

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLMİŞ TPU
MALZEMELERİN TİTREŞİM VE DARBE
SÖNÜMLEME AMACIYLA HAFİF ATIŞ
PLATFORMLARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Mert ÖZCAN

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Lokman YÜNLÜ

BURDUR, 2024

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca **Yüksek lisans** Tezi olarak sunduğum “**Eklemeli İmalat ile Üretilmiş TPU Malzemelerinin Titreşim ve Darbe Sönümleme Amacıyla Hafif Atış Platformlarında Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

18/02/2024

Mert ÖZCAN

ÖNSÖZ

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam **Dr Öğr. Üyesi Lokman YÜNLÜ**'ye teşekkürlerimi sunarım. Deneylerimi yapmam için Poligonunu kullanmamıza izin veren Antalya Polis Özel Harekat Daire Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Atış platformunu kullanmama ve hazırlamama yardım eden Savhatek Savunma Sanayi teknik müdürü İbrahim YILDIRIM'a teşekkür ederim

Deney düzeneği hazırlanması sırasında bana yardım eden Canberk ÖRENBOZ ve Mehmet MANSUROĞLU arkadaşlarıma teşekkür ederim

0839-YL-22 no'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Şubat, 2024

Mert ÖZCAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	9
2. GENEL BİLGİLER.....	11
2.1. TPU(Termoplastik Poliüretan).....	11
2.2. Eklemeli İmalat.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. Materyal	28
3.2. Sistem ve Cihazlar	28
3.2.1. 3 Boyutlu Yazıcı	28
3.2.2. Sensörler ve Elektronik.....	30
3.2.3. Atış Platformu.....	33
3.3. Yöntem.....	34
3.3.1. Parçaların Hazırlanması	34
3.3.2. Platform Üzerine Baskı Malzemelerinin Yerleştirilmesi.....	36
3.3.3. Deney Düzeneginin Hazırlanması.....	38
3.3.4. Deney Parametre Şeması.....	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Atış Testleri Sonuçları	40
4.2. Atış Test Sonuçlarının Grafikselsel Gösterimi.....	43
4.2.1. Kontrol Titreşim ve Kuvvet Verilerinin İç Yapılara Göre Karşılaştırılması	43
4.2.2. Ped Titreşim ve Kuvvet Verilerinin İç Yapılara Göre Karşılaştırılması.....	44
4.2.3. Flanş Titreşim ve Kuvvet Verilerinin İç Yapılara Göre Karşılaştırılması	46
4.2.4. Ped ve Flanş Titreşim ve Kuvvet Verilerinin İç Yapılara Göre Karşılaştırılması	48
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Shore A/D sertlik test cihazı	12
Şekil 2.2. TPU malzemenin diğer polimerler ile sertlik grafiği.....	12
Şekil 2.3. Tpu Kimyasal dizilim	13
Şekil 2.4. Eklemeli imalat türleri.	14
Şekil 2.5. Eklemeli imalat türleri	15
Şekil 2.6. FDM tipi yazıcıların çalışma prensibi.	15
Şekil 2.7. SLA tipi 3 boyutlu yazıcının çalışma prensibi.	16
Şekil 2.8. SLS tipi yazıcının şematik görünümü	17
Şekil 2.9. Bir eklemeli imalat sırasında izlenen yol haritası.....	19
Şekil 2.10. Grid iç yapı	20
Şekil 2.11. Farklı t oranlarına sahip gyroid hücrelerinin gösterimi	20
Şekil 2.12. Grid, Gyroid ve bal peteği iç yapı	21
Şekil 2.13. Örnek atış platformu	22
Şekil 3.1. Çalışmada izlenen yolun sistematik akış şeması	27
Şekil 3.2. Baskı alınan 3 boyutlu yazıcı.....	29
Şekil 3.3. Direct drive ile klasik tip FDM tipi yazıcının şematik gösterimi	29
Şekil 3.4. Deneyde kullanılan titreşim sensörü.....	30
Şekil 3.5. Deneyde kullanılan kuvvet sensörü	30
Şekil 3.6. Deneyde kullanılan mikro işlemci	31
Şekil 3.7. Deney ölçüm sistemi elektronik yapı	31
Şekil 3.8. Kuvvet ölçüm kodları	32
Şekil 3.9. Titreşim ölçüm kodları	32
Şekil 3.10. Alperen gözcü atış platformu.....	33
Şekil 3.11. Deneyler sırasında kullanılan silah.....	34
Şekil 3.12. Ped model	34
Şekil 3.13 Flanş model.....	35
Şekil 3.14. Gyroid iç yapıdaki numune	35
Şekil 3.15. Grid iç yapıdaki numune	35
Şekil 3.16. Ped numunesinin gösterimi a, flanş numunesinin gösterimi b.	36
Şekil 3.17 Platform üzerine numune yerler	37

Şekil 3.18. Ped numune yerleşimi a, flanş numune yerleşimi b.	37
Şekil 3.19 Atış test düzeneğinin şematik görünümü.....	38
Şekil 4.1. Kuvvet ölçüm sisteminin şematik görünümü	40
Şekil 4.2. Titreşim ve ivmelenme değerlerinin ölçüm sisteminin şematik görünümü....	41
Şekil 4.3. Kontrol titreşim verisinin grafiksel gösterimi.....	43
Şekil 4.4. Kontrol kuvvet verisinin grafiksel gösterimi	44
Şekil 4.5. Ped X ekseninde titreşim verisinin grafiksel gösterimi	45
Şekil 4.6. Ped Z eksen kuvvet verilerinin grafiksel gösterimi	46
Şekil 4.7. Flanş X eksen titreşim verilerinin grafiksel gösterimi	47
Şekil 4.8. Flanş Z eksen kuvvet verilerinin grafiksel gösterimi	47
Şekil 4.9. Ped ve Flanş X eksen titreşim verilerinin grafiksel gösterimi.....	48
Şekil 4.10. Ped ve Flanş Z eksen kuvvet verilerinin grafiksel gösterimi.....	49
Şekil 4.11. Ped ve Flanş Z eksen kuvvet verilerinin grafiksel gösterimi.....	50
Şekil 4.12. Titreşim sönümlenme süresinin grafiksel gösterimi.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Deney parametreleri tablosu	39
Çizelge 4.1. Deney sonuçları tablosu.....	42



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CAD	: Bilgisayar destekli tasarım
EBM	: Electron beam melting
FBE	: Fen Bilimleri Enstitüsü
FDM	: Katı eriyik biriktirme
MAKÜ	: Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
MS	: Milisaniye
N	: Newton
SLA	: Stereolithography
SLE	: Seçici lazer eritme
SLS	: Seçici lazer sinterleme
TDK	: Türk Dil Kurumu
TPU	: Termoplastikpoliüretan
UV	: Ultraviole

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Eklemeli İmalat ile Üretilmiş TPU Malzemelerinin Titreşim ve Darbe Sönümleme Amacıyla Hafif Atış Platformlarında Kullanılabilirliğinin DeneySEL Araştırılması

Mert ÖZCAN

**Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi LokmanYÜNLÜ

Şubat, 2024

Bu tez çalışmasında, Eklemeli imalat ile üretilen Termoplastik poliüretan (TPU) malzemenin grid ve gyroid gibi farklı iç yapıları kullanılarak üretilen parçaların hafif tip atış platformlarında kullanılması sonucu darbe ve titreşim değerlerindeki değişim gözlemlenmiştir. Yüzde 40 doluluk oranına sahip grid ve gyroid iç yapılarında olan numunelerden silah sisteminde bağlanacak ped ve flanş olarak dört ayrı numune üzerinden sekiz adet deney planlanmıştır. Bu deneyler sonucunda atış platformu üzerinden sensörler yardımıyla titreşim ve kuvvet verileri alınmıştır. Alınan titreşim ve kuvvet değerleri kullanım yerleri ve iç yapı gibi parametreler kıyaslanarak grafiksel olarak incelenmiştir. Deney sonuçları TPU malzemenin atışlar sonrasında, kullanım yeri ve iç yapıya bağlı olarak darbe ve titreşim değerlerinde olumlu yönde değişikliğe sebep olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: tpu, eklemeli imalat, atış platformu, darbe ve titreşim sönümleme

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0839-YL-22 no'lu proje numarası ile desteklenmiştir.

ABSTRACT

M.sc Thesis

**Experimental Investigation of the Use of Additively Manufactured TPU Materials
for Vibration and Impact Damping Purposes in Light Firearm Platforms**

Mert ÖZCAN

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering department**

Supervisor: Asst.Prof.Dr. Lokman YÜNLÜ

Feburary, 2024

In this thesis study, the changes in impact and vibration values were observed as a result of using parts produced with different internal structures such as grid and gyroid, made through Additive Manufacturing with Thermoplastic Polyurethane (TPU) material, in lightweight firing platforms. Samples with 40% infill rates for grid and gyroid internal structures were used to create four separate specimens, from which eight experiments were planned to be attached as pads and flanges in the weapon system. Following these experiments, vibration and force data were collected from the firing platform with the help of sensors. The obtained vibration and force values were graphically analyzed by comparing parameters such as usage locations and internal structures. The experimental results indicated that the TPU material, depending on the usage location and internal structure, positively influenced the impact and vibration values after firing.

Keywords: tpu, additive manufacturing, shooting platform, shock damping, vibration

The present M.Sc./Ph.D. Thesis was supported by Burdur Mehmet Akif Ersoy University Scientific Research Projects Coordination Office under the Project number of 0839-YL-22

1. GİRİŞ

Üç boyutlu yazıcı teknolojileri endüstriden savunma sanayine, sağlıktan gıda alanına kadar birçok alanda kendine yer edinmiş durumdadır. Metaller ve kompozitleri, seramikler, çikolata, hamur, sert ve esnek plastikler üç boyutlu yazıcı teknolojisinde en çok kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeleri de basmak için farklı tip ve metotlarda 3 boyutlu yazıcı teknolojileri kullanılmaktadır. FDM(Fused Deposition Modelling) , SLA(Stereolithography), SLM(Selective Laser Melting) gibi farklı üretim teknolojileri kullanılmaktadır. DM katı eriyik biriktirme yoluyla katman katman üretim sağlayan bir yöntem olup en sık kullanılan yöntemlerdendir. Bir Filamentin ısıtılarak üst üste yığılması ile modeli oluşturmaktadır. Sık kullanılan metal ve sert plastiklerin aksine farklı tip esnek malzemelerde gelişen teknolojiler ile kullanım yeri bulmaktadır.

Sektörde uzun süredir kullanılan esnek malzemelerin 3B yazıcı uygulamalarında kullanılması her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, piyasada farklı tipte esnek filamentler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; TPU (thermoplastic polyurethane), TPE (thermoplastic elastomer), TPC (thermoplastic co-polyester), SOFT, FLEXİBLE PLA, EMORPH, PCL (polycaprolactone) dir (Evlen, 2019). TPU, lastik hissi veren ve bu özelliklere sahip esnek bir filamenttir. TPU malzeme, termoplastik poliüretan olarak bilinen bir elastomerdir. Yüksek elastikiyet, aşınma direnci, darbe dayanımı ve biyouyumluluk gibi üstün özelliklere sahiptir. Otomotiv, giyim, elektrik-elektronik, tıp, inşaat, makine gibi pek çok sektörde kullanılmaktadır. TPU malzemenin yanmaya ve yüksek sıcaklığa karşı direnci düşüktür, bu yüzden alev geciktirici katkı maddeleri ilave edilebilir. Ancak bu katkı maddelerinin mekanik özellikleri de etkilediği bilinmektedir. TPU'nun katı eriyik biriktirme teknolojisinde sağlam, ekonomik ve kullanışlı olması en önemli tercih nedenidir. En büyük avantajı üretim parametrelerinde değişiklik yaparak çok farklı sertlik, yoğunluk ve elastikiyete sahip ürünler elde edilebilmesidir. TPU'nun aşınma direnci yüksektir. Çekme/kopma mukavemeti, yağ dayanımı düşük, ısı dayanımı yüksektir. Yüksek mekanik özellikler barındırır. Geniş sıcaklık aralığında elastikiyete ve düşük elektriksel iletkenliğe sahiptir. Ayrıca TPU'lar geri dönüşümlüdürler, toksik madde içermediklerinden dolayı üretim, uygulama ve kullanım esnasında insan sağlığına zarar vermezler, çevreyi kirletmezler. TPU baskı sonrasında daralma oranı daha hassas bir filamenttir. Bu sebeple hassas ölçüm gerektiren baskılarda daha çok tercih edilir. Ayakkabı tabanı, esnek refüj dubaları, hayvan küpeleri, terlik, boru, kablo, elektrik

malzemeleri, cep telefonu kılıfı, kemer, kapı durdurucuları, yaylar gibi ürünlerle birlikte esneklik ve yüksek aşınma dayanımı gerektiren tüm parçaların imalatında kullanılabilir. Savunma sanayii teknolojileri son yıllarda çok önemli gelişme göstermiştir. Özellikle ülkemizde bu ilerleme ve yarışta büyük bir atak yapılmış ve savunma sanayi konusunda hem elektronik hem de mekanik teknolojiler konusunda ciddi mesafeler alınmıştır. Hızla küreselleşen dünyada ülkeler savunma sanayi konusunda yapılan araştırmalara ciddi kaynaklar ayırmakta, özellikle konvansiyonel silahların elektromekanik sistemlere entegrasi üzerinde ciddi araştırmalar yapılmaktadır. Bu doğrultuda askerlerin güvenliği ve savunma ihtiyaçları doğrultusunda uzaktan kontrollü atış platformları geliştirilmeye başlanmıştır. Hafif atış platformlarındaki en önemli husus sistemin atış sonrası stabil kalması ve alınan görüntüde titreşimin engellenmesidir. Hafif atış platformları taşınabilir ve düşük ağırlıkta oldukları için diğer ağır muadillerine göre atış sonrası oluşan titreşim büyük sorun teşkil etmektedir.

Atış platformlarında oluşan darbe ve titreşim sönümlenmesi büyük önem arz etmektedir. Titreşim ve darbe sönümlenmeler için kauçuk, hidrolik, pnömatik ve plastik farklı sistemler kullanılmaktadır. TPU lastik hissine sahip olması ve 3 boyutlu teknolojisinin sağladığı üretim avantajları sayesinde farklı mekanik özelliklere sahip malzemeler üretilmektedir.

Bu çalışmada TPU malzemenin bu özellikleri ile 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin sağladığı farklı doluluk oranları ile elde edilecek farklı mekanik özellikler sayesinde hafif atış platformlarının eksen birleşim noktalarında darbe ve titreşim emici takozlar kullanılacak böylelikle titreşim ve darbe sönümlenme miktarının doluluk oranlarına göre etkisi gözlemlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. TPU(Termoplastik Poliüretan)

İlk endüstriyel termoplastik poliüretanlar (TPU'lar), 1950'lerde Almanya'da Bayer-Fabrenfabriken üretilmiştir, TPU'ları kauçuk ile plastik malzemeler arasında tanımladılar, çünkü TPU'lar kauçuğun benzer mekanik özelliklerini gösterirken hem de termoplastik olarak işlenebilirler. Bu TPU'ları diğer elastomerler ve polimerlerden ayıran, yüksek elastik ve yüksek aşınma dirençleri sağlamıştır. Contalar, kayak botları, ayakkabılar, hortumlar gibi çeşitli kullanım alanlarına sebep olmuştur (Qui vd., 2004).

Termoplastik malzemelerde 3 farklı malzemenin bileşimi olarak karşımıza polimer bir malzeme çıkmaktadır. Bu oluşturulan polimerler polilo, uzun zincirli diol ve uzatıcı veya kısa zincirli diol ve bir adet diizosiyanat bileşikten oluşan bir polimer zincirdir (Hunstman, 2010).

TPU, üç temel yapının belirli bir sıra ve şekilde bir araya getirildiğinde oluşturulan çok fazlı bir blok kopolimerdir. TPU üretmek için gereken bileşenler şunlardır:

- Bir uzun zincirli diol veya poliol
- kısa zincirli diol veya Zincir uzatıcı
- Bir diizosiyanat

TPU'nun mekanik özellikleri çeşitli farklı şekillerde değerlendirilebilmektedir. Aşağıdaki paragraflarda, bir TPU'nun malzeme parametrelerini ölçmek ve fiziksel mukavemet değerlerini bilerek buna bağlı olarak uzun ömürlülük açısından nasıl bir performans sağlaması için standart değerlendirmelerden bazıları verilmiştir (Huntsman, 2010).

Literatürde TPU malzeme özelliklerinin tayini için birçok farklı ifade kullanılmıştır. Bunlardan ön önemlileri malzemenin sertliği, gerilme direnci, elastisite ve yorulma dayanımıdır.

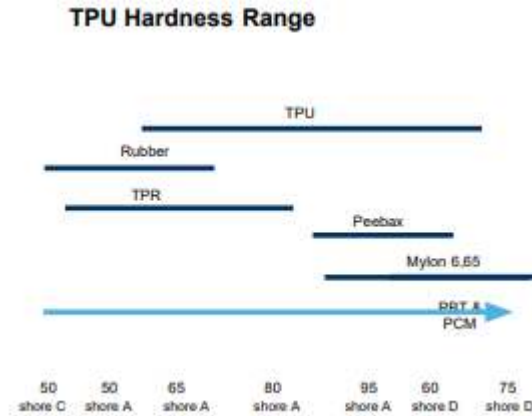
Shore sertliği, Shore (Şor) ifadesi plastik gibi esnekliğe sahip olan malzemelerin sertliklerinin bir tanımıdır. Polimer, elastomer ve kauçuk malzemelerinin sertliklerinin belirlenmesinde Shore değerlerinden yararlanılır (<https://www.teknikurunler.com>).

Shore sertliği, TPU'nun bir kuvvet altında girintiyeye veya penetrasyona karşı direncini test etmek için kullanılan ampirik bir ölçümdür. Sekil 2.1'de shore sertlik ölçüm cihazı gösterilmektedir. Değerleme yapılan TPU türünü sınıflamak için iki harf kullanılır: 'A' esnek bir TPU türünü belirtirken 'D' daha sert çeşitleri ifade eder. Bu değerler 0 ile

100 arasında ölçeklendirilmiştir. Buna göre 0 değeri çok yumuşak olduğunu ifade ederken 100 değeri ise en sert malzeme olarak tanımlanır (Huntsman, 2010).



Şekil 2.1. Shore A/D sertlik test cihazı



Şekil 2.2. TPU malzemenin diğer polimerler ile sertlik grafiği (Huntsman, 2010)

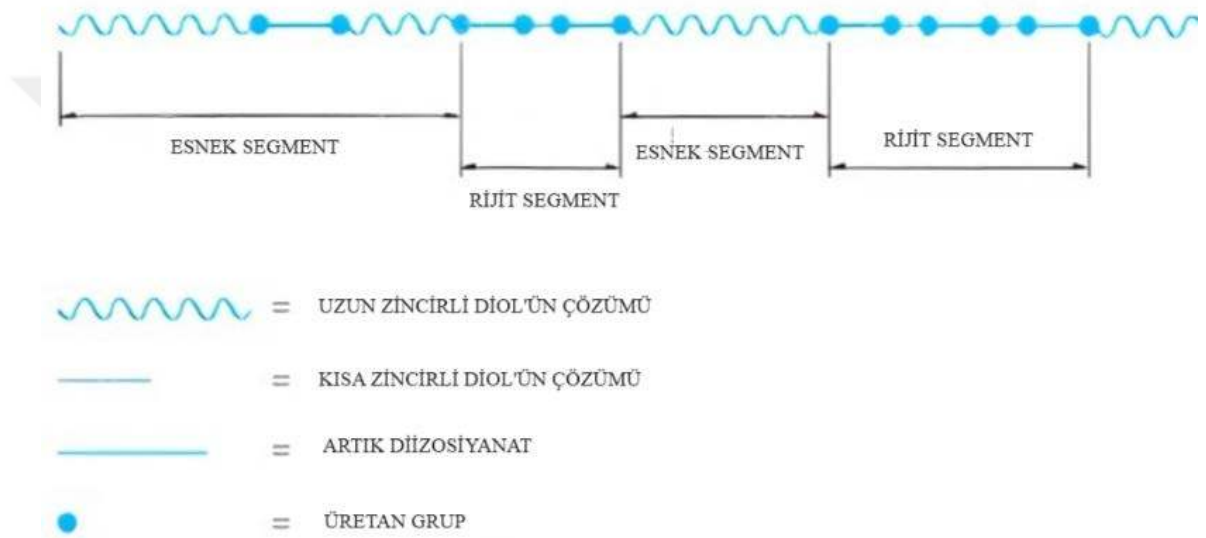
Şekil 2.2’de de görülmektedir ki TPU malzeme kauçuk dahil diğer polimerlerden yüksek shore değerlerine çıkmaktadır. Daha geniş bir skalada sertlik değerlerine sahip olduğu da grafik üzerinde görülmektedir.

Gerilme direnci yani çekme mukavemeti, TPU özelliklerinin ve bir numune kesitinin belli bir süre tek eksenli yük altında konumlandırılarak göstereceği

davranışlarının göstergesidir. Başka bir söylemle, herhangi bir yük meydana gelmeye başladıktan sonra dayanacağı gerginlik (Huntsman, 2010).

Mekanik: TPU'lar yüksek gerilme ve uzama mukavemetine sahiptir. Ayrıca, iyi tokluk ve yüksek aşınma ve yırtılma direncine sahiptirler.

Termoplastiklik: TPU'ların termal özellikleri bulunduğu poliüretan kümesinde oldukça yüksektir. TPU'ları şekillendirmek için sıcaklık ve basınç özelliklerini kombinasyonunu yapmak gerekmektedir. TPU'ların üretilmesi için hem termoplastik özellikleri korumak hem de yüksek tokluk ve aşınma direncinin korunmasını sağlamak gerekmektedir (Öztürk, 2020).



Şekil 2.3. Tpu Kimyasal dizilim

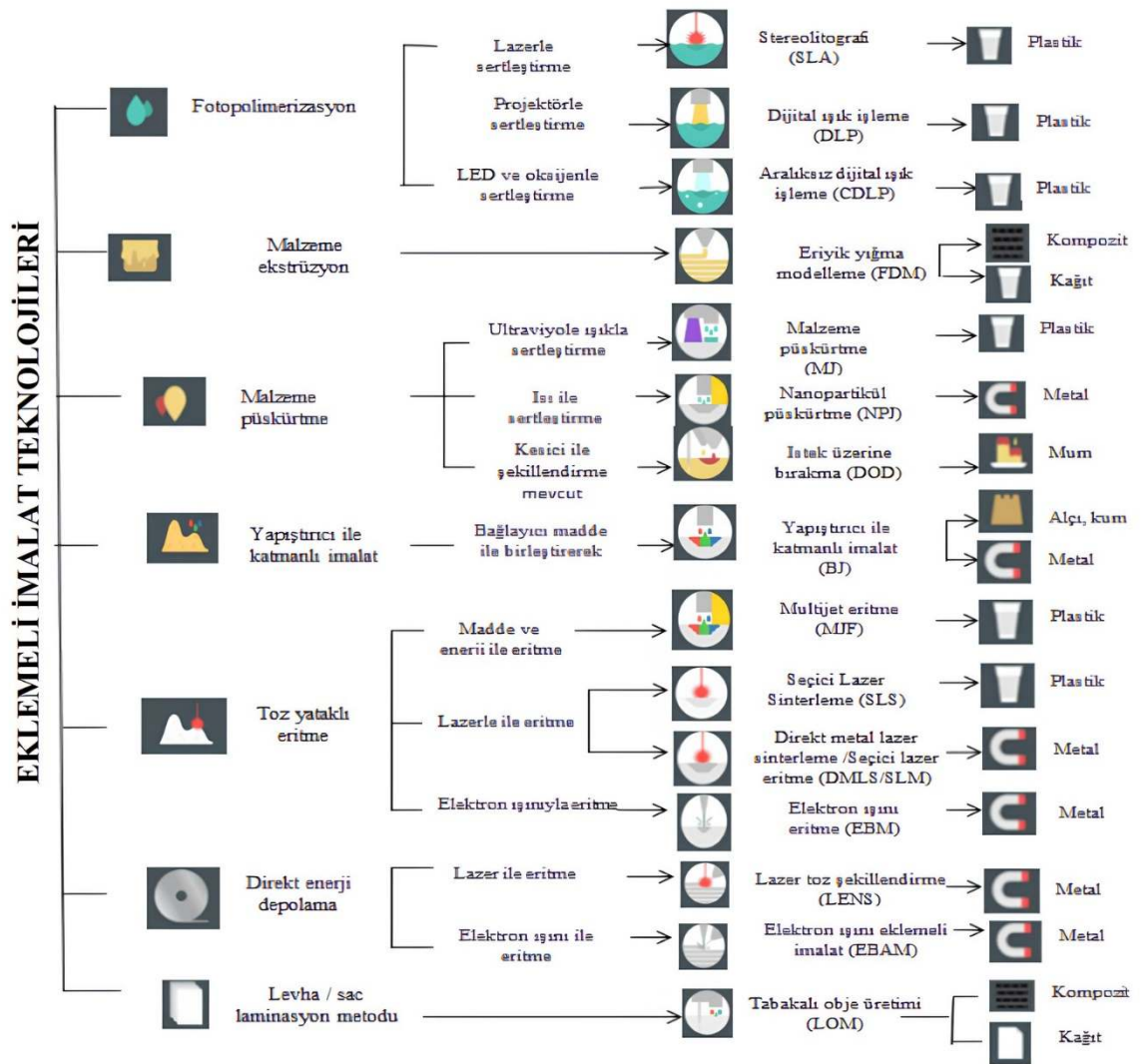
Şekil 2.3 de görüldüğü üzere TPU lineer polimerik zincirleri blok kopolimer yapıdadır. Esnek segmentlerin aralarında rijit segmentler bulunarak üst üste devam ederler formülasyonda farklılıklar yapılarak farklı özellikte TPU elde edilebilir (kimpur.com).

2.2. Eklemeli İmalat

Eklemeli imalat ürünlerin katman katman üstü üste konularak oluşturulması yöntemine denir. Eklemeli imalat üretim teknolojilerinde çığır açmıştır. Konvansiyonel üretime kıyasla kompleks parçaların üretimini ve tamiratını kolaylaştırmıştır. Gaz türbinleri gibi kompleks parçaların üretiminde plastik malzemeler gibi yerlerde kolaylıkla kullanılabilir (Özsolak, 2019).

Eklemleri imalat yöntemleri

Farklı tiplerde eklemeli imalat teknolojileri farklı yöntemler sunabilmektedir. Amerikan Malzeme Testleri Derneği (ASTM) yedi ana kategoride eklemeli imalat yöntemi belirlemiştir. Bunlar, fotopolimerizasyon (photopolimerization), malzeme püskürtme (material jetting), bağlayıcı püskürtme (binder jetting), malzeme ekstrüzyon (material extrusion), toz yataklı eritme (powder bed fusion), levhalı sac yöntemi (sheet lamination process) ve direkt enerji depolama (directed energy deposition) olarak belirlenmiştir. Şekil 2.4 ASTM F42'ye göre eklemeli imalat türleri gözükmektedir.



Şekil 2.4. Eklemeli imalat türleri (Yalçın vd., 2017).

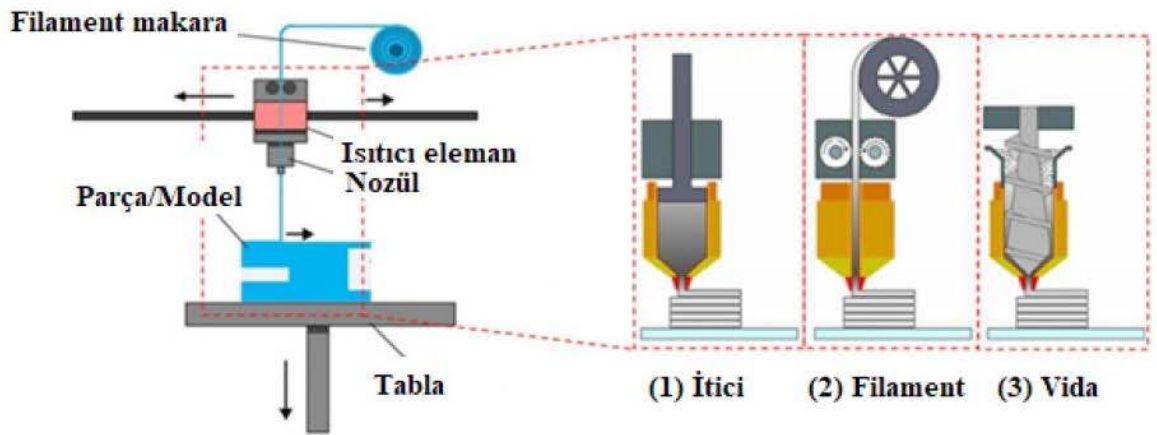
Katı Eriyik Biriktirme Yöntemi: Yani Fused Deposition Modelling (FDM) malzeme olarak termoplastik filamentler kullanan 3D yazıcılarıdır. FDM 3D yazıcıların çalışma prensibinde termoplastik filament, plastiğin baskı kafası tarafından tam olarak

yerleştirilebilecek kadar yumuşadığı sıcak bir ekstrüderden beslenir. Erimiş filament daha sonra iş parçasını oluşturmak için baskı alanında katman, katman biriktirilir.



Şekil 2.5. Eklemeli imalat türleri

Şekil 2.5 de FDM tipi bir 3 boyutlu yazıcı gözükmemektedir. Makaraya sarılı olan plastik filament bir extruder yardımıyla sıcak olan bozul parçasına gönderilerek kartezyen eksen motorları yardımıyla katman, katman parçayı oluşturur.



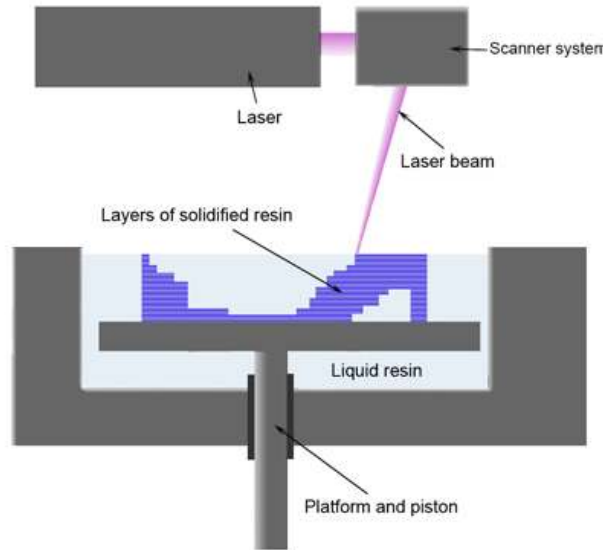
Şekil 2.6. FDM tipi yazıcıların çalışma prensibi (Zeren vd., 2023).

Şekil 2.6’da FDM tipi bir yazıcının çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir. Bu şematikte de görüldüğü üzere filament makarasından malzeme bir itici(extruder) vasıtasıyla ısıtıcı nozul elemanına gider. 3 eksenle hareket eden tabla üzerinde iş parçası oluşturulur.

FDM metodu ile 0,04 mm katman kalınlığına kadar ürünlerin üretimi mümkündür. İmal edilen parçalarda düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmektedir. Bazı ek işlemler;

zımparalama, astarlama, boyama ve epoksi gibi işlemler uygulanarak yüzey pürüzlülüğü azaltılabilmektedir (Zeren vd., 2023).

Stereolitografi: Stereolitografi (SLA) Charles W. Hull 1986 yılında şöyle tanımlamıştır: “Ultraviyole (UV) ışınla sertleşen bir materyalin birbiri üzerine ince tabakalar halinde yığılmasıyla katı objelerin yapılması metodudur “SLA ile imalat reaktif reçineyi UV ışınları ile katman, katman katılaştırılması ile olur (Van noort, 2011). SLA metodunda içerisinde reçine dolu olan kazanda 2 eksen hareket edebilen bir tabla vardır. Tablanın hemen üstünde polimerize edilecek olan reçine yer alır. Bilgisayar kontrollü lazer Şekil 2.7’deki gibi sıvı reçineyi polimerize ettikten sonra belirlenen katman kalınlığı kadar aşağı inerek yeni katmanlar oluşturur (Çelik vd., 2013). UV lazer taraması sonucunda katmanın polimerize olması 1-2 dakika sürer (Van noort, 2011). Model bitene kadar bu işlemler sürer. İşlem bittikten sonra artık malzemelerin temizlenmesi ardından model fırına konur (Çelik vd., 2013). Bir model ortalama 6 -12 saat sürer, daha hacimli modellerin üretimi ise birkaç gün sürebilir (Van noort, 2011).

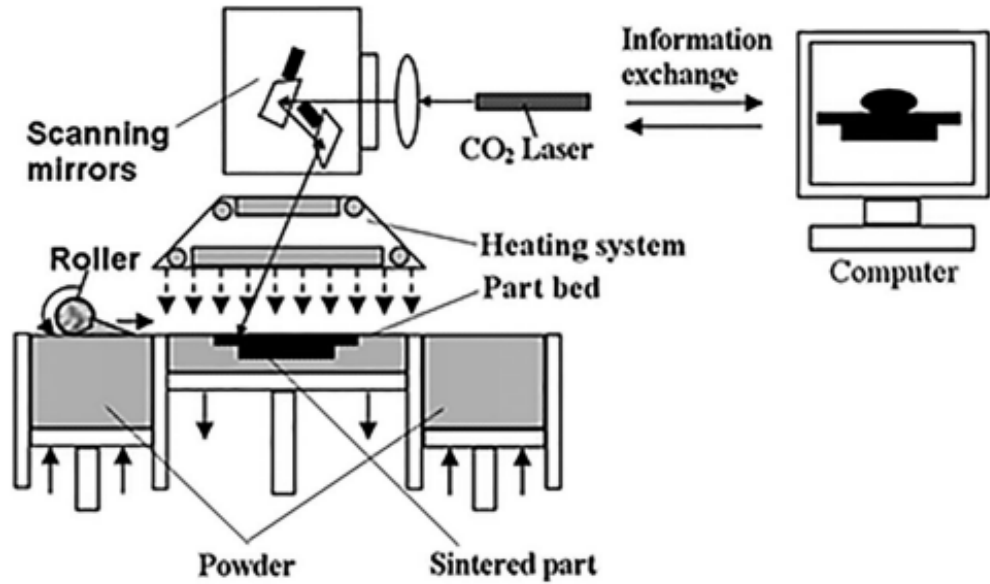


Şekil 2.7. SLA tipi 3 boyutlu yazıcının çalışma prensibi (designerdata.nl).

Lazer Tozu Şekillendirme: Seçici lazer eritme (SLE) ve seçici lazer sinterleme (SLS) gibi lazer temelli imalat yöntemlerinde katı nesne oluşturmak için üretim malzemesi olarak kullanılan toz şeklindeki malzemeye lazerin aynalar yardımıyla yönlendirilmesi esastır (Van noort, 2011). Şekil 2.8’de de görünen lazer ışınının malzeme yüzeyine yaptığı temas ile oluşan ısı, tozu belirlenen biçimde şekle getirir ve CAD modellerinden 3 boyutlu parçalar oluşturur. Sistemde bulunan toz malzemenin hemen

altında hareketli bir tabla. Tarayıcı sistem vasıtasıyla belirlenen bölge lazer ışınları ile tarandıktan sonra, ilk katman oluşturulur ve yeni katmanların oluşması için platform, katman kalınlığı kadar aşağı iner. İşlem bitene kadar katı model bitene kadar işlem tekrarlanır.

Bu Sinterleme işleminin bitmesi ardından sistemin soğuması için bir süre beklenir. Son olarak üretilen parça üzerindeki tozdan fırça ve süpürge yardımıyla arındırılır. Bu tip yazıcılarda kullanılan toz aynı zaman destek görevi gördüğü için ek bir malzeme ihtiyacı gerekmemektedir (Çelik vd., 2013). Lazer sinterleme ile oldukça hassas ve üretimi zor, detaylı yapılar. Detay zorluğu lazerin hassasiyeti ve tozun inceliği ile ilgilidir. Lazer tozu şekillendirme ile metal, plastik ve seramik objeler üretilebilir (MB Hoy, 2013).



Şekil 2.8. SLS tipi yazıcının şematik görünümü (Chen vd., 2017)

İmalat sırasında kullanılacak malzeme polimer veya seramik ise SLE tipi eğer metal ise SLS tipi yazıcı kullanılmalıdır (Van noort, 2011). İmalat sonrası üretilen parçalarda ek bir sertleştirme işlemine gerek yoktur (Çelik vd., 2013).

Dijital Işık İşleme: yöntemi SLA tipi 3 boyutlu yazıcılar ile benzer yapıda üretim süreci vardır. SLA'ya benzer şekilde yüksek çözünürlükte parçalar üretilebilir. Kullanılan malzemeler aynı olmasıyla beraber SLA' da lazer ışını ile üretim yapılırken, dijital ışık işlemeli yazıcılarda görünür ışık kullanılarak üretim yapılmaktadır (Yavuz vd. 2020). Bu yöntemde işlemleri hızlandırmak için SLA'da kullanılan reçine kabına göre daha sığ bir kap kullanılır. Bunun sonucunda SLA'ya göre daha az atık malzeme oluşmaktadır (Jasveer vd., 2018).

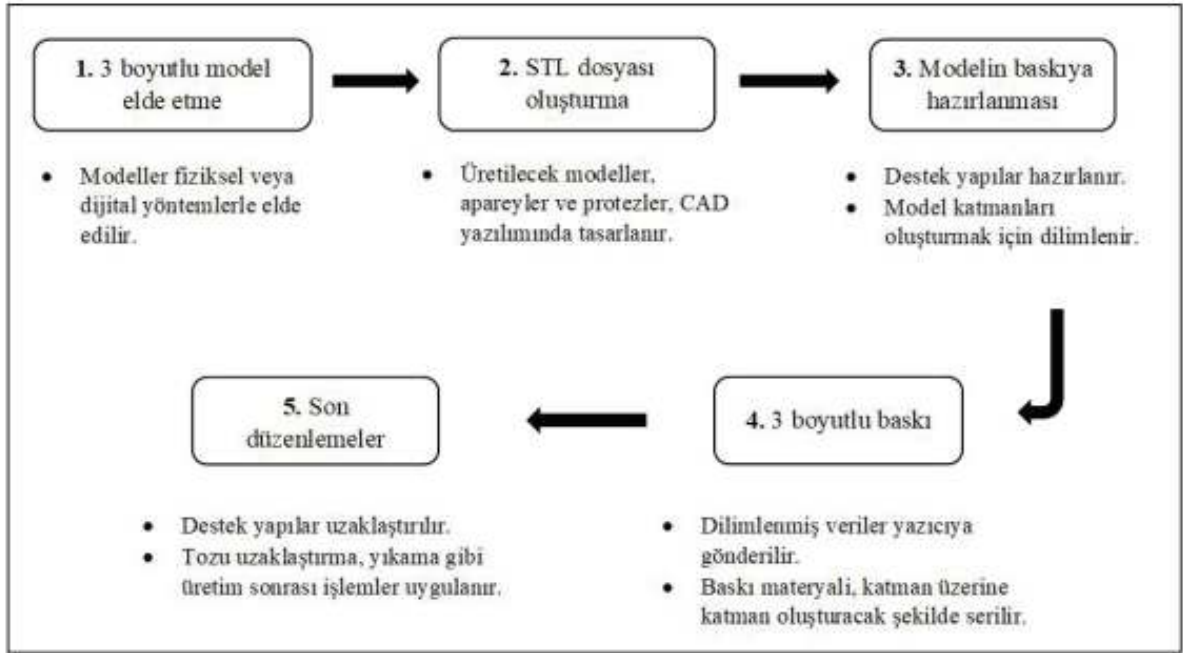
Elektron ışınlı eritme (EBM): Metal malzemeli parçaların imalatında kullanılan eklemeli imalat teknolojilerindendir. Bu yöntemde elektron demeti; yüksek vakuma maruz bırakılan metal tozunu katman katman eritir ve iç yapısı yoğun olan bir bileşen oluşturur. Elektronların akımı, volfram filamentinin sıcaklığının artırılması yardımıyla oluşturulur ve ardından elektron demeti manyetik alan yardımıyla yönlendirilir. Cad modelden tanımlanan şekle göre her katman eritilir. Diğer metal sinterleme yöntemlerine kıyasla parçalar tam yoğun, boşluksuz ve son derece mukavemeti yüksek yapıda olurlar. Malzemenin daha yoğun yapıya sahip olması onun daha mukavemetli yapıda olmasına yanı sıra malzemenin diğer eklemeli imalat yöntemleri ile kıyaslandığında daha ağır yapıya sahip olmasına sebep olmaktadır (Van noort, 2011).

Malzeme püskürtme ile eklemeli üretim yöntemi: İnkjet 3 boyutlu yazıcı adıyla da bilinmektedir. (Ling vd., 2017). Bu yöntemde Cad modelleri, klasik mürekkep püskürtmeli yazıcılardaki yonteme benzer bir yöntemle üretilmektedir (Yalçın vd., 2017). Üretim tekniği, piezoelektrik başlık, sıvı halinde bulunan fotopolimer parçacıkları püskürtür ve UV lambalar kullanılarak fotopolimer malzemeyi anında sertleştirir (Ling vd., 2017). Piezoelektrik başlık eksen hareketlerine sahip bir platform üzerinde bulunmaktadır. İlk katmanın tamamlanmasının ardından platforma aşağı inerek diğer katmanların yapımına başlar. Bu işlem Cad modelin aynısı olana kadar tekrarlanır (Yalçın vd., 2017). İnkjet tipi yazıcılarda aynı anda birden farklı parçalar üretilebilir ve destek yapısını kendi oluşturabilir (Ling vd., 2017).

Yapıştırıcı ile Katmanlı İmalat (Binder jetting, powder binder): Bu yöntemde toz materyal ve tozu birleştirmek için yapıştırıcı kullanılır (George vd., 2017). Silindir ile serilen toz materyal üzerine mürekkepli yazıcılar benzeri hareketli bir başlık ile yapıştırıcı uygulanır. Platform katman oluşukça aşağı iner ve obje oluşana kadar bu döngü devam eder (Yalçın vd., 2017). Destek yapıya ihtiyaç yoktur. Bağlayıcıya çeşitli renkler eklenebilir (George vd., 2017).

Farklı tip üretim yöntemleri olsa da eklemeli imalat işlemleri benzerlik göstermektedir. Şekil 2.9'da bir eklemeli imalat sırasında izlenen yol haritası göstermektedir. Bir 3 boyutlu model, fiziksel veya dijital yöntemlerle elde edilir ve CAD yazılımında tasarlanan modeller, aparatlar ve prototipler STL dosyası formatında kaydedilir. Modelin baskıya hazırlanması aşamasında destek yapıları hazırlanır ve model katmanlara ayrılır. Dilimlenmiş veriler 3D yazıcıya gönderilir ve katman üstüne katman şeklinde malzeme eklenerek nesne oluşturulur. Baskı tamamlandıktan sonra destek

yapıları kaldırılır ve temizleme, yıkama gibi son işlemler gerçekleştirilir. Bu süreç, 3 boyutlu baskının temel adımlarını ve gerekli işlemleri kapsar.



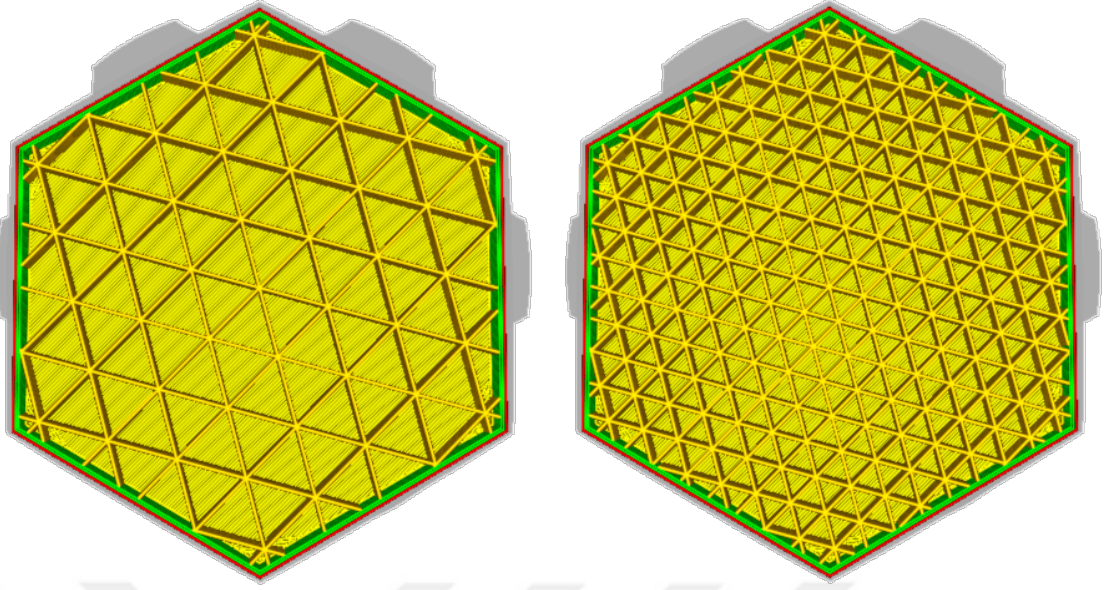
Şekil 2.9. Bir eklemeli imalat sırasında izlenen yol haritası (Yavuz vd., 2020)

2.3.Eklemeli İmalatta İç Yapı

Eklemeli imalat yapısı gereği iç yapıda boşluklar ile basılmasına imkan tanır. Bu boşluk yapıları kare, üçgen, bal peteği gibi birçok farklı tip yapılar olabilmektedir. Bu yapılar farklı mekanik özellikleri sağlamaktadır. Bu çalışmada grid yani kare iç yapı ve gyroid iç yapı kullanılmıştır.

2.3.1.Grid Yapı

3 boyutlu baskılarda grid iç yapı, bir 3D modelin katmanlara ayrılarak bir 3D yazıcı tarafından üretilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Grid iç yapı, modelin iç kısmını belirli bir desenle doldurarak hem malzeme tasarrufu sağlar hem de modelin dayanıklılığını artırır. Grid iç yapı, 3D yazıcıların kullandığı dilimleme yazılımları (slicer) ile ayarlanabilir. Dilimleme yazılımları, grid iç yapının kalınlığını, yoğunluğunu, desenini, hızını ve sıcaklığını belirlemeye olanak tanır. Grid iç yapının farklı parametreleri, 3D baskının kalitesini, süresini, maliyetini ve performansını etkiler. Grid üretimi yavaş ama sağlam bir iç yapıdır. Şekil 2.10’da grid iç yapı görülmektedir.



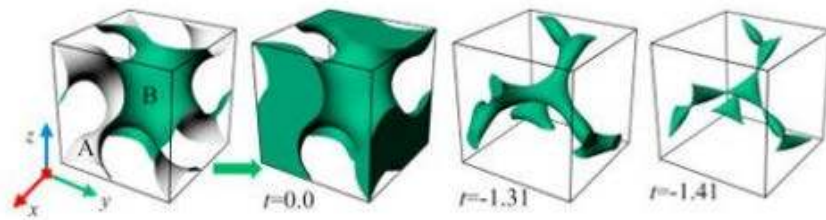
Şekil 2.10. Grid iç yapı

2.3.2. Gyroid Yapı

Gyroid açık hücreli bir köpüğün topolojisini sunar. İlk kez 1970 yılında Alan Schoen tarafından tanımlanmıştır ve üçlü periyodik minimal yüzeyler (TPMS) sınıfına aittir. Gyroid üç ana yönde periyodiktir ve ortalama eğriliği sıfırdır. Örtük fonksiyon Denklem 1'de gösterilmektedir. Burada a , gyroid birim hücresinin boyutuna ilişkin bir parametredir ve t , gyroid yüzeyinin bağıl yoğunluğunu etkili bir şekilde kontrol edebilen eş yüzeyin seviye parametresidir.

$$\sin\left(\frac{2\pi}{a}x\right)\cos\left(\frac{2\pi}{a}y\right) + \sin\left(\frac{2\pi}{a}y\right)\cos\left(\frac{2\pi}{a}z\right) + \sin\left(\frac{2\pi}{a}z\right)\cos\left(\frac{2\pi}{a}x\right) = t \quad (1)$$

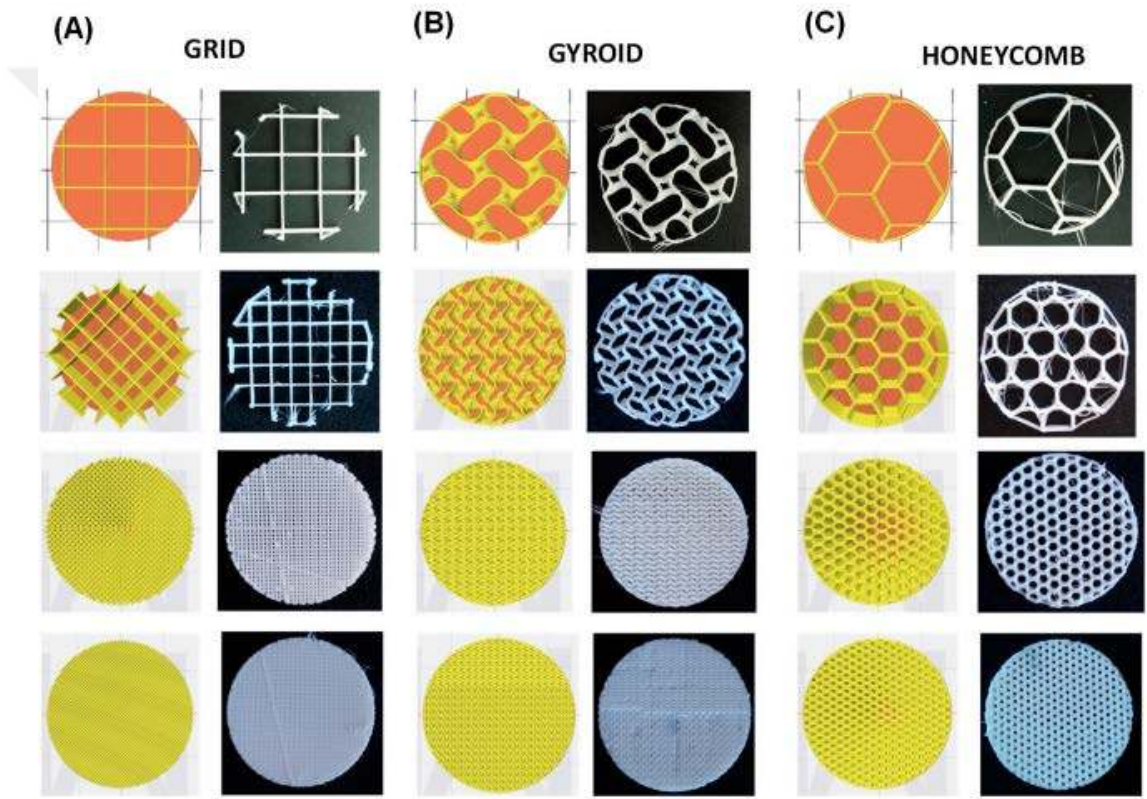
Üretilabilir gyroid yapısından bahsederken çeşitli yaklaşımlar vardır. Yüzey alanı ikiye böldüğü için yapının yanlarından birindeki boşluk doldurularak şekil 2.11'de ki gibi gyroid gözenekli yapı elde edilebilir.



Şekil 2.11. Farklı t oranlarına sahip gyroid hücrelerinin gösterimi (Yavuz, 2022)

Öte yandan yüzeye kalınlık kazandırılması ve bunun sonucunda ortaya çıkan bu köpüğe çoğu zaman çift gyroid (DG) adı verilmektedir. Bu çalışma için kullanılan dolgu, ikinci yaklaşıma daha çok yaklaşımaktadır.

Şekil 2.12 de farklı doluluk oranlarında grid, gyroid ve bal peteği formları gözükmemektedir. Gyroid en düşük ağırlıkta yüksek dayanıma sahip iç yapılardır. Basma kuvvetlerine dayanımı oldukça iyidir (Gülcan, 2021). Grid yapı ise tek yönde uygulanan kuvvetlerde oldukça dayanıklı olmasına karşın baskı yönüne dik yönlerde iç yapısı gereğince daha farklı mukavemet özellikleri göstermektedir.



Şekil 2.12. Grid, Gyroid ve bal peteği iç yapı (Gülcan, 2021)

2.4. Atış Platformları

Günümüz dünyasında insansız sistemler yaygınlaşmaktadır. Bu sebeple kara ateş güçlerinde insansız atış istasyonları kullanımı artmaktadır. Atış platformları üzerindeki silah sistemini uzaktan kontrol ederek atış yapmayı sağlayan sistemlerdir. Atış platformlarının üstünde bulunan silahların atışı ile darbe ve titreşim oluşur. Otomatik silah sistemlerinde merminin patlaması ve icra yayı ile tekrar kurulması ve tekrar

ateşlenmesi bir tepme kuvveti ile harmonik hareket oluşumuna sebep vermektedir. Bu kuvvetler mermi grupmanı ve hedef hassasiyetini etkileyen faktörlerdir. Atış platformları kullandığı kalibre ve namlu uzunluğuna menzil ve ağırlığı değişmektedir. Örneğin Şekil 2.13’de görülen Aselsan Sarp-L atış platformu 12.7 kalibre uçaksavar mermisi atabilmektedir.



Şekil 2.13. Örnek atış platformu (aselsankonya.com)

2.5.Kaynak Özetleri

Evlen, (2019) yaptığı çalışmalarda Fdm teknolojisi kullanılarak Tpu ve Tpe malzemeler basılmıştır. Aynı iç yapıda farklı doluluk oranları basılarak farklı çekme basma ve sertlik mekanik özellikler elde edilmiştir. Bu araştırmada gösterilmiştir ki yüzde 80 doluluk oranına kadar TPU’nun mekanik özelliği artmakta yüzde 80 üzerine çıktıkça gerilemektedir.

Wang vd., (2020) yaptığı çalışmada TPU malzeme ve 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanarak pnömatik olmayan araç lastiği tasarımında bulunmuştur. Tasarladıkları lastiği FDM yazıcılarda üretmiş ve mekanik testlere sokmuşlardır. Yaptıkları testleri sonlu elemanlar analizleri ile karşılaştırmış ve yüzde 50 oranında yakınsak olduğunu görmüşlerdir.

Baler vd., (2020) TPU malzeme kullanılarak FDM üretilen mafsallar üzerinde burulma ve sertlik gözlemleri yapmıştır. Yaptıkları testler ile tasarımları sonlu elemanlar analizine sokarak karşılaştırılmıştır ve sonuçlar yakın çıkmıştır.

Öncü vd., (2017) titreşim ve darbe sönümlenme elemanı olan kauçukların çaplama işlemi ardından darbeler ömür üzerine etkileri izlenmiş ve sonlu elemanlar analize deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları sonrası malzemelerde yüzde 35’e kadar ömür iyileşmeleri gözlenmiştir.

Ertem, (2010) tez çalışmasında pasif titreşim sönümleyicilerinin şok ve titreşim davranışlarının matematiksel metodlar oluşturularak çözümlenmesi ve tasarım kriterlerine göre optimum yalıtım elemanlarının seçilmesi üzerine yapmış şekil ve malzeme optimizasyonu sağlamıştır.

Erkek vd., (2015) çalışmasında hiperelastik malzeme olan kauçukların sonlu elemanlar analizi ile x, y, z eksenlerinde sıkıştırılması ve burulması incelenmiştir. Yapılan analizler mekanik deney numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Rijitlik eğrilerinin doğrusal olmayan karakteristikte olduğu belirlenmiştir.

Öztürk, (2020) tez çalışmasında 3 boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak ürettiği sandviç malzemelerin statik ve dinamik yük altında davranışı gözlemlenmiştir. Bal peteği iç yapısına sahip TPU malzemedan basılan numunelerde mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde Girintili sandviç yapı modelinin en iyi mekanik özellikler gösteren model olduğu ortaya konmuştur.

Boubakri vd., (2010) Yaşlanma koşullarının Tpu malzemenin mekanik özellikleri etkisini incelemiştir. Su ve sıcaklık ile temas eden Tpu malzemenin mekanik özelliklerindeki değişim gözlemlenerek çevresel şartlardaki dayanımı incelenmiş ve nem miktarının malzeme ömründe etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Holzweber vd., (2017) çalışmasında TPU malzemenin lastik motor takozları ile sonlu elemanlar analizi kullanarak titreşim ve darbe sönümlemesi konusunda incelemelerde bulunmuş ve mekanik özellikler, sıcaklık dayanımı ve bunun ömre etkisi üzerinde yaptıkları çalışmalarda, TPU malzemenin avantajlarını gözlemlemiştir. Sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılan çalışma hiperelastik modeller kullanılarak sayısal model oluşturulmuş ve analizlerde kullanılmıştır.

Kepenekçi, (2021) yaptığı tez çalışmasında polimer ve elastomerlerin 3 boyutlu yazıcı ile basılan geçişli parçalarda TPU ve PLA gibi filamentler kullanarak mekanik özellikleri incelemiş ve bu tür birleşimler sağlayarak ek mekanik özellikler sağlanabileceği gözlemlenmiştir.

Lee vd., (2019) makalelerinde 3 boyutlu yazıcılarda basılan tpu malzemenin mukavemeti ve enerji depolama özelliklerinin doluluk oranı ile değişimini deneysel sonuçları ile sonlu elemanlar analizi sonuçları ile karşılaştırmıştır. Yüzde 10 ve yüzde 50 doluluk oranlarında belirgin mekanik özelliklerde değişiklik gözlemlenmiştir. Yüzde 100 doluluk oranında mekanik özelliklerde düşme gözlemlenmiştir.

Chapa vd., (2023) yaptığı makale çalışmasında FDM yazıcı kullanarak basılan TPU malzemenin bal peteği iç yapısında enerji absorpsyonu konusunda incelemede

bulunmuştur. İncelemede yüzde 12 ile 20 arasında lineer olmayan ve yöne bağlı değişkenlik gösteren değişimler gözlemlenmiş numunelerinde yaptığı deneylerde burkulma olduğu tespit edilmiştir.

Corsi vd., (2020) yaptığı çalışmada 3 farklı 3 boyutlu yazıcı tipi ve bunlara özel malzemeleri ile yapılan numuneler ile şok emiliminin deneysel sonuçları üzerine çalışmışlardır. Seçici Lazer Sinterleme (SLS) ve MultiJet Baskı (MJP) teknolojilerini kullanan PoliEter Blok Amit ve TPU (Termoplastik PoliÜretan) Fdm tipi yazıcıda basılmıştır. 3 farklı numunenin farklı tip yük ve yönler altında farklı mekanik avantajlar sağladığı görülmüştür.

Jhou vd., (2021) Shore 95A TPU malzeme kullanarak 3 boyutlu yazıcılarında farklı tip iç yapılar olan hacim merkezli kübik ve kenar merkezli kübik yapılar için sonlu elemanlar analizi ile birlikte deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Kenar merkezli kübik yapıda düşme darbe testlerinde hacim merkezli yapıya kıyasla daha iyi bir sonuç almış ve malzemenin endüstriyel kullanıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca farklı yönler ve farklı duvar kalınlıkları deneyde farklı sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir.

Khantri ve Egan, (2023) çalışmasında abs ve tpu malzemeden basılan kübik ve bal peteği iç yapıya sahip malzemelerin şok dayanım testlerini ve abs, TPU çok yapılı sistemlerde mekanik özelliklerindeki değişim gözlemlenmiştir. TPU malzeme daha düşük enerji depolama abs numunede daha yüksek enerji depolama gözlemlenmiştir. Abs ve TPU oranları oynayarak farklı enerji depolama oranları gözlemlenmiştir.

Shen vd., (2016) yaptıkları çalışmada bir eklemeli imalat yöntemi olan seçici lazer sinterleme (SLS) yöntemi kullanılarak TPU malzemenin tozlarını kullanarak farklı kafes yapılarında parçalar hazırlayarak gerilim-gerinim testlerinde bulundular. Bu testler sonucunda elde edilen verileri hiperelastik olarak sonlu elemanlar analizinde incelemek için deneysel verileri malzeme özelliği olarak kullandılar. Araştırma sonucunda bilgisayar ortamında oluşturulan modellerin mekanik özellikleri önceden bilinmesini sağlamıştır.

Hashemi vd., (2023) çalışmasında FDM tipi 3 boyutlu yazıcılarda ürettikleri PLA-TPU sandviç numunelerin darbe emilimini incelemişlerdir. Numuneler, silindirik, petek ve tetrahedral kafes hücreleri şeklinde üç farklı konfigürasyonda FDM tekniği ile üretildi. Özellikleri çekme, üç noktalı bükülme, mikrosertlik testleri, Izod darbesi, mikrosertlik testleri ve taramalı elektron mikroskobu yoluyla belirlendi ve araştırıldı. Deneyler sonucunda en düşük emilimin bal peteği formunda en yüksek emilimin tetrahedral kafes hücrelerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Yang vd., (2023) 3 boyutlu yazıcılarda basılan elastomeric poliüretanlar üzerine yaptığı çalışmada sıcaklığı ve gerinim hızının, Dayanım üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sıcaklık düştükçe gerinim hızının artırılması yumuşak malzemelerde camsı geçiş olgusunu ortaya koymaktadır. Sıcaklık düştükçe ve gerinim hızı arttıkça gerilim değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Çalışmada deney sonuçları grafiksel olarak oluşturulmuş ve karşılaştırılması yapılmıştır.

Beloshenko vd., (2021) Çalışmasında 3 boyutlu yazıcıda basılan tpu malzemelerin bal peteği ve gyroid iç yapıda baskı yönüne bağlı olarak değişen mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Mekanik testler olarak çekme, basma ve üç noktalı bükülme testleri belirlenmiştir. Bal peteği mimarisinin, %30 oranında daha yüksek sertlik, %25 oranında mukavemet, %18 oranında plastiklik ve %42 oranında enerji emilimi değerleri sağladığı bulunmuştur. Gyroid iç yapısı enerji geri kazanımında daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

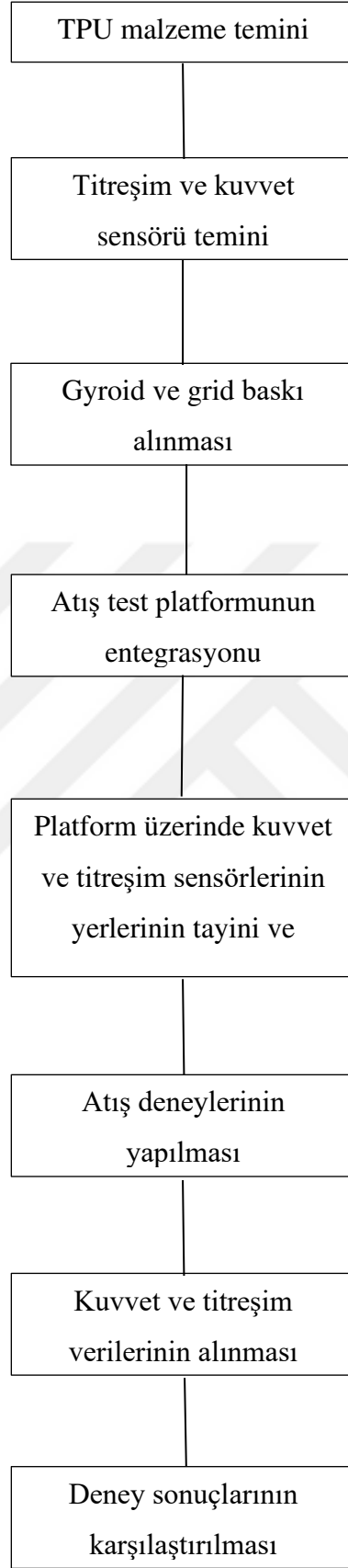
Literatür taramaları incelendiğinde TPU malzemenin farklı iç yapılarda farklı mekanik özellikler sağladığı gözlemlenmiştir. Bir diğer tespit ise TPU ve onun gibi esnek yapıya sahip filamentleri darbe enerjisi ve kuvvet sönümleme sistemlerinde çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada incelenen literatür çalışmaları ışığında TPU malzemenin Savunma sanayinde kullanımında eksiklik olduğu görülmüştür. Çalışmamızda TPU malzemenin Hafif tip atış platformlarında darbe ve titreşim sönümlemesine etkisi üzerinde deneysel çalışma yapılması planlanmıştır. İki farklı iç yapıya sahip aynı doluluk oranında iki ayrı konumlarda belirlenen numuneler sayesinde TPU malzemenin atış sonrasında darbe kuvveti ve titreşim sönümlemesi üzerine incelemelerde bulunmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu tez çalışmasında eklemeli imalat teknolojilerinden biri olan katı eriyik yöntemi kullanarak, elastik bir malzeme olan termoplastikpoliüretan(TPU)dan numuneler üretilmiştir. Bu numunelerde grid ve gyroid olarak iki farklı iç yapı kullanılmıştır. Antalya Savhatek Savunma Sanayi firmasının Alperen Gözcü evrensel hafif atış platformunda kullanılmak üzere tasarlanan bu numuneler sayesinde darbe kuvveti ve titreşim sönümlenmesi gözlemlenmesi yapılmıştır. Sistemin silah kavrama pedlerine ve silah bağlantı podunun eksen bağlantı flanşı olacak şekilde iki yer seçilmiştir. Sistemin iki ayrı yerine bağlanan kuvvet ve titreşim sensörleri ile ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler karşılaştırılarak TPU malzemenin farklı iç yapılarda titreşim ve darbe sönümlemeye etkisi gözlemlenmiştir.

Deneyisel çalışmalarda kullanılan üretim araçları, malzemeler, cihaz ve sistemler ile iş parçası özellikleri, deney düzeneğinin hazırlanması ve parametrelerin belirlenmesi bu bölümde ele alınmıştır. Kullanılan 3 boyutlu yazıcı hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca deney sırasında ölçülen titreşim ve darbe kuvveti verilerinin ölçümü ve ölçüm sırasında kullanılan sensör ve elektronik yapıların tanıtımı yapılmıştır. Deney düzeneğinin ve numunelerin yerleşim yerleri bu bölümde belirlenmiştir.

Çalışmaların yürütülmesinde izlenen yol belli bir sistem çevresinde planlanmıştır. Şekil 3.1’de verilen sistematik yapı, TPU malzemenin iki farklı iç yapı kullanılarak basılan iki ayrı modelden üretilen dört numune kullanılarak, hafif atış platformlarında atış sonrası oluşan darbe kuvvetleri ve titreşimleri ölçülerek TPU malzemenin iç yapı ile beraber atış sonrasına etkisi malzeme temininden sonuçların alınmasına kadar izlenen yollar aşamalı olarak gösterilmiştir. Bu akış TPU malzeme temini ile başlayan süreç, titreşim ve kuvvet sensörü temini ile devam eder. Ardından çizgi ve grid baskı alınması gerçekleştirilir ve atış test platformunun entegrasyonu yapılır. Platform üzerinde kuvvet ve titreşim sensörlerinin yerlerinin tayini sonrasında atış deneyleri yapılır. Kuvvet ve titreşim verilerinin alınması ile devam eden süreç, deney sonuçlarının karşılaştırılması ile tamamlanır. Bu adımlar, belirli bir deney düzeni içinde, TPU malzemenin atış sonrası oluşan darbe kuvvetleri ve titreşimleri ölçme ve karşılaştırma işlemini kapsar. Deney sonuçları titreşim verileri sistemde oluşan ivmelenme değerleri ile darbe kuvveti de sistemin belirlenen yerinden yük ölçümü ile gerçekleştirilmiştir. Alınan ivme ve kuvvet değerleri sonraki bölümlerde çeşitli parametreler belirlenerek karşılaştırılmış ve yorumlanabilir sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada izlenen yolun sistematik akış şeması

3.1. Materyal

TPU(Thermoplastikpoliüretan)

İlk ticari termoplastik poliüretanlar (TPU'lar), 1950'lerde Almanya'da Bayer-Fabrenfabriken ve ABD'de B.F. Goodrich tarafından. Poliüretan Endüstrisi İttifakı (API), TPU'ları "kauçuk ile plastik arasındaki boşluğu kapatma" olarak tanımlar, çünkü TPU'lar kauçuğun mekanik performans özelliklerini sunarken aynı zamanda termoplastik olarak işlenebilirler. Bu özel niş, TPU'ları diğer polimerler ve elastomerlerden ayıran, yüksek elastikiyetle birleşen yüksek aşınma direnci özelliklerinden kaynaklanmaktadır ve kayak botları, ayakkabılar, contalar, hortumlar ve contalar gibi çeşitli uygulamalara yol açmaktadır.(Qui, vd. 2004)

Testlerde Shore 95A Tpu filament kullanılmıştır. Mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir:

Çekme Modülü: 26 MPa, ASTM D638

Kopma Noktasındaki Çekme Dayanımı: 8.6 MPa, ASTM D638

Kopma Anındaki Çekme Dayanımı: 39 MPa, ASTM D638

Kopma Noktasındaki Uzama: 55%, ASTM D638

Kopma Anındaki Uzama: 580%, ASTM D638

Eğilme Dayanımı: 4.3 MPa, ISO 178

Eğilme Modülü: 78.7 MPa, ISO 178

Izod Darbe Dayanımı, çentikli (23 °C): 34.4 kJ/m², ISO 180

Baskı sıcaklığı: 220 -240 C

3.2. Sistem ve Cihazlar

3.2.1.3 Boyutlu Yazıcı

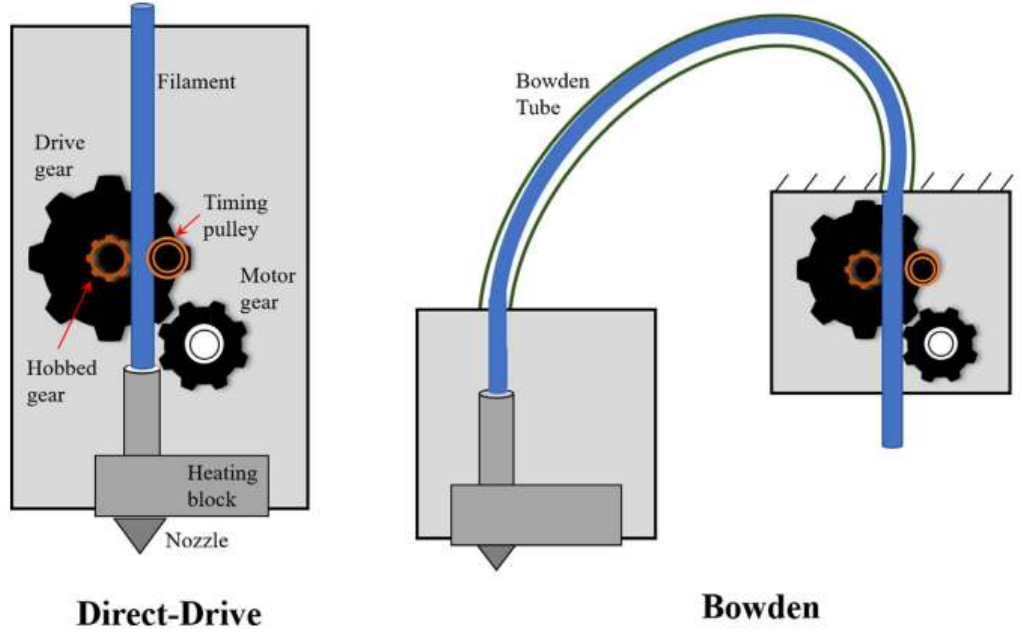
TPU malzeme için Direct Drive Katı eriyik bitirme yöntemini kullanan yazıcı kullanılmıştır. TPU malzeme ve filament esnek yapıda olduğu için kasnakta doğrudan ekstruder ve nozul gitmelidir aksi takdirde filamentte katlanmalar olacaktır.

Şekil 3.2' de baskı alırken kullanılan yazıcı gözükmemektedir. 3 boyutlu katı modelleme programında tasarlanan parçalar cura programında parametreler ayarlanarak dilimlenmiş ve yazıcının g codelerına çevrilmiştir. Klasik tip yazıcılar kasnakta gelen filament yapıyı nozul kafasından ayrı bir yerde kavrayıcı dişliler yardımıyla sıcaklığa dayalı teflon boru içerisinde ısıtıcı kafaya ve oradan nozula itme kuvveti uygulayarak çalışır.



Şekil 3.2. Baskı alınan 3 boyutlu yazıcı

Bu sistem sayesinde Sert tip malzemeler olan PLA, ABS ve PETG gibi malzemeler basılmasıyla beraber TPU ve TPE gibi esnek tip filamentlerin kullanılmasında sorunlar yaratmaktadır. Esnek yapıya sahip filamentler extruder ile ısıtıcı kafa arasında oluşan kuvvetten burkulmaya uğrar. Bu tip durumlardan kaçınılmak için sonradan geliştirilmiş ve günümüzde artık daha yaygın olan Direct drive extruder sistemleri kullanılmaktadır.



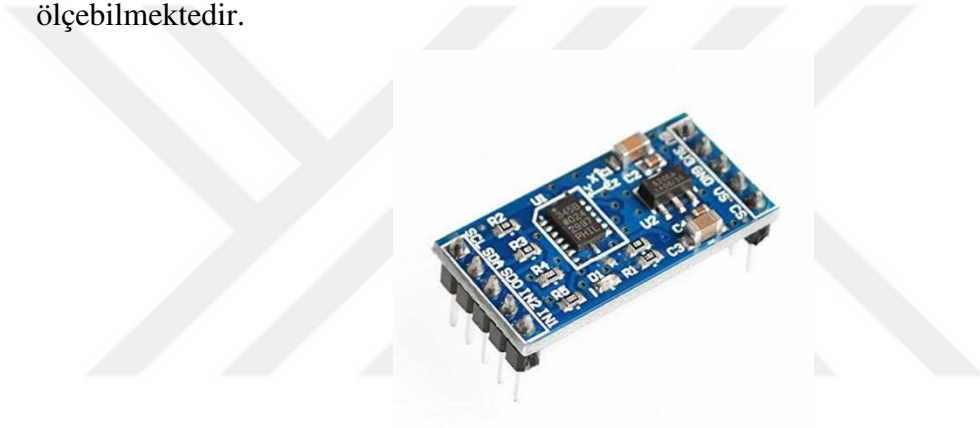
Şekil 3.3. Direct drive ile klasik tip FDM tipi yazıcının şematik gösterimi

Direct drive son zamanların en popüler takım kafası tasarımıdır. Alet kafasının kalbinde, Filamentin nozuldan dışarı akmasını sağlamak üzere eritilmesinden sorumlu olan sıcak uç düzeneği bulunur (Şekil 3.3). Filament, bir tahrik dişlisi ile boş bir kasnak arasında tutulur. Motor, tahrik ünitesine bağlanır Dişli, filamanı sıcak uça itme ve çekme kuvvetini sağlar (Bhagia vd. 2021). Bu sistem sayesinde esnek yapıdaki filamentler klasik tip extruder kafasına sahip yazıcılardaki gibi burkulma yaşanmamaktadır.

3.2.2. Sensörler ve Elektronik

Deney sistemimizde 2 ayrı ölçüm verisi bulunmaktadır. Bu veriler ivmeye bağlı titreşim verileri ve Kuvvet verileridir.

Titreşim verileri için Adxl345 ivme sensörü kullanılmıştır. İvme sensörü 3 eksen ivme ölçebilmektedir.



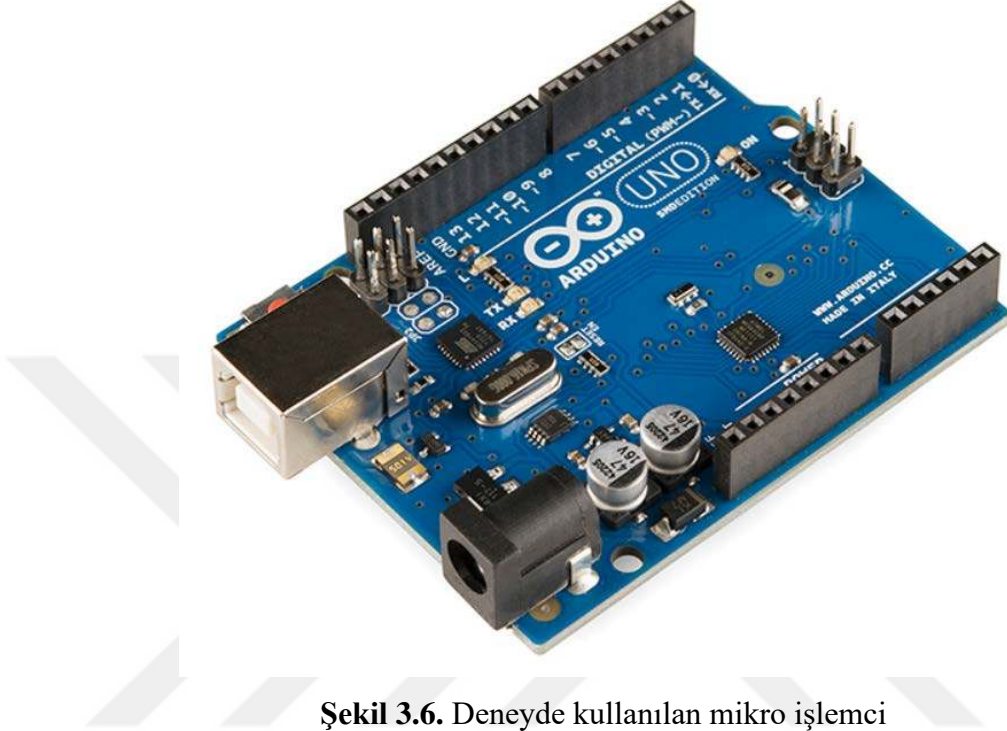
Şekil 3.4. Deneyde kullanılan titreşim sensörü

I2c bağlantısı ile çalışan sensör bir mikro denetleyici yardımı üzerinden programlanarak ölçüm sağlanmıştır. Şekil 3.4 de ivme sensörü görülmektedir.



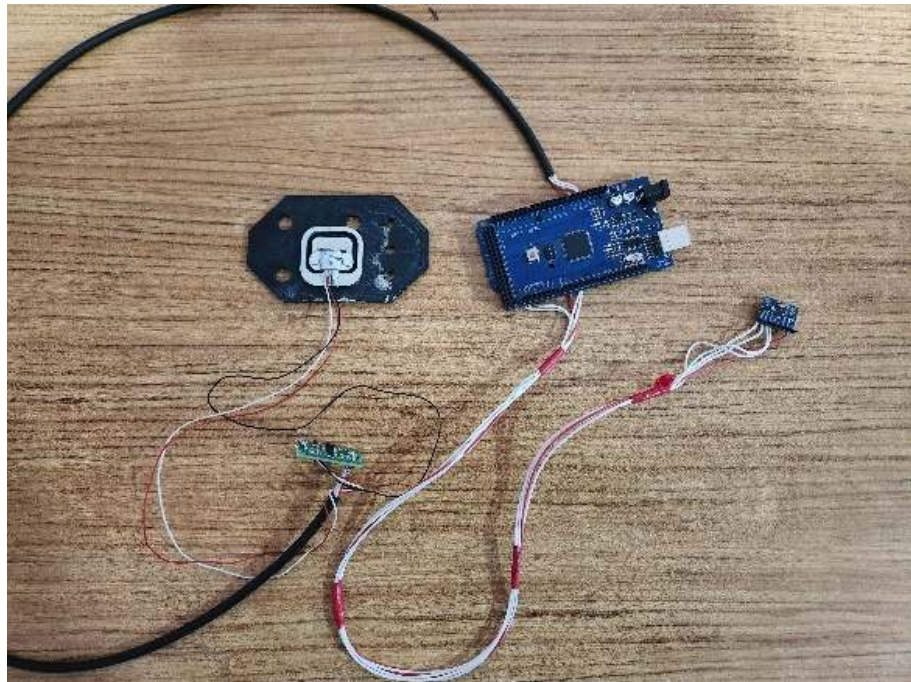
Şekil 3.5. Deneyde kullanılan kuvvet sensörü

Kuvvet ölçmek için de loadcell sensör kullanılmıştır. Şekil3.5 de görülen sensör analog veriyi bir mikro denetleyici yardımı ile bilgisayardan okunmaktadır. Mikro denetleyici olarak Şekil 3.6'daki Arduino mega kartı üzerinde Atmega 2560 kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Deneyde kullanılan mikro işlemci

Sensörlerin kullandığı I2c ve analog pinlerine göre kablo sistemi çekilmiştir. (Şekil3.7)



Şekil 3.7. Deney ölçüm sistemi elektronik yapı

Kablo bağlantılarından sonra Arduino ide kullanılarak sensör kodları hazırlandı ivme sensörü ve kuvvet sensörü için gerekli kütüphaneler bulunduktan sonra Arduino ide de düzenlenerek ihtiyaca göre şekillendirilmiştir.

```

29 //HX711 constructor:
30 HX711_ADC LoadCell(HX711_dout, HX711_sck);
31
32 const int calVal_eepromAddress = 0;
33 unsigned long t = 0;
34
35 void setup() {
36   Serial.begin(57600); delay(10);
37   Serial.println();
38   Serial.println("Starting...");
39
40   LoadCell.begin();
41   //LoadCell.setReverseOutput(); //uncomment to turn a negative output value to positive
42   float calibrationValue; // calibration value (see example file "Calibration.ino")
43   calibrationValue = 696.0; // uncomment this if you want to set the calibration value in the sketch
44   #if defined(ESP8266) || defined(ESP32)
45   //EEPROM.begin(512); // uncomment this if you use ESP8266/ESP32 and want to fetch the calibration value from eeprom
46   #endif
47   //EEPROM.get(calVal_eepromAddress, calibrationValue); // uncomment this if you want to fetch the calibration value from eeprom
48
49   unsigned long stabilizingTime = 2000; // precision right after power-up can be improved by adding a few seconds of stabilizing time
50   boolean _tare = true; //set this to false if you don't want tare to be performed in the next step
51   LoadCell.start(stabilizingTime, _tare);
52   if (LoadCell.getTareTimeoutFlag()) {
53     Serial.println("Timeout, check MCU>HX711 wiring and pin designations");
54     while (1);
55   }
56   else {
57     LoadCell.setCalFactor(calibrationValue); // set calibration value (float)
58     Serial.println("Startup is complete");
59   }
60 }
61
62 void loop() {

```

Şekil 3.8. Kuvvet ölçüm kodları

Şekil 3.8’de loadcell programı gözükmektedir sensör eksenlerden gelen darbe verisini direnç değerindeki farkları işleyerek ağırlık verisine çevirmektedir.

```

vibration.ino
68 //I had issues with int pin 2, was unable to reset it
69 adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_SINGLE_TAP_BIT, ADXL345_INT1_PIN );
70 adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_DOUBLE_TAP_BIT, ADXL345_INT1_PIN );
71 adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_FREE_FALL_BIT, ADXL345_INT1_PIN );
72 adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_ACTIVITY_BIT, ADXL345_INT1_PIN );
73 adxl.setInterruptMapping( ADXL345_INT_INACTIVITY_BIT, ADXL345_INT1_PIN );
74
75 //register interrupt actions - 1 == on; 0 == off
76 adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_SINGLE_TAP_BIT, 1);
77 adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_DOUBLE_TAP_BIT, 1);
78 adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_FREE_FALL_BIT, 1);
79 adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_ACTIVITY_BIT, 1);
80 adxl.setInterrupt( ADXL345_INT_INACTIVITY_BIT, 1);
81
82
83 void loop(){
84   //Boring accelerometer stuff
85   int x,y,z;
86   adxl.readXYZ(&x, &y, &z); //read the accelerometer values and store them in variables x,y,z
87   // Output x,y,z values
88
89   //Serial.println(x);
90   //Serial.println(y);
91   //Serial.println(z);
92
93   double xyz[3];
94   double ax,ay,az;
95   adxl.getAcceleration(xyz);
96   ax = xyz[0];
97   ay = xyz[1];
98   az = xyz[2];
99   Serial.print(xyz[0]);
100   Serial.print(" ");
101
102

```

Şekil 3.9. Titreşim ölçüm kodları

İvme sensörü I2c protokolü kullanarak hassas bir ölçüm yapmamızı sağlamaktadır. Kodda anlamlı sonuçları görebilmek için 10ms olarak bir gecikme alarak verilerde hata

oranını azalttık. Şekil 3.9’da da görüldüğü üzere ivme sensörünün gyro verilerini devre dışı bırakarak sadece ivme verileri alınmıştır.

3.2.3. Atış Platformu

Bu çalışmada Savhatek firmasının geliştirdiği hafif sınıfında olan Alperen gözcü atış platformu kullanılmıştır. Platform evrensel bir atış platformu olup 7.62x51 NATO mühimmatı ve 12 kalibre av fişğine kadar olan her tip 6 inçden uzun namlulu tüfeklerde kullanılabilmektedir (Şekil 3.10). Bununla birlikte silahsız ağırlığı 25 kg olup parçalara ayrılabilmesi sayesinde taşınabilir bir platformdur. Sistem atış sonrası tepme kuvvetini azaltmak için bir lineer yatak üzerine sönümleme sistemi bulunmaktadır. Uzaktan kontrol edilen bu sistem sayesinde kullanıcı yerleştirdiği kendi silahını kumandası sayesinde 100 metre mesafeden kontrol etmesine imkan sağlamaktadır.



Şekil 3.10. Alperen gözcü atış platformu

Testler sırasında 12 cal taktik av tüfeği kullanılmıştır (Şekil 3.11). Fişek olarak ise 32 gr tek kurşun mermi kullanılmıştır.



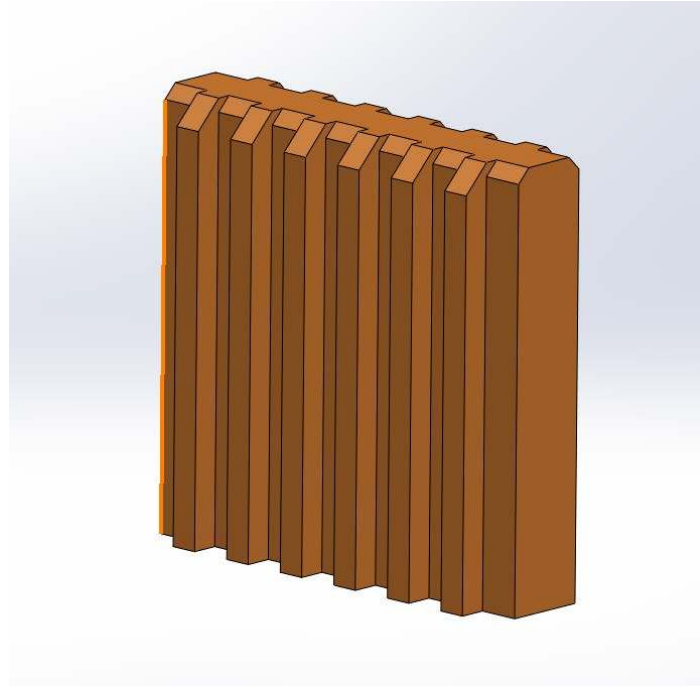
Şekil 3.11. Deneyler sırasında kullanılan silah

3.3. Yöntem

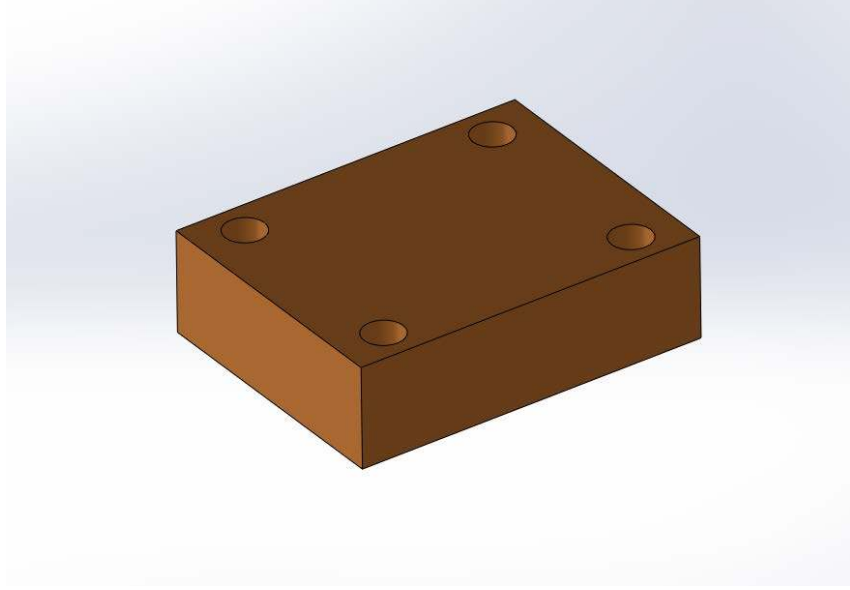
Bu çalışmada Atış platformunun atış sonrası oluşan darbe ve titreşimleri Tpu malzeme kullanılarak belirlenen yerlere farklı iç yapılar kullanılarak değişim gözlemlenmiştir. Literatür incelemesi sonrası iç yapılar grid ve gyroid olarak belirlenmiştir. Bu iki parametreyi sistemde iki ayrı noktaya yerleştirerek karşılaştırılmıştır. Birinci konum olarak silahın bağlandığı pod kısmına Ped tasarlayarak yerleştirilmesi . İkinci konum olarak sistemin lineer sisteminin pod ile bağlantısı arasına bir flanş yapılması kararlaştırılmıştır.

3.3.1. Parçaların Hazırlanması

Parçaların yerleri belirlendikten sonra Ped ve Flanş tasarımı yapıldı. Şekil 3.12 Ped ve Flanş Şekil 3.13’de gösterilen parçaların Cura programı için Stl formatında dosyaları oluşturuldu. Doluluk oranları yüzde 40 olacak şekilde her parçadan gyroid ve grid iç yapılarından olacak şekilde gcode alınarak çizimler baskı alınacak hale getirildi.

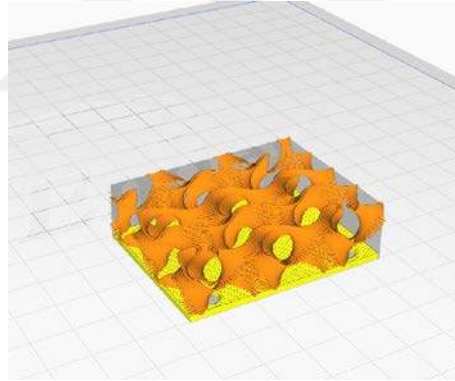


Şekil 3.12. Ped model

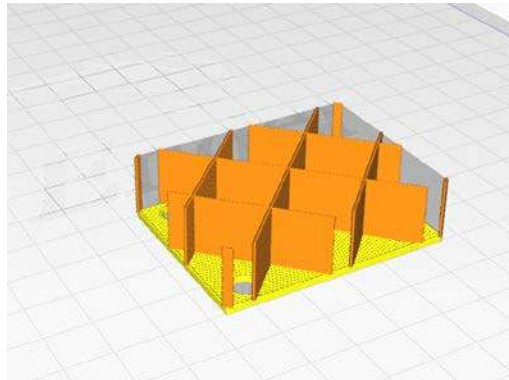


Şekil 3.13. Flanş model

3 boyutlu yazıcılar çok farklı tiplerde boşluklu iç yapılar basabilmektedir. Bu çalışmada farklı tip iç doluluk tipleri ile farklı titreşim emilimleri gözlemlemek için Gyroid ve Grid olarak iki farklı iç yapılar kullanılmıştır.

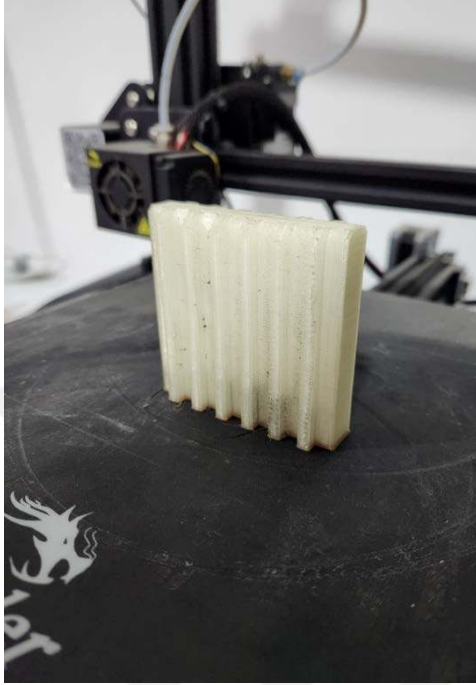


Şekil 3.14. Gyroid iç yapıdaki numune

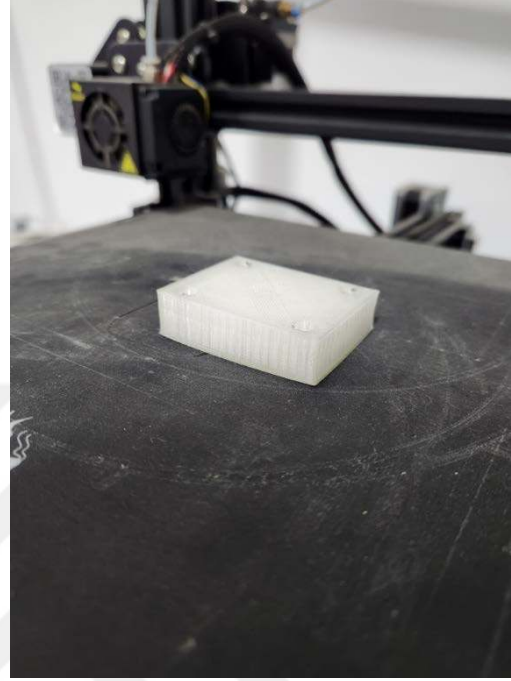


Şekil 3.15. Grid iç yapıdaki numune

Şekil 3.14’de bir gyroid iç yapı gözükmemektedir. Şekil 3.15’de ise grid yapı gözükmemektedir. Baskılar alınırken yazıcıda 0.4mm nozul kullanılmıştır. Doluluk oranları yüzde 40 olarak belirlenmiştir. Duvar kalınlığı olarak 1.6mm tavan ve taban kalınlıkları olarak da 1.52mm belirlenmiştir.



a



b

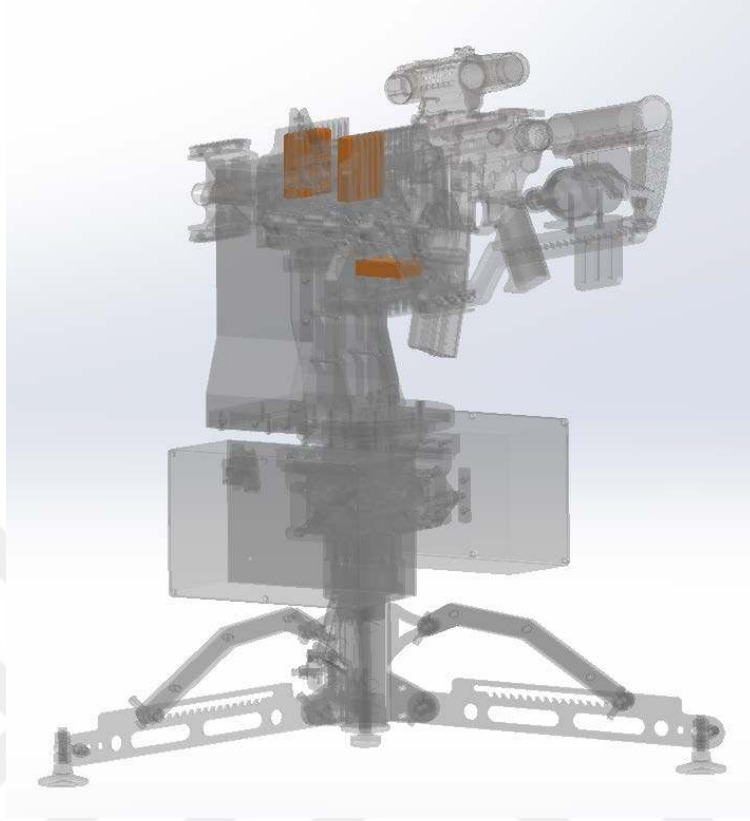
Şekil 3.16. Ped numunesinin gösterimi a, flanş numunesinin gösterimi b.

TPU Filament Direct drive yazıcıya yerleştirildikten sonra baskılar alındı. Aşağıdaki Şekil 3.16a ve 3.16b alınan baskı numuneleri gösterilmektedir.

3.3.2. Platform Üzerine Baskı Malzemelerinin Yerleştirilmesi

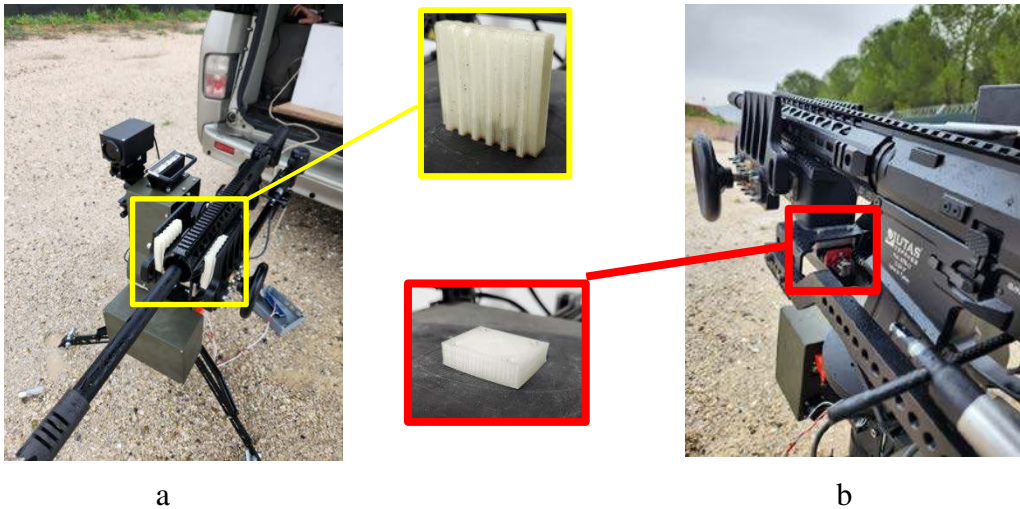
Baskı alınan numuneler Şekil 3.17’de olduğu gibi yerlere sırasıyla deneylerde değiştirilerek yerlerine yerleştirilmiştir. Pedler silahların el kundağı denilen yerinden tutacak şekilde planlanmıştır. Pedlerin üstünde el kundağında da karşılığı bulunan NATO kanalları olarak adlandırılan kanalların arasına gireceği şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede TPU malzemeden yapılan numuneler silah el kundağındaki NATO kanalları arasında girerek daha yüksek bir kavrama sağlanması planlanmıştır. Grid ve gyroid olarak iki farklı iç yapıda bulunan numuneler sağ ve sol olarak çift şeklinde kullanılmaktadır. Deney parametrelerine göre ped çiftleri değiştirilerek deneylerin yapılması planlanmıştır. Flanş numunesi ise silahların yerleştirildiği pod adı verilen bölüm ile elevasyon ekseni plakaları arasında bulunan bağlantı noktası arasına bağlanması planlanmıştır. Dört cıvata ile pod sacının elevasyon plakası arasında bir flanş görevi görerek bağlanması uygun

görülmüştür. İç yapıları grid ve gyroid olacak şekilde iki ayrı numune belirlenmiş ve deney parametrelerine uygun olarak sırayla montajı yapılacaktır.



Şekil 3.17. Platform üzerine numune yerler

Pedler silah sistemine mengenesine deney sırası geldikçe mengene açılarak değiştirilmiştir (Şekil 3.17). Flanş ise lineer sisteme civatalar ile deneyler sırasında bağlanarak pod ile atış istasyonunun eksenleri arasında yastık görevi görecektir şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 3.18a ve Şekil 3.18b

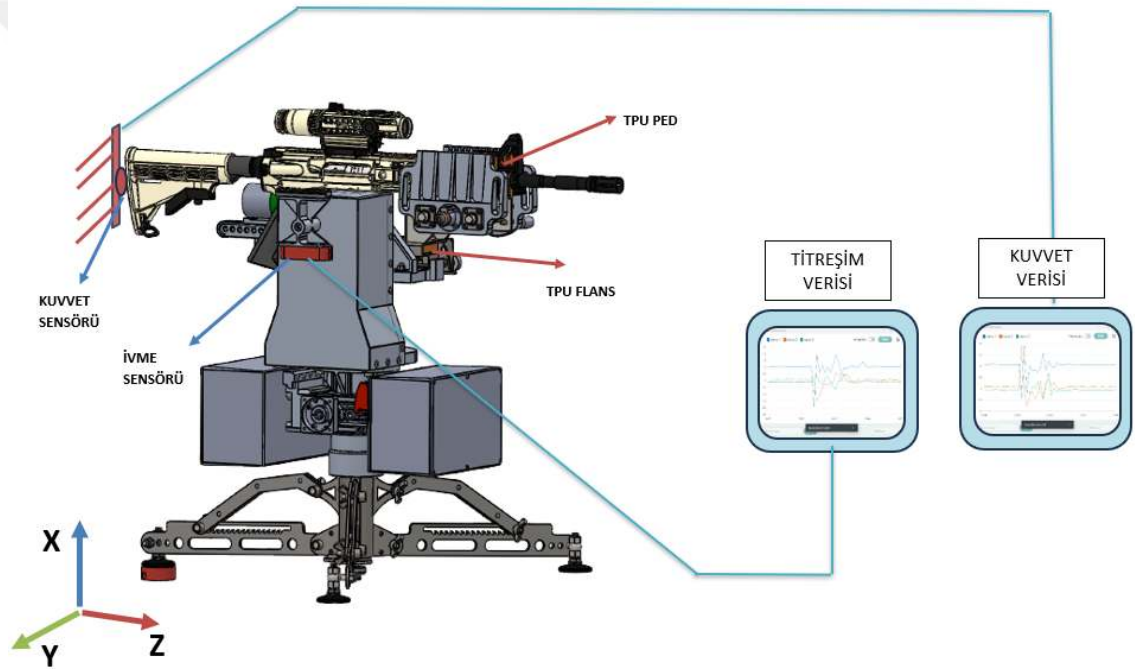


Şekil 3.18. Ped numune yerleşimi a, flanş numune yerleşimi b.

Şekil 3.17’de TPU malzemeden %40 doluluk oranıyla Grid ve Gyroid formda alınmış baskıların(ped) silah platformunda şekilde gösterildiği yerlere sabitlenmiştir. Şekil 3.17b’de ise aynı özelliklerle üretilen flanş destek elemanını montajlı halde gösterilmiştir.

3.3.3. Deney Düzeneğinin Hazırlanması

Deney düzeneği için sensörler ve basılan parçaların yeri hazırlandıktan sonra sensör yerleri olarak ivme sensörü için kamera sisteminin üstü tercih edildi bunun sebebi atış sonrası görüntü titreşimi hedef hassasiyeti için önemli olmasıdır. Kuvvet sensörü için sistemin Omuz dayamasının arkası tercih edilerek atış sonrası oluşan yük tespit edilmiştir.



Şekil 3.19 Atış test düzeneğinin şematik görünümü

Deney şeması şekil 3.19’da belirtildiği şekilde oluşturulmuştur. Sensör verileri hazırladığımız elektronik yapı sayesinde bilgisayardan gözlemlenip kaydedildi. İvme sensörü montaj gereği şemadaki gibi eksende yerleştirilmiştir.

3.3.4. Deney Parametre Şeması

Bu çalışmada yapılan deneyler ilk olarak numuneler olmadan kontrol verisi olacak şekilde planlanmıştır. Sonrasında sadece Ped çiftlerinin yüzde 40 doluluk oranında olacak şekilde ayrı ayrı grid ve gyroid olacak şekilde belirlenmiştir. Ped testleri yapıldıktan sonra pedler çıkartılarak sadece yüzde 40 iç doluluk oranına sahip grid ve gyroid olarak flanş

numuneleri test edilmiştir. En son olarak aynı iç yapıda olan grid ped, grid flanş ve gyroid ped, gyroid flanş çiftleri ayrı ayrı bağlanarak deneylerin yapılması planlanmıştır. Deneyler sırasında her deney parametresi için beşer ayrı atışlar yapılmıştır. Her parametre sonrası beşer atışların ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Böylelikle deney verilerindeki hata payı azaltılması planlanmıştır. Çizelge 3.1 de deney şeması gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Deney parametreleri tablosu

Deney	Konumlanma şekli	İç yapı	Doluluk oranı	Atış Test sayısı	Maksimum İvmelenme	Kuvvet
1	Kontrol	-	-	5	Vx,Vy,Vz	Fx,Fy,Fz
2	Ped	Grid	40%	5	Vx,Vy,Vz	Fx,Fy,Fz
3	Ped	Gyro	40%	5	Vx,Vy,Vz	Fx,Fy,Fz
4	Flanş	Grid	40%	5	Vx,Vy,Vz	Fx,Fy,Fz
5	Flanş	Gyro	40%	5	Vx,Vy,Vz	Fx,Fy,Fz
6	Ped+flanş	Grid	40%	5	Vx,Vy,Vz	Fx,Fy,Fz
7	Ped+flanş	Gyro	40%	5	Vx,Vy,Vz	Fx,Fy,Fz

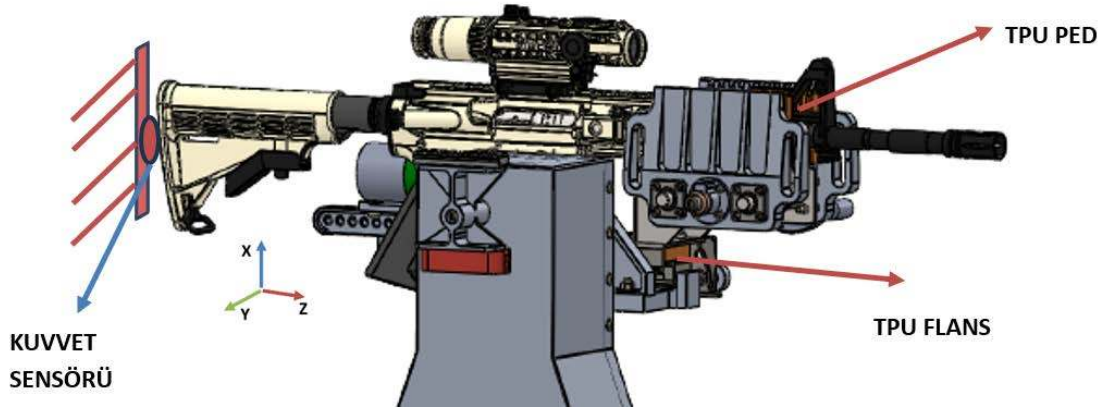
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Atış Testleri Sonuçları

Deney sonuçları maruz kalınan ivme değerleri ve onların süresi ayrıca darbe sensörünün ölçtüğü değerler olarak alınmıştır. Veriler eş zamanlı olarak alınmış olup, beş atış sonrası ortalama değerler alınarak hata payları azaltılarak anlamlı veriler elde edilmiştir.

4.1.1. Kuvvet Ölçümü

Atış testlerinde eş zamanlı ölçümlerden biri olan darbe kuvvetinin ölçümüdür. Darbe kuvveti silah sisteminin dipçik kısmının arkasına sabitlenmesi vasıtasıyla atış sonrası oluşan darbe kuvveti x,y,z olmak üzere 3 eksende ölçülmüştür. Şekil4.1 de gösterilen şematikteki gibi 3 eksen verileri alınmıştır. Darbe kuvvetinin en önemli değerleri darbenin olduğu yön olan z eksenidir. Çizelge 4.1’de Darbe kuvvetinin maksimum verileri gösterilmiştir. En yüksek kuvvet değerlerinin Fz ekseninde olduğu gözlemlenmiştir. Deneyler ilk olarak hiçbir numune olmadan yapılarak kontrol verisi alınmıştır. Sonraki bölümlerde karşılaştırılmak için sırasıyla ped, flanş ve Ped ile Flanş çifti beraber olarak deney verileri alınmıştır. Test numunelerinin kullanım yeri arttıkça Darbe kuvveti sönümlenmesinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca iç yapıların grid ve gyroid olması darbe kuvvetinin sönümlenmesinde fark yarattığı gözlemlenmiştir.

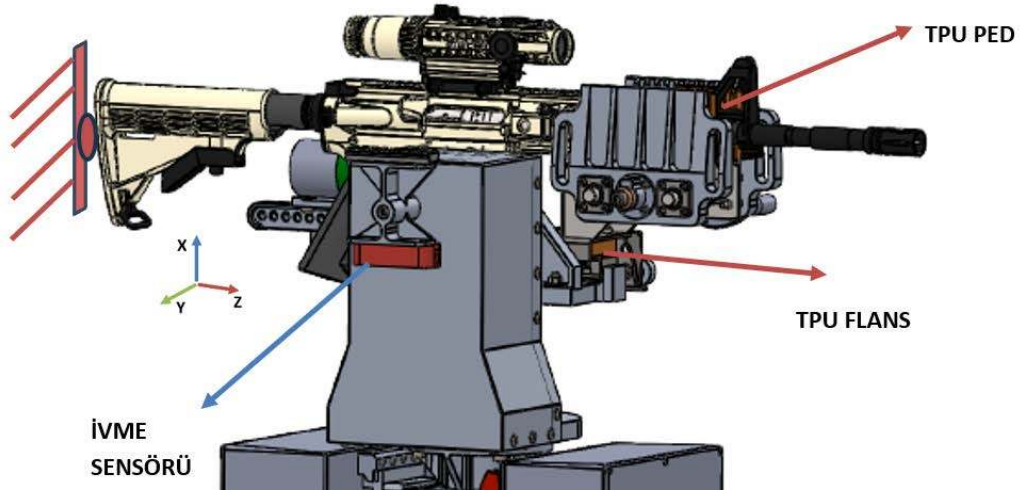


Şekil 4.1. Kuvvet ölçüm sisteminin şematik görünümü

4.1.2. Titreşim verilerinin ölçümü (İvmelenme)

Titreşim verileri V_x , V_y , V_z olarak İvmelenme değeri (m/s^2) biriminde Çizelge 4.1’de verilmiştir. Titreşim verisinin maksimum ve minimum ivmelenme değerleri titreşim grafiklerindeki titreşim dalgasındaki tepe ve dip değerlerini göstererek titreşim dalgasının genliği hakkında bilgi vermektedir. İvme sensörünün atış hedef hassasiyetinin önemi sebebiyle Şekil 4.2 gibi kamera sistemin altına montajı yapılmıştır. Montaj şekli

sebebiyle X ekseninin yer yüzüne dik olmasından dolayı yer çekimi ivmesi olan $9,81 \text{ m/s}^2$ değeri nominal ivme değeri olmuştur. Y ve Z eksenleri yer yüzüne paralel olmasından dolayı nominal değeri sıfıra yakınsamıştır. Titreşim verilerinde Çizelge 4.1’de maksimum ve minimum ivmelenme değerleri alınarak numuneler arasındaki farklar gözlemlenmiştir. Değerler her numune için beşer test atışının ortalaması alınarak oluşan ivmelenme değerleridir. Böylelikle hata oranının azalması öngörülmüştür. İvmelenme değerlerinin titreşimsel grafikleri bölüm 4.2’de gösterilmiştir. Atış testleri sırasında X ekseninde oluşan titreşim büyüklüğü ve sürekliliği dikkat çekmiştir. Bu nedenden dolayı deney sonuçlarının karşılaştırılmasında X eksenini üzerinden sağlanmıştır. Çizelge 4.1’de gözüken sonuçlarda kontrol verileri en yüksek ivme sonuçları olduğu gözlemlenmiştir. Bölüm 4.2’de karşılaştırmak üzere TPU ped, flanş ve ped ile flanş numunelerinin beraber kullanımda ivme değerlerinde gözle görülür farklar rastlanmıştır. Aynı anda kullanılan numunelerin sayısı arttıkça ivme değerlerinin maksimum ve minimum değerlerinde azalma olduğu titreşim genliğinde azalma olduğu gözükmemektedir. Ayrıca grid ve gyroid iç yapının ivmelenme değerlerinde farklılık sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. Titreşim ve ivmelenme değerlerinin ölçüm sisteminin şematik görünümü

4.1.3. Titreşim Sönümlenme Süresi Ölçümü

Titreşim süresi(ms): bu değer atış anından sonra ölçülen ivmelenme değerinin tamamen ortadan kalması için geçen süredir. Aynı zamanda platformun titreşiminin destek elemanlarına bağlı olarak sönümlendiği değer zaman farklılıkları için belirleyici bir sonuç parametresidir. Çizelge 4.1’de Titreşim sönümlenme sonuçları milisaniye(ms) cinsinden belirlenmiştir. Sonuçlarda görüldüğü üzere en yüksek titreşimin sönümlenmesine kadar geçen süre en üzerinde numune bulunmayan kontrol verisi üzerinde olduğu görülmüştür.

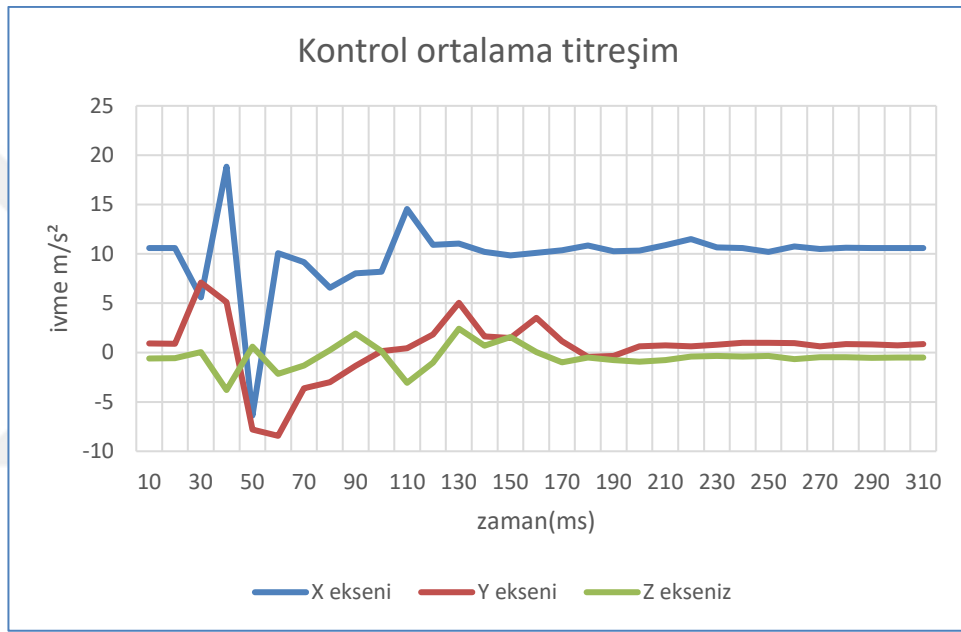
Çizelge 4.1. Deney sonuçları tablosu

	İvmelenme değeri (m/s²)						Darbe kuvveti (N)			Titreşim sönümlenme süresi(ms)
Deney Tipi	Maksimum ivmelenme değerleri			Minimum değer						
	V _x	V _y	V _z	V _x	V _y	V _z	F _z	F _x	F _y	
Kontrol	18,8352	7,0959	2,4198	-6,3765	-8,4366	-3,7932	565,056	212,877	72,594	190
Grid ped	15,9903	4,04172	1,68732	3,17844	-3,84552	-1,58922	479,709	121,2516	50,6196	160
Gyro ped	18,08964	3,35502	2,31516	4,5126	-4,37526	-3,94362	542,6892	100,6506	69,4548	160
Grid flans	17,18712	4,35564	2,27592	1,8639	-6,65118	-3,45312	515,6136	130,6692	68,2776	150
Gyro flans	13,65552	4,35564	1,51074	-0,25506	-5,3955	-2,60946	409,6656	130,6692	45,3222	150
Grid ped ve flans	14,24412	2,58984	4,17906	7,76952	-5,37588	-2,1582	427,3236	77,6952	125,3718	140
Gyro ped ve flans	12,22326	7,6518	4,39488	7,47522	-4,00248	-2,92338	366,6978	229,554	131,8464	150

Ped, flanş ve ped ile flanş numunelerinin kullanılmasıyla beraber grid ve gyroid iç yapılara sahip numunelerin titreşim sönümlenme süresinde etkisi olduğu gözükmemekte aynı anda kullanılan numune sayısı arttıkça titreşim sönümlenme süresinin azaldığı Çizelge 4.1’de görülmektedir. Deney sırasında X eksenini silahın atış sonrası şahlanma denilen yer yüzü eksenine dik olan bir kuvvet olup y ve z eksenleri yer yüzüne paralel eksenlerdir.

4.2. Atış Test Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi

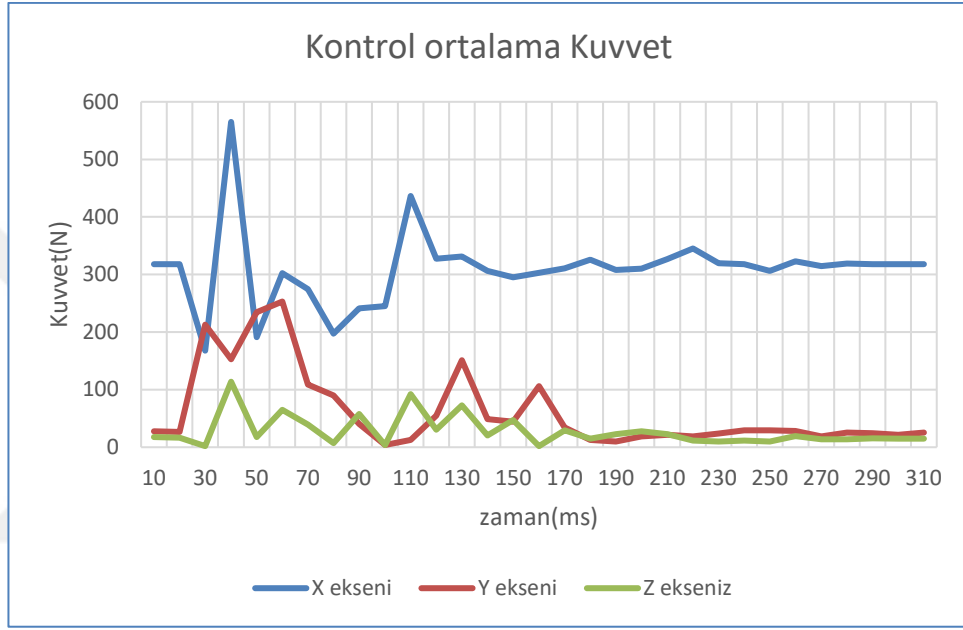
4.2.1. Kontrol Titreşim ve Kuvvet Verilerinin İç Yapılara Göre Karşılaştırılması



Şekil 4.3. Kontrol titreşim verisinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.3’de Kontrol titreşim verisinin deney şemasında gösterilen Şekil 4.2’de gibi konumlanan x, y, z eksenlerinde oluşan ivmeler gözükmemektedir. Deneyler sırasında karşılaştırılabilir ve yorumlama sırasında kıyaslanması açısından hiçbir numune bağlanmadan önce test atışları yapılmasına karar verilmiştir. Titreşim verilerini ivme ölçümü yaparak elde ederek cihazın sensör bağlantısı yapılan kamera bağlantı noktasından bağlanarak oluşan ivmeye bağlı hareket ile kamera noktasına bağlanan sensör sayesinde alınmaktadır. Böylelikle hedef hassasiyeti için önemli bir noktadan veriler alınarak karşılaştırmalı sonuçlar alması sağlanmıştır. Sensör montajında X ekseninin yer yüzüne dik olması sebebiyle yerçekimi ivmesi olan 9,81 m/s² değeri nominal değer olmaktadır. Diğer eksenler olan y ve z eksenlerinde yer yüzüne paralel olması sebebiyle nominal değerleri sıfıra yakınsamaktadır. Hiçbir numune olmadan

yapılan atış testleri sonucunda x ekseninde ivme değerinin 18.8 değerlerine kadar çıktığı sonrasında -6 değerlerinde aksi yönde hareket yaptığı gözlemlenmiştir. Y ekseninde ise maksimum ivme değeri 7 m/s² ile -6 m /s² arasında olduğu gözlemlenmektedir. Z ekseninde 2,5 m /s² ile -4 m /s² arasında bir salınım olduğu görülmüştür. Sonuçlar sonrasında x ekseninde oluşan ivme salınımı genliğinin yüksek olduğu görülmüştür x ekseninde oluşan hareketin silah sisteminde şahlanma denilen harekete sebep olması sebebiyle diğer numuneler ile kontrol verisi karşılaştırılması yapılırken x eksenindeki değişimlerin incelenmesi yapılmıştır.



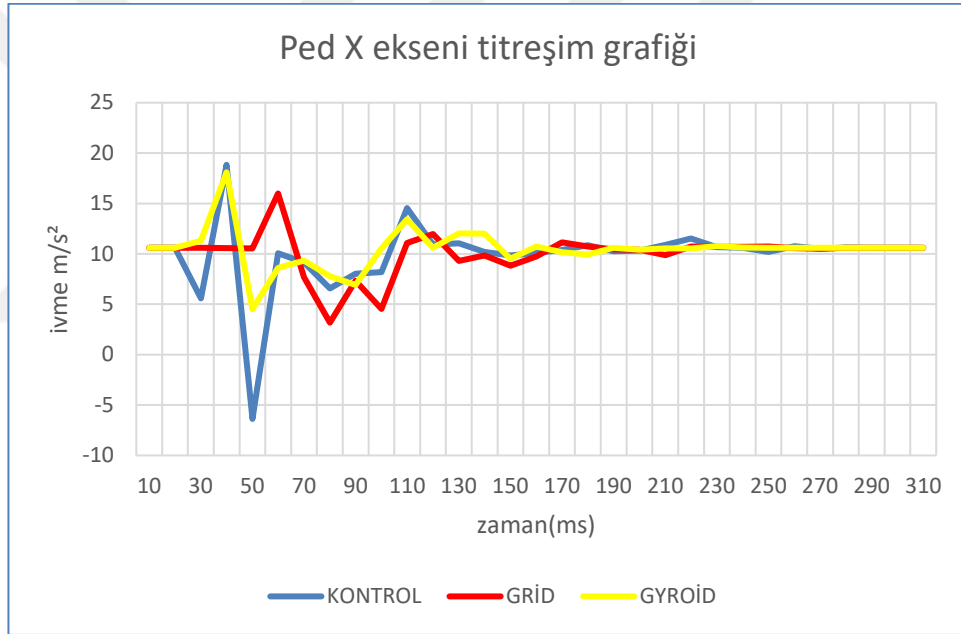
Şekil 4.4. Kontrol kuvvet verisinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.4’de görülen kuvvet verileri de hiçbir numune olmadan ivme verileri ile eş zamanlı olarak alınmıştır. Şekil 4.2’de gözükken kuvvet ölçüm şematğinde görülen eksenler üzerinde ölçüm alınmış olup z eksen silah patlama eksenine paralel olarak oluşan darbe kuvvetinin ölçümü gözükmektedir. Z ekseninde oluşan kuvvet ölçümleri maksimum 550 newton değerlerine kadar çıktığı gözükmektedir. X ekseninde ise 250 newton y ekseninde ise yaklaşık 100 newton değerlerinde olduğu gözükmiştir. Z ekseninde oluşan kuvvetin yüksekliği kontrol deneyleri sırasında gözükmektedir. Numunelerin yerleştirilmesi sonrası diğer bölümlerde z eksenindeki kuvvet karşılaştırılması yapılarak deney sonuçları incelenecektir.

4.2.2. Ped Titreşim ve Kuvvet Verilerinin İç Yapılara Göre Karşılaştırılması

Kontrol verisi sonrası sadece atış platformunun silah kavrama pedleri olarak yapılan ped numuneleri yerleştirilmiştir. Numuneler grid ve gyroid iç yapılar kullanılarak

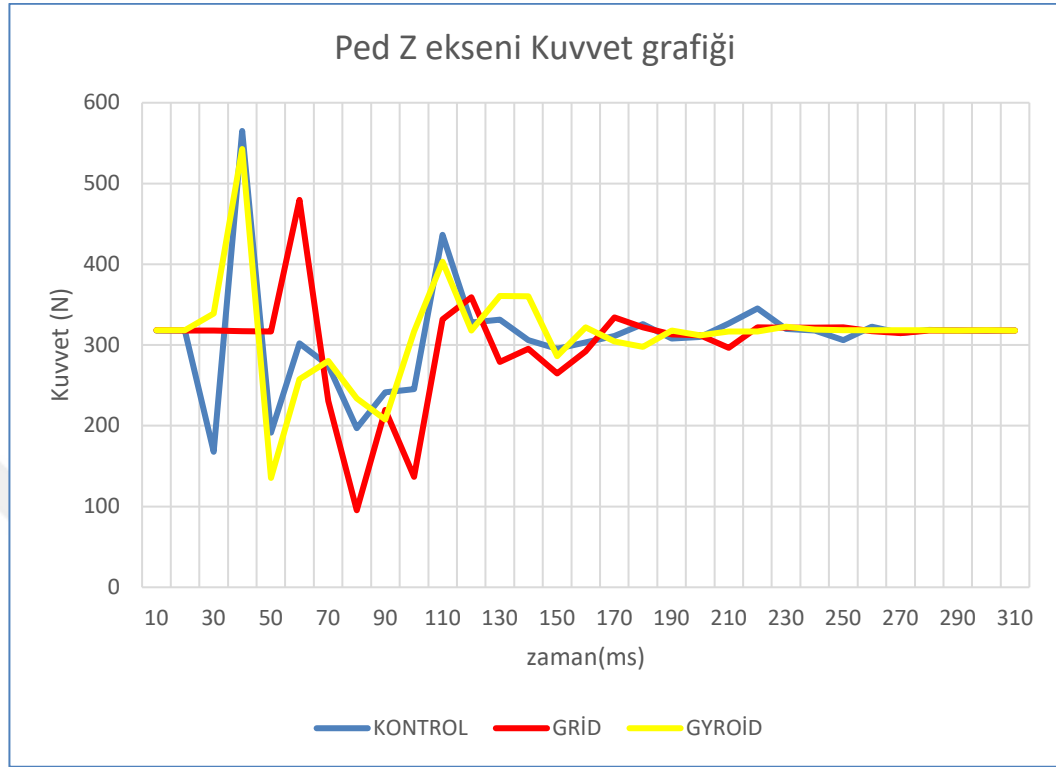
tasarlanmış ve ayrı ayrı atış testleri yapılmıştır. Şekil 4.5’de Ped numunelerinin grid ve gyroid iç yapılarda atış sonrası oluşan ivme değerlerinin kontrol değerleri ile karşılaştırılması grafiksel olarak gösterilmiştir. Deney düzeneğinin montaj konumu gereği x ekseninin hedef hassasiyeti için önemi ve yüksek kontrol deneyi değerleri sebebiyle grid ve gyroid numunelerinin x eksenleri ile karşılaştırmalı grafiği verilmiştir. Deney sonrası grid için maksimum yaklaşık 16 m /s² minimum yaklaşık -6m /s² değerleri gözükmiştir. Gyroid numunede ise maksimum 18 m /s² minimum yaklaşık -5m /s² olduğu gözükmiştir. Her iki numunede de kontrol verisine kıyasla daha düşük ivmelenme değerleri olduğu görülmüştür. Grid ped değerlerinin ise gyroid ped değerlerinden daha yüksek bir sönümlenme yaptığı Şekil 4.5’de gözükmektedir. Ayrıca daha sonraki bölümlerde gösterilecek olan titreşim sönümlenme süresi olarak da milisaniye cinsinden fark oluştuğu grafikte gözükmektedir.



Şekil 4.5. Ped X ekseninde titreşim verisinin grafiksel gösterimi

Şekil 4.6’da grid ped, gyroid ped ve kontrol kuvvet verilerinin grafiksel karşılaştırılması gözükmektedir. Darbe kuvvetinin ölçümü için deney düzeneğinin montaj şekli sebebiyle darbe kuvvetine denk gelen z eksenindeki kuvvet değerlerinin karşılaştırılması kararlaştırılmıştır. Bir önceki bölümde verilen kontrol değeri ile grid ve gyroid iç yapılara sahip silah kavrama ped numuneleri karşılaştırılmıştır. Gyroid iç yapıya sahip ped numunesinin 550 newton’a kadar yükseldiği gözükmiştir. Grid ise 480 newton maksimum darbe kuvveti değerine kadar çıktığı gözükmektedir. Bu sonuçlar ışığında gyroid iç yapıya sahip numunenin kontrol verisinden maksimum değerler olarak yakın olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık grid iç yapıya sahip numunenin kontrol verisinden

anlamli olarak daha düşük kuvvet değeri olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık ilk darbe şiddeti sonrası oluşan salınımlarda kuvvet değerler grafiğinde gyroid numunede olumlu yönde farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

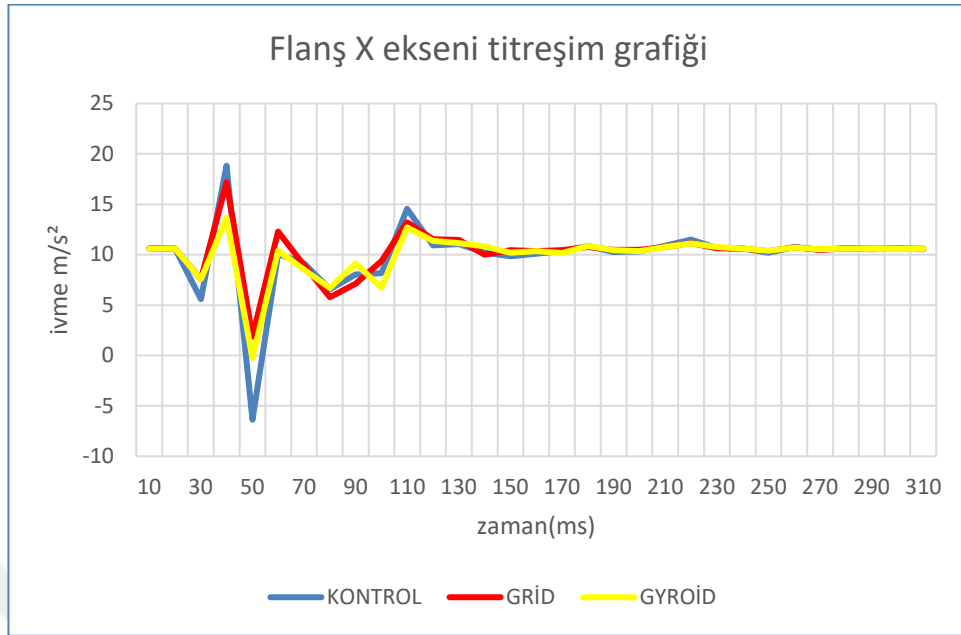


Şekil 4.6. Ped Z eksen kuvvet verilerinin grafiksel gösterimi

4.2.3. Flanş titreşim ve kuvvet verilerinin iç yapılaraya göre karşılaştırılması

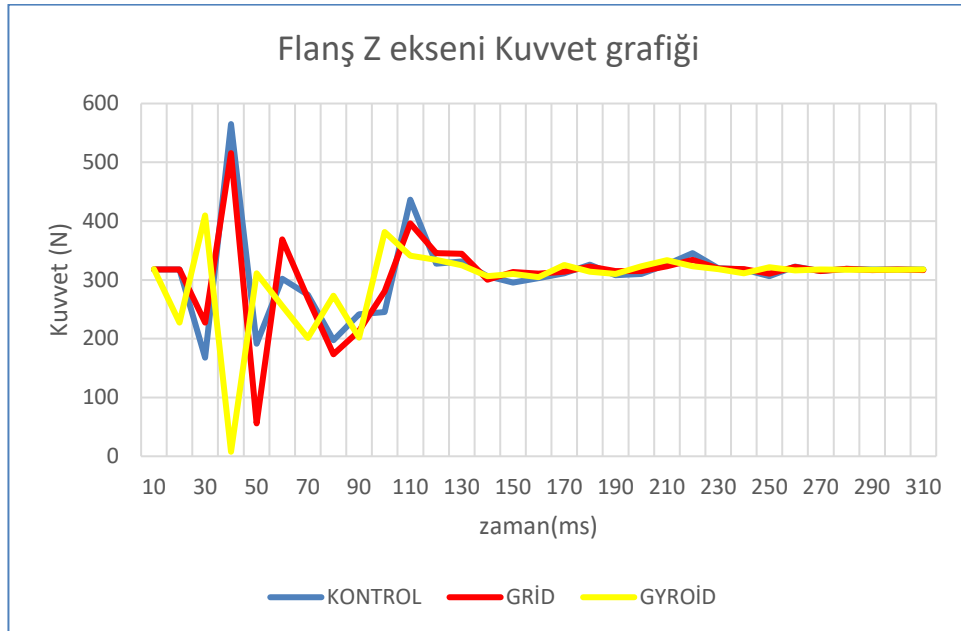
Sadece grid ve gyroid iç yapılaraya sahip ped numunelerinden sonrası silah kavrama pedleri atış platformu üzerinden sökülmüştür. Sadece grid ve gyroid iç yapılaraya sahip flanş numuneleri sırayla silah pod sisteminin eksen tablası üzerine bağlanmıştır. Şekil 4.7’de sadece x eksenindeki ivmelenme değerleri baz alınarak grid ve gyroid iç yapıdaki numunelerin kontrol verisinin x eksenindeki ivmelenme değerleri ile birlikte grafiksel görünümü verilmiştir. İlk olarak titreşim grafiğinde flanş numunelerinin çizdiği desen kontrol verisi ile benzer örüntüyü çizdiği ama farklı tepe ve dip noktaları oluşturduğu gözükümüştür. X ekseninde grid iç yapıya sahip flanş numunesinin 17 m/s^2 ye yakın bir maksimum ivmelenme değeri aldığı gözükümüştür. Minimum ivmelenme değeri ise $1,8 \text{ m/s}^2$ olduğu gözükümüştür. Gyroid iç yapılı flanş numunesinde maksimum 14 m/s^2 ivmelenme değeri görölmektedir. Minimum değer olarak sıfıra yakın değer olduğu gözükmektedir. Bu değerlerin sonucunda gyroid iç yapının flanş numunelerinde titreşim özelinde daha iyi sonuç verdiği gözükmektedir. Grid iç yapıya sahip flanş numunesinin

gyroid yapıya göre daha yüksek değerler çıkmasına karşılık kontrol verisinden daha düşük veri aldığı gözükmemektedir.



Şekil 4.7. Flanş X eksenli titreşim verilerinin grafiksel gösterimi

Titreşim verileri ile beraber deney şematiğindeki gibi bağlanan kuvvet sensöründen alınan eş zamanlı Z ekseninden alınan kuvvet verileri Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Sadece grid ve gyroid iç yapıya sahip flanş numunelerinin kontrol verisi ile beraber karşılaştırılmış grafiği gözükmemektedir.



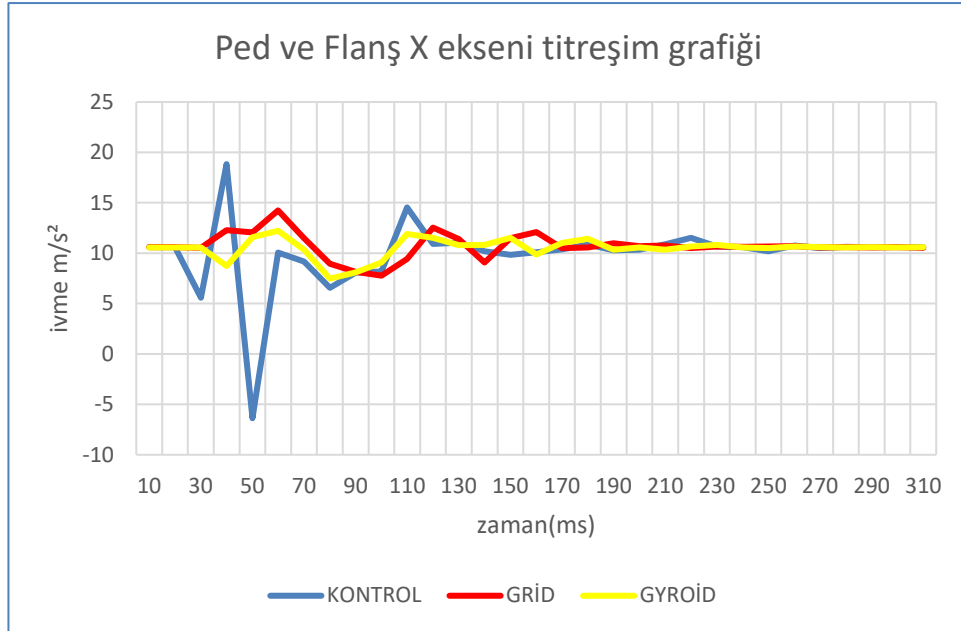
Şekil 4.8. Flanş Z eksenli kuvvet verilerinin grafiksel gösterimi

Grid iç yapıya sahip flanş numunesinin maksimum kuvvet değeri yaklaşık 500 newton olduğu gözükmemektedir. Gyroid iç yapıya sahip flanş numunesinin yaklaşık 400 newton

değerinde olduğu gözükmemektedir. Gyroid numune en düşük darbe kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. Grid numunesinin ise kontrol verisinden daha düşük ama gyroid numuneye kıyasla daha yüksek olduğu gözükmemiştir. Bununla birlikte maksimum değerlerden farklı olarak grafik incelendiğinde grid verisinin kontrol verisi ile benzer örüntüye sahip grafik oluşturduğu gözükmemektedir. Öte yandan gyroid verileri daha farklı bir grafik izlediği gözükmemektedir.

4.2.4. Ped ve Flanş Titreşim ve Kuvvet Verilerinin İç Yapılara Göre Karşılaştırılması

Kontrol verilerinden sonra farklı iç yapılara sahip ped ve flanş numuneleri ayrı ayrı ölçümler alındıktan sonra aynı iç yapıya sahip ped ve flanş numuneleri aynı anda bağlandıktan sonra tekrar test atışları yaparak son deneyler yapılmıştır. Grid iç yapıdaki ped ve flanşlar test düzeneğine bağlandıktan sonra atış testleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında gyroid iç yapıya sahip ped ve flanş numuneleri aynı anda bağlanarak test atışları gerçekleştirilerek deneyler yapılmıştır. Testler sonrasında ivmelenme değerleri sadece x ekseninde olacak şekilde kontrol verileri ile birlikte grafikte gösterilmiştir. Şekil 4.9'da ivmelenme verileri kontrol, grid ve gyroid numuneler olacak şekilde gösterilmiştir. Ped ve flanş numunelerin aynı anda bağlandığı testlerde kontrol verilerinden gözle görülür olarak fark oluştuğu gözükmemiştir.

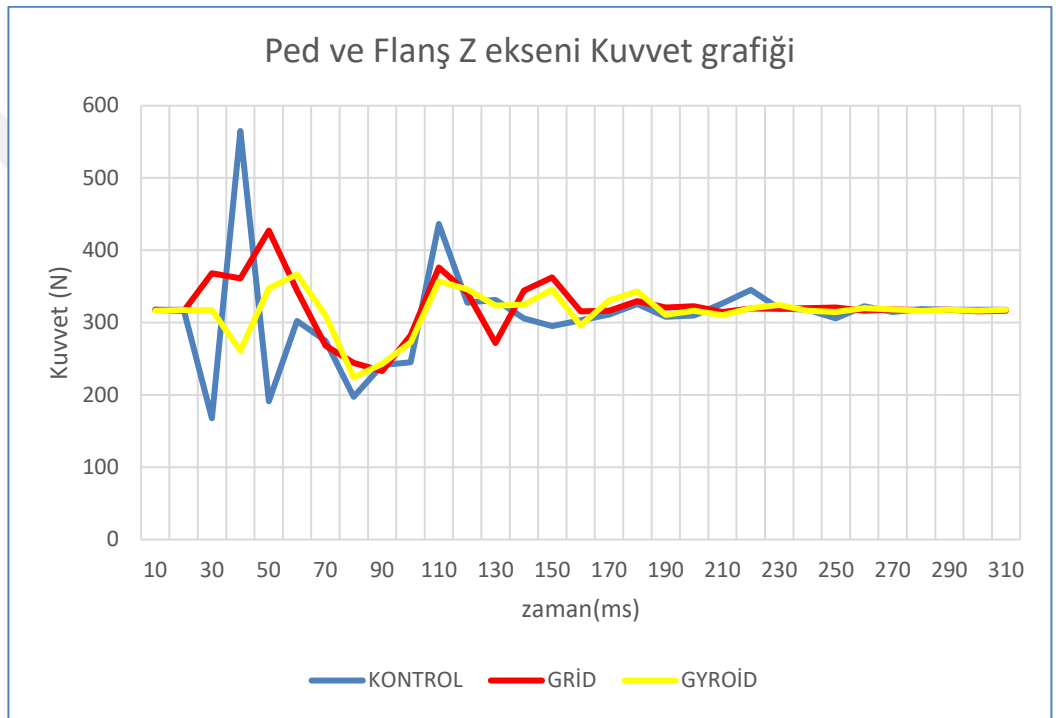


Şekil 4.9. Ped ve Flanş X eksenli titreşim verilerinin grafiksel gösterimi

Grid iç yapıya sahip numunelerin maksimum ivmelenme değeri x ekseninde 14 m /s² olduğu gözlemlenmiştir. Minimum değer olarak ise 7,75 m /s² olduğu gözükmemiştir.

Gyroid iç yapıda ise 12 m/s^2 maksimum ivmelenme minimum $7,74 \text{ m/s}^2$ gözlemlenmiştir. Kontrol verilerine kıyasla oldukça düşük olduğu gözükmiştir. Aynı zamanda ivme değerlerindeki düşüşle beraber titreşim sönümlenme süresinde de belirgin bir fark olduğu gözükmiştir. Gyroid yapının grid iç yapıya kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlarla birlikte TPU malzemeden üretilmiş olan numunelerin titreşim sönümlenmesinde fark yarattığı deneylerle gözlemlenmiştir.

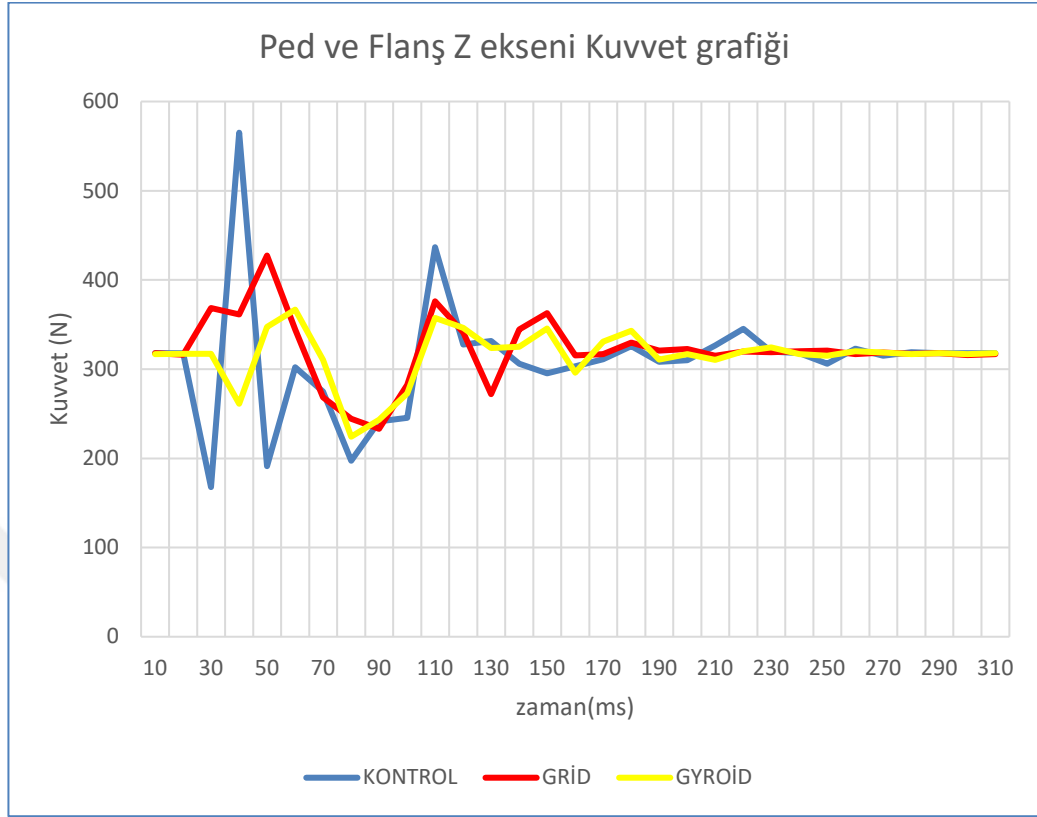
İvmelenme verileri ile birlikte eş zamanlı olarak da kuvvet verileri ölçülmüştür. Ölçümler aynı ivmelenme verilerindeki gibi aynı iç yapıya sahip ped ve flanş numuneleri birlikte bağlanıp test atışları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.10. Ped ve Flanş Z ekseni kuvvet verilerinin grafiksel gösterimi

Grid ve gyroid iç yapıdaki numuneler ayrı ayrı atış testleri sonrası z eksenindeki darbe kuvveti ölçümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10'da kontrol verisi ile birlikte grid ped ve flanş ayrı olarak da gyroid ped ve flanş numunelerinin atış sonrası darbe kuvveti verileri gözlemlenmiştir. Grid iç yapıya sahip ped ve flanş numunelerin aynı anda bağlı olan numunelerin olduğu testlerde maksimum 420 newton değer ölçülmüştür. Gyroid iç yapıya sahip numunelerde ise yaklaşık 380 newton değere sahip darbe kuvveti olduğu gözlemlenmiştir. Her iki deney parametreleri de 550 newton olan hiçbir numune bağlı olamayan kontrol verilerine kıyasla oldukça düşük darbe kuvveti değerleri olduğu gözlemlenmiştir. En düşük değer olarak gyroid değeri gözükmektedir. Bu deneyler

sonrasında TPU malzemenin darbe kuvveti olarak sisteme etki ettiği deneyler sonrasında gözükmetedir.



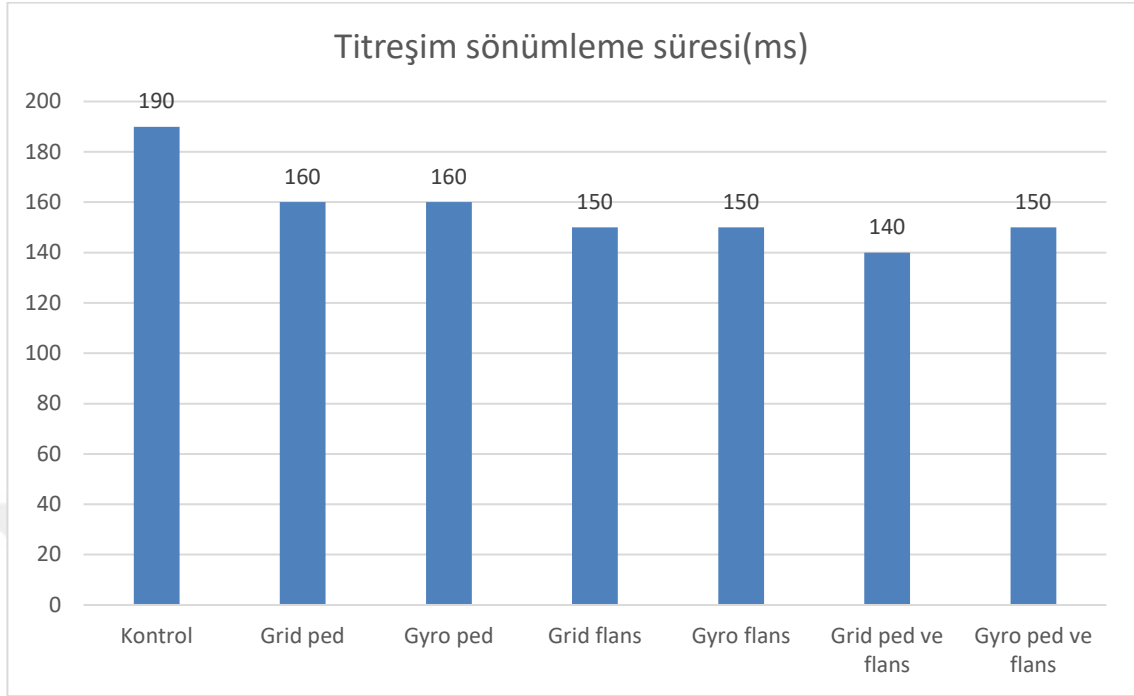
Şekil 4.11. Ped ve Flanş Z eksenli kuvvet verilerinin grafiksel gösterimi

4.2.5. Titreşim Sönümlenme Süresinin Karşılaştırılması

Deneyler sonrasında titreşim grafikleri ve darbe kuvveti grafikleri incelenmiş ve değerler açısından karşılaştırmalı sonuçlar incelenmiştir. TPU'dan üretilen numuneler darbe kuvveti ve titreşim grafiklerinde olumlu yönde etki yaptığı göstermiştir. Maksimum kuvvet ve Maksimum ivmelenme değerlerindeki düşüşle birlikte bir diğer önemli husus ise titreşim sönümlenme süresindeki değişimdir.

Şekil 4.12'de deney parametrelerine göre titreşim sönümlenme süresindeki değişimi grafiksel olarak gösterimi yapılmıştır. Süre olarak milisaniye cinsinden olan gösterimde hiçbir numune takılmadan yapılan kontrol deneylerinde atışlar sonrası oluşan titreşimin 190ms olduğu gözükmetedir. Grid ped ve gyroid ped numunelerinin titreşim sönümlenme süresi kontrol verisinden düşük olduğu ve 160ms gözlemlenmektedir. Grid flanş ve gyroid flanş numunelerinin 150ms titreşim sönümlenme süresi olduğu gözükmetedir. Son olarak aynı iç yapıya sahip iki grid ped ve flanş numunenin beraber bağlandığı deneyde 140ms gyroid ped ve flanş numunelerin bağlandığı deneyde 150ms olduğu gözükmiştir. Deneyler göstermiştir ki TPU malzemenin yapılan numuneler

titreşim sönümlenme süresi olarak etki ettiği göstermiştir en düşük süreyi grid ped ve flanş numunelerin aynı anda bağlandığı testlerde sağlandığı gözükmektedir.



Şekil 4.12. Titreşim sönümlenme süresinin grafiksel gösterimi

Gyroid ped ve flanş numunelerin daha yüksek darbe kuvveti ve ivmelenme sönümlenmesi yapmasına karşılık grid ped ve flanş numunenin daha hızlı titreşimleri normal düzeye indirdiği deney sonuçlarında gözükmektedir. Deney sonuçlarının toplu değerlendirilmesi ve sonuçların sonucuna göre öneriler Sonuç ve öneriler başlığında incelenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında gelişen eklemeli imalat yöntemleri ile ülkemizde son yıllarda hızla gelişen savunma sanayimizin ürünlerinden biri olan Savhatek Savunma sanayi firmasının ürettiği Alperen gözcü evrensel hafif atış platformlarında darbe ve titreşim sönümlemesi yapılması incelenmektedir. Hafif sınıf atış platformları taşınabilir sistemler olduğundan hafifliğin önemi oldukça önemlidir. Bu hafiflik ile beraber atışların hedef hassasiyetinin ihtiyaçlar odağında kalması gerekmektedir. TPU malzemenin esnek yapısını kullanarak üretilen numunelerin atışlar sonrası oluşan darbe ve titreşim sönümlenmesi yapılması hedeflenmiş ve bu doğrultuda testler yapılmıştır. Testler sırasında 12 cal tek kurşun bir tüfek siteme bağlanarak atışlar yapılmıştır. Sistemin atış yapmaya müsait en yüksek kalibre mermi kullanarak oluşan darbe ve titreşimin sönümlenmesi daha net gözlemlenmesi istenmektedir.

TPU malzemesi kullanılarak 3 boyutlu yazıcılar ile üretilen grid ve gyroid iç yapılara sahip numuneler kullanılarak hafif atış platformunda darbe kuvveti ve titreşim sönümleme testleri yapılmıştır. İlk olarak hiçbir numune kullanılmadan yapılan atışlar ile kontrol verileri alınarak diğer numuneler kullanılarak yapılan testler sonuçlarının karşılaştırılması planlanmıştır. Numuneleri bağlantı noktalarına göre ve iç yapılarına göre ayırarak yedi ayrı test yapılmıştır. Testler sırasında beşer atış yapılarak her deney parametresi için ortalama değerler alınarak kaydedilmiştir. Bu sayede ölçüm hatalarını minimuma indirilmesi sağlanmıştır.

Deneyler sırasında iki ayrı değer aynı anda ölçüm alınmıştır. Titreşim ölçümü için ivme sensörü kullanılmıştır. Darbe kuvveti için ise bir yük sensörü seçilerek darbe kuvvetinin ölçümü sağlanmıştır. İvme sensörü sistemin hedef hassasiyeti için önem arz eden görüntüleme modülünün alt kısmına monte edilmiş böylelikle kamera üzerindeki titreşim ve ivme ölçümü sağlanmıştır. İvme sensörü x eksenine dik olacak şekilde Şekil 3.2’de gösterildiği gibi montajı yapılmıştır. Darbe ölçümü için silah sisteminin namlu ile aynı eksende olacak şekilde z eksenine dik yerleştirilmiştir. Dipçik sisteminin arkasına sabitlenen sensör silah patlaması anında dipçikte oluşan darbe kuvvetini ölçerek sisteme gelen yükleri ölçümü sağlanmıştır.

Kontrol verisi ile birlikte yedi ayrı parametrede deneyler gerçekleştirildi. Bu deneyler esnasında X, Y, Z eksenlerinde ivme ve kuvvet değerleri alınarak gözlemler yapıldı. Bu ölçümler sonucunda maksimum ve minimum ivme değerleri, maksimum darbe kuvveti

değerleri ölçülmüştür. İvmelenme ile birlikte atış sonrası titreşimin nominal değere olduğu titreşim sönümlenme süresinin olduğu bir Çizelge olarak oluşturuldu.

Test sonrası oluşan ivmelenme ve darbe kuvvetleri kullanım yerlerine göre ayrı başlıklarda toplanarak grid ve gyroid iç yapılarda karşılaştırmalı titreşim ve darbe kuvveti grafikleri oluşturuldu. Kontrol verisi üç eksenle ivmelenme ve darbe kuvveti verilerinin grafikleri oluşturuldu. Karşılaştırma sırasında titreşim için x ekseni tercih edildi. Deney şemasında gözüktüğü üzere x ekseni silah sistemlerindeki şahlanma denilen olayın gerçekleştirildiği için bu eksen üzerinde titreşim verilerinin incelenmesi kararlaştırıldı. Darbe kuvvetinde ise patlama doğrultusu olan z ekseni üzerinde karşılaştırılmalı grafiklerin yapılması ve değerlendirilmesi kararlaştırıldı.

Görünüyor ki TPU malzeme kullanılarak üretilen ped ve flanş numunelerinin kullanıldığında titreşim maksimum ve minimum değerlerinde olumlu değişimler gözlemlendi. Hiçbir malzeme kullanılmadan yapılan kontrol test atışları ile grid ped ve gyro ped kullanılarak yapılan testler arasında gözle görülür ama düşük farklar gözlemlenmiştir. Bu farklar grid ped ile kontrol verilerinde yüzde 20'ye kadar iyileşme gözükümüştür. Bununla birlikte gyroid ped kullanılarak yapılan testlerin kontrol verilerinden yüzde 5'e yakın bir değişim gözükümüştür. Sadece grid flanş kullanarak yapılan testlerde yüzde 10'a yakın değerlerde iyileşme saptanmıştır. Gyroid flanş ile yapılan deneylerde ise kontrol değerlerine kıyasla yüzde 37'e yakın iyileşme gözükümüştür.

Son olarak titreşim ve darbe sönümlenmelerinde grid iç yapıya sahip ped ve flanş numunelerinin aynı anda kullanıldığı testlerde yüzde 32 değerinde iyileşme saptanmıştır. Gyroid iç yapıdaki ped ve flanş numunelerin beraber kullanıldığı testlerde ise darbe ve titreşim sönümlenmesinde yüzde 50'ye yakın iyileşme gözlemlenmiştir.

Deneyler göstermektedir ki gyroid iç yapıdaki ped ve flanş numunelerin aynı anda kullanıldığı durumda en yüksek darbe ve titreşim sönümlenmesi sağlanmaktadır.

Bir diğer parametre TPU malzeme numuneleri titreşimin atış sonrası nominal değere tekrar ulaştığı süre olan titreşim sönümlenme süresinde de etkisi olduğu gözükümüştür kontrol verisine kıyasla grid ped ve gyroid ped numuneler yüzde 18, grid flanş ve gyroid flanş numunelerde ise yüzde 25 titreşim sönümlenme süresinde iyileşme gözükümüştür. Gyroid ped ve flanşın aynı anda kullanıldığı test atışlarında ise aynı oranda bir iyileşme gözükmektedir. En yüksek iyileşme ise yüzde 35 oranında grid ped ve flanşın aynı anda kullanıldığı durumda olduğu gözükmektedir.

Yapılan bu çalışma ile TPU malzemenin hafif atış platformlarında atış sonrası oluşan darbe kuvveti ve titreşim sönümlemede etkisinin olduğu görülmüştür.

Bu çalışma sonucunda TPU malzemenin darbe sönümlemesine etkisi umut vermiş ve farklı parametreler ile farklı sonuçlar alınabileceği gözlemlenmiştir. Deneyler sırasında kullanılan shore95a kullanılan filament yerine farklı shore değerlerindeki filamentler kullanılarak testler yapılabilir ve sonuçları incelenebilir. Bir başka deney parametresi olarak belirlenen yüzde 40 doluluk oranında değişikliklere giderek testler tekrar edilmesi mümkündür. Diğer bir parametre olan iç yapı formunun daha başka ya da daha farklı doğrultularda basımı alınarak farklı sönümleme kapasitesine sahip numuneler elde edilebilir. Son olarak farklı numune tasarımları ve yerleşimleri sağlayarak sistemin farklı yerlerine daha fazla numune eklenerek testler tekrar edilerek sonuçları inceleyebiliriz.

KAYNAKLAR

- Anonim *Stereolithography şematik gösterimi*. Erişim adresi: <https://designerdata.nl/production-techniques/rapid-prototyping/stereolithography>
- Anonim *Sarp-L uzaktan komutalı atış istasyonu*. Erişim adresi: <https://aselsankonya.com/tr/ne-yapiyoruz/sarp-l-uzaktan-komutali-stabilize-silah-sistemi>
- Anonim. (2020). Shore sertliği nedir. Erişim adresi: <https://www.teknikurunler.com/shore-sertligi-nedir>
- Anonim. TPU(Termoplastik Poliüretan). Erişim adresi: <https://kimpur.com/tr/diger-sektorler/tpu/>
- Wang, J., Yang, B., Lin, X., Gao, L., Liu, T., Lu Y. ve Wang, R. (2020). Research of TPU Materials for 3D Printing Aiming at Non-Pneumatic Tires by FDM Method. *Polymers* 2020, 12, 2492
- Erkek, M., Kaya, N. ve Güven, C. (2015). Kauçuk Burçların Hiperelastik Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 20, Sayı 1, 2015
- Beloshenko , V., Beygelzimer, Y., Chishko, V., Savchenko, B., Sova, N., Verbylo, D., Voznyak , A. and Vozniak, I. (2021) mechanical properties of flexible TPU-based 3D printed lattice structures role of lattice cut direction and architecture. *Polymers* 2021, 13, 2986.
- Chapa, A., Cuan-Urquiza, E., Coronado, P. ve Flores A. (2023). Experimental characterization of the mechanical properties of 3Dprinted TPU auxetic cellular materials under cyclic compressive loadings. *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 29 No. 9, pp. 1800-1813.
- Chen A-N, Wu J-M, Liu K, et al. High-performance ceramic parts with complex shape prepared by selective laser sintering: A review. *Advances in Applied Ceramics*. 2018;117(2):100-117.
- Corsi, M., Bagassi, S., Moruzzi, M. ve Weigand, F. (2020). Additively manufactured negative stiffness structures for shock absorber applications, *Mechanics of Advanced Materials and Structures* , 29:7, 999-1010,
- Çelik İ., Karakoç F., Çakır MC. ve Duysak A. (2013) Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.2013, 031: 53-70.
- Bhagia, S., Bornani, K., Agrawal, R., Satlewal, A., Đurkovič, J., Lagaña, R., Bhagia, M., Yoo, C., Zhao, X., Kunc, V., Pu, Y., Ozcan, S. ve Ragauskas, A. (2021). Critical review of FDM 3D printing of PLA biocomposites filled with biomass resources,

characterization, biodegradability, upcycling and opportunities for biorefineries
Applied Materials Today Volume 24, 2021, 101078.

Ertem, V. (2010). *Pasif titreşim ve şok yalıtıcılarının optimum tasarımı*. (Yüksek lisans tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Evlen, H. (2019). Doluluk Oranının 3B Yazıcıda Üretilen TPU ve TPE Numunelerinin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 21(63), 793-804.

Shen, F., Yuan, S., Guo, Y., Zhao, B., Bai, J., Qwamizadeh, M., Chua, C., Wei, J. ve Zhou, K. (2016). Energy Absorption of Thermoplastic Polyurethane Lattice Structures via 3D Printing: Modeling and Prediction. *International Journal of Applied Mechanics* Vol. 8, No. 7 (2016) 1640006 (13 pages)

George E., Liacouras P., Rybicki FJ. ve Mitsouras D. (2017) Measuring and establishing the accuracy and reproducibility of 3D printed medical models. *Radiographics* 2017; 37(5): 1424-1450

Hashemi M., Hatami O. ve Tajbakhsh MR. (2023) Investigation of the performance of the structure and energy absorption in sandwich panels of PLA/TPU manufactured by the FFF technique. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*. 2023;0(0).

Hoy MB. (2013). 3D Printing: Making Things at the Library, *Medical Reference Services Quarterly*, 32:1, 93-99

Jhou, S.-Y., Hsu, C.-C. ve Yeh, J.-C. (2021). The Dynamic Impact Response of 3D-Printed Polymeric Sandwich Structures with Lattice Cores: Numerical and Experimental Investigation. *Polymers* 2021, 13, 4032.

Huntsman (2010) A guide to thermoplastic polyurethanes (TPU)

Jasveer, S. ve Jianbin. X. (2018). Comparison of Different Types of 3D Printing Technologies. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 8, Issue 4

ÖNCÜ, İ.C. ve DOVA, A. (2017). Titreşim Sönümleme Elemanı Olan Kauçuk Burçta Çaplama İşleminin Ömre Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi ve Deneysel Çalışma İle İncelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science* c. 6, sy. 2, ss. 11–18, 2018.

Lee, H., Eom, R. ve Lee Y. (2019). Evaluation of the Mechanical Properties of Porous Thermoplastic Polyurethane Obtained by 3D Printing for Protective Gear. *Advances in Materials Science and Engineering* Volume 2019, Article ID 5838361, 10 pages

Özsolak, O. (2019). Eklemeli İmalat Yöntemleri Ve Kullanılan Malzemeler. *International Journal of Innovative Engineering Applications* 3, 1(2019), 9-14.

- Gülcan, O. (2021). Eklemeli İmalatla Üretilen Kafes Yapıların Mekanik Özellikleri. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*. Cilt 19, Sayı 1, Mayıs 2021
- Yavuz, O. (2022). *Eklemeli Üretim ile Üretilmiş Gyroid Humerus Sabitleme Plağının Güvenilirlik Analizi*, (Yüksek Lisans Tezi). Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Van Noort R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 28(1), 3–12.
- Öztürk, B. (2020). *3 Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Sandviç Yapıların Statik Ve Dinamik Yük Altında Davranışlarının İncelenmesi*. Bursa Teknik Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye
- Holzweber, J., Müller, J., Çakmak, U.D. ve Major Z. (2018). Characterization and modeling of the fatigue behavior of TPU. *Materials Today: Proceedings*, Volume 5, Issue 13, Part 2, 2018, Pages 26572-26577.
- Baler U. T., Aykın E., Okyar A. F., ve Topaloğlu N. (2022). 3D baskılı termoplastik poliüretan esnek dönme mafsallının direngenlik karakterizasyonu, *Politeknik Dergisi*, 25(1): 291-298.
- Boubakri, A., Haddar, N., Elleuch, N. ve Bienvenu Y. (2010). Impact of aging conditions on mechanical properties of thermoplastic polyurethane. *Materials & Design*, Volume 31, Issue 9, 2010, Pages 4194-4201,
- Khatri, N. ve Paul E. (2023). Energy Absorption of 3D Printed ABS and TPU Multimaterial Honeycomb Structures. *3D Printing and Additive Manufacturing*.
- Annual book of ASTM standards book (2012). *Standard terminology for Additive Manufacturing Technologies*.
- Yalçın, B. ve Eergene B. (2017) Endüstride Yeni Eğilim Olan 3-B Eklemeli İmalat Yöntemi ve Metalurjisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi International Journal of Technological Science* Vol. 9, No 3, December 2017 pp. 65-88
- Yap, Y. L., Wang, C., Sing, S. L., Dikshit, V., Yeong, W. Y., & Wei, J. (2017). Material jetting additive manufacturing: An experimental study using designed metrological benchmarks. *Precision Engineering*, 50, 275-285.
- Zeren, M., Alp, N. ve Özel Ş. (2023) *Eklemeli İmalatta Eriyik Yığma Modelleme (FDM) Yöntemi İle Otomotiv Parçalarının Prototipleme Çalışması*. Erişim adresi: <https://kalipdunyasi.com.tr/tr/guncel/84/eklemeli-imalatta-eriyik-yigma-modelleme-fdm-yontemi-ile-otomotiv-parcalarinin-prototipleme-calismasi.html>
- Yavuz E, Yılmaz S. Diş hekimliğinde yeni ve hızla ilerleyen üretim teknolojisi: 3 boyutlu yazıcılar. *Akdeniz Tıp Dergisi* 2021; 7(2):197-205