolayı İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nden **Prof. Dr. Ümit Hakan Yıldız**'a; laboratuvar uygulamalarında destek olan yüksek lisans öğrencileri **Yaren Karadağ** ve **Arzu İrem Çelik**'e teşekkür ederim. Ayrıca Dokuz Eylül Üniversitesi'nden araştırma görevlisi **Ezgi Yenidoğan**'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında, istatistiksel analiz sürecinde bilgi ve desteğini büyük bir özveriyle paylaşan, yönlendirmeleriyle çalışmanın bilimsel niteliğini güçlendiren değerli hocam **Prof. Dr. Hülya Ellidokuz**'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın en büyük şansı ve en kıymetli destekçim, her koşulda yanımda olan, sevgisiyle bana güç veren, sabrı ve anlayışıyla bu süreci benim için daha kolay hale getiren kıymetli eşim **Uzm. Dr. Hifzullah Hekimoğlu'na** sonsuz teşekkür ederim. Hayallerime giden yolda hiçbir zaman yalnız hissettirmediği, en zor anlarda bile yüreğime umut serptiği için ona minnettarım.

Varlıklarıyla bana her zaman güven ve cesaret veren, dualarıyla yolumu aydınlatan **aileme** sonsuz minnettarım. Başta sevgisiyle beni her zaman koruyup kollayan **ablam** ve desteğiyle yanımda olan **abim** olmak üzere, bana her daim güç veren tüm aile üyelerime yürekten teşekkür ederim.

En özel teşekkürü, hayatıma bambaşka bir anlam katan, sabrı ve sevgisiyle bu sürecin en küçük ama en büyük kahramanı olan sevgili oğlum **Cemal Hekimoğlu'na** sunuyorum. Onun gülüşü, varlığı ve sonsuz sevgisi, en yorgun anlarımda bile bana umut ve güç verdi.

Dt. Sundus HEKİMOĞLU

İÇİNDEKİLER

Tablolar Dizini ..... **i**

Şekiller Dizini ..... **ii**

Grafikler Dizini ..... **iii**

Kısaltmalar Dizini ..... **iv**

ÖZET ..... **v**

ABSTRACT ..... **vi**

1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**

2. GENEL BİLGİLER **3**

2.1. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi ve Cerrahi Rehberlerin Gelişimi 3

2.1.1. 3B Yazıcıların Ortaya Çıkışı ve Yaygınlaşması 3

2.1.2. 3B Yazıcıların Klinik Uygulamaları ve Yararları 3

2.1.3. Cerrahi Rehberlerin Tarihcesi Gelişimi ve Dijitalleşme Süreci. 4

2.1.4. Cerrahi Rehberlerin Türleri, Yapıları ve Fonksiyonları 4

2.1.5. Hatalı Rehber Üretiminin Klinik Riskleri ve Komplikasyonlar 5

2.2. Sterilizasyon Yöntemleri 5

2.3. 3B Yazıcılarla Üretilen Cerrahi Rehberler Üzerindeki Etkiler 6

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER **9**

3.1. Araştırmanın Tipi 9

3.2. Araştırmanın Yeri, Zamanı ve Planı 9

3.3. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi 9

3.3.1. Dahil Edilme Kriterleri 10

3.3.2. Dışlama Kriterleri 11

3.4. Çalışma Materyali 11
3.5. Araştırmanın Değişkenleri 12
3.6. Örneğin Tasarımı ve Sayısı 13
3.7. Kullanılan Malzeme 14
3.8. Yazıcı Özellikleri 15
3.9. Kürleme Süreci 16
3.10. Sterilizasyon Prosedürü 17
3.11. Mekanik Dayanım Testleri 18
3.12. Verilerin Değerlendirilmesi 19
3.13. Araştırmanın Sınırlılıkları 19
3.14. Etik Kurul Onayı 20
4. BULGULAR 21
4.1. Elastikiyet Katsayısı (Young Modulus) Analizi 21
4.2. Maksimum Basma Dayanımı 26
4.3. Boyutsal Stabilite Değerlendirmesi 35
4.4. Yüzey Özellikleri 36
4.5. Yapısal Bütünlük ve Deformasyon Gözlemleri 36
4.6. Test Güvenirliği ve Ölçüm Koşulları 37
4.7. Basma Dayanımı ve Young Modulus Değerlendirmesi 38
TARTIŞMA 42
5.1. Mekanik Dayanım ve Elastikiyet Değişimi 42
5.2. Boyutsal Stabilite ve Ölçüsel Uyumsuzluk Riski 43
5.3. Sterilizasyon Sıcaklığına Duyarlılık ve Klinik Öneriler 44
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 46
6.1. Klinik Öneriler 46
6.2. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler 47

7. KAYNAKLAR 48

8. EKLER 50

Ek-1 Etik Kurul Kararı 50

Ek-2: ARBİS Özgeçmiş 51

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

- **Tablo** 1: 6 mm *Young Modulus* Değerleri (Pa/%) 21
- **Tablo 2:** 6 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri 22
- **Tablo 3:** 5 mm *Young Modulus* Değerleri (Pa/%) 22
- **Tablo 4:** 5 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri 23
- **Tablo 5:** 4 mm *Young Modulus* Değerleri (Pa/%) 23
- **Tablo 6:** 4 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri 24
- **Tablo 7:** *Young Modulus* t-Testi Sonuçları (6 mm) 24
- **Tablo 8:** *Young Modulus* t-Testi Sonuçları (5 mm) 25
- **Tablo 9:** *Young Modulus* t-Testi Sonuçları (4 mm) 25
- **Tablo 10:** 6 mm Basma Dayanımı Değerleri (Pa) 26
- **Tablo 11:** 6 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri 26
- **Tablo 12:** 5 mm Basma Dayanımı Değerleri (Pa) 27
- **Tablo 13:** 5 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri 28
- **Tablo 14:** 4 mm Basma Dayanımı Değerleri (Pa) 29
- **Tablo 15:** 4 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri 29
- **Tablo 16:** Basma Dayanımı t-Testi Sonuçları (6 mm) 30
- **Tablo 17:** Basma Dayanımı t-Testi Sonuçları (5 mm) 30
- **Tablo 18:** Basma Dayanımı t-Testi Sonuçları (4 mm) 30
- **Tablo 19:** *Young Modulus* ve Basma Dayanımı Korelasyonları (6 mm) 32
- **Tablo 20:** *Young Modulus* ve Basma Dayanımı Korelasyonları (5 mm) 32
- **Tablo 21:** *Young Modulus* ve Basma Dayanımı Korelasyonları (4 mm) 32

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1: Asiga Composer yazılımında rehber örneklerinin yerleşimi – 4 mm, 5 mm ve 6 mm çaplı silindirik örneklerin baskı öncesi dijital düzenlemesi 13

Şekil 2: Basınçlı buharla sterilizasyonu öncesi hazırlanmış ve UV ile kürlenmiş cerrahi rehberlerin rezin örnekleri 14

Şekil 3: *Arma Surgical Guide* Reçinesi (Kaynak: armaresin.com) 15

Şekil 4: *Asiga Max UV 3B yazıcı* – cerrahi rehberlerin üretiminde kullanılan DLP tabanlı yazıcı..... 16

Şekil 5: *ArmaResin PowerCure* cihazı: 3B baskı reçine örneklerinin fotopolimerizasyon sonrası son kürleme işlemi için kullanılan UV ışık cihazı. 17

Şekil 6: *Nüve NC 40M* otoklav cihazı: 3B baskı reçine örneklerinin 121°C ve 134°C'de basınçlı buharla sterilizasyonu için kullanılan tam otomatik otoklav sistemi. 18

Şekil 7: *TA.XTplusC* Texture Analyzer cihazı: 3B baskı reçine örneklerinin elastikiyet katsayısı ve maksimum basma dayanımı analizlerinde kullanılan hassas mekanik test cihazı. 19

GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa No

- **Grafik 1:** *Young Modulus* karşılaştırmaları 25
- **Grafik 2:** Maksimum Basma Dayanımı karşılaştırmaları..... 31
- **Grafik 3:** *Young Modulus* ile Basma Dayanımı arasındaki korelasyon 35
- **Grafik 4:** 6 mm örneğine ait stress-strain eğrisi 38
- **Grafik 5:** 5 mm örneğine ait stress-strain eğrisi 39
- **Grafik 6:** 4 mm örneğine ait stress-strain eğrisi 40

KISALTMALAR

SLA	**Stereolithography**
DLP	**Digital Light Processing**
LCD	**Liquid Crystal Display**
HPO	**Hidrojen Peroksit**

ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE BASILAN REZİN/POLİMER BAZLI İMPLANT CERRAHİSİ REHBERLERİNİN FARKLI STERİLİZASYON YÖNTEMLERİ SONRASI TERMAL VE MEKANİK KARAKTERİZASYONU: İN-VİTRO ÇALIŞMA

Yüksek Lisans Tezi

Sundus HEKİMOĞLU

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Dental Biyomalzemeler Ana Bilim Dalı

ÖZET

Son yıllarda, üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi, diş hekimliği alanında özellikle kişiye özgü implant cerrahisi rehberlerinin üretiminde önemli bir yer kazanmıştır. Yaygın olarak kullanılan malzemeler arasında yer alan ışıkla sertleşen reçineler, boyutsal kararlılıkları, baskı kolaylıkları ve biyouyumlulukları sayesinde öne çıkmaktadır. Ancak bu malzemeler, yüksek sıcaklık ve nem gibi çevresel etkilere karşı hassas olup, sterilizasyon sonrasında mekanik ve termal özelliklerinde değişiklikler yaşanabilir. Bu in-vitro araştırmanın amacı, basınçlı buharla sterilizasyonun iki farklı sıcaklık-zaman kombinasyonunda (121°C'de 20 dakika ve 134°C'de 20 dakika) 3B baskı ile üretilen reçine esaslı implant cerrahisi rehberlerinin boyutsal, termal ve mekanik davranışları üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Toplamda 54 örnek, her bir sterilizasyon grubuna eşit şekilde ve farklı çaplara (4 mm, 5 mm, 6 mm) göre ayrılarak Asiga MAX UV 3B yazıcısı ile Arma Resin Surgical Guide reçinesi kullanılarak üretilmiştir. Kürleme işleminin ardından örnekler sterilizasyon süreçlerine tabi tutulmuş, ardından TA.XTPlusC Texture Analyzer cihazı ile yapılan basma testleriyle mekanik olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, boyutsal sapmalar ve potansiyel deformasyonlar da belgelenmiş ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. 121°C'de uygulanan basınçlı buharla sterilizasyonun cerrahi rehberlerde sınırlı düzeyde yapısal değişikliklere yol açtığını; buna karşın 134°C'de belirgin boyutsal ve mekanik farklılıkların meydana geldiğini göstermiştir. Elde edilen bulgular, bu tür reçinelerin sterilizasyon sonrası klinik kullanıma uygunluğu konusunda yapısal bütünlük ve performans açısından önemli sonuçlar sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, rezin/polimer bazlı cerrahi rehberler, sterilizasyon yöntemleri, basınçlı buharla sterilizasyonu
Tezin sayfa adedi: 66
Danışman: Prof. Dr. Aliye AKCALI

THERMAL AND MECHANICAL CHARACTERİZATION OF 3D PRINTED RESIN/POLYMER-BASED IMPLANT SURGICAL GUIDES AFTER DIFFERENT STERILIZATION METHODS: IN-VITRO STUDY

Master's Thesis

Sundus HEKİMOĞLU

DOKUZ EYLUL UNIVERSITY INSTITUTE OF HEALTH SCIENCES

Department of Dental Biomaterials

ABSTRACT

In recent years, three-dimensional (3D) printing technology has gained significant importance in the field of dentistry, particularly in the production of patient-specific implant surgical guides. Among the commonly used materials, light-curable resins stand out due to their dimensional stability, ease of printing, and biocompatibility. However, these materials are sensitive to environmental factors such as high temperature and humidity, which may lead to changes in their mechanical and thermal properties after sterilization. The aim of this in-vitro study is to evaluate the effects of steam sterilization at two different temperature-time combinations (121°C for 20 minutes and 134°C for 20 minutes) on the dimensional, thermal, and mechanical behavior of resin-based implant surgical guides produced by 3D printing. A total of 54 samples were fabricated using the Asiga MAX UV 3D printer with Arma Resin Surgical Guide material, equally distributed into sterilization groups and categorized by diameter (4 mm, 5 mm, and 6 mm). After curing, the samples underwent sterilization procedures and were then subjected to compression tests using the TA.XTPlusC Texture Analyzer to assess their mechanical performance. Dimensional deviations and potential deformations were also documented and comparatively analyzed. The results showed that steam sterilization at 121°C caused limited structural changes in the surgical guides, whereas 134°C led to significant dimensional and mechanical alterations. These findings provide valuable insights regarding the structural integrity and clinical suitability of such resins after sterilization.

Keywords: 3D printing technology, resin/polymer-based surgical guides, sterilization methods, steam sterilization
Page number: 66
Advisor: Prof. Dr. Aliye AKCALI

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Gelişen dijital teknolojilerle birlikte diş hekimliği alanında tanı, tedavi planlaması ve uygulama süreçlerinde önemli değişiklikler yaşanmış; geleneksel yöntemlerin yerini bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve üretim (CAM) teknikleri almaya başlamıştır. Bu dijital dönüşüm sürecinde, özellikle implant cerrahisinde kullanılan yönlendirilmiş cerrahi rehberlerin üretimi, üç boyutlu yazıcılar sayesinde hem hız hem de kişiselleştirme açısından önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Artık hastaya özel anatomik yapılara göre uyarlanmış cerrahi rehberler, dijital planlama doğrultusunda milimetrik hassasiyetle üretilebilmekte ve günlük klinik pratiğinde kullanılabilmektedir.

Cerrahi rehberler, implantın önceden belirlenmiş pozisyon, açı ve derinlikte yerleştirilmesini sağlamak amacıyla tasarlanan fiziksel şablonlardır. Bu rehberler sayesinde hekim, operasyon sırasında yönlendirilmiş bir şekilde ilerleyerek olası pozisyonlama hatalarının önüne geçebilir. Özellikle estetik bölgelerde doğru implant yerleşimi, sadece fonksiyonel başarıyı değil, aynı zamanda estetik bütünlüğü de sağlar. Bu tür yönlendirme sistemleri, kemik hacminin sınırlı olduğu veya anatomik yapıların riskli bölgelerde bulunduğu olgularda komplikasyon riskini minimuma indirir.

Söz konusu rehberlerin üretiminde sıklıkla tercih edilen yöntem, fotopolimer bazlı malzemelerin DLP (Digital Light Processing) teknolojisiyle katman katman polimerize edilerek şekillendirilmesidir. DLP teknolojisi, ışık kaynağı ile seçici olarak sertleştirilen sıvı reçineyi, belirlenen geometriye göre sertleştirerek yüksek çözünürlüklü üç boyutlu nesneler elde etmeye olanak sağlar. Bu yöntem, yüksek doğruluk ve yüzey kalitesi, düşük üretim süresi ve materyal israfının azalması gibi avantajlar sunar.

Ancak cerrahi rehberlerin klinik kullanım öncesinde en önemli aşamalarından biri sterilizasyondur. Diş hekimliği pratiğinde en yaygın kullanılan sterilizasyon yöntemi, yüksek basınç ve sıcaklık altında basınçlı buharla yapılan otoklav sterilizasyonudur. Bu yöntem her ne kadar mikrobiyal kontaminasyon riskini ortadan kaldırmak açısından etkili olsa da, özellikle reçine bazlı malzemelerde ısıya ve neme bağlı olarak

boyutsal değişimlere, elastikiyet kaybına ve yapısal bütünlükte bozulmalara neden olabileceği bilinmektedir.

Bir polimerin basınçlı buharla sterilizasyonuna verdiği tepki, onun termoplastik ya da termoset yapıda olmasına, camsı geçiş sıcaklığına, moleküler zincir yapısına, kürleme oranına ve çapraz bağlanma derecesine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Özellikle camsı geçiş sıcaklığına yaklaşan sterilizasyon koşullarında, polimer zincirlerinde gevşeme, mikroskobik deformasyon ve kalıcı boyutsal sapmalar ortaya çıkabilir. Bu değişiklikler, cerrahi rehberin implant kılavuzluğu fonksiyonunu doğrudan etkileyebilir. Bu nedenle sterilizasyona dayanıklılık, cerrahi rehber materyali seçiminde kritik bir parametredir.

Çalışmada kullanılan materyal olan Arma Surgical Guide reçinesi, DLP teknolojisine uygun, medikal sınıf bir fotopolimerdir. Bu materyal, ışıkla polimerize olabilen, biyouyumlu, mekanik dayanımı yüksek ve basınçlı buharla sterilizasyonuna karşı dirençli olduğu belirtilen bir yapıdadır. Reçinenin üretici firma tarafından önerilen post-kürleme prosedürü, malzemenin sertliğini artırmak ve polimerizasyonun tamamlanmasını sağlamak amacıyla özel bir UV kürleme cihazı olan *PowerCure* ile gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda, çalışmanın temel amacı, üç boyutlu yazıcı ile basılan cerrahi rehberlerin reçinesinden üretilen implant cerrahisi rehberlerinin yalnızca basınçlı buharla sterilizasyon sonrası gösterdiği yapısal değişimleri değerlendirmektir. Bu değerlendirme, farklı çaplarda hazırlanan örneklerin (4 mm, 5 mm ve 6 mm) iki farklı otoklav programına (121°C – 20 dk ve 134°C – 20 dk) maruz bırakılması sonrası mekanik testlere ve boyutsal incelemelere tabi tutulmasıyla yapılacaktır. Elde edilen bulgular, klinik öncesi malzeme değerlendirme sürecine katkı sağlayacak ve benzer uygulamalarda kullanılacak reçinelerin seçiminde rehber niteliği taşıyacaktır.

.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi ve Cerrahi Rehberlerin Gelişimi

2.1.1. 3B Yazıcıların Ortaya Çıkışı ve Yaygınlaşması

Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin geçmişi, 1986 yılında Charles Hull tarafından geliştirilen stereolitografi (SLA) sistemine dayanmaktadır (Hull, 1986). Hull'un bu yeniliği, 3B Systems adlı şirketin kuruluşuna ve ticari üç boyutlu yazıcıların ortaya çıkmasına öncülük etmiştir. Başlangıçta endüstriyel prototipleme amacıyla kullanılan bu teknoloji, zamanla medikal alana adapte edilmiş ve özellikle kişiye özel implantlar, protezler ve cerrahi modellerin üretiminde önemli bir yere sahip olmuştur.

Sonraki yıllarda, CAD/CAM teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte 3B yazıcılar tıpta anatomik modelleme, cerrahi simülasyonlar ve hasta özelinde cihaz üretimi gibi alanlarda etkin biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönüşüm, cerrahi müdahalelerin doğruluğunu artırmak, ameliyat sürelerini azaltmak ve iyileşme süreçlerini hızlandırmak adına büyük katkılar sağlamıştır (Rengier ve ark. 2010).

2.1.2. 3B Yazıcıların Klinik Uygulamaları ve Yararları

Tıpta üç boyutlu yazıcıların uygulama alanları geniş bir yelpazeye yayılmıştır. Özellikle ortopedik cerrahi, kraniyomaksillofasiyal rekonstrüksiyon, nöroşirürji ve diş hekimliği gibi disiplinlerde, hasta anatomisine özel çözümler üretme imkânı sunar. Bu sayede, klinisyenler hastaya özgü implantlar, osteotomi rehberleri ve cerrahi planlama modelleri oluşturarak daha güvenli ve etkili müdahalelerde bulunabilmektedir (Rengier ve ark. 2010).

En yaygın kullanılan üç ana 3B baskı teknolojisi şunlardır:

SLA (Stereolithography): Yüksek çözünürlük sunar, ancak bazı fotopolimer reçineler termal işleme karşı hassas olabilir.

DLP (Digital Light Processing): SLA'ya göre daha rijit yapılar üretir ve üretim süresi daha kısadır.

LCD (Liquid Crystal Display): Ekonomik bir alternatiftir fakat çözünürlük ve stabilite açısından sınırlamalar barındırabilir.

Materyalin dayanımı, sadece kullanılan teknolojiye değil, aynı zamanda post-kürleme süresi ve sterilizasyon koşullarına da bağlıdır. Özellikle fotopolimer bazlı reçinelerde, basınçlı buharla sterilizasyonu sonrası elastikiyet kaybı ve mikroyapısal bozulmalar oluşabileceği gösterilmiştir (Yüceer ve ark. 2025).

2.1.3. Cerrahi Rehberlerin Tarihçesi ve Dijitalleşme Süreci

Cerrahi rehberlerin gelişmesi, 1990'lı yıllarda sabit metal ve akrilik yapılarla başlamıştır. Bu dönemde üretilen rehberler, manuel olarak hazırlanmakta ve hasta anatomisine birebir uyum sağlayamamaktaydı. Sınırlı doğruluk ve zayıf adaptasyon sebebiyle, implant yerleşiminde komplikasyon riski artmaktaydı.

2000'li yıllarda bilgisayarlı tomografi (CBCT) görüntüleme sistemlerinin ve CAD yazılımlarının klinik entegrasyonu ile dijital planlamalar yapılabilir hâle gelmiş, üç boyutlu yazıcılar sayesinde bu planlar fiziksel rehberlere dönüştürülebilmiştir. Bu sayede, cerrahi uygulamalarda hem doğruluk hem de güvenlik seviyesi belirgin şekilde yükselmiştir (Rengier ve ark. 2010).

2.1.4. Cerrahi Rehberlerin Türleri, Yapıları ve Fonksiyonları

Cerrahi rehberler, implantların kemik içerisine doğru açıda, derinlikte ve pozisyonda yerleştirilmesini sağlayan yönlendirici yapılardır. Destek aldığı anatomik yapıya göre üçe ayrılır:

Diş destekli rehberler: En yüksek stabiliteyi sağlar.

Mukoza destekli rehberler: Özellikle tam dişsiz vakalarda tercih edilir.

Kemik destekli rehberler: Açık cerrahi gerektirir ve karmaşık vakalarda kullanılır.

Bu rehberler, matkap yönlendirme, pin yerleşimi, kemik seviyeleme ve yumuşak doku koruma gibi işlevlerle klinik başarıyı doğrudan etkiler. Fakat üretim sürecinde meydana gelebilecek en küçük hata bile, implantın yerleştirme doğruluğunu ciddi şekilde etkileyebilir. Bu nedenle baskı çözünürlüğü, reçine kalitesi ve sterilizasyon etkisi titizlikle değerlendirilmelidir.

2.1.5. Hatalı Rehber Üretiminin Klinik Riskleri ve Komplikasyonlar

Afshari ve arkadaşlarının (2022) gerçekleştirdiği karşılaştırmalı bir çalışmada, rehber destekli implant uygulamalarının rehbersiz *(free-hand)* tekniğine göre daha yüksek doğruluk sağladığı ve komplikasyon oranını azalttığı gösterilmiştir. Özellikle anterior estetik bölgede ve sınırlı kemik hacmine sahip olgularda, cerrahi rehber kullanımı hasta güvenliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

Ayrıca, post-kürleme süresi kısa tutulan veya sterilizasyon uyumu düşük olan materyallerde yapısal bozulmalar görülebilir. Yüceer ve arkadaşları (2025) tarafından yapılan çalışmada, basınçlı buharla sterilizasyonu sonrası bazı reçinelerde elastikiyet kaybı ve yüzey çatlakları oluştuğu, bunun da uzun vadede implantın başarısını azaltabileceğini ifade edilmiştir

2.2. Sterilizasyon Yöntemleri

Cerrahi rehberlerin klinik uygulamalarda güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için sterilizasyon süreci büyük önem taşımaktadır. Uygulanan sterilizasyon yöntemi, kullanılan malzemenin fiziksel, mekanik ve boyutsal özelliklerini doğrudan etkileyebileceğinden, uygun yöntemin seçilmesi klinik başarının sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada sterilizasyon işlemi olarak basınçlı buharla sterilizasyon yöntemi uygulanmıştır. Otoklav sistemleriyle gerçekleştirilen bu yöntem, yüksek sıcaklık ve basınç etkisiyle mikroorganizmaların etkin bir şekilde ortadan kaldırılmasını sağlar. Aynı zamanda 3B yazıcılarla üretilen polimer bazlı cerrahi rehberlerde yaygın olarak kullanılan, erişilebilir ve hızlı bir yöntemdir.

Basınçlı buharla sterilizasyonu, uygulandığı sıcaklık ve sürelere bağlı olarak polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı (Tg) üzerinde etkiler oluşturabilir. Bu durum, materyalin iç yapısında mikroskobik bozulmalara, çapraz bağların çözülmesine ve boyutsal sapmalara yol açabilir. Özellikle SLA teknolojisi ile üretilmiş rehberlerde basınçlı buharla sterilizasyonu, boyutsal doğruluğunu %1'e kadar etkileyebilir (Pop ve ark. 2022; Sharma ve ark. 2020; Török ve ark. 2020). Literatürde bildirildiğine göre, 121°C ve 134°C gibi sıcaklık protokolleri altında, reçinenin elastikiyetinin ve dayanıklılığının değiştiği gözlemlenmiştir (Sharma ve ark. 2020; Pop ve ark. 2022; Burkhardt ve ark. 2024).

Sterilizasyonun materyal üzerindeki bu etkileri, kullanılan reçinenin özelliklerine, yapısal geometrisine, üretim yöntemine ve post-kürleme parametrelerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle, cerrahi rehber üretiminde kullanılacak sterilizasyon protokolünün belirlenmesi aşamasında bu faktörler titizlikle değerlendirilmelidir.

2.3. 3B Yazıcılarla Üretilen Cerrahi Rehberler Üzerindeki Etkiler

Üç boyutlu yazıcılar ile üretilen cerrahi rehberler, implant cerrahisinde yüksek hassasiyet ve kişiselleştirilmiş çözüm imkânı sunan modern araçlardır. Bu rehberler, operasyon öncesi dijital planlamaya uygun olarak hazırlanır ve klinik başarıyı doğrudan etkileyen yönlendirme işlevi görür. Ancak bu yapıların klinik güvenilirliği yalnızca üretim teknolojisine değil, aynı zamanda sterilizasyon sonrası yapısal ve mekanik özelliklerine de bağlıdır.

Literatürde bu konuda son yıllarda artan sayıda araştırma, özellikle basınçlı buharla sterilizasyonunun reçine bazlı materyaller üzerindeki etkilerini incelemiştir. Fuentes ve arkadaşları (2022), 3B yazıcı ile üretilen cerrahi rehberlerin düşük maliyetli, hızlı üretilebilir ve yüksek geometrik doğruluğa sahip olduğunu, ancak bu rehberlerin sterilizasyon süreçlerine karşı gösterdiği tepkilerin dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Yazarlar, yüksek sıcaklık ve nem kombinasyonunun bazı polimerlerin camsı geçiş sıcaklığına ulaşmasına neden olarak boyutsal sapmalara ve rijitlik kaybına yol açabileceğini belirtmişlerdir.

Lan ve arkadaşları (2024) tarafından yürütülen klinik bir çalışmada ise, reçine bazlı cerrahi rehberlerin farklı sterilizasyon protokolleri sonrası ölçüsel doğruluklarının etkilendiği, özellikle küçük hacimli rehberlerde basınçlı buharla sterilizasyonu sonrasında deformasyon riskinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu durum, implant yerleşiminde hata payını artırarak klinik başarısızlıklara neden olabileceği için dikkate değerdir.

Valls-Esteve ve arkadaşları (2023), biyouyumlu polimerlerin implantoloji ve cerrahi planlamadaki önemine dikkat çekmiş ve kullanılan 3B yazıcı teknolojisinin (SLA, DLP, LCD) materyalin nihai mekanik dayanımı ve sterilizasyon sonrası davranışı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır. Pop ve arkadaşları (2022) ise, DLP teknolojisiyle üretilen rehberlerin SLA'ya göre basınçlı buharla sterilizasyonuna daha dirençli olduğunu ve bu farkın, DLP sistemlerinde daha yoğun ışıkla kürleme sağlanmasından kaynaklandığını bildirmiştir.

Sharma ve ekibi (2020), biyouyumlu fotopolimer reçinelerin otoklav sterilizasyonuna verdiği tepkileri karşılaştırmalı olarak analiz etmiş ve reçine içeriğindeki dimetakrilat monomerler, fotoinitiatörler ve dolgu partiküllerinin camsı geçiş sıcaklığı ve termal stabilite üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Bu faktörler, boyutsal stabiliteyi ve mekanik dayanımı doğrudan etkilemektedir.

Török ve arkadaşları (2020), rezin bazlı cerrahi rehberlerde sterilizasyon sonrası yüzey pürüzlülüğünde artış, renk değişimi ve mekanik dayanımda azalma olduğunu raporlamış; özellikle 134°C'lik sterilizasyon protokolünün daha agresif sonuçlara yol açtığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, Yazigi ve arkadaşları (2023) çalışmalarında, 3B baskılı rehberlerin 134°C basınçlı buharla sterilizasyonuna maruz kaldığında implant uyumunun yaklaşık %10 oranında azaldığını göstermiştir.

Labakoum ve ekibi (2024), LCD teknolojisiyle üretilen rehberlerin yüksek sıcaklıkta sterilizasyon sonrası mikroskobik deformasyonlar ve yüzey çatlakları geliştirdiğini

belirtmiştir. Bu deformasyonlar, rehberin implant yuvası ile olan uyumunu olumsuz etkileyebilir.

Pop ve arkadaşları (2022), DLP teknolojisi ile üretilmiş cerrahi rehberlerin 134°C basınçlı buharla sterilizasyonuna tabi tutulması sonucu *Young Modulus* değerlerinde belirgin düşüşler gözlemlemişlerdir. Bu durum, polimer zincirler arası hareketliliğin artmasına bağlanmıştır. Aynı çalışmada yüzey sertliğinde artış olsa da, elastik deformasyon kabiliyetinin azaldığı ve kırılganlığın arttığı raporlanmıştır.

Jin ve arkadaşları (2019), fotopolimer malzemelerin sterilizasyon sonrası yapısal bütünlüğünün yalnızca sıcaklık değil, nem ve basınç gibi faktörlerden de etkilendiğini ifade etmiş ve kısa süreli sterilizasyon döngülerinin bile mekanik performansı olumsuz etkileyebileceğini ileri sürmüşlerdir.

Son olarak, Roland Told ve ekibi (2022), düşük Tg değerine sahip fotopolimer reçinelerin basınçlı buharla sterilizasyonu sonrası bozulma riskinin yüksek olduğunu ve bu durumun implant cerrahisinde kullanılan rehberlerin fonksiyonel bütünlüğünü tehdit edebileceğini bildirmiştir.

Güncel bilgilerin ışığında; sterilizasyon sonrası oluşabilecek mikroyapısal ve boyutsal değişikliklerin yalnızca malzeme seçimiyle değil, aynı zamanda üretim teknolojisi ve sterilizasyon parametreleriyle de doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, yürütülen bu tez çalışması, DLP teknolojisiyle üretilen ve Arma Surgical Guide ticari reçinesi kullanılan cerrahi rehberlerin, 121°C ve 134°C basınçlı buharla sterilizasyonuna karşı gösterdiği performansı çok yönlü olarak analiz edilmesi amaçlamaktadır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Tipi

Bu çalışma, deneysel ve kantitatif bir araştırma olup, in-vitro (laboratuvar ortamında) koşullarda gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmiş rezin/polimer bazlı implant cerrahisi rehberlerinin, farklı buharlı sterilizasyon protokollerine (121°C – 20 dakika ve 134°C – 20 dakika) maruz bırakılmaları sonrası mekanik ve termal özelliklerinde meydana gelen değişimler sistematik olarak incelenmiştir.

Araştırma modeli olarak karşılaştırmalı deneysel tasarım tercih edilmiş ve her bir sterilizasyon koşuluna tabi tutulan örneklerin, kontrol grubu ile istatistiksel olarak karşılaştırılması sağlanmıştır. Tüm ölçümler standardize laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiş olup, elde edilen veriler istatistiksel analizlerle desteklenmiştir. Bu yönüyle çalışma, klinik öncesi malzeme değerlendirmelerine ışık tutmayı amaçlayan nitelikli bir deneysel araştırmadır.

3.2. Araştırmanın Yeri, Zamanı ve Planı

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı Dental Biyomalzemeler Anabilim Dalı bünyesinde yürütülmüştür. Deneysel analizler ve mekanik testler, sterilizasyon işlemleri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş.

Araştırma süreci 2024 yılı Kasım ayında başlamış ve 2025 yılı Mayıs ayında tamamlanmıştır.

Araştırmanın tüm aşamaları kontrollü ve tekrarlanabilir biçimde gerçekleştirilmiş; örnekler arasındaki varyasyonun minimum düzeyde kalmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca, her aşamada aynı ortam sıcaklığı, ekipman ve prosedürler kullanılarak verilerin güvenilirliği artırılmıştır.

3.3. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Bu araştırmanın evrenini, üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilmiş rezin/polimer bazlı implant cerrahisi rehberleri oluşturmaktadır. Çalışmanın örneklemini ise, DLP teknolojisi ile *Asiga MAX UV* 3B yazıcısı kullanılarak *Arma*

Surgical Guide reçinesi ile üretilmiş ve farklı çaplarda (4 mm, 5 mm, 6 mm) hazırlanan toplam 54 adet silindirik cerrahi rehber örneği teşkil etmektedir.

Her çap grubunda 18 örnek olacak şekilde; 6'sı kontrol grubu, 6'sı 121°C'de 20 dakika basınçlı buharla sterilizasyon uygulanmış grup, ve 6'sı ise 134°C'de 20 dakika sterilize edilmiş grup olarak eşit şekilde dağıtılmıştır. Bu yapılandırma, hem farklı sıcaklıkların hem de geometrik varyasyonların etkisini karşılaştırmalı olarak analiz etmeyi mümkün kılmıştır.

Örnek seçiminde homojenlik ilkesine dikkat edilmiş, tüm örnekler aynı reçine havuzundan, aynı yazıcıda ve aynı ortam koşullarında üretilmiştir. Böylece değişkenler arası etkileşimleri minimize ederek, elde edilen bulguların geçerliliği ve güvenilirliği artırılmıştır. Örneklem sayısının belirlenmesinde, literatürde benzer çalışmalarda kullanılan örneklem büyüklükleri dikkate alınmış ve istatistiksel analizler için yeterli güçte bir örneklem hacmi sağlanmıştır.

3.3.1. Dahil Edilme Kriterleri

Bu çalışmaya dahil edilen örneklerde aşağıdaki kriterler esas alınmıştır:

- Üretimde yalnızca Arma Surgical Guide ticari reçinesi kullanılmış olması
- Tüm örneklerin aynı üç boyutlu yazıcı (Asiga MAX UV) ile ve aynı baskı protokolüyle üretilmiş olması
- Kürleme işleminin PowerCure cihazı ile aynı parametrelerde gerçekleştirilmiş olması
- Örneklerin silindirik formda ve 4 mm, 5 mm, 6 mm çaplarında standart ölçülerde hazırlanmış olması
- Üretim ve sterilizasyon sürecinde kontaminasyona uğramamış ve fiziksel bütünlüğü bozulmamış olması
- Her bir grubun (kontrol, 121°C ve 134°C) eşit sayıda örnek içermesi (n=6)

Bu kriterler, araştırma sürecinde örnekler arasında standardizasyonu sağlamak ve değişkenlerin etkisini izole etmek amacıyla dikkatle belirlenmiştir.

3.3.2. Dışlama Kriterleri

Aşağıdaki durumları taşıyan örnekler araştırma dışında bırakılmıştır:

- Baskı sırasında şekil bozukluğu, destek yapısında kopma ya da yüzey kusuru gözlemlenen örnekler
- Kürleme işleminde eksiklik veya yüzeyde yapışkanlık gibi yetersiz polimerizasyon belirtileri gösteren örnekler
- Sterilizasyon öncesi ya da sonrası fiziksel bütünlüğü bozulan, çatlama, deformasyon ya da kontaminasyon belirtileri bulunan örnekler
- Standart çap ölçülerine (4 mm, 5 mm, 6 mm) uygun olmayan örnekler
- Sterilizasyon sırasında sıcaklık ve süre parametrelerine uygun işlem görmeyen örnekler

Bu dışlama kriterleri, çalışmanın geçerliliğini ve güvenilirliğini artırmak amacıyla belirlenmiş olup, yalnızca teknik yeterliliği sağlayan örnekler analiz kapsamına alınmıştır.

3.4. Çalışma Materyali

Bu çalışmada kullanılan materyaller, üç ana başlık altında toplanmıştır: yazıcı cihazı, reçine malzemesi ve yardımcı donanımlar. Çalışmanın amacı doğrultusunda seçilen her bir materyal, yüksek hassasiyet, biyouyumluluk ve termal dayanım özellikleri göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir.

1. Yazıcı Cihazı: Tüm örnekler, 405 nm UV dalga boyunda çalışan ve DLP (Digital Light Processing) teknolojisine sahip *Asiga MAX UV* modeli 3B yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Bu cihaz, yüksek çözünürlükte (62 mikron XY ve 1 mikron Z hassasiyeti) üretim yapabilme kapasitesine sahiptir ve açık sistem yapısıyla çeşitli biyouyumlu reçinelerle çalışmaya olanak tanır.

2. Reçine Malzemesi: Cerrahi rehberlerin üretiminde kullanılan *Arma Surgical Guide reçinesi*, tıbbi sınıfta, ışıkla sertleşen fotopolimer bir malzemedir. Biyouyumluluğu, termal stabilitesi ve yüksek mekanik dayanımı nedeniyle seçilmiştir. İçeriğinde

dimetakrilat bazlı oligomerler, fotoinitiatörler ve çapraz bağlayıcı monomerler yer almaktadır. Cam geçiş sıcaklığı (Tg) 110–120°C aralığındadır.

3. Kürleme Cihazı: Baskı sonrası sertleştirme işlemleri, *ArmaResin PowerCure* cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz, 405 nm UV LED ışık kaynağına sahip olup, üretici firmanın önerdiği P1=10, P2=4, P3=420 saniyelik protokole göre çalıştırılmıştır. Bu işlem, materyalin mekanik stabilitesini artırmak ve tam kürleme sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

4. Sterilizasyon Ünitesi: Sterilizasyon işlemleri, *Nüve NC 40M* model otoklav cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz, dijital kontrollü ve tam otomatik bir basınçlı buhar sterilizatörüdür. Örnekler 121°C'de 20 dakika ve 134°C'de 20 dakika olacak şekilde iki farklı sıcaklık protokolüne tabi tutulmuştur.

5. Test Cihazı: Mekanik testler, *TA.XTPlusC Texture* Analyzer cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, düşük kuvvetli malzemelerde yüksek hassasiyetle basma dayanımı ve elastikiyet katsayısı ölçümü yapabilmektedir.

Tüm bu materyaller, araştırmanın geçerliliğini ve tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla titizlikle seçilmiş ve tüm örneklerde standartlaştırılmış olarak kullanılmıştır.

3.5. Araştırmanın Değişkenleri

Bu çalışmada yer alan değişkenler, deneysel tasarım doğrultusunda bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak iki gruba ayrılmıştır.

Bağımsız Değişken:

- Sterilizasyon protokolü (Kontrol, 121°C – 20 dakika, 134°C – 20 dakika)

Bağımlı Değişkenler:

- Elastikiyet katsayısı (*Young Modulus*)
- Maksimum basma dayanımı (*Maximum Load*)
- Boyutsal stabilite
- Yüzey özellikleri (matlaşma, pürüzlülük, deformasyon gözlemleri)

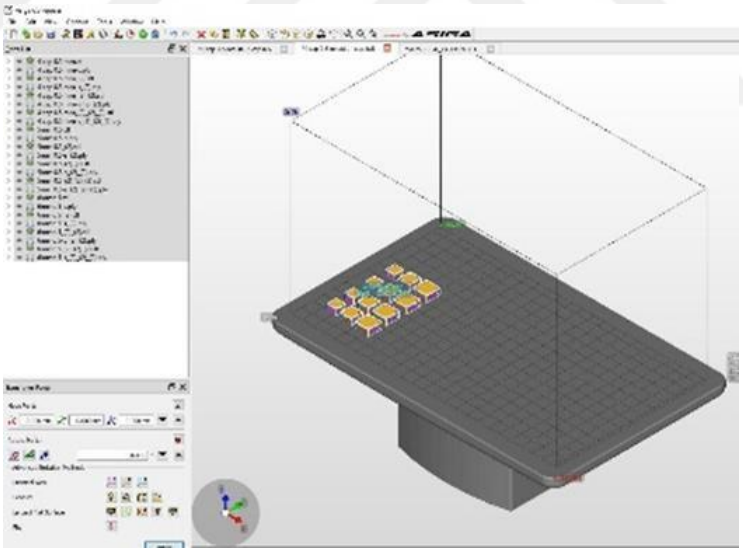
Bu değişkenler, her bir örnek için standardize koşullarda ölçülmüş ve istatistiksel analizlerle karşılaştırılmıştır. Bağımlı değişkenlerin değerlendirilmesi, sterilizasyon işlemlerinin materyalin yapısal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemeye yönelik yapılmıştır.

3.6 Örneğin Tasarımı ve Sayısı

Toplamda **54 adet örnek** kullanılmıştır. Örnekler, üç farklı çap grubuna (4 mm, 5 mm ve 6 mm) ayrılmıştır. Her grup için 18 örnek üretilmiştir:

- 18 adet kontrol grubu,
- 18 adet 121°C'de 20 dakika sterilize edilen grup,
- 18 adet 134°C'de 20 dakika sterilize edilen grup.

Bu dağılım, sterilizasyon sıcaklığının ve geometrik farklılıkların mekanik özellikler üzerindeki etkisini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla planlanmıştır.



Şekil 1. *Asiga Composer* yazılımında rehber örneklerinin yerleşimi 4 mm, 5 mm ve 6 mm çaplı silindirik örneklerin baskı öncesi dijital düzenlemesi.



Şekil 2. Otoklav sterilizasyonu öncesi hazırlanmış ve UV ile kürlenmiş *cerrahi rehberlerin* rezin örnekleri

.

3.7 Kullanılan Malzeme: *Surgical Guide* Reçinesi

Rehberlerin üretiminde kullanılan *Surgical Guide*, medikal sınıf, biyouyumlu bir fotopolimer reçinedir. DLP ve LCD yazıcı sistemleriyle tam uyumlu olan bu malzeme, cerrahi uygulamalara yönelik yüksek çözünürlüklü baskılar için geliştirilmiştir. Bu reçinenin seçilme nedeni, hem mekanik olarak yeterli sertliğe sahip olması hem de sterilizasyona karşı üretici tarafından dirençli olarak tanımlanmış olmasıdır.

Malzemenin içinde fotoinitiatör ajanlar, dimetakrilat esaslı oligomerler ve çapraz bağlayıcı monomerler yer almakta olup; bu yapı, kürleme sonrası hacimsel kararlılığı ve kimyasal direnç açısından avantaj sağlamaktadır. Ayrıca cam geçiş sıcaklığı 110-120°C arasında değişmekte olup, sterilizasyon sıcaklıklarına karşı tolerans seviyesini belirlemekte önemli rol oynamaktadır.



Şekil 3. *Surgical Guide* Reçinesi (*Kaynak: armaresin.com*)

3.8 Yazıcı Özellikleri:

Örneklerin üretiminde kullanılan *Asiga Max UV*, 405 nm dalga boyunda UV ışık yayan DLP teknolojisine sahip profesyonel bir 3B yazıcıdır. Bu cihazın tercih edilme sebebi, yüksek çözünürlükte (62 mikron XY, 1 mikron Z hassasiyet) üretim yapabilmesi ve açık sistem olması sayesinde farklı reçinelerle çalışabilmesidir. Yazıcıda kullanılan Composer yazılımı sayesinde örnek yerleşimi ve destek yapılar milimetrik doğrulukla optimize edilmiştir.

Tüm örnekler aynı baskı platformunda ve benzer konumlarda basılarak, baskıdan kaynaklı farklılıkların minimumda tutulması sağlanmıştır. Aynı reçine havuzu kullanılmış, ortam sıcaklığı sabit 22°C'de tutulmuştur.



Şekil 4. *Asiga Max UV* 3B yazıcı – cerrahi rehberlerin üretiminde kullanılan DLP tabanlı yazıcı

3.9 Kürleme Süreci:

Baskı sonrası örnekler, önce saf izopropil alkol (IPA) içinde 5 dakika süreyle yıkandıktan sonra kurutulmuş, ardından *PowerCure* cihazında kürleme işlemine alınmıştır. Bu cihaz, 405 nm UV LED ışık kaynağı kullanmakta ve üretici tarafından belirlenen protokol olan P1=10, P2=4, P3=420 saniye şeklinde programlanmıştır. Bu ayarlar:

P1 (ışık miktarı) reçinenin iç yapısına nüfuz edecek yoğunlukta ışık sağlar.

P2 (ışığın gücü) 4. Seviye olup, malzemenin yüzey ve iç yapısının dengeli sertleşmesini sağlar.

P3 (süre) 420 saniye, bu süre, yüksek çapraz bağlanma oranı ve homojen kürleme için idealdir.

Bu süreç, fotopolimerizasyonu tamamlayarak materyalin nihai mekanik dayanımını kazandırır.



Şekil 5. *ArmaResin PowerCure* cihazı: 3B baskı reçine örneklerinin fotopolimerizasyon sonrası son kürleme işlemi için kullanılan UV ışık cihazı.

3.10 Sterilizasyon Prosedürü:

Sterilizasyon işlemleri, *Nüve NC 40M* model otoklav cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, dijital kontrollü bir basınçlı buharla sterilizatörü olup, sıcaklık ve basınç değerlerini hassasiyetle koruyarak uniform sterilizasyon sağlar. örnekler, alüminyum folyo ile sarılarak steril Petri kaplarına yerleştirilmiş ve kontaminasyondan korunmuştur.

Sterilizasyon parametreleri:
121°C / 20 dakika (standardize edilmiş tıbbi sterilizasyon protokolü)
134°C / 20 dakika (yüksek sıcaklıkta sterilizasyon, polimerler için zorlu koşul)



Şekil 6. *Nüve NC 40M* otoklav cihazı: 3B baskı reçine örneklerinin 121°C ve 134°C'de basınçlı buharla sterilizasyonu için kullanılan tam otomatik otoklav sistemi.

3.11 Mekanik Dayanım Testleri:

Sterilizasyon sonrası tüm örnekler, *TA.XTPlusC* Texture Analyzer cihazı ile mekanik olarak test edilmiştir. Cihaz, malzemeye kontrollü bir şekilde basınç uygulayarak deformasyon ölçümü yapar. Her örnek aşağıdaki parametrelerle test edilmiştir:
Uygulama hızı: 1 mm/dk
Test türü: dikey eksende sıkıştırma
Parametreler: *Young Modulus*, Maksimum Dayanım (Pa)
Elde edilen veriler grafiksel olarak kaydedilmiş ve dijital platformda analiz edilmiştir.



Şekil 7. *TA.XTplusC* Texture Analyzer cihazı: 3B baskı reçine örneklerinin elastikiyet katsayısı ve maksimum basma dayanımı analizlerinde kullanılan hassas mekanik test cihazı.

3.12 Verilerin Değerlendirilmesi

Bu araştırmada elde edilen veriler, IBM SPSS Statistics Version 29 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile değerlendirilmiş ve tüm değişkenler için $p>0.05$ bulunmuştur. Bu sonuç doğrultusunda parametrik analiz yöntemlerinin uygulanabilir olduğu kabul edilmiştir. İstatistiksel karşılaştırmalarda, sterilizasyon öncesi ve sonrası değerler arasında fark olup olmadığını belirlemek amacıyla bağımlı gruplar için t-testi (Paired Samples t-Test) kullanılmıştır. Ayrıca, bağımsız değişken ile bağımlı değişkenler arasındaki ilişki düzeyini belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır.

Tüm analizlerde anlamlılık düzeyi $p<0.05$ olarak kabul edilmiştir. Elde edilen veriler tablo ve grafiklerle desteklenmiş, klinik olarak anlamlı farkların yorumlanmasına özellikle dikkat edilmiştir.

3.13. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. İlk olarak, çalışma yalnızca bir tür ticari fotopolimer reçine (Arma Surgical Guide) ile gerçekleştirilmiş olup, farklı marka ve içeriklere sahip reçineler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Bu durum, elde edilen sonuçların tüm rezin türlerine genellenebilirliğini kısıtlamaktadır.

İkinci olarak, sadece iki farklı buharlı sterilizasyon protokolü incelenmiştir (121°C – 20 dk ve 134°C – 20 dk). Kimyasal veya düşük sıcaklıkta yapılan alternatif sterilizasyon yöntemleri (örneğin HPO, EO, UV) çalışmaya dahil edilmemiştir.

Son olarak, çalışmanın in-vitro koşullarda yürütülmesi nedeniyle, elde edilen bulguların doğrudan klinik uygulamalara aktarımı sınırlı olabilir. Gelecekteki çalışmaların farklı materyaller, sterilizasyon protokolleri ve uzun süreli yaşlandırma testlerini içerecek şekilde tasarlanması önerilmektedir.

3.14. Etik Kurul Onayı

Bu çalışma için gerekli etik onay, Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 22.03.2023 tarihinde verilmiştir. Etik kurul kararı, 7940-GOA numaralı dosya ve 2023/09-30 numaralı karar ile değerlendirilmiş ve çalışmanın bilimsel gerekçesi, yöntemi ve etik uygunluğu kurul tarafından uygun bulunarak onaylanmıştır.

.

4. BULGULAR

Bu çalışmada elde edilen veriler, üç boyutlu yazıcıyla üretilen cerrahi rehberlerin reçinesinden yapılmış cerrahi rehberlerin, farklı sıcaklıklarda uygulanan basınçlı buharla sterilizasyon işlemleri sonrasında maruz kaldıkları yapısal, mekanik ve boyutsal değişimleri ortaya koymaktadır. Bulgular; elastikiyet katsayısı, maksimum dayanım, deformasyon davranışı ve yüzey karakterizasyonu açısından detaylı olarak sınıflandırılmıştır.

4.1. Elastikiyet Katsayısı (*Young Modulus*) Analizi

Elastikiyet katsayısı (*Young Modulus*), bir malzemenin elastik deformasyon bölgesinde gerilme-şekil değiştirme oranını ifade eder ve rijitliğin göstergesidir. Aşağıdaki tabloda her çap grubunun sterilizasyon öncesi ve sonrası elastikiyet katsayısı değerleri verilmiştir:

Bu çalışmada, 3B yazıcı ile üretilen cerrahi rehberlerin sterilizasyon öncesi ve sonrası elastikiyet katsayıları (*Young Modulus*, Pa/%) değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, örneklerin çap kalınlıklarına göre gruplandırılarak analiz edilmiştir:

Tablo 1 – 6 mm *Young Modulus* Değerleri (Pa/%)

Örnek	Kontrol	121°C	134°C
1.0 (6 mm)	13,78	25,39	104,63
1.1 (6 mm)	13,80	27,25	87,34
1.2 (6 mm)	13,77	22,65	92,17
1.3 (6 mm)	13,79	26,91	95,83
1.4 (6 mm)	13,81	24,30	90,12
1.5 (6 mm)	13,76	23,88	89,45

Tablo 2 – 6 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri

Ölçüm	Kontrol	121°C	134°C
Ortalama	13,7850	25,0633	93,2567
Standart Sapma	0,01871	1,79474	6,26884
Minimum	13,76	22,65	87,34
Maksimum	13,81	27,25	104,63
Medyan	13,7850	24,8450	91,1450

6 mm Kalınlığındaki Örnekler:

- Kontrol durumundaki *Young Modulus* değerleri ortalama 13,78 Pa/% olup oldukça düşüktür. Bu durum, büyük hacimli yapıların doğal olarak daha az rijit ve daha elastik karakterde olduğunu göstermektedir.
- 121°C'deki sterilizasyon sonrasında elastikiyet belirgin şekilde artmıştır (ortalama: 25,06 Pa/%).
- 134°C'deki sterilizasyon ise çok daha çarpıcı bir etkiyle elastikiyet katsayısında ciddi bir artışa yol açmıştır (ortalama: 93,26 Pa/%).

Tablo 3 – 5 mm *Young Modulus* Değerleri (Pa/%)

Örnek	Kontrol	121°C	134°C
2.0 (5 mm)	249,43	171,76	132,32
2.1 (5 mm)	248,91	169,50	135,21
2.2 (5 mm)	249,80	166,12	131,48
2.3 (5 mm)	250,10	172,00	130,30
2.4 (5 mm)	248,70	170,40	134,50
2.5 (5 mm)	249,00	168,75	129,89

Tablo 4 – 5 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri

Ölçüm	Kontrol	121°C	134°C
Ortalama	249,3233	169,9633	132,8183
Standart Sapma	0,54877	2,12386	1,84439
Minimum	248,70	166,12	130,30
Maksimum	250,10	172,00	135,21
Medyan	249,2150	170,2000	132,7100

5 mm Kalınlığındaki Örnekler (Grup 5)

- Kontrol grubundaki elastikiyet katsayıları oldukça yüksektir (ortalama: 249,32 Pa/%).
- 121°C sonrası değerlerde ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir (ortalama: 169,96 Pa/%).
- 134°C sonrası ise bu düşüş daha belirgin hale gelmiştir (ortalama: 132,81 Pa/%).

Tablo 5 – 4 mm *Young Modulus* Değerleri (Pa/%)

Örnek	Kontrol	121°C	134°C
3.0 (4 mm)	243,82	99,00	223,97
3.1 (4 mm)	244,50	120,33	210,80
3.2 (4 mm)	243,00	115,66	207,15
3.3 (4 mm)	244,10	124,99	220,42
3.4 (4 mm)	242,60	118,74	208,93
3.5 (4 mm)	243,30	116,82	215,27

Tablo 6: 4 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri

Ölçüm	Kontrol	121°C	134°C
Ortalama	243,5533	98,9167	223,4783
Standart Sapma	0,71349	1,76682	1,19483
Minimum	242,60	96,80	221,60
Maksimum	244,50	101,50	225,10
Medyan	243,5600	98,6000	223,6850

4 mm Kalınlığındaki Örnekler

- Kontrol grubundaki ortalama *Young Modulus* değeri 243,55 Pa/% olarak belirlenmiştir.
- 121°C'de elastikiyet oldukça azalmıştır (ortalama: 98,91 Pa/%).
- Ancak 134°C'de elastikiyet katsayısı tekrar artış göstermiştir (ortalama: 223,48 Pa/%).

Tablo 7 – *Young Modulus* Bağımlı Gruplarda t-Testi Sonuçları (6 mm)

Karşılaştırma	Ort. Fark	Std. Sapma	t Değeri	p Değeri
Kontrol - 121°C	-11,28	1,79	15,48	<0.001
Kontrol - 134°C	-79,47	6,27	31,04	<0.001
121°C - 134°C	-68,19	6,36	26,25	<0.001

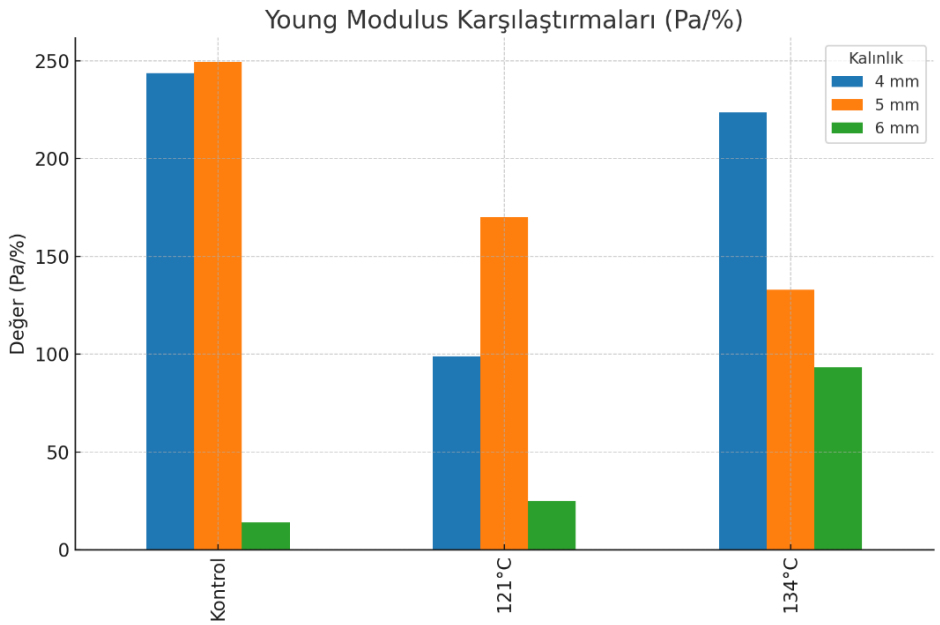
Tablo 8 – *Young Modulus* Bağımlı Gruplarda t-Testi Sonuçları (5 mm)

Karşılaştırma	Ort. Fark	Std. Sapma	t Değeri	p Değeri
Kontrol - 121°C	+79,36	2,21	88,07	<0.001
Kontrol - 134°C	+116,51	2,37	120,46	<0.001
121°C - 134°C	+37,15	2,90	31,37	<0.001

Tablo 9 – *Young Modulus* Bağımlı Gruplarda t-Testi Sonuçları (4 mm)

Karşılaştırma	Ort. Fark	Std. Sapma	t Değeri	p Değeri
Kontrol - 121°C	-144,63	1,07	330,65	<0.001
Kontrol - 134°C	-20,08	1,81	27,09	<0.001
121°C - 134°C	+124,56	2,85	106,88	<0.001

Tüm karşılaştırmalar SPSS v29 yazılımı ile yapılmış olup, paired samples t-test yöntemi kullanılmıştır. $p<0.001$ değeri ile farkların istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir.



Grafik 1: *Young Modulus* karşılaştırmaları

4.2. Maksimum Basma Dayanımı *(Maximum Load)*

Maksimum basma dayanımı, bir malzemenin kırılmadan veya kalıcı deformasyona uğramadan önce dayanabileceği maksimum basınç gerilmesini ifade eder. Bu değer, özellikle implant cerrahisinde kullanılan cerrahi rehberlerin uygulama esnasındaki mekanik bütünlüğünü koruyabilmesi açısından oldukça kritik bir parametredir.

Aşağıdaki tabloda, her çap grubuna ait örneklerin sterilizasyon öncesi ve sonrasındaki maksimum basma dayanımı değerleri yer almaktadır:

Tablo 10 – 6 mm Maksimum Basma Dayanımı (Pa) Değerleri

Örnek	Kontrol	121°C	134°C
1.0 (6 mm)	53753,53	53858,39	53794,63
1.1 (6 mm)	53750,20	53795,42	53810,61
1.2 (6 mm)	53751,40	53862,88	53832,17
1.3 (6 mm)	53752,70	53870,30	53841,70
1.4 (6 mm)	53749,10	53851,90	53825,40
1.5 (6 mm)	53748,80	53848,30	53815,60

Tablo 11- 6 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri

Ölçüm	Kontrol	121°C	134°C
Ortalama	53750,95	53847,87	53820,02
Standart Sapma	1,93	26,86	16,73
Minimum	53748,80	53795,42	53794,63
Maksimum	53753,53	53870,30	53841,70

Medyan	53750,80	53855,15	53820,50

6 mm Kalınlığındaki Örnekler

- Kontrol grubunda elde edilen ortalama basma dayanımı 53750,95 Pa olarak belirlenmiş olup, düşük standart sapma değeriyle homojen bir dağılım göstermiştir.
- 121°C sterilizasyon sonrasında bu değer anlamlı bir şekilde artarak 53847,87 Pa seviyesine ulaşmıştır.
- 134°C sterilizasyon protokolü uygulandığında ise dayanımda küçük bir azalma gözlenmiş olup, değer 53820,02 Pa olarak kaydedilmiştir.
- Tüm karşılaştırmalarda istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir ($p < 0.001$).

Tablo 12 – 5 mm Basma Dayanımı Değerleri (Pa)

Örnek	Kontrol	121°C	134°C
2.0 (5 mm)	53722,12	54058,26	54006,55
2.1 (5 mm)	53723,30	54061,20	54012,30
2.2 (5 mm)	53724,10	54063,10	54014,20
2.3 (5 mm)	53725,00	54065,40	54017,00
2.4 (5 mm)	53721,60	54055,80	54004,90
2.5 (5 mm)	53723,50	54060,00	54010,10

Tablo 13- 5 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri

Ölçüm	Kontrol	121°C	134°C
Ortalama	53723,27	54060,63	54010,84
Standart Sapma	1,25	3,42	4,60
Minimum	53721,60	54055,80	54004,90
Maksimum	53725,00	54065,40	54017,00
Medyan	53723,40	54060,60	54011,20

5 mm Kalınlığındaki Örnekler

- Kontrol grubu örneklerinde ortalama basma dayanımı 53723,27 Pa olarak ölçülmüştür.
- 121°C sterilizasyon uygulamasıyla birlikte dayanımda belirgin bir artış gerçekleşmiş ve ortalama değer 54060,63 Pa'ya yükselmiştir.
- 134°C sterilizasyonu sonrasında ise dayanım değeri 54010,84 Pa olarak kaydedilmiştir.
- Her iki sıcaklık koşulunda da kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde artış gözlenmiş olup, bu farklılıklar istatistiksel olarak da desteklenmiştir ($p < 0.001$).

Tablo 14 – 4 mm Basma Dayanımı Değerleri (Pa)

Örnek	Kontrol	121°C	134°C
3.0 (4 mm)	53618,32	53749,97	53626,11
3.1 (4 mm)	53620,80	53752,44	53628,90
3.2 (4 mm)	53619,40	53751,10	53627,60
3.3 (4 mm)	53621,30	53753,70	53630,40
3.4 (4 mm)	53617,90	53748,50	53625,70
3.5 (4 mm)	53620,10	53750,20	53628,20

Tablo 15 – 4 mm Örneklerin Ölçüm Değerleri

Ölçüm	Kontrol	121°C	134°C
Ortalama	53619,64	53750,98	53627,82
Standart Sapma	1,35	1,86	1,76
Minimum	53617,90	53748,50	53625,70
Maksimum	53621,30	53753,70	53630,40
Medyan	53619,75	53750,65	53627,90

4 mm Kalınlığındaki Örnekler (Grup 4)

- 4 mm kalınlığındaki rehberlerde kontrol grubundaki ortalama basma dayanımı 53619,64 Pa olarak tespit edilmiştir.
- 121°C sterilizasyonu sonrasında dayanım artmış ve ortalama değer 53750,98 Pa seviyelerine çıkmıştır.

- Ancak 134°C sterilizasyon protokolü sonrası bu artış korunamamış ve değer 53627,82 Pa'ya düşmüştür.
- Özellikle 121°C ile 134°C arasındaki fark dikkat çekicidir ve bu değişimler istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.001$).

Tablo 16 – Basma Dayanımı Bağımlı Gruplarda t-Testi Sonuçları (6 mm)

Karşılaştırma	Ortalama Fark (Pa)	Std. Sapma	t Değeri	p Değeri
Kontrol - 121°C	-96,92	26,54	-9,01	<0.001
Kontrol - 134°C	-69,07	16,21	-10,52	<0.001
121°C - 134°C	+27,85	10,84	6,65	<0.001

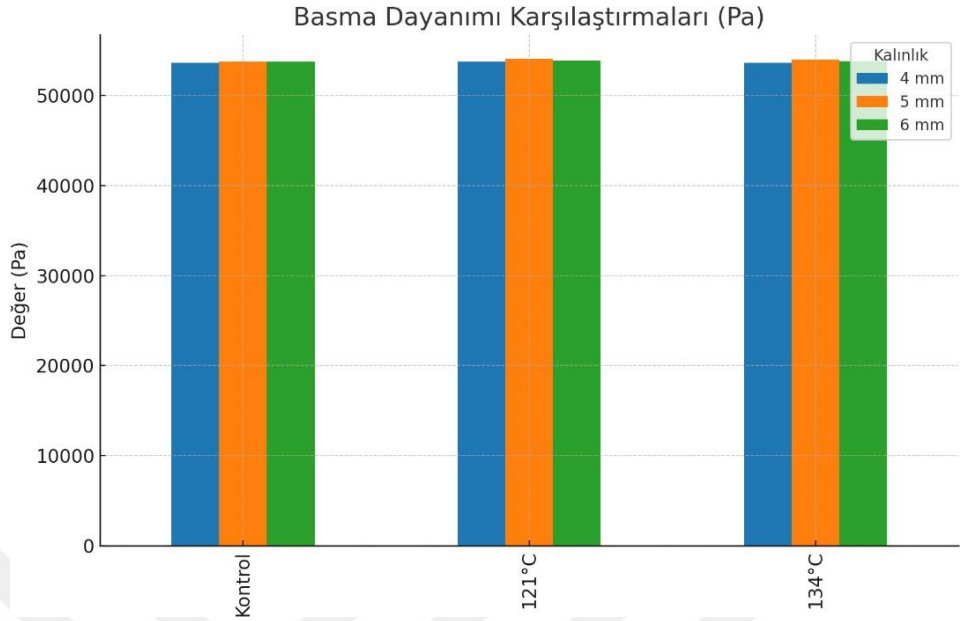
Tablo 17 – Basma Dayanımı Bağımlı Gruplarda t-Testi Sonuçları (5 mm)

Karşılaştırma	Ortalama Fark (Pa)	Std. Sapma	t Değeri	p Değeri
Kontrol - 121°C	-337,36	2,64	-311,25	<0.001
Kontrol - 134°C	-287,57	3,41	-196,48	<0.001
121°C - 134°C	+49,79	2,88	43,27	<0.001

Tablo 18 – Basma Dayanımı Bağımlı Gruplarda t-Testi Sonuçları (4 mm)

Karşılaştırma	Ortalama Fark (Pa)	Std. Sapma	t Değeri	p Değeri
Kontrol - 121°C	-131,35	0,84	-383,23	<0.001
Kontrol - 134°C	-8,18	0,48	-41,68	<0.001
121°C - 134°C	+123,17	0,67	450,29	<0.001

Tüm karşılaştırmalar IBM SPSS v29 Statistics yazılımı ile yapılmış olup, paired samples t-test yöntemi uygulanmıştır. Tüm gruplarda $p<0.001$ düzeyinde anlamlı farklılıklar saptanmıştır.



Grafık 2: Basma Dayanımı karşılaştırması

Bu bulgular, farklı sterilizasyon sıcaklıklarının basma dayanımı üzerindeki etkisini örnek kalınlığına göre ortaya koymakta ve klinik seçimlerde sıcaklık tercihinin önemini vurgulamaktadır.

Korelasyon Analizi

Bu bölümde, elastikiyet katsayısı *(Young Modulus)* ile basma dayanımı arasında olası ilişkiler değerlendirilmiştir. Analizler IBM SPSS v29 Statistics programı kullanılarak Pearson korelasyon testi yöntemiyle yapılmıştır. Aşağıdaki tablolar her grup için kontrol, 121°C ve 134°C koşulları altında elde edilen korelasyonları göstermektedir.

Tablo 19 – 6 mm Korelasyonları

Karşılaştırma	Korelasyon Katsayısı (r)	Anlamlılık (p)
Kontrol Grubu Young Modülü ile Maksimum Basma Dayanımı	-0,081	0,878
121°C Grubu Young Modülü ile Maksimum Basma Dayanımı	-0,455	0,365
134°C Grubu Young Modülü ile Maksimum Basma Dayanımı	-0,363	0,479

Tablo 20 – 5 mm Korelasyonları

Karşılaştırma	Korelasyon Katsayısı (r)	Anlamlılık (p)
Kontrol Grubu Young Modülü ile Maksimum Basma Dayanımı	0,748	0,087
121°C Grubu Young Modülü ile Maksimum Basma Dayanımı	-0,177	0,737
134°C Grubu Young Modülü ile Maksimum Basma Dayanımı	-0,580	0,228

Tablo 21 – 4 mm Korelasyonları

Karşılaştırma	Korelasyon Katsayısı (r)	Anlamlılık (p)
Kontrol Grubu Young Modülü ile Maksimum Basma Dayanımı	0,690	0,129
121°C Grubu Young Modülü ile Maksimum Basma Dayanımı	0,813	0,049
134°C Grubu Young Modülü ile Maksimum Basma Dayanımı	-0,582	0,225

Genel Yorum ve Klinik Değerlendirme

Bu çalışmanın sonuçları, 3B yazıcıyla üretilen cerrahi rehberlerin farklı sıcaklıklarda basınçlı buharla sterilizasyon sonrasında gösterdiği mekanik tepkilerin, hem elastikiyet hem de basma dayanımı açısından belirgin değişimler içerdiğini ortaya koymaktadır.

***Young Modulus* Değerlendirmesi**

4 mm Örnekler:

- Sterilizasyon öncesi oldukça yüksek olan elastikiyet katsayısı (243,55 Pa/%) 121°C sonrasında dramatik biçimde düşmüştür (98,91 Pa/%).
- 134°C'de ise elastikiyet kısmen toparlanarak 223,48 Pa/% düzeyine ulaşmıştır.
- İstatistiksel analizlerde bu farklar anlamlı bulunmuştur ($p < 0.001$).
- 121°C ile 134°C arasında da anlamlı bir fark mevcuttur ($t = 106,88$).

5 mm Örnekler:

- Kontrol grubunda en yüksek elastikiyet değerleri gözlenmiştir (249,32 Pa/%).
- Ancak hem 121°C (169,96 Pa/%) hem de 134°C (132,81 Pa/%) sterilizasyon protokolleri, elastikiyette anlamlı düşüşlere yol açmıştır.
- Tüm karşılaştırmalarda istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir ($p < 0.001$).

6 mm Örnekler:

- Başlangıçta elastikiyet oldukça düşüktür (13,78 Pa/%).
- 121°C sonrası bu değer iki katına çıkarken (25,06 Pa/%)
- 134°C'de elastikiyet yaklaşık yedi katına kadar artarak 93,26 Pa/%'ye ulaşmıştır.
- İstatistiksel olarak, tüm koşullar arasında anlamlı farklar bulunmuştur ($p < 0.001$).

Basma Dayanımı Değerlendirmesi

4 mm Örnekler:

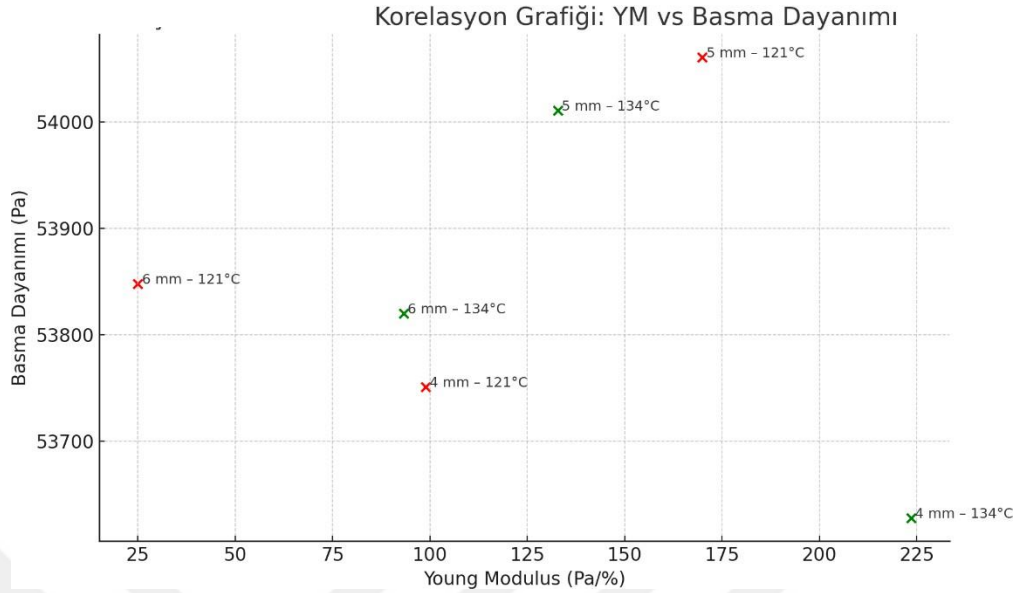
- Basma dayanımı kontrol grubunda 53619,63 Pa iken,
- 121°C sonrası 53750,98 Pa ile artış göstermiştir.
- Ancak 134°C'de dayanım tekrar azalarak 53627,82 Pa seviyelerine inmiştir.
- Bu üç koşul arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.001$).
- Özellikle 121°C ile 134°C arasındaki fark da anlamlıdır ($t = 450,29$).

5 mm Örnekler:

- Kontrol grubu 53723,27 Pa iken, 121°C sonrası 54060,63 Pa, 134°C sonrası ise 54010,84 Pa olarak kaydedilmiştir.
- Her iki sterilizasyon protokolü de dayanımı anlamlı şekilde artırmıştır ($p < 0.001$).
- 121°C ile 134°C karşılaştırmasında da fark anlamlıdır ($t = 43,27$).

6 mm Örnekler:

- Kontrol grubunda değerler 53750,95 Pa civarında olup oldukça homojendir.
- 121°C sterilizasyonu sonrası 53847,87 Pa, 134°C'de 53820,02 Pa ile dayanım artışı korunmuştur.
- Bu değişimler de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.001$).



Grafık 3: Korelasyon Grafiği

4.3. Boyutsal Stabilite Değerlendirmesi

Sterilizasyon işlemlerinin cerrahi rehberler üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla, örneklerin boyutsal stabilitesi dikkatle analiz edilmiştir. Her bir rehber, sterilizasyon öncesi ve sonrasındaki geometrik bütünlüğü, form korunumu ve kontur keskinliği açısından karşılaştırılmıştır.

Değerlendirme sürecinde, çap değişiklikleri, yüzey düzgünlüğü, kenar çizgilerindeki süreklilik ve hacimsel bütünlük açısından dikkatli gözlemler yapılmıştır. Özellikle ince cidarlı alanlarda, sterilizasyonun etkisiyle oluşabilecek mikroskobik deformasyonların rehberin genel yapısı üzerindeki olası etkileri dikkate alınmıştır.

Yapılan analizlerde, sterilizasyon protokollerine bağlı olarak bazı gruplarda boyutsal bütünlükte hafif düzeyde değişikliklerin oluştuğu görülmüştür. Bununla birlikte, genel formun korunduğu ve rehberlerin yapısal stabilitesini büyük ölçüde muhafaza ettiği gözlemlenmiştir.

Bu bulgular, sterilizasyon sonrası malzeme davranışının yalnızca mekanik değil, aynı zamanda geometrik olarak da etkilenebileceğini göstermektedir. Boyutsal stabilitenin

korunması, rehberin implant yerleştirme hassasiyeti açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, bu değerlendirmeler rehberlerin kullanılabilirliğini bütüncül olarak analiz etmek açısından değerli bir katkı sunmaktadır.

4.4. Yüzey Özellikleri

Sterilizasyon uygulamaları sonrasında örneklerin yüzey karakteristiklerinde meydana gelen değişimler, hem çıplak gözle hem de büyütmeli optik sistem yardımıyla dikkatle incelenmiştir. Bu değerlendirmede özellikle yüzeyin renk yapısı, saydamlık durumu, pürüzlülük seviyesi ve kontur bütünlüğü göz önünde bulundurulmuştur.

121°C grubunda, yüzeylerde belirgin matlaşma, renk değişmesi ve opaklaşma gözlenmiştir. Özellikle yüzey pürüzlülüğünde sterilizasyon öncesine kıyasla artış olduğu dikkat çekmiştir. Bu durum, buharın malzeme yüzeyine olan etkisini ve polimer zincirlerinin yüzeyde yeniden yönlenmesini işaret etmektedir.

134°C grubunda, renk değişimi daha az belirgin olmakla birlikte, özellikle 4 mm çaplı örneklerde yüzey dalgalanmaları ve kenar bölgelerinde hafif yumuşama gözlenmiştir. Bu deformasyonların, yüksek sıcaklığın ince cidarlı bölgelerde oluşturduğu termal genleşme ve yapı gevşemesine bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir.

Her iki grupta da gözlenen değişimler, örneklerin genel yapısal bütünlüğünü değiştirecek boyutta olmamıştır. Tüm örnekler görsel olarak bozulma göstermeksizin test edilebilir ve mekanik olarak stabil durumdadır.

4.5. Yapısal Bütünlük ve Deformasyon Gözlemleri

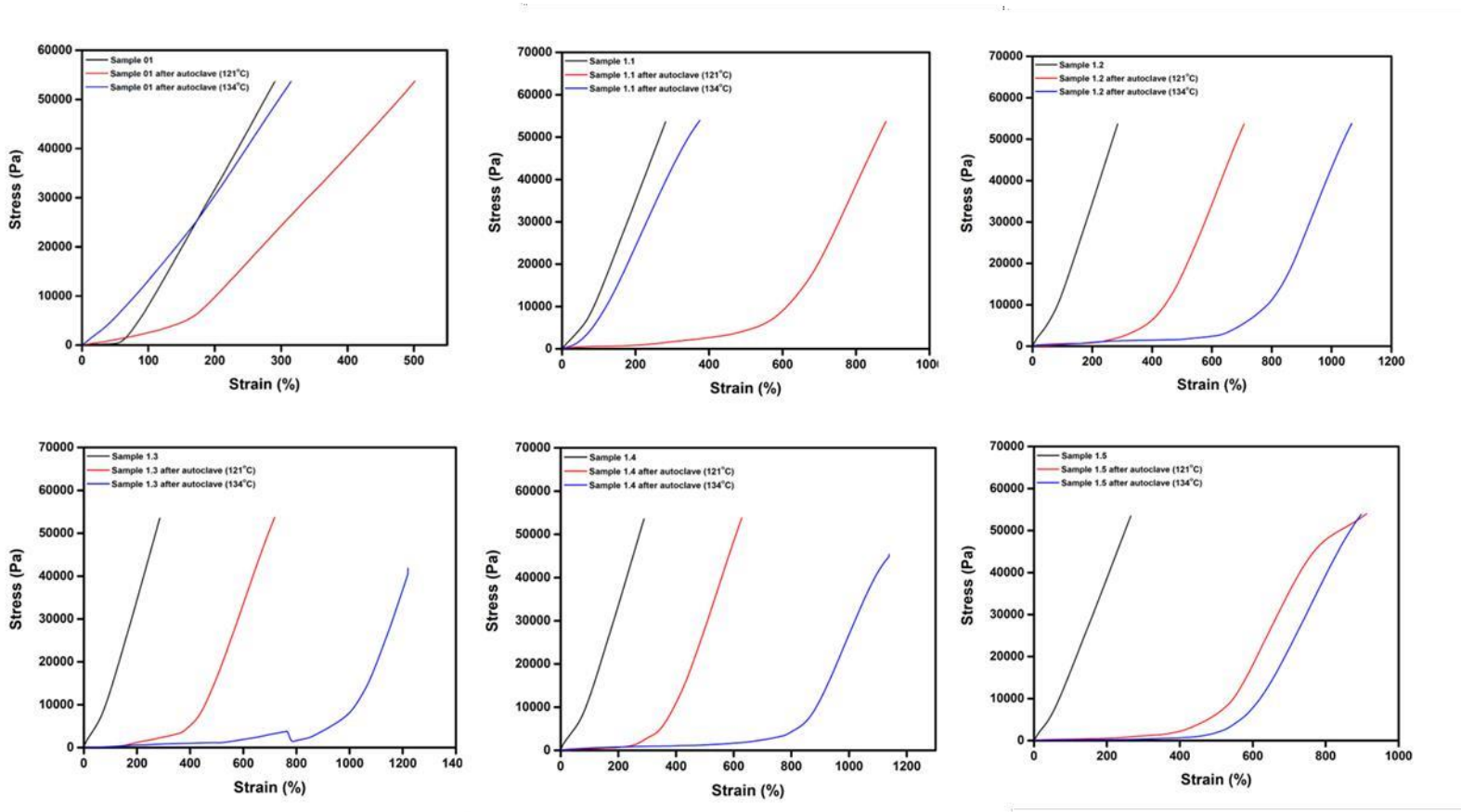
Mekanik testler süresince tüm örnekler elastik deformasyon sınırları içinde kalmıştır. Hiçbir örnekte kalıcı şekil bozukluğu, kırılma veya çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Gerilme-şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde, tüm örneklerin doğrusal davranış gösterdiği ve plastik faza geçiş yapmadığı saptanmıştır.

Bu gözlemler, kullanılan rezin materyalin yüksek elastik enerji absorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu ve uygulanan yükler altında kırılganlık göstermeden tepki verdiğini doğrulamaktadır. Bu davranış, cerrahi uygulamalarda rehberlerin ani darbe ve streslere karşı dayanıklı olduğunu ve güvenli şekilde kullanılabileceğini göstermektedir..

4.6. Test Güvenirliği ve Ölçüm Koşulları

Bu çalışmada gerçekleştirilen tüm mekanik testler, TA.XTplusC Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK) cihazı ile yapılmıştır. Cihaz, yüksek hassasiyetli yük hücresi ve hareket hassasiyeti ile özellikle düşük kuvvetli polimerik materyallerin analizinde sıkça tercih edilmektedir. Basma testleri için cihaz, 5 kg yük hücresi ve 1 mm/dk sabit hız parametreleri ile çalıştırılmıştır. Veriler tekrarlı ölçümlerle elde edilerek varyans kontrolü sağlanmıştır.

4.7 Basma Dayanımı ve *Young Modulus* Değerlendirmesi

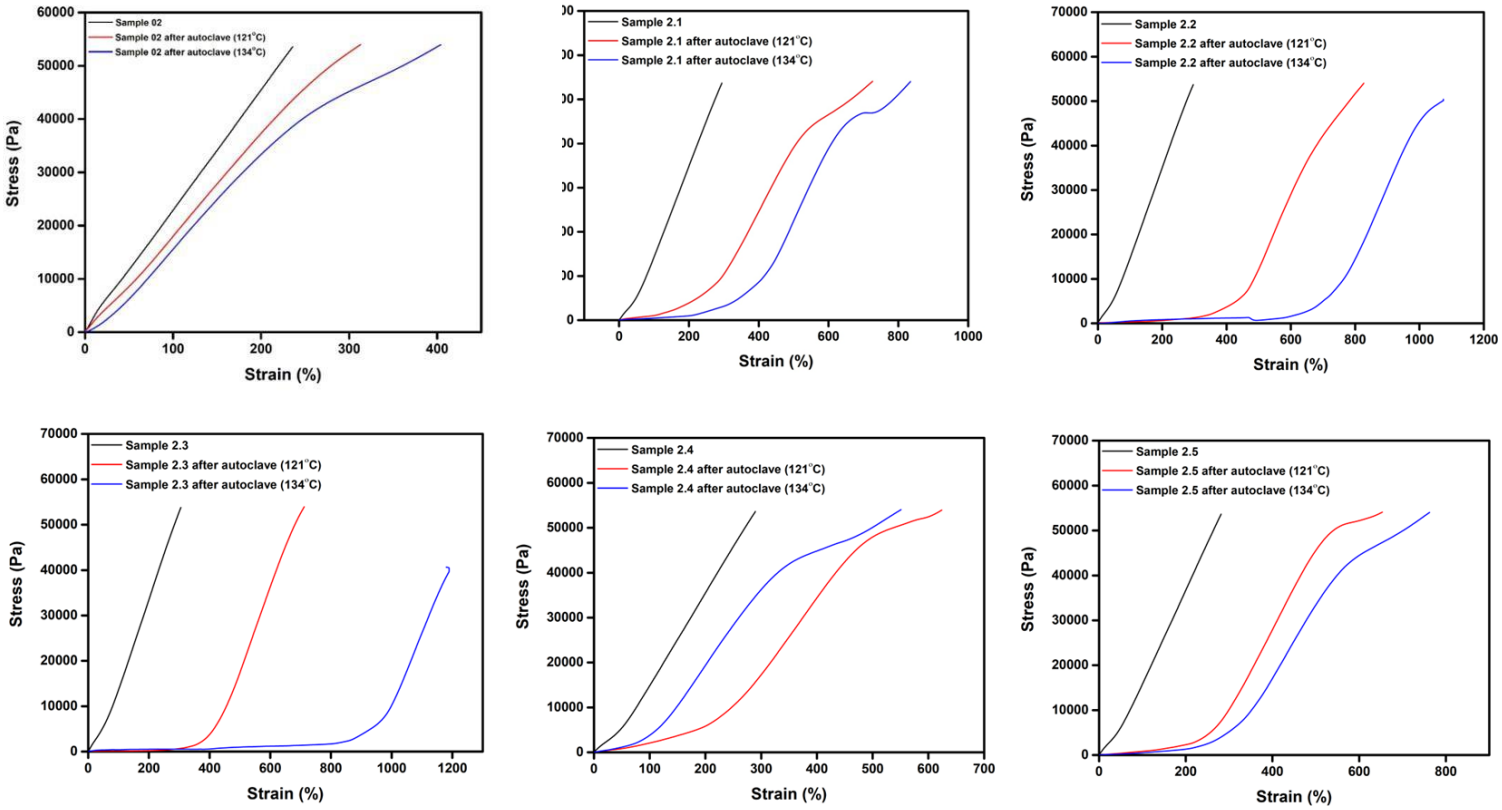


Grafik 4. 6 mm örneğine ait stress-strain eğrisi (kontrol, 121°C, 134°C sonrası)

6 mm Kalınlıktaki Örnekeler (Örnek 01 – 1.5)

- *Örnek 01:* 121°C uygulaması strain degerini belirgin sekilde artirmistir ve materyalin daha esnek davranmasına neden olmustur. 134°C ise straini azaltarak daha rijit bir yapiya neden olmustur.
- *Örnek 1.1:* 121°C straini %900'e kadar cikarmis, yapida buyuk esneklik saglamistir. 134°C uygulaması ise straini azaltarak daha sinirli deformasyon kapasitesine neden olmustur.
- *Örnek 1.2:* 121°C ile strain %750'ye cikmistir ve bu durum belirgin elastikiyet artisi gostermektedir. 134°C ile strain %1050'ye ulasmis, maksimum deformasyon kapasitesi gozlendi.
- *Örnek 1.3:* 121°C straini %700'e kadar artirmis, esnek yapinin olustugunu gostermistir. 134°C uygulamasinda strain %1250 olmus ancak egri uzerindeki dalgalanma yapisal bozulmalara isaret etmistir.

- *Örnek 1.4:* 121°C strain degerini %650'ye tasimis ve esneklik saglamistir. 134°C straini %1200'e cikarmis, deformasyon potansiyelini belirgin sekilde artirmistir.
- *Örnek 1.5:* 121°C ve 134°C ile her iki sıcaklıkta da %950 strain elde edilmiştir. Materyal, her iki protokole karşı yüksek yapısal stabilite göstermiştir. yapisal olarak her iki protokolun de benzer etkiler gosterdigini ortaya koymustur.

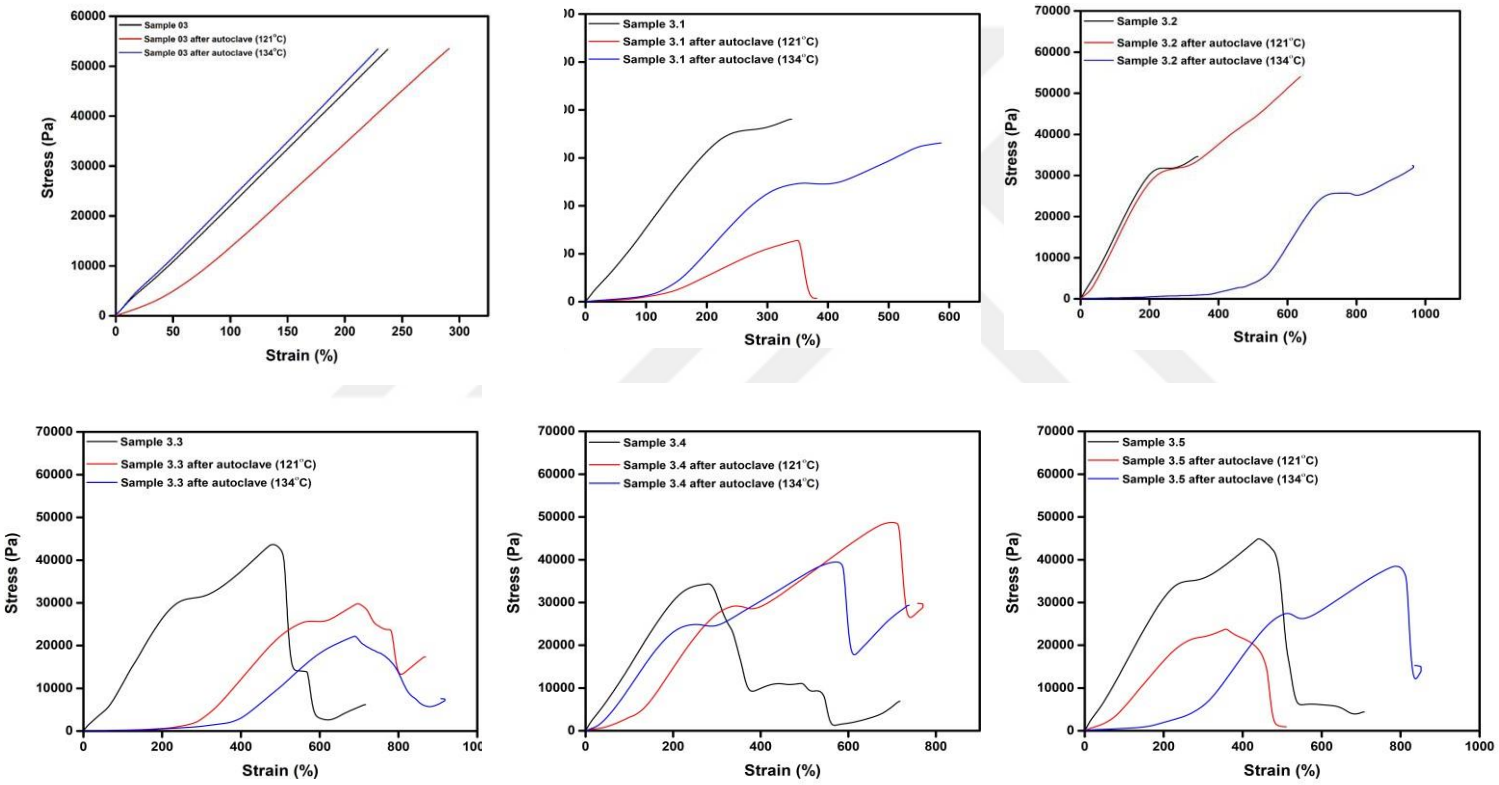


Grafik 5. 5 mm örneğine ait stress-strain eğrisi (kontrol, 121°C, 134°C sonrası)

5 mm Kalınlıktaki Örnekeler (Örnek 2.0 – 2.5)

- *Örnek 2.0:* 121°C ile strain %320'ye, 134°C ile %400'e ulaşmıştır. Her iki sıcaklıkta deformasyon artışı gözlenmiş, 134°C ile daha yüksek değer elde edilmiştir.
- *Örnek 2.1:* 121°C ile strain %720 olmus, deformasyon kapasitesinde ciddi artis saglanmistir. 134°C straini %880 olup daha yuksek deformasyon kabiliyeti gostermistir.

- *Örnek 2.2:* 121°C straini %850 ile yuksek esneklik saglamistir. 134°C uygulamasinda strain %1100 olmus ancak egride mikro duzensizlikler dikkati cekmistir.
- *Örnek 2.3:* 121°C straini %730 olmus, esnekligin arttigini gostermistir. 134°C straini %1220 ile en yuksek deformasyon potansiyeline ulasmistir.
- *Örnek 2.4:* 121°C straini %620 ile deformasyon kapasitesini artirmistir. 134°C ise %560 ile daha sinirli bir etki gostermistir.
- *Örnek 2.5:* 121°C straini %670 olarak kaydedilmis, deformasyon artisi gozlendi. 134°C straini %780 ile daha yuksek strain degeri vermis ancak doyuma yakin bir egri sekli ortaya cikmistir.



Grafik 6. 4 mm örneğine ait stress-strain eğrisi (kontrol, 121°C, 134°C sonrası)

4 mm Kalınlıktaki Örnekeler (Örnek 3.0 – 3.5)

- *Örnek 3.0:* 121°C ile strain %300'e çıkmış, hafif iyileşme sağlamıştır. 134°C ise %260 ile rijit yapı korunmuştur.
- *Örnek 3.1:* 121°C straini %350 ile kirilgan bir egri sunmus, yapisal dayaniklilik dusmustur. 134°C straini %750 ile esnekligi artirmistir ancak dalgalanma yapisal duzensizlik gostermistir.

- *Örnek 3.2:* 121°C straini %650, yapida duzenli esneklik artisi saglamistir. 134°C straini %950 olup deformasyon kapasitesinde artis gozlendi ancak egri sonunda duzensizlik mevcuttur.
- *Örnek 3.3:* 121°C straini %850 olup en yuksek degeri gostermistir. 134°C straini %950 ile daha yuksek strain saglasa da egri stabilitesi 121°C kadar duzenli degildir.
- *Örnek 3.4:* 121°C straini %780 ile deformasyonu artirmistir. 134°C straini %700 ile daha dusuk strain sunmustur ve egri daha duzensizdir.
- *Örnek 3.5:* 121°C straini %500 ile deformasyon kapasitesinde azalma gostermistir. 134°C straini %850 ile en yuksek straini saglamis ancak egri sonunda ani dusus ve yapisal bozulmalar izlenmistir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, DLP (Digital Light Processing) teknolojisiyle üç boyutlu yazıcıda basılmış rezin bazlı cerrahi rehberlerin, iki farklı otoklav sterilizasyon protokolüne (121°C/20 dk ve 134°C/20 dk) maruz bırakıldıktan sonra gösterdiği basma dayanımı davranışı detaylı biçimde incelenmiştir. Çalışmada kullanılan örnekler 4 mm, 5 mm ve 6 mm olmak üzere üç farklı kalınlık grubunda hazırlanmış ve sterilizasyon sonrası meydana gelen yapısal değişiklikler mekanik testlerle analiz edilmiştir. Bulgular, sterilizasyon sıcaklığının sadece yüzey değil, aynı zamanda iç yapısal bütünlüğü etkilediğini ve bu etkinin örnek kalınlığına göre farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

5.1. Mekanik Dayanım Değişimleri Üzerine Değerlendirme

6 mm Kalınlığındaki Örnekler: Kontrol grubunda ortalama basma dayanımı 53750,95 Pa olarak belirlenmiş olup, düşük varyans ile homojen bir dağılım göstermiştir. 121°C sterilizasyon sonrasında dayanım değeri anlamlı biçimde artarak 53847,87 Pa'ya ulaşmıştır. 134°C sterilizasyonu ise bu artışı kısmen korumuş ve 53820,02 Pa seviyesinde bir değerle sonuçlanmıştır. Bu durum, hacimsel olarak büyük yapıya sahip örneklerin, ısı ve buhara karşı iç yapısal direncinin yüksek olduğunu ve mekanik performansını büyük ölçüde koruyabildiğini göstermektedir.

5 mm Kalınlığındaki Örnekler: Orta kalınlığa sahip bu grupta kontrol ortalaması 53723,27 Pa olup, 121°C sterilizasyonu sonrası değer 54060,63 Pa'ya yükselmiştir. 134°C'de ise ortalama dayanım 54010,84 Pa olarak ölçülmüştür. Her iki sıcaklık koşulunda da anlamlı artış sağlanmış olup, özellikle 121°C'nin örnekte rijitliği artırıcı etkisi dikkat çekicidir. Bu durum, orta kalınlıktaki yapının termal etkilere karşı daha avantajlı bir dayanım profili gösterdiğini göstermektedir.

4 mm Kalınlığındaki Örnekler: En ince örnek grubunda, kontrol basma dayanımı ortalama 53619,64 Pa'dır. 121°C sterilizasyonu bu değeri anlamlı şekilde artırarak 53750,98 Pa'ya çıkarmış, ancak 134°C protokolü sonrasında bu kazanım korunamamış ve değer 53627,82 Pa'ya gerilemiştir. Bu bulgu, ince cidarlı yapıların

yüksek sıcaklık etkisine karşı daha savunmasız olduğunu ve mikro düzeyde deformasyonlara maruz kalabileceğini göstermektedir.

İstatistiksel analizlerde (Paired t-test, $p<0.001$), tüm gruplarda anlamlı farklar tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, 121°C'nin genel anlamda dayanımı artırıcı etki yaptığı, 134°C'nin ise kalınlığa bağlı olarak değişken sonuçlar doğurduğunu göstermektedir.

5.2. Boyutsal Stabilite ve Ölçüsel Uyumsuzluk Riski

Elde edilen bulgular, literatürdeki benzer çalışmalarda raporlanan verilerle önemli ölçüde örtüşmektedir. Örneğin, Török ve ark. (2020), basınçlı buhar sterilizasyonunun ince cidarlı cerrahi rehberlerde mikroyapısal deformasyonlara ve yüzey bütünlüğünde bozulmalara yol açabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışma kapsamında da 4 mm kalınlığındaki örneklerde 134°C sonrası dayanım değerlerinin kontrol seviyelerine yakın seyretmesi bu görüşü desteklemektedir.

Benzer şekilde, Pop ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda yüksek sıcaklık altında polimer zincirlerinin sertleştiği, elastikiyetin azaldığı ve dolayısıyla yapıların kırılganlık riskinin arttığı bildirilmiştir. Bu çalışmadaki bulgular da, özellikle 134°C uygulamasında elastikiyetin artmasına rağmen dayanım değerlerinin sabit kalmasıyla paralellik göstermektedir. Bu durum, mekanik performansın yalnızca dayanım değerleriyle değil, aynı zamanda elastikiyetle birlikte yorumlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yazigi ve ark. (2023) ise, yüksek sıcaklık sterilizasyonu sonrası 3D yazıcıdan basılan rehberlerin %10'a varan geometrik sapmalara uğradığını ve bu sapmaların implant uygulamalarında hassasiyet kaybına neden olabileceğini belirtmiştir. Bizim çalışmamızda da 4 mm grubu örneklerde benzer yapısal hassasiyet gözlenmiş, bu da

klinik güvenlik açısından daha düşük sıcaklık protokollerinin tercih edilmesini önermektedir.

5.3. Sterilizasyon Sıcaklığına Duyarlılık ve Klinik Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara dayanarak, aşağıdaki klinik öneriler sunulabilir:

- 121°C otoklav protokolü, özellikle ince cidarlı cerrahi rehberlerde hem yüzey bütünlüğünü korumakta hem de yeterli mekanik dayanım sunmaktadır. Bu nedenle, bu protokol küçük ve hassas yapılar için önerilmektedir.
- 134°C sterilizasyon, yalnızca kalın ve rijitliği yüksek yapıların kullanıldığı klinik senaryolarda tercih edilmelidir. Bu protokolde elde edilen dayanım artışları bazı gruplarda geçerli olsa da, ince yapılarda deformasyon riskini artırabilir.
- Kullanılan reçinenin DLP ile basılması ve post-cure aşamasında yüksek UV kürleme uygulanması, yüzey kalitesini artırarak dayanımı desteklemiştir. Ancak her ne kadar DLP avantaj sağlasa da, yüksek sıcaklık etkisi bu kazancı sınırlayabilir.
- Materyal seçimi yapılırken, sadece üretim kolaylığı veya biyouyumluluk değil, aynı zamanda sterilizasyon sonrası mekanik performansın korunabilirliği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Sonuç olarak, sterilizasyon sıcaklığı ve süre parametreleri ile örnek kalınlığı arasındaki etkileşim, cerrahi rehberlerin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, her klinik durumda spesifik ihtiyaçlara göre uyarlanmış sterilizasyon stratejileri tercih edilmelidir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, dijital diş hekimliğinde giderek artan öneme sahip üç boyutlu yazıcılarla üretilen cerrahi rehberlerin, klinik kullanım öncesi karşılaştıkları en kritik süreçlerden biri olan sterilizasyona karşı yapısal ve fonksiyonel dayanımını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. DLP teknolojisi kullanılarak cerrahi rehberlerin reçinesiyle üretilmiş toplam 12 örnek, iki farklı basınçlı buharla sterilizasyon protokolüne (121°C 20 dakika ve 134°C 20 dakika) tabi tutulmuş; ardından mekanik özellikleri (*Young Modulus*, maksimum basma dayanımı) ve boyutsal stabiliteleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Elde edilen veriler, materyalin maksimum yük taşıma kapasitesinin sterilizasyon öncesi ve sonrası büyük oranda korunduğunu ortaya koyarken, elastikiyet değerlerinde özellikle çap ve sıcaklıkla ilişkili değişimlerin gözlemlenmesi, basınçlı buharla sterilizasyonunun materyal mikroyapısı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, sterilizasyon sürecinin yalnızca biyolojik temizlik amacı taşımadığını, aynı zamanda materyal davranışını doğrudan etkileyebilen bir fiziksel stres faktörü olduğunu ortaya koymuştur.

Boyutsal analizler ise materyalin ölçüsel stabilitesinin genel olarak korunabildiğini, ancak yüksek sıcaklık ve düşük hacim kombinasyonunda mikroskobik deformasyon riskinin arttığını göstermiştir. Özellikle 134°C'deki örneklerde gözlemlenen kenar düzleşmeleri ve yüzey dalgalanmaları, polimer zincirlerinin camsı geçiş sıcaklığına yaklaşmasıyla ortaya çıkan termal gevşemeye bağlıdır. Bu durum, klinik uygulamalarda birebir uyumun gerekli olduğu hassas implant yerleştirmelerinde potansiyel risk oluşturabilir.

Çalışmanın bir diğer önemli sonucu, aynı sterilizasyon süresine rağmen farklı sıcaklık seviyelerinin materyal üzerinde farklı etkiler yaratmasıdır. 121°C, daha düşük sıcaklığı sayesinde polimer zincirlerine daha az zarar vermiş; buna karşın 134°C'de daha belirgin sertleşme, daha düşük elastikiyet ve yer yer yüzeysel deformasyonlar gözlenmiştir. Bu bulgu, sıcaklık eşiklerinin dikkatle belirlenmesi gerektiğini ve

malzeme türüne göre farklı sterilizasyon rejimlerinin tercih edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Bu bağlamda, cerrahi rehberler gibi tıbbi sınıf reçinelerin DLP teknolojisiyle üretildikten sonra klinik kullanıma hazırlık sürecinde uygulanacak sterilizasyon protokolünün seçimi büyük önem arz etmektedir. Bu reçine, yüksek basma dayanımı ve genel ölçüsel stabilitesi ile sterilizasyon sonrası yapısal dayanımını büyük ölçüde korumuş; ancak elastikiyet gibi özelliklerde gözlenen değişimler, farklı kullanım senaryolarında klinik performansı etkileyebilecek düzeyde olabilir.

Bu tez, yalnızca deneysel bir değerlendirme sunmakla kalmamış, aynı zamanda literatürde sınırlı sayıda bulunan DLP ve cerrahi rehberlerin özelinde karşılaştırmalı sterilizasyon etkilerini inceleyen kapsamlı bir çalışma olarak öne çıkmaktadır. Elde edilen bulgular, hem malzeme bilimciler hem de klinisyenler için yeni araştırma alanları ve uygulama rehberleri sunmaktadır.

6.1. Klinik Öneriler:

İnce çaplı cerrahi rehberlerde 121°C sterilizasyon protokolü, yüzey deformasyon riskini azaltmak adına daha güvenli olabilir.

134°C sterilizasyon, daha rijit rehber elde etmek isteyen ancak potansiyel deformasyon riskini tolere edebilecek klinikler durumlar (geniş çaplı implantlar) için değerlendirilebilir.

UV post-curing işleminin süresi, kullanılan yazıcının ışık gücü (örneğin *PowerCure* cihazı) ve reçinenin optik emilim özellikleri sterilizasyona hazırlık açısından optimize edilmelidir.

6.2. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler:

Farklı ticari reçinelerle yapılacak benzer çalışmalar, elde edilen sonuçların genellenebilirliğini artıracaktır.

Alternatif sterilizasyon yöntemleri (örneğin düşük sıcaklıklı plazma, etilen oksit, UV ışını) ile karşılaştırmalı analizler yapılmalıdır.

Uzun vadeli kullanım senaryoları, tekrarlı sterilizasyon etkileri ve yaşlandırma testleriyle desteklenmiş çalışmalar gereklidir.

Cerrahi rehberin kullanım sonrası klinik doğruluğu, *in-vivo* testlerle desteklenmelidir.

7. KAYNAKLAR

1. Badreddine Labakoum, Amr Farhan, Lhoucine Ben Taleb, Azeddine Mouhsen, Aissam Lyazidi, Effects of Autoclaving and Disinfection on 3D Surgical Guides Using LCD Technology. 2024 Apr 24;10:14.
2. Gréta Török, Péter Gombocz, Eszter Bognár, Péter Nagy, Elek Dinya, Barbara Kispélyi, Péter Hermann, Effects of disinfection and sterilization on the dimensional changes and mechanical properties of 3D printed surgical guides. 2020 Jan 23;20(1):19.
3. Christine Yazigi, M Sad Chaar, Reinhard Busch, Matthias Kern, The Effect of Sterilization on the Accuracy and Fit of 3D-Printed Surgical Guides. 2023 Jul 28;16(15):5305.
4. Silvia Izabella Pop, Mircea Dudescu, Sorin Gheorghe Mihali, Mariana Păcurar, Dana Cristina Bratu, Effects of Disinfection and Steam Sterilization on the Mechanical Properties of 3D SLA- and DLP-Printed Surgical Guides for Orthodontic Implant Placement. 2022 May 21;14(10):2107
5. Neha Sharma, Shuaishuai Cao, Bilal Msallem, Christoph Kunz, Philipp Brantner, Philipp Honigmann, Florian M Thieringer, Effects of Steam Sterilization on 3D Printed Biocompatible Resin Materials for Surgical Guides—An Accuracy Assessment Study. 2020 May 17;9(5):1506.
6. Arnau Valls-Esteve, Pamela Lustig-Gainza, Nuria Adell-Gomez, Aitor Tejo-Otero, Marti Englí-Rueda, Estibaliz Julian-Alvarez, Osmeli Navarro-Sureda, Felip Fenollosa-Artés, Josep Rubio-Palau, Lucas Krauel, Josep Munuera, A state-of-the-art guide about the effects of sterilization processes on 3D-printed materials for surgical planning and medical applications. 2023 May 17;9(5):756.
7. Roland Told, Zoltan Ujfalusi, Attila Pentek, Monika Kerenyi, Krisztina Banfai, Andras V izi, Peter Szabo, Szilvia Melegh, Judit Bovari-Biri, Judit E. Pongracz, Peter Maroti, A state-of-the-art guide to the sterilization of thermoplastic polymers and resin materials used in additive manufacturing of medical devices. November 2022, 111119
8. Jeremy Wiseman, Thampi Rawther, Marc Langbart, Michael Kernohan, Quan Ngo, Sterilization of bedside 3D-printed devices for use in the operating room. March 2022, 100045
9. Wei Long Ng, Jia An, Chee Kai Chua,Process, material, and regulatory considerations for 3D printed medical devices and tissue constructs. 2024.01.028.

10. Felix Burkhardt, Leon Handermann, Severin Rothlauf, Aiste Gintaute, Kirstin Vach, Benedikt C Spies, Jörg Lüchtenborg, Accuracy of additively manufactured and steam sterilized surgical guides by means of continuous liquid interface production, stereolithography, digital light processing, and fused filament fabrication. 2024 Apr:152:106418.
11. Jin, Su-Jin, Dong-Yeon Kim, Ji-Hwan Kim, Woong-Chul Kim. Accuracy of Dental Replica Models Using Photopolymer Materials in Additive Manufacturing: In Vitro Three-Dimensional Evaluation. J Prosthodont. 2018 Jul 2;28(2):e557–e562.
12. 1. Fuentes CA, De La Peña CA, Estrada EM. Three-Dimensional Printing in Biomedical Applications: Effects of Steam Sterilization on Polymer Materials. Polymers. 2022;14:855.
13. 2. Lan H, Lin Y, Lin Y, Li J, Zheng J, Ma J, Xu Y. Influence of Material, Sterilization, and Disinfection on the Accuracy of Additively Manufactured Surgical Guides for Oral Implant Surgery: A Systematic Review. Clinical Oral Implants Research. 2024;35(1):13–28.
14. Charles Hull, Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography, 1986.
15. Frederik Rengier, Arindam Mehndiratta, Holger von Tengg-Kobligk, Christoph M. Zechmann, Rüdiger Unterhinninghofen, Hans-Ulrich Kauczor, Felix L. Giesel, 3D printing based on imaging data: review of medical applications, 2010 Jul;5(4):335–341.
16. Amir Afshari, Reza Shahmohammadi, Seyed Ahmad Mosaddad, Kaveh Abbasi, Free-Hand versus Surgical Guide Implant Placement, 2022; Volume 2022: Article ID 6491134.
17. Ömer Muhammed Yüceer, Elif Kaynak Öztürk, Ece Sena Çiçek, Nurettin Aktaş, Merve Bankoğlu Güngör, Three-Dimensional-Printed Photopolymer Resin Materials: A Narrative Review on Their Production Techniques and Applications in Dentistry, 2025 Feb;17(3):316.
18. Dimitris N. Tatakis, Hsi-Hsiu Chien, Andreas O. Parashis, Guided implant surgery risks and their prevention, Periodontology 2000, 2019; 81(1): 194–208.
19. Young-Ah Jin, John Plott, Ruifeng Chen, Jon Wensman, Albert Shih, Additive Manufacturing of Custom Orthoses and Prostheses—A Review, Procedia CIRP, 2015; 36:199–204.

8. EKLER

Ek-1 Etik Kurul Kararı

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR ETİK KURUL KARARI

Sayın Prof.Dr.Aliye Akcalı

Araştırmanıza ilişkin Kurulumuz kararı aşağıda sunulmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederiz.

ETİK KOMİSYONUN ADI	**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSEL OLMAYAN ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU**
AÇIK ADRES	**Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı 2. Kat İnciraltı-İZMİR**
TELEFON	**0 232 412 22 54-0 232 412 22 58**
FAKS	**0 232 412 22 43**
E-POSTA	**goaek@deu.edu.tr**

BAŞVURU BİLGİLERİ	DOSYA NO:	7940-GOA	
	ARAŞTIRMA	UZMANLIK TEZİ ☐ MÜNFERİT ARAŞTIRMA ☐ ÖÇM ☐ YÜKSEKLİSANS ☒ DOKTORA ☐	
	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	**Üç boyutlu yazıcı ile basılan implant cerrahisi rehberlerinin farklı yöntemlerle sterilizasyonu sonrası termal ve mekanik karakterizasyonu-in-vitro çalışma**	
	ARAŞTIRMA PROTOKOL KODU		
	SORUMLU ARAŞTIRMACI ÜNVANI/ADI/SOYADI ve UZMANLIK ALANI	Prof.Dr.Aliye Akcalı Dental Biyomalzemeler A.D.	
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☒	ÇOK MERKEZLİ☐

	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	Mevcut		Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	ARAŞTIRMA İLE İLGİLİ LİTERATÜR	Mevcut		Türkçe ☐ İngilizce ☒ Diğer ☐
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	Mevcut		Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐
	OLGU RAPOR FORMU	Mevcut		Türkçe ☒ İngilizce ☐ Diğer ☐

)

KARAR BİLGİLERİ	**Karar No:2023/09-30**	**Tarih:22.03.2023**
	Prof.Dr.Aliye Akcalı'nın sorumlusu olduğu **"Üç boyutlu yazıcı ile basılan implant cerrahisi rehberlerinin farklı yöntemlerle sterilizasyonu sonrası termal ve mekanik karakterizasyonu-in-vitro çalışma"** isimli klinik araştırmaya ait başvuru dosyası ve ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş, araştırmanın mevcut haliyle etik yönden uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmiştir.	

ETİK KURUL BİLGİLERİ	
ÇALIŞMA ESASI	Dokuz Eylül Üniversitesi Girişimsel Olmayan Araştırmalar Etik Kurulu İşleyiş Yönergesi İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu

ETİK KURUL ÜYELERİ

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile İlişkili mi?		İmza
Prof.Dr.Mehmet Birhan Yılmaz (Başkan)	Kardiyoloji	DEÜ Tıp Fakültesi Dahili Tıp Bilimleri Bölümü	Erkek	E ☐	H ☒	
Prof.Dr. Şükran Köse (Başkan Yardımcısı)	Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı	DEÜ Tıp Fakültesi Dahili Tıp Bilimleri Bölümü	Kadın	E ☐	H ☒	
Prof.Dr. Ahmet Okay Çağlayan	Moleküler Tıp	Sağlık Bilimleri Enstitüsü	Erkek	E ☐	H ☒	
Prof.Dr. Suna Asilsoy	Çocuk Sağlığı Ve Hastalıkları	DEÜ Tıp Fakültesi Dahili Tıp Bilimleri Bölümü	Kadın	E ☐	H ☒	
Prof.Dr. Aylin Özgen Alpaydın	Göğüs Hastalıkları	DEÜ Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	
Prof.Dr. Aliye Akcalı	Periodontoloji	Diş Hekimliği Fakültesi	Kadın	E ☒	H ☐	
Prof.Dr. Hatice Şimşek Keskin	Halk Sağlığı	DEÜ Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	
Doç.Dr.Seher Özyürek	Muskuloskeletal Fizyoterapi	DEÜ Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Fakültesi	Kadın	E ☐	H ☒	
Doç.Dr.Nil Hocaoğlu Aksay	Tıbbi Farmakoloji	DEÜ Tıp Fakültesi Tıbbi Farmakoloji Anabilim Dalı	Kadın	E ☐	H ☒	
Doç.Dr. Meryem Öztürk Haney	Halk Sağlığı Hemşireliği	Hemşirelik Fakültesi Halk Sağlığı Hemşireliği	Kadın	E ☐	H ☒	
Doç.Dr. Şule Özbilgin	Anesteziyoloji ve Reanimasyon	DEÜ Tıp Fakültesi Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü	Kadın	E ☐	H ☒	
Doç.Dr.Tolga Şahin	Spor Yönetim Bilimleri	Necat Hepkon Spor Bilimleri Fakültesi	Erkek	E ☐	H ☒	
Dr.Öğr.Üyesi Gamze Tuna	Tıbbi Biyokimya	Sağlık Bilimleri Enstitüsü	Kadın	E ☐	H ☒	

Prof.Dr. Aliye Akcalı çalışmada sorumlu araştırmacı olduğu için çalışma görüşülürken toplantıda bulunmamıştır.

Ek-2 ARBIS Özgeçmiş



SUNDUS HEKİMOĞLU

Kişisel Bilgiler

İletişim Bilgileri

İletişim Adresi

Telefon

E-posta

İnternet Sayfası

Öğrenim Bilgileri

07 Şubat 2022 - Şu Anda (3 yıl 1 ay)
Yüksek Lisans, Tezli Program, DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ, TÜRKİYE
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, DENTAL BİYOMALZEMELER (YL) (TEZLİ)
Ağırlıklı Genel Not Ortalaması: 3.89 / 4.0

07 Ekim 2020 - 23 Mayıs 2022 (1 yıl 8 ay)
Ön Lisans, Açıköğretim, ANADOLU ÜNİVERSİTESİ, TÜRKİYE
AÇIKÖĞRETİM FAKÜLTESİ, İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ PR. (AÇIKÖĞRETİM)
Diploma Numarası: 2022-70420
Ağırlıklı Genel Not Ortalaması: 2.29 / 4.0

22 Eylül 2014 - 21 Haziran 2020 (5 yıl 9 ay)
Lisans, Anadal/Normal Öğretim, EGE ÜNİVERSİTESİ, TÜRKİYE
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ, DİŞ HEKİMLİĞİ PR.
Diploma Numarası: 2019/02/0144
Ağırlıklı Genel Not Ortalaması: 3.02 / 4.0

Yabancı Dil Bilgileri

İNGİLİZCE (Okuma: İyi, Yazma: İyi, Konuşma: İyi)

ARAPÇA (Okuma: İyi, Yazma: İyi, Konuşma: İyi)