



**DARBE EMİCİ GÖZENEKLİ POLİMER  
MALZEMELERİN TASARIMI,  
OPTİMİZASYONU VE 3B PROTOTİPLEME  
TEKNOLOJİSİYLE ÜRETİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulkadir YILDIRIM

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2020

Bu tez çalışması 18. FEN. BİL. 69 numaralı proje ile AKUBAP tarafından desteklenmiştir.

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DARBE EMİCİ GÖZENEKLİ  
POLİMER MALZEMELERİN TASARIMI,  
OPTİMİZASYONU VE 3B PROTOTİPLEME  
TEKNOLOJİSİYLE ÜRETİMİ**

**Abdulkadir YILDIRIM**

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Temmuz 2020**

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

**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.**

24 / 07 / 2020

Abdulkadir YILDIRIM

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DARBE EMİCİ GÖZENEKLİ POLİMER MALZEMELERİN TASARIMI, OPTİMİZASYONU VE 3B PROTOTİPLEME TEKNOLOJİSİYLE ÜRETİMİ

Abdulkadir YILDIRIM

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Otomotiv sektörü, günümüzde vazgeçilemez ulaşım unsurlarının başında gelmektedir. Resmi rakamlara göre ülkemizde yirmi bir milyonu aşkın araç trafiğe kayıtlıdır. Sayının artmasıyla birlikte trafik kazalarında da genel çerçevede artış gözlemlenmiştir. Yine resmi rakamlara göre ülkemizde son yıllarda ortalama bir milyon trafik kazası meydana gelmektedir. Trafik kazaları maddi hasarla birlikte beraberinde can kaybı da yaşanabilmektedir.

Yaşanan bu gelişmelerle birlikte taşıtlarda darbe emici özelliğın hayati bir öneme sahip olduğu gözler önüne serilmektedir. Taşıtların imalatçılarının da darbe emici malzemeler yoğun çalışma yaptıkları bilinmektedir. Günümüzde darbe emici özelliğe sahip malzemelerin başında da gözenekli malzemeler gelmektedir. Gözenekli malzemelerin başında metalik köpükler gelmektedir. Ancak metalik köpükler çok yüksek enerjili kazalarda ön plana çıkmaktadırlar ve üretim esnasında gözenek boyutları kontrol edilemediğinden random bir üretim söz konusudur. Taşıtlar gibi düşük enerjili kazalarda metalik köpüklerden enerji absorbesi beklenmemektedir.

Yapılan bu çalışmada polimer köpüklü malzemeler üretilerek, düşük enerjili kazalarda taşıtlarda kullanılan malzemelerin darbe emici özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Klasik yöntemlerle yapılan polimerik köpük üretiminde gözenek boyutları kontrol edilemezken bu çalışmada günümüz popüler üretim yöntemlerinden

olan 3B yazıcılarla üretim sayesinde gözenek şekilleri ve boyutları kontrol altına alınarak üretilmiştir. Ayrıca üretilen olan farklı boyutlarda ve şekillerde gözenek boyutlarına sahip numunelerin çeşitli mekanik testleri yapılarak darbe emici özellikleri analiz edilmiştir. Analizler sonucu yapılan olan optimizasyon çalışması ile maksimum verim elde edilmeye çalışılmıştır. Gözenek boyutu ve hücre duvar kalınlığının malzemelerin darbe dayanımı etkileyen ana unsurlardan olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca eklemeli imalatla, darbe emici gözenekli yapının kullanılacağı alana uygun olarak, tasarlanıp uygulanabileceği de görülmüştür.

**2020, xii + 58 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** 3B prototipleme, Darbe emici, Polimer, Gözenekli yapı.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### DESIGN, OPTIMIZATION AND PRODUCTION OF IMPACT ABSORBING POROUS POLYMER MATERIALS WITH 3D PROTOTYPING TECHNOLOGY

Abdulkadir YILDIRIM

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Ibrahim YAVUZ

The automotive industry is one of the indispensable transportation elements today. According to official figures, more than twenty-one million vehicles in our country are registered to traffic. With the increase in the number of traffic accidents, an increase has been observed in the general framework. According to official figures, an average of 1 million traffic accidents has occurred in our country in recent years. Traffic accidents can occur along with financial damage, as well as loss of life.

With these developments, it is revealed that the shock absorbing feature of vehicles is of vital importance. Vehicle manufacturers are also known to work hard on shock absorbing materials. Porous materials are one of the most shock absorbing materials today. Metallic foams are the leading materials. However, metallic foams come to the fore in very high energy accidents and there is a random production as the pore sizes cannot be controlled during production. Energy absorption from metallic foams is not expected in low energy accidents such as vehicle-pedestrian.

In this study, it is aimed to improve the shock absorbing properties of the materials used in vehicles in low energy accidents by producing polymer foam materials. While the pore sizes cannot be controlled in the production of polymeric foam made by classical methods, in this study, it will be produced by controlling the pore shapes and sizes thanks to the production with 3D printers, which is one of the popular production

methods of today. In addition, the impact absorbing properties of the samples with different sizes and shapes of pore sizes will be analyzed by performing various mechanical tests. Maximum efficiency will be tried to be obtained with the optimization study to be carried out as a result of the analyzes. It is determined that the pore size and cell wall thickness are the main factors affecting the impact resistance of the materials. It has also been found that with the additive manufacturing, the impact absorbing porous structure can be designed and applied in accordance with the area to be used.

**2020, xii +58 pages**

**Keywords:** 3D prototyping, Shock absorber, Polymer, Porous structure.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ'a ve Arş. Grv. Ahmet Fatih YURAN'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen bölüm başkanı Sayın Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN'e ve her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma 18. FEN. BİL. 69 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Katkılarından ötürü AKUBAP birimine teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca, şahsıma olan güvenleri ile birlikte her şartta ve özellikle zorlukta, maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Abdulkadir YILDIRIM

Afyonkarahisar 2020



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Otomotiv Endüstrisinde Polimer Köpük Malzeme Kullanımı .....	1
1.2 Amaç ve Kapsam .....	3
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	4
2.1 Gözenekli Yapılar .....	4
2.2 Üç Boyutlu Yazıcılar İle Üretim.....	8
2.2.1 3B yazıcı türleri.....	11
2.2.2 Filament türleri ve kıyaslanması .....	11
2.3 Optimizasyon Süreci.....	13
3. MATERYAL ve METOT .....	14
3.2 Numune Tasarımı .....	16
3.2.1 Numune Tasarımının Temel Parametreleri.....	16
3.2.2 Gözenekli Numunelerin Tasarım Hesaplamaları .....	18
3.2.2.1 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 1 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	19
3.2.2.2 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 2 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	20
3.2.2.3 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 3 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	20
3.2.2.4 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 4 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	21
3.2.2.5 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 1 mm Duvar Kalınlığı 0,5 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	22
3.2.2.6 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 2 mm Duvar Kalınlığı 0,5 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	23

3.2.2.7 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 3 mm Duvar Kalınlığı 0,5 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	24
3.2.2.8 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 4 mm Duvar Kalınlığı 0,5 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	25
3.2.2.9 Kare Prizma Gözenekli Yarıçapı 1 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	26
3.2.2.10 Kare Prizma Gözenekli Yarıçapı 2 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	27
3.2.2.11 Kare Prizma Gözenekli Yarıçapı 3 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	28
3.2.2.12 Kare Prizma Gözenekli Yarıçapı 4 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları .....	29
3.2.3 Gözenekli Malzemelerin Tasarımının Gerçekleşmesi.....	30
3.3 Üretim Sürecinde Seçilen Önemli Değerler .....	37
3.4 Yapıda Çapı 1 Mm Olan Numune Üretim Süreci.....	37
3.5 Bir Serinin Toptan Üretim Süreci .....	38
3.6 Numunelerin Basma Testleri .....	39
3.7 Optimizasyon ve Karma Yapı Tasarımı .....	40
3.8 Numunelerin Yoğunluk Hesabı .....	40
4. BULGULAR .....	41
4.1 Numunelerin Yoğunluk Testleri .....	42
4.2 Numunelerin Basma Deney Grafikleri .....	43
4.2.1 Dairesel Gözenekli Numunelerin Test Grafikleri .....	45
4.2.2 Kare Prizma Gözenekli Numunelerin Test Grafikleri .....	48
4.2.3 Farklı Gözenek Şekillerinin Kıyaslanması.....	48
4.3 Numunelerin Darbe Absorbe Özellikleri.....	50
4.4 Optimize Edilmiş Karma Yapı Test Grafiği .....	51
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	53
6. KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	58

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

.stl	Stereolithography
Cm <sup>3</sup>	Santimetreküp
g	Gram
m	Metre
mm	Milimetre

### Kısaltmalar

---

3B	Üç Boyutlu
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene (Termoplastik)
D1-1	Gözenekleri, dairesel ve yarıçapı 1 mm, duvar kalınlığı 1 mm olan numune
D1-2	Gözenekleri, dairesel ve yarıçapı 2 mm, duvar kalınlığı 1 mm olan numune
D1-3	Gözenekleri, dairesel ve yarıçapı 3 mm, duvar kalınlığı 1 mm olan numune
D0,5-1	Gözenekleri, dairesel ve yarıçapı 1 mm, duvar kalınlığı 0,5 mm olan numune
D0,5-2	Gözenekleri, dairesel ve yarıçapı 2 mm, duvar kalınlığı 0,5 mm olan numune
D0,5-3	Gözenekleri, dairesel ve yarıçapı 3 mm, duvar kalınlığı 0,5 mm olan numune
D0,5-4	Gözenekleri, dairesel ve yarıçapı 4 mm, duvar kalınlığı 0,5 mm olan numune
FDM	Fused Deposition Modelling (Eriyik Yığıma modelleme)
Kare 1	Kare prizma gözenekli, kenarı 1 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune
Kare 2	Kare prizma gözenekli, kenarı 2 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune
Kare 3	Kare prizma gözenekli, kenarı 3 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune
Kare 4	Kare prizma gözenekli, kenarı 4 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune
PC	Polikarbonat
PLA	Polilaktik Asit
PVA	Polivinül Alkol
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Örnek taşıt üzerinde kullanılan polimer malzemeler .....	2
Şekil 2.1 Örnek bir taşıt üzerinde kullanılan yapısal köpükler. ....	5
Şekil 2.2 Üç ana bölgeyi ve önemli parametreleri gösteren hücresel bir katının şematik basınç gerilme-gerilme davranışı .....	7
Şekil 2.3 Katmansal üretim süreci.....	10
Şekil 2.4 PLA filamentinin özelliklerinin şekil üzerinde gösterimi.....	12
Şekil 2.5 ABS filamentinin özelliklerinin şekil üzerinde gösterimi.....	12
Şekil 2.6 PETG filamentinin özelliklerinin şekil üzerinde gösterimi .....	13
Şekil 3.1 Tez çalışması sürecinin akış diyagramında gösterilmesi. ....	14
Şekil 3.2 Dairesel gözeneklerin tasarımında iç köşegen kriteri A: 3 boyutlu görünüşü B: 2 boyutlu görünümü. ....	17
Şekil 3.3 Kare prizma gözeneklerinin tasarımında iç köşegen kriteri A: 3 boyutlu görünüşü B: 2 boyutlu görünümü.....	18
Şekil 3.4 Bir kenar ölçüsü hesaplanan küpün modellenmesi ve cisim köşegeninin merkezine gözenek yerleştirilmesinin görünüşü. ....	31
Şekil 3.5 Sekiz köşeye ve merkezine gözenekler yerleştirildikten sonra çoğaltılmaya hazır temel kübik yapı. ....	32
Şekil 3.6 A: Parçaları çoğaltma, B: İlk birleştirme, C: Son parça çoğaltma ve birleştirme işlemi CAD görüntüsü.....	33
Şekil 3.7 Tasarlanan gözenekli yapının çoğaltma işlemi ardından ilk ölçüleri.....	33
Şekil 3.8 Çoğaltma işlemi ardından istenilen ölçülere uymayan ilk tasarımların istenen ölçülere getirilmesi. ....	34
Şekil 3.9 Tüm işlemlerin ardından eklemeli imalat yöntemi ile istenilen ölçülerde hazır tasarım görüntüsü. ....	35
Şekil 3.10 Gözenekli yapı tasarım ve imalatı A: CAD görüntüsü B: İmalat sonrası görüntüsü. ....	35
Şekil 3.11 Dairesel gözenekli duvar kalınlığı 1 mm numunelerin CAD Görüntüsü A: Yarıçap 1mm B: Yarıçap 2 mm C: Yarıçap 3 mm D: Yarıçap 4 mm .....	36
Şekil 3.12 Dairesel gözenekli numunelerin imalat sonrası görüntüleri A: Yarıçap 1 mm B: Yarıçap 2 mm C: Yarıçap 3 mm D: Yarıçap 4 mm.....	36
Şekil 3.13 Yarıçapı 2 mm olan gözenekli yapının eğimli içyapı görüntüsü. ....	37
Şekil 3.14 A: Basma deneyleri sonucu kazalarda optimize edilmiş numune tasarımının görüntüsü, B: üretim sonrası görüntü. ....	40
Şekil 4.1 Dairesel ve duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği. ....	45
Şekil 4.2 Dairesel gözenekli ve hücre duvar kalınlığı 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği.....	46

Şekil 4.3 Dairesel ve hücre boyutu 1 mm olup duvar kalınlıkları 1 mm ve 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği .....	46
Şekil 4.4 Dairesel ve hücre boyutu 2 mm olup duvar kalınlıkları 1 mm ve 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği .....	46
Şekil 4.5 Dairesel ve hücre boyutu 3 mm olup duvar kalınlıkları 1 mm ve 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği .....	47
Şekil 4.6 Dairesel ve hücre boyutu 4 mm olup duvar kalınlıkları 1 mm ve 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği .....	47
Şekil 4.7 Kare prizma ve duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği. ....	48
Şekil 4.8 Dairesel yarıçapı 1 mm ve duvar kalınlığı 1 mm ile kare prizma gözeneğe sahip ve bir kenarı 1 mm duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği .....	48
Şekil 4.9 Dairesel yarıçapı 2 mm ve duvar kalınlığı 1 mm ile kare prizma gözeneğe sahip ve bir kenarı 2 mm duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği .....	49
Şekil 4.10 Dairesel yarıçapı 3 mm ve duvar kalınlığı 1 mm ile kare prizma gözeneğe sahip ve bir kenarı 3 mm duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği .....	49
Şekil 4.11 Dairesel yarıçapı 4mm ve duvar kalınlığı 1 mm ile kare prizma gözeneğe sahip ve bir kenarı 4 mm duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği .....	50
Şekil 4.12 Dairesel gözenekli 1 mm ve 0,5 mm duvar kalınlığına sahip numunelerin enerji absorbe yeteneklerinin kıyaslanması.....	51
Şekil 4.13 Optimizasyon sonrası üretilen “Karma Yapı” test grafiği .....	52
Şekil 4.14 Karma yapıda kırılma noktalarının gösterimi. ....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 3.1</b> Zortrax M200 3B yazıcı özellikleri.....	16
<b>Çizelge 3.2</b> Üretim için 3B yazıcı dilimleyicisinin üretim parametreleri .....	39
<b>Çizelge 3.3</b> MITECH WDW-20 çekme- kopma test cihazı özellikleri.....	39
<b>Çizelge 3.4</b> WTB 200 marka ve modelli cihazın teknik özellikleri .....	40
<b>Çizelge 4.1</b> Gözenekli yapıya sahip numunelerin kritik değerleri .....	42
<b>Çizelge 4.2</b> Tasarımı yapılan numunelerin analiz programı değerleri .....	42
<b>Çizelge 4.3</b> Numunelerin enerji absorbe miktarları .....	50



## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1</b> Zortrax M200 3B yazıcı önden görünüşü. ....	15
<b>Resim 3.2</b> Gözenekli yapıda yarıçapı 1 mm seçilen numunenin üretim esnasında görüntüsü. ....	38
<b>Resim 3.3</b> WTB 200 marka ve modele sahip hassas terazi.....	41
<b>Resim 4.1</b> Numunenin basma deney testi esnasında görüntüsü.....	44
<b>Resim 4.2</b> Dairesel ve duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma test sonrası görüntüleri. ....	44
<b>Resim 4.3</b> Dairesel ve duvar kalınlığı 0,5 mm olan numunelerin basma test sonrası görüntüleri. ....	45
<b>Resim 4.4</b> Kare Prizma numunelerin basma test sonrası görüntüleri. ....	45

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte taşıtlarda ki yenilikler de ardi ardına gelmektedir. Taşıtlarda ki bu gelişmelerin temel odağı konfor, güvenlik ve yakıt tüketimidir. Yakıt tüketimi, maliyeti ile birlikte doğaya salınan emisyon gazlarından dolayı da kullanıcıya yaşattığı sorunlardan ötürü azaltılmak istenen bir durumdur. Güvenlik konusunda ise kaza anında araç içindeki canlıyı korumak için kullanılan malzemenin darbe emici özelliği ile dayanıklılığı çok önemlidir. Dayanımla birlikte taşıtın hafifliği de istenen bir durumdur.

TÜİK verilerine göre 2018 yılında ülkemizde 22.865.921 adet kayıtlı motorlu kara taşıtı bulunmaktadır. Ayrıca yine resmi rakamlara göre 2017 yılında 1.202.716 trafik kazası yaşanmıştır. Yaşanan trafik kazalarında 182.669 can kayıplı ve yaralanmalı trafik kazası yaşanmış ve bu kazalarda toplam 7.427 birey hayatını kaybetmiştir (İnt.Kyn.2). Yaşanan bu kazalarda taşıtların darbe emici özelliklerinin taşıdığı hayati önem gözler önüne serilmiştir.

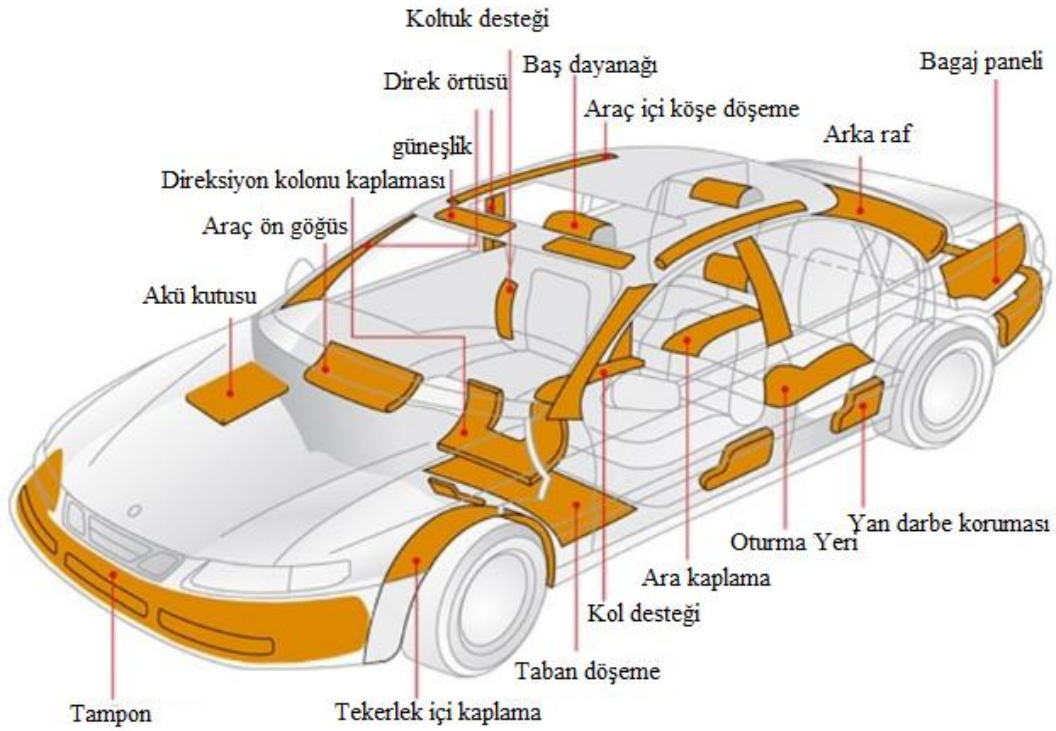
### 1.1 Otomotiv Endüstrisinde Polimer Köpük Malzeme Kullanımı

Yayalar ve karayolu taşıtları arasındaki çarpışmalar, halk sağlığı, travma ve trafik güvenliği açısından büyük bir zorluk tehlikedir. Dünya genelinde trafik kazalarında her yıl binlerce insan ölmekte ve milyonlarca kişi de yaralanmaktadır (Crandell ve Bhalla 2002). Alt uzuv yaralanmaları en sık görülen yaya yaralanmasıdır. Yetişkin yayalarda baş ve alt uzuvlar en sık yaralanan vücut parçalarıdır, kafa travması ölümün ana sebebidir. Ön cam ve tampon, yaya kazalarında iki ana yaralanma kaynağıdır. Tampon, yaya ile temas eden ilk bileşendir ve tampon enerji emicisinin yaralanmayı azaltmada önemli rolü vardır. Yaya alt uzuv etkilerinin şiddetini azaltmak için iki genel yaklaşım tanımlanmıştır; alt uzuv tampon ile desteklenmesi ve desteklenmesi ve yeni bir takviye ile darbe sensörleri ve dış hava yastıkları için tampon platformunun kullanılmasıdır (Davoodi vd. 2008).

Otomotiv sektörünün gelecekle ilgili tasarımlarında malzeme dizayn, performans ve alternatiflerindeki tercihleri etkileyecek başlıca faktör ağırlık azaltılmasıdır. Daha hafif



taşıtlar daha az yakıt sarfiyatı ile birlikte, daha az zararlı emisyonu sebebiyet verecektir. Taşıtların hafifletilmesi ile birlikte güç üretim ve aktarma organlarının küçülmesini de beraberinde getirmektedir. Taşıt ağırlığının azalması, yakıt pilleri, hibrit motor vb. güç kaynaklarının taşıtlarda uygulanabilirliklerini de olumlu yönde etkilemektedir (Gören vd. 2003).



**Şekil 1.1** Örnek taşıt üzerinde kullanılan polimer malzemeler (İnt.Kyn.1).

Otomotiv sektöründe; yakıt tüketimi ile buna bağlı olarak emisyon değerleri ve taşıt parçalarındaki ağırlık tasarrufu sağlanması durumları polimer ve polimer gözenekli malzemelere olan ilgiyi beraberinde getirmektedir. Şekil 1.1’de günümüzde binek araçların çeşitli kısımlarında kullanılmaya başlayan polimer esaslı malzemelere (gözenekli yapılar) örnek verilmiştir. Tamponlar, araç ön göğsü, güneşlik, yan darbe koruması, arka raf, direksiyon kolu kaplaması polimer gözenekli malzemelere örnek olarak verilebilir (Yetgin ve Ünal 2008).

Taşıt gövde malzemelerinde temel beklenti, yüksek burulma direncine sahip olmasıyla kullanıcıyı engebeli yollarda rahat hissettirmek, araca gelebilecek titreşimlerin engellenmesini sağlamak ve yüksek enerji emme özelliğine sahip olmasıyla kaza anında önden, yandan veya arkadan çarpışma sonucu oluşabilecek kuvvetleri en iyi şekilde

absorbe ederek sürücüyü oluşabilecek darbelerden korumasıdır (Bilbay vd. 2019). Bilbay ve arkadaşlarının da çalışmalarında belirttiği gibi özellikle önden kazalardan darbe absorbe yeteneği yüksek malzemelerin kullanımı hayati önem taşımaktadır ve bu tarz taşıt bölümlerinde hafif, absorbe yeteneği olan gözenekli malzemeler kullanılabilir.

## **1.2 Amaç ve Kapsam**

Gelişen teknoloji ve üretim şekilleri ile birlikte günümüzde araç sayısı hızla artmaktadır. Artan araç sayısı ulaşımda kolaylık sağlamakla birlikte çeşitli önemli problemleri beraberinde getirmektedir. Örnek olarak artan kaza sayısı ve yaşanan yaralanma ile ölümler verilebilir. Çünkü artan araç sayısı ile doğru orantılı olarak kaza sayıları artması beklenen bir durumdur. Diğer olumsuz bir örnekte artan emisyonlardır. Araç sayısı arttıkça emisyonlar da artacaktır.

Öncelikle yaşanan can kayıpları, yaralanmalar ve kazalara karşı 2 grupta önlemler alınmaktadır. Bunlardan birincisi aktif güvenlik önlemleridir. Aktif güvenlik önlemleri kaza yaşanmadan önce alınan önlemlerdir. Yani kısaca kazanın yaşanmaması için alınan tedbirler de denilmektedir. Pasif güvenlik önlemi ise kaza yaşandığı esnada yaşanabilecek tüm olumsuz durumlara karşı alınan yapısal ve tasarımsal önlemlerdir. Buna örnek olarak taşıtlarda yapısal olarak geliştirilen darbe emici malzemeler verilebilir.

Güvenlik önlemleri ile birlikte üreticiler daha hafif ancak mukavemeti yüksek, kaza anında oluşan darbe kuvvetini absorbe ederek kazada bulunan canlıları koruyacak malzeme konusunda da çalışmaktadırlar. Hafif malzemeler beraberinde getireceği düşük yakıt tüketimi ile birlikte düşük emisyon miktarına da katkı sağlayacağı için büyük önem arz etmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasında, taşıtlarda pasif güvenlik önlemleri arasında giren darbe emici malzeme tasarlanarak üretilmiştir. Farklı gözenek boyutu ve şekillerine sahip numuneler üretilerek bunların darbe emici özellikleri kıyaslanmıştır. Darbe emici

özelliklerinin belirlenmesi için mekanik testler yapılmış ve performans açısından numunelerin darbe absorbe yetenekleri yorumlanmıştır.

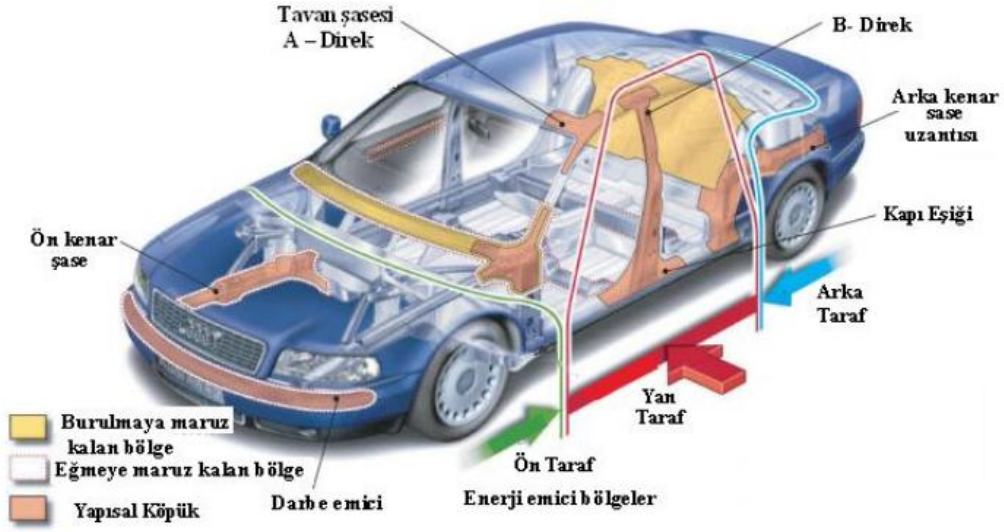
## **2. LİTERATÜR BİLGİLERİ**

### **2.1 Gözenekli Yapılar**

Gözenekli yapılar veya diğer adıyla hücreli yapılar, doğal malzemelerde; kemikler, mercanlar, süngerler, mantarlar vb. gibi günlük yaşamımızda karşılaştığımız yapılarda yaygın olarak bulunur. Aynı zamanda, büyük ölçüde gazlı metallerden oluşan metal köpükler gibi malzeme mühendisliğinde de sık karşılaşılan yapılardır. Hacmin büyük bir bölümünü gözenekler oluşturur. Bu malzemeler genellikle hafif olma veya yüksek darbe emilimine sahip olma gibi arzu edilen fiziksel özellikleri taşıdıklarından bu konu üzerine birçok çalışma yapılmaktadır (Gibson ve Ashby 1999).

Geçtiğimiz yıllarda, araç ve diğer endüstrilerde hafif ve yüksek verimli enerji emici yapılar ve malzemeler için sürekli bir istek vardı. Çok sayıda yayın, işlevsel olarak derecelendirilmiş özelliklere sahip gelişmiş konfigürasyonların daha kontrollü bir şekilde çökebileceğini ve geleneksel üniform yapılar ve malzemelerle karşılaştırıldığında dikkate değer bir enerji emici verimliliğe sahip olabileceğini göstermiştir. Bu gelişmiş enerji emici yapılar ve malzemeler, öncelikle değişken çap, genişlik, duvar kalınlığı, değişken yoğunluklu hücreli malzemeler ve bunların doldurma yapıları ve çok dereceli özelliklere sahip diğer hibrit yapılardır. İnce duvarlı yapıların ve hücreli malzemelerin dereceli özellikler getirerek daha verimli ve etkili enerji emici performans gösterebileceğini göstermektedir. Ek olarak, 3B baskı, çok ölçekli hesaplama vb. Bazı gelişmiş üretim ve modelleme teknolojileri, kademeli yapılar ve malzemeler için çok daha geniş ve uygulanabilir bir kavramsal tasarım sağlar (Xu vd. 2018).

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak otomotiv sektöründe de buna bağlı olarak daha dayanıklı (darbe emilimi yüksek) ve hafif malzeme üretimi konusunda çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 2.1 Örnek bir taşıt üzerinde kullanılan yapısal köpükler (Degischer ve Kriszt 2002).

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi araçların çeşitli yerlerinde yapısal köpükler kullanılmaktadır. Bu çalışmalar doğrultusunda metalik köpükler hafiflikleri ve darbe emici özellikleri ön plana çıkmaktadır. Ayrıca köpük metaller çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Otomotiv sektörü, uzay sanayii, demiryolu taşımacılığı bu alanlara örnek gösterilebilir (Yavuz 2012). Gözenekli yapılar ağırlığın azaltılmasına ek olarak, uyarlanmış boşlukların kullanılması, iyileştirilmiş bir çarpma davranışı sağlar. Bununla birlikte, gözenekli yapıların uygulanması sadece otomotiv sektörü ile sınırlı değil, aynı zamanda diğer teknik alanlarda da kullanılabilir (Merklein vd. 2014) .

Enerji emme uygulamaları için, peteklerin de dâhil olduğu hücresel yapılar, korunan nesne üzerinde yüksek bir stres seviyesi oluşturmadan büyük miktarda enerji emebilir. Bununla birlikte, malzeme seçimine ek olarak, doğru hücre geometrisi, hücre düzenlemesi ve tasarım parametrelerinin seçimi de enerji absorbesi için büyük önem taşımaktadır. Ayrıca enerjiyi emen yapıları kullanmanın amacı yalnızca bir darbeden üretilen belirli bir enerjiyi emmek değil, aynı zamanda iletilen kuvveti ve hasar verebilecek kuvvet eşiğinin altında nesneyi korumaktır (Gibson ve Ashby 1999).

Metaller ve polimer köpükler farklı enerji absorbe malzemeleri arasında, sünek malzeme olarak, enerjiyi absorbe etmede en etkili yollardandır. Ancak, bu enerji

emcilerin dezavantajları, kurtarılamaz ve tekrar kullanılamaz olmaları ve deformasyondan sonra değiştirilememeleridir (Bitzer 1997).

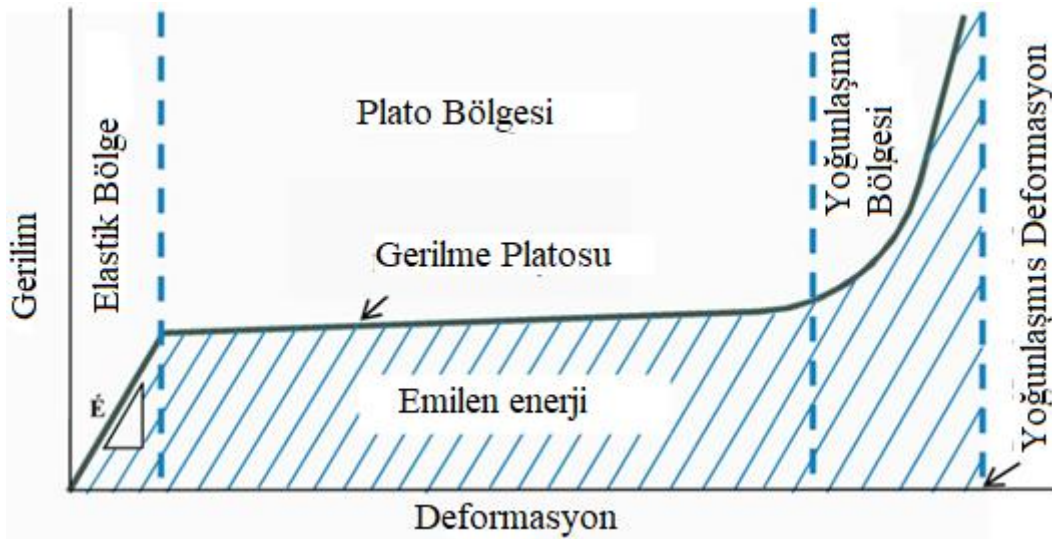
Gözenekli malzemeler otomotiv sektöründe ise enerji absorbesi ile birlikte hafifliği ile de dikkat çekmektedir. Ağırlığın azalması beraberinde yakıt tasarrufu sağlamaktadır, yakıt tasarrufu ise düşük emisyon anlamına gelmektedir. Bu sebepten ötürü oldukça dikkat çekmeye başlamışlardır (Yetgin ve Ünal 2008).

Enerji emici polimerik köpükler, taşıtlarda ön veya yan çarpışmalarda yolcuların yaralanmasını önlemek için otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Köpüklü malzemelerin kullanımı, mükemmel enerji yayma özellikleri nedeniyle, aracın pasif güvenliğinde önemli bir gelişmedir. Ek olarak, düşük yoğunluğa sahiptirler ve nispeten ucuzdurlar. Kolayca modellenebildiklerinden mükemmel tasarım esnekliği sağlarlar. Tipik uygulamalar arasında koltuk minderleri, tampon sistemleri, gösterge panelleri ve yan koruma sistemleri bulunur. Bir çarpma sırasında yolcuların kafa travmasını en aza indirmeye yardımcı olurlar. Yaralanmaların şiddeti, tamponlama olarak yapısal köpüklerin kullanılmasıyla önlenebilir veya en azından hafifletilebilir (Vladimir 2010).

Optimum bir enerji emici malzemenin, kinetik enerjiyi belirli bir limitin altında tutması ve böylece yolcular üzerinde tehlikeli olmayan bir yavaşlama ile sonuçlanması gerekir. Etkili yastıklamanın tasarımı, çarpma sırasında yük transferini etkileyen koruyucu yapının şekli ve geri tepmeyi kontrol eden elastik enerjiyi emme kapasitesi gibi birçok başka husus içerir. Polimerik köpükler bu tür uygulamalar için çok uygundur. Büyük basınç deformasyonlarına uğrayabilir ve önemli miktarda spesifik enerjiyi emebilirler (Brydon ve Bardenhagen 2005). Çeşitli hücre geometrilerinin ve hücre düzenlemelerinin, farklı ezilme deformasyon davranışı ve özellikleri göstermektedir (Liu vd. 2009). Bu tür yapılar üzerinde yapılan çalışmalar, esas olarak, polimerik gözenek yapıları üzerinedir. Bu çalışmalara ek olarak, metalik köpüklerle ilgili çok az araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmada amaç, farklı birim hücre kalınlıklarında üç boyutlu (3B) basılı polimerik gözenek yapılarının düzlemsel statik basınçta kırma davranışını ve enerji emme kapasitesini incelemektir (Habip vd. 2017). 3B basılı

yapıların enerji emme potansiyelini değerlendirmek için, sıkıştırma davranışlarını anlamak gerekir (Avalle vd. 2001).

Duan vd. (2018), gözenek yapıların, yük taşıma ve enerji emiliminde önemli avantajlara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Son yıllarda, değişken kalınlıkta hücre kenarlarına sahip gözeneklerin düzlemsel mekanik özellikleri üzerine bazı araştırmalar yapılmıştır ancak bu tür gözeneklerin düzlemsel olmayan sıkıştırma özellikleri üzerine pek çalışılmamıştır. Bu çalışmada, gözeneklerin değişken kalınlıkta hücre kenarlarına sahip düzlemsel olmayan sıkıştırma özellikleri deneysel analizlerle incelenmiştir. Burada değişken kalınlıktaki hücelere sahip kare ve altıgen petekler bir geometrik parametre ile tanımlanmıştır. Bu gözeneklerin deney örnekleri, 3B baskı teknolojisi kullanılarak imal edilmiş ve bu gözeneklerin yarı statik sıkıştırma testleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, değişken kalınlıkta hücre kenarlarına sahip peteklerin, geleneksel gözeneklere kıyasla geliştirilmiş basınç mekanik özellikleri gösterdiğini göstermektedir. Sunulan kare ve altıgen gözeneklerin basınç dayanımı en yüksek artış oranları sırasıyla, % 57 ve % 19 civarındadır. Ek olarak, bu kare gözeneklerin özgül enerji emilimindeki en yüksek artış oranı % 172'ye kadar çıkmaktadır. Deneysel sonuçlar, uygun geometrik parametrelili kare gözeneklerin geleneksel kare gözeneklerden daha fazla istenen hasar toleransı elde edebileceğini göstermektedir.



Şekil 2.2 Üç ana bölgeyi ve önemli parametreleri gösteren hücresel bir katının şematik basınç gerilme-gerilme davranışı ( Habib vd. 2017).

Boşluklu yapıların basma testleri üzerine enerji absorbe grafiği Şekil 2.2’de verilmiştir. Grafiğin altında kalan alan, gözenekli yapıların darbe absorbe miktarı hakkında bilgi vermektedir. Bu tarz çalışmalarda mekanik testlerin amacı üç yönlüdür. İlk olarak, yapıların dayanıklılığını sağlamak, yoğunlaşma için çoklu baskılara dayanma kabiliyetlerini değerlendirmektir. İkincisi, bu yapıların gerilme-gerilme profilini şerit ve enine doğrultuda sıkıştırma altında oluşturmak, böylece karşılaştırmalı enerji emme kapasitelerinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktır. Son olarak, şekil değiştirme hızı ve şekil değiştirme geçmişinin bu yapıların enerji emme kabiliyeti üzerindeki etkisini incelemektir. Ek olarak, deformasyon ilerledikçe, hücre duvarları karakteristik platoyu üreten kıvrılmaya başlar ve daha sonra nihayet, karşıt hücre duvarları temas eder ve yoğunlaşma meydana gelir; yoğunlaştırmada, yapının sertliği, ana malzemenin sertliğine bağlı olarak, dik bir şekilde artar (Bates vd. 2016).

Değişken kalınlıktaki hücre kenarlarına sahip yüksek nispi yoğunluklu gözeneklerin, sabit kalınlıktaki hücre kenarlarına sahip konvansiyonel gözeneklere göre daha yüksek sıkıştırma kabarma mukavemeti sağladığı görülmüştür (Lin vd. 2013).

3D baskı teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, artık sınırsız birim hücre geometrileri ve geniş bir olası mekanik özellikler yelpazesi sağlayan hücre düzenlemeleriyle gözenekli yapıları yapılabilmektedir. Birim hücre geometrisi ve hücre düzenlemelerinin basınç tepkisini önemli ölçüde etkilediğini ve farklı enerji emme özellikleri sağladığını gösterdi. Ayrıca yapılan çalışmada hücre şekillerinin de enerji absorbe miktarlarında farklılık gösterdiği görülmektedir (Habib vd. 2018). Kelvin yapısının mekanik davranışı, kenar kesiti ve köpük yoğunluğuna dayanan mekanik modeller aracılığıyla belirlenmiştir. Yani kenar kalınlıkları ve gözenekli yapıların yoğunluğu mekanik özelliklerin değerlerinde önemli pay sahibidir (Gong vd. 2005).

## **2.2 Üç Boyutlu Yazıcılar İle Üretim**

3D Baskı, başlangıçta prototip üretmek için pratik bir yöntem olarak geliştirildi. Birkaç rakip teknoloji olmasına rağmen, üretiminde bilgisayar destekli bir tasarım kullanarak malzeme katmanları (bazen plastik, seramik veya hatta metal tozları) oluşturmak

mantığı ile çalışır. Bu nedenle, bir “katkı” süreci olarak adlandırılır; tüm katmanlar, üç boyutlu nesne oluşturulmak için “yazdırılır”. Mekanik aksamlar, özel ayakkabılar, moda ürünleri, aksesuarlar ve diğer tüketim ürünleri, tasarımcı veya mühendisler tarafından incelenmek üzere basılabilir ve revizyonlar aynı şekilde kolayca basılır (İnt.Kyn.3). Uygun ekonomileri nedeniyle seri üretim uygulanabilir. Son olarak 3B basılı ürünün başka avantajları da vardır. Ürünler daha hafif ve aynı derecede güçlü olabilir. Ayrıca az atık ile üretim yapabilmektedirler (Manners-Bell ve Lyon 2012).

1981’de Nagoya Belediye Endüstriyel Araştırma Enstitüsü (Nagoya, Japonya) tarafından ilk defa “katı üretim”, “hızlı prototipleme” veya “3B prototipleme” nin başlangıç noktası olan basılı bir katı modelin üretimini yayınlanmıştır (Kodahama 1988).

Üç boyutlu baskı teknolojileri, mühendislerin hem birim hücre boyutunda hem de geometride tam geometrik özgürlüğe sahip mühendislik hücresel malzemeleri geliştirmelerini ve üretmelerini sağlar. Geleneksel ekstrüzyon işlemleriyle üretilen köpüklerin rastgele hücresel yapılarıyla karşılaştırıldığında, 3B baskılı köpükler, iyi tanımlanmış tekrarlayan birim hücre şekli, büyüklüğü ve yoğunluğuna sahiptir. Ayrıca kafes yapılarının verimli ve üstün enerji emici malzemeler olduğu da yapılan çalışmada görülmüştür (Maskery vd. 2017).

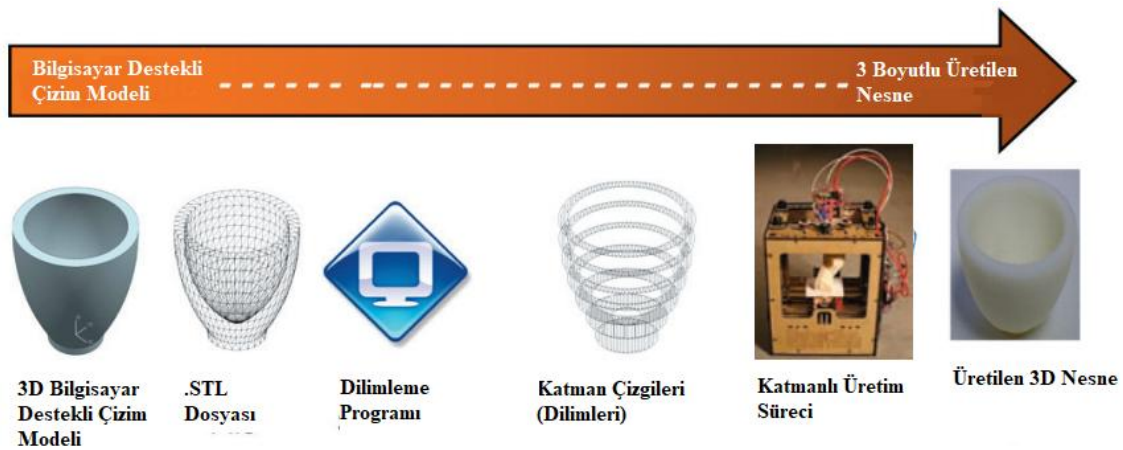
Geleneksel üretim metotları üretim esnası ve üretim sonrası ek işler gerektirdiğinden oldukça meşakkatli ve uğraştırıcıdır. Örnek vermek gerekirse üretim sonrası torna, freze, matkap vb. tezgâhları kullanılması örnek gösterilebilir. 3B yazıcılarla ise geleneksel üretim metotlarına ihtiyaç duymadan hızlı bir şekilde ve en kısa sürede minimum maliyetle parça üretimi hedeflenmektedir (Çelik ve Çetinkaya 2016). Bununla birlikte, geleneksel üretim yöntemleri, karmaşıklıklarını büyük ölçüde düzenli yinelenen kafesler ile sınırlandırmakta, böylece enerji emme kapasiteleri de sınırlandırılmaktadır. 3B baskı, son yıllarda bu teknolojinin erişilebilirliğinin artmasıyla birlikte geleneksel üretim yöntemlerine nazaran rakipsiz bir geometrik tasarım özgürlüğü sağlar (Wang vd. 2015). Katmanlı üretim, dijital bir modelden başlayarak, ilave bir tabakalama işlemini sıralı bir şekilde kullanarak, malzeme ve nesnelere



yaratmaya dayanmaktadır. Geleneksel üretimde işlemlerin çoğu, çıkarma tekniklerine dayanır: başlangıç şekline sahip bir cisimden başlayarak, istenen şekil elde edilinceye kadar malzeme çıkartılır (kesilir, delinir). Geleneksel üretim tekniğinin aksine, 3 boyutlu baskı, istenen şekli elde etmek için ardışık malzeme katmanları eklenmesine dayanır (Pirjan ve Petroşanu 2013).

Mevcut üç boyutlu baskı teknikleri, geleneksel imalatta hayal edilemeyen karmaşık çok işlevli yapıların üretilmesini sağlar. Bu Perspektifte, malzemeler ve üretimdeki son gelişmeler özetlenirse işlevsel malzemelerin 3B baskısının gelecekteki gelişimi için zorluklar ve fırsatlar görülmektedir. Gelecekteki 3B baskının başarısı, yalnızca çok işlevli malzemelere ve baskı tekniklerine değil, aynı zamanda karmaşık sistemlerin akıllı tasarımına da dayanır. İleri mühendislik malzemeleri, katkı maddelerini ve daha da önemlisi yaratıcı tasarımların üretimi söz konusu olabilir. Neyse ki, doğada var olan birçok yapı öğrenilebilir ve bunlar 3B yazıcılarla mühendislik yapılarına uyarlanabilir (Lin vd. 2014).

3B yazıcılarda hammadde olarak kullanılan çeşitli filament (tel halinde sarılmış hammadde) türleri bulunmaktadır. PLA (poli laktik asit), ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), PETG, PC (polikarbonat), PVA (Polivinil Alkol) kullanılan popüler filamentlerdir.



Şekil 2.3 Katmansal üretim süreci (Campell vd. 2011).

3B yazıcı ile üretim süreci, genellikle bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı veya

mevcut bir eser taraması ile oluşturulan nesnenin 3B modeliyle başlar. Özel yazılım, bu modeli kesitsel katmanlara bölerek katmanlı üretim makinesine gönderilen bir bilgisayar dosyası oluşturur. Katmanlı üretim makinesi daha sonra her katmanı malzemenin seçici yoluyla nesneyi oluşturur. Özgün çalışmalar 3B nesnelere olana kadar üst üste malzeme katmanları ekleyerek parçayı üretir. Üretim esnasında hammadde olarak kullanılan filamentler bulunmaktadır. Bu filamentler erime sıcaklığına kadar ısıtılabilen nozullara gelirler ve burada sıvı hale gelerek işlenmeye hazır olurlar. Ardından bilgisayar çizim programında .stl uzantısı alınan yada taranarak elde edilen modelin dilimleyici ile yazıcıda baskıya uygun hale getirilen modelin g-code kodlarına göre nozulun hareket etmesi ile katman katman dökülerek 3B üretim süreci tamamlanır. Şekil 2.3'te ki şemada özetlenmektedir (Campell vd. 2011).

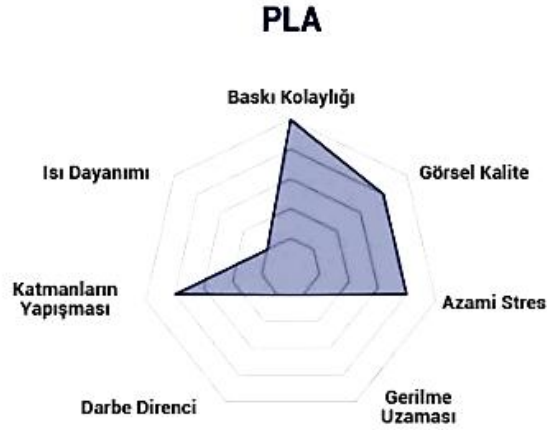
3B yazıcılar yapılarına göre 3 temel grupta incelenir. Bunlar Kartezyen, Core ve Delta tipi yazıcılardır.

### **2.2.1 3B yazıcı türleri**

İskelet sistemi ve çalışma prensiplerine göre birçok üç boyutlu yazıcı çeşidi bulunmaktadır. Bunların başında da kartezyen, delta ve core XY üç boyutlu yazıcıları gelmektedir. Bunlardan Kartezyen tip yazıcılar; genelde bilgisayar kontrollü ve XYZ Kartezyen eksenlerine göre platforma bağlanmış bir termoplastik nozuldan oluşurlar. İskeletlerinin çelik çubuk ya da profilden oluştuğu yazıcı türüdür. Bağlantı elemanları geleneksel yollarla imal edilebilen hatta başka bir üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilen plastik ürünlerdir. X ile Y ekseninde hareket bir kayış vasıtası ile Z ekseninde ise vidalı millerle step motorlar sayesinde kontrol edilir.

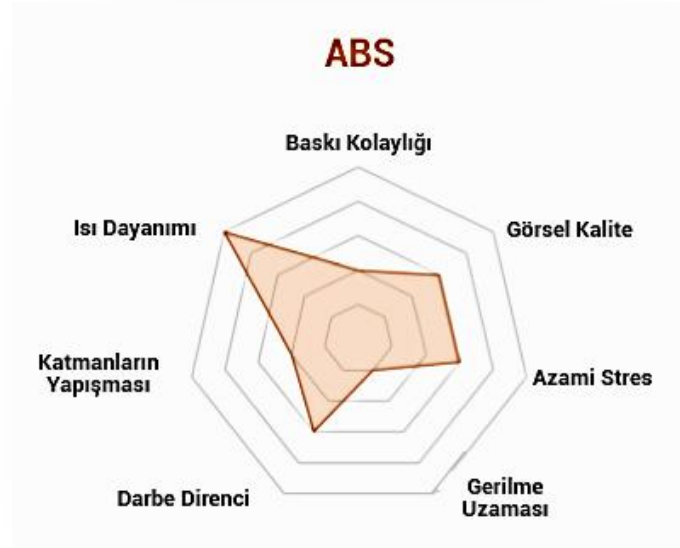
### **2.2.2 Filament türleri ve kıyaslanması**

PLA filamentler baskısı çok kolay bir hammadde türüdür. Katı ve güçlü olmasına karşın kırılğan yapıda olması dezavantajdır. Kokusuz ve ultraviyole ışınlarına karşı dayanıklı olmasına karşın, neme karşı dayanıklılığının zayıf ve yapıştırılmasının zor olması başka bir dezavantajdır. Tamamen doğal ve doğada çözülebilir olması ise dikkate alınabilecek bir artıdır. Basım sıcaklığı 200 °C ile 235 °C arasındadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 PLA filamentinin özelliklerinin şekil üzerinde gösterimi (İnt.Kyn.4).

Aşınma direnci iyi olan ABS filamentler, yüksek sıcaklık değerleri ve yüksek toklukları ile dikkat çekmektedirler. Ultraviyole ışınlarına duyarlı olmasının yanı sıra üretim sırasında kötü koku yaymaları en önemli dezavantajlarıdır. Güçlü ve dayanıklı olan ABS filamentleri 240 ile 260 °C arasında bir basım sıcaklığına sahiptir. Ayrıca ABS filamentleri PLA filamentine göre daha yüksek tabla (80 ile 100 °C arasında) sıcaklığında basıma elverişlidir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 ABS filamentinin özelliklerinin şekil üzerinde gösterimi (İnt.Kyn.4).

PETG filament türü oldukça esnek yapıya sahiptir. 245 ile 265 °C arasında basım

sıcaklığına sahip olan PETG filamentler yüksek nem ve kimyasal maddelere dayanıklıdır. Ayrıca gıda güvenli bir filament türüdür. Son derece esnek ve dayanıklı olması ile artı bir özelliğe sahip olmasına karşın darbelere karşı geri tepme durumunun oluşabilecek olması taşıtlarda tampon gibi bölgelerde düşündürmektedir (Şekil 2.6).



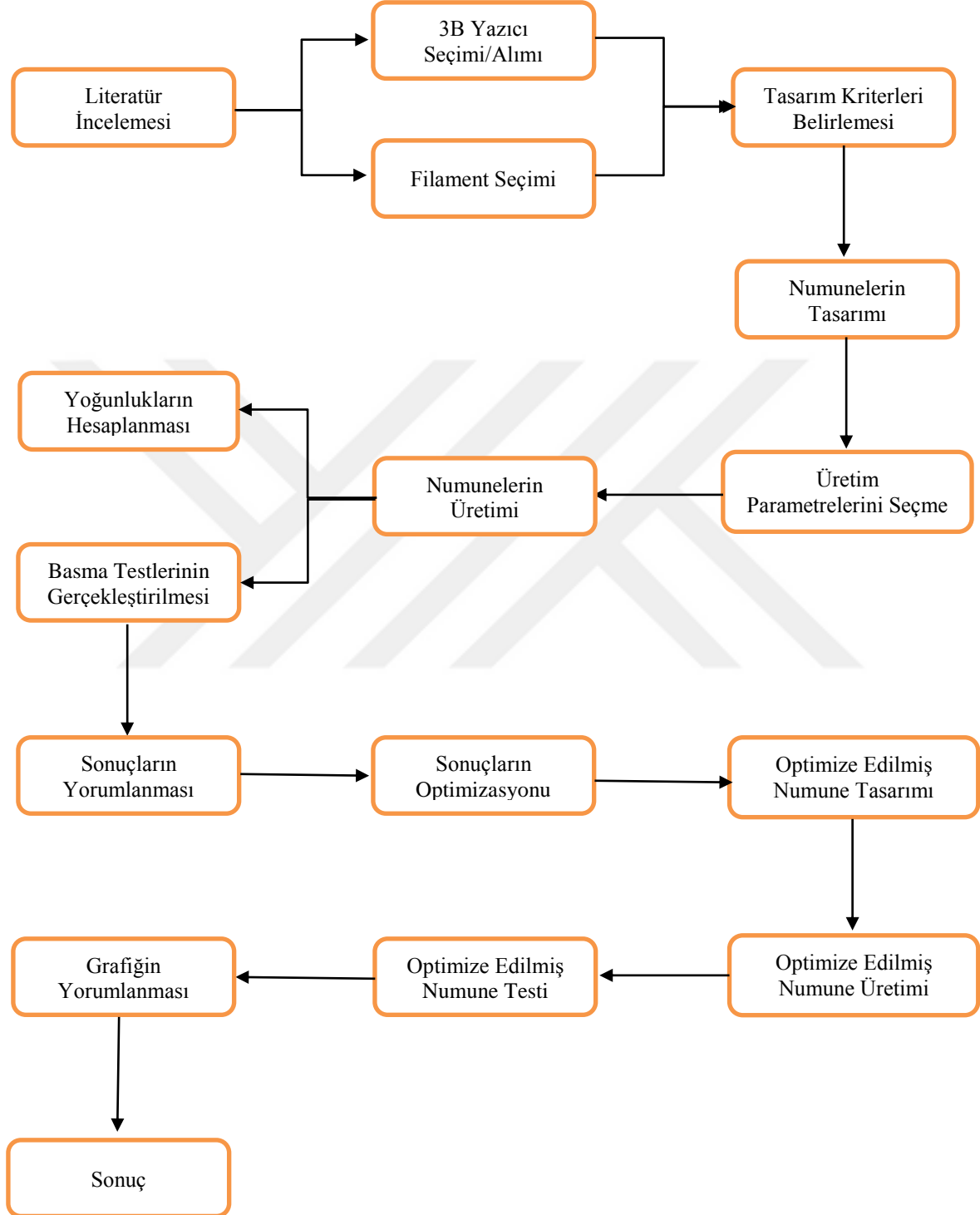
Şekil 2.6 PETG filamentinin özelliklerinin şekil üzerinde gösterimi (İnt.Kyn.4).

### 2.3 Optimizasyon Süreci

Optimizasyon; belirli sınırlar içerisinde problemin en iyi çözümü olarak adlandırılabilir. Çeşitli optimizasyon teknikleri vardır ve bu tekniklerin kullanımının artması tasarım süreçlerini de etkilemiştir (Top vd. 2018). Yapılan bu çalışmada da, darbe absorbe miktarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik öncelikle 4 farklı gözenek boyutunun darbe absorbe miktarına etkisi incelenmiş olup yine aynı parametrelere sahip fakat farklı hücre duvarlarına sahip 4 farklı numune tasarlanarak bu numunelerin darbe absorbe yetenekleri basma deneyleri ile incelenmiştir. Yine farklı gözeneklere (kare prizma) sahip 4 farklı numune üretilerek gözenek şeklinin de darbe absorbe miktarına etkisi incelenmiştir.

Numunelerin basma deney grafiklerinin ardından, kaza anında taşıtlarda darbe absorbe yeteneği geliştirilmiş numune tasarlanmıştır.

### 3. MATERYAL ve METOT



Şekil 3.1 Tez çalışması sürecinin akış diyagramında gösterilmesi.

Yapılan tez çalışmasında yaşanan süreç, Şekil 3.1’de verilen akış diyagramında

özetlenmiştir.

### 3.1 Numune Üretimi İçin 3B Yazıcı Belirlenmesi

Yapılan çalışmada gözenekli yapıların hızlı prototipleme tekniği ile üretilebilmesi için belirli hassasiyette üretim yapabilen bir yazıcıya ihtiyaç duyulmuştur. Bir önceki projelerden edinilen tecrübeler ile birlikte alımı yapılacak yazıcının aşağıda belirtilen değerler arasında olması gerektiğine karar verilmiştir.

İstenilen özellikler:

- Baskı Teknolojisi: FDM
- Baskı Çözünürlüğü: 90-100 mikron
- Baskı Hızı: 100 mm/sn
- Nozul Çapı: 0.4 mm
- Filament( Ham madde) Çapı: 1.75 mm
- Baskı Alanı: 200\*200\*180 (minimum).

Yapılan araştırmalar neticesinde istenilen kriterlere uygun, maksimum hassasiyet, yüzey pürüzlülüğü, mukavemetli basım konularında tez çalışması için en uygun yazıcının Zortrax M200 olduğuna karar verilmiştir.



**Resim 3.1** Zortrax M200 3B yazıcı önden görünüşü.

**Çizelge 3.1** Zortrax M200 3B yazıcı özellikleri (İnt.Kyn.5).

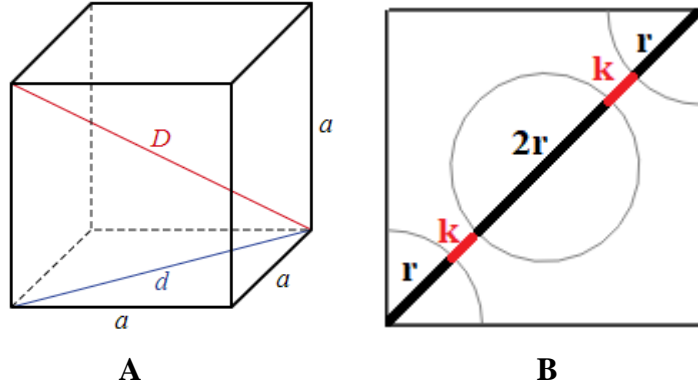
<b>Ölçüler</b>	34,5 × 36 × 43 cm
<b>Ağırlık</b>	12 kg
<b>Güç Gereksinimleri</b>	100–240 Volt , 2A 50/60 hertz, 190 Watt
<b>Maksimum Extruder Sıcaklığı</b>	380° C
<b>Isıtmalı Tabla</b>	Evet
<b>Maksimum Tabla Sıcaklığı</b>	110° C
<b>Operasyon Sıcaklığı</b>	20° C - 35° C
<b>Teknoloji</b>	FDM
<b>Ekstruder</b>	Tek
<b>Baskı Alanı</b>	20 × 20 × 18 cm
<b>Baskı Hassasiyeti</b>	90-400 mikron arası
<b>Destekler</b>	Modelle aynı ham madde, Elle temizleme
<b>Sistem Gereksinimi</b>	Windows XP (SP3) veya üzeri Mac OS X 10.7 veya üzeri
<b>Yazılım ve Dosya Formatı</b>	Z-Suite .stl, .obj ve .dxf dosya girişi
<b>Baskı Hızı</b>	100 mm/sn.

## 3.2 Numune Tasarımı

Yapılan araştırma ve incelemeler neticesinde eklemeli imalat teknoloji ile üretim için hacim merkezli kübik sisteme göre bir tasarım şekli üzerine çalışılmıştır. Genel üretim şekli olarak üretilen bir adet kare prizmanın kat kat birleştirilerek ve çoğaltılarak üretilmesi yapılmıştır.

### 3.2.1 Numune Tasarımının Temel Parametreleri

Öncelikle üretimde gözenekler arasındaki katman kalınlığını belirlenmesi çok önemlidir. Ayrıca tasarlanacak numunelerde izlenen ortak yol; bir adet küp çizilmiş olup ardından küpün tam ortasından ilk gözenek oluşturulmuştur. Akabinde merkezi küpün 8 köşesi olacak şekilde 8 köşesinden de çeyrek daireler açılmıştır. Oluşturulan ilk küp ile birlikte çoğaltma işlemleri ve ardından ölçülere uygunluk için fazlalık kısımlarının kesiminden sonra numuneler elde edilmiştir. Bu yöntem dikkate alınarak Şekil 3.2’de ki gibi bir hesaplamanın çizimin doğruluğu için gerekli olduğunu unutmamak gerekmektedir.



**Şekil 3.2** Dairesel gözeneklerin tasarımında iç köşegen kriteri A: 3 boyutlu görünüşü B: 2 boyutlu görünümü.

Şekil 3.2 B’de görüldüğü gibi bir kare prizmanın köşegeninden 4 adet yarıçap ( $r$  harfi ile gösterilen siyah çizgiler) ve 2 adet gözenekler arasında kalan duvar kalınlığı ( $k$  harfi ile gösterilen kırmızı çizgiler) geçmektedir. Bu durum göz önüne alındığında çizilecek küpün bir kenar ölçüsü Formül 3.1 ve Formül 3.2’den faydalanarak hesaplanır: Yüzey köşegeninin hesabı; Formül 3.1’e göre hesaplanmaktadır (İnt-6). Üretim parametreleri olan gözenek boyutu ve duvar kalınlığı belirlendikten sonra çizilmesi gereken küpün kenar ölçüsü bulunur. Kısaca özetlemek gerekirse;

$$4r + 2k = D \quad (3.1)$$

$$D = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.2)$$

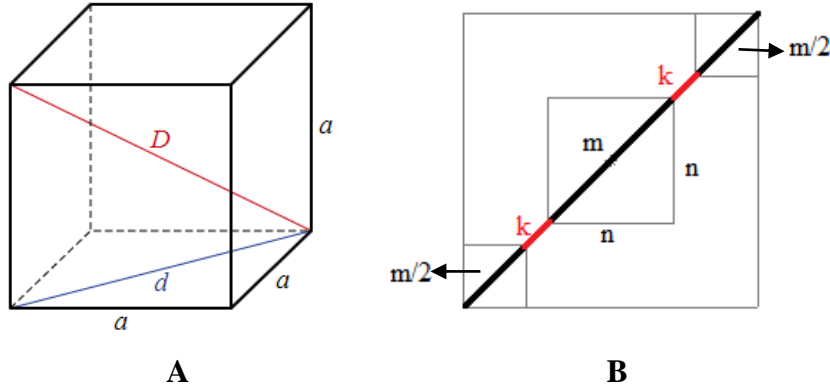
$r$ : gözenek yarıçapı

$k$ : duvar kalınlığı

$D$ : küp iç yüzey köşegeni

$a$ : küpün bir kenar uzunluğu.





**Şekil 3.3** Kare prizma gözeneklerinin tasarımında iç köşegen kriteri A: 3 boyutlu görünüşü B: 2 boyutlu görünümü.

$$2m + 2k = D \quad (3.3)$$

$$D = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.4)$$

m: kare prizma gözenegin iç köşegenini

n: kare prizma gözenegin bir kenarı

k: gözenekler arası duvar kalınlığı

D: küp iç yüzey köşegeni

a: küpün bir kenar uzunluğu

Kare prizma gözeneklere sahip numunelerde de dairesel numunelere benzer hesaplamalar yapılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus ise gözeneklerde ki kare prizmaların da hesaplama yapılırken iç köşegeninin uzunluğunun hesaplanması gerektiğidir (Şekil 3.3).

### 3.2.2 Gözenekli Numunelerin Tasarım Hesaplamaları

Yapılan tasarımlarda başlangıç adımı olarak Formül 3.1 ve 3.2 kullanılmıştır. Böylece her bir numune için ayrı ayrı kare prizmalar oluşturulacak ve buna bağlı birleştirme işlemleri yapılacaktır.

### 3.2.2.1 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 1 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları

Şekil 3.2’de verilen iç köşegen kriterleri göz önüne alındığında ve Formül 3.1 ve Formül 3.2’de verilen  $r$  (yarıçap),  $k$  (hücre duvar kalınlığı) değerleri yerlerine yazıldığında;

$$4 \times (1) + 2 \times (1) = 6 \text{ mm} = D \quad (3.5)$$

$$6 = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.6)$$

daireseI gözeneğe sahip, yarıçapı 1 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 3,46410 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{3,46410} = 14,4337$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 15 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır. Küp sayısının bir üst tam sayıya yuvarlanması temel sebebi birleştirme işlemi esnasında kolaylık sağlaması ve fazlalığın kolayca kesilebilir olmasıdır.

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{10,39230} = 7,2168.$$

Genişlik için 8 adet küp kullanılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{10,39230} = 7,2168.$$

Uzunluk içinde 8 adet küp kullanılır.

### 3.2.2.2 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 2 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları

Şekil 3.1’de verilen iç köşegen kriterleri göz önüne alındığında ve Formül 3.1 ve Formül 3.2’de verilen  $r$  (yarıçap),  $k$  (hücre duvar kalınlığı) değerleri yerlerine yazıldığında;

$$4 \times (2) + 2 \times (1) = 10 \text{ mm} = D \quad (3.7)$$

$$10 = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.8)$$

dairesele gözeneğe sahip, yarıçapı 2 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 5,7735 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{5,7735} = 8,6602$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 9 adet kübik yapı kullanılır .

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{5,7735} = 4,3301.$$

Genişlik için 5 adet küp kullanılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{5,7735} = 4,3301.$$

Uzunluk içinde 5 adet küp kullanılır.

### 3.2.2.3 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 3 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları

Şekil 3.2’de verilen iç köşegen kriterleri göz önüne alındığında ve Formül 3.1 ve Formül 3.2’de verilen r (yarıçap), k (hücre duvar kalınlığı) değerleri yerlerine yazıldığında;

$$4 \times (3) + 2 \times (1) = 14 \text{ mm} = D \quad (3.9)$$

$$14 = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.10)$$

dairesel gözeneğe sahip, yarıçapı 3 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 8,0829 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{8,0829} = 6,1858$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 7 adet kübik yapı kullanılır .

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{8,0829} = 3,0929.$$

Genişlik için 4 adet küp kullanılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{8,0829} = 3,0929.$$

Uzunluk içinde 4 adet küp kullanılır.

#### **3.2.2.4 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 4 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları**

Şekil 3.2’de verilen iç köşegen kriterleri göz önüne alındığında ve Formül 3.1 ve Formül 3.2’de verilen r (yarıçap), k (hücre duvar kalınlığı) değerleri yerlerine yazıldığında;

$$4 \times (4) + 2 \times (1) = 18 \text{ mm} = D \quad (3.11)$$

$$18 = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.12)$$

dairesel gözeneğe sahip, yarıçapı 4 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 10,3923 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{10,39230} = 4,57749$$

❖ Yükseklik için 5 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır.

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{10,39230} = 2,40562 .$$

Genişlik için 3 adet yapı birleştirilir ve son adımda gerekli kesimler yapılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{10,39230} = 2,40562.$$

Uzunluk içinde yine aynı şekilde 3 adet kübik yapı kullanılır ve fazlası son aşamada kesilir.

### 3.2.2.5 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 1 mm Duvar Kalınlığı 0,5 mm Olan Numunenin Hesaplamaları

Şekil 3.2'de verilen iç köşegen kriterleri göz önüne alındığında ve Formül 3.1 ve Formül 3.2'de verilen r (yarıçap), k (hücre duvar kalınlığı) değerleri yerlerine

yazıldığında;

$$4 \times (1) + 2 \times (0,5) = 5 \text{ mm} = D \quad (3.13)$$

$$5 = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.14)$$

dairesel gözeneğe sahip, yarıçapı 1 mm ve duvar kalınlığı 0,5 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 2,8867 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\diamond \text{ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{2,8867} = 17,3208$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 18 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır.

$$\diamond \text{ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{2,8867} = 8,6604.$$

Genişlik için 9 adet küp kullanılır.

$$\diamond \text{ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{2,8867} = 8,6604.$$

Uzunluk içinde 8 adet küp kullanılır.

### **3.2.2.6 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 2 mm Duvar Kalınlığı 0,5 mm Olan Numunenin Hesaplamaları**

Şekil 3.2’de verilen iç köşegen kriterleri göz önüne alındığında ve Formül 3.1 ve Formül 3.2’de verilen r (yarıçap), k (hücre duvar kalınlığı) değerleri yerlerine yazıldığında;

$$4 \times (2) + 2 \times (0,5) = 9 \text{ mm} = D \quad (3.15)$$

$$9 = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.16)$$

dairesel gözeneğe sahip, yarıçapı 2 mm ve duvar kalınlığı 0,5 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 5,1961 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\diamond \text{ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{5,1961} = 9,6221$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 10 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır.

$$\diamond \text{ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{5,1961} = 4,8113.$$

Genişlik için 5 adet küp kullanılır.

$$\diamond \text{ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{5,1961} = 4,8113.$$

Uzunluk içinde 5 adet küp kullanılır.

### 3.2.2.7 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 3 mm Duvar Kalınlığı 0,5 mm Olan Numunenin Hesaplamaları

Şekil 3.2'de verilen iç köşegen kriterleri göz önüne alındığında ve Formül 3.1 ve Formül 3.2'de verilen r (yarıçap), k (hücre duvar kalınlığı) değerleri yerlerine yazıldığında;

$$4 \times (3) + 2 \times (0,5) = 9 \text{ mm} = D \quad (3.17)$$

$$13 = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.18)$$

dairesel gözeneğe sahip, yarıçapı 3 mm ve duvar kalınlığı 0,5 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 7,5055 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{7,5055} = 6,6617$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 7 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır.

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{7,5055} = 3,3308.$$

Genişlik için 4 adet küp kullanılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{7,5055} = 3,3308.$$

Uzunluk içinde 4 adet küp kullanılır.

### 3.2.2.8 Dairesel Gözenekli Yarıçapı 4 mm Duvar Kalınlığı 0,5 mm Olan Numunenin Hesaplamaları

Şekil 3.2'de verilen iç köşegen kriterleri göz önüne alındığında ve Formül 3.1 ve Formül 3.2'de verilen r (yarıçap), k (hücre duvar kalınlığı) değerleri yerlerine yazıldığında;

$$4 \times (4) + 2 \times (0,5) = 9 \text{ mm} = D \quad (3.19)$$

$$17 = a\sqrt{3} \text{ tür} \quad (3.20)$$



dairesel gözeneğe sahip, yarıçapı 4 mm ve duvar kalınlığı 0,5 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 9,8149 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{9,8149} = 5,0942$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 6 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır.

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{9,8149} = 2,5471.$$

Genişlik için 3 adet küp kullanılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{9,8149} = 2,5471.$$

Uzunluk içinde 3 adet küp kullanılır.

### 3.2.2.9 Kare Prizma Gözenekli Yarıçapı 1 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları

Kare prizma gözeneklere sahip numunenin hesaplamalarında dikkat edilmesi gereken husus Şekil 3.3'de verilen iç köşegen kriteridir. Burada bir köşegen uzunluğu Formül 3.3'te verilen m (kare gözeneğin bir köşegen uzunluğu), k (hücre duvar kalınlığı) değerleri ile hesaplanmaktadır. Ancak unutulmamalıdır ki m değeri gözenek iç köşegeninin yarısıdır. Yani Şekil 3.2'de gösterilen iç köşeden D üzerinde 2 adet m değeri bulunmaktadır. Burada gösterilen her bir m değeri Formül 3.2'de verilen iç köşegen uzunluğu hesaplama formülü ile bulunur. Buna göre;

$$2m + 2k = D \quad (3.21)$$

Formül 3.2’de bir iç köşegen uzunluğu  $a^2\sqrt{3}$  olduğuna göre, kare prizma gözeneklerin her bir iç köşegeni de  $n^2\sqrt{3}$  olur. Buna göre  $m = n^2\sqrt{3}$  olur ve kare prizmada hesaplamalar Formül 3.4 ve Formül 3.2’de değerler yerine koyularak yapılır;

$$2(1^2\sqrt{3}) + 2(1) = D \quad (3.22)$$

$$D = a^2\sqrt{3} \text{ 'tür.} \quad (3.23)$$

Kare prizma gözeneğe sahip, bir kenar uzunluğu 1 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 3,1547 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{3,1547} = 15,8493$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 16 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır.

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{3,1547} = 7,9246.$$

Genişlik için 8 adet küp kullanılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{3,1547} = 7,9246.$$

Uzunluk içinde 8 adet küp kullanılır.

### **3.2.2.10 Kare Prizma Gözenekli Yarıçapı 2 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları**

Formül 3.2, Formül 3.3 ve Formül 3.4 kullanılarak kare prizmada 2 mm kenar uzunluğuna sahip gözenekli yapının temel küp yapısı elde edilir.

$$2(2\sqrt[3]{3}) + 2(1) = D \quad (3.24)$$

$$D = a\sqrt[3]{3} \text{ 'tür.} \quad (3.25)$$

Kare prizma gözeneğe sahip, bir kenar uzunluğu 2 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 5,1547 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{5,1547} = 9,6998$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 10 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır.

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{5,1547} = 4,8498.$$

Genişlik için 5 adet küp kullanılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{5,1547} = 4,8498.$$

Uzunluk içinde 5 adet küp kullanılır.

### 3.2.2.11 Kare Prizma Gözenekli Yarıçapı 3 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları

Formül 3.2, Formül 3.3 ve Formül 3.4 kullanılarak kare prizmada 3 mm kenar uzunluğuna sahip gözenekli yapının temel küp yapısı elde edilir.

$$2(3\sqrt[3]{3}) + 2(1) = D \quad (3.26)$$

$$D = a\sqrt[2]{3} \text{ 'tür.} \quad (3.27)$$

Kare prizma gözeneğe sahip, bir kenar uzunluğu 3 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 7,1547 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{7,1547} = 6,9884$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 7 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır.

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{7,1547} = 3,4942.$$

Genişlik için 4 adet küp kullanılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{7,1547} = 3,4942.$$

Uzunluk içinde 4 adet küp kullanılır.

### 3.2.2.12 Kare Prizma Gözenekli Yarıçapı 4 mm Duvar Kalınlığı 1 mm Olan Numunenin Hesaplamaları

Formül 3.2, Formül 3.3 ve Formül 3.4 kullanılarak kare prizmada 4 mm kenar uzunluğuna sahip gözenekli yapının temel küp yapısı elde edilir.

$$2(4\sqrt[2]{3}) + 2(1) = D \quad (3.28)$$

$$D = a\sqrt[2]{3} \text{ 'tür.} \quad (3.29)$$

Kare prizma gözeneğe sahip, bir kenar uzunluğu 3 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan

numune için oluşturulacak temel küp yapının bir kenarı 9,1547 mm bulunur. Bir kenar uzunluğu belirlendikten sonra, numune boyutları olan 25x25x50 mm ölçüleri sağlamak için X, Y ve Z eksenleri için kaç adet kare gerekli olduğu hesaplanır.

$$\text{❖ Yükseklik için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{Yükseklik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{50}{9,1547} = 5,4616$$

Yapılan işlem neticesinde yükseklik için 6 adet kübik yapı kullanılır ve en son 50 mm olacak şekilde kesimler yapılır.

$$\text{❖ Genişlik için gereken sayı} = \frac{\text{Genişlik}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{9,1547} = 2,7308.$$

Genişlik için 4 adet küp kullanılır.

$$\text{❖ Uzunluk için gereken kübik yapı sayısı} = \frac{\text{uzunluk}}{\text{Bir kenar uzunluğu}} = \frac{25}{9,1547} = 2,7308.$$

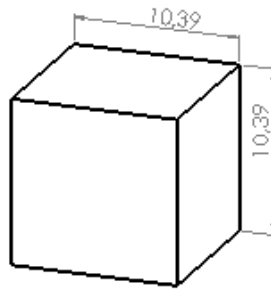
Uzunluk içinde 4 adet küp kullanılır.

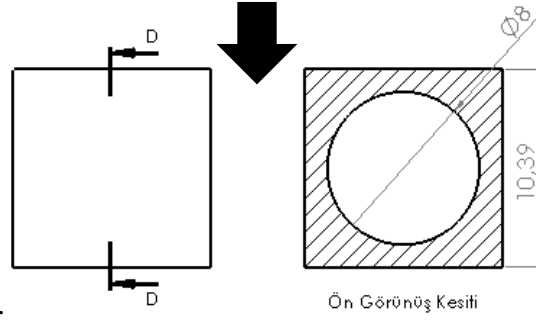
### 3.2.3 Gözenekli Malzemelerin Tasarımının Gerçekleşmesi

Tasarlanacak numunelerin tasarım parametreleri belirlendikten sonra çizim aşamasına geçilmiştir. Burada izlenen yol temel bir küp oluşturmak ve hacim merkezi ile 8 köşesini gözeneklerin merkezi yaparak bir temel yapı elde etmektir. Bu süreç adım adım anlatılmakla birlikte dairesel 4 mm gözeneğe sahip, hücre duvar kalınlığı 1 mm alınan numune üzerinde adım adım gösterilmiştir.

#### *Adım 1: Tasarlanan küp üzerine gözeneklerin yerleştirilmesi*

Bu kısımda temel küp yapı oluşturulmaktadır.





**Şekil 3.4** Bir kenar ölçüsü hesaplanan küpün modellenmesi ve cisim köşegeninin merkezine gözenek yerleştirilmesinin görünüşü.

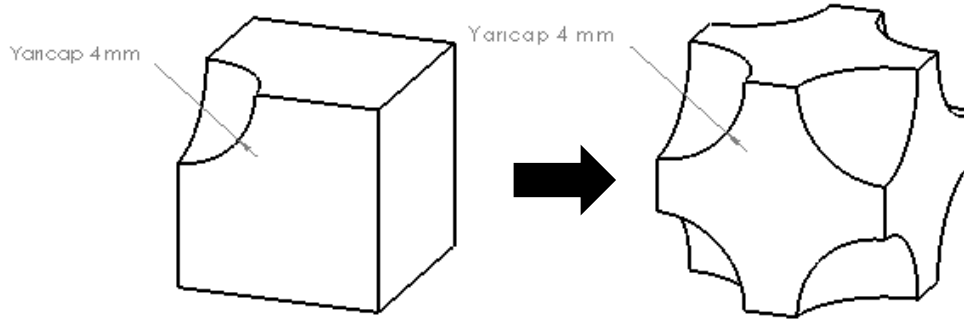
Şekil 3.4’de dikkat edilmesi gereken hususlardan biri cismin tam ortadan iki yana eşit tasarlanmasıdır. Bu adımda kübik sistem oluşturulmakta ve dairesel veya kare prizma gözenek fark etmeksizin aynı adımlar uygulanmaktadır. Küp oluşturulduktan sonra hacim merkezi referans alınarak aynı nokta gözenek de merkezi ile de çakışacak şekilde küpün tam ortasına ilk gözenek yerleştirilir.

### ***Adım 2: Tasarlanan küp üzerine gözeneklerin yerleştirilmesi***

İkinci aşamada çizilen küp üzerine gözenekler yerleştirilerek son adım olan çoğaltma kısmına tasarımı hazır hale getirmektir. Gözeneklerin tasarlanması sırasında dikkat edilmesi gereken husus şunlardır;

- Gözenekler 8 köşe ve küpün tam ortasına yani cisim köşegeni ortasına yerleştirilmelidir.
- Sekiz köşe, daire merkezleri olarak belirlenir ve çeyrek daireler meydana gelir. Oluşan bu çeyrek daireler birleştirme işlemlerinin ardından tam daireyi oluşturacaklardır.

İlk olarak dairenin merkezine birinci gözenek yerleştirilir. Bu işlemin ardından 8 köşeye de en dıştan gözenekler döndürerek kesme yöntemi ile yerleştirilir (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5** Sekiz köşeye ve merkezine gözenekler yerleştirildikten sonra çoğaltılmaya hazır temel kübik yapı.

Tamamıyla homojen bir yapıya sahip temel kübik bir yapı elde edilmiştir. Burada gözenekli yapıyı oluşturacak temel elaman tasarımı yapılmıştır. İlerleyen süreçler bu yapının çoğaltılması ile gerçekleşmektedir.

***Adım 3: Temel kübik yapının çoğaltılarak gözenekli yapının oluşturulması***

Temel kübik yapının oluşturulmasının ardından bu yapının çoğaltılarak istenilen ölçülerdeki tasarımın elde edilmesi sağlanmıştır. Bu süreçte aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- İstenilen ölçüye göre (genişlik, uzunluk ve yükseklik) doğrusal çoğaltma yapılmalıdır. Çoğaltma işleminin örnek hesaplaması aşağıda verilmiştir.
- Her bir çoğaltmanın ardından mutlaka birleştirme fonksiyonu kullanılmalı ve yapılar tek vücut olmalıdır.
- Son olarak ölçülerin doğruluğu sağlanması için gerekli kesme işlemleri yapılır.

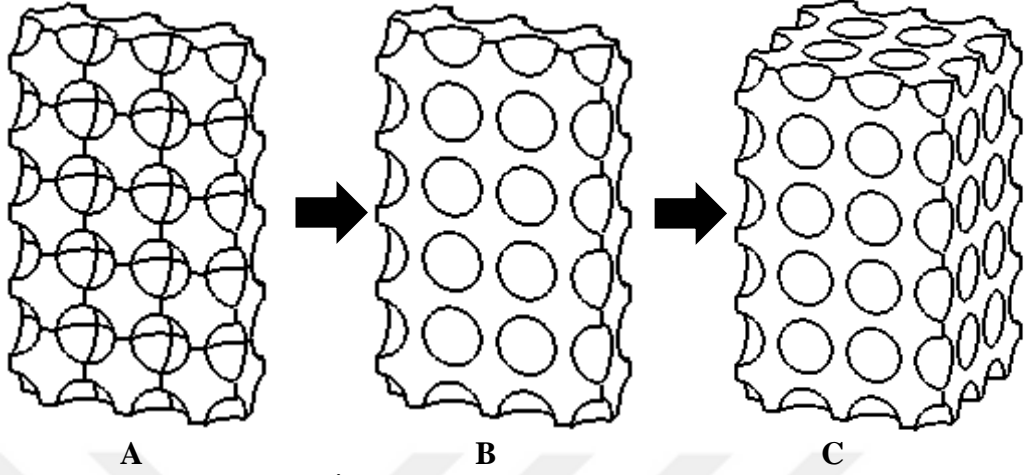
Örnek çalışmada yapılan gözenekli yapının ölçüleri şu şekildedir;

- Yükseklik: 50 mm
- Genişlik: 25 mm
- Uzunluk: 25 mm'dir.

Buna göre bir kenarı 10,39230 mm olan gözenekli yapıyı elde etmek için yükseklik, genişlik ve uzunluğa bölünerek kaçar adet çoğaltma yapılacağı belirlenir.

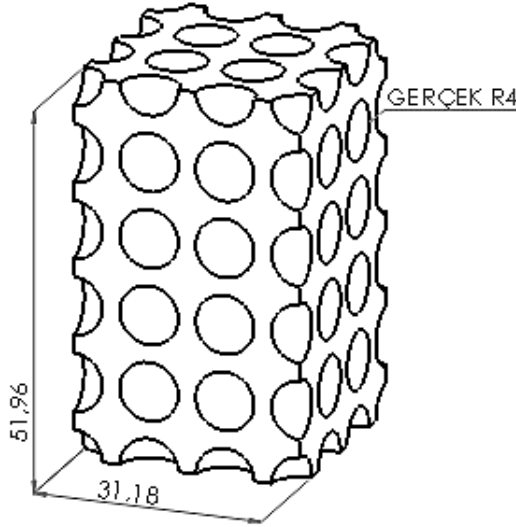
- ❖ Sayılar belirlendikten sonra çoğaltma işlemi yalnızca iki yönlü olduğu için önce

iki yönde çoğaltma yapılır. Ardından üçüncü yönde yapılır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 A: Parçaları çoğaltma, B: İlk birleştirme, C: Son parça çoğaltma ve birleştirme işlemi CAD görüntüsü.

**Adım 4: Tasarlanan numunenin istenilen ölçülere uygunluğunun sağlanması**



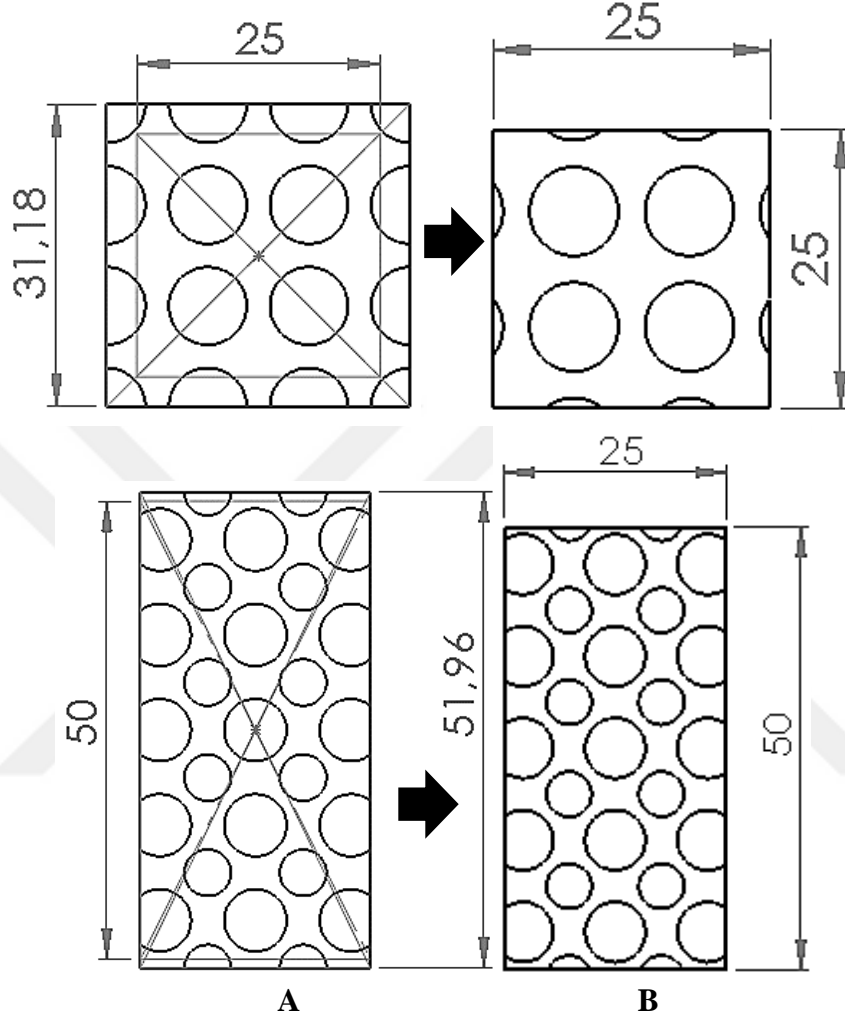
Şekil 3.7 Tasarlanan gözenekli yapının çoğaltma işlemi ardından ilk ölçüleri.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi tasarlanan temel kübik yapının doğrusal çoğaltma işlemlerinin ardından istenilen ölçülerde olmadığı görülmektedir. Ölçü doğruluğunu homojen bir yapıda yakalamak istenildiğinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir. Bu hususlar:

- Yükseklik ve genişlik olmak üzere 2 ayrı kesme işlemi uygulanacaktır.

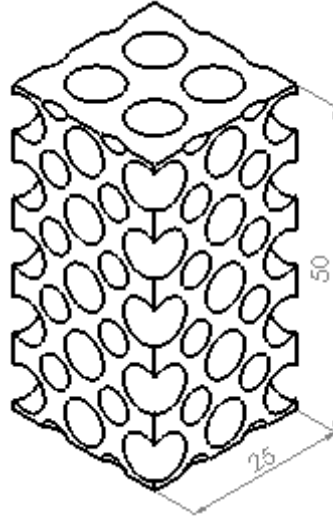


- Bu işlemlerde en önemli hususlardan biri kesme işlemi yapılacak yüzeylerin tam merkezi baz alınarak bu merkeze eşit uzaklıkta iki uçtan kesme yapılmasıdır. Bu süreç aşağıda detaylı verilmiştir.

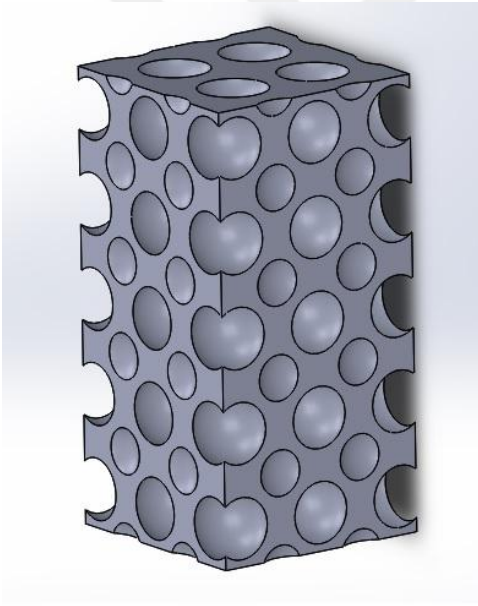


**Şekil 3.8** Çoğaltma işlemi ardından istenilen ölçülere uymayan ilk tasarımların istenen ölçülere getirilmesi.

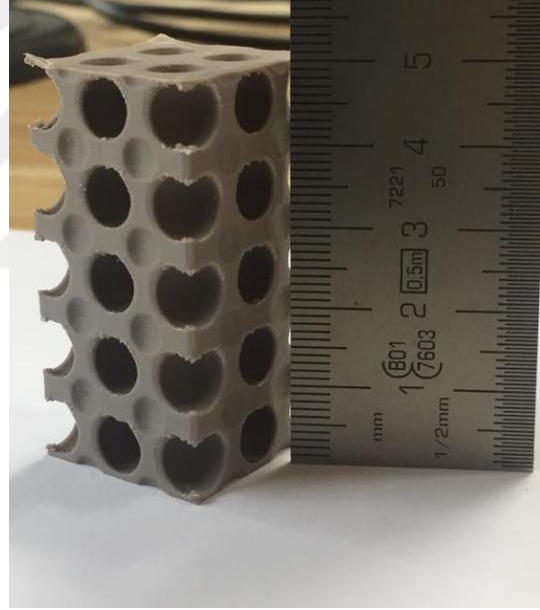
Şekil 3.8’de taban ve yine taban ölçülerine eşit olan tavan yüzeyi ile ilişkili olan ölçülerin doğrulanması işlemleri yapılmıştır (A ilk ölçü B son haldir). Aynı işlem yükseklik ölçüsünün uygulanması için de yapılır. Burada da önemli husus; yüzey alanının merkezi dikkate orantılı bir kesim işlemi yapılmasıdır (A ilk hal ve B son haldir).



**Şekil 3.9** Tüm işlemlerin ardından eklemeli imalat yöntemi ile istenilen ölçülerde hazır tasarım görüntüsü.

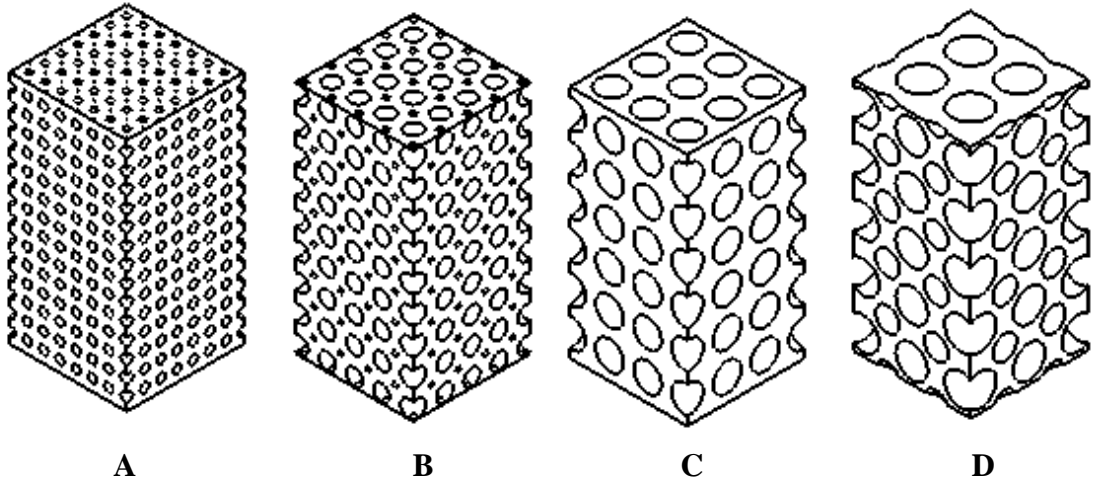


**A**



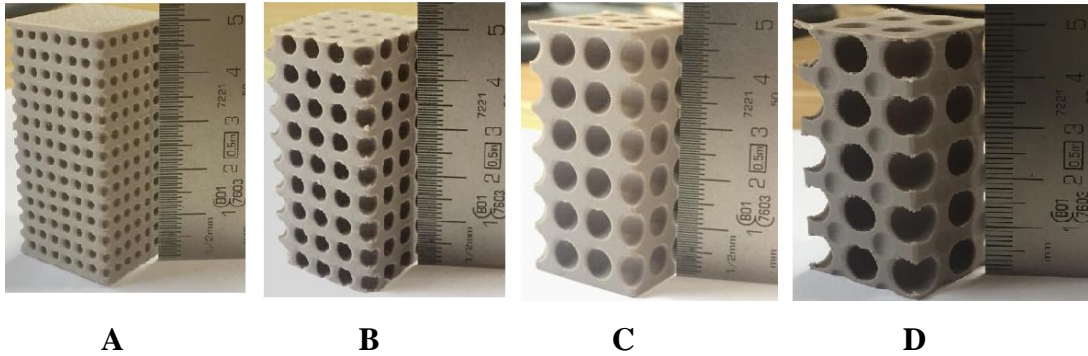
**B**

**Şekil 3.10** Gözenekli yapı tasarım ve imalatı A: CAD görüntüsü B: İmalat sonrası görüntüsü.



**Şekil 3.11** Dairesel gözeneli duvar kalınlığı 1 mm numunelerin CAD Görüntüsü A: Yarıçap 1mm B: Yarıçap 2 mm C: Yarıçap 3 mm D: Yarıçap 4 mm.

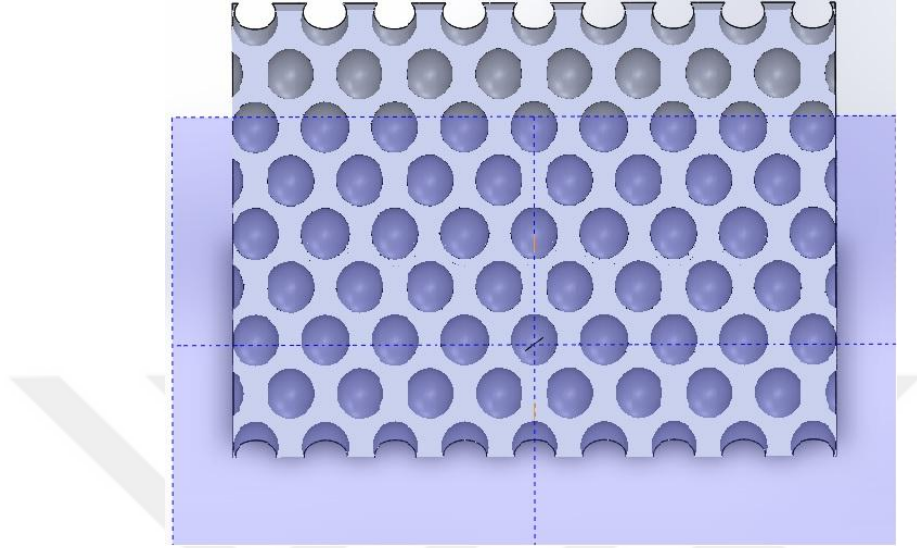
Şekil 3.9’da dairesel gözeneklere sahip ve duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin CAD görüntüsü verilmiştir. Bu numuneler dış görüntülerinde hücre gözenek boyutlarının farklı görülmektedir. Üretilen numunelerden 3 mm ve 4 mm gözenek boyutuna sahip numunelerin dış köşelerinden desteğe ihtiyaç duyulduğu aksi takdirde sarkmalar oluşabileceğine karar verilmiştir.



**Şekil 3.12** Dairesel gözenekli numunelerin imalat sonrası görüntüleri A: Yarıçap 1 mm B: Yarıçap 2 mm C: Yarıçap 3 mm D: Yarıçap 4 mm.

Şekil 3.10’da verilen numunelerde, gözenek şeklinin aynı fakat gözenek boyutlarının farklı olduğu yapılar mevcuttur. Bu tasarımlarda amaç gözenek boyutlarının ve boyutlarla birlikte değişen cidar kalınlıklarının darbe emici özelliğe etkisinin araştırılmasıdır. Bu nedenle gözenek boyutları farklı ama gözenek şekilleri aynı olan numuneler tasarlanmıştır. Tasarımlar başarı ile yapılmakta ve klasik üretim

metotlarından farklı olarak düzenli bir gözenek dizilimi mevcuttur. Ayrıca gözenekler boru şeklinde doğrusal bir yapıda olmayıp, örneklerinin aksine yapı içinde hava baloncukları gibi boşluklara sahiptir.



**Şekil 3.13** Yarıçapı 2 mm olan gözenekli yapının eğimli içyapı görüntüsü.

Üretilen numunelerin tasarım görüntüleri ve içyapı görüntüleri verilmiştir. İçyapı görüntülerinde kesim düzlemi doğrusal olduğu için içindeki gözenek boyutları dışarıda görülen gözenek boyutlarından daha küçük durmaktadır. Ancak bunun sebebinin kesim düzleminin eğimli olmamasından kaynaklandığı Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Yani yapılarıdaki tüm gözenek boyutları eşittir.

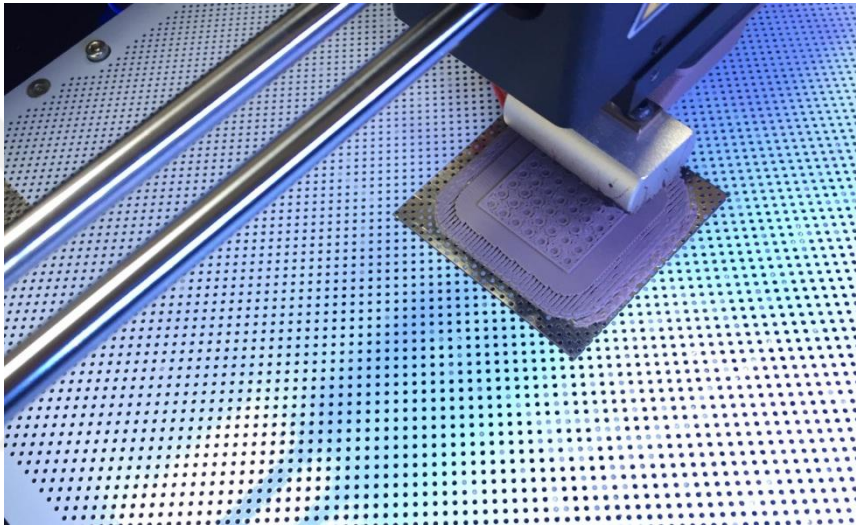
### **3.3 Üretim Sürecinde Seçilen Önemli Değerler**

Numunelerin üretim sürecinde en önemli kısımlardan biri 3B yazıcının baskı ayarları ile ilgili optimizasyonudur. Hız, dolgu oranı, destek eklenilmesi ve destek açıları, katman kalınlığı, basım şekli gibi hususlar baskı kalitesini doğrudan etkilemektedir. Yüksek kalite baskı alabilmek için aşağıdaki basım faktörleri seçilmiştir:

### **3.4 Yapıda Çapı 1 Mm Olan Numune Üretim Süreci**

Parça basımı için yapılan dilimlemede kullanılan program, yazıcının orijinal programı olan Z-Suit dilimleme programıdır. Bu programda Solidworks't çizilen numune

parçaları .stl uzantısı ile kaydedilmiştir. Ardından dilimleyici program parçayı basıma hazır hale getirmesi için g-code oluşturuyor. 1 mm çapa sahip numunelerin üretimi için gerekli (.stl) dosyası dilimleyiciye atılmıştır. Ardından yukarıda belirtilen değerler girilerek uygun bir baskı alınmak istenmiştir. Dilimleyicide yapılan veri girişlerinden sonra 1 mm çapa sahip numuneler için destek ihtiyacı görülmemiştir. Destek ihtiyacı olduğu zaman mavi ekran yerine desteğin atılması gereken yerlerde kırmızı noktalar oluşmaktadır. Ayrıca yaklaşık 10 saat 32 dk'lık bir basım süresi ve yaklaşık 12 m filament yani 28 g'lık bir hammadde tüketimi öngörülmüştür.



**Resim 3.2** Gözenekli yapıda yarıçapı 1 mm seçilen numunenin üretim esnasında görüntüsü.

Yapılan basımdan da anlaşılacağı gibi baskı kalitesi iyi bir netice ile sonuçlanmıştır. Birinci basımdaki kalite ve doğruluktan faydalanarak; zamansal ve farklı şartlarda üretim yapılmasından kaçınmak için numuneleri tek tek üretmek yerine bir seriyi (1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm'lik gözenekli yapılar) tüm çeşitleri ile bastırılması kararlaştırılmıştır.

### **3.5 Bir Serinin Toptan Üretim Süreci**

Zamansal olarak numunelerin 10-12 saat arasında basım sürelerinin olduğu gözlemlenmiştir ve sürekli olarak numunelerin basımı, basıma hazırlanması, cihazın donanımlarının ısıtılması gibi süreçlerin ciddi zaman kaybına sebep olacağı gözlemlenmiştir.

İlk basımın ardından cihazın basıma hazır olduğu gözlemlenmiş ve numunelerin seri bir şekilde aynı şartlar altında basılmasına karar verilmiştir. Böyle eriyik maddenin aynı hava koşullarında katılaşması, aynı zaman diliminde numunelerin basılması sağlanmıştır.

**Çizelge 3.2** Üretim için 3B yazıcı dilimleyicisinin üretim parametreleri

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
Basım Hızı	%100
Doluluk	%90
Desen	PATT. 0
Katman Kalınlığı	0,14
Nozul Çapı	0,40
Baskı Kalitesi	Yüksek
Destek	Manuel

Bir 3B yazıcının sağlık üretim yapabilmesi için başlangıçta deneme üretimleri yapılmalı ve cihazın sınırları belirlenmelidir. Burada değerlendirme kriterleri operatörün deneyimine bağlıdır. Yapılan deneme numunelerinde, bu tez çalışması için Çizelge 3.2’de belirtilen parametreler belirlenmiştir.

### **3.6 Numunelerin Basma Testleri**

Numunelerin mekanik özellikleri hakkında yorum yapabilmek için çeşitli basma testlerine ihtiyaç duyulmuştur. Basma testinde elde edilecek verilen doğrultusunda darbe absorbe miktarları hakkında kıyaslama yapılabilmektedir. Basma testleri MITECH WDW-20 marka modellenmiş basma test cihazında yapılmıştır. Basma deneylerinde kullanılan hız parametresi ise 2 mm/dk’dır. Cihazın özellikler Çizelge 3.3’de verilmiştir.

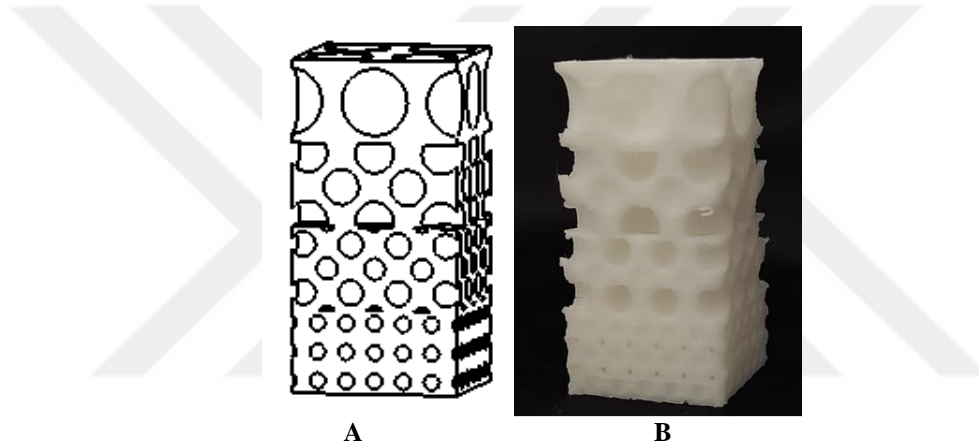
**Çizelge 3.3** MITECH WDW-20 çekme- kopma test cihazı özellikleri

<b>Ölçme Kapasitesi</b>	20 kN
<b>Basım Hız Aralığı</b>	0,1-500 mm/dk

<b>Güç</b>	220 V
<b>Kapasite</b>	2 Ton

### 3.7 Optimizasyon ve Karma Yapı Tasarımı

Yapılan deneyler sonucunda, geniş kuvvet aralığında enerji emici numuneler üretebilmek adına deney sonuçlarına göre bir tasarım geliştirilmiştir. Bu tasarımda amaç küçük ve büyük kuvvetlerde numunelerin enerji emebilme özelliği göstermeleridir. Bu kriterler göz önüne alınarak karma yapıda numuneler üretilmiştir. Bu doğrultuda 20x20x40 mm boyutunda numuneler üretilmiştir.



**Şekil 3.14** A: Basma deneyleri sonucu kazalarda optimize edilmiş numune tasarımının görüntüsü, B: üretim sonrası görüntü.

Üretim sürecinde dairesel ve duvar kalınlığı 1 mm olan 4 farklı gözenek boyutuna sahip numuneler kullanılmıştır. Bu numunelerden 20x20x10 mm boyutlarında homojen olacak şekilde parçalar alınmış ve sırasıyla 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm olmak üzere montajları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.14’de gösterilen yapı elde edilmiştir.

### 3.8 Numunelerin Yoğunluk Hesabı

Numunelerin yoğunluğunun enerji emici özelliklerine olan etkisinin incelenmesi için yoğunlukları hesaplanmıştır. Bu hesap ağırlık ve hacim hesaplaması ile yapılmıştır (Özdemir ve Mutlubaş 2019).

**Çizelge 3.4** WTB 200 marka ve modelli cihazın teknik özellikleri.

<b>Teknik özellikler</b>	<b>WTB 200</b>
Maks. Kapasite	200 g
Hassasiyet	0,001 g
Dara aralığı	-200 g
Tekrarlanabilirlik	0,001 g
Lineerlik	±0,001 g
Stabilize olma süresi	3 saniye



**Resim 3.3** WTB 200 marka ve modele sahip hassas terazi.

Yapılan hesaplamalarda hassas terazi kullanılmıştır. Hassas terazinin özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir. Cihaz Resim 3.3’te de gösterilmiştir (İnt.Kyn.6).

#### **4. BULGULAR**

Yapılan numune tasarımları ardından başarılı bir imalat süreci yaşanmıştır. Sadece 3 ve 4 mm’lik dairesel numunelerin üretiminde dış köşelerde destekler kullanılmış ve bu destekler kolayca çıkarılmıştır. Numunelerde; öncelikle gözenek yarıçapları 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4 mm ve duvar kalınlığı 1 mm’de sabit tutularak dört farklı numune üretilmiştir. Ardından aynı numunelerin sadece duvar kalınlığı 0,5 mm’ye indirildiği 4 farklı numune üretilmiştir. Son olarak kare prizma gözeneğe sahip ve prizma kenarları 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 4mm olacak şekilde 4 farklı numune üretilmiştir. Toplamda 12 numune üretilmiştir. Bu numunelerin darbe dayanımı, enerji emiciliği, yoğunluk kriterleri ile ilgili kıyaslamaları yapılmıştır.



#### 4.1 Numunelerin Yoğunluk Testleri

Numuneler üretildikten sonra yoğunluk bilgisi için; numune boyutları kullanılarak elde edilen hacim ve hassas terazi WTB 200 ile ölçülen kütleleri kullanılmıştır.

**Çizelge 4.1** Gözenekli yapıya sahip numunelerin kritik değerleri.

Numune Adı	Yarıçap (mm)	Duvar Kalınlığı (mm)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
D1-1	1	1	0,7020
D1-2	2	1	0,6288
D1-3	3	1	0,5267
D1-4	4	1	0,4643
D0,5-1	1	0,5	0,7377
D0,5-2	2	0,5	0,6338
D0,5-3	3	0,5	0,5628
D0,5-4	4	0,5	0,4792
Kare-1	1	1	0,8185
Kare-2	2	1	0,7547
Kare-3	3	1	0,6875
Kare-4	4	1	0,5326

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi numunelerin yoğunlukları gözenek yarıçapları ile ters orantılı çıkmıştır. Ayrıca duvar kalınlığı 0,5 mm olan dairesel gözenekli numunelerin yoğunlukları, duvar kalınlığı 1 mm olan dairesel numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Bu beklenmeyen sonucun teyidi için CAD programında da numunelerin ağırlıkları ölçülmüştür.

**Çizelge 4.2** Tasarımı yapılan numunelerin analiz programı değerleri

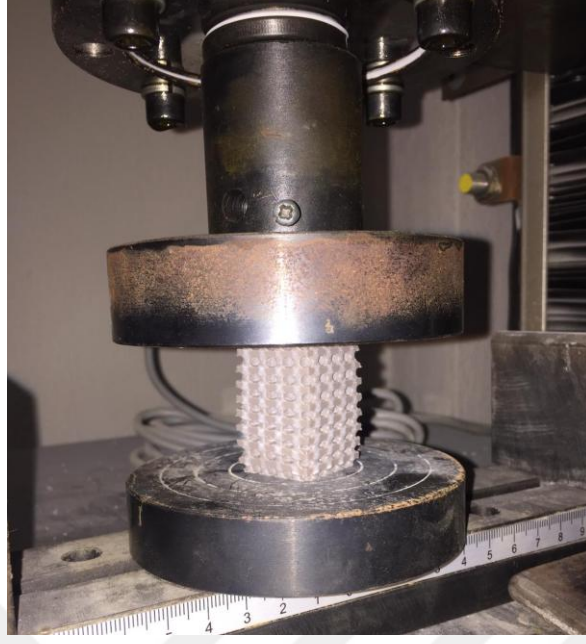
Numune Adı	Yarıçap (mm)	Duvar Kalınlığı (mm)	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
D1-1	1	1	0,807
D1-2	2	1	0,807

D1-3	3	1	0,661
D1-4	4	1	0,584
D0,5-1	1	0,5	0,525
D0,5-2	2	0,5	0,822
D0,5-3	3	0,5	0,757
D0,5-4	4	0,5	0,720
Kare-1	1	1	0,9585
Kare-2	2	1	0,9037
Kare-3	3	1	0,8725
Kare-4	4	1	0,8387

Yoğunlukları hesaplanan numunelerde, yoğunlukları teyit etmek amaçlı tasarım programı ile numunelerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlıklarla birlikte sonuçlar teyit edilmiştir. Duvar kalınlığı artmasına rağmen yoğunlukların azaldığı bir kez daha görülmüştür (Çizelge 4.2).

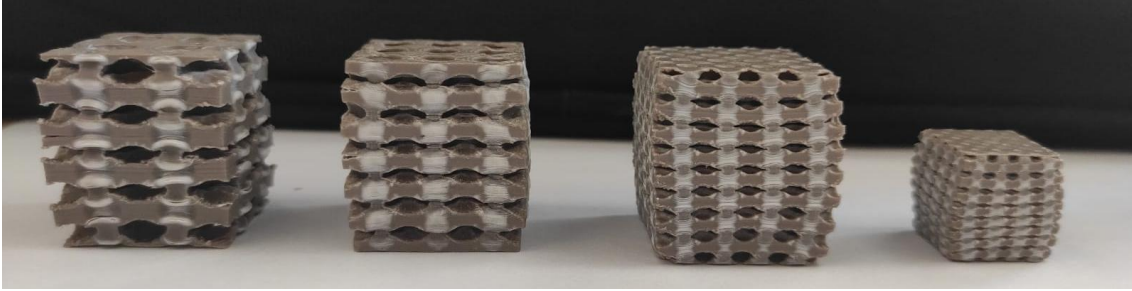
#### **4.2 Numunelerin Basma Deney Grafikleri**

Yapılan üretim metotları ile birlikte başarılı bir üretim süreci yaşanmıştır. Aynı anda basım sayesinde numunelerde serilerin üretimi aynı çevre şartlarında üretilmiştir. Üretim esnasında herhangi bir olumsuzlukla karşılaşılmamıştır. Numune üretiminin ardından basma deney testleri yapılmıştır. Basma testleri örnek görüntüsü Resim 4.1'de verilmiştir.



**Resim 4.1** Numunenin basma deney testi esnasında görüntüsü.

Basma testi esnasında herhangi bir sorunla karşılaşılmamış olup, yoğunluğu yüksek olan; 1 mm'lik numuneler 15x15x30 mm boyutlarında, kare prizmaların tamamı ise 20x20x40 boyutlarında üretilmiştir. Böylece basma deney cihazının yetenekleri doğrultusunda ve sonucu etkilemeyecek şekilde yapılan düzenlemeyle sorunsuz basma testleri yapılmıştır.



**Resim 4.2** Dairesel ve duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma test sonrası görüntüleri.



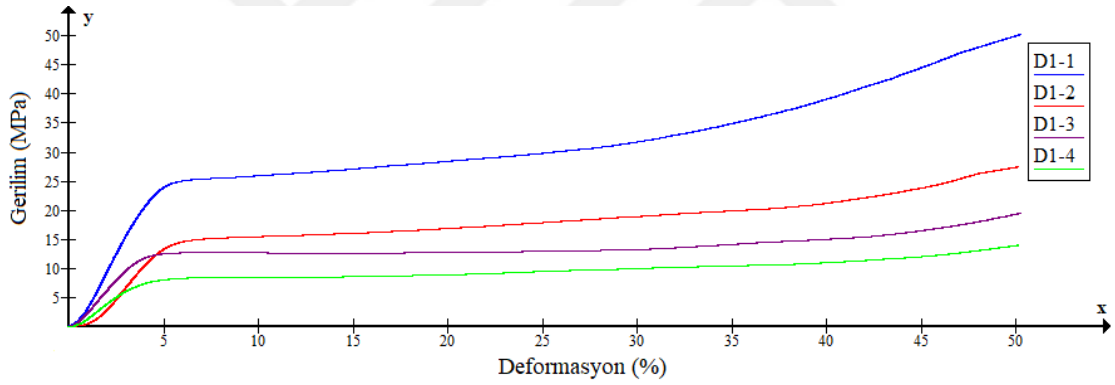
**Resim 4.3** Dairesel ve duvar kalınlığı 0,5 mm olan numunelerin basma test sonrası görüntüleri.



**Resim 4.4** Kare Prizma numunelerin basma test sonrası görüntüleri.

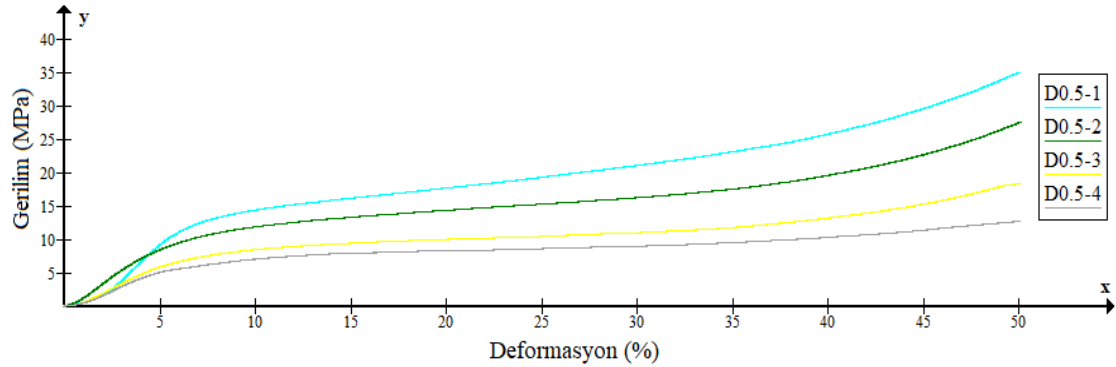
Yapılan basma deneylerinde akordeon biçiminde şekil değişikliği beklenmektedir. Deney sonucunda Resim 4.2, Resim 4.3 ve Resim 4.4’de numunelerin görüntülerinde de görüldüğü gibi bu yapılar elde edilmiştir.

#### 4.2.1 Dairesel Gözenekli Numunelerin Test Grafikleri



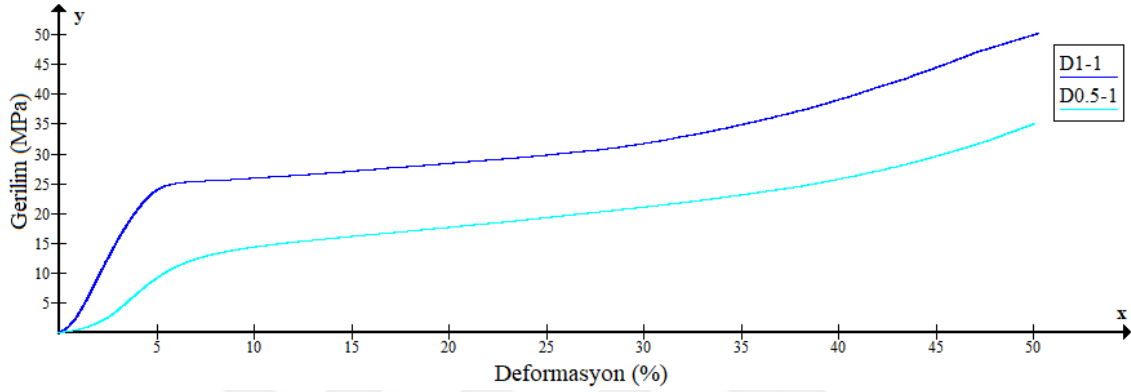
**Şekil 4.1** Dairesel ve duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği.

Dairesel gözenekli hücrelere sahip ve duvar kalınlığı 1 mm olan yapılara bakıldığında, yoğunluklarla doğru orantılı bir dayanım görülmektedir. Hücre çapları küçüldükçe artan yoğunluk beraberinde yüksek dayanım getirmektedir (Şekil 4.1).



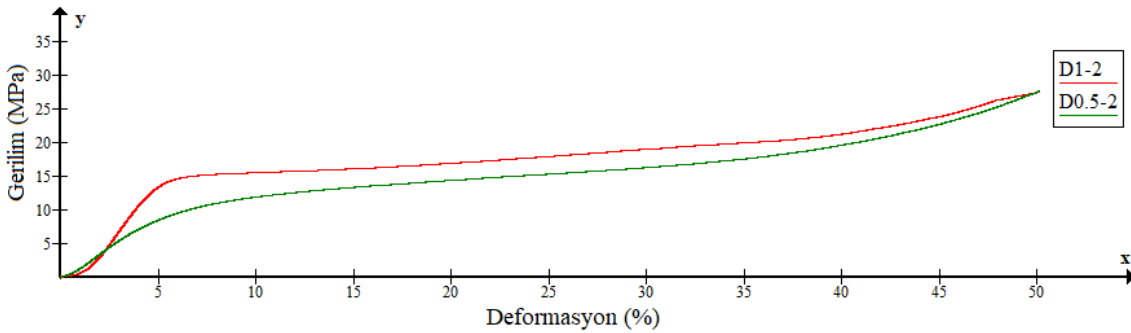
**Şekil 4.2** Dairesel gözenekli ve hücre duvar kalınlığı 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği.

Dairesel gözeneklere sahip, hücre duvar kalınlıklarını 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafikleri yukarıda verilmiştir. Deney sonucunda hücre gözenek çapı arttıkça darbe absorbe miktarının azaldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak gözenek boyutunun çapı ile darbe absorbe miktarı arasında ters orantı olduğu söylenebilir (Şekil 4.2).



**Şekil 4.3** Dairesel ve hücre boyutu 1 mm olup duvar kalınlıkları 1 mm ve 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği.

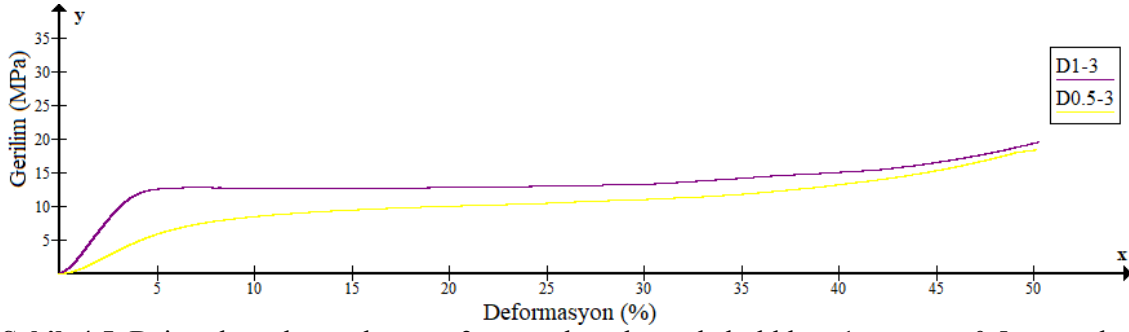
Yoğunlukları kıyaslandığında hücre duvar kalınlığı düşük olan numunenin yoğunluğunun düşük olduğu gözlemlenmektedir. Ancak darbe absorbesi, bunun aksine duvar kalınlığı büyük olan numunede daha fazla görülmektedir. 1 mm dairesel gözeneklere sahip numunelerin grafiklerinde bu durum çok net gözlemlenmiştir (Şekil 4.3).



**Şekil 4.4** Dairesel ve hücre boyutu 2 mm olup duvar kalınlıkları 1 mm ve 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği

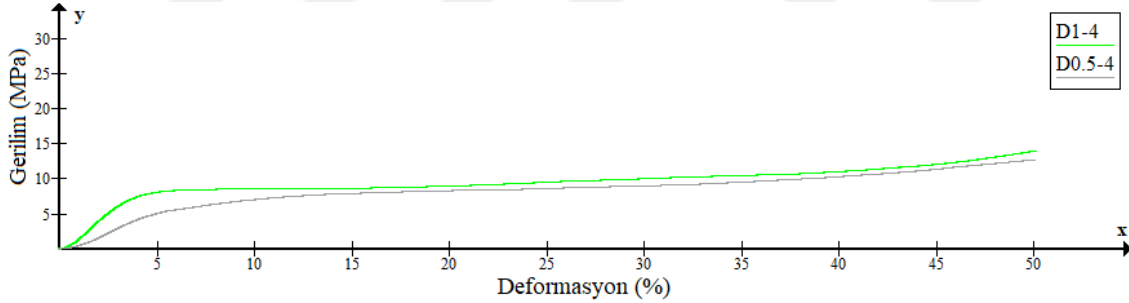
Dairesel gözenekli, aynı hücre çapına sahip fakat farklı duvar kalınlığına sahip numunelerin basma deney grafikleri incelendiğinde duvar kalınlığı büyük olan yapıların

ön plana çıktığı gözlemlenmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.5 Dairesel ve hücre boyutu 3 mm olup duvar kalınlıkları 1 mm ve 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği.

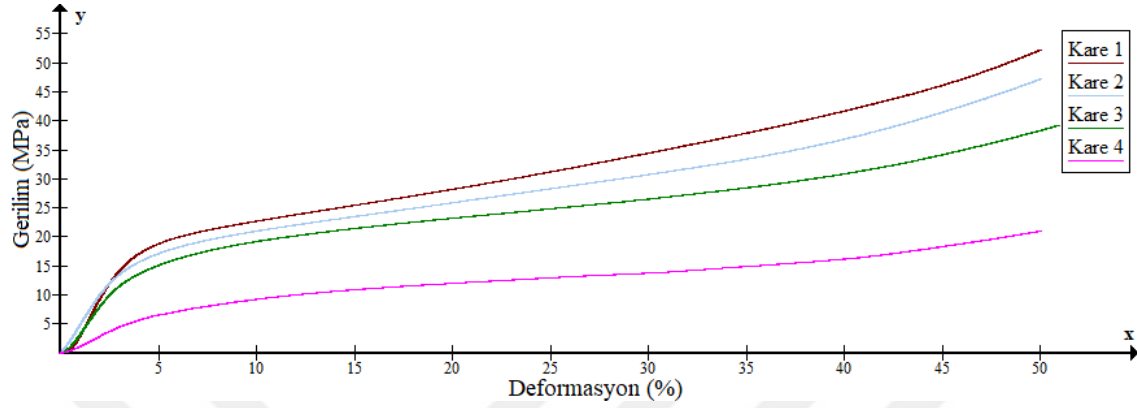
Dairesel gözenekli 3 mm hücre çapına ve 1 mm ile 0,5 mm duvar kalınlığına sahip numunelerin basma deney grafiklerine bakıldığında duvar kalınlığı 1 mm olan numunenin daha iyi dayanım gösterdiği görülmektedir. Fakat 0,5 mm duvar kalınlığına sahip numunenin daha erken yükselişe geçtiği yani gözeneklerin daha erken kapandığı görülmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.6 Dairesel ve hücre boyutu 4 mm olup duvar kalınlıkları 1 mm ve 0,5 mm olan numunelerin basma deney grafiği.

Dairesel gözenekli ve 3 mm hücre çapına sahip, 1 mm ve 0,5 mm duvar kalınlığına sahip numunelerin basma deney grafikleri incelendiğinde grafiklerin birbirine yakın gerilimler altında %50 deformasyona yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca Çizelge 4.1'de verilen yoğunluklarının birbirine yakın olması da bu grafiğin oluşumunda etkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.6).

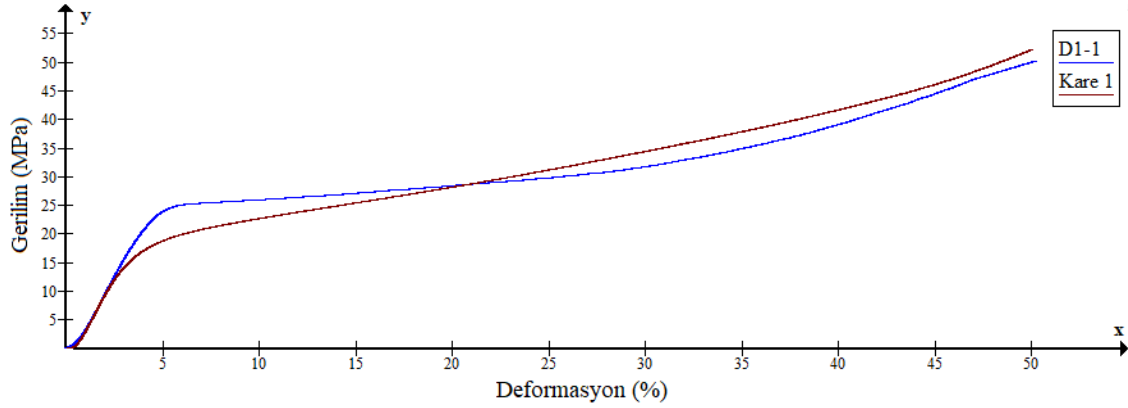
#### 4.2.2 Kare Prizma Gözenekli Numunelerin Test Grafikleri



Şekil 4.7 Kare prizma ve duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği.

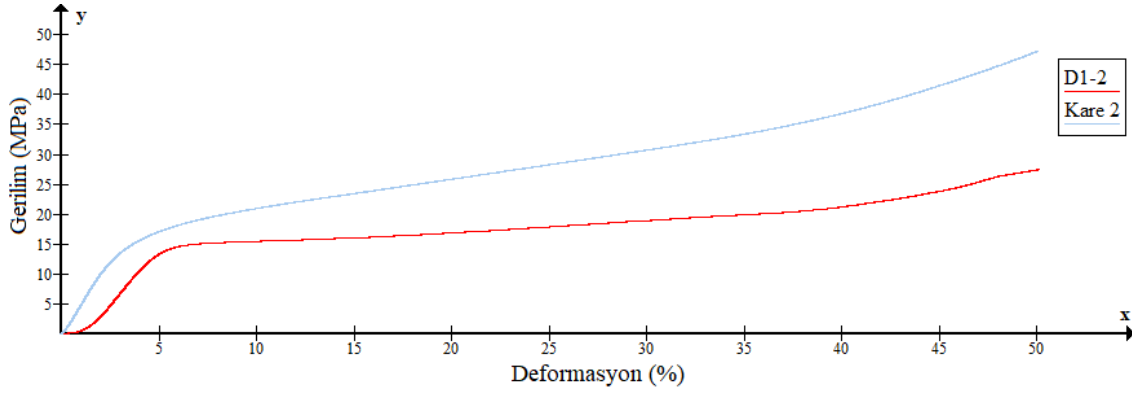
Kare prizma gözeneklere sahip numunelerin deney grafikleri incelendiğinde, numunelerin yoğunlukla ters oranda bir darbe absorbe yeteneği olduğu görülmektedir. Ayrıca bu durum dairesel numunelerde de görülmüştür (Şekil 4.7).

#### 4.2.3 Farklı Gözenek Şekillerinin Kıyaslanması



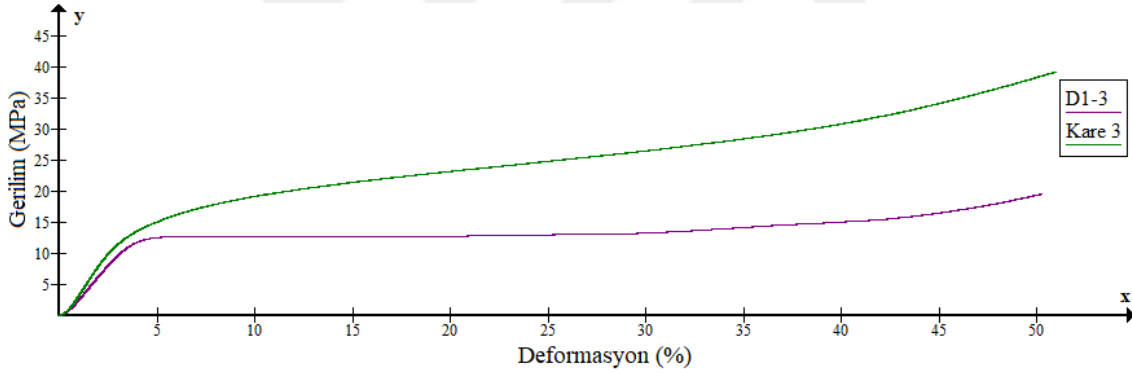
Şekil 4.8 Dairesel yarıçapı 1 mm ve duvar kalınlığı 1 mm ile kare prizma gözeneğe sahip ve bir kenarı 1 mm duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği.

Yoğunlukları birbirine yakın çıkan dairesel ve kare prizma numunelerin basma deney grafikleri de birbirine yakın çıkmaktadır. Ancak yine de kare prizmanın yüksek yoğunluklu olduğunu ve grafikte de daha yüksek darbe emilimine sahip olduğunu gözlemlenmiştir (Şekil 4.8).



**Şekil 4.9** Dairesel yarıçapı 2 mm ve duvar kalınlığı 1 mm ile kare prizma gözeneğe sahip ve bir kenarı 2 mm duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği.

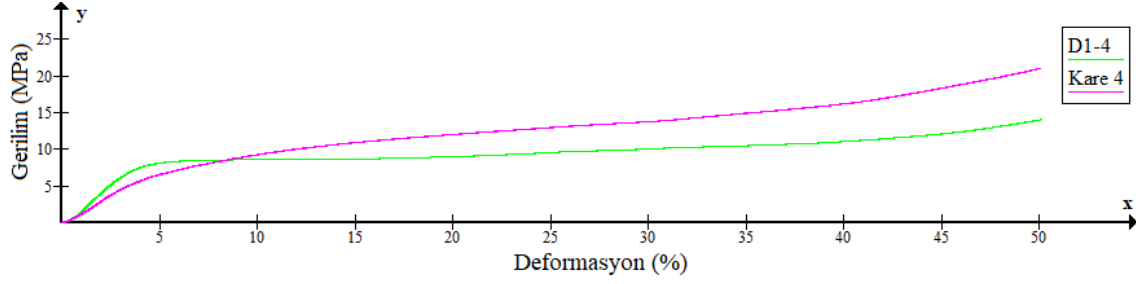
Farklı gözeneklere sahip numunelerde yine yoğunluğu yüksek olanın daha iyi darbe absorbe edebileceği grafiklerde analiz edilmiştir. Buna bağlı olarakta kare prizmada 2mm'lik gözeneklere sahip numuneler dairesele 2 mm çapa sahip numunelerden daha yüksek dayanım göstermiştir (Şekil 4.9).



**Şekil 4.10** Dairesel yarıçapı 3 mm ve duvar kalınlığı 1 mm ile kare prizma gözeneğe sahip ve bir kenarı 3 mm duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği

3 mm'lik numunelerin kıyaslamasında, dairesele numunenin düşük kuvvetlerde iyi bir darbe absorbesi yaptığı grafikte görülmüştür. Ancak yüksek kuvvetlerde kare prizmanın daha iyi absorbe özelliği gösterdiği gözlemlenmiştir (Şekil 4.10).





**Şekil 4.11** Dairesel yarıçapı 4mm ve duvar kalınlığı 1 mm ile kare prizma gözeneğe sahip ve bir kenarı 4 mm duvar kalınlığı 1 mm olan numunelerin basma deney grafiği.

Dairesel gözenekli, hücre çapı 4 mm ve duvar kalınlığı 1 mm olan numune ile kare prizma gözeneğe sahip, bir kenarı 4 mm ve duvar kalınlığı olan numunenin basma grafiğine bakıldığında yoğunluğu yüksek çıkan kare prizmanın test grafiğinde de üstte kaldığı görülmüştür (Şekil 4.11).

### 4.3 Numunelerin Darbe Absorbe Özellikleri

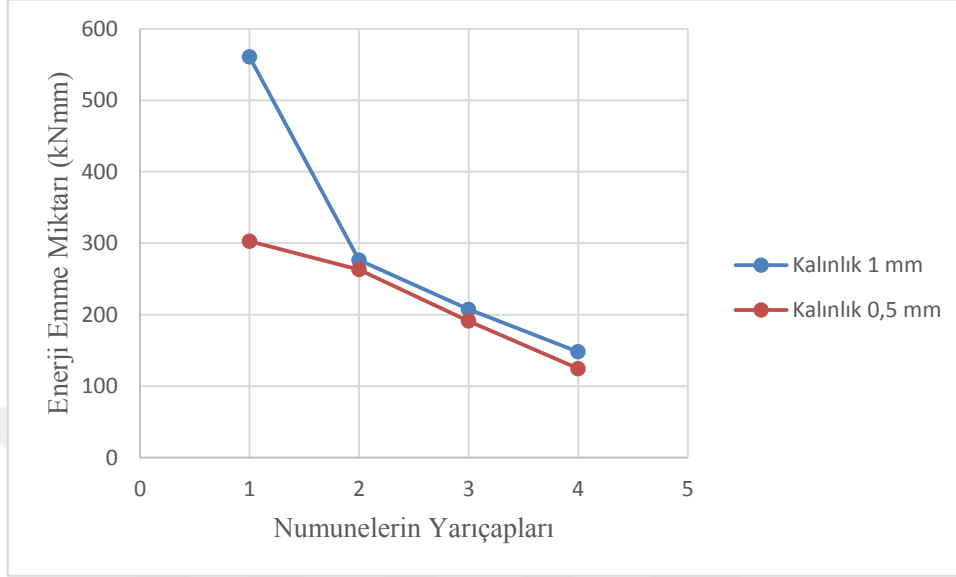
Şekil 2.2’de Habib ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada basma deney grafiğinin altında kalan alanın, enerji absorbe miktarını verdiği görülmüştür.

**Çizelge 4.3** Numunelerin enerji absorbe miktarları.

Numune Adı	Yoğunluk	Enerji Absorbe Miktarı
D1-1	0,807	560,8639
D1-2	0,661	276,2839
D1-3	0,584	207,337
D1-4	0,525	147,9343
D0,5-1	0,822	302,7196
D0,5-2	0,757	263,1766
D0,5-3	0,720	190,9528
D0,5-4	0,700	124,3577
Kare-1	0,9585	490,6073
Kare-2	0,9037	442,9755
Kare-3	0,8725	307,2547
Kare-4	0,8387	195,9284

Bu grafikte Y ekseninde kuvvet, X ekseninde ise strok kullanılmaktadır. Bu kriterler

göz önüne alınarak, tez çalışmasında da numunelerin basma deney grafikleri çıkarılmış ve altında kalan alan Graph programı ile hesaplanmıştır.

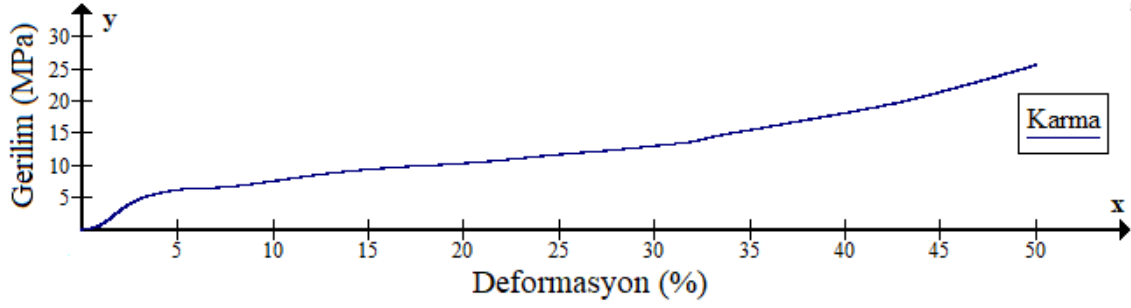


**Şekil 4.12** Dairesel gözenekli 1 mm ve 0,5 mm duvar kalınlığına sahip numunelerin enerji absorbe yeteneklerinin kıyaslanması.

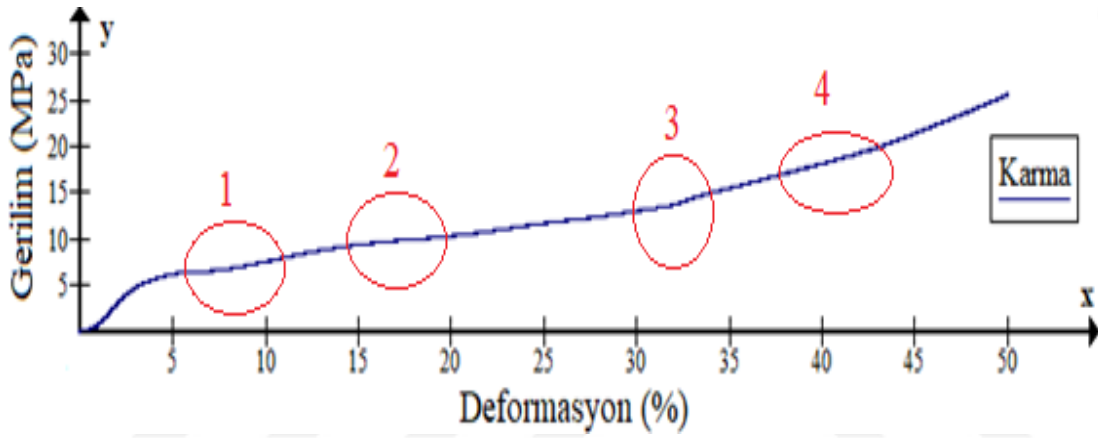
Dairesel gözenekli numunelerin darbe absorbe miktarları kıyaslandığında hücre duvar kalınlığı ile gözenek boyutunun kritik iki parametre olduğu grafiklerde görülmüştür. Hücre duvar kalınlığı arttıkça numunelerin darbe absorbe miktarları artmakta fakat yüksek kuvvetlerde şekil değişimi olduğu da ayrıca tespit edilmiştir (Şekil 4.12).

#### 4.4 Optimize Edilmiş Karma Yapı Test Grafiği

Yapılan Basma deneyleri neticesinde numunelerin darbe absorbe miktarlarına bakıldığında gözenek boyutunun küçülmesiyle darbe absorbe miktarının arttığı görülmektedir. Ancak gözenek boyutunun küçülmesi, kalıcı şekil değiştirme kuvvetini de arttırdığı grafiklerde gözlemlenmiştir. Bu da hafif kuvvetli kazalarda (taşıt-yaya gibi) darbe absorbe etmeyeceğini göstermektedir. Bu sebeple küçük gözenek yapısından büyük gözenek yapısına ilerleyen bir yapı elde edilerek optimizasyon sağlanmış ve en dışta bulunan büyük gözeneklerin düşük kuvvetli kazalarda, darbe kuvveti arttıkça kuvveti küçülen gözenek yapıları karşılayacaktır.



Şekil 4.13 Optimizasyonu sonrası üretilen “Karma Yapı” test grafiği.



Şekil 4.14 Karma yapıda kırılma noktalarının gösterimi.

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de görülen kırılma noktalarının karma yapıdan kaynaklandığı görülmektedir. Buna bağlı olarak üretilecek enerji emici malzemelerin kullanım yerine göre özel üretimler gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Burada kırılma noktaları çok net görülmektedir. İlk kırılmanın 4 mm gözenek yapısından, 3 mm gözenek yapısına geçişte, 2. Kırılmanın 3 mm gözenek yapısından 2 mm gözenek yapısına geçişte, son kırılmanın ise 2 mm gözenek yapısından 1 mm gözenek yapısına geçişte yaşandığı tespit edilmiştir. Ardından gözenekler kapandığında grafiğin parabolik yükseliş gösterdiği görülmüştür. Karma yapının enerji emme miktarı 196,4042 kNmm olarak ölçülmüştür.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan deneyler sonucunda eşit hücre duvarına sahip fakat hücre boyutu değişkenlik gösteren numunelerde yoğunluğa göre bir darbe absorbe miktarı söz konusudur. Yoğunluk arttıkça darbe absorbe miktarı da artmaktadır. Buna bağlı olarak yüksek enerji sönmümlenmesi istendiğinde yüksek yoğunluklu yani düşük gözeneklere sahip numuneler kullanılması düşünülmektedir.

Dairesel gözeneklere sahip fakat hücre duvar kalınlığı yarıya indirilen numunelerde yoğunluğun azalması beklenirken yoğunluklar 4 numune çeşidinde de yüksek çıkmıştır. Bu beklenmeyen durum üzerinden çeşitli deneyler yapılabilir. Buna rağmen basma deneylerinde duvar kalınlığı düşük olan malzemeler beklendiği gibi diğer numunelerden daha düşük bir dayanım göstermiştir.

Kare prizma gözenek şekli olan numuneler yüksek yoğunluklarına bağlı olarak dairesel numunelerden daha iyi bir dayanım göstermiştir. Buna bağlı olarak bal peteği, üçgen, silindirik gibi çeşitli gözenek şekline sahip numuneler üretilerek darbe dayanımı veya absorbesi üzerine incelemeler yapılabilir. Ayrıca hücre duvar kalınlığının yarıya indirilmesine rağmen yoğunluğunun artması da üzerinde incelemelerin yapılması gereken konulardandır.

Yapılan çalışmalarda görüldüğü üzere, taşıtlarda kaza anında darbeyi ilk karşılayan kısımlarda gözenekli yapıların kullanılabileceği düşünülmektedir. Hafiflik ve darbe absorbesi ile darbe kuvvetin önemli bir kısmını emeceği ve böyle taşıt içindeki canlıyı koruyabileceği düşünülmektedir. Katmanlı gözenekler sayesinde düşük kuvvetten büyük kuvvete çeşitli kuvvet aralıklarına göre numunelerin optimize edilmesi ile yeni bir tampon tasarımı da düşünülebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Avalle M, Belingardi G, Montanini R, 2001, Characterization Of Polymeric Structural Foams Under Compressive Impact Loading By Means Of Energy-Absorption Diagram, *International Journal of Impact Engineering*, 25, 455-472.
- Bates S R, Farrow I R, Trask R S, 2016, 3D Printed Polyurethane Honeycombs For Repeated Tailored Energy Absorption, *Materials & Design*, 112, 172-183.
- Bilbay F B, Reis M, Çakan B G, Çakır M C, 2019, Otomobillerde Ön Çarpışma Kolu Malzemesi Olarak Fee340 Ve Dp600 Malzemelerin Çarpışma Performanslarının Karşılaştırılması, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24, 415-428.
- Bitzer T N, 1997, *Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications And Testing*, Chapman & Hall yayıncılık, 1, 233.
- Bardenhagen S G, Brydon A D, Guilkey J E, 2005, Insight Into The Physics Of Foam Densification Via Numerical Simulation. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 53, 597-617.
- Campbell T, Williams C, Ivanova O, Garrett B, 2011, *Could 3D printing change the world. Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council, Washington, DC, 3.
- Crandall J R, Bhalla K S, Madeley N J, 2002, Designing Road Vehicles For Pedestrian Protection. *Bmj*, 324, 1145-1148.
- Çelik D, Çetinkaya K, 2016, Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımları Prototipleri ve Ürün Yazdırma Karşılaştırmaları. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5, 151-163.
- Davoodi M M, Sapuan S M, Yunus R, 2008, Conceptual Design Of A Polymer Composite Automotive Bumper Energy Absorber, *Materials & Design*, 29, 1447-1452.
- Degischer H P, Kristz B, 2002, *Handbook of Cellular Metals: Production, Processing, Applications*, Handbook of Cellular Metals, Weinheim, 5, 70.

- Duan S, Tao Y, Lei H, Wen W, Liang J, Fang D, 2018, Enhanced Out-Of-Plane Compressive Strength And Energy Absorption Of 3d Printed Square And Hexagonal Honeycombs With Variable-Thickness Cell Edges, *Extreme Mechanics Letters*, 18, 9-18.
- Gibson L J, Ashby M F, 1999, *Cellular Solids: Structure And Properties*. Cambridge University Press, 2, 528, Cambridge.
- Gong L, Kyriakides S, Jang W Y, 2005, Compressive Response Of Open-Cell Foams. Part 1: Morphology And Elastic Properties, *International Journal of Solids and Structures*, 42, 1355-1379.
- Gören R, Eldoğan O, Parlak A, 2003, Otomotiv Malzeme Teknolojilerindeki Gelişmeler, *Sakarya University Journal of Science*, 7, 161-166.
- Habib F N, Iovenitti P, Masood S H, Nikzad M, 2018, Cell Geometry Effect On In-Plane Energy Absorption Of Periodic Honeycomb Structures, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 2369-2380.
- Kodama H, 1981, Automatic Method For Fabricating A Three- Dimensional Plastic Model With Photo- Hardening Polymer, *Review of scientific instruments*, 52, 1770-1773.
- Lin D, Nian Q, Deng B, Jin S, Hu Y, Wang W, Cheng G J, 2014, Three-Dimensional Printing Of Complex Structures: Man Made Or Toward Nature, *ACS nano*, 8, 9710-9715.
- Lin T C, Yang M Y, Huang J S, 2013, Effects Of Solid Distribution On The Out-Of-Plane Elastic Properties Of Hexagonal Honeycombs, *Composite Structures*, 100, 436-442.
- Liu Y, Zhang X C, 2009, The Influence Of Cell Micro-Topology On The In-Plane Dynamic Crushing Of Honeycombs, *Int J Impact Eng.*, 36, 98–109.
- Manners-Bell J, Lyon K, 2012, The Implications Of 3d Printing For The Global Logistics Industry, *Transport Intelligence*, 1, 1-5.
- Merklein M, Johannes M, Lechner M, Kuppert A, 2014, A Review On Tailored Blanks-Production, Applications And Evaluation, *Journal of Materials Processing*

Technology, 214, 151-164.

Maskery I, Hussey A, Panesar A, Aremu A, Tuck C, Ashcroft I, Hague R, 2017, An Investigation Into Reinforced And Functionally Graded Lattice Structures, Journal of Cellular Plastics, 53, 151-165.

Özdemir Z Ö, Mutlubaş H, 2019, Heterojen Katalizör Tasarımlı Biyodizel Üretimi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9, 2157-2165.

Pirjan A, Petroşanu D M, 2013, The Impact Of 3d Printing Technology On The Society And Economy, Journal of Information Systems & Operations Management, 7, 360-370.

Top N, Şahin İ, Gökçe H, 3B Yazıcı Teknolojisi için Topoloji Optimizasyonu: Otomotivde Salıncak Kolu Üzerine bir Çalışma. In Third International Symposium on Industrial Design & Engineering (ISIDE), 2018, November 22-25, Ankara.

Yavuz İ, 2012, Taşıtlarda Kullanılan Metal Köpüklerin Yapısal Özelliklerinin İyileştirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Afyonkarahisar.

Xu F, Zhang X, Zhang H, 2018, A Review On Functionally Graded Structures And Materials For Energy Absorption, Engineering Structures, 171, 309-325.

Vladimir G, 2010, Measurement Of The Energy Absorption Capability Of Polyurethane Foam, University of Technology, Ilkovičova.

Yetgin S H, Ünal H, 2008, Polimer Esaslı Köpük Malzemeler, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17, 117-128.

Wang K, Chang Y H, Chen Y, Zhang C, Wang B, 2015, Designable Dual-Material Auxetic Metamaterials Using Three-Dimensional Printing, Materials & Design, 67, 159-164.

## **İnternet Kaynakları**

- 1) [https://products.basf.com/zh/Neopolen.industry~plastics\\_rubber%7Cperformanc\\_e\\_polymers.html](https://products.basf.com/zh/Neopolen.industry~plastics_rubber%7Cperformanc_e_polymers.html), 22.12.2019
- 2) [http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=1581](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1581), 06.02.2019
- 3) <https://fibilu.com/uc-boyutlu-yazici-nedir/>, 10.03.2019
- 4) <https://www.artiboyut.com/index.php/tr/bilgi-bankasi/67-filamentlerin-detayli-karsilastirilmesi> , 04.05.2019
- 5) <https://3dedi.com/3d-yazici/zortrax-m200-3d-yazici/>, 28.12.2019
- 6) <http://www.jeotest.com.tr/tr/anasayfa/743-radwag-wtb-200-hassas-terazi-kapasite-200gr-hassasiyet-0001-gr.html#prettyPhoto>, 02.03.2020





## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdulkadir YILDIRIM  
Doğum Yeri ve Tarihi : Besni/ADİYAMAN 07.03.1995  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon / e-posta) : 534 707 1382 / abdulcadiryildirim3@icloud.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Besni Anadolu Öğretmen Lisesi (2009 – 2013)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği  
Böl., (2013–2017)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens.,  
Otomotiv ABD, (2017–2020)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: Özel AOSB Rahmiye Sare Palalı Mesleki Ve Teknik  
Anadolu Lisesi Otomotiv Öğretmeni (2018 – Devam Ediyor)

### Yayımları (SCI ve diğer) :

Yavuz İ, Yuran A F, Yıldırım A, Gözenekli Yapıların 3B Yazıcılarla Hassas Üretiminin  
Araştırılması 4th International Congress On 3D Printing (Additive  
Manufacturing) Technologies And Digital Industry, 2019, April 11-14, Antalya.

Yavuz İ, Yuran A F, Yıldırım A, Çakır M E, Polymer Foam Desing and Manufacturing  
with 3D Printer, International Congress on Engineering and Life Science, 2018,  
April 26-29, Kastamonu.

Yavuz İ, Yuran A F, Yıldırım A, Çakır M E, Engelli Araçlar İçin Aparat Tasarımı Ve

Fdm 3b Yazıcı Uygulaması 3rd International Congress On 3D Printing Technologies Anddigital Industry. 2018, April 19-21, Antalya.

Bayrakçeken H, Mutlu İ, Yavuz İ, Yıldırım A, Hibrit ve Elektrikli Araçlar ile Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Egzoz Emisyonu Yönünden Karşılaştırılması, 14th International Combustion Sysposium, 2018, April 25-27, Karabük.

Yavuz İ, Bayrakçeken H, Yıldırım A, Çengelci E, Taşıtlarda Hasar Analizi Viraj Denge Demiri Örneği, 1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials, 2018, March 22-24, Karabük.

Mutlu İ, Yavuz İ, Erçek E, Yıldırım A, 2018, Farklı Malzemeden Yapılmış Çarpışma Kutularının Karşılaştırılması, 1st International Engineering And Technology Symposium, 2018, May 3-5, Batman.