

**ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN FARKLI
İÇ GEOMETRİLERE SAHİP PLA ESASLI
PLAKLARIN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ**

Emre İBRAM



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN FARKLI İÇ
GEOMETRİLERE SAHİP PLA ESASLI PLAKLARIN SERBEST
TİTREŞİM ANALİZİ**

Emre İBRAM
0000-0002-7072-398X

Doç. Dr. Ahmet YILDIZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
TEZ ONAYI

Emre İBRAM tarafından hazırlanan “ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN FARKLI İÇ GEOMETRİLERE SAHİP PLA ESASLI PLAKLARIN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

Başkan : Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

İmza

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Hande Güler Özgül

İmza

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hilal Doğanay Kati

İmza

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği
Anabilimdalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı ve
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/12/2022

Emre İBRAM

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Doç. Dr. Ahmet YILDIZ
02.12.2022

Emre İBRAM
02.12.2022

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım
yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜÇ BOYUTLU YAZICI İLE ÜRETİLEN FARKLI İÇ GEOMETRİLERE SAHİP PLA ESASLI PLAKLARIN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Emre İBRAM

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

Bu çalışmada üç boyutlu bir yazıcı ile üretilen farklı kesitlere sahip PLA malzeme esaslı plakaların serbest titreşim frekanslarının deneysel testler ile analizi ve karşılaştırılması incelenmiştir. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen 190x190 mm PLA numunelerinin her biri farklı kesitlere sahiptir. Bu kesitler üçgen yapı, kare yapı, altıgen yapı ve tam dolu olacak şekilde ve ayrıca yapıların iç yoğunluk oranları %20 ve %60 olacak şekilde üretimi iki farklı yoğunlukta gerçekleştirilmiştir. Plaklar'ın her biri, serbest bir şekilde titreşebilecek şekilde desteklere bağlanıp, modal sarsıcı tarafından üretilen sinüs taramasına maruz bırakılmıştır. Deneysel sonuç elde edilen Frekans-Genlik grafikleri sonucu doğal frekansları belirlenmiştir. Her bir plaka için bulunan doğal frekanslar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçların karşılaştırmada en yüksek frekansların sırasıyla üçgen, kare, petek ve dolgu kesit plakalardan elde edilebildiği görülmüştür. Ayrıca iki farklı yoğunluğa sahip iç yapıların, %20 yoğunlukta frekansları, %60 yoğunlukta frekanslarına oranla daha yüksek frekanslar olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PLA plak, serbest titreşim, kare plak, 3D baskılı, kompozit plaklar, Modal Analiz, Farklı kesit

ABSTRACT

PhD Thesis

**FREE VIBRATION ANALYSIS OF PLA-BASED PLATES WITH DIFFERENT
INFILL PATTERNS PRODUCED BY A THREE-D PRINTER**

Emre İBRAM

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

In this study, the analysis and comparison of free vibration frequencies of PLA material-based plates with different cross-sections produced with a three-dimensional printer with experimental tests were investigated. Each of the 190x190 mm PLA samples produced with a three-dimensional printer has different cross-sections. These sections were produced in two different densities as triangular structure, square structure, hexagonal structure and fully filled, and also the internal density ratios of the structures were 20% and 60%. Plates were each attached to supports so that they could vibrate freely and subjected to sinus scanning produced by the modal shaker. Natural frequencies were determined as a result of the Frequency-amplitude graphs obtained as a result of the experiment. The natural frequencies found for each plate were compared with each other. In the comparison of the experimental results, it was seen that the highest frequencies could be obtained from the triangle, square, honeycomb and filled section plates, respectively. In addition, it was determined that the frequencies of the internal structures with two different densities were higher than the frequencies at 20% density, compared to the frequencies at 60% density.

Keywords: PLA plate, free vibration, square plate, 3D printed, composite plates, Modal Analysis, Different cross section

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim sürecinde değerli destekleri ve tecrübelerini benden esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Ahmet Yıldız'a teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Lisansüstü eğitimim ile tanıştığım ve eğitimim boyunca her zaman her konuda yanımda olup desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşım, kıymetli hocam Sayın Araş. Gönenç DURAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazım sürecinde bilgi ve yardımları ile her zaman yanımda olan Sayın Prof. Dr. Hande Güler ÖZGÜL ve Sayın Doktora Öğrencisi Onur EROL'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her koşulda yanımda olan, hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli eşime ve aileme çok teşekkür ederim.

Emre İBRAM
02/12/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1.GİRİŞ	1
1.1.Eklemeli İmalatta Kullanılan Üç Boyutlu Yazıcılar ve Çeşitleri.....	1
1.1.1.Kartezyen Tipi 3B Yazıcılar	1
1.1.2.Delta Tipi 3B Yazıcılar	2
1.1.3.Polar 3B Yazıcılar	3
1.1.4.Scara Tipi 3B Yazıcılar	4
1.2.Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojileri.....	4
1.2.1.Stereolithography (SLA) Teknolojisi.....	4
1.2.2.Digital Light Processing (DLP) Teknolojisi	5
1.2.3.Fused Deposition Modelling (FDM) Teknolojisi	6
1.2.4.Selective Laser Sintering (SLS) Teknolojisi.....	6
1.2.5.Selective Laser Melting (SLM) Teknolojisi	7
1.2.6.Electron Beam Melting (EBM) Teknolojisi.....	8
1.2.7.Laminated Object Manufacturing (LOM) Teknolojisi	8
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	10
2.1.Yapısal Titreşim ve Modal Analiz	10
2.2. Literatür Araştırması	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Deneysel Modal Analizde Kullanılan Malzemeler	15
3.1.1. 3 Boyutlu Yazıcı ile oluşturulan PLA Esaslı Plaklar	15
3.1.2 Modal Sarıcı ve Sensörler	16
3.1.3. Güç Ampifikatörü ve DAQ.....	18
3.1.4. Bilgisayar	19
3.1.5. 3B Yazıcı.....	19
3.2. Deneyde Kullanılan Plakaların Üretimi	21
3.3. Deney Düzenegi ve Modal Analizin Yapılması	37
3.3.1. Deney Uygulaması.....	38
4. BULGULAR	40
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
dB	Desibel
Hz	Titreşim birimi
ω	Doğal Frekans

Kısaltmalar	Açıklama
3B	Üç Boyutlu
3D	Three Dimensional
PLA	Biopolimer Polilaktik Asit
SLA	Stereolithography
DLP	Digital Light Processing
FDM	Fused Deposition Modelling
SLS	Selective Laser Sintering
SLM	Selective Laser Melting
EBM	Electron Beam Melting
LOM	Laminated Object Manufacturing
DUT	Device under test
EMA	Experimental Modal Analiz
DAQ	Data acquisition

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 1.1.	Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı.....	2
Şekil 1.2.	Delta tipi üç boyutlu yazıcı.....	3
Şekil 1.3.	Polar tipi üç boyutlu yazıcı.....	3
Şekil 1.4.	Scara tipi üç boyutlu yazıcı.....	4
Şekil 1.5.	SLA Teknolojisi Basım Yöntemi.....	5
Şekil 1.6.	SLA ve DLP Teknolojisi Basım Yöntemi.....	5
Şekil 1.7.	FDM Teknolojisi Basım Yöntemi.....	6
Şekil 1.8.	SLS Teknolojisi Basım Yöntemi.....	7
Şekil 1.9.	SLM Teknolojisi Basım Yöntemi.....	7
Şekil 1.10.	EBM Teknolojisi Basım Yöntemi.....	8
Şekil 1.11.	LOM Teknolojisi Basım Yöntemi.....	9
Şekil 2.1.	PLA plağın ilk beş modal şekli.....	11
Şekil 3.1.	Modal sarsıcı çalışma düzeni.....	17
Şekil 3.2.	Modal sarsıcı	17
Şekil 3.3.	Kuvvetölçer ve ivmeölçer	18
Şekil 3.4.	Güç Ampfilikatörü ve DAQ.....	18
Şekil 3.5.	Deney düzeneğinde kullanılan bilgisayar.....	19
Şekil 3.6.	Ultimaker S5 üç boyutlu yazıcı.....	20
Şekil 3.7.	SolidWORKS programında tasarlanan plakanın render görüntüsü	21
Şekil 3.8.	Cura programında tasarlanan plakanın ön gösterimi.....	22
Şekil 3.9.	Tam dolu plaka için yazdırma ayarları.....	23
Şekil 3.10.	Tam dolu plaka basım şekli.....	24
Şekil 3.11.	%20 dolulukta üçgen iç yapılı plaka için yazdırma ayarları.....	25
Şekil 3.12.	%20 dolulukta üçgen iç yapılı plaka basım şekli.....	26
Şekil 3.13.	%60 dolulukta üçgen iç yapılı plaka için yazdırma ayarları.....	27
Şekil 3.14.	%60 dolulukta üçgen iç yapılı plaka basım şekli.....	28
Şekil 3.15.	%20 dolulukta kare iç yapılı plaka için yazdırma ayarları.....	29
Şekil 3.16.	%20 dolulukta kare iç yapılı plaka basım şekli.....	30
Şekil 3.17.	%60 dolulukta kare iç yapılı plaka için yazdırma ayarları.....	31
Şekil 3.18.	%60 dolulukta kare iç yapılı plaka basım şekli.....	32
Şekil 3.19.	%20 dolulukta altıgen iç yapılı plaka için yazdırma ayarları.....	33
Şekil 3.20.	%20 dolulukta altıgen iç yapılı plaka basım şekli.....	34
Şekil 3.21.	%60 dolulukta altıgen iç yapılı plaka için yazdırma ayarları.....	35
Şekil 3.22.	%60 dolulukta altıgen iç yapılı plaka basım şekli.....	36
Şekil 3.23.	Deney düzeneği.....	38
Şekil 3.24.	Deney düzeneği akış şeması.....	38
Şekil 3.25.	Matlab programında üst üste çizdirilen frekans değerleri örneği.	39
Şekil 4.1.	Kare-1 Plağı	40
Şekil 4.2.	%20 dolulukta kare iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri	41
Şekil 4.3.	Kare-2 Plağı	42
Şekil 4.4.	%60 dolulukta kare iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri.....	43
Şekil 4.5.	Üçgen-1 Plağı	44

Şekil 4.6.	%20 dolulukta üçgen iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri	45
Şekil 4.7.	Üçgen-2 Plağı	46
Şekil 4.8.	%60 dolulukta üçgen iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri	47
Şekil 4.9.	Balpeteği-1 plak	48
Şekil 4.10.	%20 dolulukta balpeteği iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri	49
Şekil 4.11.	Balpeteği-2 Plağı	50
Şekil 4.12.	%60 dolulukta balpeteği iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri.....	51
Şekil 4.13.	%100 dolu yapı plağı	52
Şekil 4.14.	%100 dolu yapıya sahip plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 4.1.	%20 dolulukta Kare iç yapılı plağa ait veriler	41
Çizelge 4.2.	%20 dolulukta Kare iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları	42
Çizelge 4.3.	%60 dolulukta Kare iç yapılı plağa ait veriler.....	43
Çizelge 4.4.	%60 dolulukta Kare iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları.....	44
Çizelge 4.5.	%20 dolulukta Üçgen iç yapılı plağa ait veriler.....	45
Çizelge 4.6.	%20 dolulukta Üçgen iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları	46
Çizelge 4.7.	%60 dolulukta Üçgen iç yapılı plağa ait veriler.....	47
Çizelge 4.8	%60 dolulukta Üçgen iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları	48
Çizelge 4.9.	%20 dolulukta Balpeteği iç yapılı plağa ait veriler	49
Çizelge 4.10.	%20 dolulukta Balpeteği iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları	50
Çizelge 4.11.	%60 dolulukta Balpeteği iç yapılı plağa ait veriler	51
Çizelge 4.12.	%60 dolulukta Balpeteği iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları	52
Çizelge 4.13.	%100 dolumlu yapı plağına ait veriler.....	53
Çizelge 4.14.	%100 dolumlu iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları.....	54
Çizelge 4.15.	3D PLA plakların doğal frekanslarının deneysel sonuçlarının genel tabloda karşılaştırılması.....	54

1. GİRİŞ

Geleneksel imalat yöntemlerinden düşük imalat maliyetleri sebebi ile yaygınlaşan otomasyon sistemleri, aynı bileşenin tekrarlı bin ve üzeri üretimlerinde avantaj sağlamasından ötürü tercih edilmektedir. Diğer tarafta üretim adetleri az sayıda ve özel yöntemlere ihtiyacı olan protipleme uygulamaları ve biyomedikal sektöründe geleneksel imalat yöntemleri fazla maliyetli olduğundan ekonomik olmamaktadır. (Kaygusuz vd., 2018).

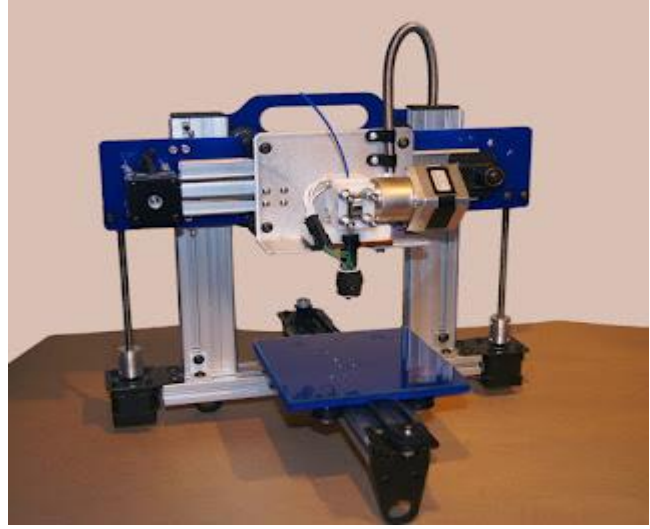
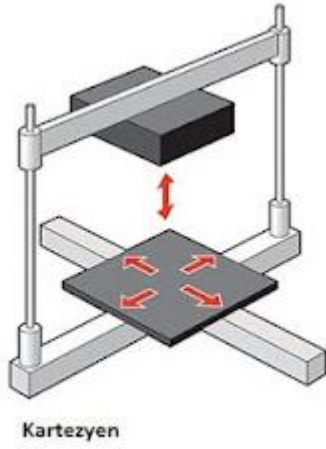
Bu arayış sonucunda, icat edilen 3B yazıcılar sayesinde düşük sayıda üretimler daha az maliyetli olarak üretilmeye başlamıştır. 3B yazıcıda hammadde olarak kullanılan PLA (Polylactic Acid), bitki bazlı ve biyolojik olarak parçalanabilir bir plastik olması sebebi ile her sektörde kullanılmaya başlamasına sebebiyet vermiştir. Bu üretim yöntemi ile istenilen şekillerde ve iç yapılarda malzemeler üretilip birçok alanda geleneksel yöntem ile oluşturulması güç olan ürünlerin, üretimine olanak sağlanmıştır. 3B yazıcının ve PLA malzemesinin avantajını kullanarak katmanlı iç yapısında, geometrik şekiller olan numuneler üretilerek çalışma yapılması mümkün olmuştur. Malzemenin iç yapısını üçgen, kare ve altıgen yapı olacak şekilde, 3B yazıcı aracılığıyla eklemeli imalat yöntemi ile üretilip, yapılar arasındaki doğal frekans farklarının tespiti sağlanmıştır. Kullanılacak alana göre iç yapının etkisi bu çalışma sonucu gözetilerek yapılacak üretimlerde doğru iç yapı seçilip üretim yapılması amaçlanmıştır.

1.1. Eklemeli İmalatta Kullanılan Üç Boyutlu Yazıcılar ve Çeşitleri

1.1.1. Kartezyen Tipi 3B Yazıcılar

Kartezyen 3B yazıcılar kartezyen koordinat sistemini kullanan aşağı yukarı, sola sağa, öne ve arkaya olarak (X-Y-Z düzlem yönlerinde) hareket ederler. Kartezyen sistemi bir nesneyi bir noktadan diğer bir noktaya götürmek için en kolay yoldur. Çünkü her bir düzlemde düz bir çizgi izlenerek hareket edilir. Şekil 1.1’de ki gibi bu tipteki yazıcılarda ekstruder ve tabla hareket kabiliyetine sahiptir. Tabla kısmının ileri ve geri yönde hareket ettiği sistemlerde ürün kalitesinde bozulma gözlemlenebilir. Tablanın Z eksen yönünde

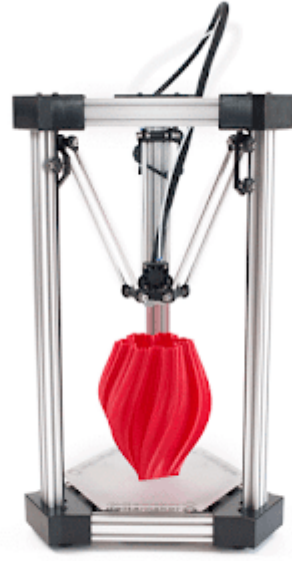
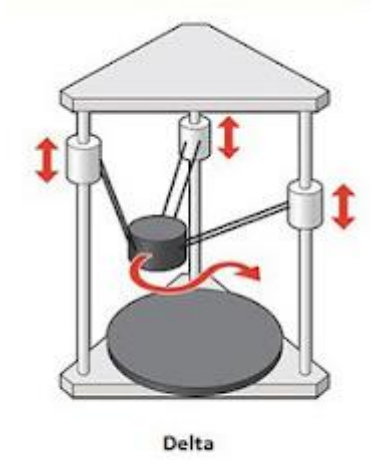
hareketli olması (aşağı ve yukarı doğru hareket edebilmesi) daha kaliteli sonuçlar verir (Anonim-1,2016).



Şekil 1.1. Kartezyen tipi üç boyutlu yazıcı (Anonim-1,2016).

1.1.2. Delta Tipi 3B Yazıcılar

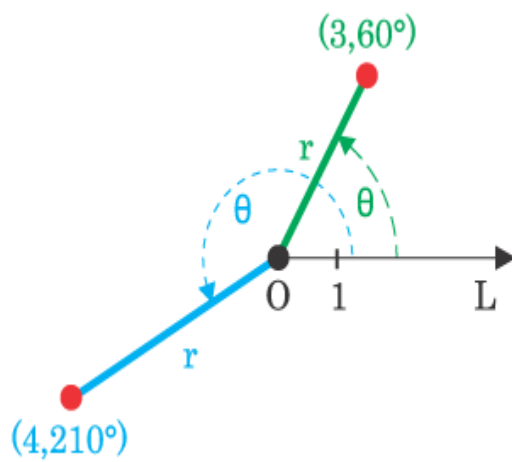
Delta tipi üç boyutlu yazıcıların çalışma prensibi delta robot çalışma prensibine göre çalışırlar. Endüstride delta robotların kullanım alanı çok geniştir. Delta tipi robotlar özellikle hafif ve küçük objeler ile yapılan çalışmalarda kullanılırlar. Şekil 1.2’de gözlemlendiği gibi, bir başlıkta birleşen 3 kolu bulunan bu tip sistemlerin, üç boyutlu yazıcılarda bu başlık yazıcının extruderi olarak kullanıldığında üç boyutlu yazıcı haline gelmiş oluyor. Her bir kol, yukarı ve aşağı yönlü hareketli bir taşıyıcıya bağlı olarak hareket ediyor. Motorlar tablanın altında konumlandırılarak kolların hareket etmesini sağlıyorlar. 3 kol da eş zamanlı hareket ederek extruderin konum değiştirmesi ile tasarlanan objenin üretilmesi sağlanmış oluyor. Şekil 1.2’de bu sistemin hareket kabiliyetleri ve model basım esnasındaki şekli gözlemlenmektedir. Bu sistemde tablanın yani dolayısı ile objenin hareketsiz kalması sayesinde ürün kalitesinin çok daha iyi olmasını sağlıyor. (Anonim-2,2019).



Şekil 1.2. Delta robot tipi üç boyutlu yazıcı (Anonim-2,2019).

1.1.3. Polar 3B Yazıcılar

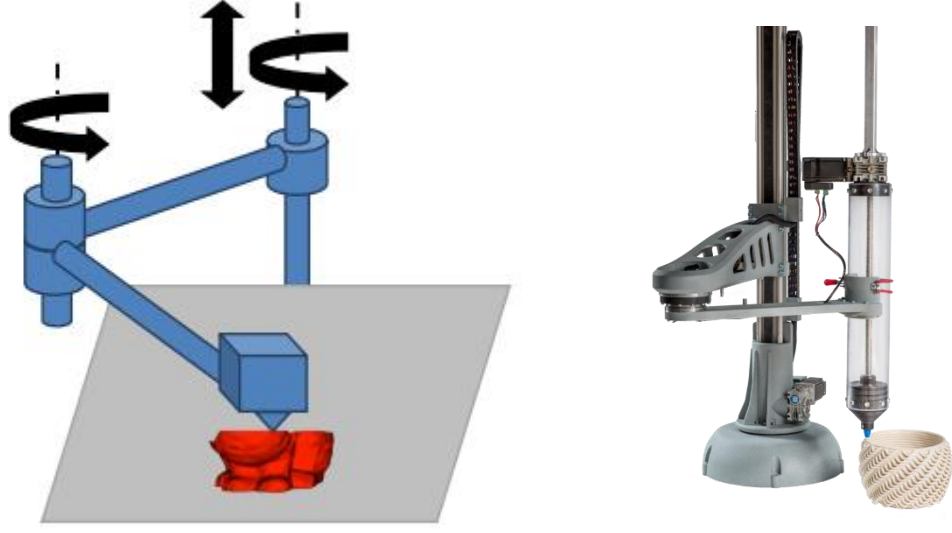
Polar tipi yazıcılar Kartezyen koordinat sistemi yerine, polar koordinat sistemini (Θ , r ve Z) kullanırlar. Polar yazıcılarda farklı olan yazma tablasının sürekli dönmesi ve açısal hareketi ile yazım işlemi gerçekleştirilen bir sistemdir. Şekil 1.3'te Polar tip açısal hareketler ve bu açısal hareketlerle çalışan 3B yazıcı görseli gözlemlenmektedir.



Şekil 1.3. Polar tipi üç boyutlu yazıcı (Anonim-3,2019).

1.1.4. Scara Tipi 3B Yazıcılar

Scara yazıcılar tipleri sabit bir şekilde duran tablaya sahip ve eklemlili yapıda olan kollarının hareketi ile baskıyı oluşturduğu yazıcı tipidir. Şekil 1.4'te de görüldüğü üzere 3B yazıcının hareket etme kabiliyetleri ve üretim esnasındaki çalışma şekli gösterilmiştir.



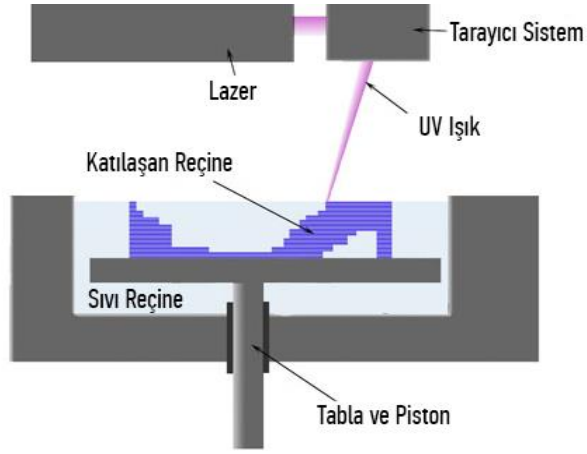
Şekil 1.4. Scara tipi üç boyutlu yazıcı (Anonim-3,2019).

1.2. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojileri

1.2.1. Stereolithography (SLA) Teknolojisi

SLA teknolojisi, 3B yazıcı teknolojisinde kullanılan en eski tekniktir. SLA teknolojisinin çalışma prensibi 3B yazıcılarda akışkan foto polimerlerden oluşan hammadde işlenerek katı forma dönüştürülmesiyle baskı elde ediliyor. Hammadde yarı akışkan şekilde eritildikten sonra katman oluşturularak, bilgisayar kontrollü ultraviyole ışınlar sayesinde bütün bir yapıya dönüşümü sağlar. Her katman için, işlem adım adım tekrar edilerek baskının sonunda 3B katı model halini almış oluyor. İşlemler hızlı gerçekleştiğinden dolayı, detaylı ve temiz baskılar elde edilir. (Anonim-4,2019).

Şekil 1.5’de lazer kaynağından UV ışığın çıkmasıyla, reçineden üretilecek modelin üretilmesine kadar olan proses gösterilmiştir.

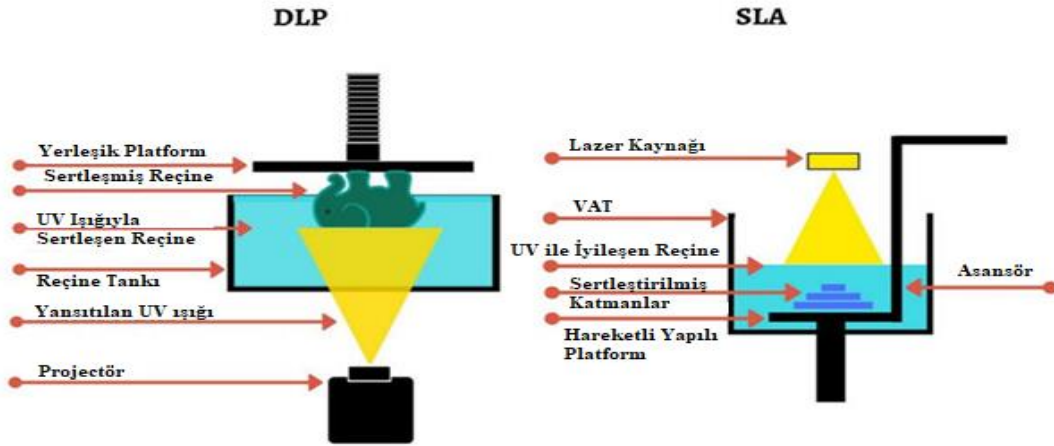


Şekil 1.5. SLA Teknolojisi Basım Yöntemi (Anonim-4,2019).

1.2.2. Digital Light Processing (DLP) Teknolojisi

DLP (Dijital Işık İşleme) ile SLA tekniği birçok noktadan benzerliklere sahiptir. Baskılar 2 teknikte de akışkan polimerlerle gerçekleştirilirken ikisi de baskı işleme sırasında ışık kullanır. Akışkan polimerler, reçine olarak ta adlandırılabilirler. SLA teknolojisi ışığı lazer ile sağlarken, DLP teknolojisi ise projektörden faydalanır. (Anonim-4,2019).

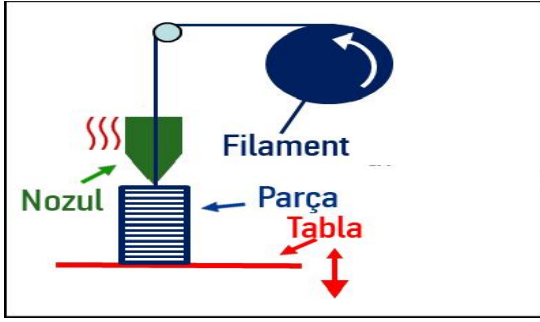
Şekil 1.6’da SLA teknolojisi ile DLP teknolojisinin benzerliklerini gösteren karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 1.6. SLA ve DLP Teknolojisi Basım Yöntemi (Anonim-4,2019)

1.2.3. Fused Deposition Modelling (FDM) Teknolojisi

FDM (Birleştirmeli Yığılma ile Modelleme) masaüstü olarak kullanılan 3B yazıcılarda en çok tercih edilen teknolojidir. Yazdırma işlemine başlamadan yazıcıya bir adet 3B model verisi yüklenir. Bilgisayar destekli olan model verisi yazıcı tarafından okunur ve yazdırma işlemi başlar. Termo plastik malzemeler yazıcının extruder bölümünde ısıtılarak, erimiş halde olan plastik yapı X ve Y koordinatlarında hareket edilerek Şekil 1.7'de ki gibi basılır. Tablanın sıfırından yani en alt noktadan başlayarak Z koordinatı boyunca yukarı çıkılarak katmanlar serilir. Serilen katmanlar üst üste birleşerek katı şekilde bir model elde edilmiş olur. (Anonim-4,2019).

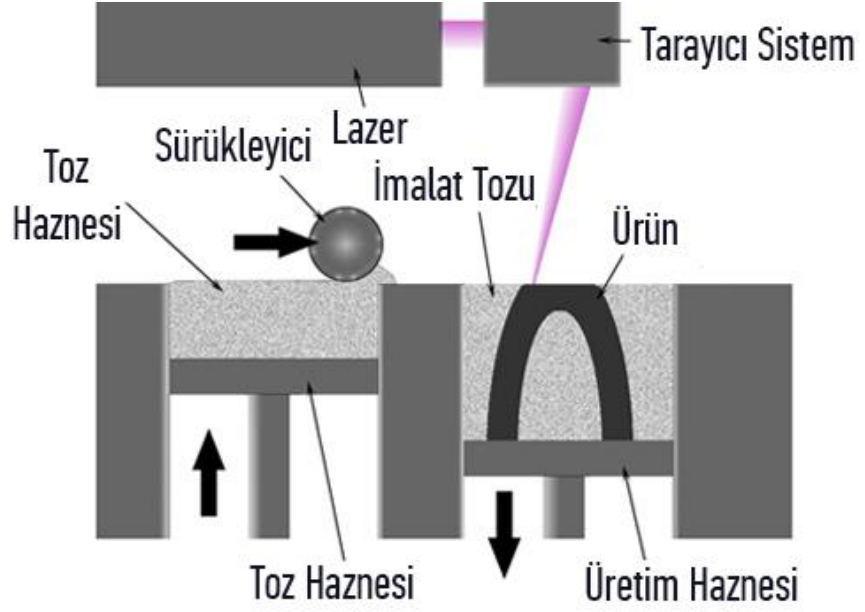


Şekil 1.7. FDM Teknolojisi Basım Yöntemi (Anonim-5,2019).

1.2.4. Selective Laser Sintering (SLS) Teknolojisi

SLS (Seçici Lazer Sinterleme) tekniğinde SLA tekniğinde olduğu gibi lazer kullanılır. Farklı olarak hammaddesi bir toz şeklindedir. Toz hammadde hazneye döküldükten sonra kızılötesi lazer tozu yakarak katman katman oluşturulan bir üretim metodudur. Bu hammaddelere naylon, cam, alüminyum gibi örnekler verilebilir. Bu teknik genellikle endüstride ürün geliştirmede veya hızlı prototiple ihtiyacı olan yerlerde kullanılır. (Anonim-5,2019).

Şekil 1.8 de SLM teknolojisi ile çalışan 3B yazıcının çalışma prensibi simule edilmiştir.

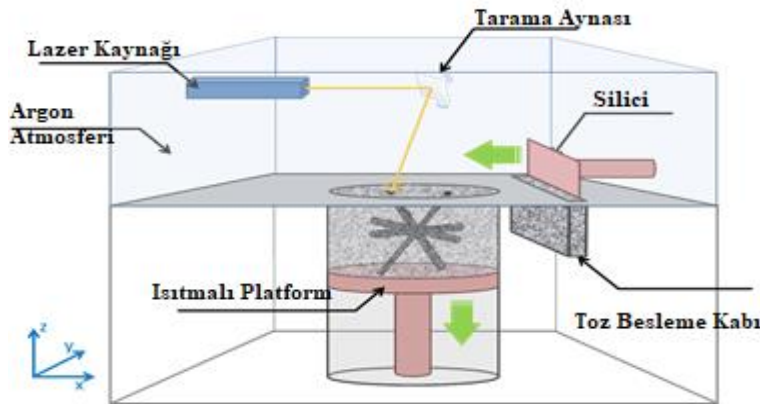


Şekil 1.8. SLS Teknolojisi Basım Yöntemi (Anonim-5,2019).

1.2.5. Selective Laser Melting (SLM) Teknolojisi

SLM (Seçici Lazer Eritme) tekniği SLS tekniği ile çok benzer olup hammadde olarak toz metallerin yüksek güçte bir lazer ile 3B baskı haline getirilip basılması teknolojisine denir. Havacılık ve medikal sektörlerinde bu teknoloji yaygın olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik, alüminyum ve titanyum gibi malzemeler hammadde olarak kullanılabilir. (Anonim-5,2019).

Şekil 1.9 da SLM teknolojisinde kullanılan materyaller ve basım şekli gösterilmiştir.

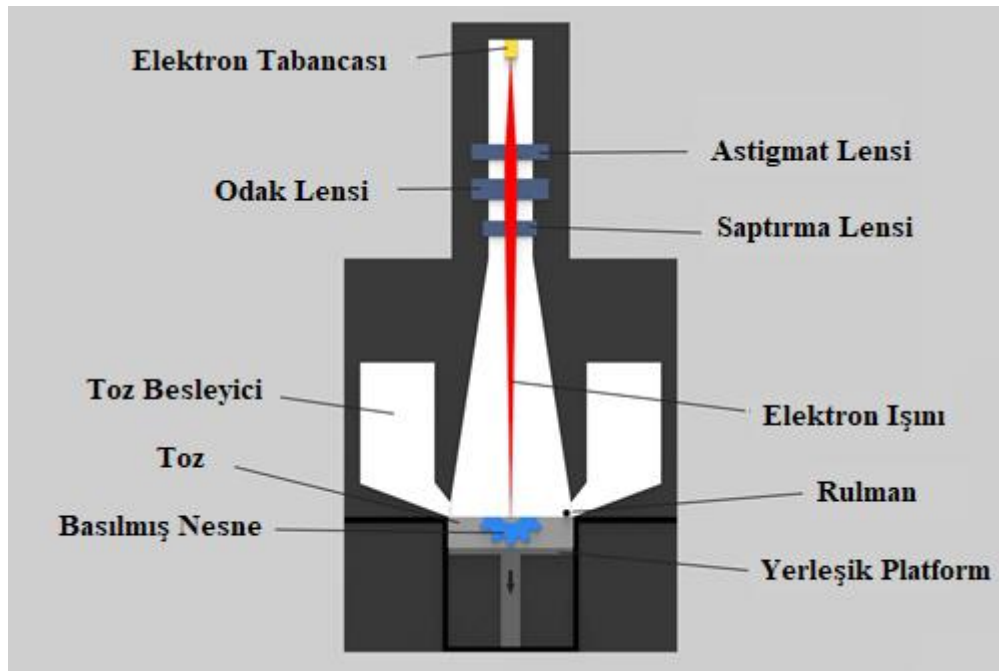


Şekil 1.9. SLM Teknolojisi Basım Yöntemi (Anonim-5,2019).

1.2.6. Electron Beam Melting (EBM) Teknolojisi

EBM (Elektron Hüzme Eritmesi) tekniği, bir vakumun içerisinde elektron demetlerini güç kaynağı olarak kullanarak, yüksek sıcaklıklarda işlem yapan bir teknolojidir. Güç kaynağı dışında SLM teknolojisi ile çalışma prensibi aynıdır. Bu teknolojiye hammadde olarak metal kullanılır. (Anonim-5,2019).

Şelik 1.10 da EBM teknolojiye ait çalışma prensibi gösterilmiştir.

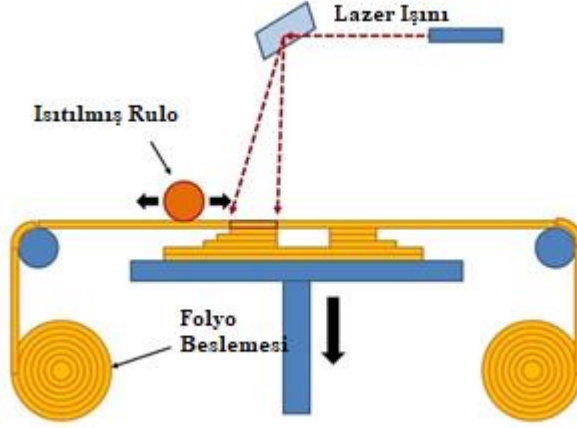


Şelik 1.10. EBM Teknolojisi Basım Yöntemi (Anonim-6,2022).

1.2.7. Laminated Object Manufacturing (LOM) Teknolojisi

LOM (Katmanlı Mal İmalatı) bir model için, üst üste birleştirilmiş kağıt, plastik veya metal katmanları oluşturup ısı ve basınçla yapıştırarak, daha sonra bir bıçak veya lazer yardımı ile istenen şekle keserek dönüştürme tekniğidir. Bu süreç hızlı protipleme imkanı sağlar. (Anonim-7,2022).

Şekil 1.11’de LOM teknolojisine ait basım yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 1.11. LOM Teknolojisi Basım Yöntemi (Anonim-7,2022)

Bu basım yöntemleri ve yazıcı tipleri incelendikten sonra bu yeni nesil teknolojilerden FDM tipli yazıcı seçilmiştir. Bu çalışmamızda plakalarımızın basımı FDM teknolojiyi yazıcı kullanarak plakaların üretimi gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yapısal Titreşim ve Modal Analiz

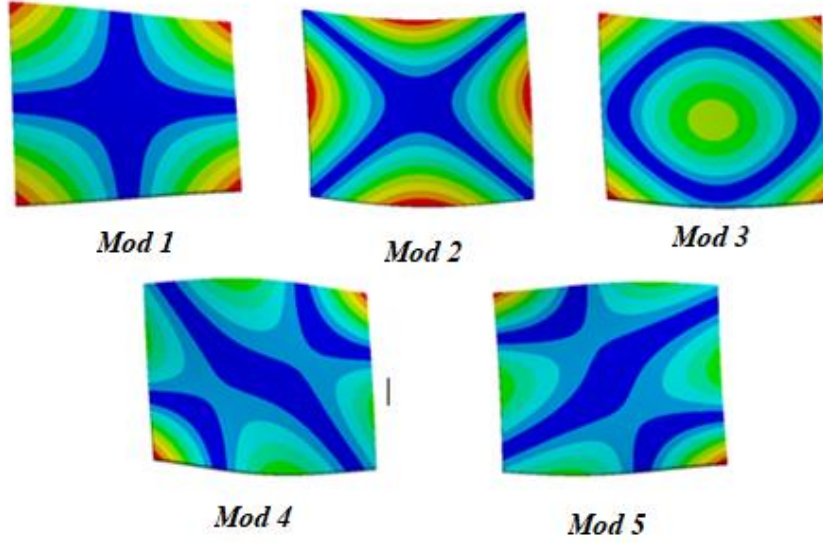
Bir durağan referans noktası çizgisinden tanımlanarak, yapı üzerinde meydana gelen tüm salınım hareketleri titreşim olarak ifade edilir. Salınım sayısının bir saniyedeki değerine birimi Hertz olan frekans adı verilir. Aynı zamanda oluşan çok sayı da hareketin neden olduğu frekanslar ile titreşim sinyalleri yani genlikler meydana gelir. Oluşan bileşim frekansların ayrı ayrı değişimi spektrogramik grafikler üzerinde gösterilerek titreşim analizi yapmamıza yardımcı olur. Bu analiz ile yapının sınır hızları ve kritik çalışma koşulları hesaplanır. Yapının bütünsel çalışma durumu tabii frekansları oluşur, sınır hızlarında çalışan yapının aynı doğal frekans değerlerinde çalışması bir süreklilik genliği oluşmasına neden olur (Liang vd., 2007). Bu süreklilikte hiç sönümleme yapılamayacağından rezonans durumu oluşur ve yapı ciddi ve kullanılamaz duruma getirecek bir hasar almasına neden olur (Demir, 2011).

Modal analiz, dinamik karakteristiklerin ve mekanik yapıların rezonans durumlarının değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Yapıda, hasar ve bozulmaların baş nedenleri titreşim ve titreşim kaynağının sürekliliğidir. Mekanik yapının çalışmasıyla oluşan titreşimlerde hasara sebep olmaktadır. Bu nedenle yapılan modal analizler ile yapının sınırlarının belirlenmesi ve kontrol altında tutulması gerekmektedir. En aza indirilmesi hedeflenen titreşimler ile yapının hasar alması engellenebilir. Bu sayede hem yapının çalışma ve performans verimi artar, aynı zamanda en önemli unsur olan amortisman değerini yükseltir; yani mekanik yapının çevrim süresi artarak ömrü uzar.

Yapı, modal analiz ile sistem üzerine çeşitli ve bölgesel kuvvet dinamikleri yüklenerek, bu yüklere maruz kalan yapının tepkisi ölçülür. Bu analiz sonucu, yapının rijitliği, çok modlu şekilleri, doğal frekansı ve sönüm oranları gibi dinamik parametreleri bulunur (Ewins, 1995). Modal analiz yöntemleri, teorik modal analiz, bilgisayar destekli modal analiz ve deneysel modal analiz yöntemlerine dayanarak simülasyon ve deneysel uygulamalar ile titreşimlerin gerçek frekans değerleri elde edilmesine dayanır. Bu analizler sonucunda mod şekilleri ve doğal frekans değerleri belirlenir (Yıldız, 2021). Bu her bir doğal frekansa karşılık gelen yapı üzerinde meydana gelen şekil değişikliğine

neden olur (Petyt, 1990). Mod şekli olarak ifade edilen bu şekil değişikliklerinde düşükten yükseğe doğru listelenmiş doğal frekansların etkisiyle birincil, ikincil, vb. gibi mod şekilleri isimlendirilir (Kalınsazlıoğlu, 2019).

Şekil 2.1’de Yıldız ve arkadaşlarının (2021), PLA esaslı dikdörtgen plağın serbest titreşimlerinin modları örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. PLA plağın ilk beş modal şekli (Yıldız vd., 2021)

2.2. Literatür Araştırması

Ulah ve arkadaşları (2016), Seçici Lazer Ergitme yöntemi seçilerek, sayısal metodoloji kullanarak ve deneysel gerçekleştirdikleri çalışmada, truss birim ve de kagome hücre topolojilerine sahip hücresel yapılar üretmişlerdir. Elde edilen hücresel yapıların basma testi sonucunun, hücre topolojisinin emilen enerji miktarına etkisini incelemişlerdir. Bir yaklaşımda bulunarak, birim hücre şekli için enerji absorpsiyon oranlarını tahmin eden bir tekli hücre yapısında uygulamışlardır.

Viglietti ve arkadaşlarının (2019) yaptıkları çalışmada farklı açılara sahip kompozit kanat yapılarında bulunan serbest titreşimlerin analizlerini yapmışlardır. Geliştirilmiş, yenilikçi

ve trend analiz olan Carrera birleşik formülasyonunda sayısal yaklaşımı kullanarak analizler gerçekleştirmişlerdir. Bu yenilikçi yaklaşımı doğrulamak için pek çok varyasyonlar araştırılmış, elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

Ingrole ve diğerlerinin (2017), yaptıkları irdelemede, bal peteği ve re-entrant auxetic birim hücrelerini temel alarak, modifiye edilmiş auxetic, auxetic-bal peteği ve auxetic-bal peteği birim hücrelerini dizayn etmişlerdir. Oluşturdukları birim hücreleri, ABS materyali ile eklemeli üretim yöntemi kullanarak numuneleri basma testi için üretmişlerdir. Basma yük testi sonucunda çalışmada ürettikleri farklı yapıların hata mekanizmalarını, şekil değişimlerini ve mekanik performanslarını sonlu elemanlar yöntemi de kullanarak inceleyip deneysel test ve karşılaştırmaları yapmışlardır. Bulgularında modifiye edilmiş auxetic birim hücrelerine sahip yapının basma dayanımı, auxetic birim hücrelerine sahip yapıya kıyasla %65 ve re-entrant auxetic birim hücrelerine sahip yapıya kıyasla ise %300 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Mauxetic yapısının bal peteğine kıyasla %30 ve re-entrant auxetic yapısına da kıyasla %70 daha fazla enerji absorpsiyonu olduğunu söylemişlerdir. En yüksek young modülü ise, bal peteği ve 28 re-entrant auxetic hücrelerine sahip yapılarda elde edilmiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda yapının mekanik davranışını ayarlama birim hücre şeklini değiştirmenin çok ciddi ve önem arz eden parametrelerden biri olduğunun vurgusu yapılmıştır.

Chen ve arkadaşları (2018), bal peteği hücre yapılarına üçgen kafesler konumlandırarak geliştirdikleri hiyerarşik hücresel yapıyı incelemişlerdir. Bu çalışmada numunelerin mekanik testleri yapılması amacıyla eklemeli üretim yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Basma testleri incelendiğinde yüksek gelişimle enerji absorpsiyon sağladıklarını belirtmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda hiyerarşik yapılarda rijitlik ve akma dayanımı ile izafi yoğunluk arasında, doğrusal bir ilişki olduğu iletilmiştir.

Demirtaş ve Bayraktar (2019) yaptıkları çalışmalarında NACA 4415 kanat profilini ve bu profilde konsol giriş kullanımının uçak teorik ve sayısal modal analizlerini yapmışlardır. Simüle ettikleri uçak kanadı modelinin doğal frekansları ve buna bağlı mod sonuçlarını elde etmişlerdir. Teorik hesaplar neticesinde elde edilen doğal frekans sonuçları ile

simülasyon analiz sonuçlarından elde edilen doğal frekans değerlerini karşılaştırılmışlar. Yaptıkları doğrulayıcı çalışmalarla sonuçların tutarlı olduğu belirtilmiştir.

Liao ve diğerlerinin (2018) yaptıkları çalışmada, karbon fiber takviyeli poliamid 12 filamentler geliştirerek ekstrüzyon ile üretilebilen eklemeli imalat da kullanılmasını hedeflemişlerdir. Karbon fiber yoğunluğunu belirli oranlarda ağırlıklar da reçete ederek üretip kıyaslamışlardır. Üretilen yapı sürekli filament formunda olup mekanik özellikleri belirlemede üç nokta eğme testi, çekme testi ve darbe testi yapmışlardır. Eklemeli imalatla üretilen filamentlerin testleri sonucunda, üretilen karbon fiber poliamid 12 kompozit numune örneğinin ağırlık yüzdesinin 10 olduğu filamentin genel mekanik performansının en iyi olduğunu belirtmişlerdir. Ağırlıkça %10 karbon fiber barındıran poliamid 12 kompozitlerin çekme dayanımı ve eğilme dayanımı sırasıyla, %102,2 ve %251,1 oranında artış gözlemlenmiştir. Ayrıca taramalı elektron mikroskop görüntülemesinde karbon liflerinin, kompozitlerdeki dağılım ve oryantasyonu gözlemlenmiş ve karbon lifleri ile termoplastik matris arasındaki kırılma yüzeylerinin bulguları belirtilmiştir.

Özdemir ve arkadaşları (2016) 3 boyutlu elde edilim Elektron Demeti Eritme yöntemi ile üretilen hücresel yapıların deneysel testlerini yapmışlardır. Re-entrant, kübik ve elmas birim hücrelerini kullanarak yapılar basmışlardır. Geliştirdikleri yapı üretimlerinin yaklaşık 45-110 µm boyutunda küresel Ti6Al4V metal tozu ile yapmışlardır. Hücre topolojisini inceleyerek statik ve dinamik yükleme uygulamaları durumunda değişken üretimli bu hücresel yapıların, absorpsiyon muhafazasını inceleyip kıyaslamışlardır.

Yazdani ve arkadaşları (2018) çalışmalarında eklemeli imalat da kullanılan PLA filament ile üretilen numunelerin enerji absorpsiyon muhafazasını incelemişlerdir. Yapısal karakterizasyonu belirlemede çeşitli baskı yöntemleri ile dikdörtgen auxetic ve altıgen yapı hücreleri kullanılmıştır. Üretilen numunelerin sayısal ve deneysel doğrulamalar yaparak test sonuçlarını kıyaslamışlardır. Doğrulama sonuçları kapsamında geliştirdikleri numunelerin gerçekçi olduğu belirtilmiştir.

Binbin ve diğçerleri (2019) yaptıkları çalışmada rüzgâr tüneli test düzeneğinde CHNT-1 uçak kanatlarının, kanat uç noktalarında farklı özğü ve şekillerde mini kanatçık ekleme tasarımları kullanarak ultrasonik çarpıntı karakterizasyonlarını incelemişlerdir. Bu çalışmanın geliştirilmesi sonucunda çarpışma hız testlerinde mini kanatçıklı kanat yapıların, mini kanatçık olmayan yapılara kıyasla yaklaşık olarak %7 oranında azalma olduğı belirtilmiştir.

Kaur ve arkadaşları yaptıkları (2017) çalışmada, eklemeli üretim yöntemi kullanarak naylon 618, PLA ve karbon fiber takviyeli PLA malzemelerinden yapı hücreleri octet ve octahedral olan truss hücrelerini kullanmışlardır. Ürettikleri yapıların mekanik testleri yapılmıştır. Bu numunelerinin karakterizasyonunu deneysel ve sonlu elamanlar yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışmada yapılan analizlerin test sonucunda enerji absorpsiyonu yüksek basma dayanımına dirençli CFR-PLA malzemesi kullanarak üretilmiş octahedral truss hücreli yapılar olduğı açıklanmıştır.

Al-Saedi ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada SLM tipi eklemeli üretim yöntemi kullanarak üretim yapmışlardır. Üretilen malzemeler Al-12Si alüminyum alaşımdan ve farklı yoğunluğına sahip F2BCC kafes yapılarından meydana gelmiştir. Üretilen numunelerin basma testi yapılmıştır. Numunelerin spesifikasyonlarını, mekanik karakterizasyonunu numerik, simülatif ve deneysel analizlerini yapmışlardır. Analiz sonuçlarına göre bu çalışma kapsamında üretilen belirli oranlarda artırılmış yoğunluğına sahip numunelerin, sabit yoğunluğına sahip numunelere göre benzersiz deformasyon akışı ve süresi olduğı belirtilmiştir.

Bu çalışmada, 190x190 mm olacak şekilde iç yapısı farklı olan plakaların, serbest alanda titreşimi incelenmiştir. Titreşim hareketi modal sarsıcı aracılığıyla, sinus tarama yöntemi olarak plakalara uygulanmıştır. Titreşim deneyi sonucu plakaların iç yapısına göre olan doğıal frekans sonuçları karşılaştırılmıştır. Sayısal sonuçların ve grafiklerin elde edilmesinde MATLAB programı kullanılmıştır. Plakların iç yapısının ve iç yoğunluğunun değışimleri sonucunda, frekanslara karşılık gelen DB (desibel) değıerleri grafikte gösterilerek, çıkan doğıal frekans sonuçları kıyaslanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında 190 mm x 190 mm boyutlarındaki üç boyutlu yazıcı ile üretilen PLA plakların deneysel olarak titreşim analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen titreşim deneyleri sonucunda PLA plakların iç yapısına göre titreşim farklılıklarını içeren modal analizler karşılaştırılmıştır. Bu bölümde kullanılan materyal ve yöntemler anlatılmıştır.

3.1. Deneysel Modal Analizde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. 3 Boyutlu Yazıcı ile oluşturulan PLA Esaslı Plaklar

Son zamanlarda artan ürün çeşitliliği ve hızlı sonuca varma ihtiyacı, prototipleme yöntemlerinin kullanımı hızla artmaktadır. Bu ihtiyaca yönelik keşfedilmiş olan hızlı prototipleme yöntemlerinden üç boyutlu (3B) yazıcılar, endüstride, akademik çalışmalarda ve medikal ürünlerin üretiminde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu sayede bir ön prototip veya ön kalıp oluşturma hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Günay vd, 2020). PLA (Polylactic Acid), içeriğinde mısır nişastası ve şeker kamışı olan, yapısı organik biyopolimer ve termoplastikten oluşan insan sağlığına zararsız bir malzemedir. Bu nedenle, 3D Yazıcılarda FDM teknolojisine sahip bir yazıcı PLA baskı yapabilir. PLA bazı avantajları sayesinde öne çıkmaktadır. Bu avantajlar maddeler halinde aşağıdaki gibi özetlenebilir (Anonim-8, 2022).

- Sert yapıya sahip olup darbelere karşı dirençlidir.
- Esnek bir yapıya sahip olmasına karşı kırılığandır.
- Aseton ile ayrıştırılamaz.
- 190°C – 220°C arası basım sıcaklığına sahiptir.
- Soğuma aşamasında çatlama sorunlarına rastlanmaz.
- 50°C – 70°C arasında yatak sıcaklığı önerilmektedir.

Birçok özelliğe sahip PLA baskı sayesinde, karmaşık şekillerdeki ürünler tasarlanıp üretilebilir hale gelmektedir ve bu sebeple makineden otomotiv sektörüne, havacılıktan her geçen günde gelişmekte olan robotiğe kadar birçok bilimsel araştırmada ve teknolojik

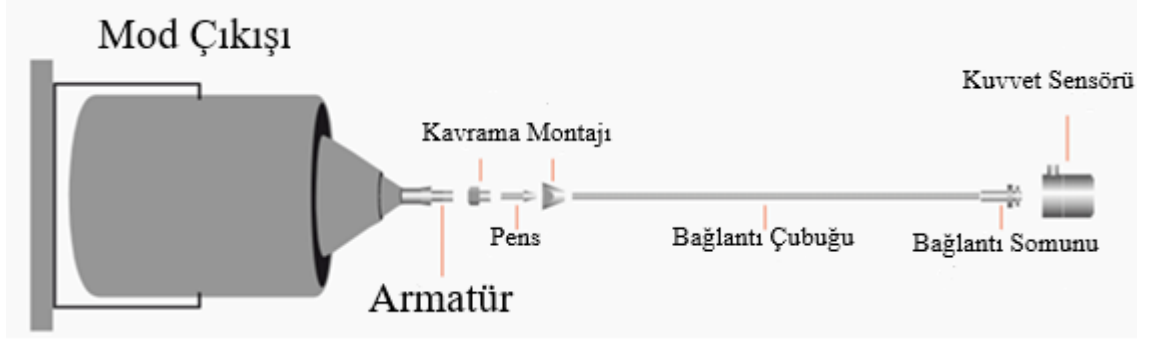
alanda kullanımı artmaya başlamaktadır. Otomotiv ve havacılık sektörlerinde hafifliğin öneminin yüksek olduğu parçalarda gün geçtikçe PLA malzemeye yönelim artmakta ve kullanılmaktadır. Maliyetler açısından yüksek fiyatların etkisi günümüze kadar çelik kullanımını avantajlı kılmaktaydı. Gelişen üretim yöntemleri ile istenilen özelliklerde PLA esaslı ürünlerin üretim maliyetlerinin düşmesi ve çelik fiyatlarında gözlenen her geçen gündeki artış bu geçişi dahada hızlandırmaktadır. 3D ile üretilecek olan PLA esaslı malzemenin, 3D yazıcı sayesinde istenilen iç yapı ile örülerek, üretilmesi mümkün kılınmıştır. Bu sayede üretilecek ürünlerin geliştirilmesi amacı ile, çalışmamızda belirlenen kare, üçgen ve petek iç yapıları seçilmiş olup, doğal frekans analizi yapılmıştır.

3B yazıcı ile iç yapısı kare, üçgen ve altıgen olacak şekilde yaklaşık boyutları 190 mm x 190 mm x 3 mm boyutlarında plaklar üretilmiştir. Bu yapılar üretilirken iç yoğunluk oranı %20 ve %60 olacak şekilde iki farklı doluluk oranında üretilmişlerdir.

Plakaların yapısı hem iç şeklin değişimine göre hem de iç yoğunluğun değişimine göre incelenmesi amacıyla 6 adet numune üretilmiş olup, ayrıca bir adet tam dolu olacak şekilde üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.1.2 Modal Sarıcı ve Sensörler

Modal sarsıcılar (Modal Exciter), sistemleri veya bileşenleri harekete geçirmek ve kaliteli mod verilerini bulmak için kullanılan titreşimli sarsıcılardır. Modal Sarsıcıların, normal sarsıcılara göre modal test gerçekleştirirken bazı avantajlara sahiptir. Bu avantaj DUT (Device under test)'u armatürüne yerleştirmek yerine, Stinger adı ile adlandırılan bağlantı çubuğu kullanılarak, DUT'a Şekil 3.1' deki gibi bir modal sarsıcı bağlanır. Bu şekildeki yapıya sahip sarsıcılar, armatürü stinger çubuğu geçecek şekilde tasarlanmıştır, bu sayede stinger, sarsıcıyı hareket ettirmeden DUT için yeterli mesafede ayarlanabilir, bu da montajı basitleştirir (Anonim-2, 2022).



Şekil 3.1. Modal sarsıcı çalışma düzeni (Anonim-9, 2022).

EMA testinde, genellikle giriş titreşim uyarıları tahrik noktalarındaki kuvvet dönüştürücüleri veya empedans başlığı aracılığıyla ölçülür. Empedans başlığı, kuvvet sensörünü ve ivmeölçeri bir arada içerir.

Sensörlerden gelebilecek olan Kütle Yüğü DUT'un kütlesine oranla etkisinin yüksek olabileceği durumlarda titreşim şeklini etkileyeceğinden, sensörlerin ağırlığının dikkate alınarak incelemelerin yapılması önemlidir. Pratik kural olarak kullanılan nesnenin kütlesi, sensörlerin kütlesine oranla 10 kat daha fazla olması gerektiğidir (Anonim-9, 2022). Şekil 3.2' de gösterilen Brüel & Kjaer firmasına ait 4824 seri numaralı, maksimum kuvvet kapasitesi 100 N olan Modal sarsıcı kullanılmıştır (Anonim-10, 2022).



Şekil 3.2. Modal sarsıcı (Anonim-10, 2022).

Şekil 3.3’de yer alan Brüel & Kjaer firmasına ait 8320-002 seri numaralı kuvvet ölçer ve Minyatür CCLD 4394 seri numaralı ivmeölçer sensör olarak deneyde kullanılmıştır. (Anonim-10, 2022).



Şekil 3.3. Kuvvetölçer ve ivmeölçer (Anonim-10, 2022)

3.1.3. Güç Ampifikatörü ve DAQ

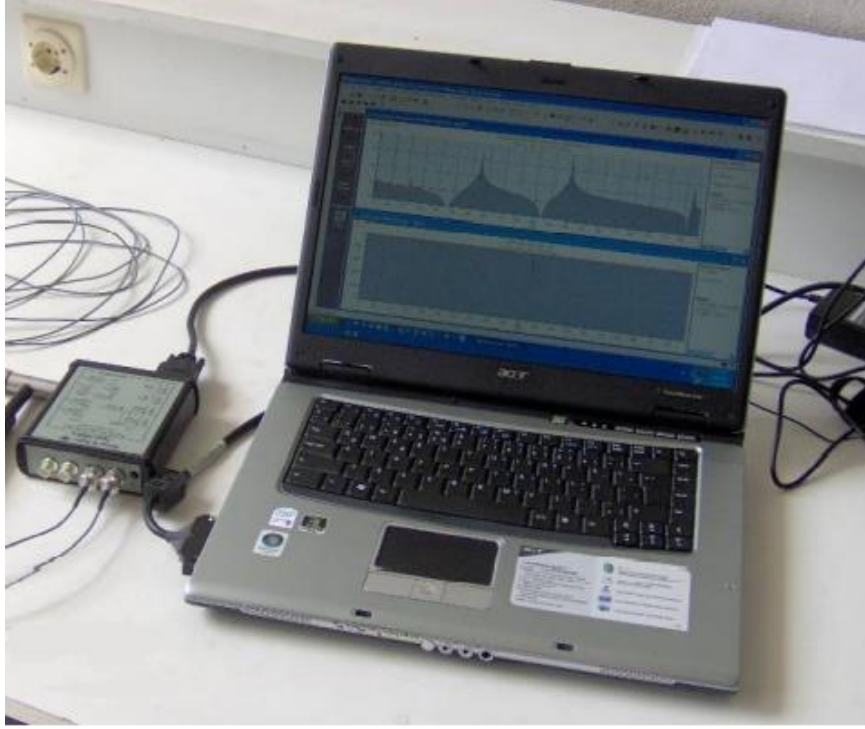
Güç Amplifikatörü 4824 seri numaralı Modal sarsıcıyı çalıştırmak için tasarlanmıştır (Anonim-11, 2022). DAQ (Veri edinim sistemleri)’ın özellikleri ise alt ve üst örnekleme frekans aralıkları sırasıyla 7Hz ve 20kHz’dir. Şekil 3.4 de görüldüğü gibi 16 bitlik ADC sağlayan cihazda 2 tane analog girişi, 2 tane de takometre girişi bulunmaktadır. Cihaz bilgisayara 68 pinli PCMCIA Type II slot üzerinden bağlanmaktadır (Gökdağ, 2010).



Şekil 3.4. Güç Ampifikatörü ve DAQ (Anonim-11, 2022).

3.1.4. Bilgisayar

Sistemle uygun olarak çalışacak, ölçüm değerlerinin kontrolü ve depolama kayıtları için tipik Şekil 3.5’de ki gibi Acer TravelMate TM4233WLMG marka bir dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Sistemin kontrolü için ise Tone Generator Yazılımı kullanılmıştır. Bilgisayar ve DAQ bağlantı şekli aşağıdaki gibidir (Gökdağ, 2010).



Şekil 3.5. Deney düzeneğinde kullanılan bilgisayar

3.1.5. 3B Yazıcı

Plakaların basımı için belirlenen FDM teknolojisine sahip bir yazıcı seçilmiştir. Şekil 3.6’da bu teknolojiye uygun plakaların üretiminde kullanılacak olan Ultimaker S5 üç boyutlu yazıcı görülmektedir.



Şekil 3.6. Ultimaker S5 üç boyutlu yazıcı (Anonim-12, 2022).

Yazıcı genel özellikleri aşağıda belirtilmiştir;

- FDM teknolojisine sahiptir.
- 330 x 240 x 300 mm baskı hacmine sahiptir.
- Kolayca değiştirilebilir 2 adet baskı kafası vardır.
- Basımda hammadde olarak “ PLA / PLA Tough / ABS / CPE / CPE+ / NAYLON / PC / TPU 95A” kullanımına olanak sağlar.
- 20 - 300 mikron katman kalınlığına ve 0.25 / 0.4 / 0.8 mm nozzle çapına sahiptir.
- Baskı hızı 300 mm/s(max) ‘a kadar çıkabilmektedir.
- Isıtmalı ve otomatik kalibrasyonlu tablaya sahiptir.
- 500 W’lık güç kaynağı ile çalışır.
- Cura yazılımı ile programlanıp, çalıştırılır.

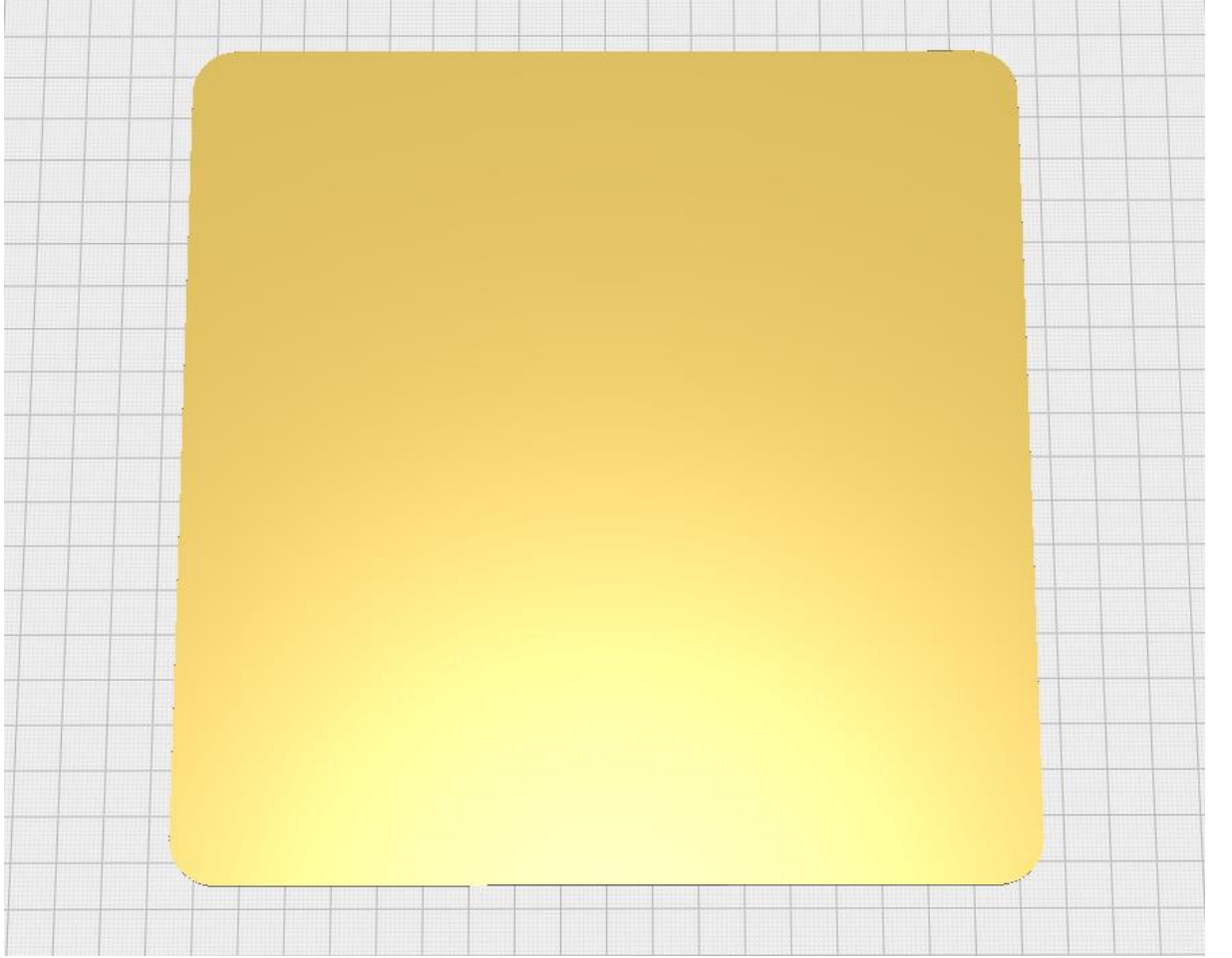
3.2. Deneyde Kullanılan Plakaların Üretimi

Yazıcı programında kullanmak üzere SolidWORKS programında Şekil 3.7’de ki gibi 190x190x3 mm³ olacak şekilde “*.stl” formatında plaka tasarımı yapılmıştır.



Şekil 3.7. SolidWORKS programında tasarlanan plakanın render görüntüsü

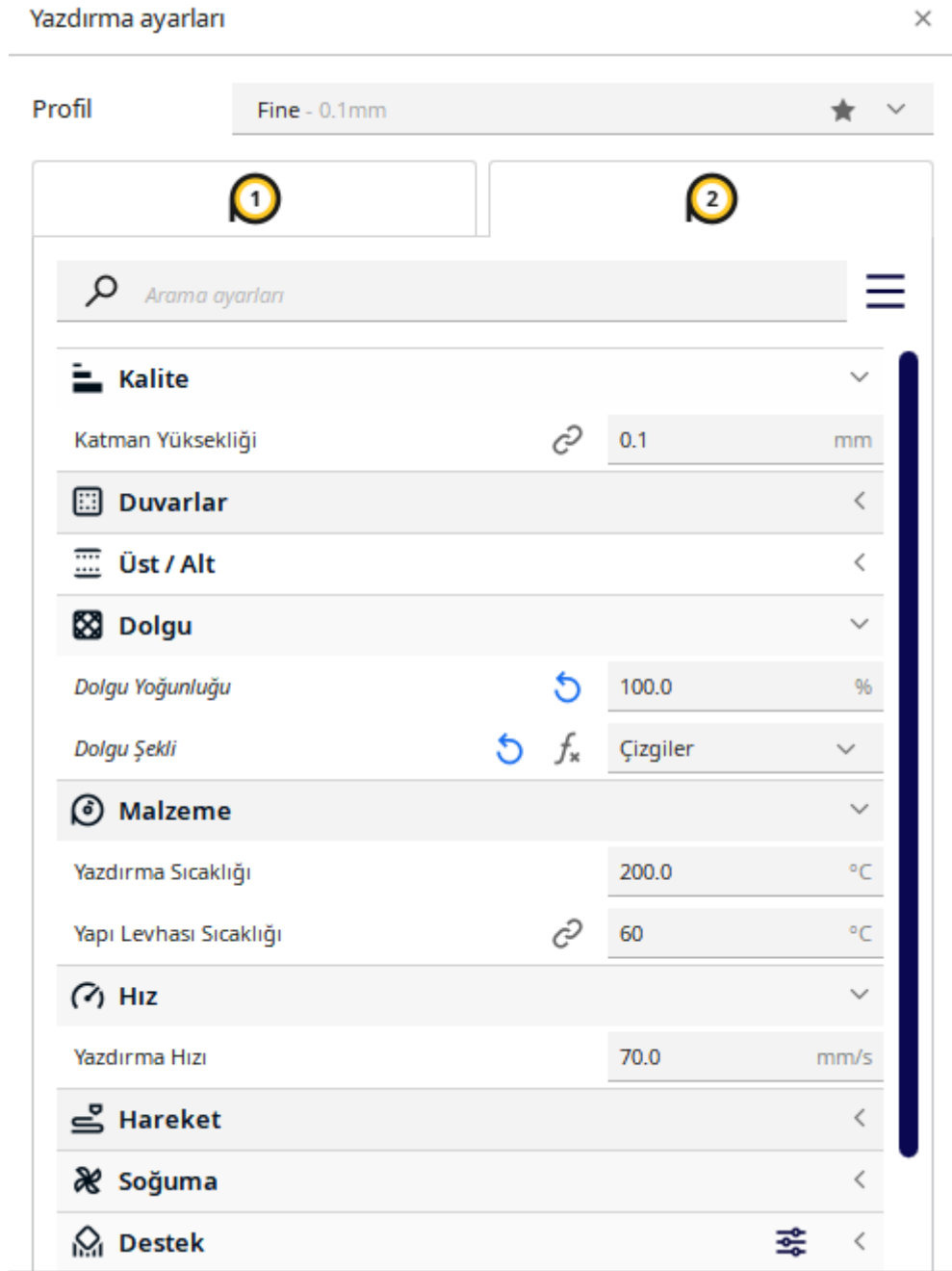
Tasarımı yapılan plaka Şekil 3.8’de ki gibi Cura yazılım programında çalıştırılmıştır.



Şekil 3.8. Cura programında tasarlanan plakanın ön gösterimi

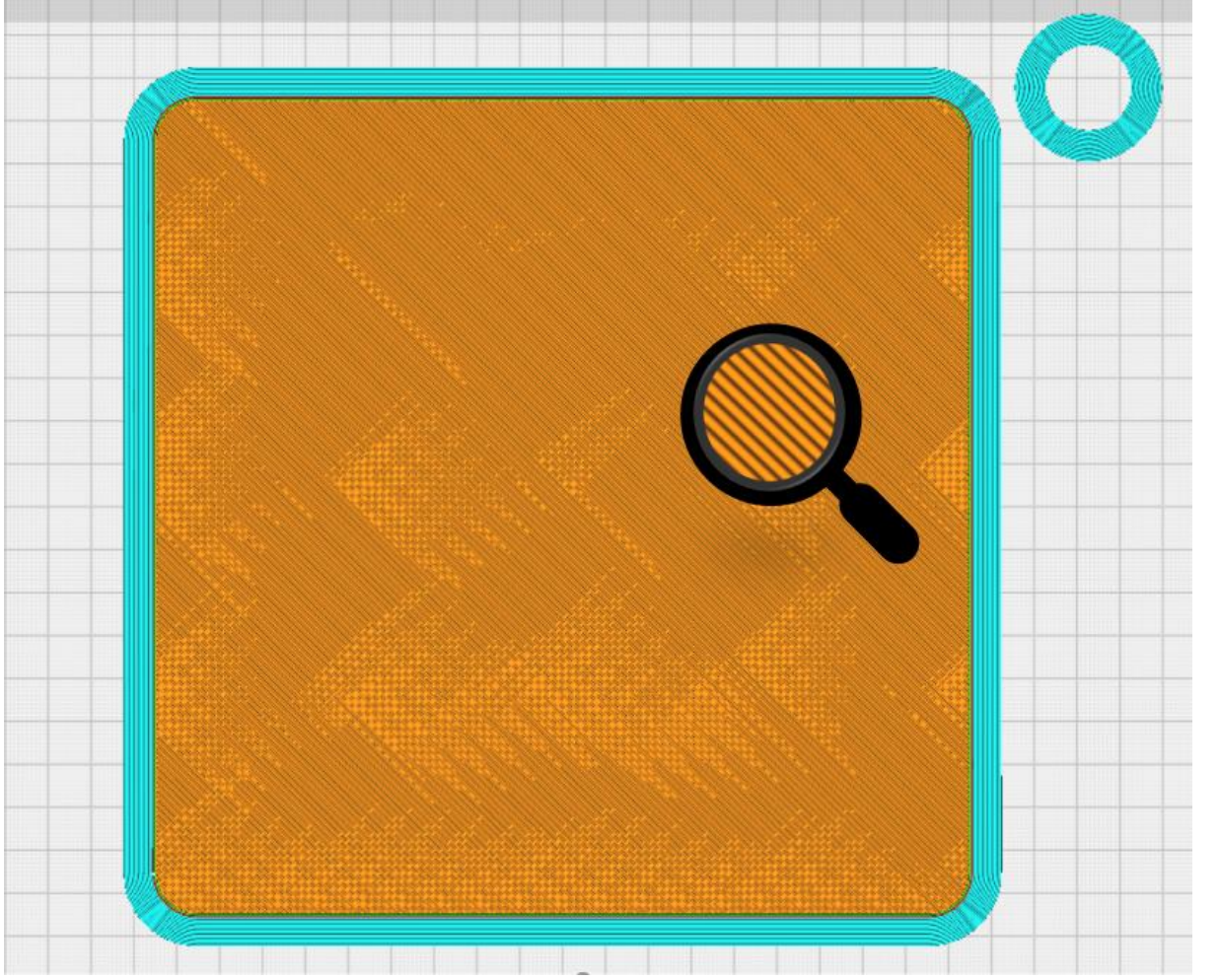
Tez çalışmamda belirlemiş olduğumuz tam dolu, %20 dolulukta üçgen, %60 dolulukta üçgen, %20 dolulukta kare, %60 dolulukta kare, %20 dolulukta altıgen ve %60 dolulukta altıgen iç yapılarına sahip plakaların üretimi için cura programında tasarımları ve programlaması yapılmıştır.

Cura programında tam dolu plakanın programlanması ve ayarlarının yapılması; Şekil 3.9’da ki gibi programda %100 dolulukta plakanın üretimi için ayarlar yapılmıştır.



Şekil 3.9. Tam dolu plaka için yazdırma ayarları

Ayarlamalar sonucu Şekil 3.10'da ki gibi tam dolu plakanın basım hali oluşturulmuştur.



Şekil 3.10. Tam dolu plaka basım şekli

Belirlenen bu özellikler sonucunda tam dolu plakanın basım süresi 15 saat 50 dakika sürmüştür. Bu süre sonucunda oluşan plakta 16.39 metre pla filament kullanılmış ve 104 gr olarak üretilmiştir.

Cura programında %20 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın programlanması ve ayarlarının yapılması;

Şekil 3.11’de ki gibi programda %20 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın üretimi için ayarlar yapılmıştır.

Yazdırma ayarları

Profil Fine - 0.1mm

1 2

Arama ayarları

Kalite

Katman Yüksekliği 0.1 mm

Duvarlar

Üst / Alt

Dolgu

Dolgu Yoğunluğu 20.0 %

Dolgu Şekli Üçgenler

Malzeme

Yazdırma Sıcaklığı 200.0 °C

Yapı Levhası Sıcaklığı 60 °C

Hız

Yazdırma Hızı 70.0 mm/s

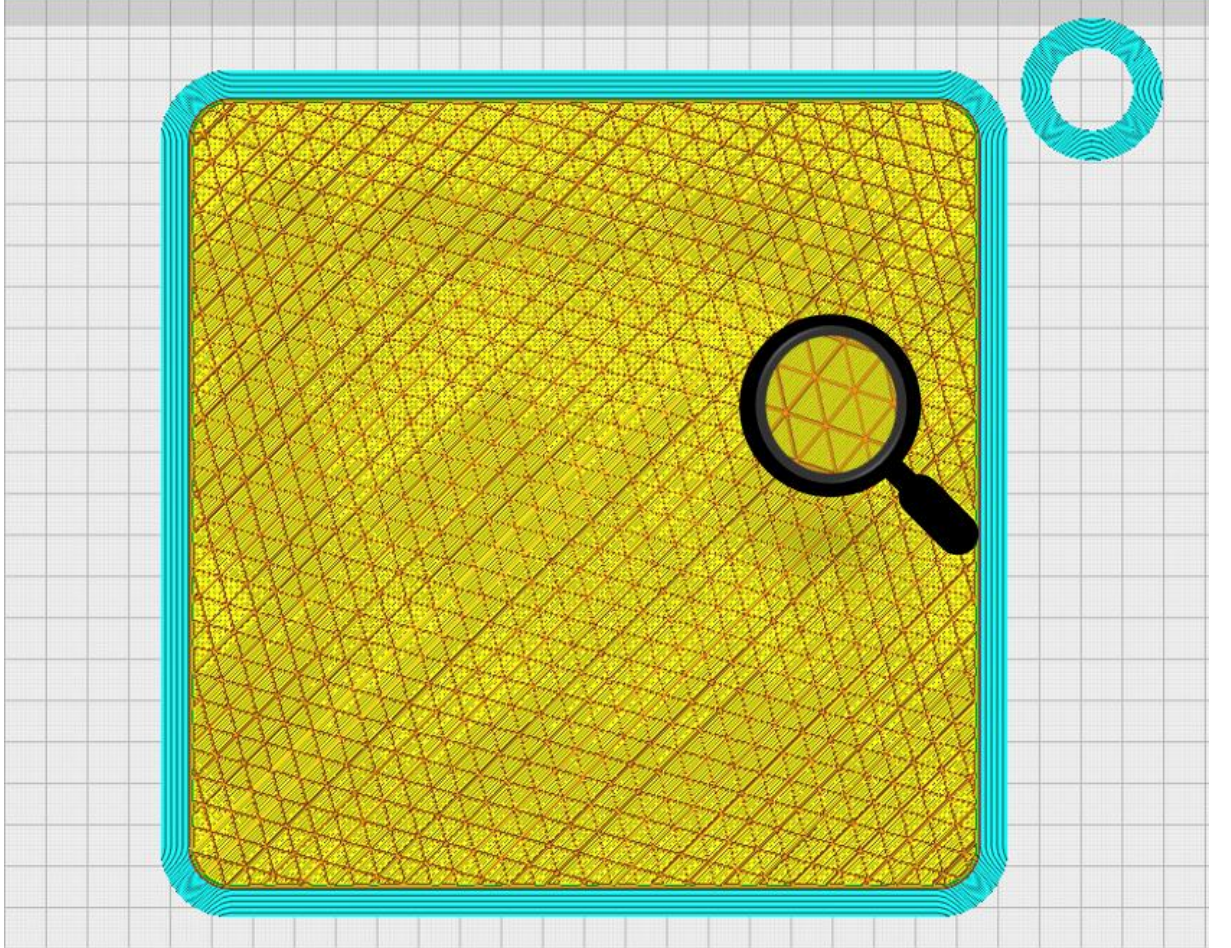
Hareket

Soğuma

Destek

Şekil 3.11. %20 dolulukta üçgen iç yapılı plaka için yazdırma ayarları

Ayarlamalar sonucu Şekil 3.12’de ki gibi %20 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın basım hali oluşturulmuştur.



Şekil 3.12. %20 dolulukta üçgen iç yapılı plaka basım şekli

Belirlenen bu özellikler sonucunda %20 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın basım süresi 9 saat 14 dakika sürmüştür. Bu süre sonucunda oluşan plakta 6.81 metre pla filament kullanılmış ve 61 gr olarak üretilmiştir.

Cura programında %60 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın programlanması ve ayarlarının yapılması;

Şekil 3.13'te ki gibi programda %60 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın üretimi için ayarlar yapılmıştır.

Yazdırma ayarları

Profil Fine - 0.1mm

1 2

Arama ayarları

Kalite

Katman Yüksekliği 0.1 mm

Duvarlar

Üst / Alt

Dolgu

Dolgu Yoğunluğu 60.0 %

Dolgu Şekli Üçgenler

Malzeme

Yazdırma Sıcaklığı 200.0 °C

Yapı Levhası Sıcaklığı 60 °C

Hız

Yazdırma Hızı 70.0 mm/s

Hareket

Soğuma

Destek

Şekil 3.13. %60 dolulukta üçgen iç yapılı plaka için yazdırma ayarları

Ayarlamalar sonucu Şekil 3.14 'te ki gibi %60 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın basım hali oluşturulmuştur.

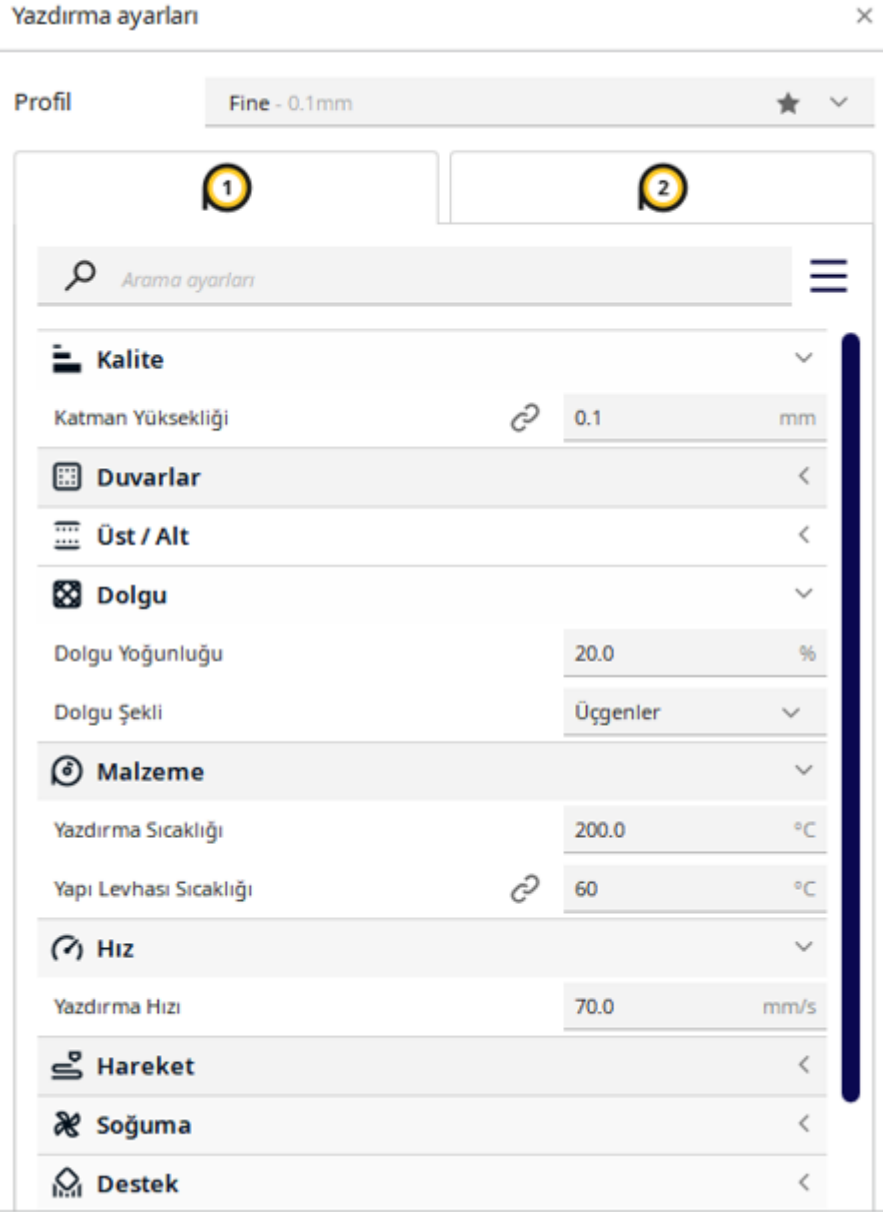


Şekil 3.14. %60 dolulukta üçgen iç yapılı plaka basım şekli

Belirlenen bu özellikler sonucunda %60 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın basım süresi 12 saat 32 dakika sürmüştür. Bu süre sonucunda oluşan plakta 11.92 metre pla filament kullanılmış ve 89 gr olarak üretilmiştir.

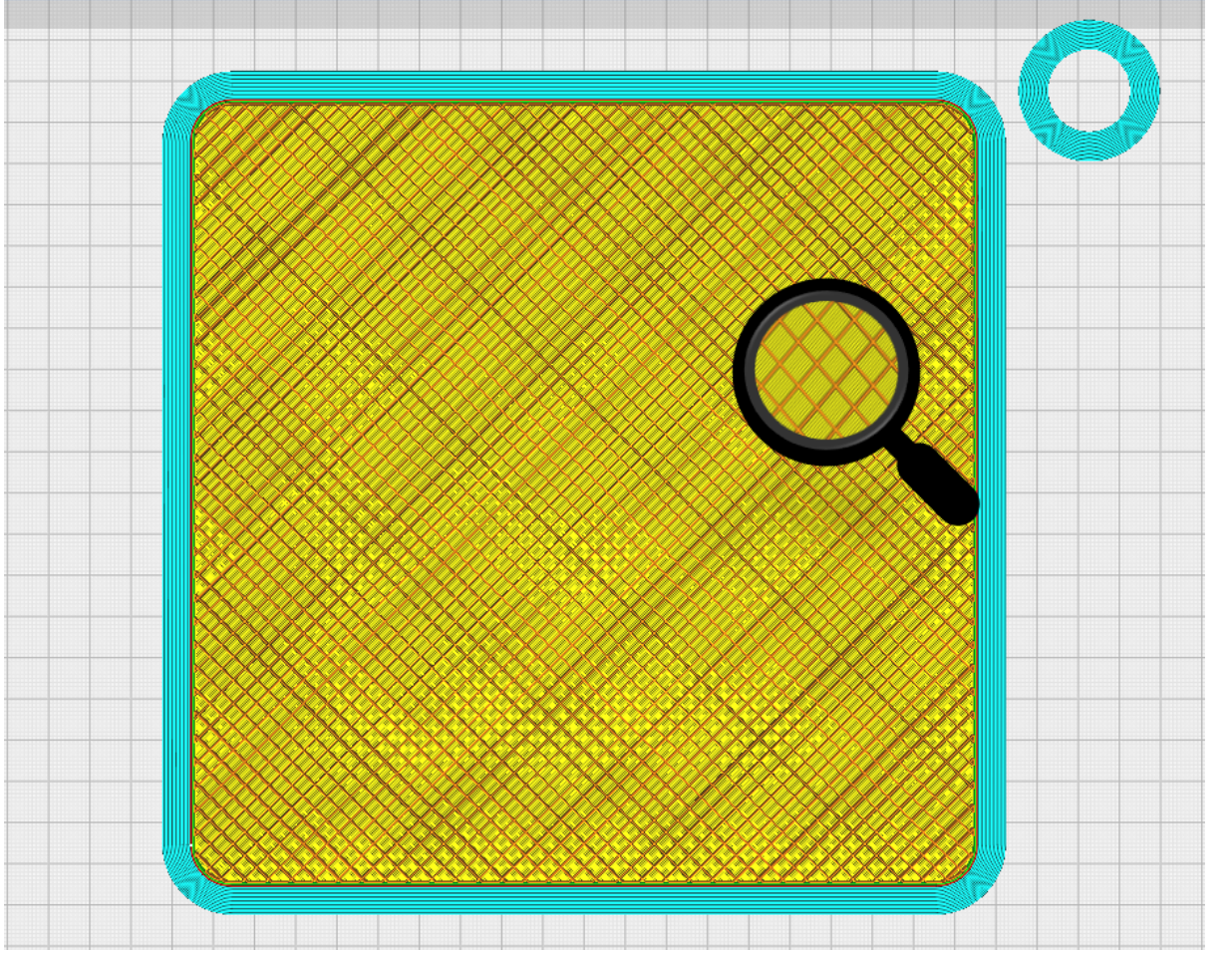
Cura programında %20 dolulukta kare iç yapılı plakanın programlanması ve ayarlarının yapılması;

Şekil 3.15'te ki gibi programda %20 dolulukta kare iç yapılı plakanın üretimi için ayarlar yapılmıştır.



Şekil 3.15. %20 dolulukta kare iç yapılı plaka için yazdırma ayarları

Ayarlamalar sonucu Şekil 3.16'da ki gibi %20 dolulukta kare iç yapılı plakanın basım hali oluşturulmuştur.



Şekil 3.16. %20 dolulukta kare iç yapılı plaka basım şekli

Belirlenen bu özellikler sonucunda %20 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın basım süresi 9 saat 15 dakika sürmüştür. Bu süre sonucunda oluşan plakta 6.82 metre pla filament kullanılmış ve 62 gr olarak üretilmiştir.

Cura programında %60 dolulukta kare iç yapılı plakanın programlanması ve ayarlarının yapılması;

Şekil 3.17’de ki gibi programda %60 dolulukta kare iç yapılı plakanın üretimi için ayarlar yapılmıştır.

Profil Fine - 0.1mm ★ ▼

12

🔍 *Arama ayarları* ☰

☰ Kalite ▼

Katman Yüksekliği 🔗 0.1 mm

📊 Duvarlar <

☰ Üst / Alt <

🔲 Dolgu ▼

Dolgu Yoğunluğu ↻ 60.0 %

Dolgu Şekli ↻ f_x Izgara ▼

🔍 Malzeme ▼

Yazdırma Sıcaklığı 200.0 °C

Yapı Levhası Sıcaklığı 🔗 60 °C

🔄 Hız ▼

Yazdırma Hızı 70.0 mm/s

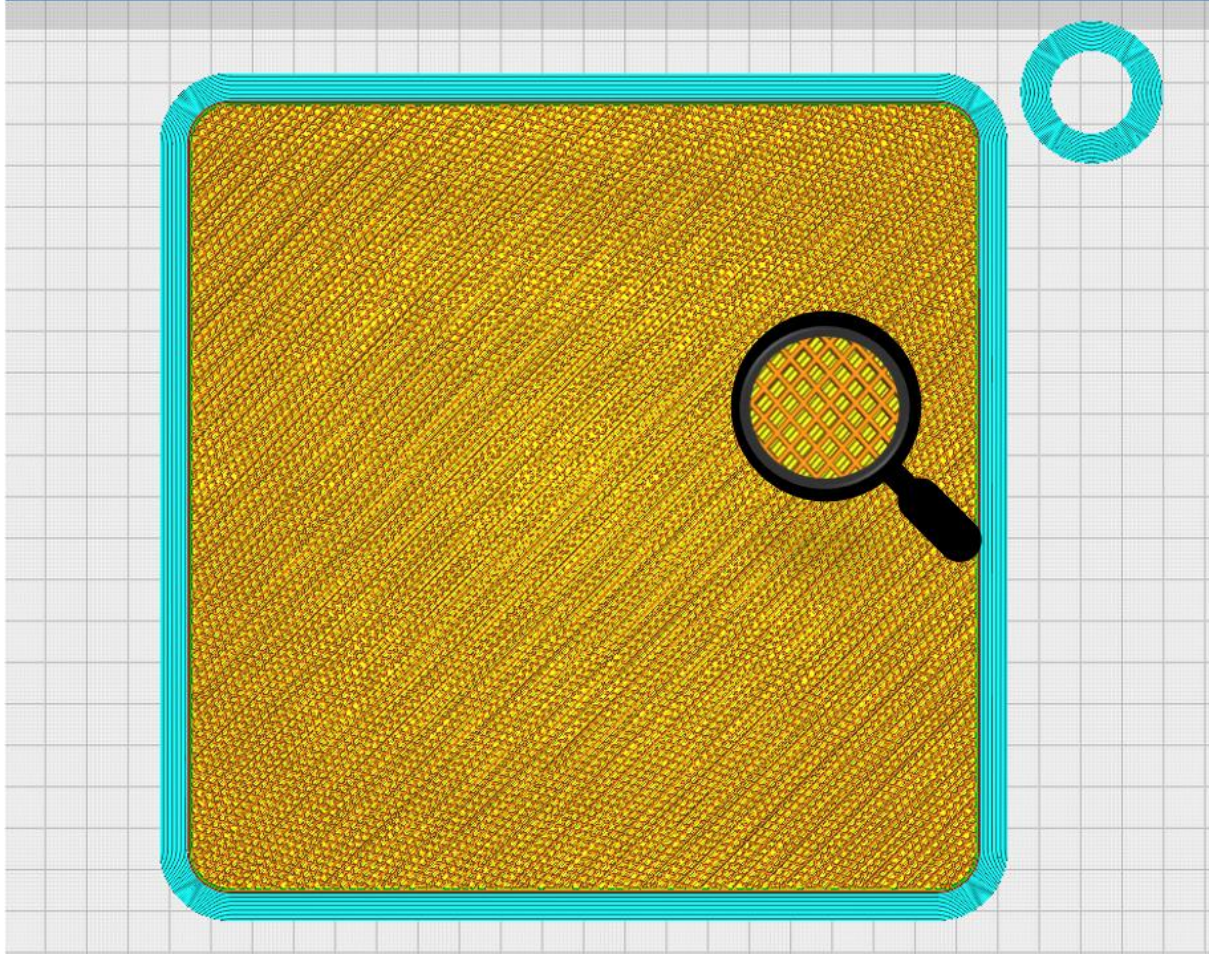
☰ Hareket <

🔲 Soğuma <

🏠 Destek <

Şekil 3.17. %60 dolulukta kare iç yapılı plaka için yazdırma ayarları

Ayarlamalar sonucu Şekil 3.18’de ki gibi %60 dolulukta kare iç yapılı plakanın basım hali oluşturulmuştur.

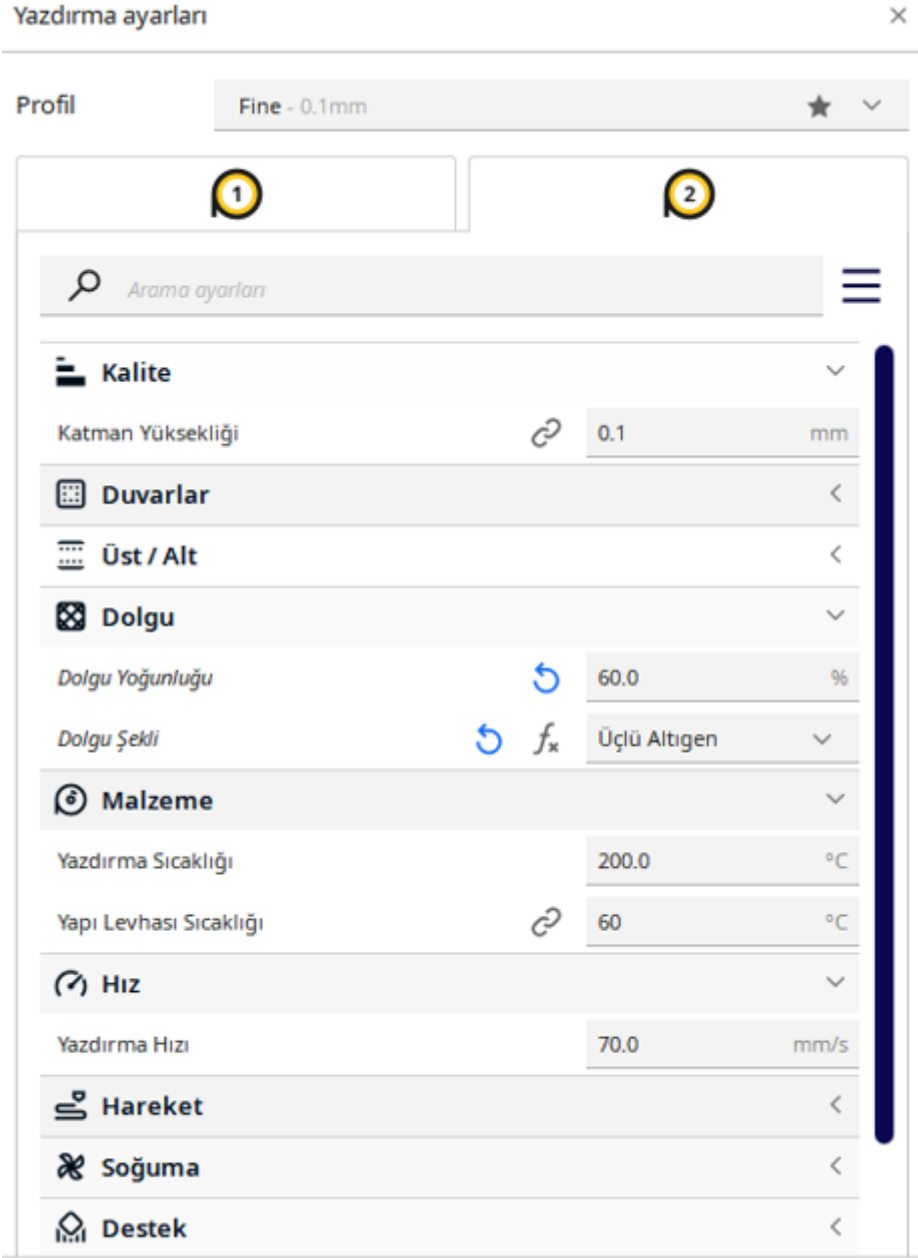


Şekil 3.18. %60 dolulukta kare iç yapılı plaka basım şekli

Belirlenen bu özellikler sonucunda %60 dolulukta üçgen iç yapılı plakanın basım süresi 12 saat 32 dakika sürmüştür. Bu süre sonucunda oluşan plakta 11.92 metre pla filament kullanılmış ve 84 gr olarak üretilmiştir.

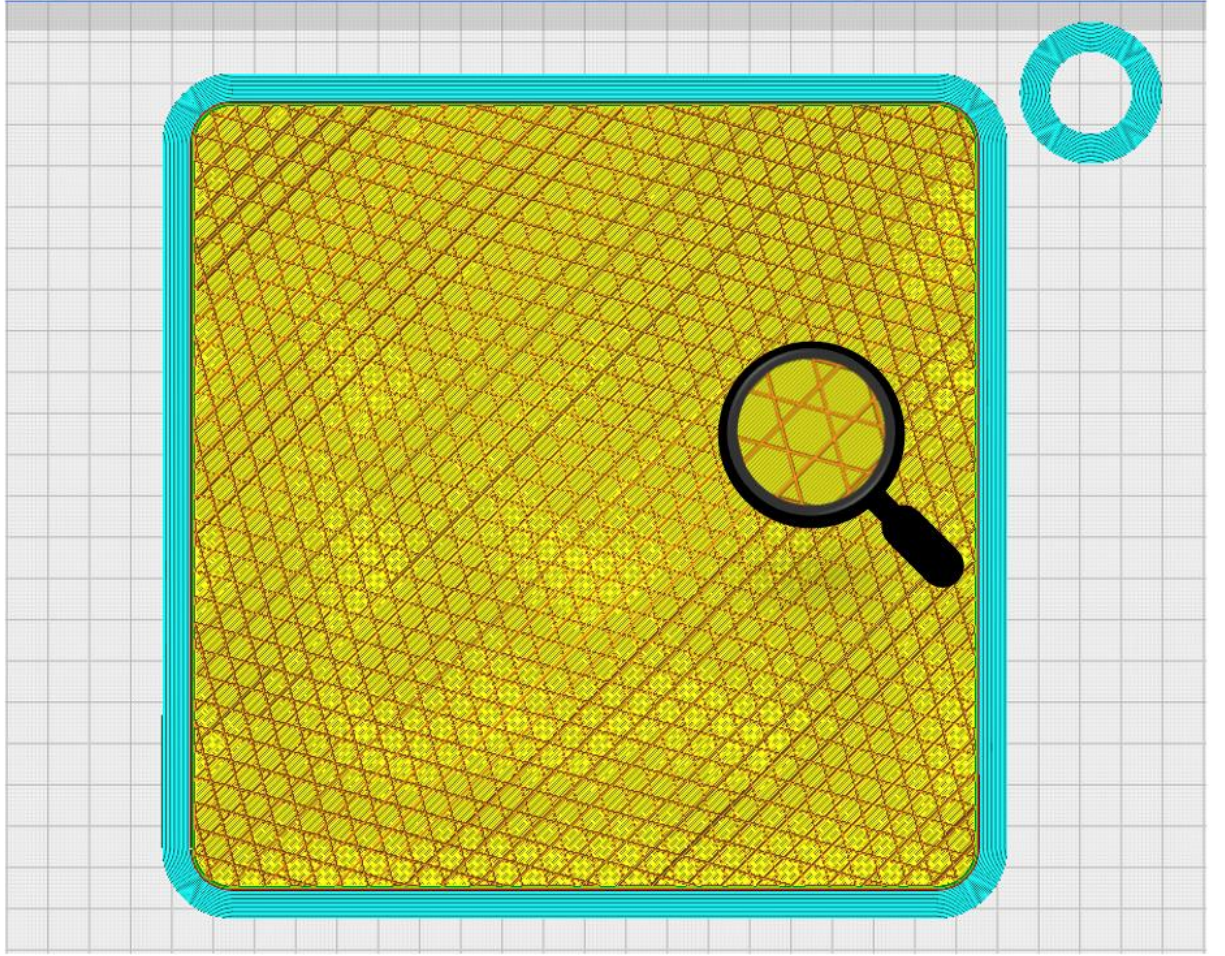
Cura programında %20 dolulukta altıgen iç yapılı plakanın programlanması ve ayarlarının yapılması;

Şekil 3.19'da ki gibi programda %20 dolulukta altıgen iç yapılı plakanın üretimi için ayarlar yapılmıştır.



Şekil 3.19. %20 dolulukta altıgen iç yapı plaka için yazdırma ayarları

Ayarlamalar sonucu Şekil 3.20’de ki gibi %20 dolulukta altıgen iç yapı plakasının basım hali oluşturulmuştur.

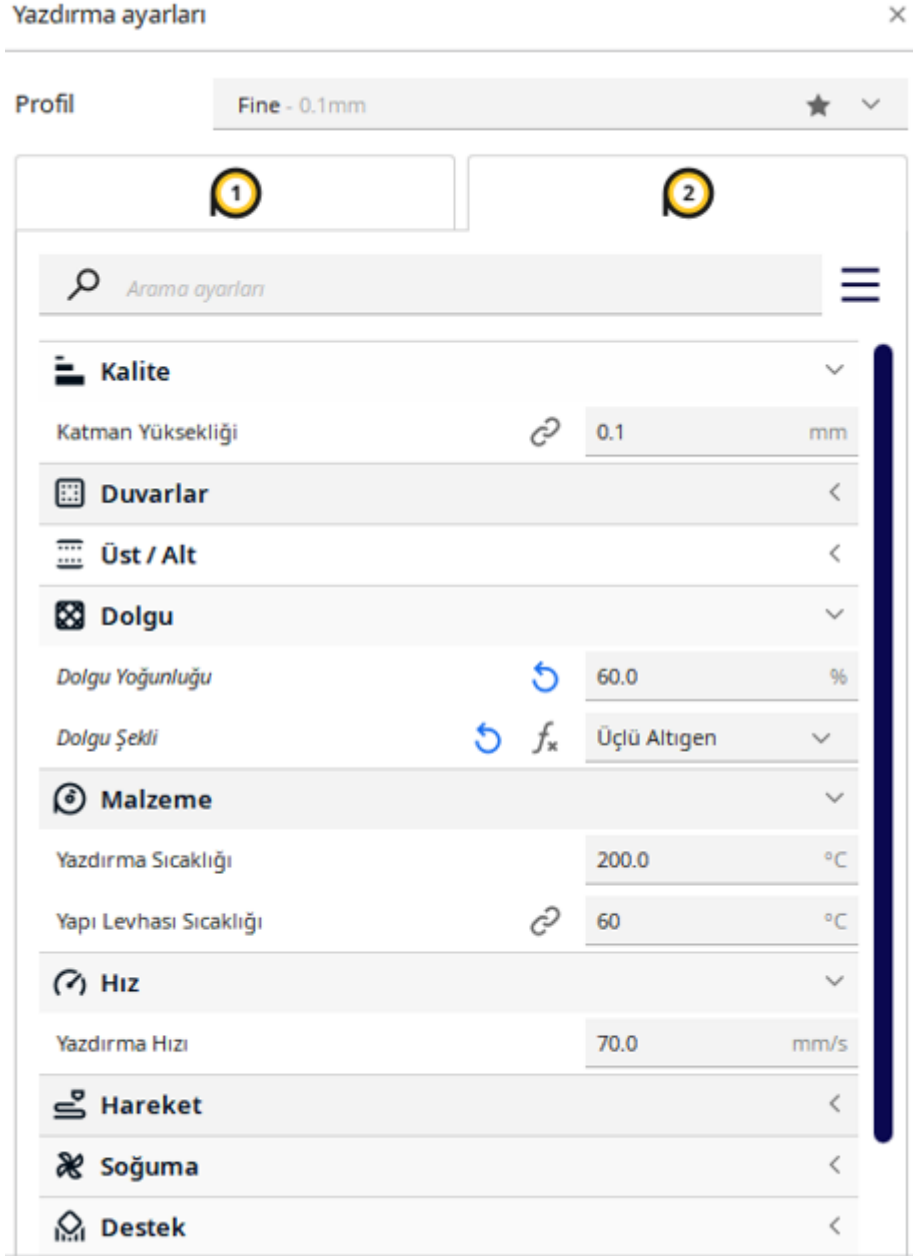


Şekil 3.20. %20 dolulukta altıgen iç yapılı plaka basım şekli

Belirlenen bu özellikler sonucunda %20 dolulukta altıgen iç yapılı plakanın basım süresi 9 saat 14 dakika sürmüştür. Bu süre sonucunda oluşan plakta 6.80 metre pla filament kullanılmış ve 67 gr olarak üretilmiştir.

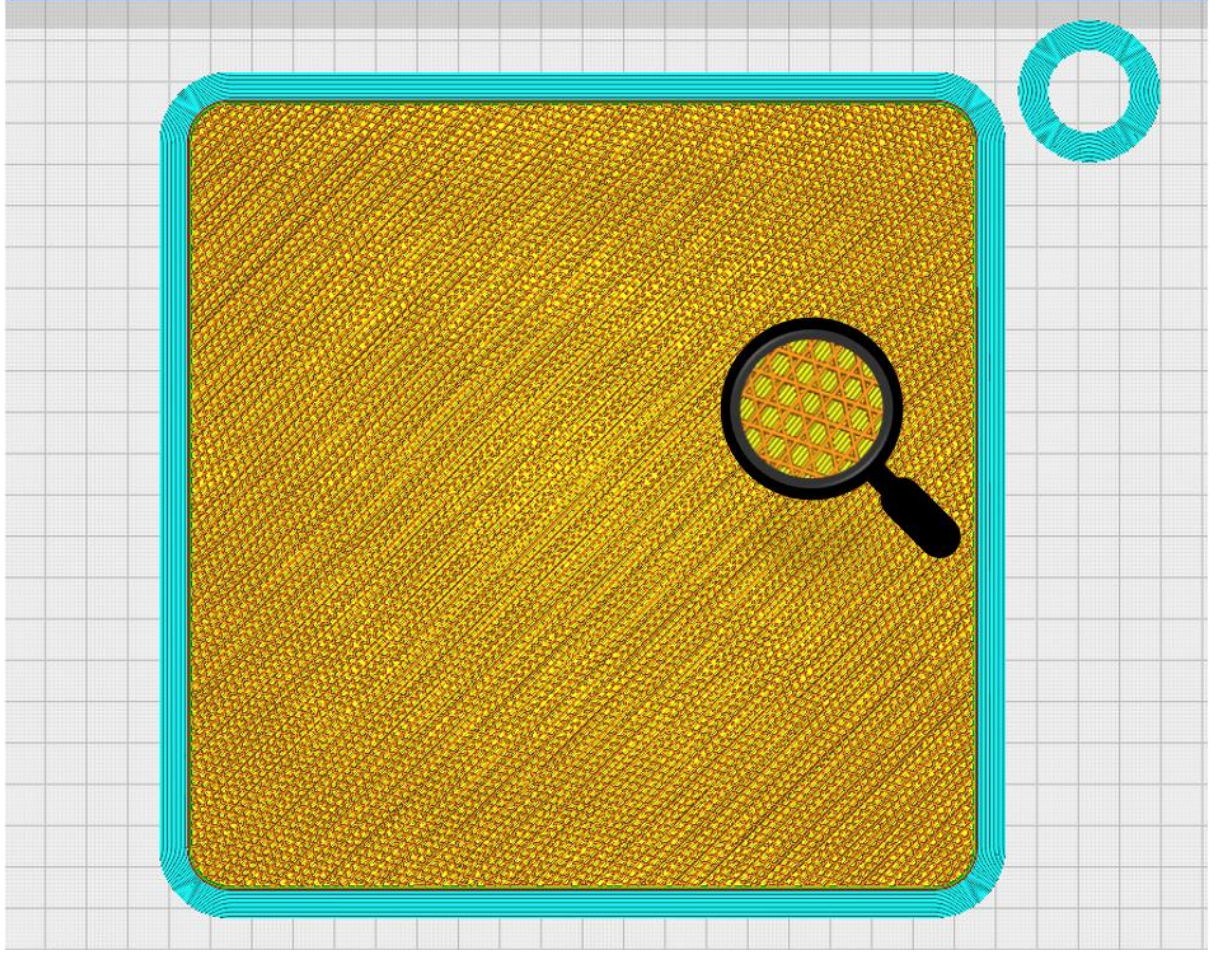
Cura programında %60 dolulukta altıgen iç yapılı plakanın programlanması ve ayarlarının yapılması;

Şekil 3.21’de ki gibi programda %60 dolulukta altıgen iç yapılı plakanın üretimi için ayarlar yapılmıştır.



Şekil 3.21. %60 dolulukta altıgen iç yapı plaka için yazdırma ayarları

Ayarlamalar sonucu Şekil 3.22’de ki gibi %60 dolulukta altıgen iç yapı plakanın basım hali oluşturulmuştur.



Şekil 3.22. %60 dolulukta altıgen iç yapılı plaka basım şekli

Belirlenen bu özellikler sonucunda %60 dolulukta altıgen iç yapılı plakanın basım süresi 12 saat 31 dakika sürmüştür. Bu süre sonucunda oluşan plakta 11.90 metre pla filament kullanılmış ve 95 gr olarak üretilmiştir.

3.3. Deney Düzenegi ve Modal Analizin Yapılması

Deneysel Modal Analiz (Experimental Modal Analiz-EMA) testlerinde, yapay kuvvetler aracılığıyla nesnelere uyarılması sağlanır. Giriş (uyarma) ve çıkış (yanıtlar) sinyallerinin değerleri ölçülerek, elde edilen sonuçlar, test numunelerinin modal modellerinin analizlerini değerlendirmek amacıyla kullanılır. Deneysel modal analize başlamadan önce test düzenegi kurulması ve test hazırlığı yapılması gerekmektedir.

a) Yapıya ait desteğin oluşturulması

Teste tabi tutulan plakaların yapısal dinamiklerini ortaya çıkaracak en iyi şekilde serbestçe titretebileceği bir ortam oluşturulmalıdır. Deneyde plakalar köşelerinden lastik esaslı ince ipler ile bağlanılarak, boşlukta serbest kalabilecek şekilde asılmışlardır.

b) Uyarma kuvvetinin türü

Deney için belirlenmiş olan modal shaker kullanılarak sinüs taramaları yöntemi ile kuvvet uygulanmıştır.

c) Sensörlerin yerlerinin belirlenmesi

Modal Sarsıcı, stinger çubuğunun ucuna bağlanan kuvvet sensörü, plakaların orta noktasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Çıkış değerlerini ölçecek olan ivme ölçer ise plakanın yüzeyinde belirli aralıklar ile belirlenmiş noktalarda yer değiştirilerek ölçüm alması sağlanacaktır.

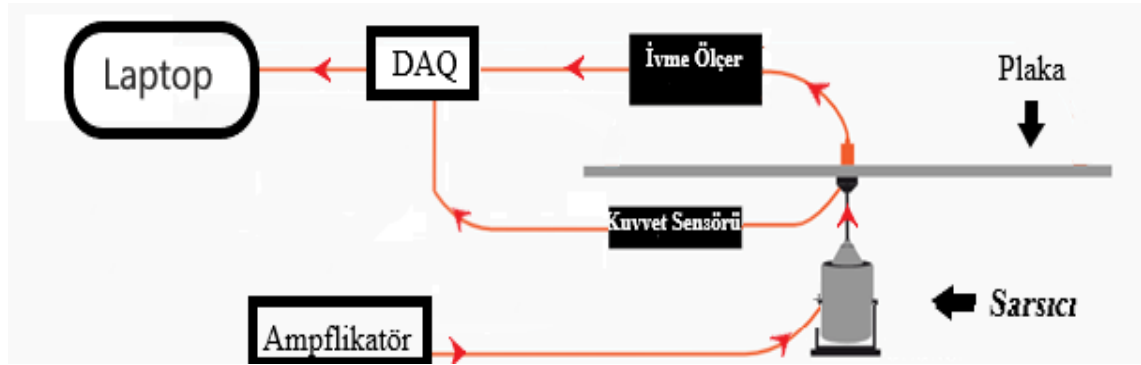
Test hazırlıklarının tamamlanmasının ardından, Modal Analiz için deney düzenegi Şekil 3.23'de ki gibi kurulmuştur.



Şekil 3.23. Deney düzeneği

3.3.1. Deney Uygulaması

Doğal frekansların tespiti için modal sarsıcıya amplifikatör aracılığı ile 0-300 Hz aralığında bir sinüs taraması komutu gönderilir. Modal sarsıcı kuvveti stinger aracılığı ile kuvvet sensörüne iletir. Kuvvet sensörü yüzeyine balmumu ile yapıştırılmış olan plakaya sinüs taraması şeklindeki kuvveti iletir, plağı titreştirir. Titreşim esnasında plağın üzerine yine bal mumu ile yapıştırılmış olan ivme ölçer çıkış sinyallerini ölçerek bilgisayara DAQ aracılığı ile aktarır. Frekans gürültüsü oluşmaması için deney düzeneği Şekil 3.24’de veri akış şeması gösterilmiştir.

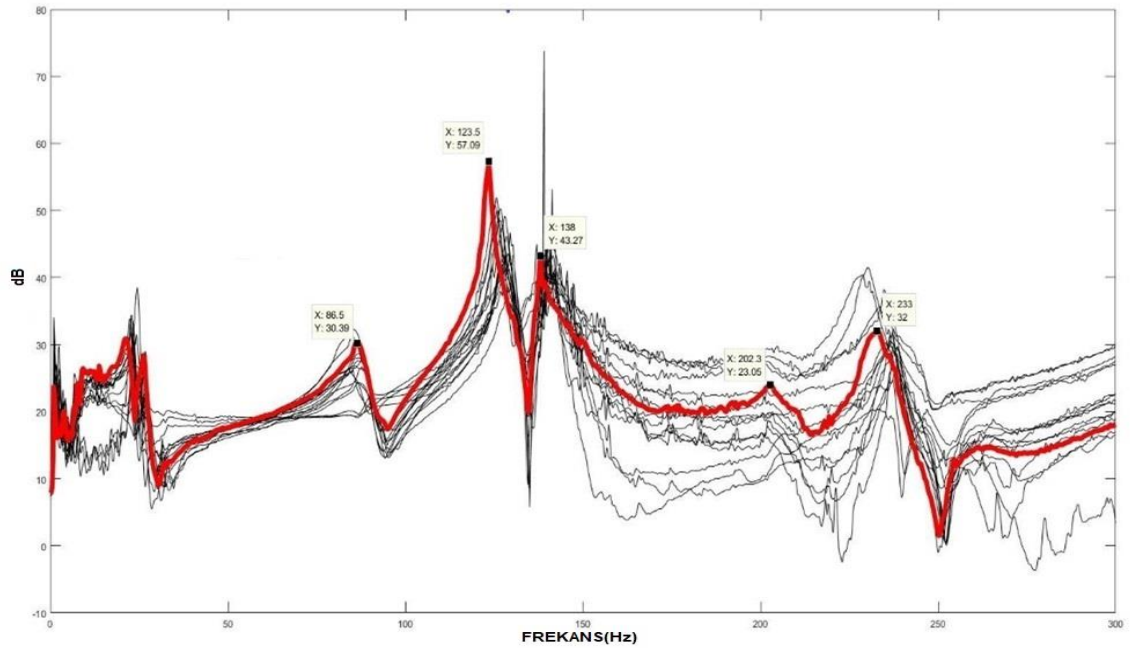


Şekil 3.24. Deney düzeneği akış şeması

Titreşim testlerine tabii tutulan PLA esaslı plakaların çeşitleri ve özellikleri aşağıdaki gibidir:

- TAM dolulukta plaka
- KARE yapılı %20 dolulukta plaka
- KARE yapılı %60 dolulukta plaka
- ÜÇGEN yapılı %20 dolulukta plaka
- ÜÇGEN yapılı %60 dolulukta plaka
- BAL PETEĞİ yapılı %20 dolulukta plaka
- BAL PETEĞİ yapılı %60 dolulukta plaka

Deney her bir plaka için ivme ölçerin yeri hareket ettirilerek 20 farklı pozisyonda ölçümler 3'er kez tekrarlanmıştır. Ölçüm sonuçları elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak Genlik-Frekans grafiği elde edilmiştir. Frekansa karşılık gelen genlik değerlerinde pik yapan kısımlarında ölçülen plakanın doğal frekans değerleri (modları) tespit edilmiştir. Elde edilen 20 farklı sonuç Matlab programında birbiri üzerine Şekil 3.25'de ki gibi çizdirilerek plakaya ait bütün frekanslar tek grafikte elde edilmiştir.



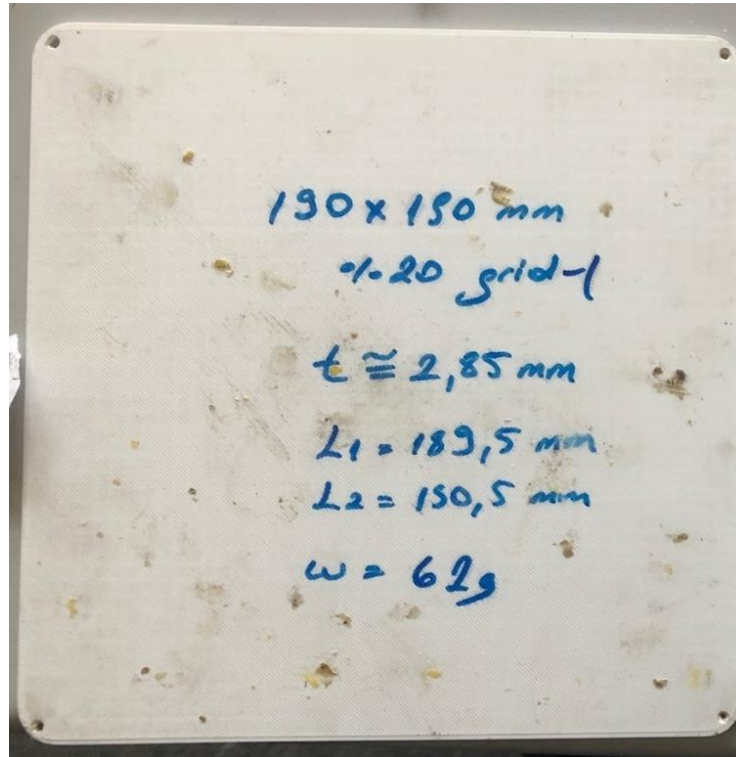
Şekil 3.25. Matlab programında üst üste çizdirilen frekans değerleri örneği

Bir sonraki bölümde deneysel modal analiz sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

3. BULGULAR

Bu tez çalışmasında, üçgen, kare, petek ve tam dolu iç yapılarına sahip PLA esaslı plakalar üretilmiş ve titreşim analizi çalışmaları yürütülmüştür. Bu bölümde plakaların deneysel modal analiz sonucu doğal frekansların elde edilmesi ve bulgular anlatılacaktır.

Titreşim testlerine tabii tutulan PLA esaslı %20 dolulukta Kare iç yapılı plak Şekil 4.1' de gösterilmiştir.



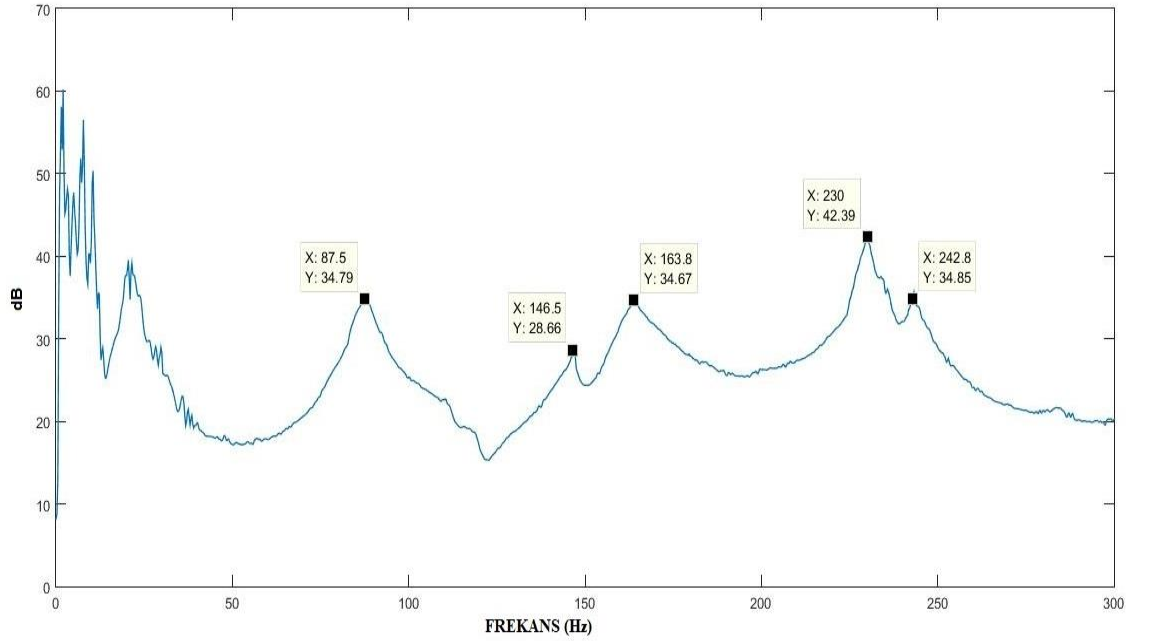
Şekil 4.1. Kare-1 plağı

Çizelge 4.1. %20 dolulukta kare iç yapılı plağa ait veriler

Plak boyutları	
Uzunluk	190 mm
Genişlik	190 mm
Kalınlık	2, 85 mm
Ağırlık	62 gr

PLA esaslı, iç yapısı %20 dolulukta kare şeklinde olan plak için serbest titreşim analizinin deneysel sonuçları aşağıda sunulmuştur. Bu sonuçlar için 20 farklı deney yapılmış ve bunlara ait çıkan frekans fonksiyonları Matlab’da üst üste çizdirilmiştir.

Şekil 4.2’de %20 doluluktaki kare iç yapılı plak ölçümlerinin pik yaptığı değerler gösterilmiştir.

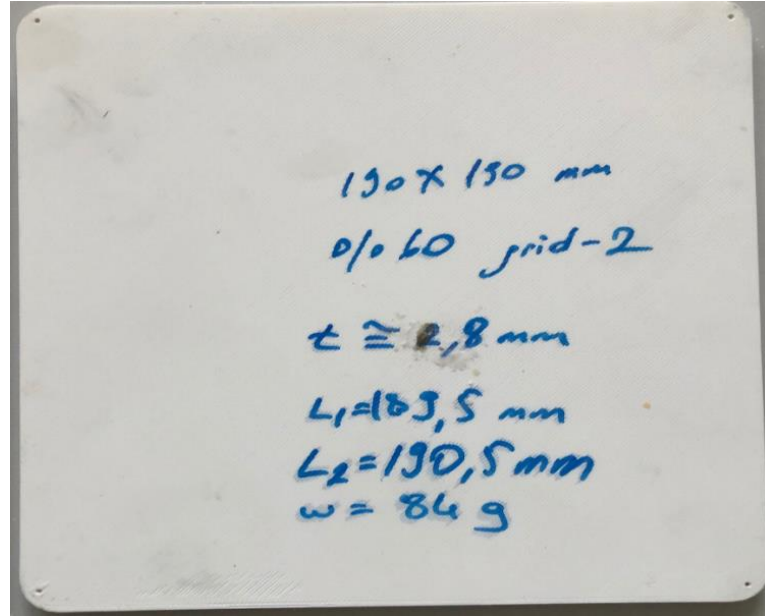


Şekil 4.2. %20 dolulukta kare iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri

Çizelge 4.2. %20 dolulukta kare iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları

Doğal Frekanslar	Deneysel [Hz]
ω_1	88
ω_2	147
ω_3	164
ω_4	230
ω_5	243

Titreşim testlerine tabii tutulan PLA esaslı %60 dolulukta kare iç yapılı plak Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



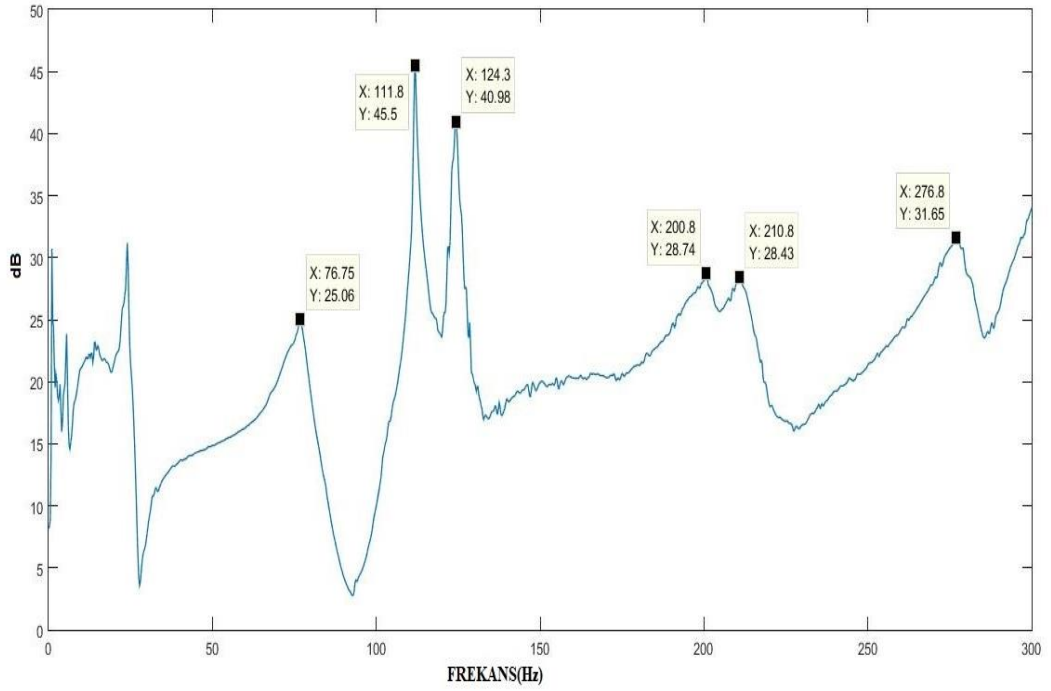
Şekil 4.3. Kare-2 plağı

Çizelge 4.3. %60 dolulukta kare iç yapılı plağa ait veriler

Plak boyutları	
Uzunluk	190 mm
Genişlik	190 mm
Kalınlık	2, 8 mm
Ağırlık	84 gr

PLA esaslı, iç yapısı %60 dolulukta kare şeklinde olan plak için serbest titreşim analizinin deneysel sonuçları aşağıda sunulmuştur. Bu sonuçlar için 20 farklı deney yapılmış ve bunlara ait çıkan frekans fonksiyonları Matlab’da üst üste çizdirilmiştir.

Şekil 4.4’te %60 doluluktaki kare iç yapılı plak ölçümlerinin pik yaptığı değerler gösterilmiştir.

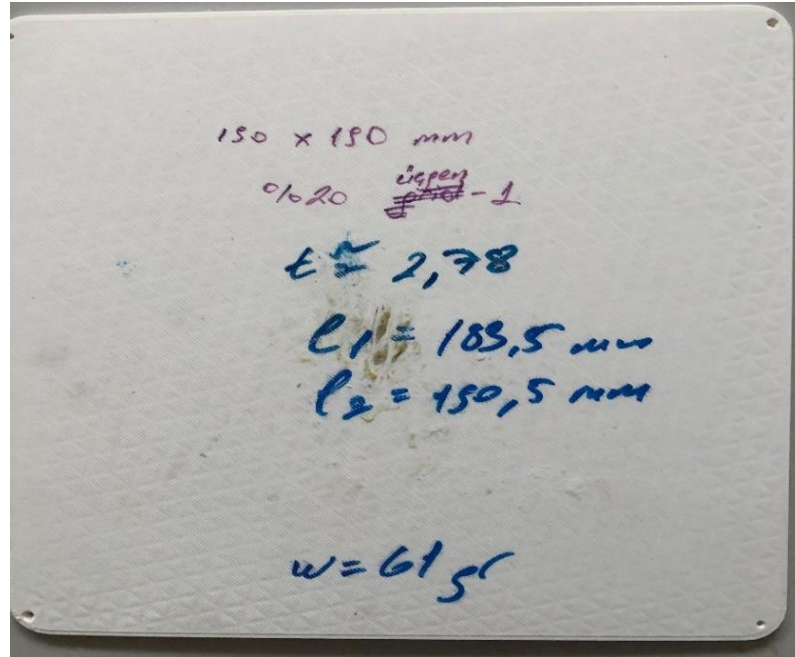


Şekil 4.4. %60 dolulukta kare iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri

Çizelge 4.4. %60 dolulukta kare iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları

Doğal Frekanslar	Deneysel [Hz]
ω_1	77
ω_2	112
ω_3	124
ω_4	201
ω_5	211
ω_6	277

Titreşim testlerine tabii tutulan PLA esashi'%'20 dolulukta üçgen iç yapılı plak Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



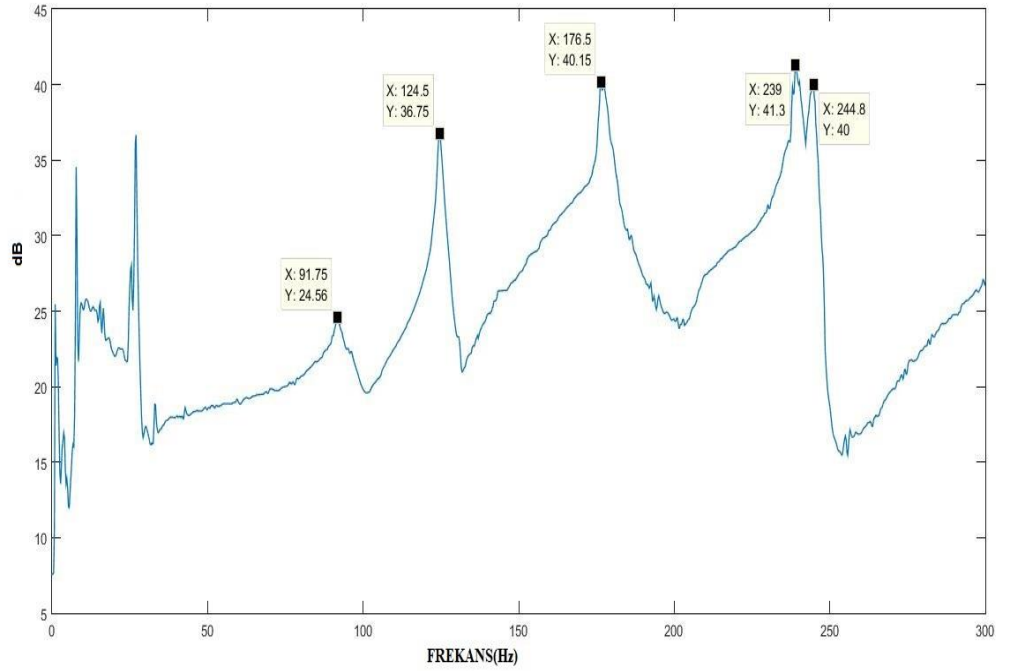
Şekil 4.5. Üçgen-1 plağı

Çizelge 4.5. %20 dolulukta üçgen iç yapılı plağa ait veriler

Plak boyutları	
Uzunluk	190 mm
Genişlik	190 mm
Kalınlık	2,78 mm
Ağırlık	61 gr

PLA esaslı, iç yapısı %20 dolulukta üçgen şeklinde olan plak için serbest titreşim analizinin deneysel sonuçları aşağıda sunulmuştur. Bu sonuçlar için 13 farklı deney yapılmış ve bunlara ait çıkan frekans fonksiyonları Matlab’da üst üste çizdirilmiştir.

Bir sonraki sayfada yer alan Şekil 4.6’da ise; %20 doluluktaki üçgen iç yapılı plak ölçümlerinin pik yaptığı değerler gösterilmiştir.

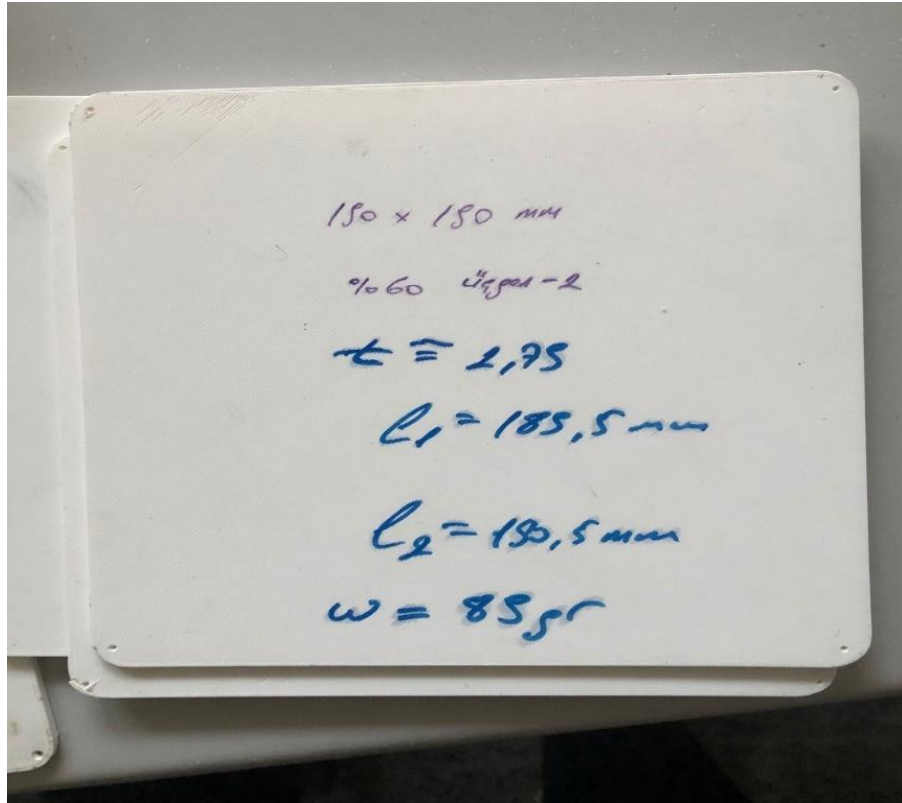


Şekil 4.6. %20 dolulukta üçgen iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri

Çizelge 4.6. %20 dolulukta üçgen iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları

Doğal Frekanslar	Deneysel [Hz]
ω_1	92
ω_2	125
ω_4	177
ω_5	239
ω_5	245

Titreşim testlerine tabii tutulan PLA esaslı %60 dolulukta üçgen iç yapılı plak Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



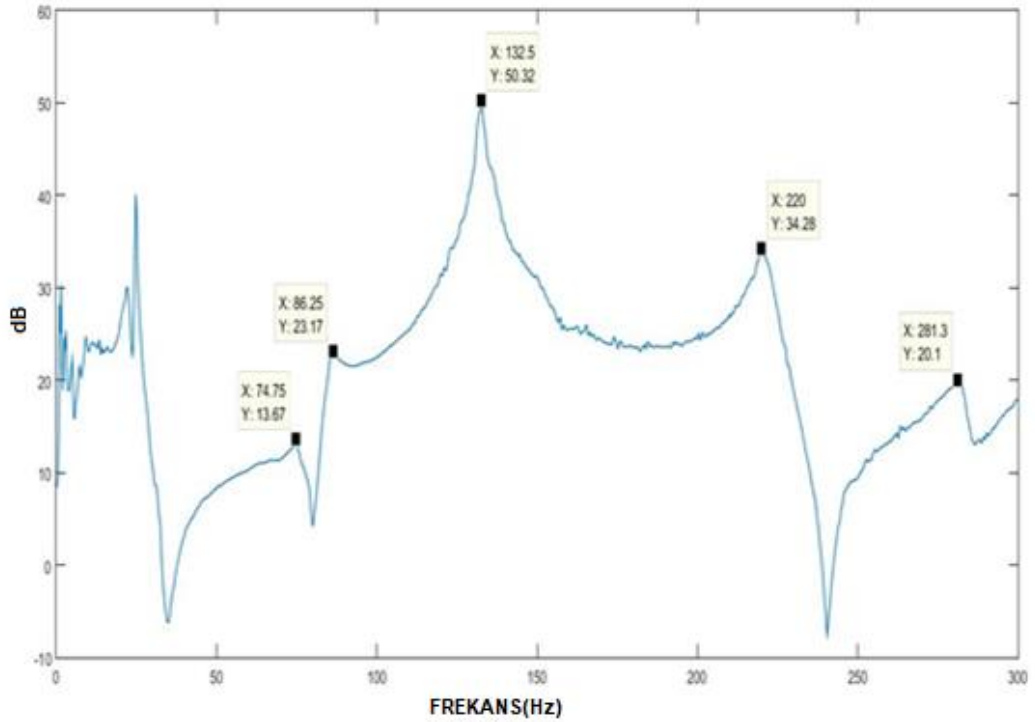
Şekil 4.7. Üçgen-2 plağı

Çizelge 4.7. %60 dolulukta üçgen iç yapılı plağa ait veriler

Plak boyutları	
Uzunluk	190 mm
Genişlik	190 mm
Kalınlık	1,75 mm
Ağırlık	89 gr

PLA esaslı, iç yapısı %60 dolulukta üçgen şeklinde olan plak için serbest titreşim analizinin deneysel sonuçları aşağıda sunulmuştur. Bu sonuçlar için 20 farklı deney yapılmış ve bunlara ait çıkan frekans fonksiyonları Matlab'da üst üste çizdirilmiştir.

Şekil 4.8'de %60 dolulukta kare iç yapılı plak ölçümlerinin pik yaptığı değerler gösterilmiştir.

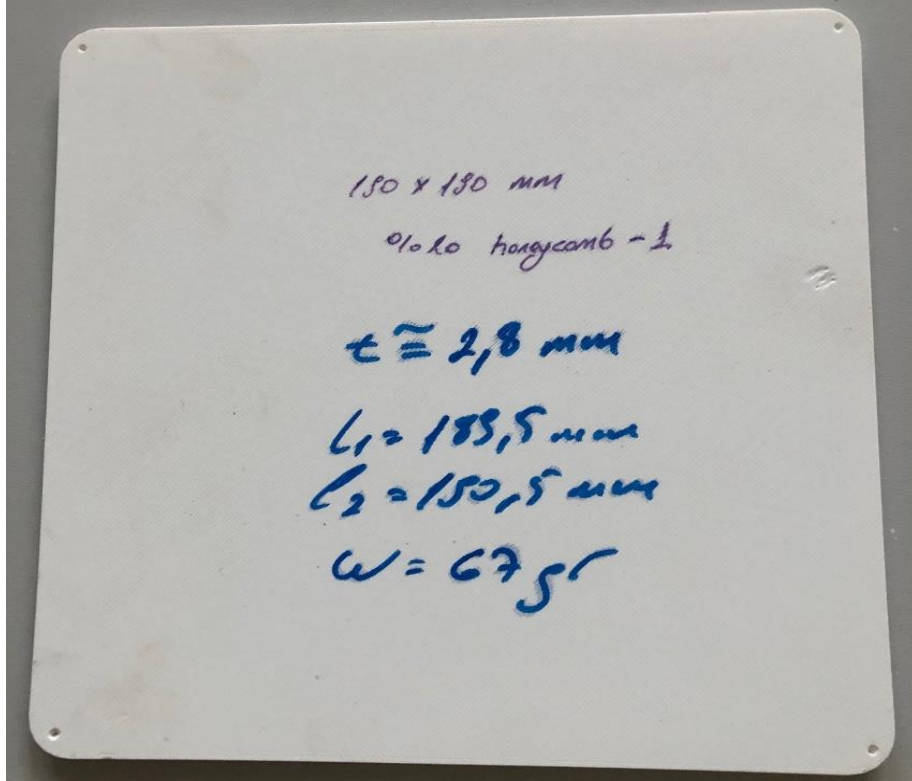


Şekil 4.8. %60 dolulukta üçgen iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri

Çizelge 4.8. %60 dolulukta Üçgen iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları

Doğal Frekanslar	Deneysel [Hz]
ω_1	75
ω_2	86
ω_3	133
ω_4	220
ω_5	281

Titreşim testlerine tabii tutulan PLA esaslı %20 dolulukta bal peteği yapılı plak Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



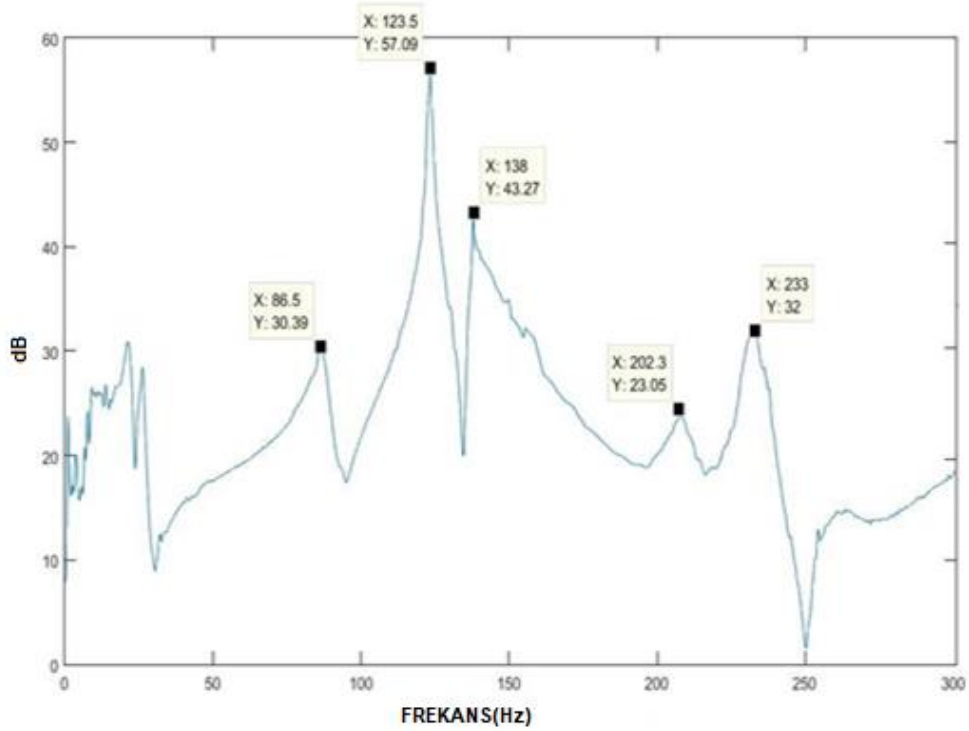
Şekil 4.9. Balpeteği-1 plak

Çizelge 4.9. %20 dolulukta balpeteği iç yapılı plağa ait veriler

Plak boyutları	
Uzunluk	190 mm
Genişlik	190 mm
Kalınlık	2, 8 mm
Ağırlık	67 gr

PLA esaslı, iç yapısı %20 dolulukta balpeteği şeklinde olan plak için serbest titreşim analizinin deneysel sonuçları aşağıda sunulmuştur. Bu sonuçlar için 16 farklı deney yapılmış ve bunlara ait çıkan frekans fonksiyonları Matlab’da üst üste çizdirilmiştir.

Şekil 4.10’da %20 doluluktaki balpeteği iç yapılı plak ölçümlerinin pik yaptığı değerler gösterilmiştir.

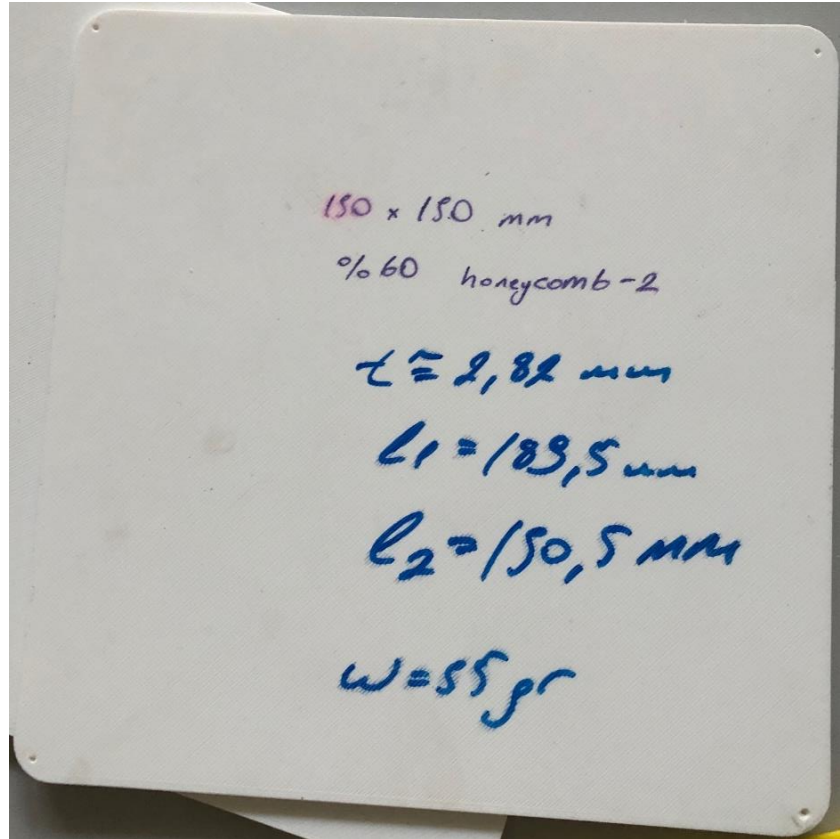


Şekil 4.10. %20 dolulukta balpeteği iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri

Çizelge 4.10. %20 dolulukta Balpeteği iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları

Doğal Frekanslar	Deneysel [Hz]
ω_1	86
ω_2	123
ω_3	138
ω_4	202
ω_5	233

Titreşim testlerine tabii tutulan PLA esaslı %60 dolulukta bal peteği yapılı plak Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



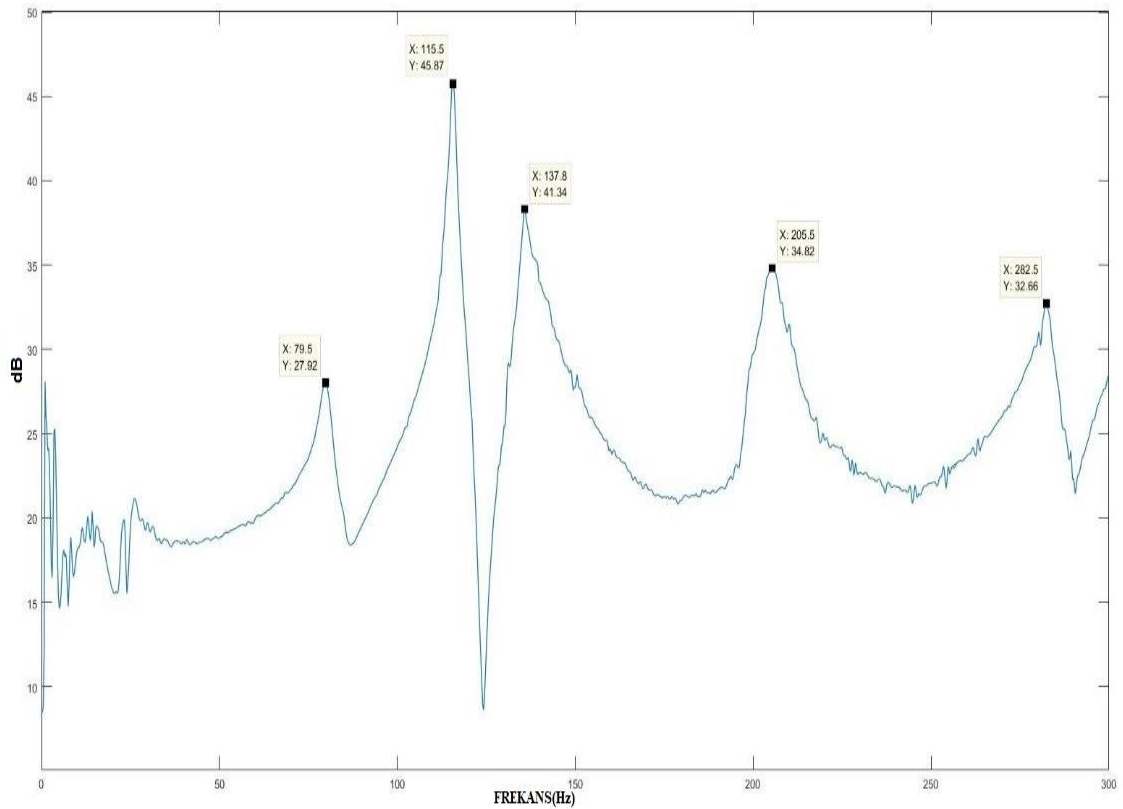
Şekil 4.11. Balpeteği-2 plak

Çizelge 4.11. %60 dolulukta balpeteği iç yapılı plağa ait veriler

Plak boyutları	
Uzunluk	190 mm
Genişlik	190 mm
Kalınlık	2, 82 mm
Ağırlık	95 gr

PLA esaslı, iç yapısı %60 dolulukta balpeteği şeklinde olan plak için serbest titreşim analizinin deneysel sonuçları aşağıda sunulmuştur. Bu sonuçlar için 20 farklı deney yapılmış ve bunlara ait çıkan frekans fonksiyonları Matlab’da üst üste çizdirilmiştir.

Şekil 4.12’de %60 doluluktaki balpeteği iç yapılı plak ölçümlerinin pik yaptığı değerler gösterilmiştir.

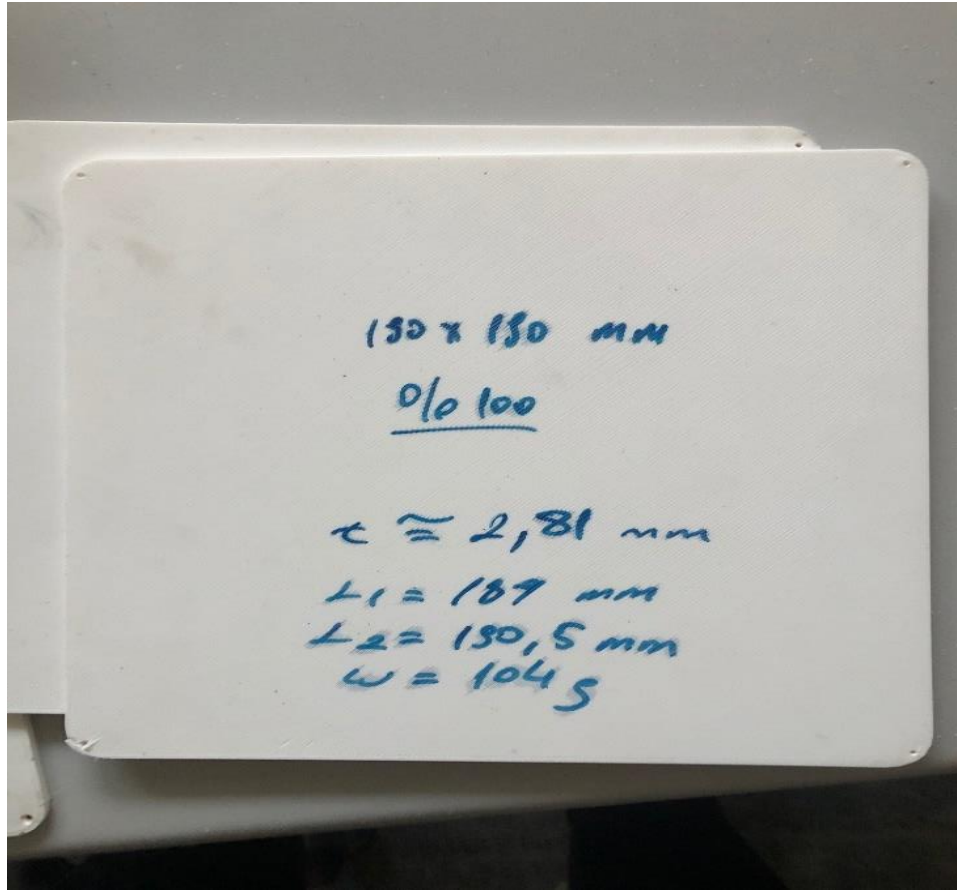


Şekil 4.12. %60 dolulukta balpeteği iç yapılı plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri

Çizelge 4.12. %20 dolulukta balpeteği iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları

Doğal Frekanslar	Deneysel [Hz]
ω_1	79
ω_2	115
ω_3	138
ω_4	205
ω_5	282

Titreşim testlerine tabii tutulan PLA esaslı %100 dolumlu yapı plağı Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



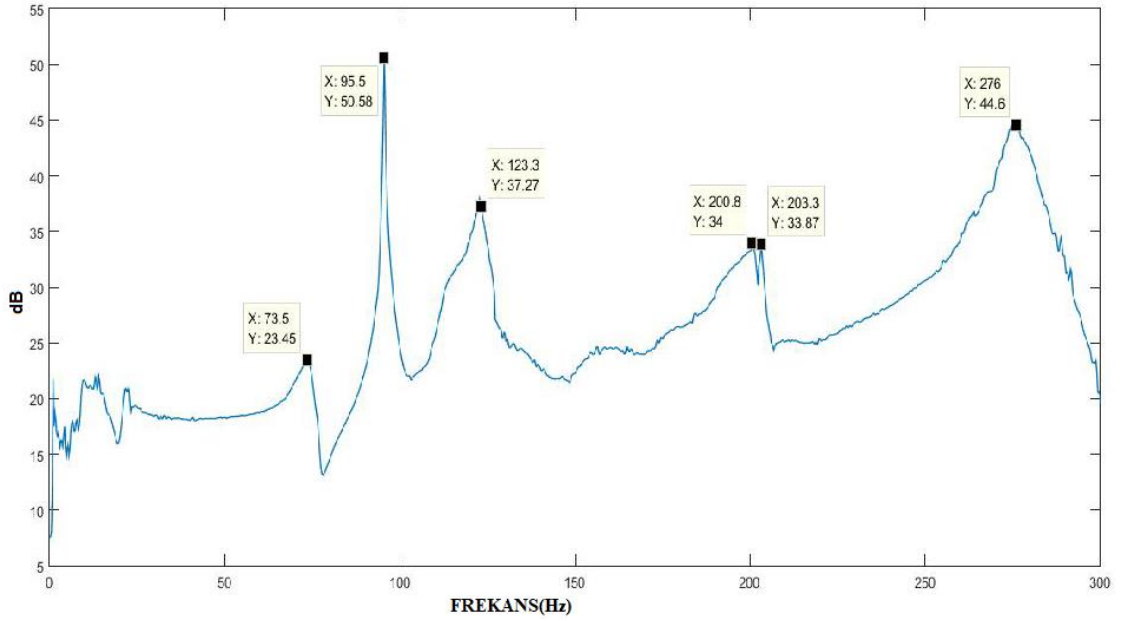
Şekil 4.13. %100 dolu yapı plağı

Çizelge 4.13. %100 dolumlu yapı plağına ait veriler

Plak boyutları	
Uzunluk	190 mm
Genişlik	190 mm
Kalınlık	2,81 mm
Ağırlık	104 gr

PLA esaslı, iç yapısı tam dolu şeklinde olan plak için serbest titreşim analizinin deneysel sonuçları aşağıda sunulmuştur. Bu sonuçlar için 20 farklı deney yapılmış ve bunlara ait çıkan frekans fonksiyonları Matlab’da üst üste çizdirilmiştir.

Şekil 4.14’de %100 dolulukdaki plak ölçümlerinin pik yaptığı değerler gösterilmiştir.



Şekil 4.14. %100 dolu yapıya sahip plağın titreşim test sonucunun frekansa karşılık gelen dB değerleri

Çizelge 4.14. % 100 dolumlu iç yapılı plağa ait deneysel sonuçların ortalaması ile bulunan doğal frekansları

Doğal Frekanslar	Deneysel [Hz]
ω_1	73
ω_2	96
ω_3	123
ω_4	201
ω_5	203
ω_6	276

PLA esaslı plak için serbest titreşim analizinin deneysel sonuçları burada sunulmuştur. Bunun için her bir plak için yaklaşık 20 farklı deney yapılmış ve deney sonuçlarının ortalaması alınarak doğal frekanslara ait sonuçlar Çizelge 4.15’de değerleri sunulmuştur.

Çizelge 4.15. 3D PLA plakların doğal frekanslarının Deneysel sonuçlarının genel tabloda karşılaştırılması

Plakalar	Tam Dolu	Kare-1	Kare-2	Ucgen-1	Ucgen-2	Balpeteği-1-	Balpeteği-2-
Doğal Frekanslar	Deneysel [Hz]	Deneysel [Hz]	Deneysel [Hz]	Deneysel [Hz]	Deneysel [Hz]	Deneysel [Hz]	Deneysel [Hz]
ω_1	73	88	77	92	75	86	79
ω_2	96	147	112	125	86	123	115
ω_3	123	164	124	177	133	138	138
ω_4	201	230	201	239	220	202	205
ω_5	203	243	211	245	281	233	282
ω_6	-	-	277	-	-	-	-
Ağırlıklar	104 gr	62 gr	84 gr	61 gr	89 gr	67 gr	95 gr

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tezde 3B yazıcı ile üretilen yaklaşık 190x190x3 mm³ kalınlığındaki PLA tabanlı bir plakanın serbest titreşim frekansları deneysel testlerle bulunmuş ve bu sonuçlar plakaların iç yapı değişimlerine göre karşılaştırılmıştır. Her bir plaka için bulunan doğal frekanslar Çizelge 4.15 'de birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçların karşılaştırmada en yüksek frekansların sırasıyla üçgen, kare, petek ve dolgulu kesit plakalardan elde edilebildiği görülmüştür. Ayrıca iki farklı yoğunluğa sahip iç yapıların, %20 yoğunluktaki frekansları, %60 yoğunluktaki frekanslarına oranla daha yüksek frekanslar olduğu tespit edilmiştir. %20 doluluğa sahip iç yapı plakalar arasında frekanslarda en yüksek üçgen iç yapı plak gözlenirken, ağırlık olarak en hafif olan plakadır. Kare ve petek iç yapı plakalar ise tam dolu plakadan daha yüksek frekanslara sahipken, ağırlıklar tam doludan %40 ve %35 daha hafiftir. Sonuç olarak 3D baskılı yapılarda serbest titreşim davranışı hakkında tasarımcı ve üretici için çok önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmanın, bilgisayar ortamında sayısal simülasyonu ile modal analizi yapılarak deneysel analiz ile karşılaştırılabilir. Bu sayede yapılacak olan malzeme tasarımlarında bilgisayar ortamındaki simülasyonu ile karşılaştırıldığında deneysel sonuçlarına ne kadar sapma ile yakın olacağı tespit edilme olanağı sağlanmış olur.

KAYNAKLAR

Al-Saedi, D. S. J., Masood, S. H., Faizan-Ur-Rab, M., Alomarah, A., & Ponnusamy, P. (2018). Mechanical properties and energy absorption capability of functionally graded F2BCC lattice fabricated by SLM, *Materials & Design*, 144, 32–44.

Anonim-1, (2016), İnternet sayfası, Kartezyen Tipi 3B Yazıcılar, Hitit3d (hitit3d.blogspot.com), ET:30.12.2016

<http://hitit3d.blogspot.com/2016/12/uc-boyutlu-yazici-tipleri>

Anonim-2, (2019), İnternet sayfası, Üç Boyutlu Yazıcı Tipleri, Hitit3d (hitit3d.blogspot.com), ET:12.10.2019

<http://hitit3d.blogspot.com/2019/10/uc-boyutlu-yazici-tipleri>

Anonim-3, (2019), İnternet sayfası, 3D Yazıcı Çeşitleri ve Şekilleri Nelerdir, Kerteriz (kerteriz.net), ET:06.06.2019

<https://kerteriz.net/3d-yazici-cesitleri-ve-sekilleri-nelerdir>

Anonim-4, (2019), İnternet sayfası, 3D Yazıcı, Robotistan (robotistan.com), ET:06.10.2019

<https://maker.robotistan.com/3d-yazici-printer>

Anonim-5, (2019), İnternet sayfası, 3D Baskı Teknolojileri, 3dedi (3dedi.com), ET:09.01.2019

<https://3dedi.com/blog/3d-baski-teknolojileri.html>

Anonim-6, (2022), İnternet sayfası, Lazer sinterleme, eritme ve diğerleri, additive (additive.blog), ET:01.07.2022

<https://www.additive.blog/knowledge-base/3d-printers/laser-sintering-melting-sls-slmdmls-dmp-ebm-shs>

Anonim-7, (2022), İnternet sayfası, LOM, mkstechgroup, (mkstechgroup.com),

ET:01.07.2022

<http://www.mkstechgroup.com/laminated-object-manufacturinglom/>

Anonim-8, (2022), İnternet sayfası, 3D Yazıcı Filament Özellikleri, ArtıBoyut (artiboyut.com), E.T: 01.07.2022,

<https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/39-3d-yazici-filament-ozellikleri>

Anonim-9, (2022), İnternet sayfası, Modal Analiz, E.T: 01.07.2022, <https://rnc.com.tr/modal-analiz>

Anonim-10, (2022), İnternet sayfası, Modal Exciter Type 4824, Brüel & Kjær, E.T: 01.07.2022, <https://www.bksv.com/en/instruments/vibration-testing-equipment/modal-exciter-4824>

Anonim-11, (2022), İnternet sayfası, Sound and Vibration Measurement, Brüel & Kjær (bksv.com), E.T: 01.07.2022, <https://www.bksv.com/en>

Anonim-12,(2022),İnternetsayfası,Ultimaker S5, 3dortgen, (3dortgen.com), ET:01.07.2022, <https://3dortgen.com/ultimaker-s5>

Binbin, L., et al., (2019), Investigation of Winglet on the Transonic Flutter Characteristics for a Wind Tunnel Test Model CHNT-1, Aerospace Science and Technology, 86,430-437.

Chen, Y., Li, T., Jia, Z., Scarpa, F., Yao, C.-W., & Wang, L. (2018). 3D printed hierarchical honeycombs with shape integrity under large compressive deformations, Materials & Design, 137, 226–234.

Demir, A., (2011), Oluklu ve trapez plakların dinamik davranışlarının teorik ve deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Demirtaş, A., Bayraktar, M., (2019), Free Vibration Analysis of An Aircraft Wing by Considering as a Cantilever Beam, Serçuk Üniversitesi Müh. Bilim ve Teknik Dergisi, 7(1), 12-21.

Ercan, N., (2019) 3B Eklemeli Üretim Yöntemiyle Üretilmiş Hücresel Kafes Yapılı Sandviç Panellerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, BTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Ewins, D.J., (1995), Modal Testing: Theory and Practice, John Wiley&Sons, New York, USA.

Gökdağ, H., (2010) Yapısal Hasar Teşhisinde Dalgacık Dönüşümüne Dayalı Bir Yöntem Geliştirilmesi, Doktora Tezi, BUÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Günay, M., Gündüz, S., Yılmaz, H., Yaşar, N., Kaçar, R., (2020), Optimization of 3D Printing Operation Parameters for Tensile Strength in PLA Based Sample, Journal of Polytechnic, 2020; 23 (1):73-79, DOI: 10.2339/politeknik.422795.

Ingrole, A., Hao, A., & Liang, R. (2017). Design and modeling of auxetic and hybrid honeycomb structures for in-plane property enhancement, Materials & Design, 117, 72–83.

Kalinsazlıoğlu, A., (2019) Uak Kanatlarındaki Titreşimlerde Kanatçık Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, YBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yozgat.

Kaur, M., Yun, T. G., Han, S. M., Thomas, E. L., & Kim, W. S. (2017). 3D printed stretching-dominated micro-trusses, *Materials & Design*, 134, 272–280.

Kaygusuz, B., Özerin, S., (2018), 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen PLA Bazlı Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 2/Cilt16, Sayı 1.

Küçükdereci, İ., (2020), Katmanlı Kompozit Plakların Nonlinear Serbest Titreşim Analizi, İksad publishing house, Ankara. ISBN: 978-625-7897-71-6.

Liang, Y., H. Louca, L., A., Hobbs, R., E., (2007), Corrugated panel under dynamic load, *International Journal of Impact Engineering*, Volume 34, Issue 7, Pages 1185-120.

Liao, G., Li, Z., Cheng, Y., Xu, D., Zhu, D., Jiang, S., & Zhu, Y. (2018). Properties of oriented carbon fiber/polyamide 12 composite parts fabricated by fused deposition modeling, *Materials & Design*, 139, 283–292.

Ozdemir, Z., Hernandez-Nava, E., Tyas, A., Warren, J. A., Fay, S. D., Goodall, R., & Askes, H. (2016). Energy absorption in lattice structures in dynamics: Experiments, *International Journal of Impact Engineering*, 89, 49– 61.

Petyt, M., (1990), *Introduction to Finite Element Vibration Analysis*. Cambridge University Pres, Cambridge, UK.

Ullah, I., Brandt, M., & Feih, S. (2016). Failure and energy absorption characteristics of advanced 3D truss core structures, *Materials & Design*, 92, 937–948.

Viglietti, A., Zappino, E., Carrera, E., (2019), Free Vibration Analysis of Variable Angle-Tow Composite Wing Structures, *Aerospace Science and Technology*, 92, 114-125.

Yazdani Sarvestani, H., Akbarzadeh, A. H., Niknam, H., & Hermenean, K. (2018), 3D printed architected polymeric sandwich panels: Energy absorption and structural performance, *Composite Structures*, 200, 886–909.

Yıldız, A., Güler, H., (2021), Ü Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Pla Esaslı Bir Plağın Serbest Titreşim Analizi: Sayısal Simülasyon Ve Deneysel Doğrulama, Tam metin bildiri, International Congress on Engineering Sciences and Multidisciplinary Approaches. E.T: 02.07.2022, <https://www.researchgate.net/profile/Ahmet-Yildiz-14>

Yildiz, A., Kopmaz, O., (2018). Experimental and computational validation of an analytical model of free vibration of a rectangular plate carrying a distributed mass. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 10 (2): 233-242.

Yıldız, A., (2017), Theoretical and experimental investigation of the dynamic behavior and control of a chain continuously variable transmission system used in vehicles, Doktora Tezi, BUÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emre İBRAM
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi, 1994
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Gürsu İMKB Anadolu Lisesi (2016)
Lisans : Kocaeli Üniversitesi - Makine Mühendisliği (2017)
Lisans : Anadolu Üniversitesi – İşletme (2018)
Y.Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi – Otomotiv Mühendisliği (2018-Devam Ediyor)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :Hexagon Metrology – Uygulama ve Servis Mühendisi (04.2021-Halen)
: Şemlastik- Satınalma ve Planlama Mühendisi (10.2020-04.2021)
:Jandarma Sahil Güvenlik Akademisi- Asteğmen Makine Mühendisi (07.2019-07.2020)

İletişim (e-posta) : emre.ibram@gmail.com

Cep Telefonu : +90 539 524 94 39