

T.C.
İstanbul
YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**ÜÇ BOYUTLU BİYOÇÖZÜNÜR İMPLANT
FİKSATÖRLERİNİN TASARIMSAL ÖZELLİKLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammed Mahmood Hasan HASAN

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Ercüment Özer

İSTANBUL

Şubat 2021

T.C.
İstanbul
YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 26/2/2021

Tez Danışmanı

Dr. Öğ. Üyesi Ercüment ÖZER

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğ. Üyesi Ercüment ÖZER

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi

Dr. Öğ. Üyesi Şakir ALTINSOY

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi

Prof. Dr. Betül TAŞDELEN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

ETİK BEYAN

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

26 /02/2021

Mohammed Mahmood Hasan HASAN

TEŞEKKÜR

Bilgisi, desteği ve cesaretlendirmesiyle çalışmamın her adımında bana yol gösteren tez danışmanım İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü Dr. Öğretim Üyesi Ercüment Özer'e minnettar olduğumu belirtmek isterim ve tüm katkıları ve yardımları için teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Bu tezi hazırlarken desteği ve rehberliğiyle her zaman yanımda oldu.

Tez çalışmam için bana her türlü desteği sağlayan MBH Mühendislik Bilimleri ve Hortikültür Derneği'ne teşekkür ederim.

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü Dr. Öğretim Üyesi Şakir ALTINSOY'a testlerimi yaptırmama sağladığı yardım ve gerekli olduğu durumlarda Türkçe-Arapça iletişim kurabilmeme verdiği destek için teşekkür ederim.

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Tülay İREZ'e tezimde kullandığım bazı temel kaynakçaları sağlamış olduğu için teşekkür ederim.

Tez çalışmamla ilgili verdiği görüş ve yorumları için Ortopedi ve Travmatoloji Uzman Doktoru Op. Dr. Mustafa YERLİ'ye teşekkür ederim.

Ayrıca, Yeni Yüzyıl Üniversitesi'nin Biyomedikal Mühendisliği Bölümü'nün tüm öğretim üyelerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

KABUL ONAY.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
DENKLEM LİSTESİ.....	ix
TERMİNOLOJİ.....	x
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bakış.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Tezin Düzeni.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1 Fiksasyon.....	3
2.2 Fiksator Türleri.....	3
2.2.1 Plakalar.....	3
2.2.2 Çiviler.....	3
2.2.3 Pinler, Teller, Vidalar.....	3
2.3 Fiksator Biyomalzemeleri.....	4
2.3.1 Metaller.....	4
2.3.2 Seramikler.....	5
2.3.3 Polimerler.....	6
2.4 Laktik Asit Bazlı Polimerlerin Özellikleri.....	6

2.4.1 Fiziksel Özellikler.....	6
2.4.2 Mekanik Özellikler.....	7
2.5 Biyobozunur Fiksator Sterilizasyonu.....	7
3. TEORİ.....	8
3.1 Matematiksel Birim Tanımı.....	8
3.2 Matematiksel Plak.....	8
3.2.1 2 mm Kalınlığındaki Plaklar.....	8
3.2.1.1 Düz Plak (P-S-2).....	8
3.2.1.2 Tek Delikli Plak (P-1H-2).....	9
3.2.1.3 Tek Delikli ve Destekli Plak (P-H-WS-2).....	9
3.2.1.4 Altı Delikli Plak (P-6H-2).....	10
3.2.1.5 Altı Delikli ve Destekli Plak (P-6H-WS-2).....	10
3.2.2 4 mm Kalınlığındaki Plaklar.....	10
3.2.2.1 Düz Plak (P-S-4).....	10
3.2.2.2 Tek Delikli Plak (P-1H-4).....	10
3.2.2.3 Tek Delikli ve Destekli Plak (P-H-WS-4).....	11
3.2.2.4 Altı Delikli Plak (P-6H-4).....	11
3.2.2.5 Altı Delikli ve Destekli Plak (P-6H-WS-4).....	11
3.2.3 6 mm Kalınlığındaki Plaklar.....	11
3.2.3.1 Düz Plak (P-S-6).....	11
3.2.3.2 Tek Delikli Plak (P-1H-6).....	11
3.2.3.3 Tek Delikli ve Destekli Plak (P-1H-WS-6).....	12
3.2.3.4 Altı Delikli Plak (P-6H-6).....	12
3.2.3.5 Altı Delikli ve Destekli Plak (P-6H-WS-6).....	12
3.3 Kanüllü Süngerimsi Vida Ø 6.5 mm Düz Diş.....	12
3.3.1 30 mm Uzunluğundaki Düz Vidalar (Sc-S-3).....	13
3.3.2 İçinde 2 mm'lik Delik Olan 30 mm Uzunluğundaki Vida (Sc-H-3)..	13

3.3.3 50 mm Uzunluğundaki Düz Vida (Sc-S-5).....	14
3.3.4 İçinde 2 mm'lik Delik Olan 50 mm Uzunluğundaki Vida (Sc-H-5). ..	14
3.3.5 70 mm Uzunluğundaki Düz Vida (Sc-S-7).....	14
3.3.6 İçinde 2 mm'lik Delik Olan 70 mm Uzunluğundaki Vida (Sc-H-7). ..	14
4. MALZEME VE YÖNTEM	15
4.1. Polilaktik Asit (PLA).....	15
4.2. Model Tasarımı ve Ürün	15
4.2.1 Plak Modelleri.....	16
4.2.1.1 2 mm Kalınlığındaki Plak.....	16
4.2.1.2 4 mm Kalınlığındaki Plak.....	16
4.2.1.3 6 mm Kalınlığındaki Plak.....	16
4.2.2 Vida Modelleri.....	16
4.3 Ultimaker Cura 4.7.....	19
4.4 Üç Boyutlu (3D) Yazıcı.....	20
4.5 Test Türleri.....	20
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	24
5.1 Test Sonuçları.....	24
5.1.1 Üç Noktalı Bükme Testi.....	24
5.1.2 Çekme Testi Sonuçları.....	25
5.1.3 Tork Testi Sonuçları.....	27
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	30
6.1 Gelecekteki Çalışmalar.....	31
AKYNAKÇA.....	32
EK A.....	35
EK B.....	40

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 İç fiksasyon plak çeşitleri.....	4
Şekil 3.1 Vida çapı.....	13
Şekil 4.1 2 mm Kalınlığındaki plağın üç farklı modeli (düz, tek delikli, destekli delikli).....	17
Şekil 4.2 4 mm Kalınlığında DCP Plaklar (düz Plak (P-S-4), 6 delikli plak (P-6H-4), 6 delikli ve destekli plak (P-6H-WS-4)).....	17
Şekil 4.3 2 mm Kalınlığındaki plağın üç farklı modeli (düz, tek delikli, destekli delikli).....	18
Şekil 4.4 Süngerimsi kanüllü vida Ø 6,5 mm düz diş (düz vida uzunluğu 30 mm (Sc-S-3), vida delik çapı 2 mm (Sc-H-3)).....	18
Şekil 4.5 İç aktarılan ve Ultimaker Cure 4.7 programında görüntülenen model	19
Şekil 4.6 Kalibrasyonu manuel olarak seviyelendirme	21
Şekil 4.7 Vida modellerinin baskısı.....	21
Şekil 4.8 Baskısı yapılan 3D plak numuneleri.....	22
Şekil 4.9 Baskısı yapılan 3D vida numuneleri.....	22
Şekil 4.10 Plaklara uygulanan üç noktalı bükme testi.....	23
Şekil 4.11 Vida testleri. (a) Çekme testi. (b) Tork testi.....	23
Şekil 5.1 Yüzey alanı ile üç noktalı bükme testi 6 delikli plaka and 6 delikli ve destekli plaka ilişkisi.....	26
Şekil 5.2 Ağırlık ile üç noktalı bükme testi 6 delikli plaka and 6 delikli ve destekli plaka ilişkisi.....	26
Şekil 5.3 Vidalarda yüzey alanı ile çekme ilişkisi.....	28
Şekil 5.4 Vidalarda ağırlık ile ilgili çekme testi.....	28
Şekil 5.5 Vida uzunluğuna bağlı olarak tork testi (Newton cinsinden)	29

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kemik fiksasyonu için kullanılan metal ve alaşımlar.....	5
Tablo 2.2 İnsan kemiği ile bağlantılı bazı seramiklerin mekanik özellikleri.....	6
Tablo 4.1 Vida ve Plakların tasarım ve baskı parametreleri için kullanılan boyutlar	15
Tablo 5.1 Plak tasarımlarına uygulanan üç noktalı bükme testinin sonuçları.....	24
Tablo 5.2 Vida tasarımlarının çekme testi sonuçları.....	26
Tablo 5.3 Vida tasarımlarının tork testi sonuçları	28

DENKLEM LİSTESİ

- $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ Eq.1
- Yüzey alanı (P-S-2) = $2lw + 2lh + 2wh$ Eq.2
- Dairesel Uçların Yüzey Alanı = $\pi (R^2 + r^2)$ Eq.3
- Yanal Y.A. = $\pi (R + r) \sqrt{(R + r)^2 + h^2}$ Eq.4
- (P-1H-2)'nin Y.A. = (P-S-2)'nin Y.A. + Deliğın Yanal Y.A. - Üst ve Alt Yüzey Alanı Eq.5
- (P-1H-WS-2)'nin Y.A. = (P-1H-2)'nin Y.A. + Desteğın Y.A. Eq.6
- (P-6H-2)'nin Y.A. = (P-S-2)'nin Y.A. + 6 (Deliğın Yanal Y.A. - Üst ve Alt Y.A.) Eq.7
- (P-6H-WS-2)'nin Y.A. = (P-6H-2)'nin Y.A. + Altı Delikli Deliğın Y.A. Eq.8
- Vida Başı Ve Ucunun Yüzey Alanı = $\pi \times f \times e + 2 \times \pi \left[\frac{f}{2} \right]$ Eq.9
- Dişlerin yüzey alanı = $\pi \times \left\{ \left[\frac{b}{2} \right] - \left[\frac{a}{2} \right] \right\} \times \frac{d}{c} \times 2 \times \frac{2}{\sqrt{3}}$ Eq.10
- Toplam Vida Yüzey Alanı = Vida Başının Ve Ucunun Y.A. + Dişlerin Y.A. Eq.11

TERMİNOLOJİ

OTA	Ortopedik travma derneği
TCP	Tri-kalsiyum fosfat
BG	Biyoaktif cam
CaP	Kalsiyum fosfat
Ti	Titanyum
PLA	Polilaktik asit
PLLA	Poli-L-laktik asit
PDLLA	Poly-D L-laktik asit.
PGA	Poliglikolik asit
PLGA	Poli (laktik koglikolik asit).
PCL	Poli-kaprolakton
PDS	Polidioksanon
PGA-TMC	Poli (glikolid-ko-trimetilen karbonat).
ρ	Polimer yoğunluğu
σ	Çekme mukavemeti
E	Çekme modülü
ε	En yüksek gerinim
σ^*	Özgül çekme mukavemeti
E^*	Özgül çekme modülü
Tg	Cam geçiş sıcaklığı
Tm	Erime sıcaklığı

am ^b	Amorf yani erime noktası yoktur
Y.A.	Yüzey alanı
STL	Stereolitografya formatı



ÖZET

ÜÇ BOYUTLU BİYOÇÖZÜNÜR İMPLANT FİKSATÖRLERİNİN TASARIMSAL ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mohammed Mahmood Hasan HASAN
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi. Ercüment Özer
Şubat 2021, 64 sayfa

Bu çalışmada, biyoyumlu ve biyoçözünür bir malzeme olan natürel polilaktit kullanılarak üretilen temel ortopedik fiksatorler (plakalar ve vidalar) tasarım ve tasarıma bağlı dayanıklılık özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Biyoçözünür oldukları için cerrahi müdahale ile vücuttan çıkartılması gerekmeyen ve Manyetik Rezonans (MR) görüntülemelerine engel olmayan polilaktit esaslı plakalar ve vidalar, altışar farklı tasarım kullanılarak 3B yazıcıda (üç boyutlu yazıcı) üretildiler ve "üç-nokta eğilme", "çekme" ve "tork" testlerine tabi tutuldular. Plakalar için 2, 4 ve 6 mm kalınlıkta ve "deliksiz", "1 delikli" ve "6 delikli" olmak üzere 9 farklı model tasarlandı, natürel polilaktit kullanılarak üretildi ve "üç-nokta eğilme" testlerine tabi tutuldu. Test sonuçları Hataların Kareleri Toplamı Yöntemi kullanılarak modellendi. Plak kalınlıkları inceldikçe, vida delikleri çevresinde genişletme yapılmasının "üç-nokta eğilmeye" karşı dayanıklılığı belirgin şekilde arttırdığı tespit edildi. Vidalar için 30, 50 ve 70 mm uzunluklarda, içi oyuk (kanüllü) ve içi dolu olmak üzere 6 farklı model tasarlandı, tasarımlar 3B yazıcıda natürel polilaktit kullanılarak üretildiler ve "çekme" ve "tork" testlerine tabi tutuldular. Çekme testlerinde dolu vidaların kanüllü vidalara göre % 30,0 ile % 44,4 arasında daha dayanıklı oldukları gözlemlenirken, tork testlerinde kanüllü vidaların dolu vidalara oranla % 300 daha dayanıklı oldukları gözlemlendi.

Anahtar kelimeler: ortopedik fiksator, polilaktik asit, polilaktit, PLA

ABSTRACT

COMPARISON OF DESIGN ASPECTS OF BIODEGRADABLE THREE-DIMENSIONAL IMPLANT FIXATORS

Mohammed Mahmood Hasan HASAN
Istanbul Yeni Yuzyil University, Science and Engineering Institute
Master Thesis, Biomedical Engineering Department
Supervisor: Dr. Ercüment Özer
February 2021, 64 pages

In this investigation, basic orthopedic fixators (plates and screws) that are produced by using natural polylactide, a biocompatible and biodegradable material, were compared based on their designs and design related aspects. The plates and screws were produced in 3D printer (three-dimensional printer) by using six different designs for each category and using natural polylactide, that does not require a removal with surgical operation and does not block Magnetic Resonance (MR) imaging, and subjected to "three-point flexural", "strain" and "torque" tests. For the plates, 9 different models were designed for 2, 4 and 6 mm thicknesses with "no hole", "1 hole" and "6 holes" and are produced with natural polylactide and subjected to "three-point flexural" testing. Test results were modelled using Residual Sum of Squares method. It is observed that, as the plate thickness gets thinner, the need for the strengthening around the holes significantly increases to increase the resistance against three-point flexing. For the screws, 6 different models were designed with holes (cannulated) and without holes (solid) for three different lengths, and the designs were produced in 3D printer using natural polylactide and subjected to "strain" and "torque" tests. In the strain tests, it is observed that the solid screws are 30,0 % to 44,4 % more resistant to strain, while cannulated screws are 300 % more resistant than the solid screws againsts torques.

Keywords: orthopedic fixator, polylactic acid, polylactide, PLA.

1. GİRİŞ

1.1 Genel Bakış

Dünya genelinde her yıl çeşitli nedenlerden dolayı gerçekleşmiş olan ve cerrahi müdahale gerektiren 2 milyondan fazla kırık ortaya çıkmaktadır [1, 2]. Çeşitli kırık sınıflandırmaları mevcuttur ve bu sınıflandırmalar, hangi kemiğin kırıldığı, nereden kırıldığı, geometrisi, alt grubu (basit, karmaşık v.d.) gibi detayları içermektedir [3]. Ortopedi doktorları ameliyatlarda genellikle plak, çivi, pin, tel, vida ve benzeri araçları kullanarak kemik ve tendonları tedavi ederler, [4]. Paslanmaz çelik gibi sağlam metalden yapılan sabitleyiciler, kırık kemiklerin sağlam bir şekilde birleştirilmesini sağlarlar da zaman içerisinde başka sorunlara yol açmaktadırlar, çünkü ya sonsuza kadar konuldukları yerde bırakılmaları, ya da ikinci bir cerrahi operasyonla çıkartılmaları gerekmektedir ve bu da sabitleyicilerle ilgili hastalık risklerini arttırmaktadır [5]. Dolayısıyla, vücutta çözünebilir (biyouyumlu ve biyobozunur) fiksatorlerin geliştirilmesine ve tasarlanmasına ihtiyaç doğmaktadır çünkü biyouyumlu ve biyobozunur polimerler birkaç aydan birkaç yıla kadar süren bir aralıkta vücutta absorbe edilmektedirler ve çıkarılmaları için herhangi bir cerrahi müdahaleye gerek olmamaktadır [5]. Ayrıca, vücut fonksiyonlarını engellemezler, ciddi yan etkileri yoktur ve MR görüntülerini engellemezler [5].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, yeni tasarımlara temel teşkil etmek üzere, biyouyumlu ve biyoçözünür bir malzeme olan natürel polilaktit kullanılarak üretilen temel ortopedik fiksatorleri (plakaları ve vidaları) tasarım ve tasarıma bağlı dayanıklılık özellikleri açısından karşılaştırmaktır.

1.3 Tezin Düzeni

Bu tez altı ana bölümden oluşmaktadır. LİTERATÜR TARAMASI başlıklı 2. BÖLÜM, kırık fiksasyonu ve fiksatorleri ile ilgili yapılan en son araştırmaları ve konuyla ilgili temel

literatür bilgilerini içermektedir. TEORİ başlıklı 3. BÖLÜM'de, bu çalışmada esas alınan ve kullanılan temel kuramlar bulunmaktadır. 4. BÖLÜM'de, MALZEME VE YÖNTEM bölümünde, bu çalışmada kullanılan malzeme ve yöntemler listelemiştir. BULGULAR bölümünde, 5. BÖLÜM, elde edilen deneysel sonuçları ve grafikler yer almaktadır. TARTIŞMA VE SONUÇ başlıklı 6. BÖLÜM ise deneysel bulguların yorumlanmasını, ulaşılan sonuçları ve gelecekteki çalışmalar için önerileri içermektedir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Fiksasyon

Kırık fiksasyonu, kırık kemiğin iyileşmesine yardımcı olmak için kullanılan tüm alet ve sistemleri kapsayan genel bir terim olup, tüm iç ve dış fiksasyon yöntemlerinin araçlarını ve malzemelerini, örneğin vidaları, plakları, çivileri, pinleri, saçları ve telleri kapsar [6]. İç fiksasyon tekniği ise sağladığı yüksek iyileşme oranları nedeniyle ortopedik cerrahideki en büyük ilerlemelerden birisi kabul edilir [6].

2.2 Fiksator Türleri

2.2.1 Plakalar

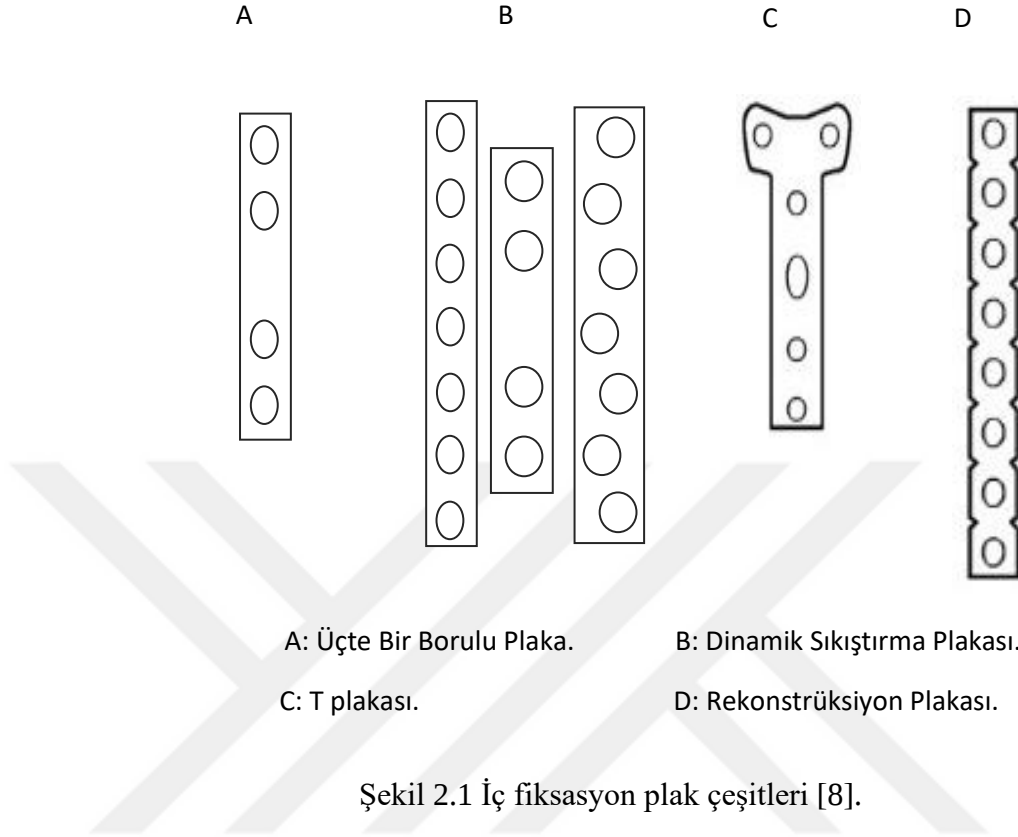
İç fiksasyonda kemik plakları en popüler implantlardır [2]. Kemik plaklarının yapısı ve malzemeleri, iyi bir biyomekanik mikro ortam altında kemik iyileştirme gereksinimlerini karşılamak amacıyla uzun bir evrim geçirmiştir [7]. Operatör doktor, kırığın bulunduğu yere ve şekline bağlı olarak vida tipine karar verir [8].

2.2.2 Çiviler

Çiviler, uyluk kemiği ve kaval kemiği gibi bazı uzun kemik kırıklarında, kemik parçalarını bir arada tutmakta kullanılırlar ve bazen de kırığın kısalmasını veya dönmesini önlemek ve kırık iyileşene kadar çiviye yerinde tutmak için çiviyle birlikte vidalar da kullanılır [9, 10, 11].

2.2.3 Pinler, Teller, Vidalar

Özellikle vidalarla tutturulamayacak kadar zayıf olan kemik parçalarını bir arada tutmak için teller de kullanılır fakat teller genellikle diğer iç fiksasyon yöntemleriyle birlikte kullanılırlar [4]. Ortopedik pinler, temelde yivsiz vidalar olarak da tanımlanabilirler [12]. Vidalar ise en temel ve yaygın kullanılan sabitleyici formu olup kanüllü (içi oyuk) veya deliksiz olabilirler [12].



2.3 Fiksator Biyomalzemeleri

Kemik fiksasyonunda, ideal malzemelerin aşağıdaki özelliklere sahip olması gerektiği [13, 14].

- Biyoyumlu olmalıdır (örneğin, bağışıklık tepkisi tetiklememelidir).
- Yeterli mekanik kuvveti (fiziksel dayanıklılığı) olmalıdır.
- Biyoemilebilir olmalıdır (bozunabilir, metabolize olabilir ve vücuttan atılabilir olmalıdır, ve böylece ikinci operasyon ihtiyacını ortadan kaldırmalıdır).
- Bozunma sonuçları da biyoyumlu olmalıdır.
- Büyüyen doku ile dengeli olarak parçalanmalıdır, yani iyileşme sürecindeki mekanik ihtiyaçları karşılamalıdır.

2.3.1 Metaller

Tablo 2.1'de kemik fiksatorü imal etmekte kullanılan bazı metaller listelenmiştir [13].

Tablo 2.1 Kemik fiksatorü üretmekte kullanılan bazı metaller [13].

Metal / Alaşım	Özellikler			Ortopedik uygulama
	Mekanik Özellikler		Yorumlar	
	Elastisite Modülü (GPa)	Akma mukavemeti		
Paslanmaz Çelik (316L)	190	200-250	Biyouyumluluk, korozyon direnci, uygun maliyet	Kırık plakları, vidalar, kalça çivileri
Titanyum alaşımları	55-100	530-900	Düşük yoğunluk, mükemmel korozyon direnci	Kalça ve diz protezleri, protez sapları, kemik fiksasyonu için vida ve pinler
Co-Cr alaşımları	220-230	275-1585	Üstün mekanik özellikler, korozyon ve aşınma direnci	Protez sapları, total eklem değişiminde yük taşıyıcı bileşenler

2.3.2 Seramikler

Zirkonya, alümina gibi süngerimsi seramikler, implant uygulamalarında yaygın olarak kullanılan malzemelerdir ve biyoaktif camlar, kalsiyum fosfatlar ve cam-seramikler de kemik fiksatorü üretiminde 30 yılı aşkın süredir kullanılmaktadırlar [14]. Tablo 2.2, fiksator üretiminde kullanılan bazı seramiklerin mekanik dayanıklılıklarını göstermektedir.

Tablo 2.2 Fiksator üretiminde kullanılan bazı seramiklerin mekanik özellikleri [14].

Seramik	Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Young modülü (GPa)
Zirkonya	>2000	500	205
Alümina	2400	1138	345-410
Cam seramik A/W	1080	215	118
Kortikal kemik	100-230	50-150	7-30
Süngerimsi kemik	2-12	10-20	0,05-0,5
Trikalsiyum fosfat (TCP)	315	-	21

2.3.3 Polimerler

Poli-L-laktik asit (PLLA), poli-D L-laktik asit (PDLLA), poliglikolik asit (PGA), poli (laktik-ko-glikolik asit) (PLGA), polikaprolakton (PCL), polidioksanon (PDS), poli (glikolid-ko-trimetilen karbonat) (PGA-TMC) gibi bazı doğal veya sentetik polimerler fiksatorlerin geliştirilmesi ve üretimi için geçmişte denenmiştir ve halen de denenmektedir [15]. Bu polimerik malzemelerin biyobozunması, 6 nolu kaynakçada da mevcut olduğu üzere hidroliz ve enzimatik bozunma da dahil olmak üzere çeşitli mekanizmalar üzerinden gerçekleşir [6].

2.4. Laktik Asit Bazlı Polimerlerin Özellikleri

PLA kristalleri α , β ve γ formları olarak isimlendirilen farklı şekillerde oluşabilirler ve kristalliği PLA'nın çekme mukavemeti, sertlik, kırışıklık ve erime noktaları dahil olmak üzere birçok polimerik özelliğini etkileyebilirler [16, 17, 18].

2.4.1 Fiziksel Özellikler

Fiksatorlerde fiziksel özellikler önemlidir [19, 20, 21]. Bazı biyopolimerlere kıyasla PLA'nın özellikleri, 4 nolu kaynakçada detaylı olarak mevcuttur [4].

2.4.2 Mekanik Özellikler

PLA ve diğer biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerde mekanik tepki çoğu zaman doğrusal değildir [22]. Önemli mekanik özellikler arasında çekme mukavemeti bulunur ve bu nedenle, çekme mukavemetini etkileyen işleme sıcaklığı, kimyasal temas, kullanım sırasında oluşan gerilim gibi detayların dikkate alınması gerekti [23]. Bu özelliklerin tanımlanmasında kullanılan bazı değişkenler de şunlardır [24].

1. Elastisite modülü (Young modülü): kuvvetle birlikte basınç gerilimi anlamına gelir.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Eq.1}$$

- Elastisite modülü (E: Young modülü): kuvvetle birlikte basınç gerilimi anlamına gelir.
- σ : birim yüzey başına gerilim veya kuvvettir.
- ε : gerinim veya orantılı deformasyondur.

Hem E hem de σ basınç birimlerine sahipken ε ebatsızdır. Elastik modül tipik olarak o kadar büyüktür ki, paskal olarak değil megapaskal (MPa veya N/mm²) veya gigapaskal (GPa veya kN/mm²) olarak gösterilir.

2. Eğilme katsayısı: belirli bir çekmeye yanıt olarak eğilme gerilimi ve ortaya çıkan gerilme arasındaki ilişkiyi ölçer
3. Çekme mukavemeti: malzemenin kırılmadan önce dayanabileceği maksimum gerilme.
4. Maksimum gerinim: malzemenin esnekliği veya kırılmadan önce gösterilen toplam gerinim.

2.5 Biyobozunur Fiksator Sterilizasyonu

Biyolojik olarak parçalanabilen fiksatorler için kullanılan en yaygın ve temel sterilizasyon tekniği, hidrojen peroksitle sterilizasyondur [25]. Hidrojen peroksit biyobozunur malzemelerin sterilizasyonunda kullanılan oldukça yeni sayılabilecek bir yöntemdir ve steril edilecek malzemenin % 60 oranında hidrojen peroksit içeren bir ortamda yaklaşık yarım saat süreyle ve yaklaşık 50 °C derecede bulundurulması yeterli sterilizasyonu sağlayabilmektedir [26] .

3. TEORİ

3.1 Matematiksel Birim Tanımı

Newton (sembol: N), Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) kuvvet birimidir ve adını Sir Isaac Newton'dan alır. Bir newton, 1 kilogram ağırlığında bir cismin hızını, 1 saniye içerisinde 1 metre/saniye arttırmak için o cisme uygulanması gereken kuvvete denir [27]. Yüzey alanı bir 3D şekil üzerindeki tüm yüzlerin (veya yüzeylerin) alanlarının toplamını temsil eder [28].

3.2 Matematiksel Plak Hesapları

Düz plak tasarımının uzunluğu = 103 mm ve genişliği = 12 mm, üç farklı kalınlıkta (2, 4, 6) mm'dir ve her kalınlığın aşağıda gösterildiği gibi beş modeli vardır:

- Düz (Yekpare) Plak (P-S-Kalınlığı) örneğin (P-S-2).
- Tek Delikli plak (P-1H-Kalınlık).
- Tek Delikli ve Destekli Plak (P-1H-WS-Kalınlık).
- Altı Delikli Plak (P-6H-Kalınlık).
- Altı Delikli ve Destekli Plak (P-6H-WS-Kalınlık).

Tezin bu bölümünde her modelin Yüzey Alanının nasıl hesaplanacağı açıklanacaktır.

3.2.1 2 mm Kalınlığındaki Plaklar

3.2.1.1 Düz Plak (P-S-2)

Bir modelin yüzey alanı, yüzlerinin her birinin alanlarının toplamı ile hesaplanır:

$$(P-S-2)'nin \text{ Yüzey Alanı (Y.A.)} = 2lw + 2lh + 2wh \quad \text{Eq.2}$$

uzunluk (l), genişlik (w) ve yükseklik (h) ile temsil edilir.

$$(P-S-2)'nin \text{ Yüzey Alanı} = 2 \times (103 \times 12 + 103 \times 2 + 12 \times 2) = 2932 \text{ mm}^2.$$

3.2.1.2 Tek Delikli Plak (P-1H-2)

Bu modelin yüzey alanı, deliğin yanal yüzey alanının değeri, (P-S-2) 'nin yüzey alanına eklenerek ve ardından deliğin Üst ve Alt Yüzey Alanı çıkarılarak hesaplanır. Deliğin yüzey alanı, konik şeklin yüzey alanına eşittir ve üst ve alt dairesel alanlar (R ve r) ve yanal yüzeylerle temsil edilir. R = 4 mm, r = 3,35 mm ve (h) yani yükseklik = 2 mm.

Yüzey Alanı (Y.A.)

$$\text{Dairesel Uçların Yüzey Alanı (Y.A.)} = \pi (R^2 + r^2) \quad \text{Eq.3}$$

$$\text{Yanal yüzey alanı} = \pi (R + r) \sqrt{(R + r)^2 + h^2} \quad \text{Eq.4}$$

$$\text{Üst Yüzey Alanı} = \pi \times 3,35^2 = 35,25 \text{ mm}^2$$

$$\text{Alt Yüzey Alanı} = \pi \times 4^2 = 50,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Üst ve Alt Y.A.} = 35,25 + 50,2 = 85,45 \text{ mm}^2$$

$$\text{Yanal Y.A.} = \pi \times (4 + 3,35) \times \sqrt{(4 + 3,35)^2 + 2^2} = 48,55 \text{ mm}^2$$

$$\text{(P-1H-2)'nin Y.A.} = \text{(P-S-2)'nin Y.A.} + \text{Deliğin Yanal Y.A.} - \text{Üst ve Alt Y.A.} \quad \text{Eq.5}$$

$$\text{(P-1H-2)'nin Y.A.} = 2932 + 48,55 - 85,45 \text{ mm}^2 = 2895,1 \text{ mm}^2.$$

3.2.1.3 Tek Delikli ve Destekli Plak (P-H-WS-2)

Bu modelin yüzey alanı aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{(P-1H-WS-2)'nin Y.A.} = \text{(P-1H-2)'nin Y.A.} + \text{Desteğin Y.A.} \quad \text{Eq.6}$$

Destekte R = 8 mm, r = 6,7 mm ve h = 2 mm.

Destek parçasının yüzey alanı, Ek A Şekil A.2'de gösterildiği gibi deliğin etrafındaki konik şeklin yarısının iki parçasının yüzey alanına eşittir.

(WS)'nin Y.A. = Konik şeklin Y.A.

$$\begin{aligned} \text{(WS)'nin Y.A.} &= (\pi (R^2 + r^2) + \pi (R + r) \sqrt{(R + r)^2 + h^2}) \\ &= (3,14 (8^2 + 6,7^2) + 3,14 (8 + 6,7) \sqrt{(8 + 6,7)^2 + 2^2}) = 452 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Eq.6'dan:

$$\text{(P-1H-WS-2)'nin Y.A.} = 2895,1 \text{ mm}^2 + 452 \text{ mm}^2 = 3347 \text{ mm}^2.$$

3.2.1.4 Altı Delikli Plak (P-6H-2)

Bu modelin yüzey alanı, altı delik için altı yanal yüzey alanı değeri, (P-S-2)'nin yüzey alanına eklenerek ve ardından altı deliğin altı Üst ve Alt Yüzey Alanı çıkarılarak hesaplanır.

$$(P-6H-2)'nin \text{ Y.A.} = (P-S-2)'nin \text{ Y.A.} + 6 (\text{Deliğin Yanal Y.A.} - \text{Üst ve Alt Y.A.}) \quad \text{Eq.7}$$

deliğin yüzey alanı değeri (3.2.1. B) 'den alınır.

Eq.3'te hesaplanan Deliğin Y.A. değerini kullanırsak.

$$(P-6H-2)'nin \text{ Y.A.} = 2895 \text{ mm}^2 + 6 (48,55 - 85,45) \text{ mm}^2 = 2710 \text{ mm}^2.$$

3.2.1.5 Altı Delikli ve Destekli Plak (P-6H-WS-2)

Bu modelin yüzey alanı altı delikli desteğin yüzey alanı ile altı delikli plağın yüzey alanı toplanarak hesaplanır (P-6H-2).

$$(P-6H-WS-2)'nin \text{ Y.A.} = (P-6H-2)'nin \text{ Y.A.} + \text{Altı Delikli Deliğin Y.A.} \quad \text{Eq.8}$$

(3.2.1.c) 'de hesaplanan delik desteği (WS) değerini kullanırsak,

$$\text{Altı delikli desteğin Y.A.} = 6 \times 452 \text{ mm}^2 = 2712 \text{ mm}^2.$$

$$(P-6H-WS-2)'nin \text{ Y.A.} = 2895 \text{ mm}^2 + 2712 \text{ mm}^2 = 5422 \text{ mm}^2.$$

3.2.2 4 mm Kalınlığındaki Plaklar

3.2.2.1 Düz Plak (P-S-4)

Eq.2'de 4 mm plak kalınlığı kullanılarak bulunur.

$$(P-S-4)'nin \text{ Y.A.} = 3392 \text{ mm}^2.$$

3.2.2.2 Tek Delikli Plak (P-1H-4)

4 mm plak kalınlığı kullanılarak ve (3.2.1.b) 'deki aynı adımlar uygulanarak bulunur, bu modelin şekli Ek A Şekil A.4'te gösterildiği gibidir.

$$(P-1H-4)'nin \text{ Y.A.} = (P-S-4)'nin \text{ Y.A.} + \text{Deliğin Yanal Y.A.} - \text{Üst ve Alt Y.A.}$$

$$(P-1H-4)'nin \text{ Y.A.} = 3392 \text{ mm}^2 + 93,5 \text{ mm}^2 - 85,45 \text{ mm}^2$$

$$(P-1H-4)'nin \text{ Y.A.} = 3400 \text{ mm}^2.$$

3.2.2.3 Tek Delikli ve Destekli Plak (P-1H-WS-4)

Bu modele ait şekil Ek A Şekil A.4'te gösterilmektedir.

4 mm plak kalınlığı kullanılarak ve (3.2.1.c) 'deki aynı adımlar uygulanarak bulunur.

(P-H-WS-4)'nin Y.A. = (P-H-4)'nin Y.A. + Desteğin Y.A.

(WS)'nin Y.A. = 536 mm²

(P-H-WS-4)'nin Y.A. = 3392 mm² + 536 mm² = 3936 mm²

3.2.2.4 Altı Delikli Plak (P-6H-4)

Bu modele ait şekil Ek A Şekil A.5'te gösterilmektedir.

4 mm plak kalınlığı kullanılarak ve (3.2.1.c) 'deki aynı adımlar uygulanarak bulunur.

(P-6H-4)'nin Y.A. = (P-S-4)'nin Y.A. + 6 (Deliğin Yanal Y.A. – Üst ve Y.A.)

(P-6H-4)'nin Y.A. = 3392 mm² + 6(93,5 - 85,45) mm²

(P-6H-4)'nin Y.A. = 3440 mm²

3.2.2.5 Altı Delikli ve Destekli Plak (P-6H-WS-4)

4 mm plak kalınlığı kullanılarak ve (3.2.1.e) 'deki aynı adımlar uygulanarak bulunur.

(P-6H-WS-4)'nin Y.A. = (P-6H-4)'nin Y.A. + Altı delikli desteğin Y.A.

Altı delikli desteğin Y.A. = 6 × 536 mm² = 3216 mm²

(P-6H-WS-4)'nin Y.A. = 3392 mm² + 3216 mm²

(P-6H-WS-4)'nin Y.A. = 6656 mm²

3.2.3 6 mm Kalınlığındaki Plaklar

3.2.3.1 Düz Plak (P-S-6)

Eq.1'de 6 mm plak kalınlığı kullanılarak bulunur.

(P-S-6)'nin Y.A. = 3852 mm²

3.2.3.2 Tek Delikli Plak (P-1H-6)

6 mm plak kalınlığı kullanılarak ve (3.2.1.b) 'deki aynı adımlar uygulanarak bulunur.

(P-1H-6)'nin Y.A. = (P-S-6)'nin Y.A. + Deliğin Yanal Y.A. – Üst ve Alt Y.A.

$$(P-1H-6)'nin\ Y.A. = 3852\ mm^2 + 139,35\ mm^2 - 85,45\ mm^2$$

$$(P-1H-6)'nin\ Y.A. = 3905,9\ mm^2.$$

3.2.3.3 Tek Delikli ve Destekli Plak (P-1H-WS-6)

Bu modele ait şekil Ek A Şekil A.6'da gösterilmektedir.

6 mm plak kalınlığı kullanılarak ve (3.2.1.c) 'deki aynı adımlar uygulanarak bulunur.

$$(P-H-WS-6)'nin\ Y.A. = (P-H-6)'nin\ yüzey\ alanı\ (Y.A.) + Desteğin\ yüzey\ alanı\ (Y.A.)$$

$$(WS)'nin\ Y.A. = 625\ mm^2$$

$$(P-H-WS-6)'nin\ Y.A. = 3852\ mm^2 + 625\ mm^2$$

$$(P-H-WS-6)'nin\ Y.A. = 4530,9\ mm^2.$$

3.2.3.4 Altı Delikli Plak (P-6H-6)

6 mm plak kalınlığı kullanılarak ve (3.2.1.d) 'deki aynı adımlar uygulanarak bulunur.

$$(P-6H-6)'nin\ Y.A. = Y.A.\ of\ (P-S-6) + 6\ (Deliğin\ Yanal\ Y.A. - Üst\ ve\ Alt\ Y.A.)$$

$$(P-6H-6)'nin\ Y.A. = 3852\ mm^2 + 6\ (139,35 - 85,45)\ mm^2$$

$$(P-6H-6)'nin\ Y.A. = 4175\ mm^2.$$

3.2.3.5 Altı Delikli ve Destekli Plak (P-6H-WS-6)

6 mm plak kalınlığı kullanılarak ve (3.2.1.e) 'deki aynı adımlar uygulanarak bulunur.

$$(P-6H-WS-6)'nin\ Y.A. = (P-6H-6)'nin\ Y.A. + Altı\ delikli\ desteğin\ Y.A.$$

$$Altı\ delikli\ desteğin\ Y.A. = 3750\ mm^2$$

$$(P-6H-WS-6)'nin\ Y.A. = 4175\ mm^2 + 3750\ mm^2$$

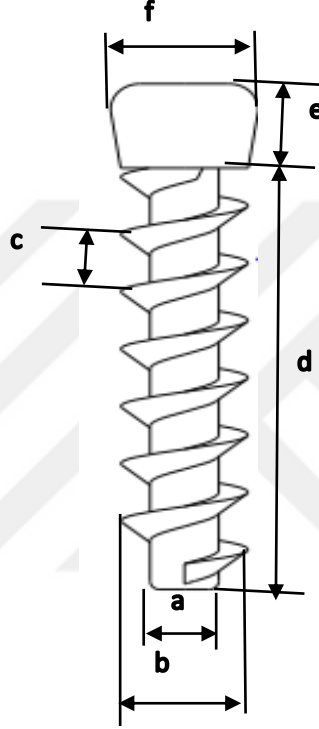
$$(P-6H-WS-6)'nin\ Y.A. = 7925\ mm^2.$$

3.3 Kanüllü Süngerimsi Vida Ø 6.5 mm Düz Diş

Free-CAD Programındaki vida tasarımlarında, her biri iki modele sahip üç farklı uzunlukta vida tipi (30, 50 ve 70) mm vardır.

- Düz Vidalar (Sc-S-uzunluk)
- İçinde 2 mm'lik Delik Olan Vidalar (Sc-H-uzunluk)

Tüm vidalar Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir: Baş Çapı (f) = 8 mm, Baş Uzunluğu (e) = 5 Çekirdek Çapı (a) = 3,5 mm, Diş Çapı (b) = 6,5 mm, Dişli Uzunluğu (d) = (30, 50, 70) mm, Adım Aralığı (c) = 3 mm, Altıgen Soket Genişliği = 3,5 mm, Soket Derinliği = 4 mm.



Şekil 3.1: Vida

Yukarıdaki şekilde görüleceği gibi,

Toplam Vida Yüzey Alanı = Vida başının ve ucunun yüzey alanı + Dişlerin yüzey alanı

$$\text{Vida Başı Ve Ucunun Yüzey Alanı} = \pi \times f \times e + 2 \times \pi \left[\frac{f}{2} \right] \quad \text{Eq.9}$$

$$\text{Dişlerin Yüzey Alanı} = \pi \times \left\{ \left[\frac{b}{2} \right] - \left[\frac{a}{2} \right] \right\} \times \frac{d}{c} \times 2 \times \frac{2}{\sqrt{3}} \quad \text{Eq.10}$$

$$\text{Toplam Vida Yüzey Alanı} = \text{Vida Başının Ve Ucunun Y.A.} + \text{Dişlerin Y.A.} \quad \text{Eq.11}$$

Tezin bu bölümünde tüm vida tasarımının yüzey alanını hesaplayacağız.

3.3.1 30 mm Uzunluğundaki Düz Vidalar (Sc-S-3)

Yukarıdaki denklemi kullanılır, vida uzunluğu = 30 mm'dir.

(Sc-S-3)'nin Y.A. = 679,3 mm².

3.3.2 İçinde 2 mm'lik Delik Olan 30 mm Uzunluğundaki Vida (Sc-H-3)

İçindeki delik vida uzunluğuyla aynı uzunluğa sahip bir silindir gibidir.

$$\text{Üst ve Alt Yüzey Alanı} = \pi \times 1^2 + \pi \times 1^2 = 6,28 \text{ mm}^2$$

$$\text{Yanal Yüzey Alanı} = 2\pi \times 1 \times 30 = 188,49 \text{ mm}^2$$

$$(\text{Sc-H-3})' \text{nin Y.A.} = (\text{Sc-S-3})' \text{nin Y.A.} + \text{Yanal Y.A.} - \text{Üst ve Alt Y.A.}$$

$$(\text{Sc-H-3})' \text{nin Y.A.} = (679 + 188,49 - 6,28) \text{ mm}^2 = 861,4 \text{ mm}^2$$

3.2.4 50 mm Uzunluğundaki Düz Vida (Sc-S-5)

(3.3.1)'deki adımlar tekrar edilir, uzunluk 50 mm olarak değiştirilir.

$$(\text{Sc-S-5})' \text{nin Y.A.} = 1041,9 \text{ mm}^2$$

3.2.5 İçinde 2 mm'lik Delik Olan 50 mm Uzunluğundaki Vida (Sc-H-5)

Vidanın yüzey alanını hesaplamak için, (3.3.2)'deki adımlar tekrarlanır.

$$(\text{Sc-H-5})' \text{nin Y.A.} = (\text{Sc-S-5})' \text{nin Y.A.} + \text{Yanal Y.A.} - \text{Üst ve Alt Y.A.}$$

$$(\text{Sc-H-5})' \text{nin Y.A.} = (1041,9 + 314 - 6,28) \text{ mm}^2 = 1349,6 \text{ mm}^2$$

3.2.6 70 mm Uzunluğundaki Düz Vida (Sc-S-7)

(3.3.1)'deki adımlar tekrar edilir, uzunluk 70 mm olarak değiştirilir.

$$(\text{Sc-S-7})' \text{nin Y.A.} = 1404,5 \text{ mm}^2$$

3.2.7 İçinde 2 mm'lik Delik Olan 70 mm Uzunluğundaki Vida (Sc-H-7)

Bu vidanın yüzey alanını bulmak için, (3.3.2)'deki adımlar tekrarlanır, uzunluk 70 mm olarak değiştirilir.

$$(\text{Sc-H-7})' \text{nin Y.A.} = (\text{Sc-S-7})' \text{nin Y.A.} + \text{Yanal Y.A.} - \text{Üst ve Alt Y.A.}$$

$$(\text{Sc-H-7})' \text{nin Y.A.} = (1404,5 + 439,6 - 6,28) \text{ mm}^2 = 1837,8 \text{ mm}^2$$

4. MALZEME VE YÖNTEM

4.1 Poliaktik Asit (PLA)

Doğal PLA filament 1,75 mm filament çapı, 1Kg 330 Metre, baskı sıcaklığı: 190-220 °C, tabla sıcaklığı: 40-60 °C, ABG şirketi Türk malı. PLA, yıllık yenilenebilir kaynaklardan üretilen ilk özel polimerdir. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından genel olarak güvenli (GRAS) olarak sınıflandırılır ve tüm uygulamalar için güvenlidir [29]. PLA'nın teknik özellikleri (Teknik Veri Sayfası) Ek B'de gösterilmiştir.

4.2 Model Tasarımı ve Ürün

21 örnek vida ve plak tasarlamak için Free-CAD programı Sürüm 0,18 Revizyon numarası 4 (GitTag) kullanılmıştır. Ortopedikte kullanılan plaklar birden fazla deliğe sahip olmalıdır. Bu araştırma tasarlanan plakta, DCP plak olarak adlandırılan ve fraksiyon cerrahisinde kullanılan metal plak gibi altı delik bulunur ve her deliğe destek eklenerek yeniden tasarlanmıştır. Doğru sonuçlar elde etmek için, düz plak gibi yeni tasarım modelleri eklenmiştir. Her bir plağın bir delikli ve destekli versiyonları tasarlanması, beş plak modeli yapılması ve her modelin üç farklı kalınlıkta (2, 4, 6) mm tasarlanması anlamına gelir. Üç farklı uzunlukta (30, 50 ve 70) mm'lik vidaların ise her biri iki modele sahiptir: Düz Vidalar (Sc-S-uzunluk), İçinde 2 mm delik çapı olan Vidalar (Sc-H-uzunluk). Tablo 4.1'te DCP Plak için gerekli spesifik vidaların ölçüleri verilmiştir.

Tablo 4.1 Vida ve Plakların tasarım ve baskı parametreleri için kullanılan boyutlar.

Kortikal vida özellikleri		DCP Plak Özellikleri 6 Delik	
Kafa çapı	8,0 mm	Uzunluk	103,0 mm
Çekirdek çapı	3,5 mm	Genişlik	12,0 mm
Diş çapı	6,5 mm	Kalınlık	(2, 4, 6) mm
Adım	3,0 mm	Delik sayısı	(0, 1, 6) mm
Altıgen soket genişliği	3,5 mm	Delik Aralığı (HS)	16 mm
Soket derinliği	4,0 mm	Merkez Aralığı (CS)	25 mm
Vida yüksekliği	(30 , 50 ,70) mm	İç ve Dış Delik	(6, 7, 8) mm

4.2.1 Plak Modelleri

Tüm modellerin ölçüleri, uzunluk (L) = 103, genişlik (W) = 12 ve üç farklı kalınlık (2, 4, 6) mm şeklindedir.

4.2.1.1 2 mm Kalınlığındaki Plak

Bu kalınlıkta beş model bulunmaktadır. İlk model düz bir plaktır (PS-2), sonrakiler tek delikli (P-1H-2), tek delikli ve destekli (P-1H-WS-2), altı delikli (P-6H-2) ve son olarak altı delikli ve destekli plak (P-6H-WS-2) şeklindedir. Şekil 4.1'de bu modellerden bazıları gösterilmiştir. Ayrıca Ek A Şekil A.1'de diğer modeller görülebilir.

4.2.1.2 4 mm Kalınlığındaki Plak

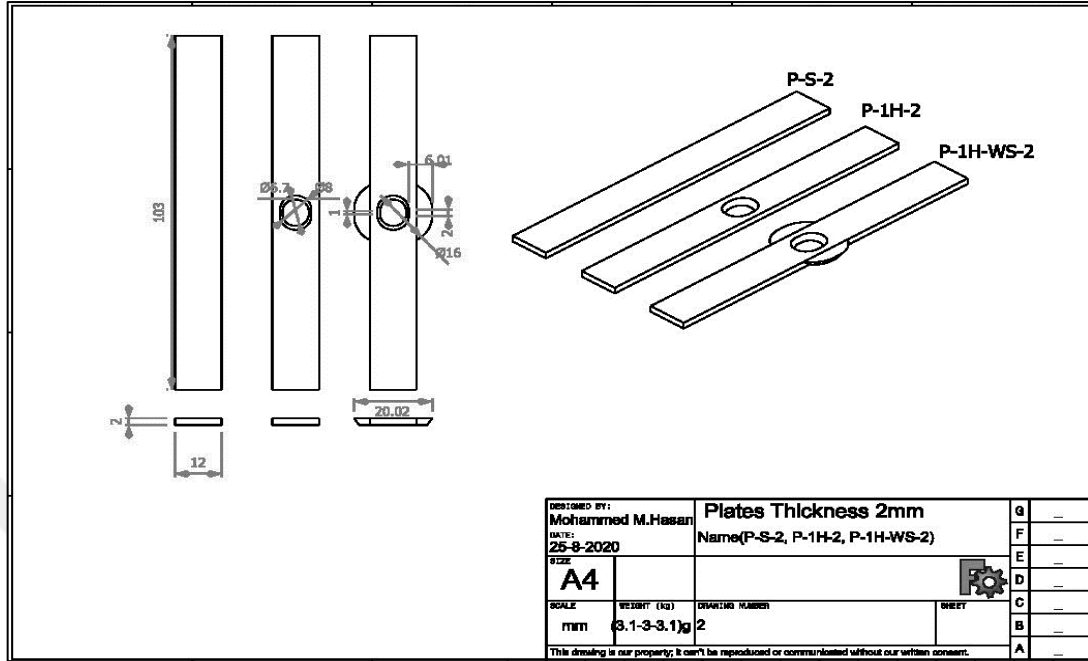
Bu kalınlıkta da aynı beş model tasarıma düz plaktan başlandı. Son tasarım, Şekil 4.2'da belirtilen altı delikli (P-6H-WS-4) plağa sahipken, diğer iki model Ek A Şekil A.2'te görülebilir.

4.2.1.3 6 mm Kalınlığındaki Plak

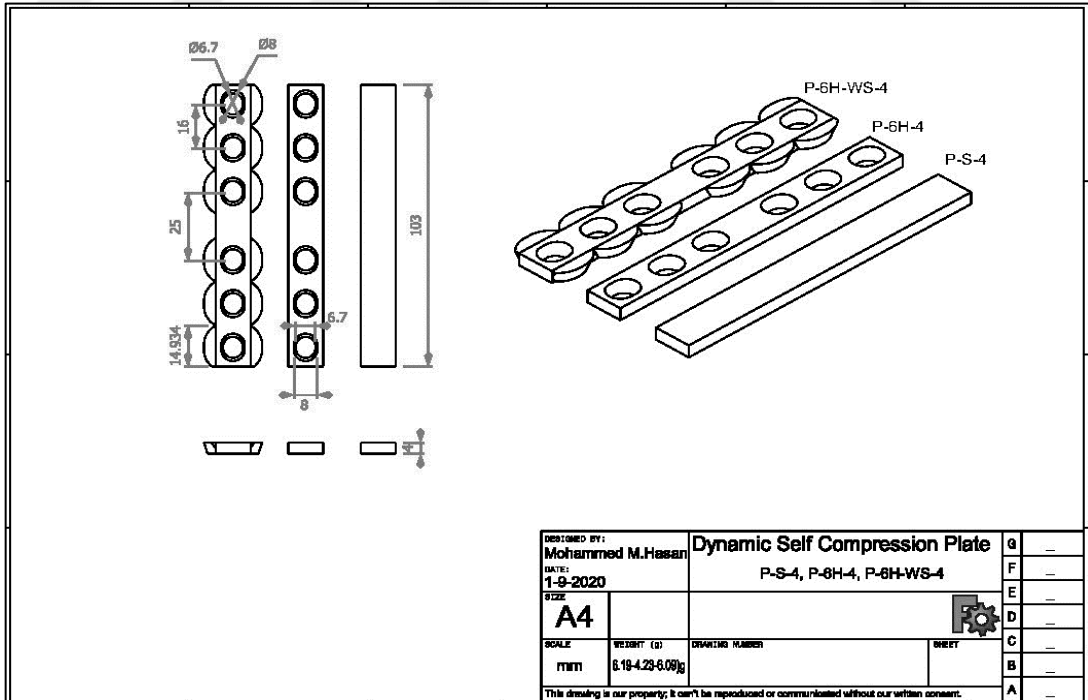
6 mm kalınlığındaki son plak tasarımı, daha önceki aynı beş model tasarımını temsil eder. Şekil 4.3'da bu modelden üç plak gösterilmiştir. Diğer modeller Ek A Şekil A.3'te görülebilir.

4.2.2 Vida Modelleri

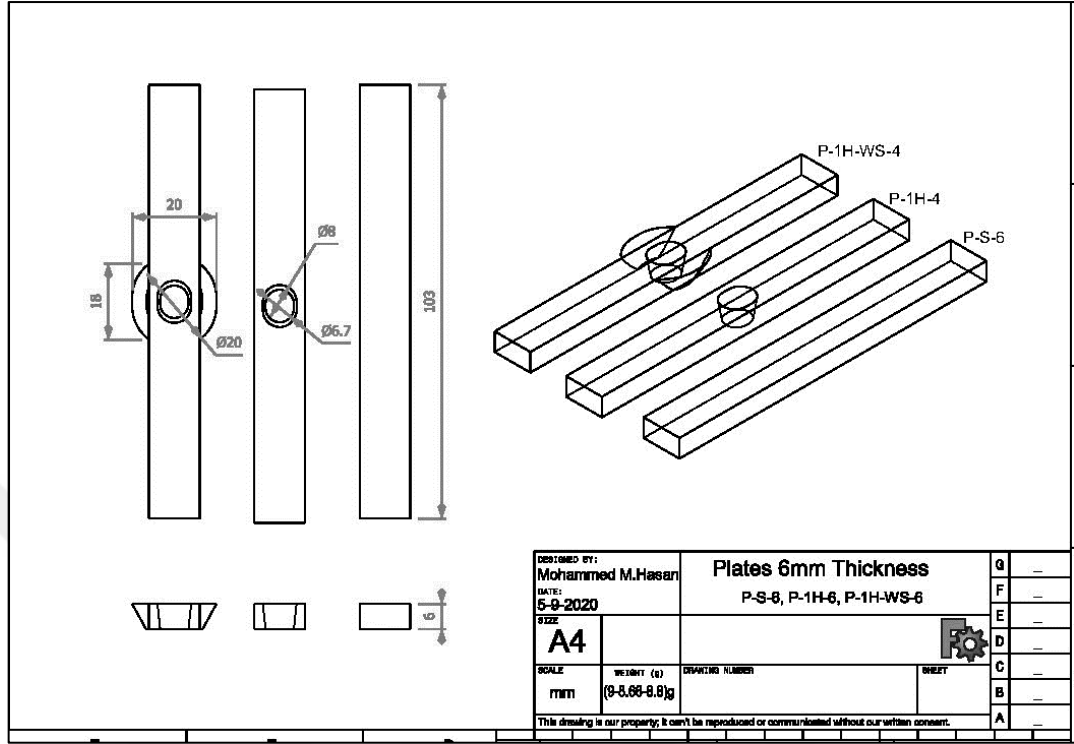
İki model tasarlanmıştır, düz vida (SC-S-uzunluk), içinde 2 mm çapında delik olan vida (SC-H-uzunluk) ve bunlar üç farklı uzunlukta (30, 50, 70) mm sunulmuştur. Şekil 4.4'de 30 mm uzunluğundaki iki model gösterilmiştir. Diğer modeller Ek A Şekil A.4 ve Şekil A.6'da görülebilir.



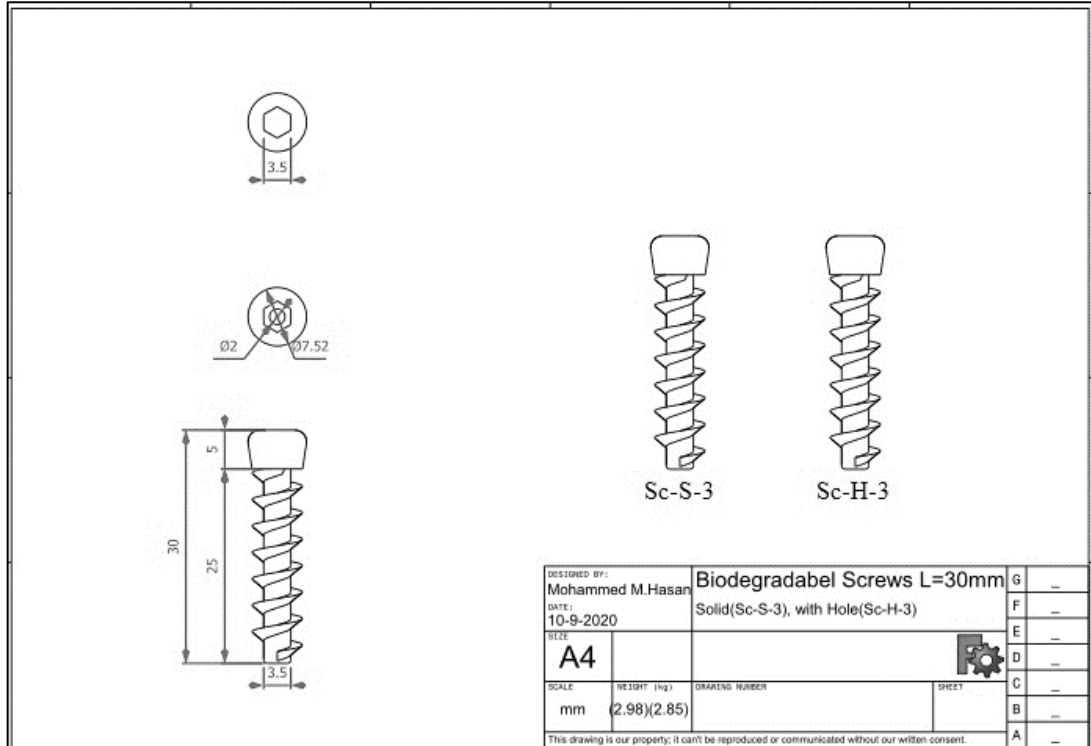
Şekil 4.1 2 mm Kalınlığındaki plağın üç farklı modeli (Düz, Tek Delikli, Destekli Delikli)



Şekil 4.2 4 mm Kalınlığında DCP plaklar (Düz Plak (P-S-4), 6 Delikli Plak (P-6H-4), 6 Delikli ve Destekli Plak (P-6H-WS-4))



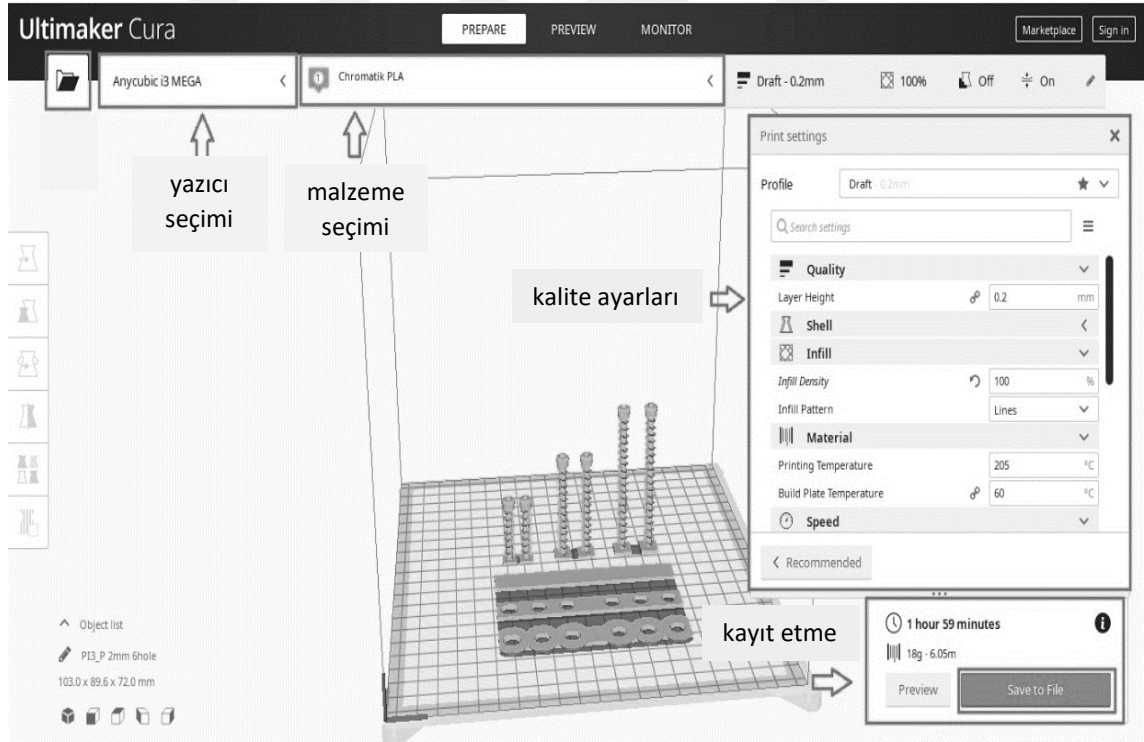
Şekil 4.3 2 mm Kalınlığındaki plağın üç farklı modeli (Düz, tek Delikli, Delikli Destekli)



Şekil 4.4 Süngerimsi kanüllü vida Ø 6,5 mm düz diş (Düz Vida uzunluğu 30 mm (Sc-S-3), Vida Delik Çapı 2 mm (Sc-H-3))

4.3 Ultimaker Cura 4.7

3D Baskı Modelini hazırlayan ücretsiz bir 3D baskı programıdır. Ultimaker Cura, esasen bilgisayardan 3D yazıcıya dijital dosya tipi STL'yi, 3D baskı donanımının bildiği format olan G-Code'a dönüştürmenin bir yoludur [29]. Tasarımları Free-CAD'de bitirdikten ve tüm dosyaları stereolitografik dosya (STL) türünde kaydettikten sonra, bu dosyaların her birini Ultimaker Cura sürüm 4.7 programına içe aktardık ve gerekli çeşitli parametreleri ayarladık, örneğin (baskı hızı: 60 mm/s, hareket hızı: 120 mm/s, katman yüksekliği: 0,2 mm, baskı sıcaklığı: 200 °C ve yatak sıcaklığı: 60 °C, dolgu yoğunluğu: % 100, dolgu deseni: konsantrik). Bitirdikten sonra yazdırmadan önce 3D yazıcı modelini hazırlamak için Dilimle'yi seçtik, son olarak dosyayı G-Code türünde kaydettik ve dosyamız 3D yazıcı ile yazdırmaya hazır hale geldi. Şekil 4.5'de tüm ayarların düzenlenmesiyle ilgili detaylar verilmiştir.



Şekil 4.5 İçe aktarılan ve Ultimaker Cure 4.7 programında görüntülenen model.

4.4 Üç Boyutlu (3D) Yazıcı

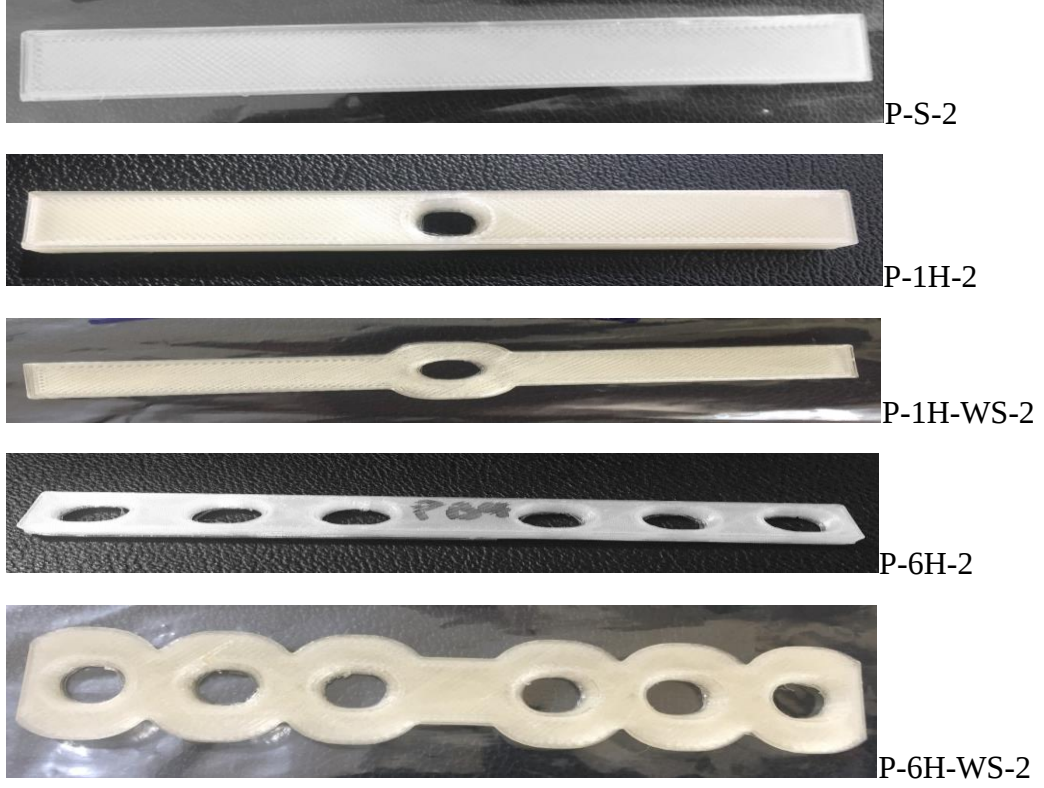
ANYCUBIC I3 MEGA yazdırıldı yazdırıldı 3D yazıcının baskı ve yatak sıcaklığı sırasıyla 200 °C ve 60 °C'ye ayarlanarak ve biyolojik olarak parçalanabilir PLA filament (HYDRA 200) kullanılarak tasarlanan vida ve plak modelleri yazdırılır. Baskı hızı, hareket hızı ve katman yüksekliği gibi parametreler, herhangi bir bozulma olmadan istenen özelliklere sahip bir tasarım elde etmek için değiştirildi. Bu araştırmada kullanmadan önce ANYCUBIC I3 MEGA 3D yazıcının aşağıda Tesviye Kılavuzunda aynen yazdığı gibi ayarlanması gerekti:

1. Makineyi açın, Ana Menü'ye tıklayın, "Araçlar" -> "Ana Sayfa" -> "Tüm Ana sayfa" ögesine tıklayın ve X-ekseninin daha önce aynen yazdığı gibi görsel olarak hizalandığından emin olun, şekil 4.6'te bakın.
2. Motorları devre dışı bırakmak için Ana Menü, "Kurulum" -> "Motor" seçeneğine tıklayın. Baskı kafasının platformun her 4 köşesine gitmesine izin vermek için baskı kafasını ve platformu manuel olarak ileri geri hareket ettirin.
3. Nozül ile baskı platformu arasına bir kağıt parçası yerleştirin ve şekil 4.6'te aynen yazdığı gibi, aradaki kağıdı sürüklerken direnci hissedinceye kadar, nozül ve platformun yaklaşmasını sağlamak için platformun altındaki ilgili somunu ayarlayın. Geri kalan 3 köşeye ve platformun ortasına da aynı işlemi uygulayın.

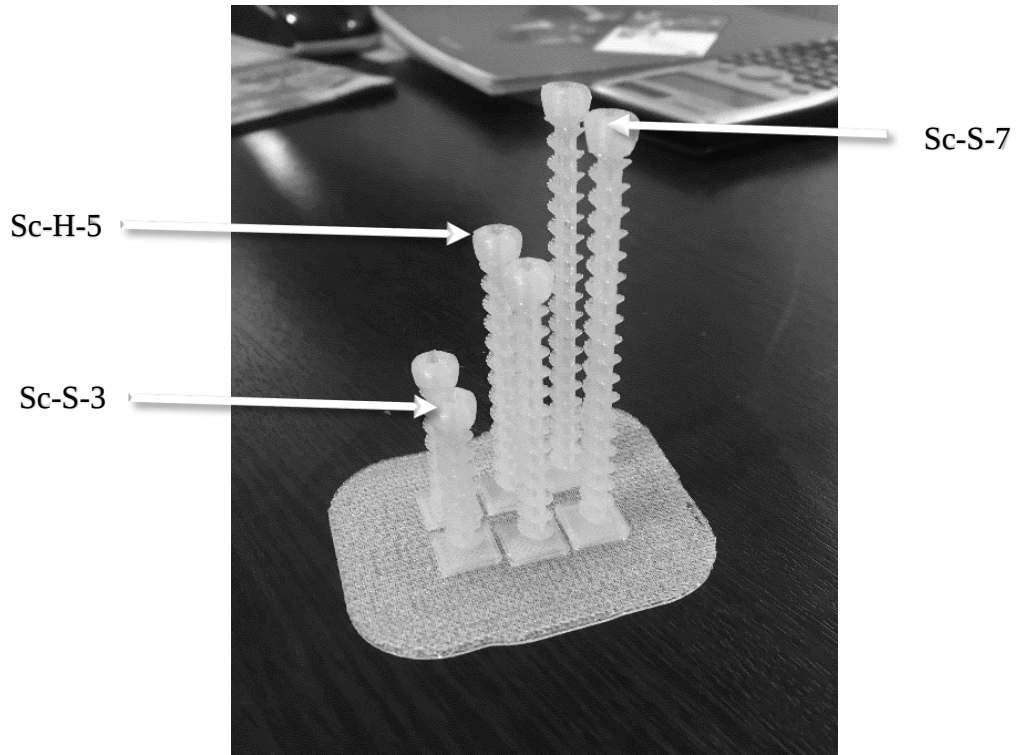
ANYCUBIC I3 MEGA yazıcı için kalibrasyon tamamlandıktan sonra, tüm tasarım modelleri Şekil (4.7, 4.8 ve 4.9) 'de gösterildiği gibi yazdırıldı.

4.5 Test Türleri

Walter + bai ag Tes Makineleri (Ek B Şekil B.4'te makinelerin teknik özellikleri hakkında daha fazla ayrıntı sunulmuştur) kullanılarak basılan tüm numunelere üç tür test uygulandı. Plak numunelerine üç noktalı bir bükme testi uygulanmıştır ve plak numunelerinin en yüksek gerinim değeri elde edilmiştir. Vida numuneleri için iki test kullanılırken, ilk test bir Çekme testi ve ikincisi Şekil (4.10, 4.11)'de gösterildiği gibi Tork testidir.



Şekil 4.8 Baskısı yapılan 3D plak numuneleri



Şekil 4.9 Baskısı yapılan 3D vida numuneleri



Şekil 4.10 Plaklara uygulanan üç noktalı bükme testi



Şekil 4.11 Vida testleri. (a) Çekme testi. (b) Tork testi

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Test Sonuçları

5.1.1 Üç Noktalı Bükme Testi

Üç farklı kalınlıktaki (2, 4, 6) mm ve farklı şekillerdeki (B.5 ila B.19) tüm modellerde uygulanan testin sonuçları, Ek B'de gösterilmiştir. Aşağıdaki tablo, test sonucunun bir özetini temsil etmektedir ve milimetre kare başına Newton birimi cinsinden düşen gerinim ve gram başına Newton birimi cinsinden düşen gerinim ile ilgili daha fazla ayrıntı içeren rakamlar sunulmuştur.

Tablo 5.1'da gösterilen test sonuçlarından hesaplanan ve elde edilen değerlere dayanarak, toplam yükün bu ikisinin yüzey alanıyla ilişkisini temsil eden, Şekil 5.3'da gösterilen iki tip plak modeli için eğriler çizilmiştir. Şekil 5.2 ise incelenen iki modelin ağırlığı ile toplam yükün ilişkisini sunmaktadır.

Tablo 5.1 Plak tasarımlarına uygulanan üç noktalı bükme testinin sonuçları

No.	Test adı	İsim	Maksimum yük	Yüzey Alanı		Ağırlık	
			N	mm ²	N/mm ²	g	N/g
1	PA2	P-S-2	130	2932	0,0443	3,14	41,4013
2	PA4	P-S-4	630	3392	0,1857	6,19	101,7771
3	PA6	P-S-6	1480	3852	0,3842	9	164,4444
4	PB2	P-1H-2	70	3066	0,0228	3	23,3333
5	PB4	P-1H-4	225	3213	0,0700	5,53	40,6872
6	PB6	P-1H-6	560	3628	0,1544	8,66	64,6651
7	PC2	P-1H-WS-2	120	3250	0,0369	3,1	38,7097
8	PC4	P-1H-WS-4	510	3749	0,1360	5,88	86,7347
9	PC6	P-1H-WS-6	940	4253	0,2210	8,8	106,8182
10	P6B2	P-6H-2	160	2128	0,0752	2,39	66,9456
11	P6B4	P-6H-4	590	2318	0,2545	4,21	140,1425
12	P6B6	P-6H-6	1440	2508	0,5742	6,67	215,8921
13	P6C2	P-6H-WS-2	150	4840	0,0310	3,1	48,3871
14	P6C4	P-6H-WS-4	590	5534	0,1066	6,09	96,8801
15	P6C6	P-6H-WS-6	1410	6258	0,2253	8,85	159,3220

Şekil 5.1'de 2 mm kalınlıkta plakanın dayanıklılık N/mm^2 değeri 0,075'e eşit altı delikli (P-6H-2) dairesel şekle sahiptir ve destekli altı delikli bir plakanın iki katı değerindedir. (P-6H-WS-2) kare şeklindedir, ancak 6 mm kalınlığında plakaların dayanıklılık değeri (P-6H-6) 0,574 iken plakalar (P-6H-WS-6) için değer 0,22'ye eşittir.

Şekil 5.1'de 2 mm kalınlıkta, plakanın mukavemet N/g değeri 66,94'e eşit altı delik (P-6H-2) dairesel şekle sahipken, plakalar (P-6H-WS-6) kare şekli için değer eşittir 48,38, ayrıca 6 mm kalınlıkta plakaların (P-6H-6) mukavemet değerinin 215,38'e eşit olduğunu, plakaların (P-6H-WS-6) ise değer 159,32'ye eşit olduğunu belirtir.

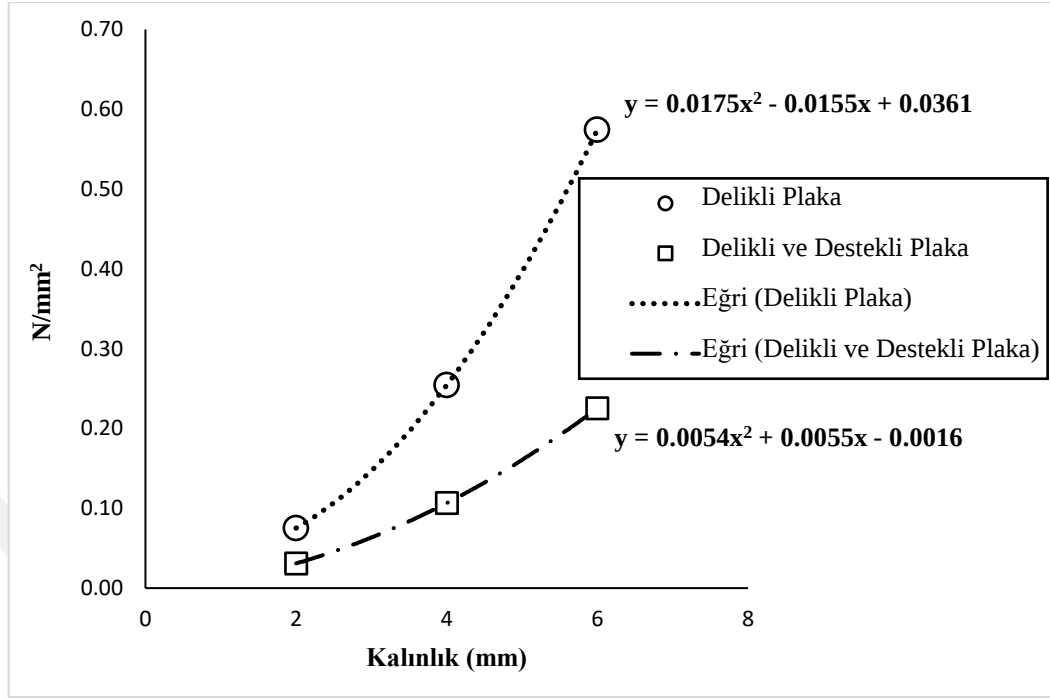
5.1.2 Çekme Testi Sonuçları

Tüm modellerde vida tasarımına uygulanan test ve tüm sonuç şekilleri (B.20'den B.25'e) Ek B'de gösterilmektedir, aşağıdaki tablo milimetre kare ve gram başına Newton birimi cinsinden maksimum yük ile ilgili daha fazla ayrıntıyla birlikte çekme testinin bir özetini temsil etmektedir.

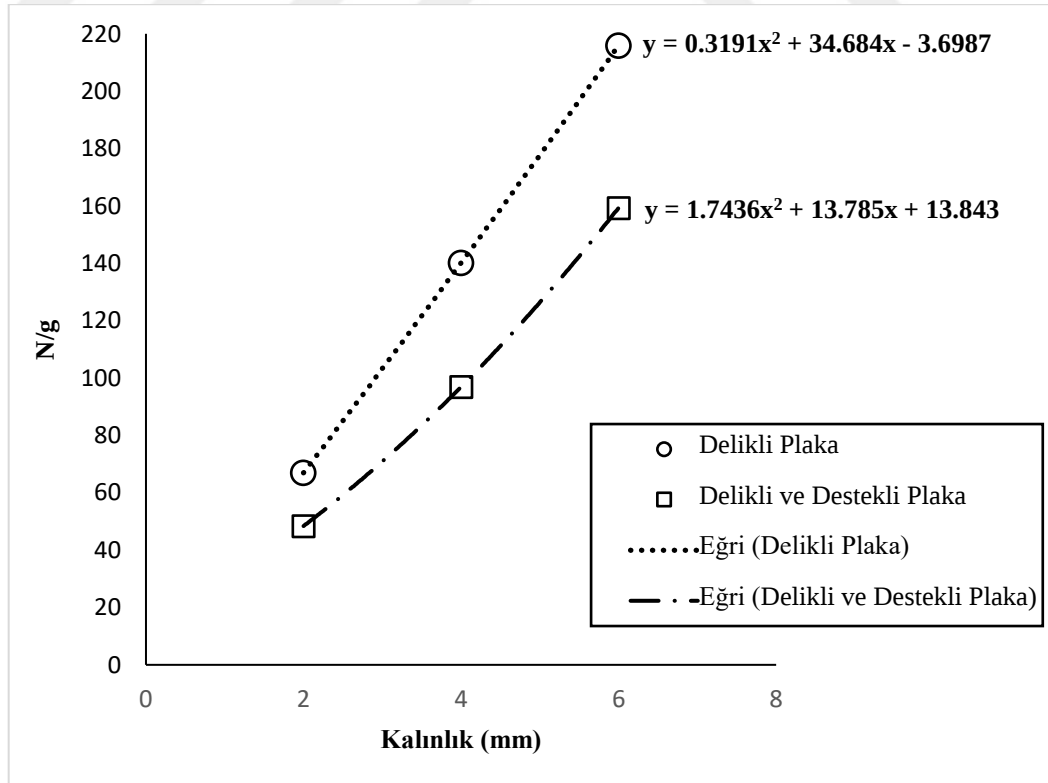
Tablo 5.2 Vida tasarımlarının çekme testi sonuçları

No.	Test Adı	İsim	Çekme	Yüzey alanı	N/mm^2	Ağırlık	N/g
			N	mm^2		g	
1	SA3	Sc-S-3	60	679,3	0,0883	2,98	20,1342
2	SA5	Sc-S-5	130	1041,9	0,1248	3,31	39,2749
3	SA7	Sc-S-7	130	1404,5	0,0926	3,64	35,7143
4	SB3	Sc-H-3	90	861,4	0,1045	2,85	31,5789
5	SB5	Sc-H-5	90	1349,6	0,0667	3,18	28,3019
6	SB7	Sc-H-7	100	1837,8	0,0544	3,51	28,49

Eğri çizimleri Şekil (5.5, 5.6)'de gösterilmiştir. Toplam yükün bu modellerin yüzey alanı ve ağırlığı ile ilişkisini temsil eden Tablo 5.2'de gösterilen çekme testi sonucundan hesaplanan ve elde edilen değerlere dayanmaktadır.



Şekil 5.1 Yüzey alanı ile üç noktalı bükme testi 6 delikli plaka and 6 delikli ve destekli plaka ilişkisi.



Şekil 5.2 Ağırlık ile üç noktalı bükme testi 6 delikli plaka and 6 delikli ve destekli plaka ilişkisi.

Şekil 5.3'te 30 mm uzunlukta, yuvarlak vidaların (Sc-S-3) dayanıklılık N/mm^2 değeri 0,088'e eşittir, vidalar için ise iç delik (Sc-H-3) gösterilmektedir. 0,104'e eşit kare bir şekil olarak ve 50 mm uzunluğunda sağlam vidaların (Sc-S-5) dayanıklılık değeri 0,12'ye eşitken, vidaların içinde delik (Sc-H-5) için değer 0,066'ya eşittir. Ancak 70 mm uzunluğunda sağlam vidaların (Sc-S-7) dayanıklılık değeri tekrar azalmaya ve 0,092 değerine geri dönerken, (Sc-H-7) 0,054 değerinde gösterildiği gibi düşmeye devam eder.

Şekil 5.4'da 30 mm uzunlukta, yekpare vidaların (Sc-S-3) mukavemet N / g değeri 20,13'e eşitken, vidalar için (Sc-H-3) kare şeklinde gösterilmiştir. 31,57'ye eşittir ve 50 mm uzunluğunda sağlam vidaların (Sc-S-5) mukavemet değeri artar ve 39,27'ye eşitken, vidalar (Sc-H-5) için değer 28,3'e eşittir. Ancak 70 mm uzunluğunda, sağlam vidaların (Sc-S-7) mukavemet değeri tekrar azalmaya başlar ve değeri 35,7'ye eşitken (Sc-H-7) sabit değer 28,4'e eşittir.

5.1.3 Tork Testi Sonuçları

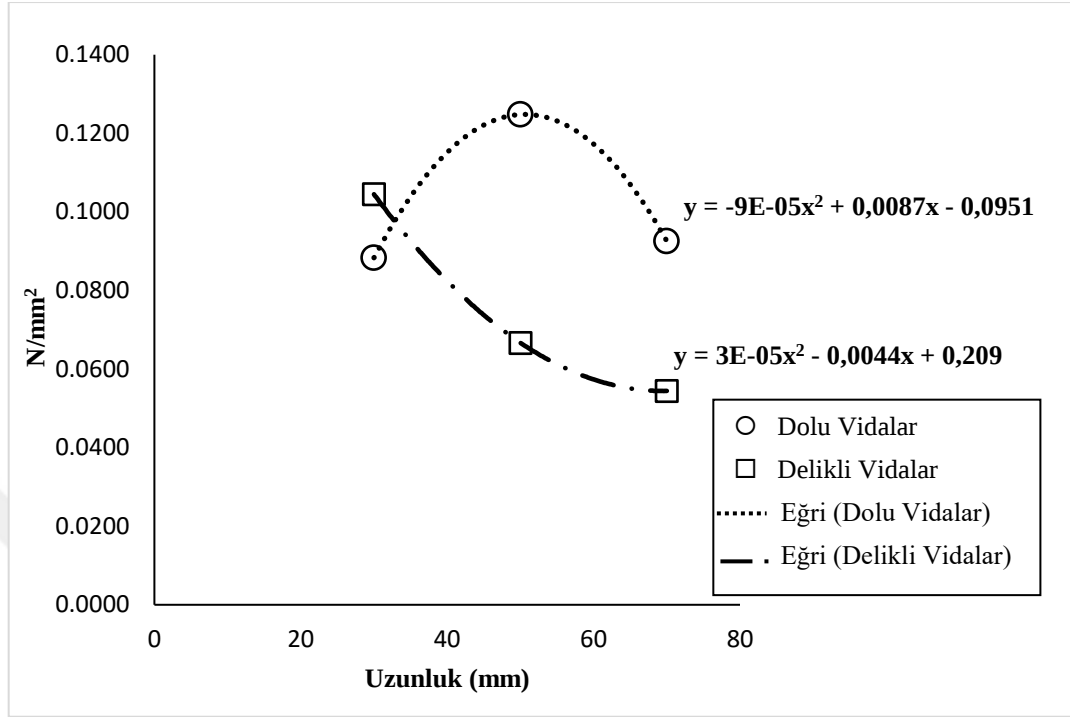
Bu test vidaların tüm model tasarımlarına uygulanmıştır ve sonuçlar Tablo 5.3'de gösterilmektedir.

Tablo 5.3 Vida tasarımlarının tork testi sonucu

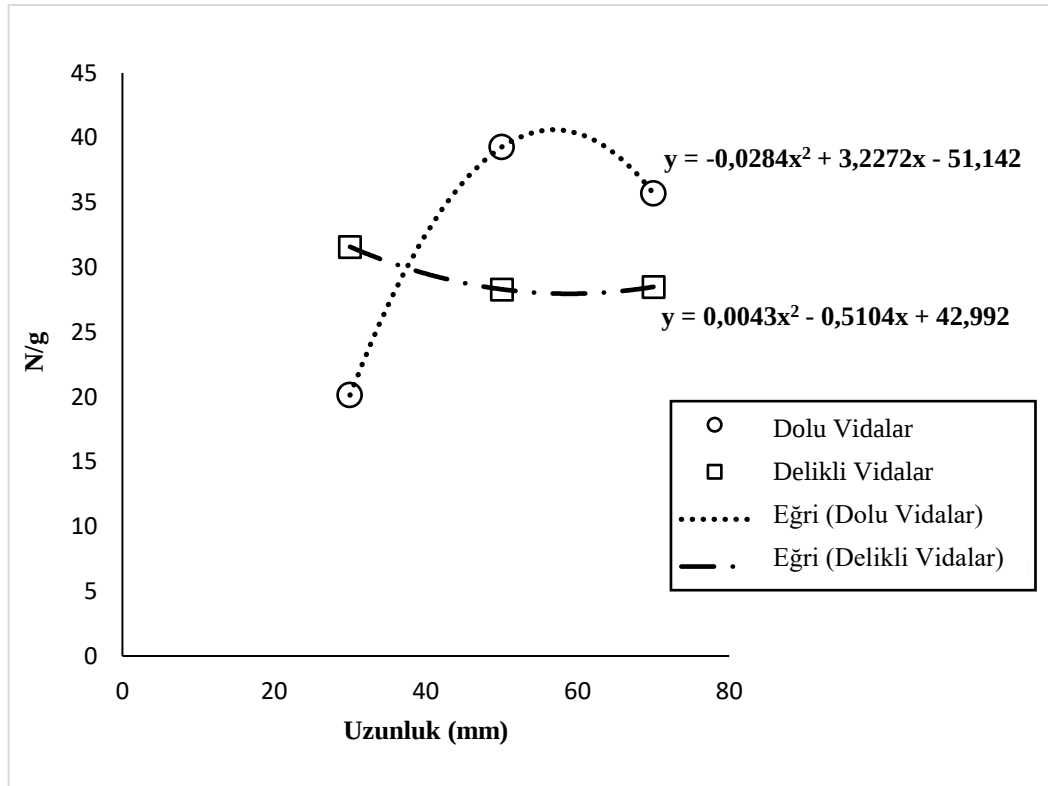
No.	Test adı	İsim	Tork	Yüzey alanı	N/mm^2	Ağırlık	N/g
			N	mm^2		g	
1	SA3	Sc-S-3	0,1	679,3	0,0001	2,98	0,03356
2	SA5	Sc-S-5	0,1	1041,9	0,0001	3,31	0,03021
3	SA7	Sc-S-7	0,1	1404,5	0,0001	3,64	0,02747
4	SB3	Sc-H-3	0,3	861,4	0,0003	2,85	0,10526
5	SB5	Sc-H-5	0,3	1349,6	0,0002	3,18	0,09434
6	SB7	Sc-H-7	0,3	1837,8	0,0002	3,51	0,08547

Tablo 5.3'de gösterilen tork testi değerlerine bağlı olarak çizim eğrisi aşağıda şekil 5.5'de verilmiştir.

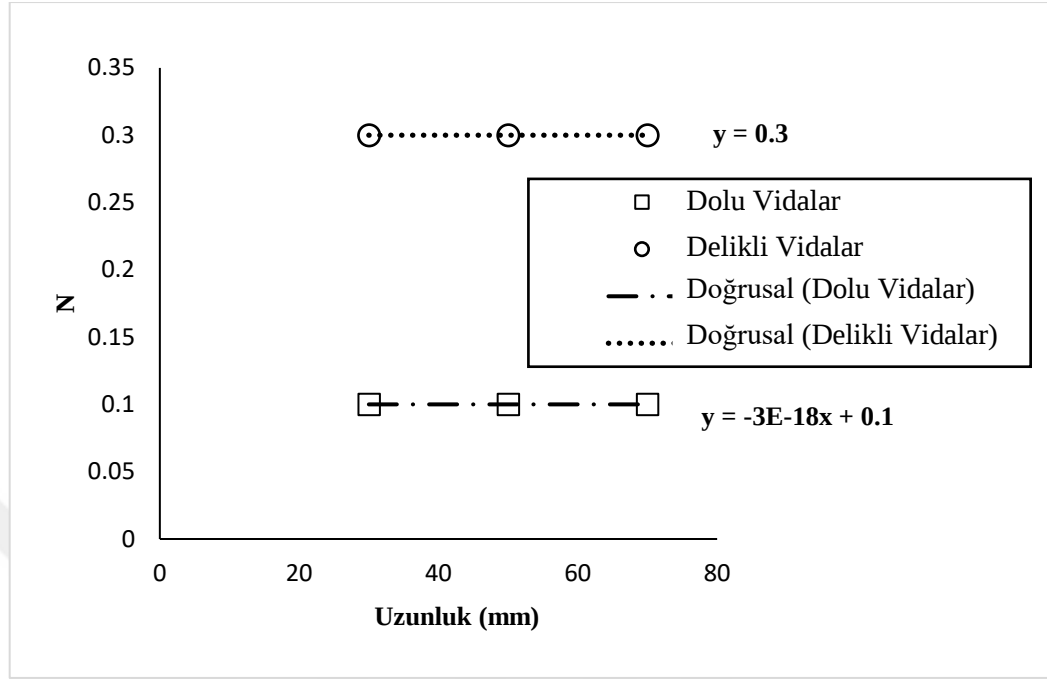
Şekil 5.5'de kare şeklinde gösterilen sağlam vidaların dayanıklılık N değerinin ve vidaların içinde dairesel bir şekil olarak gösterilen bir delik (Sc-H-5), uzunluklar değiştiğinde sırayla 0,001 ve 0,003 sabit değer olarak kaldığını belirtmektedir.



Şekil 5.3 Vidalarda yüzey alanı ile çekme ilişkisi.



Şekil 5.4 Vidalarda ağırlık ile ilgili çekme testi.



Şekil 5.5 Vida uzunluğuna bağlı olarak tork testi (Newton cinsinden).

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, biyoçözünür bir malzeme olan natürel polilaktit kullanılarak üretilen temel ortopedik fiksatorler (plakalar ve vidalar) tasarım ve tasarıma bağlı dayanıklılık özellikleri açısından karşılaştırıldı.

Biyoçözünür oldukları için cerrahi müdahale ile vücuttan çıkartılması gerekmeyen ve Manyetik Rezonans (MR) görüntülemelerine engel olmayan polilaktit esaslı plakalar ve vidalar, altışar farklı tasarım kullanılarak 3B yazıcıda (üç boyutlu yazıcı) üretildiler ve "üç noktalı bükme", "çekme" ve "tork" testlerine tabi tutuldu.

Plakalar için 2, 4 ve 6 mm kalınlıkta ve "deliksiz", "1 delikli" ve "6 delikli" olmak üzere 6 farklı model tasarlandı, natürel polilaktit kullanılarak üretildi ve "üç noktalı bükme" testlerine tabi tutuldu. Test sonuçları Hataların Kareleri Toplamı Yöntemi kullanılarak modellendi.

Vidalar için de 30, 50 ve 70 mm uzunluklarda, içi oyuk (kanüllü) ve içi dolu olmak üzere 6 farklı model tasarlandı, tasarımlar 3B yazıcıda natürel polilaktit kullanılarak üretildiler ve "çekme" ve "tork" testlerine tabi tutuldular.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.2'de gösterilen (2 , 4 ve 6) mm kalınlığa bağlı olarak iki plak modeli (altı delikli ile altı delikli ve destekli) için üç noktalı bükme testi sonuçlarına göre çizilen eğrilerden şu gözlemlenmiştir. 6 mm kalınlığa sahip altı delikli plak, 6 mm kalınlığa sahip "destekli" altı delikli plak kadar dayanıklıdır. Dolayısı ile, plak kalınlığı arttıkça, delik çevresinin desteklenme ihtiyacı azalmaktadır. Plak kalınlıkları inceldikçe, "üç noktalı bükme" karşı dayanıklılığı belirgin şekilde arttırabilmek için vida delikleri çevresinde genişletme yapılmasının gerekli olduğu gözlemlendi.

Tüm vida numuneleri için çekme testi sonuçlarından (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4) şunlar gözlemlendi. Dolu vidalar, "çekme" dayanıklılığı açısından kanüllü vidalardan daha dayanıklıdır. Dolu vida modelleri arasında 50 mm uzunluğa sahip vida (Sc-S-5), 30 ve

70 mm uzunluğa sahip vidalardan (Sc-S-3 ve Sc-S-7) "çekme" dayanıklılığı açısından daha dayanıklıdır. Kanüllü vidalar içinde 30 mm uzunluğa sahip vida (SC-H-30), 50 mm ve 70 mm uzunluğa sahip kanüllü vidalardan (Sc-H-5 ve Sc-H-7) "çekme" dayanıklılığı açısından daha dayanıklıdır.

Tablo 8'deki tork testi sonuçlarına ve Şekil 5.5'teki eğrilere dayalı olarak elde edilen sonuçlar şunlardır. İçerisinde delik bulunan kanüllü vidalar, tork dayanıklılığı açısından içi dolu vidalardan % 300 daha güçlüdürler. İki farklı vida modeli (kanüllü vida ve dolu vida) karşılaştırıldığında bükülme dayanıklılıkları, vida uzunluklarından bağımsızdır.

Sonuç olarak, çekme testlerinde dolu vidaların oyuk (kanüllü) vidalara göre % 30,0 ile % 44,4 arasında daha dayanıklı oldukları gözlemlenirken, tork testlerinde kanüllü vidaların dolu vidalara oranla % 300 daha dayanıklı oldukları gözlemlendi.

6.1 Gelecekteki Çalışmalar

Bu tasarımın bir ürüne dönüştürülmesi için yapılacak çalışmalarda öncelikle etik kurallara uygun olarak hayvanlar üzerinde testler yapılmalıdır. Daha sonra insan vücuduna uygulanan bu tasarım, örneğin tıbbi bir görüntüleme cihazından (MR, BT) alınan hasta verilerine bağlı olarak, kırığı düzeltmek için uygun bir plak kalınlığı seçilmeli ve vidalar kullanılmalıdır.

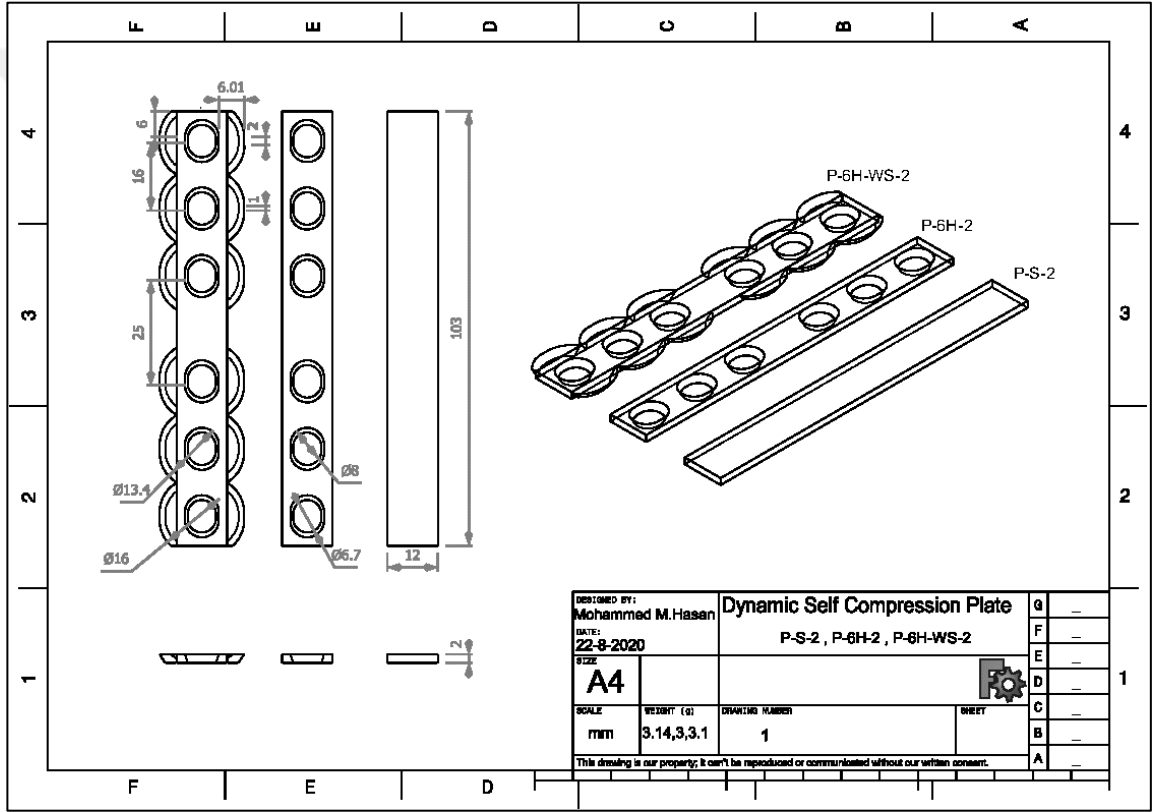
KAYNAKÇA

- [1] J. W. Drelich, "Characterization of Biodegradable Medical Materials," *JOM*, cilt. 71, no. 4, sf. 1404–1405, 2019.
- [2] J. R. Monson ve M. R. Weiser, "Sabiston Textbook of Surgery, 18th ed. The Biological Basis of Modern Surgical Practice.," *Dis. Colon Rectum*, cilt. 51, no. 7, sf. 1154, 2008, doi: 10.1007/s10350-008-9293-5.
- [3] E. G. Meinberg, J. Agel, C. S. Roberts, M. D. Karamve J. F. Kellam, "Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018," *J. Orthop. Trauma*, cilt. 32, no. 1, sf. S1–S170, 2018, doi: 10.1097/BOT.0000000000001063.
- [4] J. Li vd, "Materials evolution of bone plates for internal fixation of bone fractures: A review," *J. Mater. Sci. Technol.*, cilt. 36, sf. 190–208, 2020, doi: 10.1016/j.jmst.2019.07.024.
- [5] R. A. Giordano, B. M. Wu, S. W. Borland, L. G. Cima, E. M. Sachsve M. J. Cima, "Mechanical properties of dense polylactic acid structures fabricated by three dimensional printing," *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.*, cilt. 8, no. 1, sf. 63–75, 1997, doi: 10.1163/156856297X00588.
- [6] J. R. Tesmer ve M. A. Nastasi, "Handbook of modern ion beam materials analysis," cilt. 37, no. July, sf. 704, 1995.
- [7] R. D. Richard, E. Kubiakve D. S. Horwitz, "Techniques for the surgical treatment of distal tibia fractures," *Orthop. Clin. North Am.*, cilt. 45, no. 3, sf. 295–312, 2014, doi: 10.1016/j.ocl.2014.04.001.
- [8] I. H. Wani, N. Ul Gani, M. Yaseen, A. Bashir, M. S. Bhatve M. Farooq, "Operative management of distal tibial extra-articular fractures – Intramedullary nail versus minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis," *Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja*, cilt. 19, no. 6. sf. 537–541, 2017, doi: 10.5604/01.3001.0010.8045.
- [9] I. Ban, L. Birkelund, H. Palm, M. Brixve A. Troelsen, "Circumferential wires as a supplement to intramedullary nailing in unstable trochanteric hip fractures," *Acta Orthop.*, cilt. 83, no. 3, sf. 240–243, 2012, doi: 10.3109/17453674.2012.665329.
- [10] S. Jain, B. A. Haughtonve C. Brew, "Intramedullary fixation of distal fibular fractures: a systematic review of clinical and functional outcomes," *J. Orthop.*

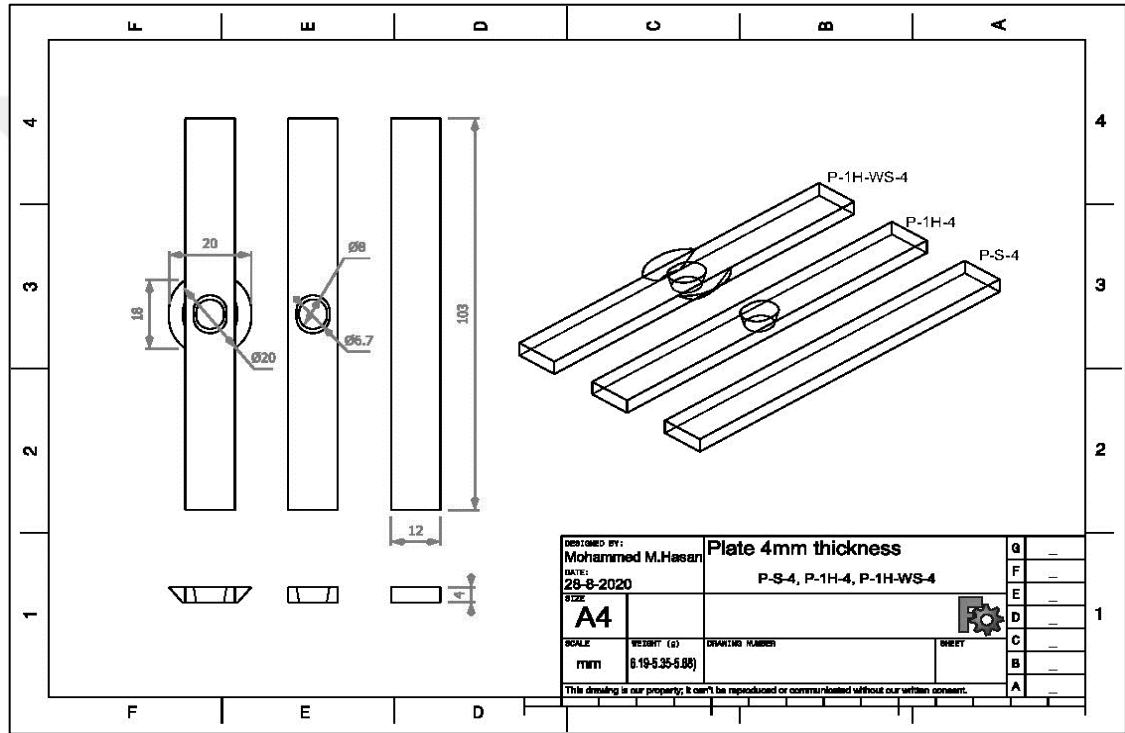
- Traumatol.*, cilt. 15, no. 4, sf. 245–254, 2014, doi: 10.1007/s10195-014-0320-0.
- [11] V. Filardi, “The healing stages of an intramedullary implanted tibia: A stress strain comparative analysis of the calcification process,” *J. Orthop.*, cilt. 12, sf. S51–S61, 2015, doi: 10.1016/j.jor.2015.01.016.
- [12] H. Takigami, H. Sakanove T. Saito, “Internal fixation with the low profile plate system compared with Kirschner wire fixation: clinical results of treatment for metacarpal and phalangeal fractures,” *Hand Surg.*, cilt. 15, no. 1, sf. 1–6, 2010, doi: 10.1142/S0218810410004527.
- [13] S. K. ve R. S. Ajay Chhaya-Vijay Suryavanshi, Vivek Borse, Vaishali Pawar, “Material advancements in bone-soft tissue fixation devices,” *Sci. Adv. Today*, cilt. 2, no. Ağustos, sf. 25236, 2016.
- [14] K. D’alessio, D. S. Kaplan, R. R. Muthve J. Kennedy, “Bioabsorbable medical implants.” Google Patents, Oct. 07, 1997.
- [15] B. D. Ulery, L. S. Nairve C. T. Laurencin, “Biomedical applications of biodegradable polymers,” *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, cilt. 49, no. 12, sf. 832–864, 2011, doi: 10.1002/polb.22259.
- [16] C. Fraschini, R. Plesu, J. R. Sarasuave R. E. Prud’Homme, “Cracking in polylactide spherulites,” *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, cilt. 43, no. 22, sf. 3308–3315, 2005, doi: 10.1002/polb.20616.
- [17] M. Jamshidian, E. A. Tehrany, M. Imran, M. Jacquotve S. Desobry, “Poly-Lactic Acid: Production, applications, nanocomposites, and release studies,” *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, cilt. 9, no. 5, sf. 552–571, 2010, doi: 10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x.
- [18] M. Savioli Lopes, A. L. Jardinive R. Maciel Filho, “Poly (lactic acid) production for tissue engineering applications,” *Procedia Eng.*, cilt. 42, sf. 1402–1413, 2012, doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.534.
- [19] L. W. McKeen, *Plastics Used in Medical Devices*. Elsevier Inc., 2014.
- [20] K. Van De Velde ve P. Kiekens, “Ein Jahrhundert Bahnelektroindustrie,” *eb - Elektrische Bahnen*, cilt. 99, no. 12, p. 483, 2001.
- [21] J. C. Middleton ve A. J. Tipton, “Synthetic biodegradable polymers as orthopedic devices,” *Biomaterials*, cilt. 21, no. 23, sf. 2335–2346, 2000, doi: 10.1016/S0142-9612(00)00101-0.

- [22] J. S. Bergström ve D. Hayman, “An Overview of Mechanical Properties and Material Modeling of Polylactide (PLA) for Medical Applications,” *Ann. Biomed. Eng.*, cilt. 44, no. 2, sf. 330–340, 2016, doi: 10.1007/s10439-015-1455-8.
- [23] B. Dhandayuthapani, Y. Yoshida, T. Maekawave D. S. Kumar, “Polymeric scaffolds in tissue engineering application: A review,” *Int. J. Polym. Sci.*, cilt. 2011, no. ii, 2011, doi: 10.1155/2011/290602.
- [24] S. Farah, D. G. Andersonve R. Langer, “Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review,” *Adv. Drug Deliv. Rev.*, cilt. 107, sf. 367–392, 2016, doi: 10.1016/j.addr.2016.06.012.
- [25] Z. Dai, J. Ronholm, Y. Tian, B. Sethive X. Cao, “Sterilization techniques for biodegradable scaffolds in tissue engineering applications,” *J. Tissue Eng.*, cilt. 7, 2016, doi: 10.1177/2041731416648810.
- [26] Y. Zhao, B. Zhu, Y. Wang, C. Liuve C. Shen, “Effect of different sterilization methods on the properties of commercial biodegradable polyesters for single-use, disposable medical devices,” *Mater. Sci. Eng. C*, cilt. 105, no. July, p. 110041, 2019, doi: 10.1016/j.msec.2019.110041.
- [27] E. B. Howells, “SI units , force , mass and acceleration,” *Anaesth. Intensive Care Med.*, vol. 12, no. 9, pp. 415–418, 2011, doi: 10.1016/j.mpaic.2011.06.011.
- [28] K. Kisielinski, S. Willis, A. Prescher, B. Klosterhalfen, and V. Schumpelick, “A simple new method to calculate small intestine absorptive surface in the rat,” *Clin. Exp. Med.*, vol. 2, no. 3, pp. 131–135, 2002, doi: 10.1007/s102380200018.
- [29] M. Rainone, C. Fondave E. Canessa, “IMAGINARY Math Exhibition using Low-cost 3D Printers,” 2014, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1409.5595>.

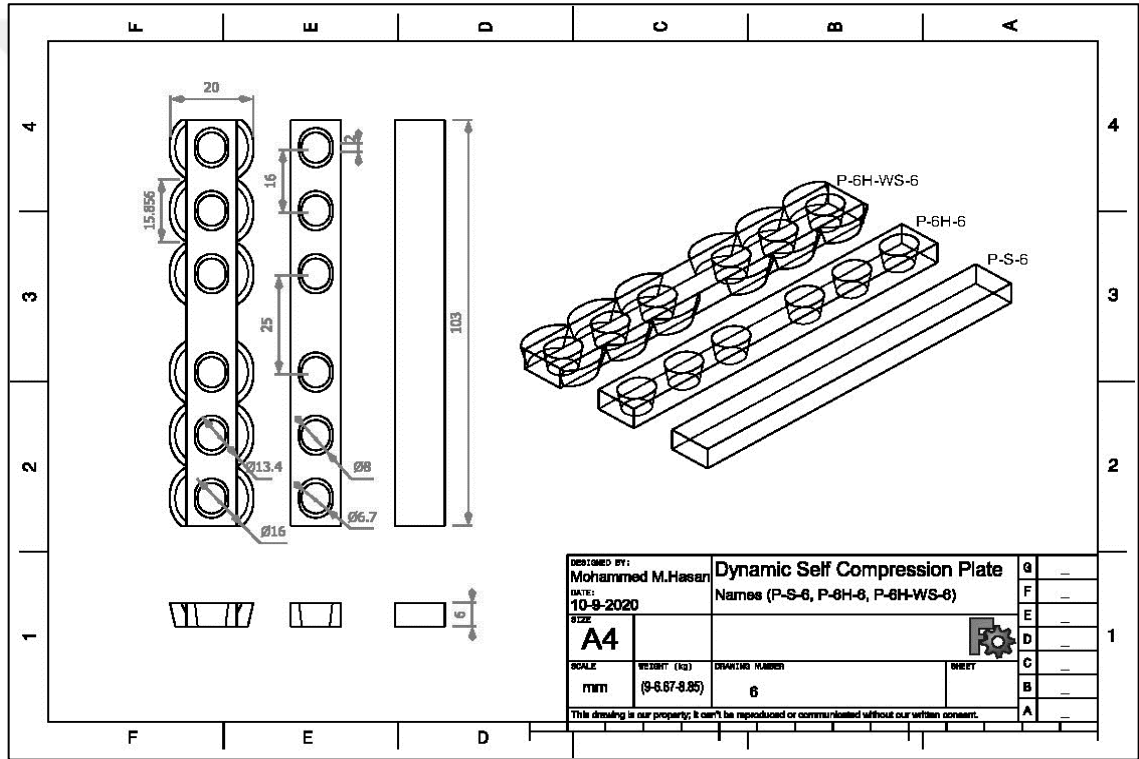
EK A



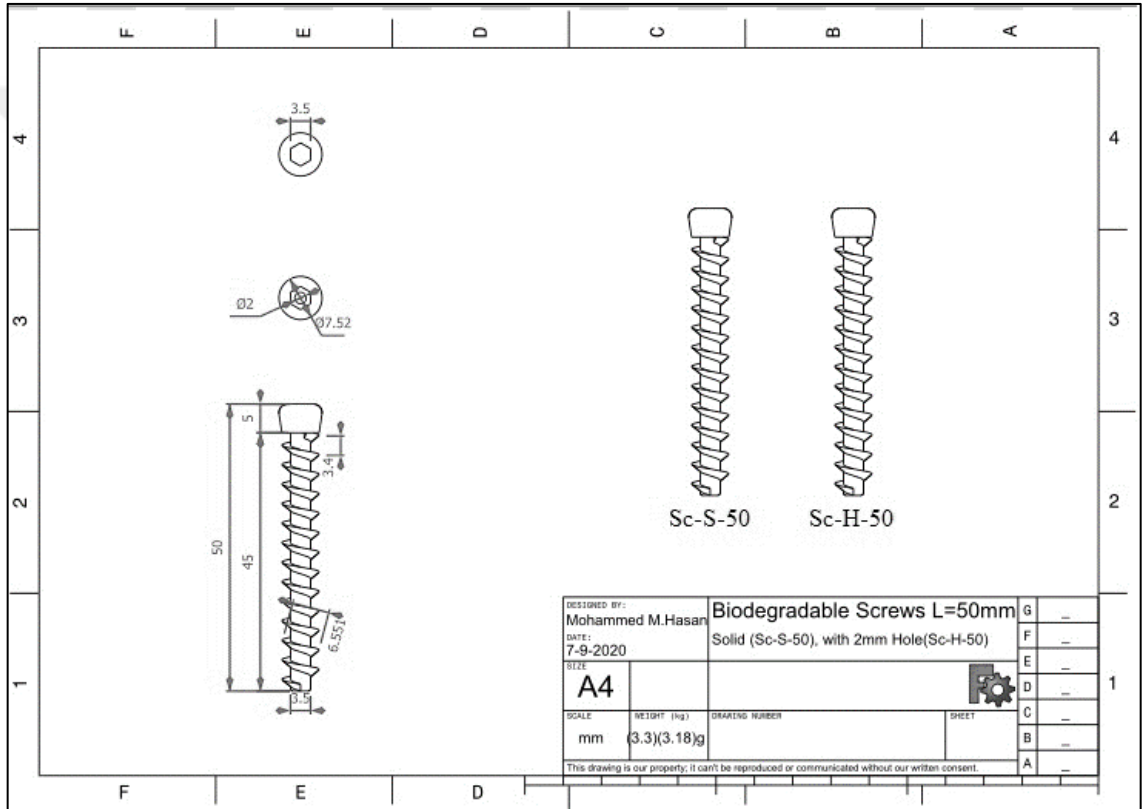
Şekil A.1 2 mm Kalınlıktaki DCP plaklar (Düz Plak (P-S-2), 6 Delikli Plak (P-6H-2), 6 Delikli ve Destekli Plak (P-6H-WS-2)).



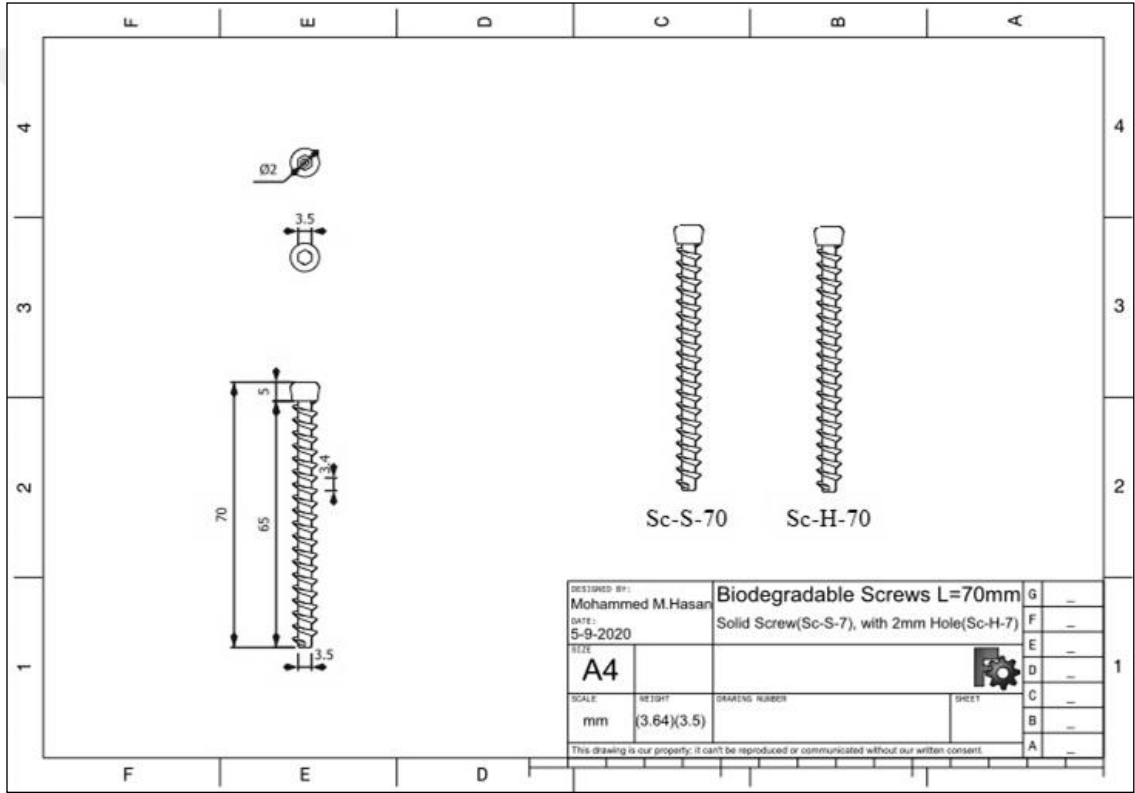
Şekil A.2 Üç tipte 4 mm kalınlığındaki plaklar (Düz Plak (P-S-4), Delikli Plak (P-1H-4), Delikli Destekli Plak (P-1H-WS-4)).



Şekil A.3 2 mm Kalınlıktaki DCP plaklar (Düz Plak (P-S-6), 6 Delikli Plak (P-6H-6), 6 Delikli ve Destekli (P-6H-WS-6)).



Şekil A.4 Süngerimsi Kanüllü Vida Ø 6,5 mm Düz Diş (Düz Vida uzunluğu 50 mm (Sc-S-5), 2 mm Delikli uzunluğu 50 mm olan Vida (Sc-H-5)).

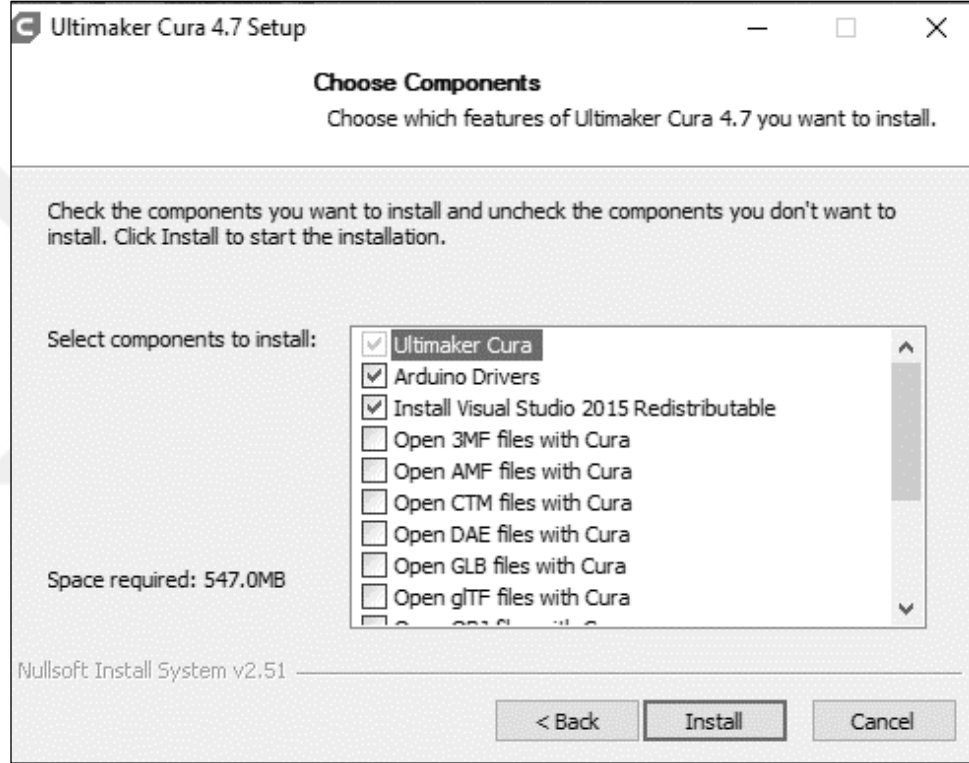


Şekil A.5 Süngerimsi Kanüllü Vida Ø 6,5 mm Düz Diş (Düz Vida uzunluğu 70 mm (Sc-S-7), 2 mm Delikli uzunluğu 70 mm olan Vida (Sc-H-7).

EK B

Ultimaker Cura 4.7 İndirme ve Kurma: Windows

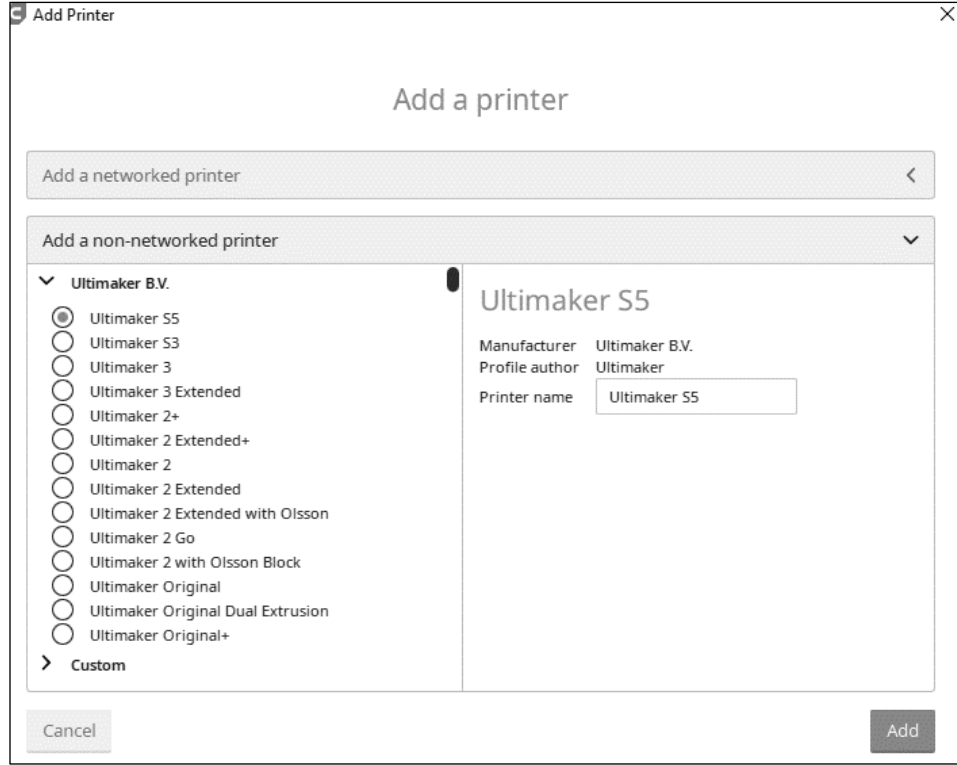
Yükleyiciyi çalıştırın ve normal adımları uygulayın. Kurulumun önemsiz olmayan tek kısmı, size Şekil B.1'de gösterilen ek bileşenleri kurma seçeneği sunan aşağıdaki ekrandır.



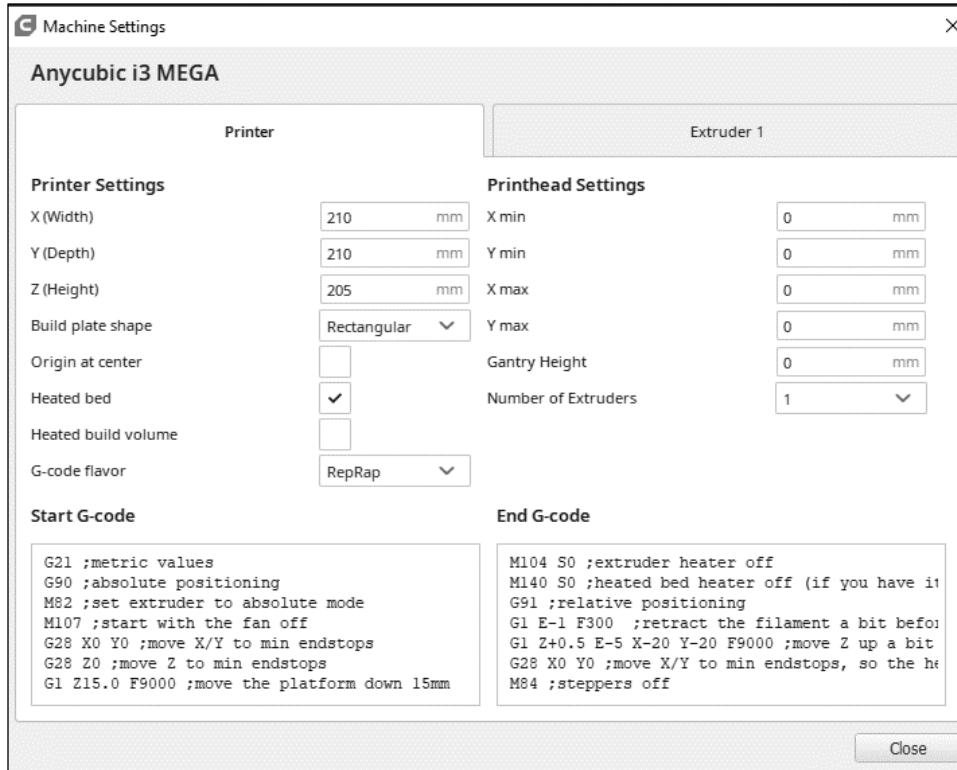
Şekil B.1 Ultimaker Cura 4.7 Kurulumu.

3D Yazıcının Kurulumu

Cura'yı ilk yüklerken, Ayarlar> Yazıcı'yı seçerek yeni bir yazıcı kurun. Şimdi birçok yazıcıdan oluşan bir seçki ile karşılaşacaksınız. Şekil B.2'te gösterildiği gibi, şekil B.3'te gösterilen yazıcı uyarı.



Şekil B.2 3D yazıcı kurulumu.



Şekil B.3 3D yazıcının detayları.

Tablo B.1 PLA'nın Teknik Veri Sayfası.

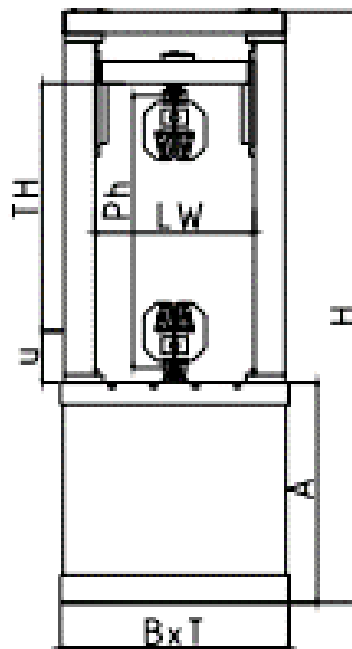
Özellikler (Properties)	Test Metodu (Test Methods)	Değer, Birim (Value, Unit)
Özkütle (Density)	ISO 1183	1,23 g
Eriyik Akış İndeksi (Melt Flow Index)	ISO 1133	17,3 g/10 dk (min)
Erime Sıcaklığı (Melting Temperature)	-	190-220 °C
Isıda Eğilme Sıcaklığı (Heat Deflection Temperature)	ASTM D648	55 °C
Çekme Mukavemeti (Tensile Strength)	ISO 527	54,3 MPa
Elastik Modül (Young Modulus)	ISO 527	2300 MPa
Kopma Uzaması (Elongation at break)	ISO 527	3,4 %
Çentikli Darbe Testi (Charpy Impact Strength Notched)	ISO 179	14,2 k J/m ²

Technical Data Series LFM 20 – 125 kN

General Specifications:

Accuracy:	In accordance with ISO 7500-1, EN10002-2, Grade 0.5 %.
Test Speed:	Available with different test speeds depending on application. Standard test speeds ranging from 0.001 mm to 300 / 500 / 1000 / 2000 mm/min.
Crosshead Travel:	Standard 1000 mm. All others are available.
Optional T-Slots:	Suitable to fix components, specimens or manufactured assemblies.
Control:	Force and displacement closed loop controlled. If ordering with extensometer also strain closed loop controlled.
Operating Temperature:	10 to 45°C
Power Requirements:	220 / 240 V, 50 Hz

Type	LFM	20	25	30	50	75	100	125
Test Load max.:	kN	20	25	30	50	75	100	125
Test Speed max.:	mm/min	1000	1000	1000	1000	500	500	400
Crosshead Travel (Th):	mm	1000	1000	1000	1000	1000	1100	1100
Vertical Test Space (Ph):	mm	1200	1200	1200	1200	1200	1330	1330
Spigot Diameter:	mm	20	20	20	20	30	40	40
Space betw. Columns (LW):	mm	560	560	560	560	560	610	610
Working Height (A):	mm	720	720	720	720	720	750	750
Width (B):	mm	820	820	820	820	820	1000	1000
Depth (T):	mm	750	750	750	750	750	750	750
Height (H):	mm	2260	2260	2260	2260	2260	2590	2590
Weight (without Grips):	kg	600	600	600	600	600	810	810
Frame Stiffness:	kN/mm	125	125	125	125	125	150	150



Şekil B.4 LFM Serisi 20 - 125 kN test makinelerinin teknik veri sayfası.

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

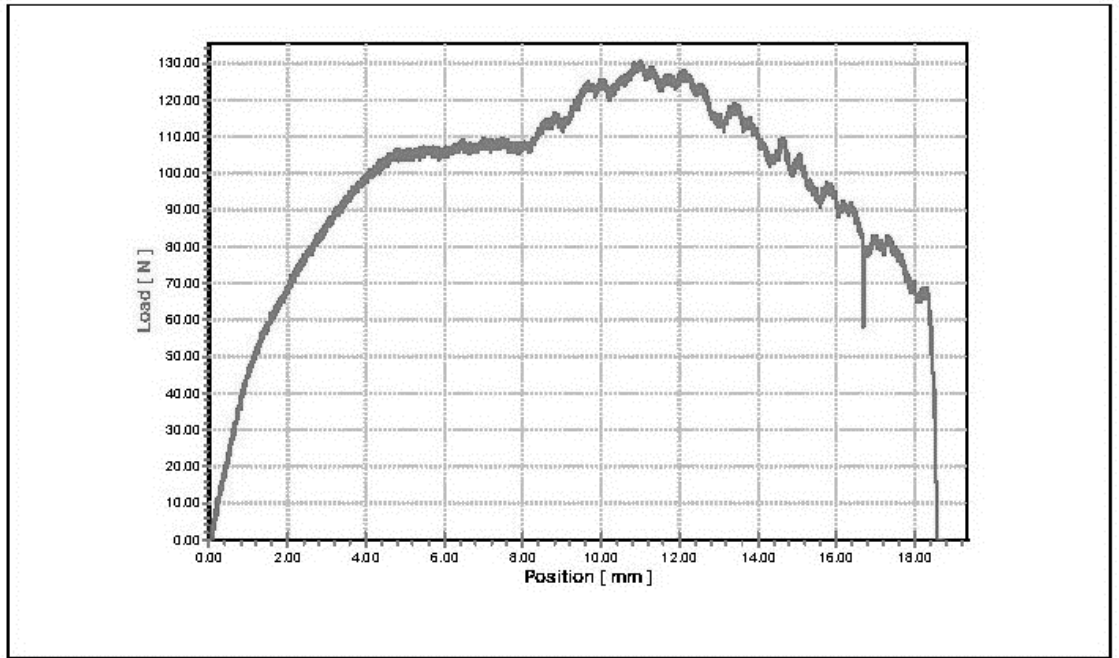
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: PA2



Şekil B.5 2 mm kalınlığında düz plağın test tablosu (P-S-2).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

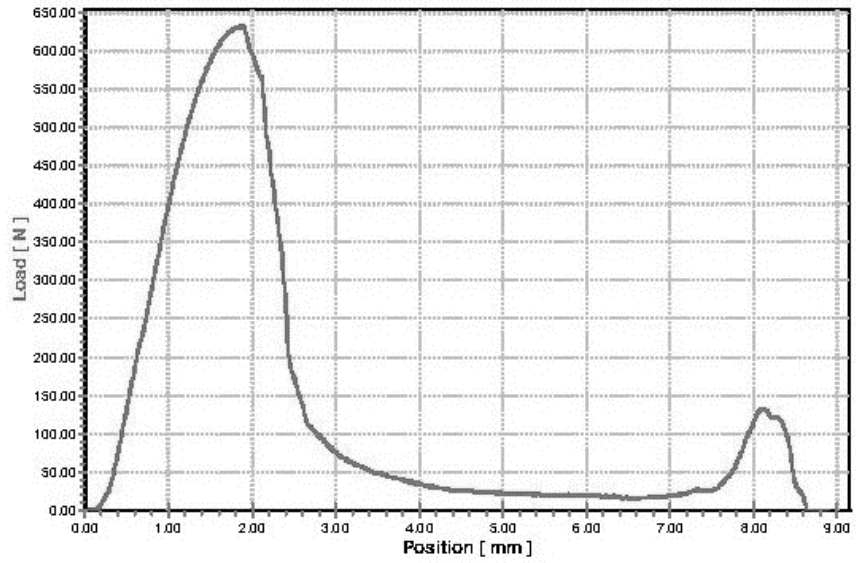
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: PA4



Şekil B.6 4 mm kalınlığında düz plağın test tablosu (P-S-4).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

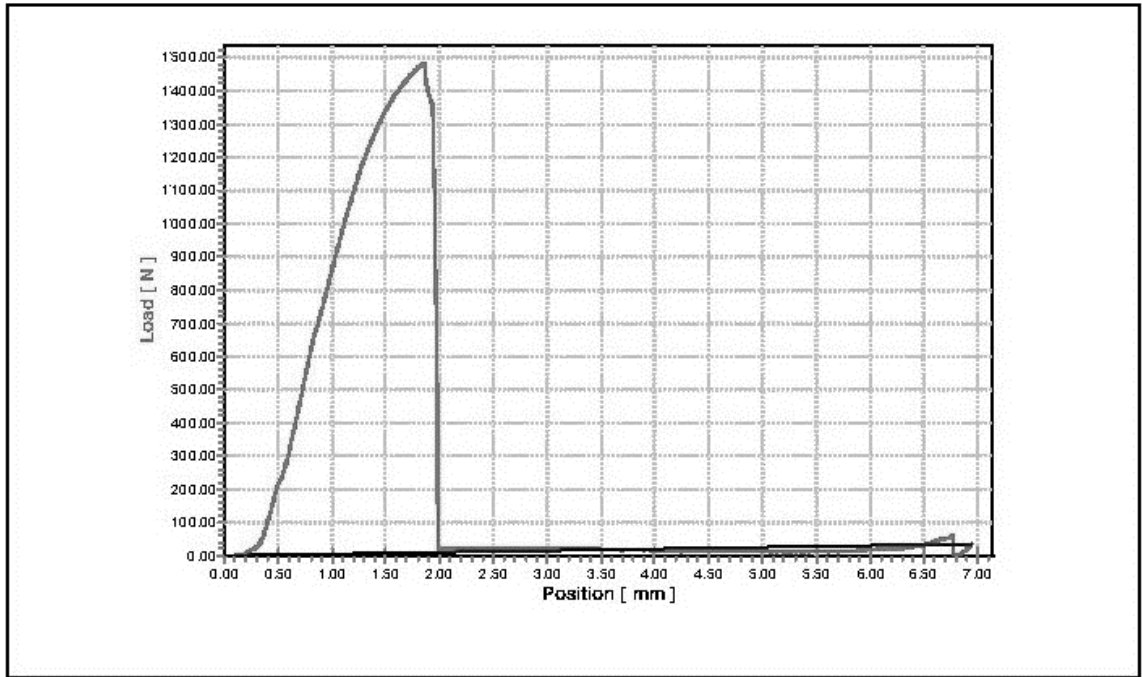
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: PA6



Şekil B.7 6 mm kalınlığında düz plağın test tablosu (P-S-6).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

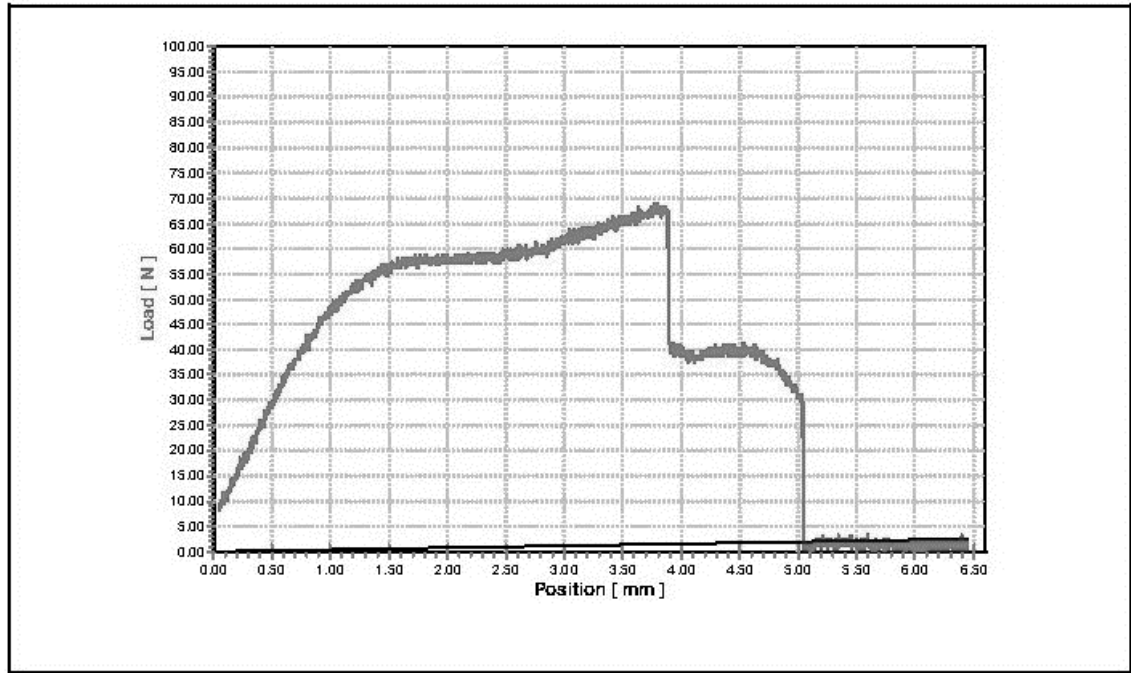
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Samplenummer: PB2 (1Hole)



Şekil B.8 2 mm kalınlığında tek delikli plağın test tablosu (P-1H-2).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

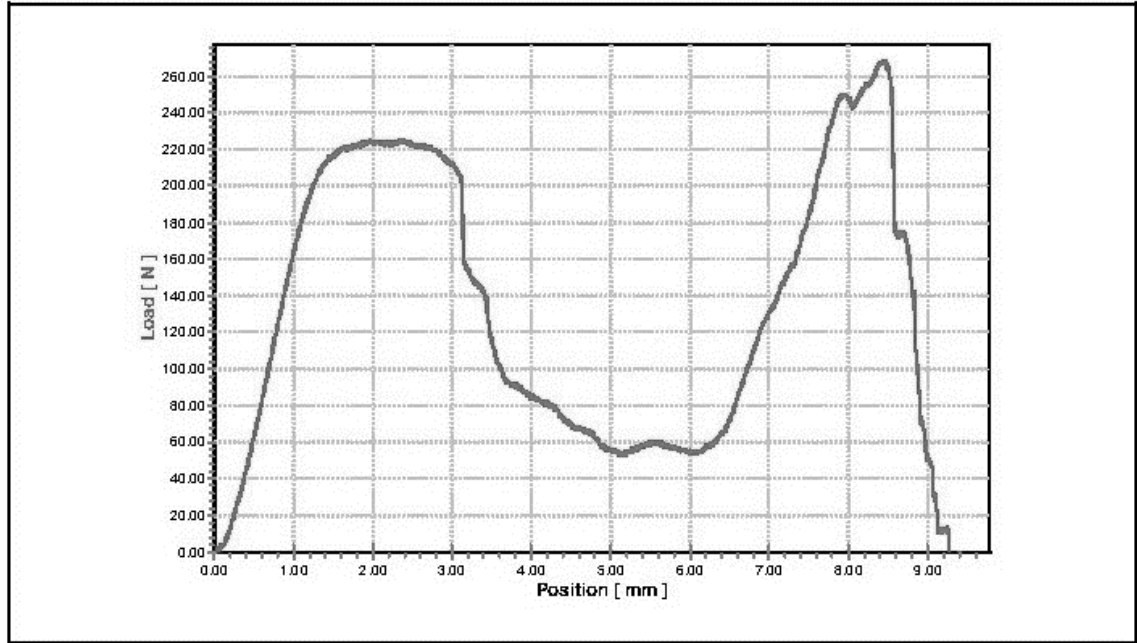
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: PB4 1 HOLE



Şekil B.9 4 mm kalınlığında tek delikli plağın test tablosu (P-1H-4).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

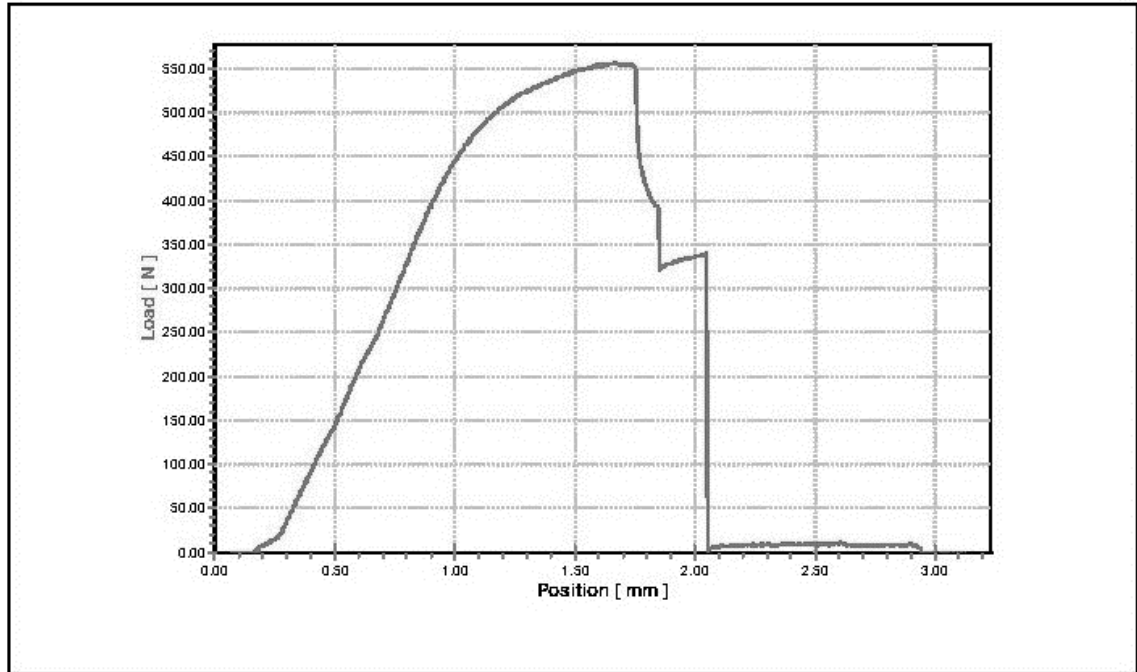
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: PB6(1Hole)



Şekil B.10 6 mm kalınlığında tek delikli plağın test tablosu (P-1H-6).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

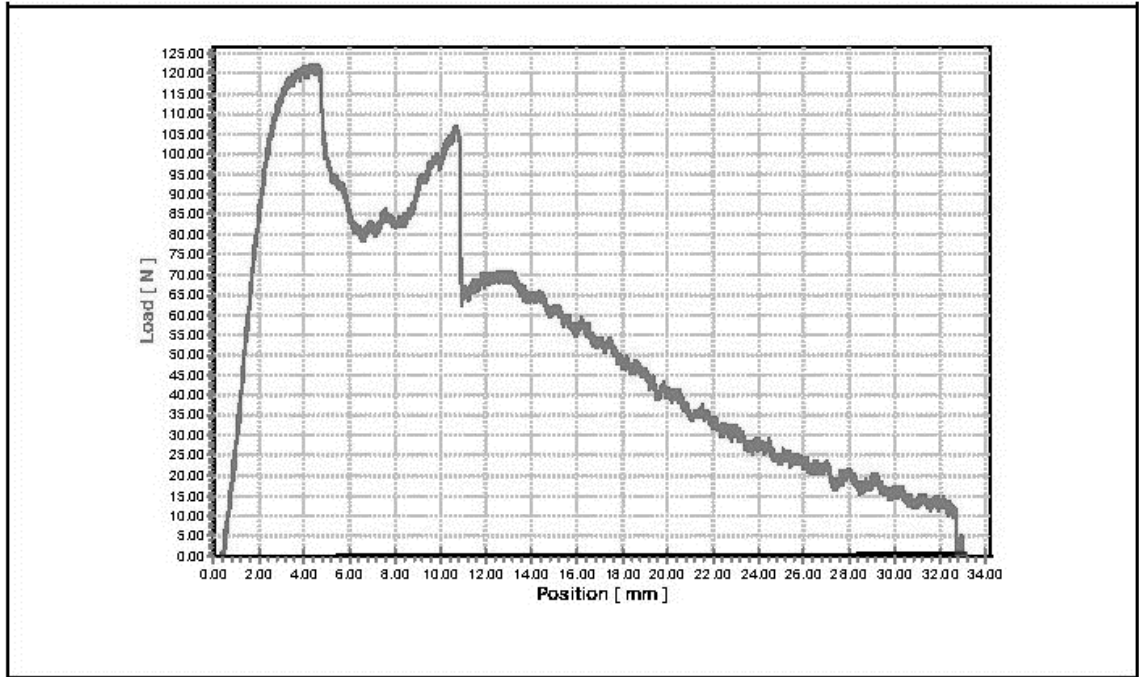
Humidity: 3B

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: PC2 (1Hole with support)



Şekil B.11 2 mm kalınlığında, tek delikli ve destekli plağın test tablosu (P-1H-WS-2).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

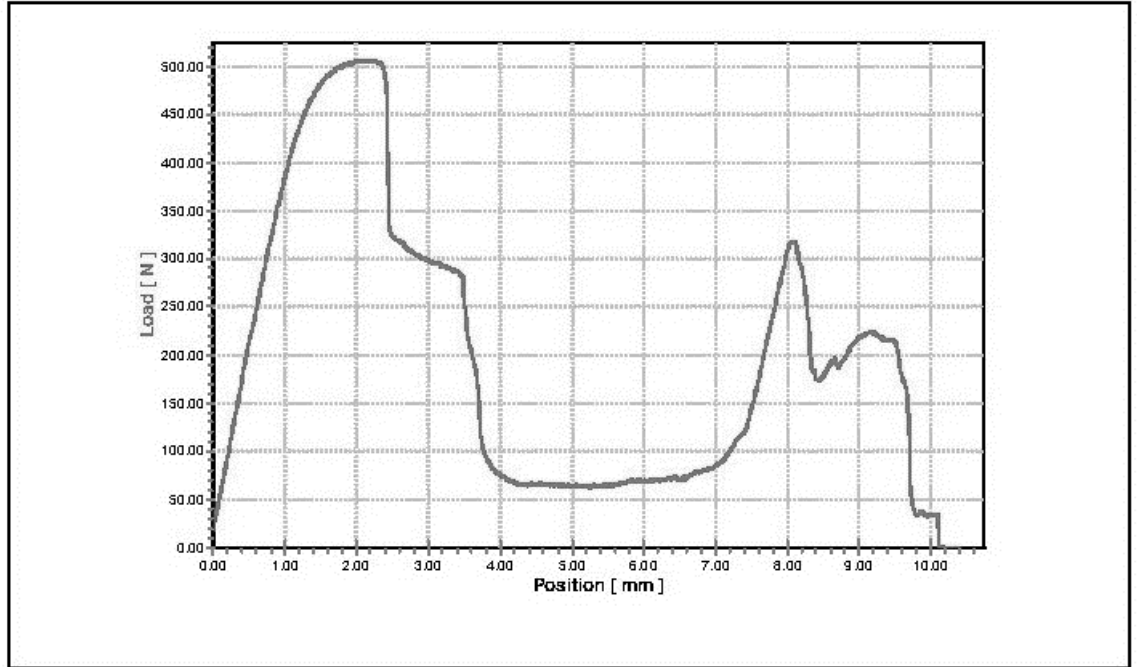
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Samplenumber: PC4 1 HOLE



Şekil B.12 4 mm kalınlığında, tek delikli ve destekli plağın test tablosu (P-1H-WS-4).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

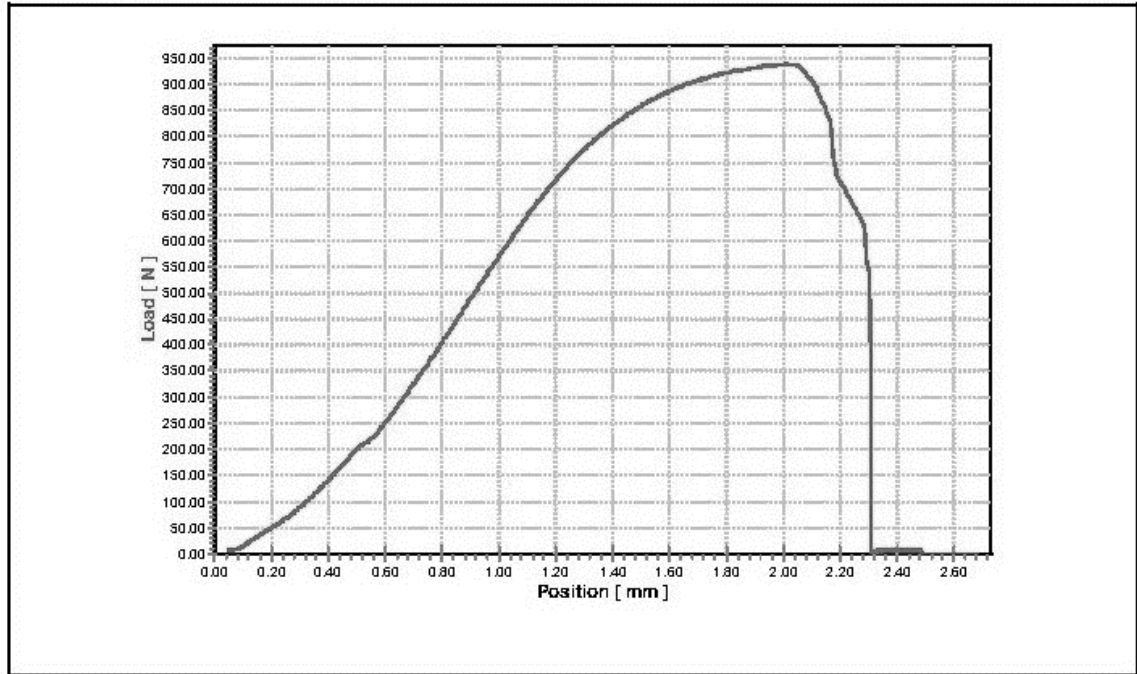
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Samplenummer: PC6 (1Hole with support)



Şekil B.13 6 mm kalınlığında, tek delikli ve destekli plağın test tablosu (P-1H-WS-6).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

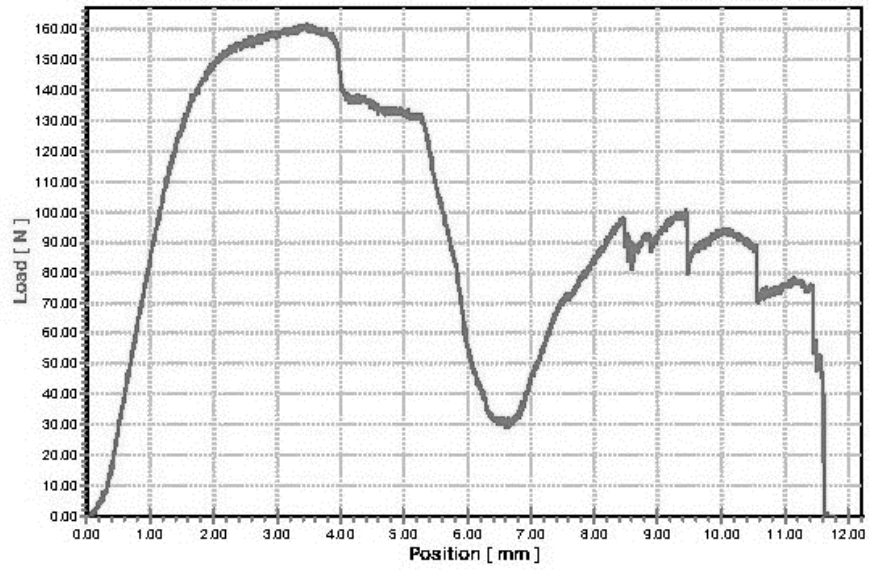
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Samplenummer: P6B2



Şekil B.14 2 mm kalınlığında, altı delikli plağın test tablosu (P-6H-2).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

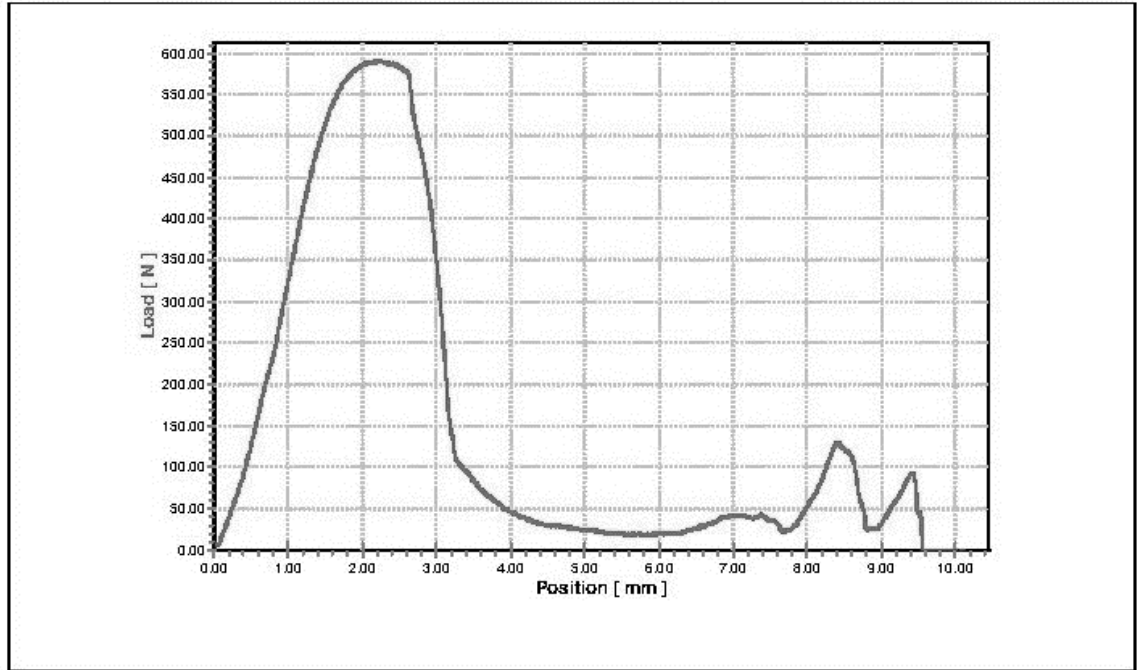
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: P6B4



Şekil B.15 4 mm kalınlığında, altı delikli plağın test tablosu (P-6H-4).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

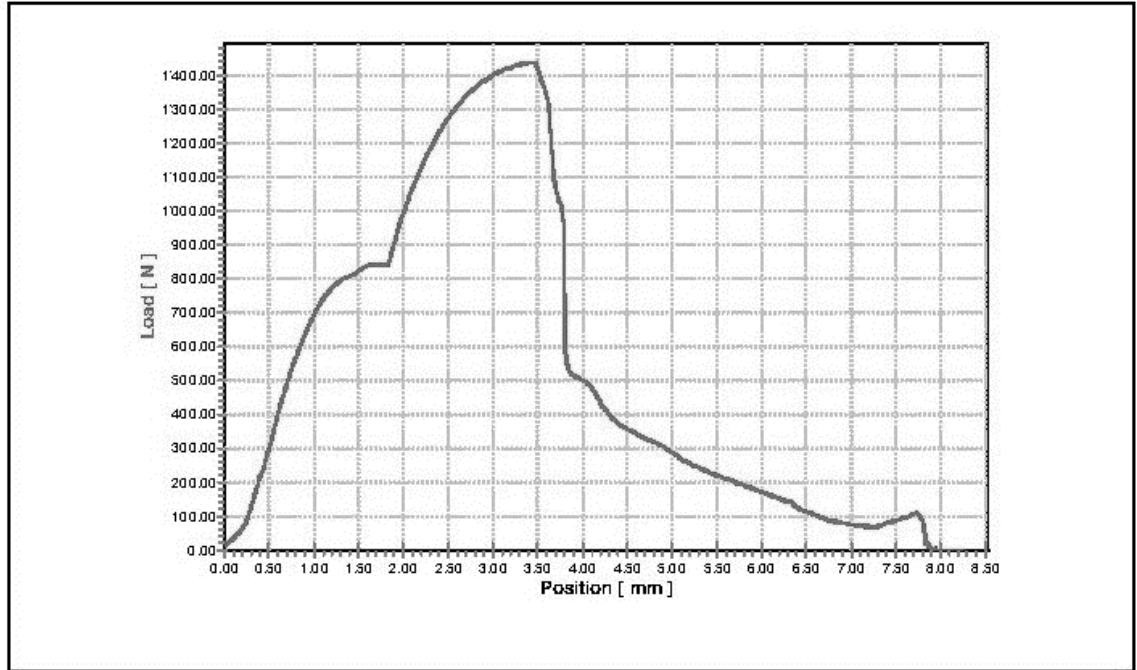
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Samplenummer: P6B6



Şekil B.16 6 mm kalınlığında, altı delikli plağın test tablosu (P-6H-6).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

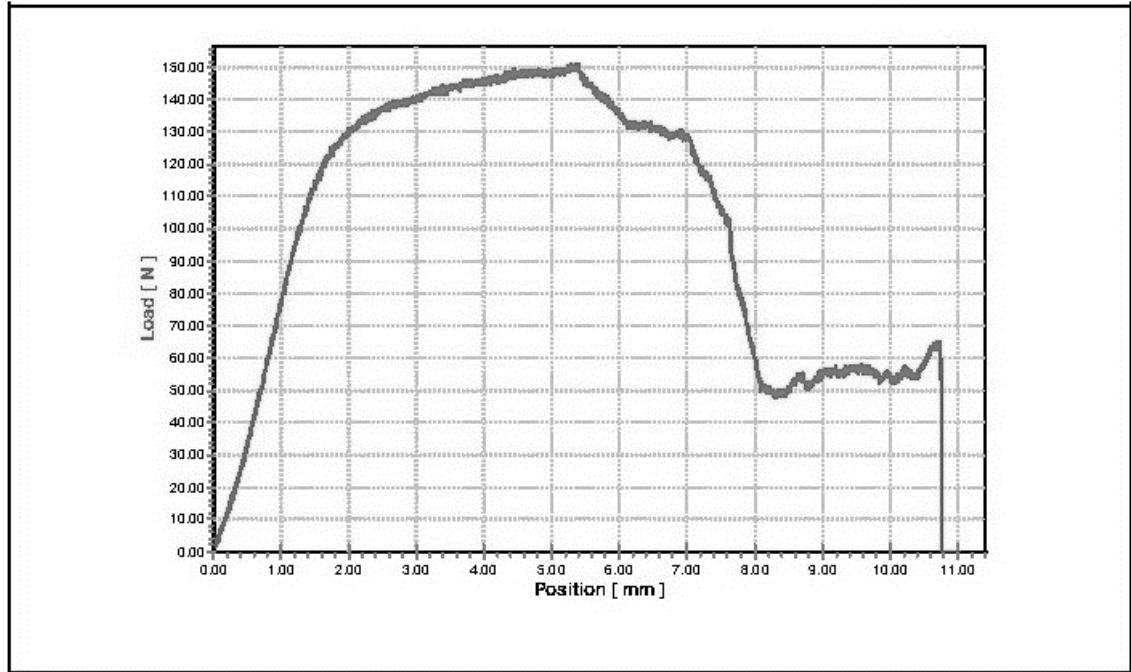
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: P6C2



Şekil B.17 2 mm kalınlığında, altı delikli ve destekli plağın test tablosu (P-6H-WS-2).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

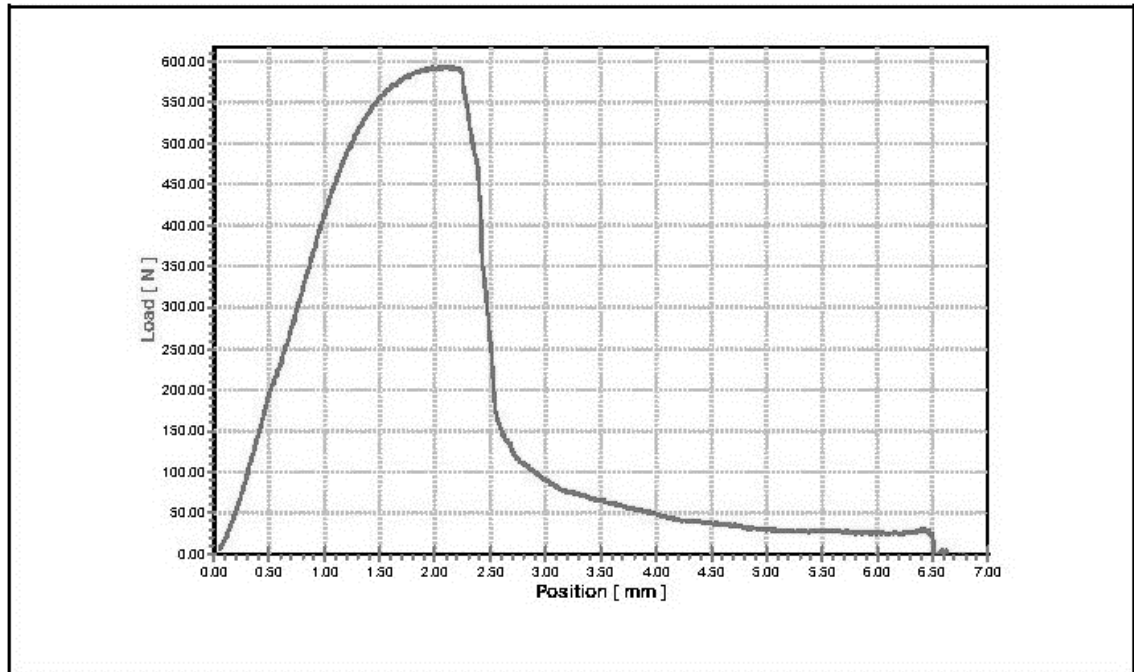
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test: (6Hole with support)

Sample designation:

Cast-/Samplenummer: P6C4



Şekil B.18 4 mm kalınlığında, altı delikli ve destekli plağın test tablosu (P-6H-WS-4).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

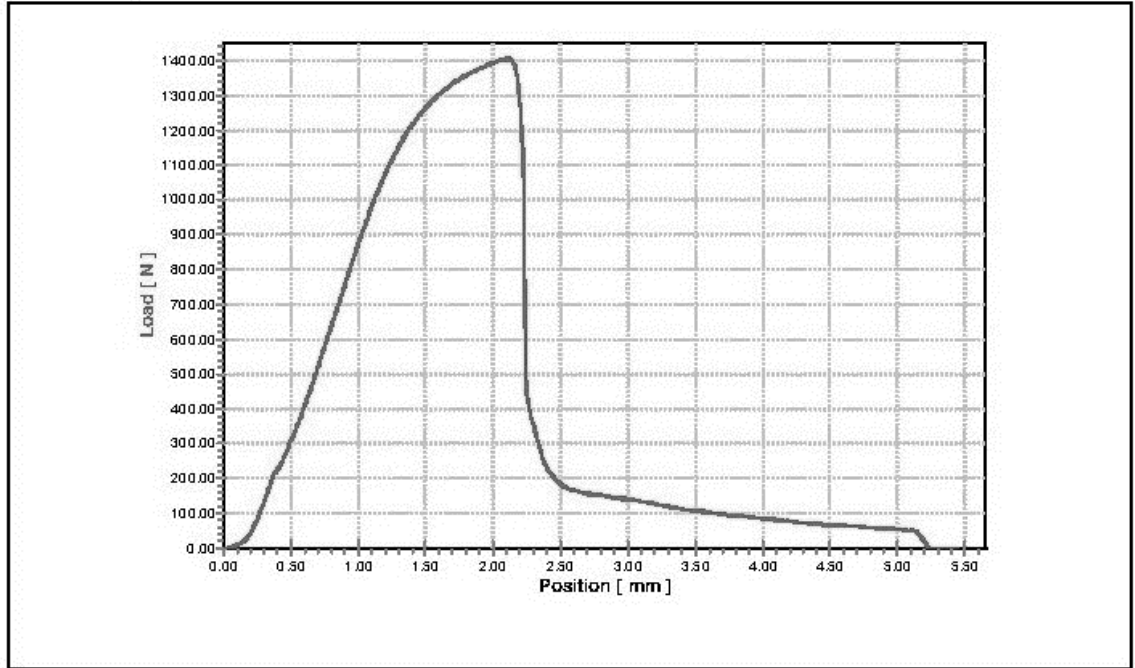
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: P6C6



Şekil B.19 6 mm kalınlığında, altı delikli ve destekli plağın test tablosu (P-6H-WS-6).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

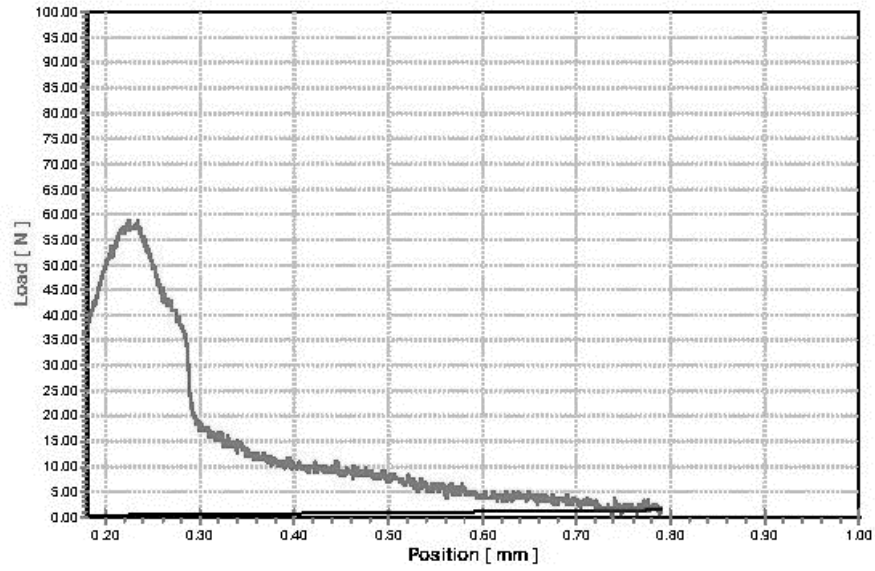
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: SA3



Şekil B.20 30 mm uzunluğundaki düz vidanın test tablosu (SC-S-3).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

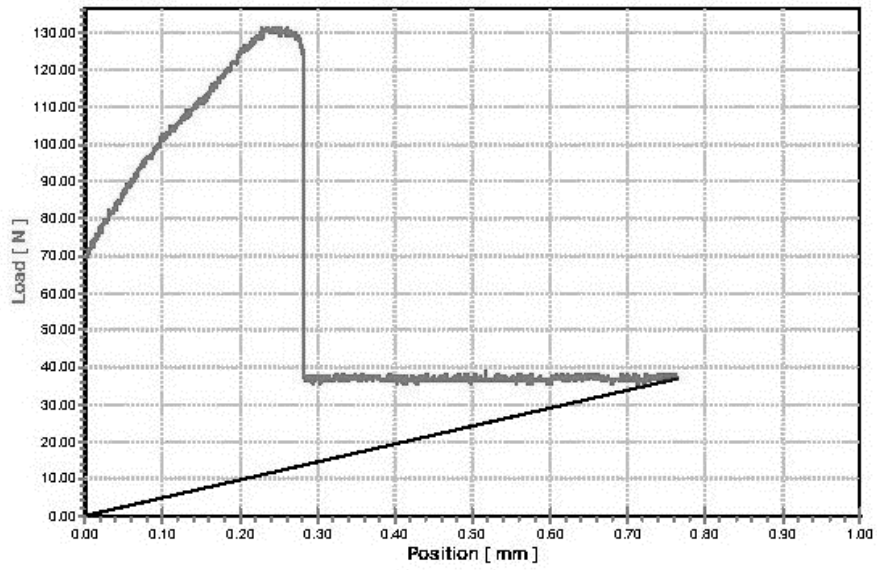
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Sample number: SA5



Şekil B.21 50 mm uzunluğundaki düz vidanın test tablosu (SC-S-5).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

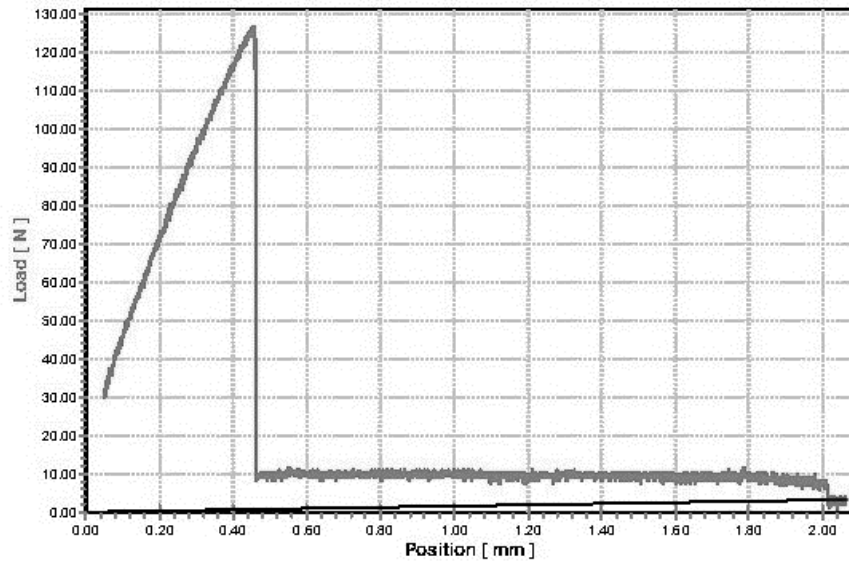
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Samplenummer: SA7



Şekil B.22 70 mm uzunluğundaki düz vidanın test tablosu (SC-S-7).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

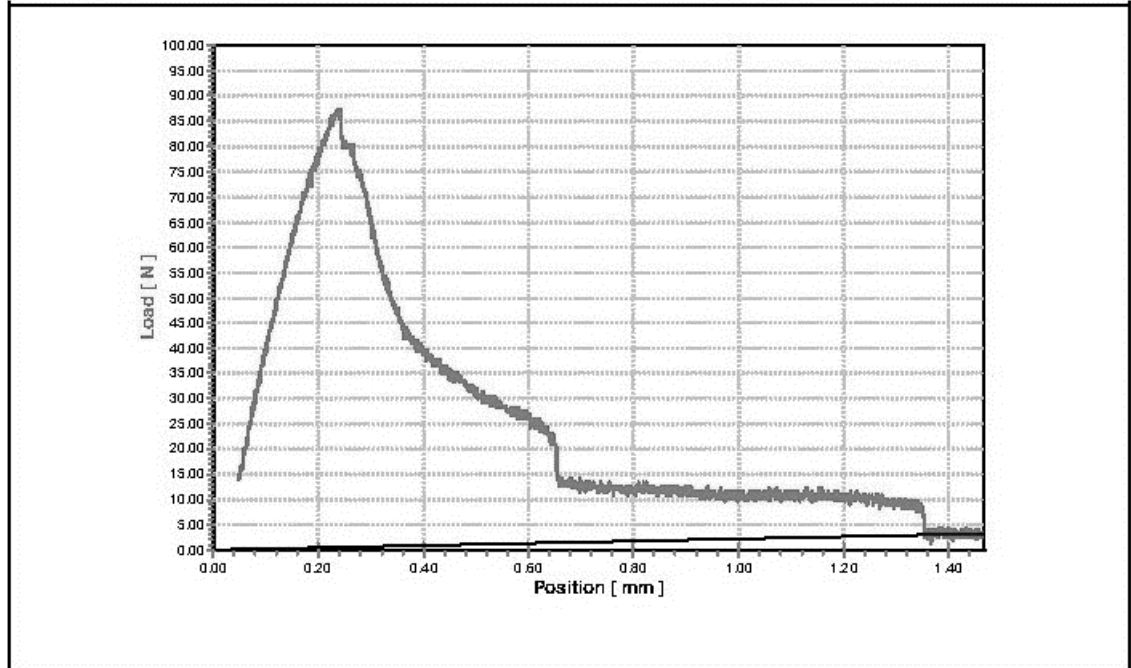
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Samplenummer: SB3



Şekil B.23 İçinde bir delik bulunan bir vidanın test tablosu, 30 mm uzunluk (SC-H-3).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

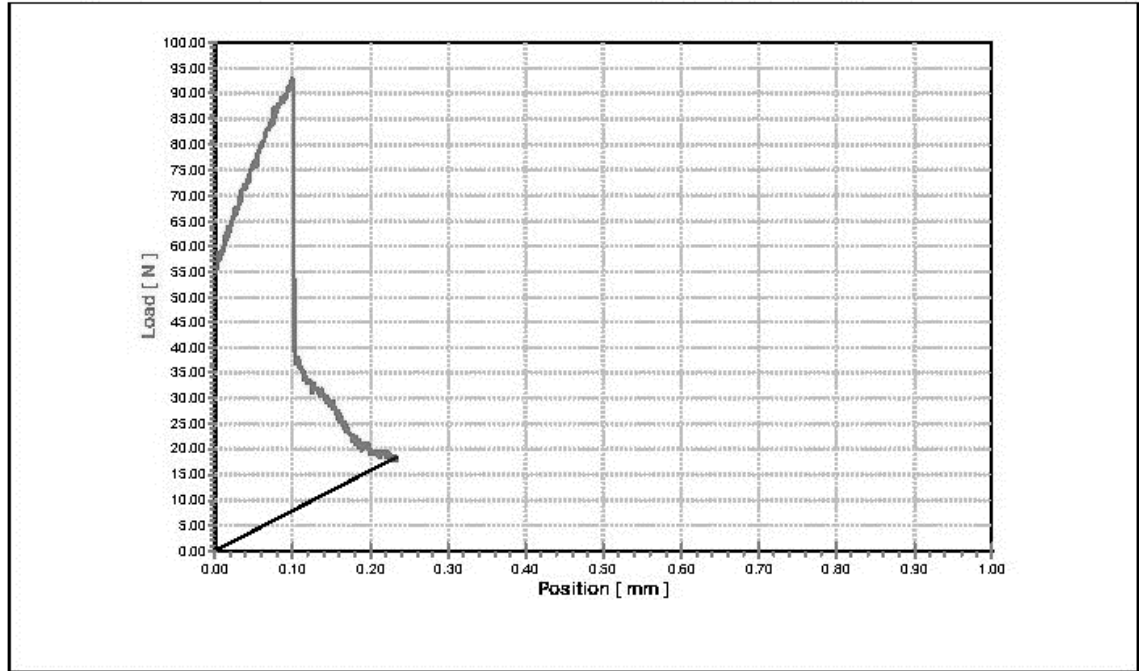
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Samplenummer: Sb5



Şekil B.24 İçinde delik bulunan bir vidanın test tablsou, 50 mm uzunluk (SC-H-5).

Operator: I. KILINCASLAN

Preparation:

Supplier:

Surface:

Testdate: 23.09.2020

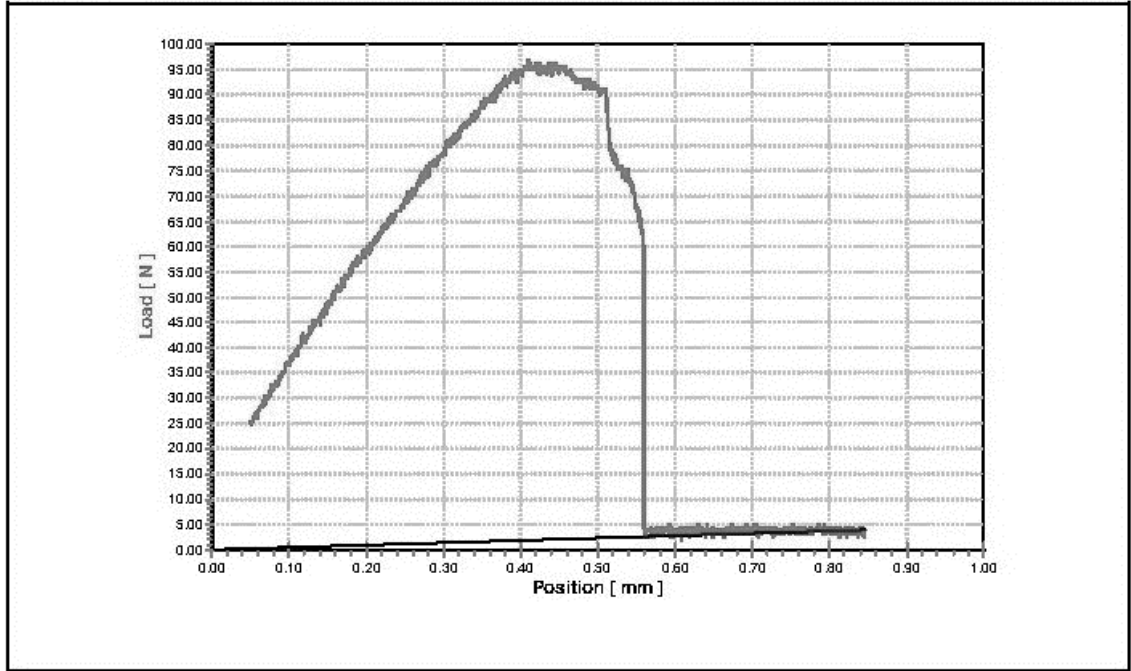
Humidity: 38

Teststandard: EN ISO 6892-1 B10 24C

Type of test:

Sample designation:

Cast-/Samplenummer: SB7



Şekil B.25 İçinde delik bulunan bir vidanın test tablosu, 70 mm uzunluk (SC-H-7).