

**TERMOPLASTİK KÖPÜKLERİN ÜRETİM  
PARAMETRELERİNİN SES SÖNÜMLEME  
PERFORMANSINA ETKİSİ**

**Moussa EL KHODOR**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMOPLASTİK KÖPÜKLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN SES  
SÖNÜMLEME PERFORMANSINA ETKİSİ**

**Moussa El KHODOR**

0000-0002-5003-7771

Prof. Dr. Murat YAZICI  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020  
**Her Hakkı Saklıdır**

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

tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,

görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,

başkalarının eserlerinden yararlanması 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.**

27/08/2020

**Moussa El KHODOR**

## TEZ ONAYI

Mousaa EL KHODOR tarafından hazırlanan “TERMOPLASTİK KÖPÜKLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN SES SÖNÜMLEME PERFORMANSINA ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Murat Yazıcı

**Başkan** : Prof. Dr. Murat YAZICI  
0000-0002-8720-7594  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Doç. Dr. Rukiye ERTAN  
0000-0002-9631-4607  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Yalçın BOZTOPRAK  
0000-0003-1714-7394  
Marmara Üniversitesi,  
Teknoloji Fakültesi,  
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim  
Dalı

İmza

İmza

İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Akşel LREN**  
**Enstitü Müdürü**

.....

## ÖZET

Yüksek Lisans

### TERMOPLASTİK KÖPÜKLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN SES SÖNÜMLEME PERFORMANSINA ETKİSİ

**Moussa ELKHODOR**

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Murat YAZICI

Termoplastik polimer esaslı köpük malzemeler, üstün ses ve ısı yalıtımı, düşük yoğunluk, kimyasal stabilite, titreşim sönümlenme, geri dönüşüm ve yeniden işleme özellikleri nedeniyle sıkça kullanılmaktadır. Bu çalışmada, termoplastik malzemeler grubunda düşük yoğunluklu polietilen malzeme (LDPE) köpürtülmüştür. Köpürme maddesi olarak sodyum bikarbonat (NaHC03) kullanıldı. Ayrıca, hücre stabilitesini sağlamak için köpük malzemesine belirli miktarlarda talk, gliserol monostearat (GMS) ve çinko katkı maddesi ilave edildi. Bu malzemeler karıştırılarak polimer köpük üretimi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan polimer köpük hücre geometrisi, hücre büyüklüğü ve hücre boşlukları incelenmiştir. Polimer köpük üretimi için gerekli malzeme miktarları ve deney için belirlenen parametreler ayrı ayrı değiştirilerek farklı deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda en optimum polimer köpük üretimi gerçekleştirilmiştir. Köpük malzemelerinin sıkıştırma özellikleri bası testleriyle, yalıtım özellikleri empedans testleriyle belirlenmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar incelenerek ideal köpük bileşenleri oranları elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ses Yalıtımı, LDPE, Termoplastik Köpük, Hücre Büyüklüğü, Hücre Geometrisi, Polimer, Akustik. **2020, x+81 pages.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **THE EFFECT OF PRODUCTION PARAMETERS OF THERMOPLASTIC FOAMS ON SOUND INSULATION PERFORMANCE**

**Moussa ELKHODOR**

Bursa Uludag University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Murat Yazıcı

Thermoplastic polymer-based foam materials are frequently used because of their superior sound and heat insulation, low density, chemical stability, vibration damping, recycling, and rework. In this study, low-density polyethylene material (LDPE) was foamed in the thermoplastic materials group. Sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ) was used as the foaming agent. In addition, certain amounts of talc, glycerol monostearate (GMS), and zinc additive were added to the foam material to ensure cell stability. By mixing these materials, polymer foam production was realized. The formed polymer foam cell geometry, cell size, and cell spaces are examined. Different experiments were carried out by changing the amount of material required for polymer foam production and the parameters determined for the experiment separately. As a result of these experiments, the optimum polymer foam production was realized. Compression properties of foam materials were determined by compression tests, and insulation properties were determined by impedance tests. The resulting results were examined, and ideal foam components ratios were obtained.

**Keywords:** Sound Insulation, LDPE, Thermoplastic Foam, Cell Size, Cell Geometry, Polymer, Acoustic. **2020, x+81 pages**

## TEŞEKKÜR

Bu alıŐma, TUBITAK-ARDEB 1001 programı destekli, 218M468 nolu “Kendi Kendine Makro Seviyede İyileŐebilir Özellikli Yeni Hibrit Sandviç Panel GeliŐtirilmesi ve Statik, Anlık Dinamik ve Şok Yüklere Altında İyileŐme Performansının İncelenmesi” proje kapsamında gerçekleŐmiŐtir.

Bu çalışmada emeği geçen değerli hocam Prof. Dr. Murat YAZICI’ ya yardımlarını esirgemediği maddi ve manevi destekleri için teŐekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada her zaman yanımda olan ve yol gösteren AraÇ. Gör. Hakkı ÖZER, ve yanımda her zaman duran Tolgahan BAYRAM’ a teŐekkürlerimi sunarım.

Okul öğrenimi süresince sürekli yanımda olan ve destekleyen değerli aileme teŐekkürlerimi sunarım.

Ve son olarak hayatımın boyunca beni hiç bırakmayan ve kötü ve iyi gülerimi benimle paylaŐan büyük abim Gharib EL KHODOR’ ya teŐekkürlerimi sunarım.

Moussa EL KHODOR

27/08/2020



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Polimer Köpük Çeşitleri.....	3
2.1.1. Termoplastik ve Termoset Polimer Köpükleri.....	4
2.1.2. Açık ve Kapalı Hücreli Polimer Köpükleri.....	5
2.1.3. Esnek, Yarı Katı ve Sert Polimer Köpükler.....	6
2.2. Polimer Köpük Üretimi.....	7
2.2.2. Gaz Basıncı Gelişimi.....	10
2.2.3. Hücre Büyüklüğü ve Hücre Stabilitesinin Kontrolü.....	12
2.3. Polimer Köpük Üretim Yöntemleri.....	13
2.3.1. Ekstrüzyon.....	14
2.3.2. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi.....	15
2.3.3. Hızlı Dönme Köpük Kalıbı.....	17
2.3.4. Sıkıştırma Kalıplama Yöntemi.....	19
2.4. Polimer Köpüklerin Özellikleri.....	20
2.4.1. Köpük Geometrisi.....	20
2.4.2. Köpük Yoğunluğu.....	20
2.4.3. Köpük Yapısı.....	21
2.4.4. Hücre Büyüklüğü Dağılımı.....	22
2.4.5. Köpük Anizotropisi.....	23
2.5. Hücre Çekirdeği.....	24
2.6. Hücre Büyümesi.....	25
2.7. Polimer Köpüklerin Uygulama Alanları.....	25
2.8. Ekstrüder.....	26
2.8.1 Ekstrüzyon Makine Bileşenleri.....	27
2.8.2. Ekstruder Makinesi.....	29



2.8.3. Tipik Ekstrüzyon Malzemeleri.....	31
2.9. Termoplastik Köpük Polimerleri ve Diğer Bileşenler .....	34
2.9.1. Polietilen (PE) .....	35
2.9.2. Poliproilen (PP).....	36
2.9.3. Etilen-vinil Asetat (EVA) .....	36
2.1.4. Azodikarbonamid (ADC).....	37
2.9.5. Çinko oksit (ZnO) .....	37
2.9.6. Gliserol Monostearat (GMS) .....	37
2.9.7. Sodyum Bikarbonat (NaHCO <sub>3</sub> ).....	38
2.9.8. Talk .....	38
2.10. Polimer Köpüklerde Gürültü Yalıtımı .....	39
2.11. Gürültü Tanımı ve Teorisi.....	40
2.12. Ses Sönümleyici Yapılar ve Köpüklerin Kullanımı.....	43
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	47
3.1. Kullanılan ekipmanlar .....	48
3.2. Deneysel Prosedür.....	50
3.3. Bası Deneyi .....	53
3.3.1. Bası Testi Uygulaması ve Sonucu.....	56
3.2.2. Basma Testin Sonucu ve Tartışmaları .....	59
3.4. Ses Sönümlenme .....	60
3.3.1. Ses Absorpsiyon Testi.....	62
3.5 Ses İletim Kaybı Değeri Ölçümleri.....	63
3.5.1. Empedans Tüpü.....	64
4. BULGULAR.....	66
4.1. Ses Absorpsiyon Katsayısı Test ve Tartışmaları.....	66
4.2. Ses iletim kayıpları test ve sonuçları.....	69
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	73
KAYNAKLAR .....	74
ÖZGEÇMİŞ .....	81

## KISALTMALAR

- PU: Poliüretan  
PS: Polistiren  
PE: Polietilen  
PP: Polipropilen  
PVC: Polivinil klorür  
PC: Polikarbonat  
EVA: Ethylene–vinyl acetate copolymer  
PPO: Polyphenyleneoxide Blend with PS  
ADC: Azodicarbonamide  
CO: Karbonmonoksit  
NH<sub>3</sub>: Amonyak  
CO<sub>2</sub>: Karbondioksit  
ZnO: Çinko oksit  
GMS: Gliserol Monostearat  
NaHCO<sub>3</sub>: Sodyum Bikarbonat  
MgO<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>: Talk  
BA: Şişirme ajanları  
PBA: Fiziksel şişirme ajanları  
CBA: Kimyasal Üfleme Ajanları  
AZDN: Azobisformamit  
TSH: p-Toluen Sülfonil Hidrazit  
THT: Triazin trihidrazin  
NaBH<sub>4</sub>: Sodyum Borohidrid  
P: Mutlak Gaz Basıncı  
T °C: Boyutsuz Sıcaklık  
VP(T): Bağlı Hacim  
N: Hücre Yoğunluğu (Hücre / cm<sup>3</sup>)  
n: Hücre sayısı

M: Büyütme Faktörü  
A: Mikrografın Alanı (cm<sup>2</sup>)  
 $\Psi$ : Köpüklü Numunenin Genişleme Oranı  
P: Köpüksüz Malzeme Yoğunluğu  
 $\rho^f$ : Köpüklü Malzeme Yoğunluğu  
 $m_{foam}$ : Köpüğün Toplam Kütlesi  
 $V_{foam}$ : Köpüğün Toplam Hacmi  
 $A_i$ : Hücrelerin Yüzey Alanı  
 $d_i$ : Hücre Büyüklüğü  
 $d_n$ : Ortalama Sayının Çapı  
 $d_v$ : Çap Ortalama Büyüklüğü  
X: Çözünmüş Azot Kütlesi  
 $V_g$ : Boyutsuz Gaz Hacmi  
 $V_P(T)$ : Boyutsuz LDPE Bağlı Hacmi  
R: Anizotropi Oranı  
PID: Oransal-İntegral-Türevsel Kontrolörleri  
T: Tork  
r: Yarıçap  
F: Kuvvet  
dB: Ses Dalgası Gücü  
 $\sigma_b$ : Basma gerilmesi  
 $F_{max}$ : maksimum basma kuvveti  
 $A_0$ : Başlangıç kesit alanı  
TL: Ses iletim kaybı  
W1: malzemenin üzerine gelen toplam ses enerjisi  
W2: ise iletilen ses enerjisidir.  
K: ses dalga sayısı,  
 $P_i$ : karmaşık ses basınçları  
r: Referans sinyali

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Propilen monomeri ve Polipropilen .....	1
Şekil 1.2. Polietilen zincirinin şematik gösterimi .....	1
Şekil 1.3. Enjeksiyon köpük yöntemiyle üretilen dallanmış polipropilen köpüğün hücre yapısı .....	2
Şekil 2.1. Kapalı ve açık hücre yapıları .....	5
Şekil 2.2. (a) Açık hücreli PU'nın SEM görüntüsü (b)Kapalı hücreli (LDPE) düşük yoğunluklu (PE) polietilen köpüğün SEM görüntüsü.....	6
Şekil 2.3. Anormal derecede büyük hücreler, hücre yüzünün oluşturduğu > 20 yüzü olan, normal hücrelerin 150 kg m <sup>-3</sup> yoğunluklu EVA köpüğünde hücre yüzünün çökmesi ile oluşur.....	13
Şekil 2.4. Köpük ekstrüzyonu şeması, a, kimyasal ağarlarda çalışan ekstrüder ve b co2 gazı ile çalışan ekstrüder. ....	15
Şekil 2.5. Enjeksiyon kalıplama köpüğü işlemlerinin şeması.....	16
Şekil 2.6. Tipik kalıplama sırası.....	17
Şekil 2.7. Rotasyonel kalıplama işlemi .....	18
Şekil 2.8. Plastik malzemelerin sıkıştırılmasında kullanılan şemalar .....	19
Şekil 2.9. Tüm gözeneklerin polimer matris duvarları ile sınırlandırıldığı kapalı hücreli bir yapı modeli .....	22
Şekil 2.10. Açık hücre yapısı, Gözenekler kapalı değildir sürekli bir ağ oluşturur .....	22
Şekil 2.11. Ekstrüder Sistemi .....	27
Şekil 2.12. Tek vidalı Ekstruder makinesi .....	30
Şekil 2.13. Paralel çift vida .....	30
Şekil 2.14. Plastikleştirici vidanın temel özellikleri .....	33
Şekil 2.15. Modern araçlarda polimerik köpüklerin birçok işlev sağladığı çeşitli alanların gösterimi.....	40
Şekil 2.16. Ses dalgalarının frekans aralıkları gösterilmektedir .....	41
Şekil 2.17. kulağın duyarlılığı ses şiddetleri .....	42
Şekil 2.18. Ses yalıtımı ve ses absorpsiyonu .....	43
Şekil 2.19. Dalga boyuna göre kalın ve ince seslerin değişimi.....	44
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan hassas terazi. ....	48
Şekil 3.2. Deneyde kullanılan 1500cc ve 105cc kavanozlar. ....	48
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan karıştırıcı. ....	49
Şekil 3.4. Deneyde kullanılan fırın. ....	49
Şekil 3.5. 150 °c de LDPE fırın içinde yerleşmesi. ....	51
Şekil 3.6. Diğer katkı malzemelerinin hazırlanması. ....	51
Şekil 3.7. köpük oluşma aşamaları.....	52
Şekil 3.8. fırında oluşan köpük. ....	52
Şekil 3.9. Farklı katkı malzemelerden elde edilen numuneler. ....	53
Şekil 3.10. Basma deneyi uygulanan bir sünek malzemede oluşan fiçilaşma .....	54
Şekil 3.11. bir polimer köpüğün basma etkisi altında gösterdiği farklı deformasyon bölgeleri.....	55
Şekil 3.12. Basma Test Cihazı. ....	56
Şekil 3.13. Numuneye basma periyodu ve gevşeme periyodu.....	56
Şekil 3.14. Basma testi öncesi ve sonrası numunelerinin göstermektedir. ....	57

Şekil 3.15. Basma testinde seçilen numunelerin ortalama gözenek boyutlarını (0,254 mm ve 0,467 mm) ve yoğunluğu (0,30168 g/cm <sup>3</sup> ).....	59
Şekil 3.16. Numune 5,6 ve 7'nin gerilme ve şekil değiştirme eğrisi. ....	59
Şekil 3.17. Empedans Tüpü Ses Yutum Ölçüm Düzeneği.....	61
Şekil 4.18. Empedans Tüplerinde Kullanılan Farklı Çaplardaki Tüpler.....	61
Şekil 3.19. Empedans Tüpünde test yapıldığı 3cm çaplı numuneler. ....	62
Şekil 3.20. Empedans Tüpünde test yapıldığı 10cm çaplı numuneler. ....	62
Şekil 3.21. ses yutum testi uygulaması. ....	62
Şekil 3.22. Deney düzeneğine ait ölçüm zinciri.....	64
Şekil 3.23. Ses iletim kaybı için ölçüm teorisi.....	64
Şekil 4.3.Numune 5,6 ve 7 ses yutum katsayısı analizi. ....	72

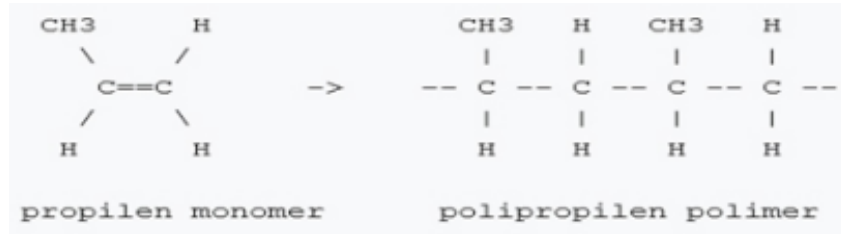
## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Çeşitli kimyasal şişirici maddeler için ayırışma sırasında maksimum gaz basıncı ve oda sıcaklığında kalıntı basınç.....	10
Çizelge 2.2. Köpüklerin kütle yoğunluklarına göre endüstriyel sınıflandırılması.....	21
Çizelge 2.3. Kapalı hücreli köpüklerde yaygın olarak kullanılan termoplastikler.....	35
Çizelge 3.1. Deneşlerde kullanılacak katkıların miktarları design expert ile sonuçlandı.....	50
Çizelge 3.2. LDPE Köpüklerin Hücre Boyutu ve Hücre Yoğunluğu.....	58
Çizelge 4.1. Numune 5, 6 ve 9 ses yutum değerlerini göstermektedir.....	71

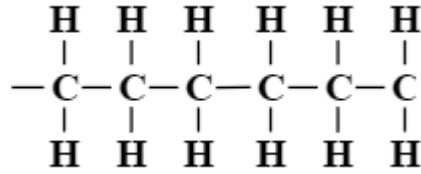
## 1. GİRİŞ

Polimer; poli = çok ve mer = kısım olmak üzere Latince iki kelimedenden oluşmuştur. Polimerler çok büyük moleküller veya makro moleküllerdir. Birçok küçük molekülün birleşmesiyle oluşur. Bu küçük birimler, polimerlere dönüştürülmeden önce monomerler olarak adlandırılır. Polimer, polimerizasyon işleminden çıkan saf malzemedir ve genellikle uzun zincir benzeri moleküllere sahip olan malzemeler olarak kabul edilir. Monomer; polimerik madde içinde tekrar eden en küçük moleküldür. Monomer, elde edilen polimerin kimyasal ve fiziksel özellikleri karakteristik özelliklerini gösterir. İki monomerin kimyasal bağ ile birleşmesi dimer denir, üç tanesinin birleşmesi ile oluşana trimer, dört tanesinin birleşmesiyle oluşana tetramer denir (Guerra 2013).



Şekil 1.1. Propilen monomeri ve Polipropilen (Anonim 1997).

Şekil 1,1 de görüldüğü gibi propilen monomerinin polimerizasyonu sonrasında polipropilen polimeri meydana gelmiştir.



Şekil 1.2. Polietilen zincirinin şematik gösterimi (Anonim 2013a).

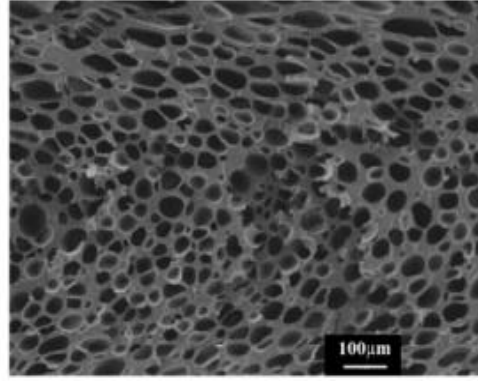
Polietilen içerdiği polimer zincirlerinde, birbirine kovalent bağlarla bağlıdır ve içerisinde çok sayıda küçük molekül bulunur. Birbirine bağlanan moleküler, polimer zincirleri oluşturur (Crawford 1998).

Polimerik köpük yapıları 1940 ve 1950'lerde genel pratik kullanıma girdi. Polimerik köpük otomotiv, havacılık, inşaat, elektronik ve ambalaj endüstrisinde kullanılıyor. Köpük plastikler plastik endüstrisinde en çok büyüyen sektörlerinden biridir. 21.

yüzyılda, köpüklü ürünlerin dünyadaki kullanımını yaklaşık 23 milyar pound ve bu sayının artması bekleniyor (Doelder ve Paquet 2000).

Polimer köpükler, çeşitli malzemeleri içerir ve çok çeşitli yoğunluklara sahiptir. Polimer köpükler; düşük yoğunluk, mükemmel yalıtım kabiliyeti, ucuzluk, iyi dayanım/ağırlık oranı, iyi darbe mukavemeti sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle, mobilya sektörü, taşımacılık sektörü, oyuncak, spor ekipmanları, ayakkabı, ses izolasyonu, binalarda yalıtım uygulamaları, yiyecek ve içecek kaplarının yapımı gibi farklı alanlarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Genellikle köpükler esnek, yarı esnek veya rijit olarak sınıflandırılır ve istenen herhangi bir sertlik derecesinde üretilebilir (Doelder ve Paquet 2000).

Köpük üretilmesi en çok kullanılan polimer tipleri poliüretan (PU), polistiren (PS), polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC) ve polikarbonat (PC)' dir. Polipropilen köpük malzemesinin yüksek darbe direnci, yüksek ergime sıcaklığı ve daha iyi termal kararlılığı sahip olduğu için son yıllarda bu malzemesinin kullanımı artmaktadır (Jiong 2006).



**Şekil 1.3.** Enjeksiyon köpük yöntemiyle üretilen dallanmış polipropilen köpüğün hücre yapısı (Jiong 2006).



## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Polimer köpükleri yoğun polimer matris ile çevrilmiş, gaz boşlukları içeren malzemeler olarak tanımlanır ve genellikle sıvı veya katı bir fazdan oluşur. Doğada, selülozik ahşaplarda ve diğer fenomenlerde yaygın olarak bulunur ve sentetik işlemleri (proses) kullanılarak yapılabilir. Gaz boşluklarının varlığı geri dönüşümsüz hacim genişlemesi dışında kapsüllenmiş veya içinde olabilir. Çoğu durumda, gaz fazı, daha hafif bir heterojen bileşik yapı oluşturmak için, farklı özelliklerin ve benzer bir yapının bir kombinasyonunun aksine, çevre katı fazdan radikal biçimde farklı özelliklere ve yapılarla sahiptir. Köpükler, cam geçiş sıcaklıklarının oda sıcaklığının altında veya üstünde olmasına bağlı olarak esnek veya sert olabilir, bu da kimyasal bileşimlerine, kristalleşme derecelerine ve çapraz bağlanma derecelerine bağlıdır. Köpükler ısı ve ses yalıtımına, katı polimere kıyasla daha iyidir (Lee 2000, Yetgin ve Ünal 2008) .

Köpüklü plastikler farklı şekillerde sınıflandırılabilir; köpük hücre boyutuna, genişleme oranına, camsı geçiş sıcaklığına, hücre morfolojisine (kapalı veya açık hücre), polimer matris malzemesine (termoplastik veya termoset), düşük yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu. Polimerik köpükler 1,6 ila 960 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen çeşitli yoğunluklarda hazırlanabilir (Park ve ramesh 1969).

### 2.1. Polimer Köpük Çeşitleri

Polimer köpük malzemeleri iki yapısal konfigürasyonuna sahip olabilir: Kapalı hücre tipi ve açık hücre tipi. Kapalı hücre tipi yani, kapalı hücre köpükleri, katı hücre destekleriyle birbirlerinden izole edilmiş hücrelerden oluşur; bu da yalıtımı ve boyutsal kararlılığı geliştirmeye yardımcı olan ve nem emilimini önleyen bir özelliktir. Açık hücreli köpük, birbirine bağlanmış ve birbirine bağlı bir ağ oluşturan hücreleri içerir. Polimer köpükler termoplastikler ve termoset esaslı köpükler olmak üzere iki grupta incelenebilir. Köpükler sert, yarı sert veya esnek olabilir.

Polimerik köpükler, genleşme oranı esas alınarak ta üç farklı şekilde sınıflandırılabilir:

1-Düşük Yoğunluklu Köpükler:  $2 \text{ kg/m}^3$  ile  $50 \text{ kg/m}^3$  arasında belirgin bir yoğunluk değerine sahip köpükler.

2-Orta Yoğunluklu Köpükler:  $50 \text{ kg/m}^3$  ile  $350 \text{ kg/m}^3$  arasında belirgin bir yoğunluk değerine sahip köpükler.

3-Yüksek Yoğunluklu Köpükler:  $350 \text{ kg/m}^3$  ile  $960 \text{ kg/m}^3$  arasında belirgin bir yoğunluk değerine sahip köpükler.

Bu üç farklı yoğunlukla köpüklenen plastikler yaklaşık  $1,6 \text{ kg/m}^3$ ' den  $960 \text{ kg/m}^3$ ' e kadar hacimsel yoğunluğuna sahiptirler.

Hücre büyüklüğü ve hücre yoğunluğu açısından, plastik köpükler dört kategoriden birine ayrılabilir.

1-Geleneksel köpükler: ortalama hücre büyüklüğü 300 mikrondan daha büyük ve  $10^6$  hücre/ $\text{cm}^3$ ' ten daha düşük bir hücre yoğunluğuna sahip köpük yapıları.

2-İnce hücreli köpük: ortalama hücre büyüklüğü 10 ila 300 mikron ve hücre yoğunluğu  $10^6$  ila  $10^9$  hücre/ $\text{cm}^3$  olan köpük yapıları.

3-Mikroselüler köpükler: Ortalama hücre büyüklüğü 10 mikrondan küçük ve  $10^9$  hücre/ $\text{cm}^3$ ' ten büyük hücre yoğunluğu olan köpük yapıları.

4- Nano-hücreli (0.1- 100 $\mu\text{m}$ ) (Wouterson ve ark. 2013, Naguib 2001).

### **2.1.1. Termoplastik ve Termoset Polimer Köpükleri**

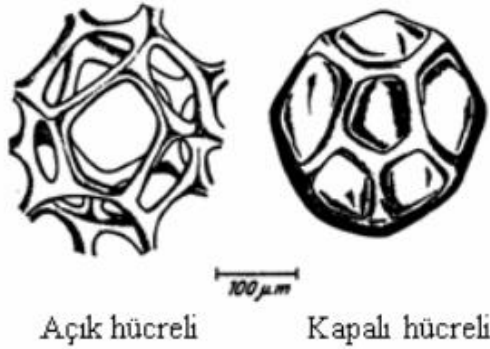
Tüm polimerler, iki özelliğe göre sınıflandırılır; bunların nasıl işlendiği (termosetler veya termoplastikler olarak) ve nihai ürünün fiziksel özellikleri (sert, esnek veya kauçuk). Sert olan termoplastikler, polisitren, polipropilen, polivinil klorür, yüksek yoğunluklu polietilen, ve esnek olan termoplastik polimerler, düşük yoğunluklu polietilen, EVA, Plastikleştirilmiş PVC, termosetin sert olan polimerleri epoksiler, fenol-formaldehit, üre-formaldehit, ve çok doldurulmuş ve/veya yüksek vulkanize kauçuklar (Holden 2000 ).

### 2.1.2. Açık ve Kapalı Hücreli Polimer Köpükleri

Polimer köpükler kapalı hücreli veya açık hücreli köpükler olarak tanımlanabilir.

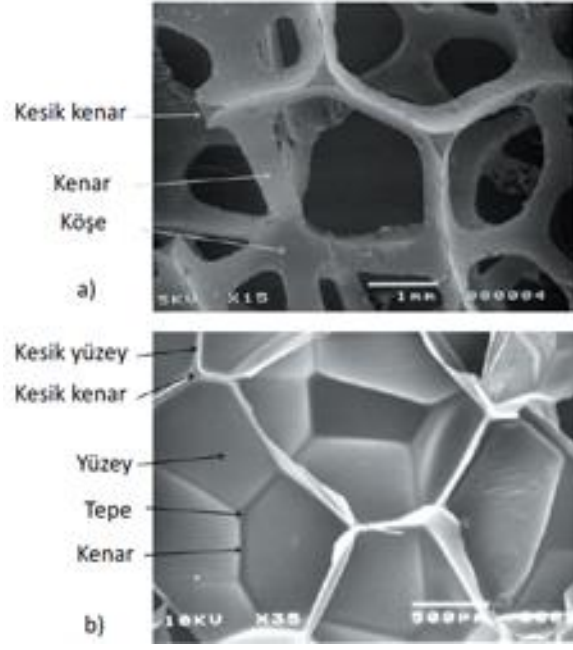
Kapalı hücreli köpüklerde, köpük hücreleri birbirlerinden izole edilir ve boşluklar tüm hücre duvarlarını çevreler. Sıkışmış sıvı (örneğin hava), kapalı hücreli köpükler için basınç dayanımı ve enerji emme kapasitesinin artırılmasında önemli bir rol oynar. Kapalı hücreli köpükler daha az geçirgenliğe sahiptir ve bu da daha iyi yalıtım özelliklerine yol açar. Kapalı hücreli köpük yapısı, destekleme malzemesi olarak kullanılır ve sönümlenme kuvvetlerinin büyük etkisine sahiptir. Açık hücreli köpüklerde ise, tüm hücreler birbirleri ile temas halindedir ve hücre duvarları bulunmaz.

Açık hücreli köpük plastikler daha yüksek su ve nem emme kapasitesine, daha yüksek gaz ve buhar geçirgenliğine, daha az ısı veya elektrik yalıtımına ve daha iyi ses ve nem emilimine sahiptir (Ünal ve Yetgin 2008).



**Şekil 2.1.** Kapalı ve açık hücre yapıları (Ünal ve Yetgin 2008).

Şekil 2.1, taramalı elektron mikroskopunda (SEM) gösterildiği gibi sırasıyla açık ve kapalı polimer köpüklerin tipik mikro yapılarını karşılaştırmaktadır. İyi konsantrasyon derinliği, açık hücreli poliüretan (PU) köpüklerin iç kısmında tam hücrelerin görülmesine izin verir ve hava, bu köpüklerin hücreleri arasından kolay bir şekilde geçebilir (Liu ve ark. 2013).



**Şekil 2.2.** (a) Açık hücreli PU'nın SEM görüntüsü (b)Kapalı hücreli (LDPE) düşük yoğunluklu (PE) polietilen köpüğün SEM görüntüsü (Mills 2007).

Şekil 2.2 (a) 'da tüm hücre yüzleri açık olmasına rağmen, sürekli hava geçişleri oluşturmak için sadece küçük bir hücre yüzleri kesiminin açık olması gerekir. Tipik bir kapalı hücreli köpüklü termoplastikte her bir hücre bağlı yüzlerle çevrilidir. Kesik yüzleri ve kenarları olan kısmi hücreler kesik yüzeylerde görünür Şekil 2,2 (b), bütün hücreler numunenin iç kısmında bulunur. Bazen, hücre yüzleri kırılabilir veya zarar görebilir (Mills 2007).

### 2.1.3. Esnek, Yarı Katı ve Sert Polimer Köpükler

Otomotiv uygulamaları ve sıcak su borusu yalıtımı dahil olmak üzere birçok uygulama için, ısı bozulmasına karşı yüksek sıcaklık içeren esnek köpük ürünlerine ihtiyaç duyulur. Genellikle esnek köpükler düşük bir erime noktasına sahiptir, EVA reçineden hazırlanan köpük ürünü yumuşak ve esnektir ama sıcaklık dayanımı düşüktür. Köpükler genellikle düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) reçinelerden hazırlanır ve LDPE köpükleri, yoğunlukları düşük olduğundan esnektir. Düşük yoğunluklu köpükler, açık veya kapalı hücrelerle esnek veya katı olabilir. Sert köpükler: kapalı hücrelerin çoğunda,

polieterlerden başlayarak sert köpükler elde edilir. Geniş bir sıcaklık aralığında ( $-30^{\circ}\text{C}$  ila  $+70^{\circ}\text{C}$ ) mükemmel ısı yalıtım özelliklerine sahiptirler.

Yarı sert köpükler: Sıkıştırma gerilmeleri sert köpüklerden çok daha düşüktür.

Esnek köpükler: Açık hücrelerin çoğunluğu ile bunlar polyesterlerden veya polieterlerden başlayarak elde edilir. Yoğunlukları  $10$  ve  $60\text{ kg/m}^3$  arasındadır. Döşemede veya sandviç panel çekirdeklerinde uygulamalara sahip olabilirler .

Sert köpükler, çeşitli metalik ve metalik olmayan polimerik köpüklerin kaynaklardan elde edilir, çünkü formüle edilmesi kolaydır ve bunların işlenmesi enerji yoğunudur daha düşüktür.

Poliüretan (PUR) köpükleri esnek veya sert köpükler olabilir ve genellikle polietilen, polipropilen ve poli (akrilonitril bütadien stiren) gibi genişletilmiş termoplastiklerle rekabet eder (Kandare ve Chevali 2016, Park 2002).

## **2.2. Polimer Köpük Üretimi**

Hüresel plastikler plakalar, bloklar, levhalar, tabakalar, kalıplanmış şekiller ve püskürtme kaplamalar formunda üretilebilir. Kullanılan işlem türü (döküm, ekstruzyon, enjeksiyonlu kalıplama) son ürünün özelliklerini etkileyecektir.

Ekstrüde edilmiş köpük, ilk önce erimiş polietilen reçineyi bir köpükleme veya üfleme maddesiyle (genellikle bir halojenle hidrokarbon gazı) yüksek basınç altında harmanlayarak sürekli bir proseste üretilir, bu karışım sürekli kontrollü bir taşıyıcıya açılan bir kalıpla sıcaklık kontrollü vidalı bir ekstrüder içinde taşınır. Atmosferik basınca maruz kalır. Sıcak viskoz sıvı-gaz çözeltisi atmosferik basınca maruz kaldığında, üfleme gazı, ayrı hücreler oluşturmak üzere genişler. Aynı zamanda, erimiş polietilenin katılaşması için kütle soğutulur, böylece üfleme ajanı interstisyel hücrelerde tutulur. Genleşme derecesi, hücre boyutu ve hücre oryantasyonu, akış hızı, ısıtma ve soğutma sıcaklıkları, gaz-sıvı oranı ve kalıp açıklığındaki basınç düşüşü değiştirilerek kontrol edilebilir (Landrock 1995).

### **2.2.1. Üfleme Ajanları:**

Gazın bir polimer sistemine verilmesi, gaz halindeki faz bu gözenekli yapılar içindeki boşlukları tamamlaması polimer köpük imalat işleminin önemli bir parçasıdır. Köpük sırasında, gaz polimer matrisine dahil edilebilir veya kimyasal reaksiyonlarla serbest bırakılabilir. Her iki durumda da gaz oluşturan bileşik şişirme ajanları (BAs) olarak adlandırılır. BA'ler genellikle iki geniş sınıfa ayrılır: kimyasal şişirme ajanları (CBA'lar) ve fiziksel şişirme ajanları (PBA'lar)

#### **Fiziksel Şişirme Ajanları (PBA'lar):**

Fiziksel şişirme ajanları (PBA'lar), yüksek sıcaklıklarda veya düşük basınçlarda fiziksel işlemler (buharlaştırma, desorpsiyon) sonucu gazları serbest bırakan bileşiklerdir.

Fiziksel şişirme ajanları iki kategoriye, yani inorganik ve organik şişirme ajanlarına ayrılabilir. İnorganik şişirme ajanları azot, karbon dioksit, su ve hava içerir. Organik şişirme ajanları pentan, heksan, dikloroetan ve freon'dur. Hücre büyüklüğü gaz basıncı, dağılım verimliliği, erime sıcaklığı ve çekirdek faktörlerinin varlığından etkilenir. En yaygın kullanılan gazlar karbondioksit, azot ve havadır.

Pentan: Pentan (BP 34 °C), polistiren içinde yüzde 10 çözünür. Düşük maliyetlidir ve toksik değildir, ancak bir miktar yanıcıdır. İzopentan, bütan ve heksanlar ve bunların karışımları sıklıkla kullanılır.

Florokarbonlar: Florokarbonlar sert poliüretan köpükte ve bazen esnek poliüretan ve polistirende de kullanılmıştır. Yanmaz ve toksik değildirler ve mükemmel köpüklenme ve ısı yalıtımı sağlarlar.

Karbondioksit: Yüksek basınç altında sıvı haldedir, erimiş polimer içine zorlanır ve daha sonra gaz kabarcıklarının genişlemesine ve oluşmasına izin verilir (Liu ve ark. 2013, Haper 2006).

### **Kimyasal Üfleme Ajanları (CBA'lar):**

Bu ajanlar katı bileşiklerdir (genellikle tozlar), ancak bazen sıvılar, hücresel yapıyı oluşturan gazı geliştirmek için işlem sıcaklıklarında ayrışırlar. En önemli seçim kriteri, kullanılan polimerin işlem sıcaklığı ile aynı olması gereken ayrışma sıcaklığı aralığıdır. CBA'daki ayrışma reaksiyonu, polimer eriyik viskozitede veya uygun bir işlem derecesinde olduğunda gerçekleşmelidir. Kimyasal şişirme maddeleri iki kategoride sınıflandırılır; inorganik ve organik köpükleştirici maddeler ve hemen hemen her termoplastikte kullanılabilir. En yaygın CBA sodyum bikarbonattır, ancak kullanımı plastiklerde sınırlıdır, çünkü ayrışması organik CBA' larda olduğu gibi kontrol edilemez. İnorganik şişirme maddesi esas olarak sentetik kauçuk, doğal kauçuk ve kauçuk köpük ürünlerinde kullanılır. İnorganik bir termal ayrışma üfleme maddesi esas olarak bikarbonat, karbonat ve nitrit içerir. İnorganik bir reaktif şişirme maddesi, sodyum bikarbonat veya çinko tozu, bir asit reaksiyonu, hidrojen peroksit ve bir maya reaksiyonu içerir. Plastikler için en yaygın organik CBA türleridir.

AZDN Azobisformamit: HDPE, PP, HIPS, PVC, EVA, asetal, akrilik ve PPO bazlı plastiklerin köpüklendirilmesinde yaygın olarak kullanılır. 204 -213 °C' de sıcaklığında ayrışır.

OBSH, p, p'-oksibis (benzensülfonyl hidrazit): Ayrışma sıcaklığı 157-160 °C. Genellikle LDPE, EVA ve PVC'de kullanılır.

TSH: p-Toluen Sülfonil Hidrazit: Bu, plastisol ve epoksi gibi düşük sıcaklıklı işlemlerde kullanılır.

Sodyumbikarbonat + sitrik asit: Köpük polistiren taneciklerine karıştırılmış kuru tozlar. Boncuklar onları stabilize etmek için buharlaştığında, tozlar çözülür ve karbondioksit ile reaksiyona girer. Karbondioksit birincil köpürme ajanı değildir.

THT, triazin trihidrazi: Yüksek işlem sıcaklıklarında (275 °C) kullanılabilir. Aşırı ısınmanın yol açtığı ciddi ayrışma, hücrelerin iyi ve tutarlı bir yapı oluşmasına ve iyi bir yüzey görünümüne neden olur. Sorun yaratabilecek amonyak oluşturur.

5-PT, 5-feniltetrazol: Verimli, 238-249 °C' de ayrışır. Ayrışma gazları neredeyse tamamen azottur. Naylon, PC, termoplastik polyester ve diğer yüksek sıcaklığa dayanıklı plastiklerle birlikte kullanılır.

Polipropilen sülfoksit (300 ila 400 ° C): Bu, flüoresan polimerleri, polivinil eter, polivinil sülfid, polieter ketonlar, sıvı kristalli polimerler, naylon ve polieter gibi yüksek sıcaklık termoplastikleri için önerilmiştir (Liu ve ark. 2013, Haper 2006).

### 2.2.2. Gaz Basıncı Gelişimi

Ayrışma sırasında basınca maruz kalma, soğutma süresi, bileşen parçalarından sonra kontrolsüz genleşme eğilimi ve hücre yapısı açısından özellikle önemlidir. Bu, genleşme oranının derecesine bağlı olarak, parçaların fiziksel özelliklerini de etkileyebilir. CBA' ların gaz basıncının en yüksek evrimine sahiptir.

**Çizelge 2.1.** Çeşitli kimyasal şişirici maddeler için ayrışma sırasında maksimum gaz basıncı ve oda sıcaklığında kalıntı basınç (Lee ve Scholz 2008).

Madde	Maksimum Basınç (Bar)	Kalan Basınç (Bar)
ADC	85.4	30.3
5-PT	40.6	21.1
ADC/endo 1:1	42.2	15.8
Standart endo	41.6	11.9
ADC/bikarbonat 1:4	28.1	11.2
Bikarbonat	24.2	11

Polimer topaklarına katı halde kimyasal şişirme ajanları eklenir ve bir sıvı, çoğunlukla azot, karbon dioksit veya su bırakarak ve ısı ilave edilerek aktive edilir.

### Endotermik Şişirme Ajanları:

Endotermik CBA' lar, öncelikle, polimerlerden hızlı bir şekilde karbondioksit difüzyonunun gerekli olduğu köpük enjeksiyon kalıplamada kullanılır. Bu, köpüren



parçaların kalıptan tam gaz giderme periyoduna gerek kalmadan son işlemine olanak sağlar.

Sodyum borohidrid ( $\text{NaBH}_4$ ) etkili bir endotermik üfleme maddesidir, çünkü suyla reaksiyonu, azot veren diğer CBAlar tarafından üretilen gaz miktarının 10 ila 20 katı üretir. Sodyum borohidrid, depolama sırasında suyla reaksiyona girmemesi için köpüklenecek polimer ile karıştırılmalıdır.

Sodyum bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ), karbon dioksit ve  $\text{H}_2\text{O}$  salınımından ve sodyum karbonat kalıntılarının oluşumundan 212 ila 284 °F derece arasında ayrışır. Gaz verimi  $267 \text{ cm}^3/\text{g}$ ' dir. 287 ° F veya daha yüksek sıcaklıklarda, bozunma daha hızlı hale gelir, bu da stiren polimerleri gibi yüksek sıcaklıktaki termoplastikler için bir üfleme maddesi olarak kullanılmasını kolaylaştırır.

Polikarbonik asit endotermik olarak yaklaşık 320 °F' da ayrışır ve yaklaşık  $100 \text{ cm}^3/\text{g}$  karbon dioksit verir. Daha fazla ısıtma daha da fazla gaz salar. Bazı uygulamalarda köpük için ana gaz kaynağı olarak kullanılmasına ek olarak, bu malzeme sınıfı fiziksel köpük ajanları için sıklıkla nükleer bir madde olarak kullanılır (Eaves 2004, Harper 1999).

### **Üretilen Gaz Miktarının Belirlenmesi:**

Üretilen gazın boyutsuz  $V_{g0}$  hacmi (LDPE'nin hacmi başına STP'deki hacim), kimyasal şişirme ajanının konsantrasyonundan hesaplanabilir. Azotun LDPE'deki çözünürlüğünün yüksek sıcaklıkta çözüldüğünü bulmuşlar.  $\text{N}_2/\text{g}$  LDPE olarak ifade edilen çözülmüş azotun X kütlesi ile 135 ° C' de basınç P ölçülen bar arasındaki ilişki,

$$X = 0,24 \times 10^{-3} P - 1,7 \times 10^{-6} P^2 \quad (2.1)$$

Azotun molar kütlesi 28 g/mol olduğundan ve 135 °C'de gazın molar hacmi 31.600 ml/mol olduğundan, 0.22 hacim azot, 1 bar' lık mutlak basınç altında 135 °C' de bir hacim LDPE içinde çözülür. Köpük bağıl yoğunlukları, genişlemenin sonraki aşamalarında tipik olarak 0.08' den azdır ve gaz basınçları 0,2 bar' dan azdır, LDPE' de çözünen azot gazının fraksiyonu önemsizdir. Hücre yüzeyleri boyunca köpüğün dışına difüzyonla gaz kaybı olmadığı varsayılır. Köpük yoğunluğu T işlem sıcaklığında  $\rho$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) ise, Proses koşulları altında boyutsuz gaz hacmi  $V_g(T, p)$ ,

$$V_g(T, p) = \frac{918}{\rho} - V_p(T) \quad (2.2)$$

T ° C sıcaklıktaki boyutsuz LDPE bağıl hacmi V<sub>p</sub> (T) Hellwege tarafından verildi, (Hellwege ve ark. 1962).

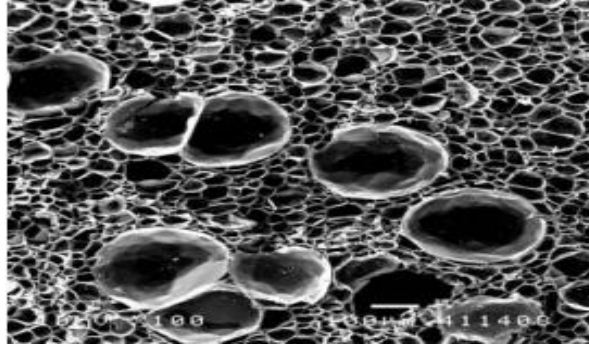
$$V_p(T) = \frac{V(T)}{V(20)} = 1.057 + 7.93 \times 10^{-3}T \quad (2.3)$$

Mutlak gaz basıncı p, ideal gaz kanunları kullanılarak V<sub>g</sub> ve V<sub>g</sub> 0'dan belirlenir. Böylece gaz basıncı P<sub>R</sub> elde edilir (Shafi ve ark. 1996, Mills 2007, Knappe 1962).

### 2.2.3. Hücre Büyüklüğü ve Hücre Stabilitesinin Kontrolü

Çekirdek ajanları (Nükleasyon ajanları) genellikle plastik köpük işlemlerinde hücre yoğunluğunu arttırmak, hücre boyutlarını azaltmak ve daha tutarlı hücre boyutları elde etmek için kullanılır.

Talk, PP köpükleri için kalsiyum karbonattan daha etkili bir çekirdekleştirici maddedir; muhtemelen plaket geometrisi nedeniyle; Çekirdek konsantrasyonunun, talk konsantrasyonuyla neredeyse üssel olarak arttığı, en küçük partikül boyutu 0.8 µm talk ise daha etkili olduğu görülmüştür. Talk, etkinliği, düşük maliyeti ve plastik eriyiğinde işleme / dağılma kolaylığı nedeniyle plastik köpük işlemlerinde en çok kullanılan nükleer hücrelerden biridir. Düşük yoğunluklu LDPE köpükleri, üfleme maddesi olarak CO<sub>2</sub> kullanarak ince hücrelerle ekstrüde edilebilir. Erime sıcaklığı, hücre birleşmesini önlemek ve yüksek genişleme oranları elde etmek için kalıpta mümkün olan en düşük 121 ° C değerine düşürüldü. İlgili bir araştırmalarda, CO<sub>2</sub> ile üflenmiş bir LDPE ve LLDPE karışımı, 220 ° C'de ekstrüde edildi. Köpüğü stabilize etmek için ekstrüzyon yüzeyini 0 ° C'ye kadar düşük sıcaklıklara soğutmak gerekiyordu.



**Şekil 2.3.** Anormal derecede büyük hücreler, hücre yüzünün oluşturduğu > 20 yüzü olan, normal hücrelerin 150 kg m<sup>-3</sup> yoğunluklu EVA köpüğünde hücre yüzünün çökmesi ile oluşur (Verdejo 2004).

LDPE film işlemi, termoplastik ile şişirilmiş olarak başarılı olur, çünkü erime kabarcığının soğutulması çok hızlıdır, bu nedenle, çözünen akışın uzatılmış viskozitesi için fazla zaman yoktur. Bununla birlikte, köpüklerin düşük termal yayılmasından dolayı, PE köpük eriyiğinin katı durumuna gelmesi 20 dakika sürer. Bu süre zarfında, eriyen kabarcıklar sabit kalmalıdır. Tipik jel içeriği, % 30 ila % 70 arasında, düşük kayma hızı viskozitesinin aşırı yüksek olmasına sebep olur. Eğer jelleşmeler daha ileri götürülürse, genişmiş köpükteki gerilme gerilmeleri çok yüksek olacaktır (Gosselin 2003, Behravesh 1998, Verdejo 2004).

### **2.3. Polimer Köpük Üretim Yöntemleri**

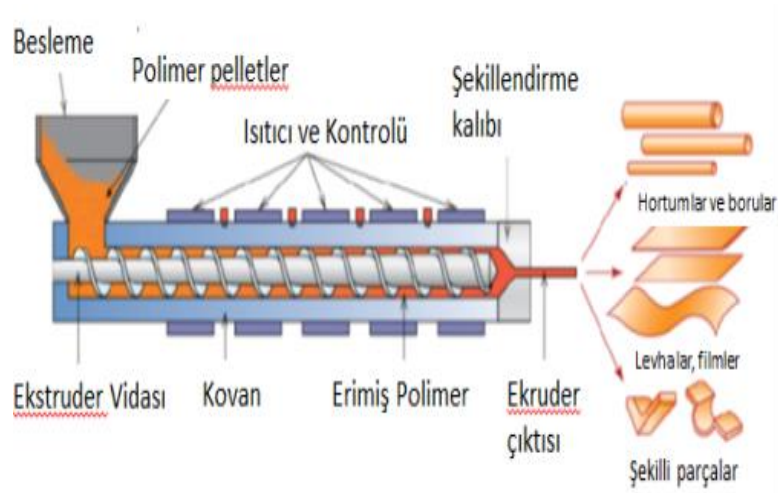
Köpük işlemlerinin prensibi, doymuş polimerlerin doyma adımlarını içerir veya bir köpük maddesi ile emprenye edilir, polimer-süper-doymuş gaz karışımı sıcaklık veya basınçtaki ani bir artış, düşük hücre büyümesi ve stabilizasyon ile sağlanır. Termoplastik köpük işlemlerinde, her bir hücreyi kaplayan ince polimer hücre duvarları ile kapalı hücre yapısına sahip köpük elde etmek önemlidir. Bu yapıyı sağlamak için, hücre büyümesi süreç boyunca kontrol edilmelidir. Sıcaklık aşırı yüksekse, polimer erime kuvveti düşük etkili bir hücre kopması olabilir. Sıcaklık çok düşükse, bu daha uzun köpüklenme sürelerine ve polimerin viskozitesinde artışa sebep olur.

Plastik işleme, kimyasal değişim ve / veya fiziksel özelliklerde kalıcı bir değişiklik meydana getirir. Köpükler ekstrüzyon, enjeksiyon, sıkıştırma, şişirme, kaplama, takvim, rotasyonel kalıplama, İşlenebilir (Nalawade ve ark. 2006).

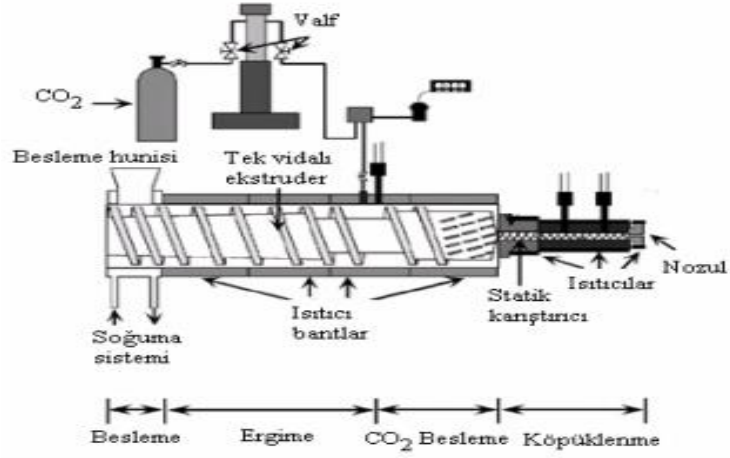
### 2.3.1. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, katı bir termoplastik malzemenin eritildiği veya yumuşatıldığı, istenen enine kesitin bir deliğinden (kalıbından) geçirildiği ve soğutulduğu bir polimer dönüşüm işlemidir. Ekstrüzyon, plastiklerin birleştirilmesinde ve tüplerin, boruların, levhaların, filmlerin, tel kaplamaların ve profillerin üretiminde kullanılır. Tüm ekstrüzyon hatları, ekstruder olarak adlandırılan bir eritme pompasını içerir. Birçok ekstrüzyon tipi vardır, en yaygın tipler tek vidalı ekstrüzyon presleri, çift vidalı ekstrüzyon preslerini ve özel işlemler için tokmak ekstrüderleridir.

Hazneden verilen polimer tanelri, yüksek basınç ve şişirme maddesi altında haznede çözülür. CO2 gazı polimerde kritik bir duruma enjekte edilir. Kovadaki yüksek basınç nedeniyle, köpük hücrelerinin çekirdeklenmesi önlenir. Polimer kalıptan (die) çıktığında, köpük hücreleri ani basınç düşüşü ile üretilir. Son adım soğutma, kalibrasyon ve kalıptan çekilmiş köpük parçalarıdır.



a)



b)

**Şekil 2.4.** Köpük ekstrüzyonu şeması a) Kimyasal ajanlarla çalışan ekstrüder b) CO<sub>2</sub> gazı ile çalışan ekstrüder (Yetgin 2008).

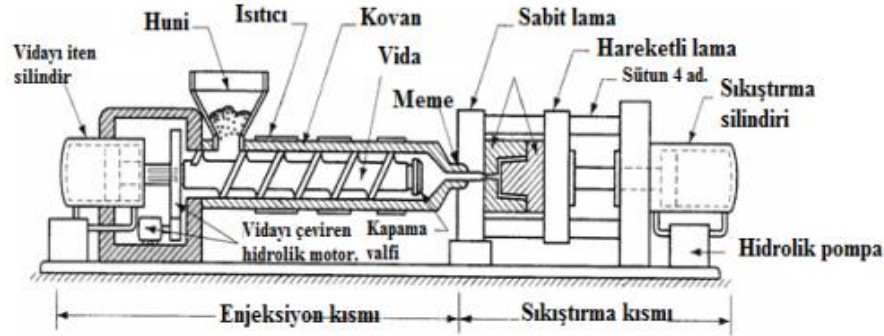
Ekstrüzyon köpürme işlemi ya fiziksel ya da kimyasal köpürme olabilir. Şekil 4'te, fiziksel köpürmenin ekstrüdere bir gaz tedarikinin Birleşik olduğu gösterilmiştir. Kimyasal köpük ekstrüzyonunda, polimer topakları ve kimyasal köpük ajanı kovan içerisinden karıştırılır ve kovandaki ısı, polimerin kalıptan çıktıkça genişlemesini sağlayan gazla sonuçlanan kimyasal köpük ajanı ayrıştırır. Çözülmüş gazı kalıptan çıkmadan önce polimerde tutmak için basınç yeterince yüksek olmalıdır. Basınç ve sıcaklık doğru şekilde ayarlanmazsa, köpürme ajanı ayrışmaz ve sol molekülleri veya köpük ajanı kümelerini uyarabilir, bu da hücre oluşumuna ve düşük yüzey kalitesine yol açabilir. En bilinen kimyasal köpük ajanı, ekzotermik kimyasal köpük ajanı olan azodikarbonamittir (ADC) (Nikitine ve ark. 2011, Ruiz ve ark. 2015).

### 2.3.2. Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi

Geleneksel enjeksiyon kalıplama işlemlerinden biri olan Köpük Enjeksiyon Kalıplama (FIM) teknolojisi, diğer termoplastik köpük üretim teknolojilerine benzer. Polimer eritilir, bir gaz üfleme ajanı ile karıştırılır ve kapalı bir ağızlık aracılığıyla bir kalıba enjekte edilir. Erime odası ve kalıp arasındaki büyük basınç farklılaşması, kalıp basınçlanmadığından

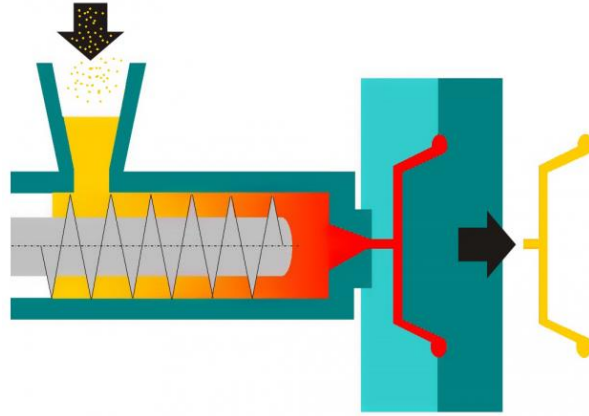
polimerde önemli bir basınç düşmesine sebep olur. Enjekte edilen malzeme basınç düşmesi sırasında köpürür ve kalıbı doldurmak için hacim olarak genişler. FIM teknolojisi, diğer yöntemlere kıyasla bir dizi avantaj sağlar. Malzeme maliyetini, parça ağırlığını, kalıplama çevrim süresini, artık gerginliği, viskoziteyi ve işlem sıcaklığını azaltır.

Enjeksiyon kalıplama makinası ekstruder'e benzer. İki cihaz arasındaki fark, vidanın işlemesi, Vidalı ekstruder, uzun süreli ürünlerin çıktısını sağlayarak sürekli döner. Enjeksiyon kalıplama makinesinin vidasına pistonlu vida denir, çünkü sadece döner değil aynı zamanda kalıplama döngüsünün adımlarına göre ileri ve geri hareket eder. Erimiş plastik bir kalıp içinde akarken, makine vidanın hareket hızını veya enjeksiyon hızını kontrol eder. Öte yandan, erimiş plastik boşlukları doldurduktan sonra bekleme basıncını kontrol eder.



**Şekil 2.5.** Enjeksiyon kalıplama köpüğü işlemlerinin şeması (Anonim 2015a).

Kalıp, belirli bir sabit şekilde erimiş plastikle enjekte edilmiş içi boş bir metal bloktur. Sıcak su, yağ veya ısıtıcılar aracılığıyla blokta sıcaklık kontrolü için açılan çok sayıda delik vardır.



**Şekil 2.6.** Tipik kalıplama sırası (Anonim 2019).

Erimiş plastik döküm deliğinden kalıba akar ve geçitler vasıtasıyla boşlukları doldurur. Bundan sonra, kalıp soğutma işleminden sonra açılır ve enjeksiyonlu kalıplama makinesinin çıkış çubuğu kalıptaki kalıp plakasını kalıplara doğru iter (Harper 2000).

### **2.3.3. Hızlı Dönme Köpük Kalıbı**

Rotasyonel kalıplama işleminin doğası döngüseldir. Dönen kalıbın sıcaklığını ve yüklü olduğu plastiğin oda sıcaklığından erime sıcaklığının ötesine yükseltilmesini ve ardından tekrar oda sıcaklığına soğutulmasını gerektirir. Rotasyonel kalıplama çevrim süreleri uzundur.

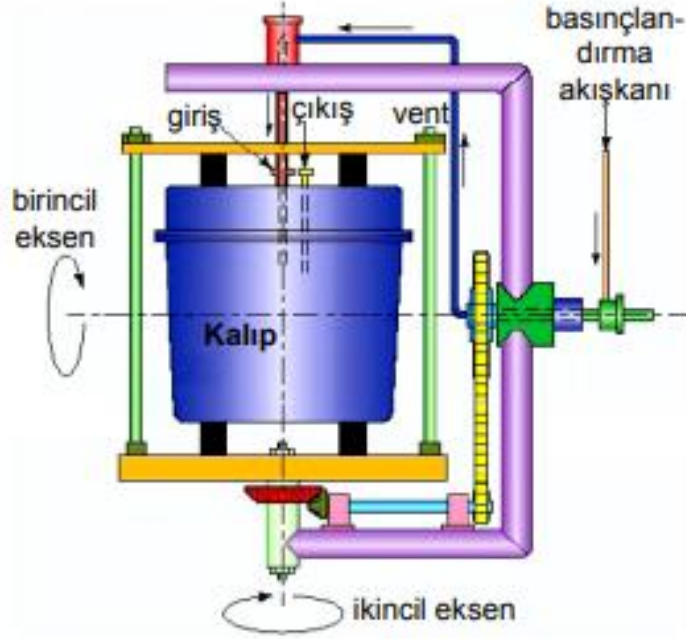
Rotasyonel köpük kalıplamada, kalıba yüklenen malzemenin en azından bir kısmı köpürebilir bir reçine olmalıdır. Köpürebilen reçine, uygun bir polimer karıştırma tekniği ile polimere bir kimyasal üfleme maddesi (CBA) eklenerek elde edilir. Karıştırma tekniğine, rotasyonel köpük kalıplama yöntemleri kuru karışım veya eritmeli bileşik bileşimini temel alabilir. Şekil 6, kuru karışım döner köpük döküm yönteminin temel çalışma prensibini grafiksel olarak gösterir, Rotasyonel kalıplama Dört işlem adımı içerir:

1. İşlemin başlangıcında, kalıp, önceden belirlenmiş miktarda yanıcı olmayan plastik reçinelerle el ile sevk edilir ve bu, parçanın katı kaplamasını oluşturmak için kullanılacaktır.
2. Kalıbın kapatılması ve ardından aynı anda ısıtılması ve iki dik ekseninde aynı anda ısıtılması ve döndürülmesi ŞEKİL 6. Döndürme köpük kalıplama işleminin dört aşamalı

çalışma prensibinin şematik gösterimi. Eriyiğin iç kalıp yüzeyleri üzerinde dağıtılması ve polimer içinde dağılmış olan CBA'yı aktive etmek.

3. Kalıplanmış köpüğün tutması için kalıbı soğutulması.

4. Kalıp daha sonra iki eksenli olarak döndürülür ve soğutulur. Daha sonra, katılaşmış kısım uzaklaştırılır.



Şekil 2.7. Rotasyonel kalıplama işlemi (Anonim 2014).

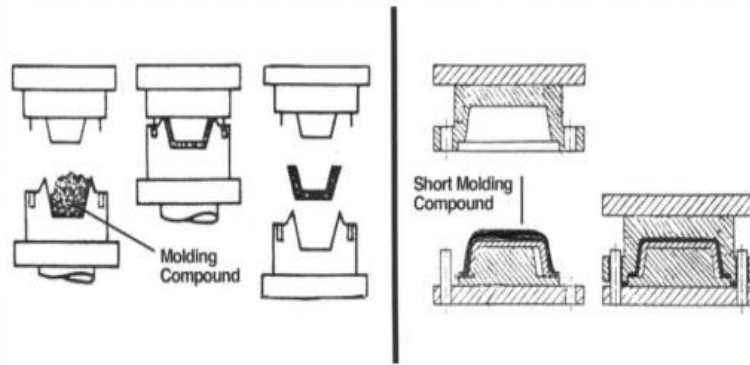
Rotasyonel kalıplama işlemi ilk olarak 1950'lerde plastik ürünler üzerine, çoğunlukla polivinil klorür (PVC) plastisollerini kullanılarak uygulandı. Orta Doğrusal Yoğunluk Polietilen (LLDPE), çoğu uygulamada kullanımıyla Rotasyonel kalıplama için en yaygın kullanılan termoplastiklerden biridir. Daha sert roto kalıplı bileşenler için endüstriyel bir gereklilik, Rotasyonel kalıplama uygulamaları için HDPE ve çapraz bağlı polietilen (XLPE) geliştirilmesine yol açtı. PE aynı zamanda yüksek performans, hafif ve yüksek ısı direncine (120 ° C'yi aşan) sahip olan köpük plastiklerinin tedarik edilme taleplerini karşılamayı başaramamıştır. PP, PE'den daha hafiftir ve düşük yoğunluklu plastik malzeme gerektiren uygulamalar için uygundur (Maffezzoli 2014, Anonim 2015a, Ogila ve shao 2017).



### 2.3.4. Sıkıştırma Kalıplama Yöntemi

Sıkıştırma kalıplama, termoplastik ve termoset ürününü endüstrilerde üreten üretim işlemlerinden biridir. Bu sıkıştırma kalıbı, çeşitli kompozit malzemeleri geliştirmek için kullanılan tekniklerden biridir. Plastik malzemeler, istenen bir şekil elde etmek için belirli bir ısı ve basınç ile birlikte bir kalıp boşluğuna yerleştirilir.

Temel olarak iki parçalı bir kalıp kullanılır. Bir kalıplama bileşiği kullanılırken, kalıbın dişi veya boşluk kısmı genellikle presin alt plakasına monte edilirken, erkek veya piston kısmı dişi bölüme uyacak şekilde hizalanır ve üst plakaya tutturulur. Plastik emdirilmiş bir malzeme (kâğıt, paspas, vb.) kullanılırsa, kalıbın dişi veya boşluk kısmı genellikle basınç üst plakasına sabitlenirken, erkek kısım veya piston dişi kısma oturacak ve tepsilerin tabanına bağlanır. Plastik kalıplama malzemesi tartılır ve genellikle ısıtılmadan önce kalıp boşluğunun bir kısmına göndermeden (taşımaya) önce ısıtılır. Kalıbı doldurduktan sonra, kalıbın iki kısmını bir araya getirerek pres kapatılır. kalıplama malzemesinin kalıbın iki kısmı arasındaki boşluğu doldurarak erimesini ve akmasını ve aynı zamanda kalıp boşluğunu tamamen dolduracak şekilde eriyiğin önündeki herhangi bir sıkışmış havayı dışarı doğru itmesini sağlar. Plastiği istenen sıcaklık ve basınç altında uygun bir sertleşme için kalıpta tutulduktan sonra basınç serbest bırakılır, kalıp açılır ve katı kalıplanmış plastik kısım boşaltılır.



Şekil 2.8. Plastik malzemelerin sıkıştırılmasında kullanılan şemalar (Rosato 2004).

Tipik bir sıkıştırma kalıplaması için termoset materyali ön ısıtması 93 ° C olabilir ve kalıp ısısı ve basıncı 121 ila 177 ° C ve 6,9 ila 13,8 MPa olabilir (Rosato 2004).

Çoğu üretici, kullanılabilirliği, kullanım kolaylığı ve uygun özellikleri nedeniyle plastik kalıplama işlemi için tercih edilen polimer olarak polietilene karar verir.

Plastik kalıplama işlemi için en çok tercih edilen polimer polietilene, kullanım kolaylığı ve uygun özellikleri dolayısından. Plastik kalıp endüstrisinde kullanılan tüm polimerlerin % 80 -% 90'ı polietilen bileşikleridir (HDPE, LDPE Ve LLDPE) (Hou 1997).

## **2.4. Polimer Köpüklerin Özellikleri**

### **2.4.1. Köpük Geometrisi**

Düşük yoğunluklu ve kapalı polimer köpükleri değişken şekil ve büyüklükte çokgen hücreler içerir. Hücre geometrisi Çoğunlukla nihai köpüğün yoğunluğu ve genişletilmiş durumda stabilize edilmeden önce hücresel yapı üzerine uygulanan dış kuvvetler tarafından yönetilir. Dış kuvvet uygulamadan köpüklerde, hücreler, toplam hacmin% 70-80'inden daha az gaz hacimlerinde küresel veya elips olma eğilimindedir. Dış kuvvetlerin uyguladığında hücrelerin belirli bir yönde uzatıldığı ve düzleştirildiği plastik köpükler oluşabilir. Bu hücre oryantasyonunun birçok özellik üzerinde büyük bir etkisi olabilir. Açık hücrelerin fraksiyonu, bir hücrenin gaz fazının diğer hücrelerle iletişim halinde olduğunu ifade eder. Hücrelerin bazı kısımlarında gaz fazıyla birbirine bağlandığında, köpük açık hücreye sahiptir (Harding 1960, Frisch 1973, Benning 1969).

### **2.4.2. Köpük Yoğunluğu**

Yoğunluk, verilen bileşimin bir köpürtülmüş plastiğinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde en önemli değişkendir. Hücre yoğunluğu (N), köpürtülmüş polimerin santimetre küp başına hücre sayısı olarak tanımlanır.

$$N = [nM^2/A]^{3/4} \times \Psi \quad (2.4)$$

$N$  = Hücre yoğunluğu (hücre /  $\text{cm}^3$ ) ,  $n$  = Hücre sayısı,  $M$ = Büyütme faktörü,  $A$  = Mikrografın alanı ( $\text{cm}^2$ ) ,  $\Psi$  = Köpüklü numunenin genişleme oranını.

$$\Psi = \rho / \rho^f \quad (2.5)$$

$\rho$  = köpüksüz malzeme yoğunluğu ,  $\rho^f$  = köpüklü malzeme yoğunluğu (Park ve Suh 1996).

Polimerik köpükler tipik olarak yoğunluklarına göre sınıflandırılır (tablo 2.3) Çok çeşitli uygulamaların ihtiyacına göre  $1,6 \text{ kg} / \text{m}^3$  ( $0,016 \text{ g} / \text{cm}^3$  çok hafif köpük) ile  $960 \text{ kg} / \text{m}^3$  ( $0,96 \text{ g} / \text{cm}^3$  süper ağır köpük) arasında değişmektedir.

**Çizelge 2.2.** Köpüklerin kütle yoğunluklarına göre endüstriyel sınıflandırılması (Landrock 1995).

Köpük tipi	Yoğunluk aralığı
Çok hafif	$0.003 < \rho < 0,05 \text{ g} / \text{cm}^3$
Hafif	$0.05 < \rho < 0,2 \text{ g} / \text{cm}^3$
Orta	$0.2 < \rho < 0,5 \text{ g} / \text{cm}^3$
Ağır	$0.5 < \rho < 0,7 \text{ g} / \text{cm}^3$
Çok ağır	$0.7 < \rho < 0,9 \text{ g} / \text{cm}^3$

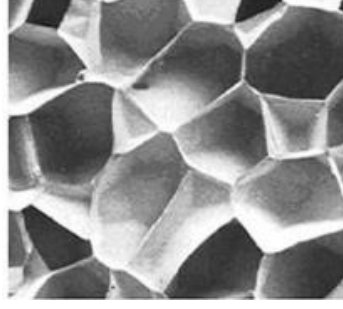
Çoğu polimerik köpüklerin fiziksel özelliklerinin yoğunluklarıyla ilgilidi  $\rho$ ,

$$P = m_{\text{foam}} / V_{\text{foam}} \quad (2.6)$$

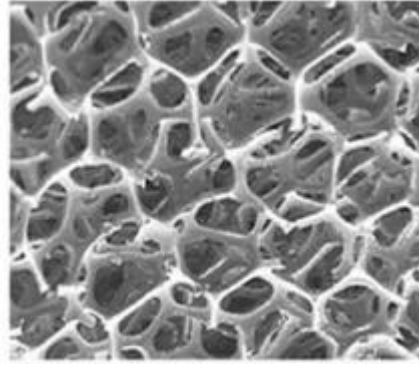
$m$  = köpüğün toplam kütesidir,  $V$  = köpüğün toplam hacmidir (Landrock 1995).

### 2.4.3. Köpük Yapısı

Daha önce belirtildiği gibi, Köpük formları açık hücreli ve kapalı hücreli yapılara ayrılabilir. Tüm köpüklerde hücre veya gözenek yapısı özel bir tek biçimli ünite değildir, bunun yerine çok çeşitli boyutlarda hücreler ve gözenekler vardır ve bunların içinde kapalı ve açık hücreler vardır.



**Şekil 2.9.** Tüm gözeneklerin polimer matris duvarları ile sınırlandırıldığı kapalı hücreli bir yapı modeli (Anonim 2020b).



**Şekil 2.10.** Açık hücre yapısı, Gözenekler kapalı değildir sürekli bir ağ oluşturur (Anonim 2020b).

Köpük yapılar, polimer eriyiğine kimyasal şişirme ajanları, gazlar veya sıvılar dahil edilerek üretilir. Polimer içinde karıştırılan gaz hacmi eşit bir şekilde yayılırsa kapalı bir hücre elde edilir, eşit bir şekilde dağılmazsa açık hücre oluşur.

#### 2.4.4. Hücre Büyüklüğü Dağılımı

Hücre büyüklüğü dağılımı, köpük hücrelerinin miktar gözlemlerinden elde edilir. Bu hücreler köpüğün mikroskopik dilimleme aleti veya kırık yüzeyinde gözlenir. Görüntü analiz edilerek, tek tek hücrelerin yüzey alanı  $A_i$ , ölçülür ve karşılık gelen hücre büyüklüğü  $d_i$ ,  $A_i$  bölgesi dairesinin eşdeğer çapından hesaplanır ( $d_i = 2 \sqrt{A_i/\pi}$ ). Köpük mikro yapısını iyi bir istatistiksel gösterimle yansıtmak için ölçülecek hücre sayısı oldukça yüksek olmalıdır. Hücre boyutunu grafik halinde çizildiğinde, Hücre boyutu

dağılım eğrisi elde edilir. Bu tür dağılımdan, ortalama  $d_n$  sayının çapı ve  $d_v$  çapının ortalama büyüklüğü, (2.7) ve (2.8) kullanılarak hesaplanabilir:

$$\bar{d}_n = \frac{\sum n_i d_i}{n_i} \quad (2.7)$$

$$\bar{d}_v = \frac{\sum n_i^4 d_i^4}{n_i^3 d_i^3} \quad (2.8)$$

Burada  $d_i$  ve  $n_i$ , sırasıyla bir ölçü çapı  $i$  ve ölçülen bu çapların sayısıdır. Normal aralığa yakın bir hücre boyutu dağılımı  $d_n$  ve  $d_v$  'ye çok yakın değerler gösterirken, diğer dağılımlar  $d_n$  ve  $d_v$  için çok farklı değerler gösterecektir.  $d_v / d_n$  oranı, moleküler ağırlık dağılımını tarif etmek için polimer kimyasında kullanılan moleküler ağırlık çoğunluğuna benzer şekilde hücre boyutu dağılımını değerlendirmek için yararlı bir araçtır. Genel olarak, yaklaşık 1 olan, hücre boyutu dağılım oranının normal bir istatistiksel dağılımı veya tek aralıklı bir dağılımı gösterdiğine inanılmaktadır.

#### 2.4.5. Köpük Anizotropisi

Köpük yapıları, köpüklenme boyunca hücre boyutu, dağılımı ve uzanması bakımından üretim yöntemine büyük ölçüde bağlıdır. Bu farklılıkları değerlendirmek için, hücre boyutunun yükselme ve çapraz yönlerde ortalama oranı olarak tanımlanan şekil anizotropi oranı  $R$  göz önünde bulundurulur. Köpük hücrelerinin geometrik değişimi, köpük yönünde değişen özelliklerde mekanik özellikler ile sonuçlanır, bu yükseklik yönünde gösterilen daha yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptir. Şekil anizotropisi oranı genellikle köpük yoğunluğunun artmasıyla azalır. Kapalı hücreli katı PU köpüklerde, köpük yoğunluğunu 1,5 kat artırarak  $R$ , 2,5'ten 1,7'ye düşer (Andersons 2016, Dawson 1982, Ridha 2008).

## 2.5. Hücre Çekirdeği

Hücre çekirdekleşmesinin tanımı, daha büyük ve aktif olarak kararlı gaz cepleri (gözenekleri) oluşturmak için küçük grup gaz moleküllerinin toplanması olarak ifade edilebilir. Termodinamik dengesizlik, hızlı ısıtma veya basınç düşüşü polimer eriyik içinde kabarcıklara neden olur (Park 2013).

Hücre çekirdeklenmesi genel olarak, tek fazlı polimer gazı çözeltisinin, polimer matrisindeki gazın çözünürlüğünün azalmasına neden olan hızlı bir basınçsızlaştırma işlemiyle karşılaşmasıyla başlatılır.

Polimerin bir gazla doyurulmasından sonra, polimer-gaz çözeltisi, termodinamik dengesizlik eklenerek polimerin çözünürlük sınırı düşürüldükten sonra aşırı doymun hale gelir. Hücre çekirdeğinin dinamik doğası, hücrelerin erken büyümesi, son hücrenin yoğunluğu ve son hücrenin oluşumunu dahil olmak üzere köpüğün birçok yönünü etkileyen baskın bir faktör olmasını sağlar.

Polimerik köpürmede, hücre çekirdeklenmesi homojen çekirdeklenme, heterojen çekirdeklenme olarak sınıflandırılabilir. Homojen çekirdeklenme durumunda, kabarcık çekirdeklenmesi saf polimer-gaz çözeltisi boyunca rastgele meydana gelir. Çözünmüş gazın veya fiziksel şişirme maddesinin birincil fazda (polimer matrisi) ikinci bir faz (bu durumda kabarcıklar) oluşturduğu bir faz ayırma işlemidir. Heterojen çekirdeklenme, polimer matrisindeki safsızlıklar gibi tercih edilen kabarcık çekirdeklenme bölgeleri, faz sınırları veya çekirdeklenme ajanları gibi katkı maddeleri tarafından sağlanan bölgeler. Çoğu durumda, heterojen çekirdekler homojen çekirdeklenmeden daha az enerji gerektirir (Xu 2013).

## 2.6. Hücre Büyümesi

Hücreler çekirdeklendikten sonra, hücre içindeki basınç polimer matrisinden gaz difüzyonu nedeniyle genişlemeye başlarlar. Hücreler, iç ve dış arasındaki basınç farkını azaltacak şekilde büyüme eğilimindedir. Hücreler büyüdükçe, basınç farkı sonlandırır ve hücre büyüme mekanizması baskın hale gelir. Gaz moleküllerinin difüzyonu, hem polimer gazı çözeltisi ile yakındaki hücreler arasında hem de köpük numunesi derisi boyunca güçlü bir gaz konsantrasyonunun olduğu yerde gerçekleşir. Köpüğü soğutma ve hücresel yapıyı stabilize etme kabiliyeti, köpük morfolojisini ve dağılan gaz miktarını belirlediği için yaşamsalıdır. Çok fazla hücre büyümesi ve düşük malzeme eriyik mukavemetinin birleşik etkisi köpüğün hücresel yapısının stabilize edilmemesine yol açar; hücre birleşmesi, hücre kalınlaşması ve hücre çökmesi şeklinde olabilir. Hücre büyümesi sırasında, yandaki olan (komşu) hücreleri ayıran hücre duvarları gittikçe incelir. Hücre birleşmesi, ince hücre duvarı germe sonucu çöktüğünde meydana gelir ve komşu hücreler bir tane oluşturmak için birleşir. Hücre birleşmesi, kapalı hücreli köpüklerde istenmeyen bir durumdur. Diğer taraftan, gaz konsantrasyonundaki bir fark gazın bir hücreden diğerine yayılmasına neden olursa, gazları kaybeden hücre kritik yarıçaptan daha azına düşecek ve diğer hücre büyüdükçe çökecektir. Eğer hücre çökmesi gaz moleküllerinin köpükten dağılmasının bir sonucu olursa, mekanizmaya hücre çökmesi denir (Park 2013, Xu 2013 ).

## 2.7. Polimer Köpüklerin Uygulama Alanları

Köpükler, son yıllarda tüm endüstriyel sektörlerde kullanılmaktadır ve olağanüstü bir malzeme sınıfını temsil etmektedir. Polimer köpükler, hafif, mükemmel özgül güç, Isı ve ses yalıtımı ve darbe enerjisi emilimi gibi birçok avantaja sahiptir. Bu yüzden, tarım, otomobiller, askeri, mimari ve günlük ihtiyaçlar dahil olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılabilirler. Ambalaj malzemeleri, ses emici malzemeler, termal malzemeler, tarım ürünleri, inşaat malzemeleri, elektrik malzemeleri, tıbbi malzemeler, makine parçaları ve günlük çeşitli eşyalar yapmak için kullanılabilirler (Throne 2004).

Düşük yoğunluklu plastik köpükler, yaklaşık 300 [kg / cm<sup>3</sup>] 'e kadar çeşitli uygulamalarda kullanılır; bunlar: konfor yastıklama (otomotiv ve mobilya); yüzdürme (deniz can yeleği, havuz aksesuarları, çocuk oyuncakları için yüzdürme); darbe azaltma (gıda paketleme, inşaat ve ulaşım kaza engelleri); ve termal koruma (endüstriyel soğutucular, ev aletleri, yalıtkan ambalajlar (Qian 1998).

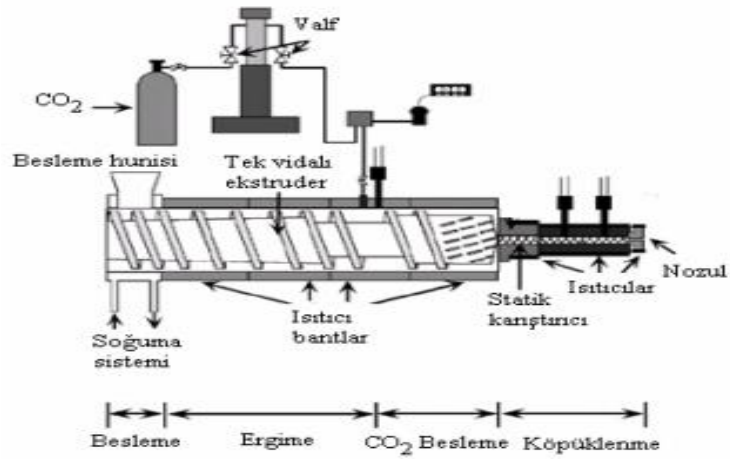
Yüksek yoğunluklu plastik köpükler, 300 [kg / cm<sup>3</sup>] 'ün üzerinde, aşağıdaki uygulamalara için kullanılır: mobilya (çerçeveler, masalar); malzeme taşıma (paletler, süt ve soda kutuları, kaplar); endüstriyel (batarya kutuları, elektrikli muhafazalar); otomotiv (dekoratif paneller, torpido gözü kapısı, gösterge panelleri, çamurluk gömlekleri, araç çarpma bariyerleri); ve deniz (koltuklar, balık kutuları, kabin yapıları) (Zhang 2000, Liu 2004).

Polimer köpükler, genellikle insanların günlük yaşamlarında kullanılan bir malzemedir ve çeşitli tanıdık şekil alıyorlar. Bu köpükler kapsamlı mekanik, termal ve akustik özelliklere sahiptir ve havacılık, paketleme, inşaat, soğutma, gemi yapımı ve spor ekipmanlarında kullanılır. Polimer köpükler özellikleri ve uygulamaları esas olarak matrisin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve temel olarak gözeneklerin yoğunluğu, şekli, boyutu, açık - kapalı hücre oranı ile karakterize edilen gözenek yapısına bağlıdır. VE bütün bu yapısal parametrelerin, bu köpüklerin gözle görülebilir özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Ma ve Zhang 2011, Eaves 2004).

## **2.8. Ekstrüder**

Plastik ürünlerin aynı kesitte, hassas ölçülerde ve istenilen uzunlukta, devamlı (kesiksiz) olarak elde edilmesini sağlayan makinelere ekstrüzyon makineleri denir. Bu makineler bazen kısaca ekstrüderler olarak da adlandırılmaktadır. Bu makinelerde üretilen ürünlere plastik boru ve profil örnek olarak verilebilir.





Şekil 2.11. Ekstrüder Sistemi (Zhang ve ark. 2007).

### 2.8.1 Ekstrüzyon Makine Bileşenleri

Tek vidalı ekstruder farklı mekanik ve elektrik bileşenlerinden oluşur. Mekanik bileşenler arasında besleme hunisi, Vida, kovan, Kalıp, Çalıştırma sistemi bulunurken, elektrik bileşenleri PID kontrolörleri, Elektrikli ısıtıcılar, Katı hal rölesi, Termokupl, Kapton bant vb.

- Besleme hunisi

Huni, ekstrüderde işlenecek malzemenin düzenli olarak beslenmesini sağlar. Bütün malzemeler serbestçe akma eğiliminde değildir, bu nedenle huni genellikle bir konveyör veya karıştırıcı ile donatılırlar.

- Vida

Vida, ekstrüzyonda önemli bir rol oynar, Sisteme beslenen materyali hunisiden itmek için vida gerekir. Dönen vida, malzemeyi kovana iter. Vida, optimize edilmesi gereken kritik parçadır. Vidanın hızı kontrol ünitesinden belirlenebilir.

- Kovan

Silindir vidanın yaltaklandığı, rezistansları üzerinde taşıyan makine elemanıdır. Bu kısım kovan veya ocak olarak da adlandırılmaktadır. Ekstruderlerin silindir tasarımına göre farklı tipleri vardır.

- Kalıp

Plastik boru ve benzeri içi boş parçaların üretilmesinde ekstrüzyon boru kalıpları kullanılır. Kalıbın ana parçalarından biri olan ve kalıbın dış kısmını oluşturan kalıp gövdesi, kalıbın diğer parçalarını da üzerinde taşır. Kalıbın ana parçası içerisine konumlandırılmış kalıp maça, kalıp flanşı bulunmaktadır.

- Motorlar

DC motorları, uzun yıllar ekstrüzyon ekipmanına güç sağlamak için kullanılmasına rağmen, bu ihtiyaca göre daha yeni AC motorlar geliştirilmektedir. DC motorlar ve sürücüler sabit tork hızı için geniş aralıklara sahiptir. Tasarım açısından basittirler ve bazı DC sürücüler mevcut DC motorlar için kolayca uyarlanabilirler. Bunlar ayrıca daha küçük boyutlarda ama daha büyük beygir gücü oranlarına sahip.

- Rezistans ve Isıtıcılar

Rezistans, elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştüren direnç tellerine verilen genel isimdir. Rezistans oldukça yüksek ısılara karşı direnç gösteren bir üründür. Rezistansların içerisinde nikel, demir, krom ve alüminyum alaşımları bulunmaktadır. Kullanılan malzemeye ve kullanım alanına göre çeşitlere ayrılan rezistanslar, gelişen teknoloji ile birlikte farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Elektrik konusunda direnç, iki uç arasında gerilim uygulanan bir maddenin elektrik akımına karşı gösterdiği direnme gücüne verilen isimdir. Direnç R veya r harfleriyle gösterilmektedir. Rezistanslar kendi içerisinde, boru rezistans, fişek rezistans, çember rezistans, serpantin rezistans, otoklav rezistans gibi gruplara ayrılmaktadır. Fanlı sobalar başta olmak üzere panolarda, fritöz gibi ev aletlerinde, termometrelerde, çamaşır makinelerinde, cam ısıtıcılarında, bazı plakalarda ve daha birçok alanda kullanılmaktadır (Anonim 2018a).

- Oransal-integral-türevsel (PID) kontrolörleri

PID, herhangi bir sistemin sıcaklığını bir termostat yardımıyla okur. Sistemin giriş paneli olarak çalışır. Sıcaklık kontrol cihazlarının genel amacı endüstrideki en kritik süreçleri kontrol etmektir. Tipik olarak, bir dizi DIN boyutunda gelirler, çoklu çıkışlara ve programlanabilir çıkış fonksiyonlarına sahiptirler. Operatörün kolay erişebilmesi için genel olarak ekranlı ön panele yerleştirilirler. Bu kontrolörler, başlangıçta bir işlem için PID sıcaklığını hesaplamak için önceden ayarlanmış bir fonksiyona ve PID sıcaklığını sürekli olarak iyileştirmek için sürekli bir ayarlama fonksiyonuna sahiptir. Bu, hızlı kurulum, zaman tasarrufu ve israfı azaltır.

- Termokupl

Sıcaklığı ölçmek için kullanılan sensöre termokupl denir. Farklı metallere yapılmış iki telden oluşur. İki malzeme ısıya maruz kaldığında, sistemdeki sıcaklık okumasını belirleyen bir miktar elektrik voltajı üretir. Termokupl düşük maliyetli, dayanıklı ve yüksek sıcaklık aralığı için kullanılır.

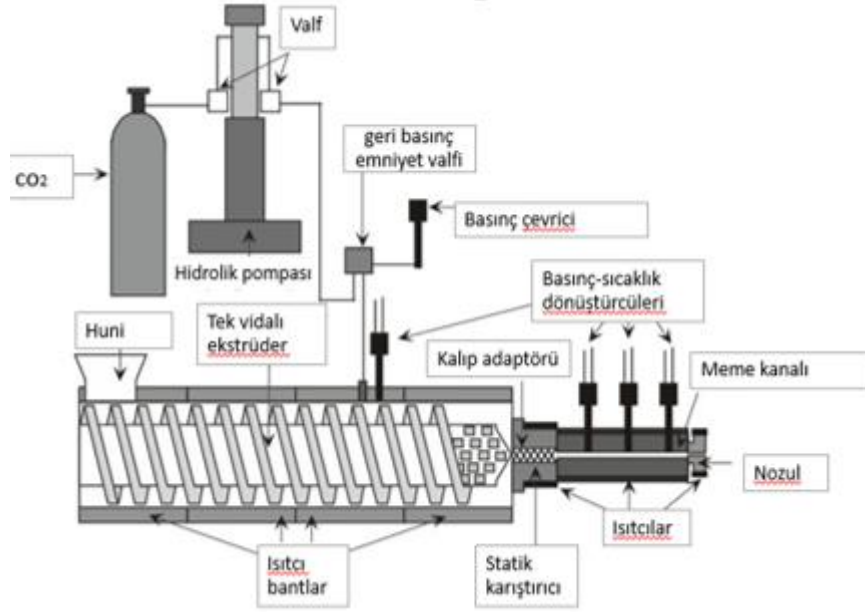
### **2.8.2. Ekstruder Makinesi**

Ekstruder makinesi geliştirildi. Ekstruder, vida sayısına bağlı olarak çeşitli tiplerde sınıflandırılır.

- Tek Vidalı Ekstruder
- Çift vidalı ekstruder

#### **Tek Vidalı Ekstruder**

Tek vidalı ekstruderler, sistemde sadece bir vida bulunan ekstruderlerdir. Basit ve genel malzemeler için yaygın olarak kullanılır. Tek vidalı ekstruderlerin bazı avantajlara sahiptir, düşük maliyet, basit tasarım, pürüzlü yüzey, güvenilirlik ve en iyi performans / maliyet oranıdır. Ekstruderde malzeme, ekstrüzyon makinesinin uzunluğuna kadar kovan içinde karıştırılır (Harold 2005).



Şekil 2.12. Tek vidalı Ekstrüder makinesi (Yetgin 2008).

### Çift vidalı Ekstrüder

Çift vidalı ekstrüder genellikle toz işleme için kullanılır. Bu tip ekstrüderlerde, toz orana göre karıştırılır. Bu tip ekstrüderler kendi kendini temizleme ve karıştırma yeteneğine sahiptir. Çift ekstrüder plastik peletleme alanında da kullanılır. İkiz ekstrüder sisteminden alınabilir performans daha kaliteli olduğunu gösterir (Anonim 2010).



Şekil 2.13. Paralel çift vida (Anonim 2010).

### 2.8.3. Tipik Ekstrüzyon Malzemeleri

Ekstrüzyon işleminde ekstrüzyon malzemesi olarak çeşitli plastik türleri kullanılır. Bunlar polietilen, polipropilen, asetal, akrilik, naylon, polistiren, polivinil klorür, akrilonitril bütadien stiren ve polikarbonatı içerir. Bu malzemeler ilk parçalayıcı kullanılarak parçalanır. Parçalanmış taneler ekstrüzyon ürünlerinde kullanılan malzeme tipinin tespit edilmesini kolaylaştırmak için ayrı ayrı karıştırılır veya toplanır.

#### ➤ Yoğunluk

Yoğunluk birim hacim başına ağırlık olarak tanımlanır. Ekstrüzyonda üç farklı önemli yoğunluk vardır:

- Hammadde yoğunluğu
- Ekstrüderdeki erime yoğunluğu
- Katı polimer Yoğunluğu

Kütle yoğunluğu, potansiyel besleme sorunlarının oluşup oluşmayacağıının belirlenmesinde önemlidir. Metreküp başına 320.37 Kilogramın altındaki bir kütle yoğunluğu çok kabarıktır ve besleme hunisinden ekstrüdere iyi akmayabilir. Akış serbestse, birim zamandaki besleme hacmi beklenen verimi önemli ölçüde düşürebilir.

Eriyik yoğunluğu, katı halde parçacıklar arasındaki havanın ve boşluğun uzaklaştırılması nedeniyle kütle yoğunluğundan fazladır. Erime durumunda, sıcaklık düştüğünde polimerler azaldığından yoğunluk nihai plastik kısımdan daha azdır. Son bölümde, moleküler zincirler birbirine sıkıca doldurulur ve başlangıçta kütle yoğunluğunda bulunan hava çıkarılır (Giles ve ark. 2005).

➤ Eriyik Akış İndeksi (MFI)

Eriyik akış indeksi, bir termoplastik polimerin eriyiğinin akış kolaylığının bir ölçüsüdür. Plastik reçinenin gerçek verilerini veya akış ölçümünü verir. Tipik polietilen ve büyük üretimde kalite kontrolü için çeşitli malzemeler için endeksi temsil eder. Operatörün eriyik akış indeksini takip etmesi durumunda malzemelerin özellikleri hakkında çok derin bilgi gerektirmez. Polimer işlemciler genellikle MFI değerini farklı işlemler için seçmeleri gereken polimer derecesi ile ilişkilendirir ve çoğu zaman bu değere birimler eşlik etmez, çünkü g / 10 dakika olarak verilir (Anonim 2006).

➤ Tork

Tork, herhangi bir nesneyi bir eksen boyunca döndürmek için gereken bir kuvvettir. Kuvvet ve eksenler arasındaki mesafe genellikle torku hesaplarken alınır. Eksen ile kuvvetin çalıştığı nokta arasındaki mesafeye moment kolu denir. Yüksek mukavemete sahip ve ağır dirence rağmen dönebilen motor daha fazla torka sahiptir. Motor, gerekli torka göre seçilebilir (Lerner 1996). Tork şu şekilde tanımlanır:

$$T = r \times F = rF \sin(\theta) \quad (2.9)$$

T = tork

r = yarıçap

F = kuvvet

➤ Sürtünme

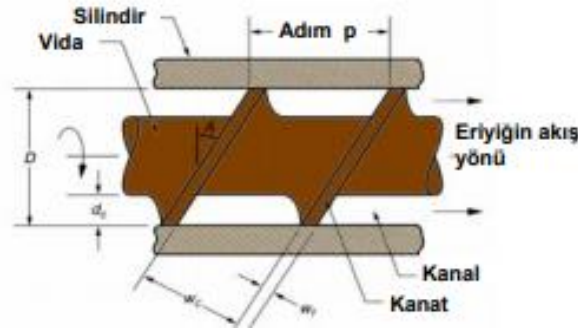
İki yüzey temas ettiğinde ve görelî bir harekete sahip olduğunda, karşıt bir kuvvet yaratılır ve bu kuvvete sürtünme denir. Sürtünme, bir yüzeyin başka bir yüzey üzerindeki hareketine karşı rekabet eder. Tanelerden tanelere, tanelerden vidaya, tanelerin namluya sürtünmesi ekstrüde edilmiş bir ürünün kalitesini korumak için önemli bir rol oynar. Sürtünme tarafından üretilen ısı, polimer topraklarını eritir. Namlu ve vida yüzey dokusunun özellikleri, farklı bileşenler içinde hareket eden sürtünme özelliklerini verir.

Yüzey çok pürüzlü ise, sürtünme bu yüzeylerde daha fazladır. Yüzeyleri bir araya getiren temas kuvveti sürtünmeyi etkileyen diğer bir faktördür (Wagon 1998).

➤ Sıkıştırma oranı

Besleme ve ölçüm bölgesindeki kanal derinliği oranına sıkıştırma denir. Oran, vida tasarımı alanında çok önemli bir parametre olarak kabul edilir. Birine derinlik sıkıştırma oranı, diğerine hacimsel sıkıştırma oranı denir. Daha yüksek sıkıştırma oranı, reçine ile karıştırılan kesme sıcaklığını, eriyiğin termal homojenliğini ve bazı reçinelerde basınç oluşturma ve enerji tüketimini artırır. Sıkıştırma oranı şu şekilde verilir:

CR = Besleme alanındaki kanal derinliği / ölçüm bölgesindeki kanal derinliği.



Şekil 2.14. Plastikleştirici vidanın temel özellikleri (Eslami 2015).

Bölme vidası gibi civatalar özel vidalardır, bu nedenle hacimsel basıncın tasarım parametresi için derinlik basınç oranından daha önemli ve güvenilir olduğu düşünülmektedir. Bu vidayı tasarlarken, uçuş aralığı da beslemeden iletim ve ölçüm alanlarına değiştirilir (Eslami 2015).

➤ Hava Soğutma

Hava soğutma ısıyı dağıtma bir yöntemidir. Soğutulacak cisminin veya her ikisinin üzerindeki hava akışını artırarak çalışır. Hava, ısının uzaklaştırılması gereken cisimden veya yüzeyden daha soğuk olmalıdır. Ekstrüde edilmiş ürünlerden herhangi biri hava soğutma sistemi kullanılarak soğutulabilir. Hava soğutması fan yardımı ile yapılabilir. Küçük CPU (Kontrol İşleme Ünitesi) fanı, soğutma gerektiğinde kolayca kullanılabilir. Bu, ekstrüde edilmiş ürünün soğumasını ve ürünün daha fazla büzülmesini önler.

Bu çalışmada araştırılmış ve denenmiş köpük polimer ve diğer bileşenler aşağıdaki başlık altında incelenmiştir.

## **2.9. Termoplastik Köpük Polimerleri ve Diğer Bileşenler**

Günümüz teknolojisinde plastik köpük malzemesine dünya çapında çok ihtiyaç duyulmaktadır ve gittikçe talep artmaktadır. Plastik köpük kullanımında talep büyümesinin sebebi; hafif ağırlık, mükemmel dayanım oranı, yalıtım yeteneği, enerji emme performansı ve konfor özellikleri bulunmaktadır. Endüstriyel köpük uygulamalarında polimer seçimi, özelliklerine, üretim kolaylıklarına ve köpük sisteminin ekonomisine bağlıdır. Günümüze kadar polipropilen en çok kullanılan bir polimerdir ve 2000 yılında yaklaşık 25 milyon kullanıldı ve bunun büyümesi düşük maliyeti, fiziksel özellikleri, üretimde kullanımı ve iyi mukavemet özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Çoğu termoplastik köpük, polimer eriyiği boyunca yayılmış olan gaz fazı boyunca gerçekleştirilen genleşme işlemiyle üretilir. Gaz halindeki faz, çözülmüş bir gazın ayrılması, uçucu bir sıvının buharlaştırılması veya kimyasal bir reaksiyondan gazın salınması yoluyla üretilebilir. Üfleme maddesinin tipinden bağımsız olarak, genleşme işlemi üç ana adımdan oluşur: çekirdeklenme, kabarcık büyümesi ve stabilizasyondan oluşmaktadır. Çekirdeklenme veya genleşme kabarcıkların oluşumu, üfleme maddesi ile eritilmiş polimer ile başlayabilir.

Köpüğün davranışı, yapıldığı polimerin özelliklerine bağlıdır. Neredeyse tüm termoplastikler köpüklenebilir, ancak ticari olarak en çok kullanılan köpükler: PE, PP, PS ve PVC Tablo 2.3.



**Çizelge 2.3.** Kapalı hücreli köpüklerde yaygın olarak kullanılan termoplastikler (Mills 2006).

Polimerin adı	Kısaltma	Tip
Polietilen	PE	Yarı kristal halinde
Etilen-vinil asetat kopolimeri	EVA	Yarı kristal halinde
Polipropilen	PP	Yarı kristal halinde
polisitren	PS	Cam
Polivinil klorür	PVC	Cam +% 10 kristal
PS ile polifenilen oksit karışımı	PPO	Cam

### 2.9.1. Polietilen (PE)

Polietilen, etilen monomerinden üç temel biçimde üretilen bir polimerdir:

1. Düşük Yoğunluklu PE veya LDPE
2. Doğrusal Düşük Yoğunluklu PE veya ILDPE
3. Yüksek Yoğunluklu PE veya HDPE

Düşük yoğunluklu polietilen, geniş bir molekül ağırlığı dağılımına ve uzun zincir dallarına sahiptir ve yüksek elastikiyet erimesi sahiptir. Dolayısıyla yüksek bir gerilme mukavemeti sağlar (Mills 2004).

Polietilen çok çeşitli katkı maddeleri ile değiştirilebilir, cam elyafları, çapraz bağlama maddeleri, bazı lastikler ve propilen ile polimerize edilebilirler ve belirli özellikleri elde etmek için propilen, büten, heksen veya okten ile kopolimerize edilebilir. LDPE, paketlenme endüstrisinde, plastik mutfak ürünlerinde, otomotiv sanayisinde, altyapı malzemeleri, makina parçaları gibi daha birçok alanda kullanılır. LDPE, radikal zincir polimerizasyonu yöntemi ile sentezlenir ve HDPE'ye göre daha çok dallanma görülen bir polimerdir. LDPE, %40 ile %60 arası kristal yapıya sahiptir. LDPE' nin yoğunluğu  $0,91-0,93 \text{ g/cm}^3$  arasındadır ve erime sıcaklığı  $110-130 \text{ }^\circ\text{C}$  arasındadır.

Metalosen katalizörleri kullanılarak yapılan LDPE, dar bir moleküler ağırlık dağılımına sahiptir, bu nedenle çok daha düşük bir erime elastikiyeti seviyesine sahip olabilir (Mann ve ark. 2007).

### **2.9.2. Poliproilen (PP)**

Polipropilen, otomotiv sanayisinde, tekstil vb. çok geniş kullanım alanı olan bir polimerdir. Monomer propilenin polimer hale getirilmesi ile elde edilen polipropilen, kimyasal solventlere karşı aşırı derecede dirençlidir. Polipropilen (PP) düşük yoğunluk, yüksek dayanım, yüksek kimyasal dayanım, yüksek ısı kararlılık ve düşük maliyet özellikleri ile önemli termoplastik malzemelerinden birisidir. PP polimerinin darbe dayanımını artırmak ve uygulama alanını genişletmek için etilen-propilendien-monomeri (EPDM) ilave edilmektedir. PP, LDPE' den daha düşük bir viskoziteye ve daha düşük erime elastikiyetine sahiptir, bu da hücre yüzlerinin kırılmasına sebep olmaktadır (Mills 2007).

Polipropilen (PP) birçok ticari ürünlerde yaygın olarak kullanılır, ancak doğrusal yapısı düşük erime mukavemeti ile sonuçlanır. Döküm filmi ekstrüzyonu ve köpük gibi uzun akış içeren proseslerde kullanımını sınırlar. PP, diğer termoplastiklere göre en düşük yoğunluğa sahiptir (900 kg / m<sup>3</sup>) ve erime sıcaklığı 190-200 °C arasındadır (Zhang ve ark 2014, Crawford 2014).

### **2.9.3. Etilen-vinil Asetat (EVA)**

Etilen Vinil Asetat (EVA), etilen ve vinil asetatın bir kopolimeridir. EVA elastomerik bir özelliğe sahiptir, yani lastik gibi yumuşaklık ve esnekliğe sahiptir. Modifiye edilmiş polietilen üretmek için düşük seviyelerde vinil asetat monomeri kullanılır. EVA yaklaşık %20-50 ağırlık olarak vinil asetat içerir. EVA polimerleri, monomerlerin içeriğine, polimer veya elastomer özelliklerine bağlı olmaktadır. Etilen-vinil asetat kopolimeri (EVA) iyi esneklik, kırılma tokluğu ve dolgu uyumluluğu özelliklerine sahiptir. EVA, tarım filmi, ayakkabı, gıda ambalajı ve elektrik yalıtımı gibi çeşitli uygulamalar için

kullanılabilir. EVA düşük çekme dayanımı ve yüksek yanma özelliklerinden dolayı dezavantajlara sahiptir. EVA, 90–100 °C erime sıcaklığına sahiptir (Henderson 1993, Tham ve ark. 2015).

#### **2.1.4. Azodikarbonamid (ADC)**

Azodikarbonamid (ADC) şişirme ve üfleme bir maddesi olarak kullanır, köpüklü kauçuk ve plastik üretiminde kullanılır. Yüksek gaz verimi ve ayrışma sıcaklığını ayarlama kabiliyeti nedeniyle seçilir; ADC yüksek verim oranı, yüksek gaz verimi, üfleme maddesi ve ayrışma ürününün düşük toksitlik oranına sahiptir. Azodikarbonamidin ayrışmasını sağlamak için işlem sıcaklığı 210–215 °C' nin üzerindedir. ADC' nin bozunma işleminde, %32 gaz, %41 katı artıklar ve %27 süblimat içerir. ADC, % 65azot, %35 karbonmonoksit (CO) ve amonyak (NH<sub>3</sub>) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazlar içerir. Katı ve süblimat kalıntıları %57 urazol, %38 siyanürik asit, %2 ciyamelide ( Quinn2001).

#### **2.9.5. Çinko oksit (ZnO)**

Çinko oksit, formülü ZnO olan bir inorganik bileşiktir. ZnO, suda çözünmeyen, beyaz bir tozdur ve yaygın boyalar, merhemler, yapıştırıcılar, sızdırmazlık maddeleri, pigmentler, kauçuk, plastik, seramik, cam, çimento, bir katkı maddesi olarak kullanılır. ZnO oda sıcaklığında 3,4eV geniş iletim bant aralığına ve 60meV gibi büyük bir bağlanma enerjisine, 0,4-2µ optik dalga boyu aralığında yüksek geçirgenliğe sahiptir. ZnO erime noktası yaklaşık 1400°C, atom ağırlığı 81.408 g/mol ve yoğunluğu 5.606 g/cm<sup>3</sup> dir (Lett ve ark. 2015).

#### **2.9.6. Gliserol Monostearat (GMS)**

Gliserol Monostearat, emülgatör olarak kullanılan bir organik moleküldür. GMS renksiz, kokusuz, tatlı, higroskopik bir tozdur. Gliserol Monostearat stearik asitin gliserol esteridir. Monogliseritler genellikle, gliseroliz veya trigliseritlerin hidrolizi veya gliserolün yağ asitleri ile doğrudan esterleştirilmesi ile elde edilir. GMS, koyulaştırıcı, emülsifiye edici, topaklanma önleyici ve koruyucu maddeler olarak kullanılan bir gıda

katkı maddesidir. GMS erime noktası 78°C ve yoğunluğu 1 g/cm<sup>3</sup>' tür (Soo Cheon ve lee 2003).

### **2.9.7. Sodyum Bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>)**

Sodyum bikarbonat, NaHCO<sub>3</sub> formülüne sahip bir kimyasal maddedir. Kabartma tozu olarak da kullanılır, Suda çözünür. Sodyum bikarbonat kristalli bir katıdır ve Antiasit özelliği vardır. Mineral nitrondan oluşur ve birçok mineral kaynağında bulunur. NaHCO<sub>3</sub> Sodyum bikarbonat amfoterik bir bileşiktir. Sulu çözeltiler, karbonik asit ve hidroksit iyonu oluşumundan dolayı hafif alkalidir. Sodyum bikarbonat geniş sıcaklık dağılımında bozunur ve açık hücreli köpük yapısı meydana gelir. Erime noktası 50°C, ve 70 ° C'nin üzerinde, sodyum bikarbonat yavaş yavaş sodyum karbonat, su ve karbon dioksit halinde ayrışır (Anonim 2011).

### **2.9.8. Talk**

Talk hidrate bir magnezyum silikat olup, teorik formülü MgO<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>'dir. Talk genellikle yeşil, beyaz, gri, kahverengi veya renksizdir, suda çözünmez ve seyreltik mineral asitlerinde çözünür.

Mohs sertliği 1-10 arasında değişirken, talkın yoğunluğu 2,58 – 2,83g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Talk trigonal kristal sistemine sahip olabilir. Kalsit, klorit, dolomit, manyezit, kuvars, tremolit veya vermikülit gibi diğer mineralleri içerir. Yüksek dereceli talk yüksek sıcaklıkta ve basınçta gerçekleşir. Talkun İdeal içeriği %63,5 SiO<sub>2</sub>, %31,7 MgO ve %4,8 H<sub>2</sub>O olarak verilmektedir. Yüksek erime derecesine sahip, düşük ısı ve elektrik iletimi ve yüksek absorpsiyon gücü olan bir mineraldir. Talk birçok amaç için kullanılır. Kağıt, plastik, kauçuk, boya ve kozmetik imalat işlerinde kullanılır (Al Awam ve Johnson 2019).

## 2.10. Polimer Köpüklerde Gürültü Yalıtımı

Gürültü kirliliği günlük yaşamın kritik bir sorundur ve taşımacılık, modern endüstriler, toplumun gelişmesiyle daha fazla kötüleşmeye devam etmektedir. Ve son yıllarda, köpüklü Plastik, ses yalıtım, ısı yalıtımı, şok emilimi ve birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimer köpükleri iki şekilde ses yalıtım etkisine sahiptir, birincisi gözenekli vücut ses dalgalarının yansımalarını ve iletimini sonlandırmak için ses dalgasının enerjisini emer; ikincisi gözenekli gövde rezonans ortadan kaldırır ve gürültüyü azaltır. Ses dalgası, polimer köpüklerdeki gözeneklerin hücre duvarına vardığında, gözeneklere çarpıp içindeki gazı sıkıştırır. Bu dengesizlik nedeniyle, ses dalgasının darbe enerjisi dağılır. Polimer köpüklerin sertliğinin artırılması, gözeneklere çarpan ses dalgasının neden olduğu rezonans ve gürültüyü ortadan kaldıracaktır veya azaltabilir (Qian ZP 1998). Köpükler, otomobil ve diğer çeşitli taşıma sistemlerinde ses ve enerji emilimi sağlar. Gürültü kirliliğini azaltmak için, sönümlenme kapasitesini artırarak ve malzemenin gözenek yapısını iyileştirerek ses emme verimliliğini artırmaktır. Bu sebeple, otomobil fabrikaları, gürültü azaltma sağlamak ve seyahatta araba konforunu artırmak için ses emiciler olarak gözenekli ortamları tercih edilmiştir. Ses emici, ses yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri olarak PU köpükleri ulaşım, inşaat, ambalajlama, soğutma endüstrilerinde yaygın bir şekilde kullanılır. Rijit çeşitleri çoğunlukla kapalı hücre tipindedir, mükemmel ses ve ısı yalıtım özelliklerine sahiptir. Yarı sert çeşitleri yarı-açık ve yarı-kapalı hücre yapısını gösterir, belirli ses yalıtımı ve emilim performansları sunar; Açık hücreli esnek ürünleri zayıf ses yalıtımı, ancak mükemmel ses emilimi sunar (Verdejo ve ark. 2009 , Mello ve ark. 2009 ,Sung ve ark. 2007 ) .

Polimerik köpükler birçok formda (şekilde) ideal malzemelerdir ve çeşitli kullanıma sahiptir.

- Yolcular için konforlu koltuk ve sırtlık
- Gürültü, titreşim, sertlik kontrolü
- Esneme veya bükülmeyi önlemek için vücut yapısının güçlendirilmesi

- Çarpışma hasarı durumunda araçta bulunanlara ilave güvenlik sağlama
- Ağır bir otomobilin güvenliğini korurken, araçların yakıt verimliliği için daha hafif olmasına izin verir.



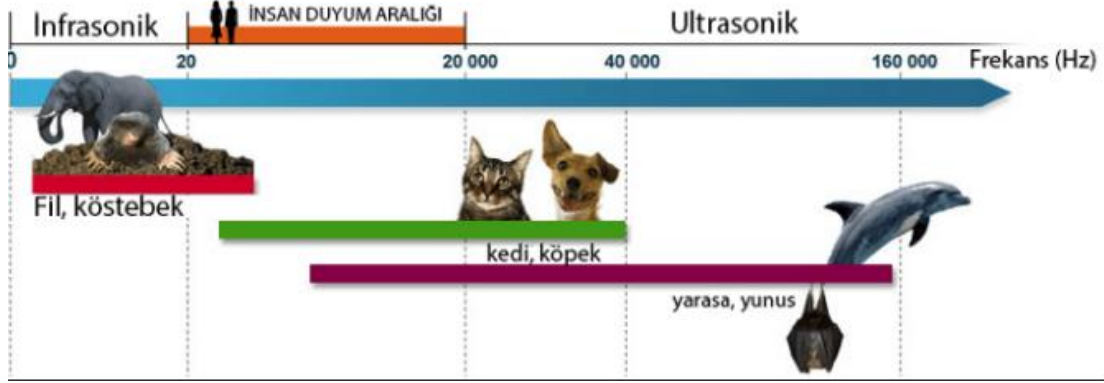
**Şekil 2.15.** Modern araçlarda polimerik köpüklerin birçok işlev sağladığı çeşitli alanların gösterimi (Anonim 1990).

Şekil 2.15 polimerik köpüklerin son model araçlarda çoğu alanlarda birçok işlev sağlanmıştır. Bu çeşitli alanlar tavan döşemesi, bagaj ve bagaj kapağı, kapılar, gösterge paneli, orta konsol, gövde altı, kaput altı, iç ve dış alanlar bulunur. Bu alanların her birinde köpüğün gerçekleştirmesi gereken çeşitli fonksiyonlar bulunur (Anonim 2007).

## 2.11. Gürültü Tanımı ve Teorisi

Gürültü genellikle hem can sıkıcı hem de istenmeyen ses olarak tanımlanır. Endüstri gürültüsü, işyerindeki çalışanlar üzerinde fiziksel ve psikolojik etkileri olan ve iş verimliliğini olumsuz etkileyen sesler olarak tanımlanabilir. Gürültüyü meydana getiren sesi, fiziksel olarak tanımlamak gerekirse; ses, maddeden oluşan bir ortamda moleküllerin sıkışıp genişlemesinden meydana gelen ve madde içinde yayılabilen bir titreşim olayıdır. Gürültü sadece insanların işitme işlevlerini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda diğer vücut işlevlerini de olumsuz etkiler. İnsan kulağının sese veya gürültüye tepkisi ses frekansına ve ses basıncı seviyesine bağlıdır. Sağlıklı bir insan kulağı 1000 Hertzlik bir sesi 20 mPa (mikropaskal) duyar ve bu değere insan kulağının duyma işitme denir. İnsan kulağındaki acı eşiği 100 Pa basınç seviyesidir. İnsan kulağının ilk uyum yaptığı ses şiddeti 0 (sıfır) dB'dir ve bu değere "işitme eşiği" adı verilir. 140 dB ise "acı eşiği" dir ve kulak daha fazla

ses şiddetine dayanamaz. Frekans ise saniyede geçen titreşim sayısıdır ve birimi hertz'dir (Hz). Sağlıklı insan kulağı 20-20.000 Hz arasındaki sesleri duyar. Bu sınırın altındaki seslere (1-20 Hz) infrasonik, üstündeki seslere de ultrasonik sesler denir. Konuşma sesi aralığı da 500-2000 Hz arasında değişir.



Şekil 2.16. Ses dalgalarının frekans aralıkları gösterilmektedir (Anonim 2017).

### Ses Dalgası Gücü

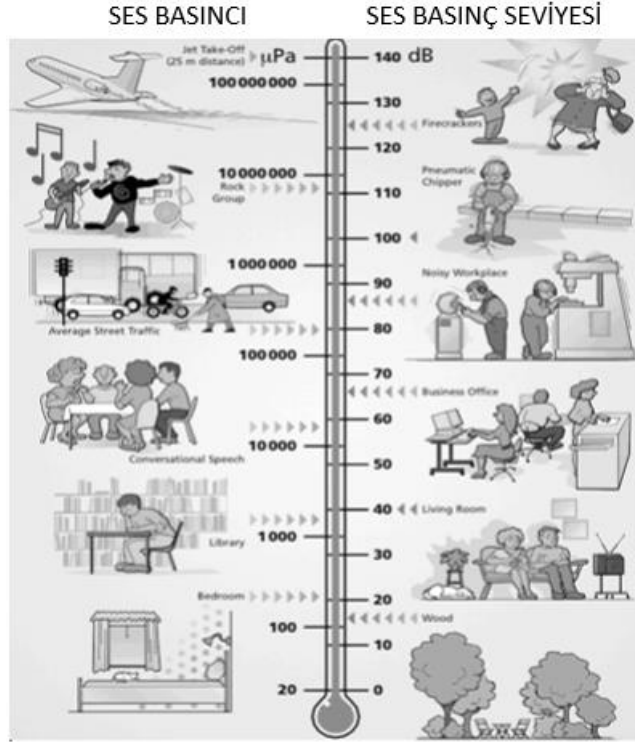
Ses gücü referans ses basıncı kullanılarak hesaplanır  $P_{ref} = 20 \mu Pa$ . Bu değer, genç ve sağlıklı bir insan kulağının duyabileceği minimum akustik gücün ortalama karekök genliğidir. Referans basıncını kullanarak ses gücünü (dB) hesaplamak için kullanılan ifade.

$$dB = 10 \log_{10} \left( \frac{\text{ses basıncı}}{\text{Ses gücü referans}} \right) \quad (2.10)$$

Ortalama işitme eşiği yaklaşık 5 dB'dir (1 kHz'de). Sesin ağırlı hale geldiği basınca ağrı eşiği basıncı denir.

### Sesin Şiddeti Nasıl Ölçülür

İnsan kulağının duyabileceği en küçük ses 0 dB'dir. Bu oran logaritmik olarak artar. Diğer bir deyişle, 20 db, 10 db'den 10 kat daha şiddetli, 40 db, 10 db'den 1000 kat daha şiddetlidir. İnsanların 0 ile 180 desibel arasındaki sesleri duyması gerekir. Bazı seslerin şiddeti aşağıdaki şekilde belirlenebilir.



Şekil 2.17. kulağın duyarlılığı ses şiddetleri (Anonim 2020c).

- İşitme Sınırı (Eşiği) 0 dB
- Kayıt Stüdyosu, Orman, 120 cm'de fısıltılı konuşma 0-20 dB
- Yatak odası 20-30 dB
- Kütüphane, Sessiz ofis, Oturma odası 30-40 dB
- Genel ofis, Sohbet konuşması 40-60 dB
- Çalışma ofisi (Daktilo, vb.) 60-70 dB
- Ortalama Trafik Gürültüsü, Gürültülü Lokanta, Matbaa 70-90 dB
- Havalı Çekiç, Takım tezgahları, Otomatik matkap, Tekstil Fab. 90-100 dB
- Hidrolik Pres, Pop Grubu, Daire testere, Hava tabancası 100-120 dB
- Jet motoru, (Ağrı veya Duyma Eşiği) 130 dB
- Şehir alarm sireni 140 dB

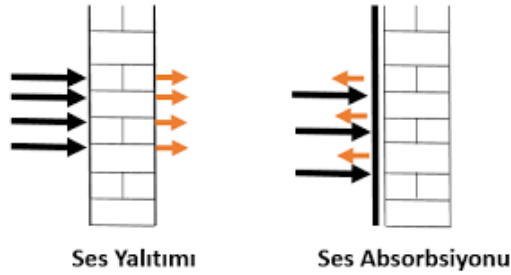


- Roket rampası 180 dB

Genel olarak 85 db üzerindeki sesin kulağa zararlı olacağı kabul edilir (Anonim 2020a).

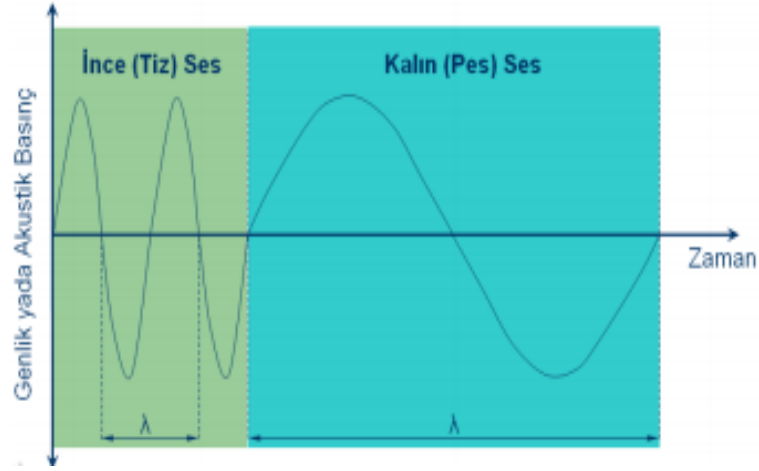
## 2.12. Ses Sönümleyici Yapılar ve Köpüklerin Kullanımı

İnsan kulağında işitme duyusunu uyaran, titreşim yapan bir kaynağın hava basıncında oluşturduğu dalgalanmalarla meydana gelen ve titreşimin yayılma doğrultusunda boyuna dalgalanmalar ile yayıldığı fiziksel olaya “ses” denir. İnsan kulağı 20 Hz ile 20.000 Hz arasındaki sesleri işitebilir. Temel olarak sesten iki şekilde korunur ses absorpsiyonu (emilmesi, yutulması) ve ses yalıtımı. Temel olarak sesten iki şekilde korunur. Ses absorpsiyonunda, hava molekülleri, yalıtım malzemesi içinde sürtünerek sesin bir kısmını ısı enerjisine dönüştürürler; böylece sesin enerjisi azalır. Ses yalıtımında ise ses dalgaları, içinde yol aldıkları ortamdan farklı yoğunluk veya esneklikte bir engelle karşılaşırsa enerjinin bir bölümü yansıtılır, bir kısmı da ısı enerjisine dönüşerek soğurulur, kalan kısım da geçişini tamamlar (Kaya 2016).



Şekil 2.18. Ses yalıtımı ve ses absorpsiyonu (Kaya 2016).

Çoğu ses, titreşim ve gürültü çeşitli frekansları kapsar. Frekans, ses dalgalarının saniyedeki titreşim sayısıdır. Birimi Hertz (Hz)'dir. Bir titreşim için geçen süreye ise Periyot denir. Birimi saniye (sn)'dir. Şekil 18'de gösterilen iki sıkışma veya iki gevşeme bölgesi arasındaki mesafeye dalga boyu ( $\lambda$ ) denir. Birimi metre (m)'dir. Düşük frekanslı sesler (Kalın sesler) uzun dalga boyuna, yüksek frekanslı sesler (İnce sesler) kısa dalga boyuna sahiptir.



**Şekil 2.19.** Dalga boyuna göre kalın ve ince seslerin değişimi (Anonim 2013 b).

Ses emici malzeme, bir boşluk, duvar veya odadaki yankılanan ses basıncı seviyelerini kontrol eder. Selüloz, mineral yün, fiberglas gibi lifli emici malzeme daha çok ısı yalıtım özellikleri için çift amaca hizmet eden bir boşluk içindeki (duvar, zemin veya tavan yalıtımı) yankılanan frekanslarını hafifletmek için kullanılır. Hem lifli hem de gözenekli emici malzemeler, odada ses yansımalarını emen akustik paneller oluşturmak için kullanılır. Gözenekli emiciler, genellikle açık hücreli kauçuk sünger, hücre yapısı içindeki sürtünme yoluyla gürültüyü emer. Gözenekli açık hücreli köpükler, çok çeşitli yüksek orta frekanslarda çok etkili gürültü emicilerdir. Düşük frekanslarda daha az etkileyici olabilir. Gözenekli bir açık hücreli köpüğün emilim profili, Hücre boyutu, eğrilik, gözeneklilik, Malzeme kalınlığı, Malzeme yoğunluğu faktörlerden belirlenir (Mosanenzadeh 2014 ve Kulakov 2019 ve Trevor 2009).

Ses emilimi çok iyi bilinen bir çözümdür ve gürültüyü azaltmak için kullanılır. Akustik enerjii dağıtabilen bazı malzemelerin özelliklerinden yararlanır. Ve şu an üretilen yeni model araçlarda iç ve dış gürültüyü azaltmak için yolcu kabine ve olarak motor bölmesine ses emici malzemeler uygulanır. Ses emilimi ile ilgili üç fiziksel olay vardır. Birincisi akustik basınca bağlı zorlayıcı mekanik dalgalanmalara maruz kalan akustik malzemelerin iç kayıpları ile ilgilidir: Bu esas olarak kapalı hücreli gözenekli malzemeler için geçerlidir, ancak bu etki açık hücreli gözenekli malzemelerde çok düşüktür, böylece genel olarak ihmal edilebilirler.

İkincisi ısı değişimi, Ses dalgası havada basınç dalgalanmaları oluşturur; serbest alanda bu adyabatik bir dönüşümdür, oysa sınırlarda emici malzemelerin varlığı hava ve evre malzemeler arasında bir ısı değişimine neden olur. Dönüşüm artık sabit değildir ve termal dalgaya dönüşerek ses dalgasında enerji kaybına neden olur. Bu, ısı değişim çevrimi sırasında daha fazla zaman olduğundan, çoğunlukla düşük frekanslarda olabilir. Üçüncüsü, hava moleküllerinin sürtünme kayıplarıdır; bir ses dalgası, hava parçacıklarının konumunda bir salınım meydana getirir: hava molekülleri, emici malzemelerin gözenekleri ile etkileşime girer ve sürtünme olaylarına maruz kalır ve bu da enerji kaybını sebebi olur (Vig 2010).

Polimer köpükler, bir polimer matrisinde çok sayıda hücre içerir. Köpükler açık, veya kapalı hücre yapısına sahiptir. Açık hücreli köpükler, sıvının hücrelerden geçmesine ve enerjisini dağıtmasına izin vererek akustik enerjiyi sönümleme özelliğine sahiptir. Bu yapılar hafiftir ve yaygın olarak kullanılan emiciler olarak kullanılır. Ses dalgasının enerjisini ileten hava molekülleri, açık hücreli köpüklerin içine geçmesini kolaylaştırır. Gözenekli malzemelerden hava geçtiğinde, sürtünme yüzünden gözeneklerin yüzeyinden dirençle karşılaşır. Bu sürtünme ısı yaratır ve gözenekli malzemelerin ve havanın diğer kısımlarına yayılacaktır (Tiuc ve ark 2016, Mosanenzadeh 2014).

Otomobil endüstrilerinde Poliüretan köpükler yaygın olarak kullanılır, çünkü Poliüretan köpükler mekanik, elektriksel, termal ve akustik özelliklerine sahiptir. Poliüretan köpüklerin mikro-hücre morfolojisi, malzemelerin titreşim sönümleme kabiliyeti ile yakından ilişkili olduğu için yüksek ses emici verim elde etmek için önemlidir (Johnson ve ark. 1987).

Yapı kaynaklı gürültünün çoğu düşük frekans aralığında (30–500 Hz) ve havadaki gürültü orta ve yüksek frekans aralıklarında (500-8000 Hz) olup, bunlar otomobillerdeki poliüretan köpüklerin uygulamaları ile güçlü bir Şekilde ilişkilidir. Yapıların taşıdığı gürültünün çoğu düşük frekans aralığında (30-500 Hz) ve havadaki gürültü orta ve yüksek

frekans aralıklarında (500-8000 Hz) olup, bunlar poliüretan köpüklerin otomobillerdeki uygulamaları ile bağlıdır (Park 1997 ve Zwinselman 1988).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada polietilen (LDPE) kullanıldı, 0,910 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğa ve 120°C erime noktasına sahiptir. Polietilen, değişken kristal yapılı hafif, dayanıklı bir termoplastiktir. Dünyada en çok üretilen plastiklerden biridir. PE uygulamaları, elektrik yalıtımı, araba gövdeleri (cam takviyeli) ve mukavemet ve estetiğin önemli olduğu ambalajları içerir. LDPE ile kullanılacak diğer katkıların aşağıda detaylı bir şekilde listelenmiştir.

#### **Talk:**

Talk, magnezyum silikattan oluşan çok yumuşak bir mineraldir. Yoğunluğu 2,7 ila 2,8 arasında ve erime noktası yaklaşık 1500°C olan doğal olarak oluşan bir inorganik malzemedir. Çekirdekleştirici madde uygulaması için, talk genellikle bir köpükleme işlemi sırasında polimerde oluşan hücrenin yoğunluğunu artırabilir. Talkun farklı partikül boyutuna (0.8 ila 10 mikron aralığında) ve yüzey işlemlerine (kaplanmış veya kaplanmamış) sahiptir. Talk'un ince parçacıkları polimer bileşiklerindeki belirli boşlukları etkili bir şekilde doldurur. Bu da plastiklerin ve polimerlerin sertliğini ve darbe mukavemetini artırır. Talk, polimere göre daha iyi termal iletkenliğe sahiptir. Bu, Talk'un varlığından dolayı karışımdan ısı transferinin daha hızlı olduğu anlamına gelir. Sonuç olarak, Talk nedeniyle plastik bileşiklerin işlenmesi ve soğutulması hızlandırılarak daha hızlı üretim oranları elde edilir.

#### **Sodyum Bikarbonat:**

Bu çalışmada Sodyum bikarbonat şişirme maddesi olarak kullanıldı. Sodyum bikarbonat, genellikle kabartma tozu olarak bilinen bir bazdır. Sodyum bikarbonat ayrışma sırasında gazları serbest bırakabilir ve genellikle bir köpük oluşturucu olarak kullanılır. Sodyum bikarbonatın bozunma sıcaklığı 120-180°C arasındadır, Sodyum bikarbonat geniş bir sıcaklık dağılımında ayrışır ve açık hücreli köpüğün yapısı oluşur.

#### **Gliserol Monostearat:**

Genellikle gliserol monostearat, bir emülgatör olarak kullanılan organik bir moleküldür. GMS higroskopik, beyaz, kokusuz bir tozdur. GMS'nin erime noktası 58-65 ° C arasındadır. Gliserol monostearat uygulama alanı çoktur, GMS polimer köpüklerinde

(LDPE ve PP) sadece üfleme ajanı geçirgenliğini etkilemez, aynı zamanda antistatik performansı da etkiler. Ve köpüklerin hücre duvarlarına yüzey statik potansiyeli, yüzey direnci bozulmamasına yardımcı olur. Köpük yardımcısı olarak büzülmeye karşı dayanıklı. GMS Ekstrüzyon işlemi sırasında sürtünmeyi azaltır, düzgün bir hücre boyutu dağılımı sağlar ve gaz değişimini geliştirir.

### 3.1. Kullanılan ekipmanlar

#### ➤ Hassas Terazi



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan hassas terazi.

Ölçümlerin doğru ve hassas yapılarak uygun ve doğru miktarlardaki malzemeler kullanarak köpük üretimi yapımı amacıyla hassas terazi kullanılmıştır.

#### ➤ Kavanoz



Şekil 3.2. Deneyde kullanılan 1500cc ve 105cc kavanozlar.

Farklı boyutlarda (3 cm ve 10 cm çaplar) kavanozlar kullanarak farklı hacimlerde köpük üretimi kavanozun içinde köpük üretimi sağlanmıştır.

➤ **Karıştırıcı**



Şekil 3.3. Deneyde kullanılan karıştırıcı.

Polimer köpük üretimi için Karıştırıcı kullanıldı, eritilen polietilen (LDPE) malzemesi ile diğer katkı maddelerinin homojen karışımı amaçlanmıştır.

➤ **Fırın**



Şekil 3.4. Deneyde kullanılan fırın.

Uygun sıcaklıklarda polimer köpük oluşumu için fırın kullanılmıştır.

### 3.2. Deneysel Prosedür

Bu çalışmada köpük üretmek için dört faktör kullanıldı, polietilen, talk, gliserol monostearat ve sodyum bikarbonat. Ve daha iyi bir sonuç ve başarılı bir çalışma elde etmek için bu faktörlerin miktarları design expert programına girildi ve bu dört faktörlerden talku sabit tutuldu, kullanılan katkıların miktarının girdikten sonra ve programda yapılacak işlemleri sonlandığında on üç deney yapılacağını sonuç olarak verildi

**Çizelge 3.1.** Deneylerde kullanılacak katkıların miktarları design expert ile sonuçlandı.

Run	A:LDPE	B:NaHCO <sub>3</sub>	C:GMS	TALK	YOĞUNLUK g/cm <sup>3</sup>
1	70,0537	23,9463	6,0000	0,8	0,40857
2	75,2762	22,7238	2,0000	0,8	0,21907
3	67,6908	30,0000	2,30915	0,8	0,3134
4	70,6967	25,5406	3,76265	0,8	0,30687
5	85,4519	10,0000	4,54806	0,8	0,25071
6	64,8401	30,0000	5,15986	0,8	0,33099
7	78,8131	15,9111	5,27589	0,8	0,32336
8	70,6967	25,5406	3,76265	0,8	0,3824
9	87,0000	11,0000	2,0000	0,8	0,30373
10	82,6119	14,4308	2,95728	0,8	0,31637
11	78,8131	15,9111	5,27589	0,8	0,4859
12	82,6119	14,4308	2,95728	0,8	0,37159
13	83,4962	10,5038	6,0000	0,8	0,27404

Kullanılacak maddelerin miktarlarının ayarladıktan sonra deney aşamasına geçildi, ilk olarak LDPE polietilen istenilen miktarı tartılarak kavanoz içerisine konulur ve ayarlanan LDPE polietilen malzemesi deneyde kullanılacak uygun hacimdeki kavanoza konulduktan sonra iyi bir şekilde erimesi için fırına konulur. Fırının sıcaklığı 150°C'ye ayarlanarak LDPE bir saatte erimiş haline sağlandı.





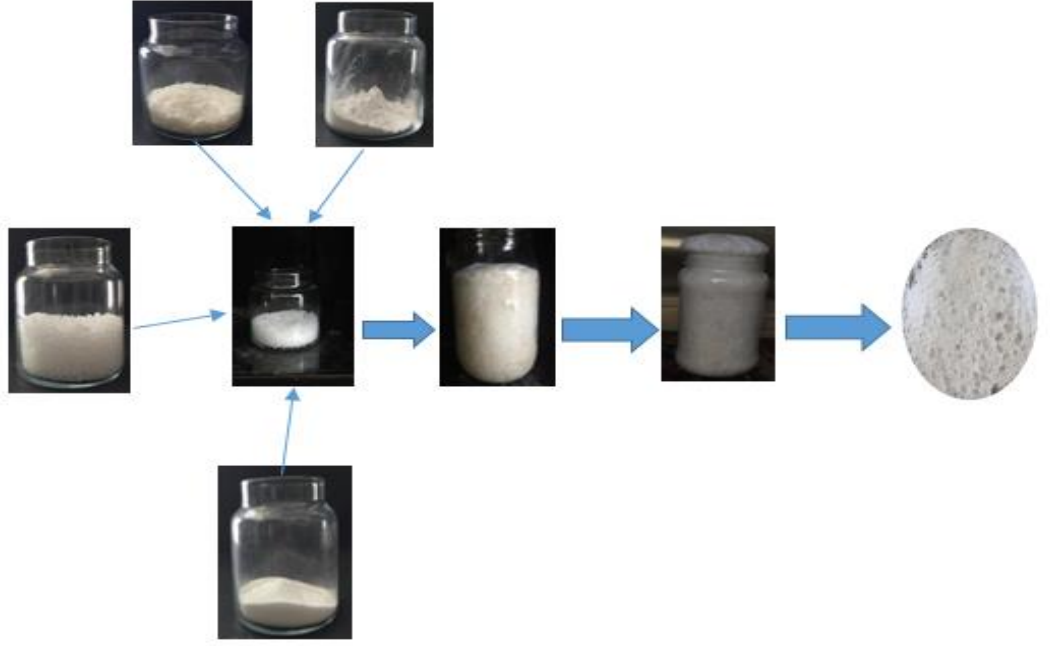
**Şekil 3.5.** 150 °c de LDPE fırın içinde yerleşmesi.

Polietilenin fırında erimesi süresinde diğer katkıların miktarlarını hazırlandı ve hazırlanan malzemeleri toz haline getirildi ( GMS) çünkü karışım içerisinde homojen bir şekilde ve LDPE içinde iyi bir şekilde dağılmalıdır.



**Şekil 3.6.** Diğer katkı malzemelerinin hazırlanması.

Fırından çıkan erimiş polietilen diğer katkı malzemeler ile (sodyum bikarbonat, talk, ve GMS) 5 dakika süresinde iyi bir şekilde homojen karışımı sağlandı. Ve karışılan malzeme tekrar fırın içerisine 150°c 'ye ayarlanarak yaklaşık 30-40 dakika koyuldu köpük oluşuncaya kadar.

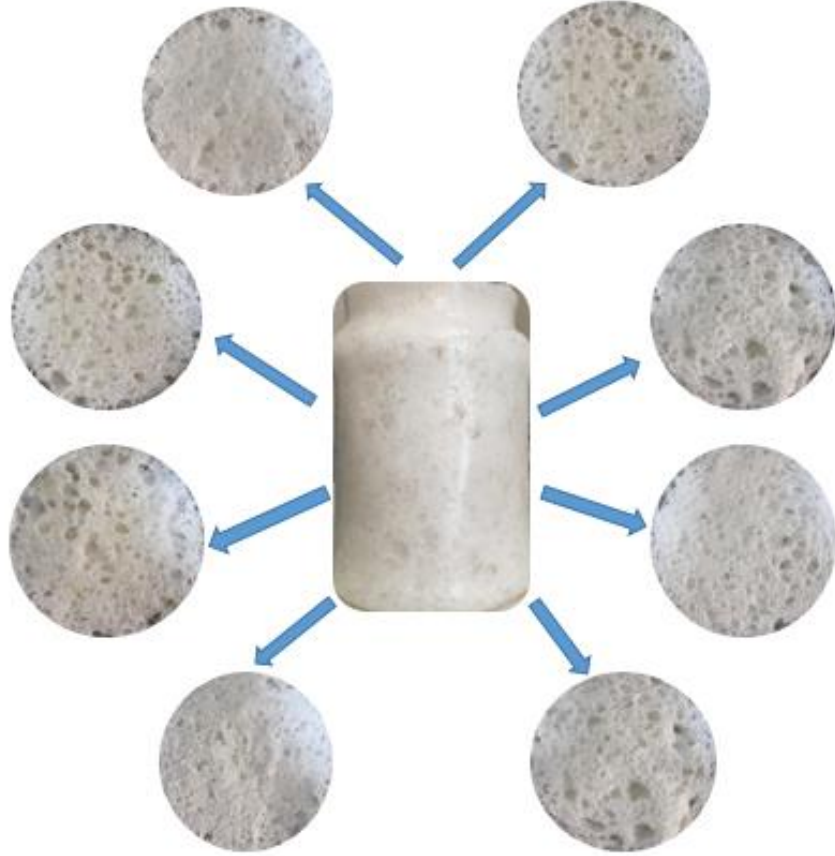


Şekil 3.7. Köpük oluşma aşamaları.



Şekil 3.8. Fırında oluşan köpük.

Fırından çıkarılan kavanozlar oda sıcaklığında soğuyana kadar beklenir ve kavanozu soğuduktan sonra polimer köpük kavanoz içerisinden çıkarıp gerekli incelemeler yapılır.



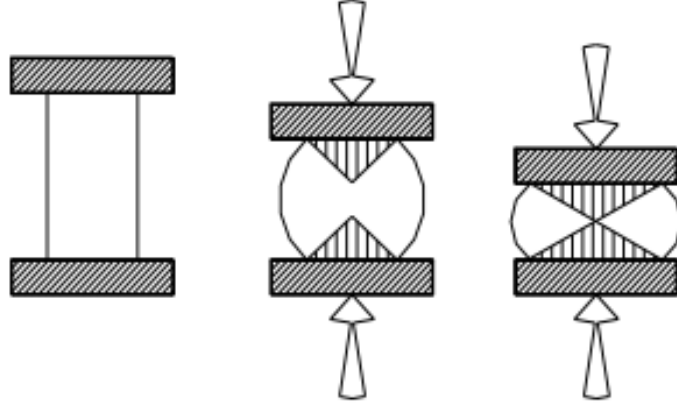
**Şekil 3.9.** Farklı katkı malzemelerden elde edilen numuneler.

Polietilenden oluşan polimer köpüğü farklı yumuşaklık, sertlik ve farklı gözenekler boyutlarına sahiptir.

### **3.3. Bası Deneyi**

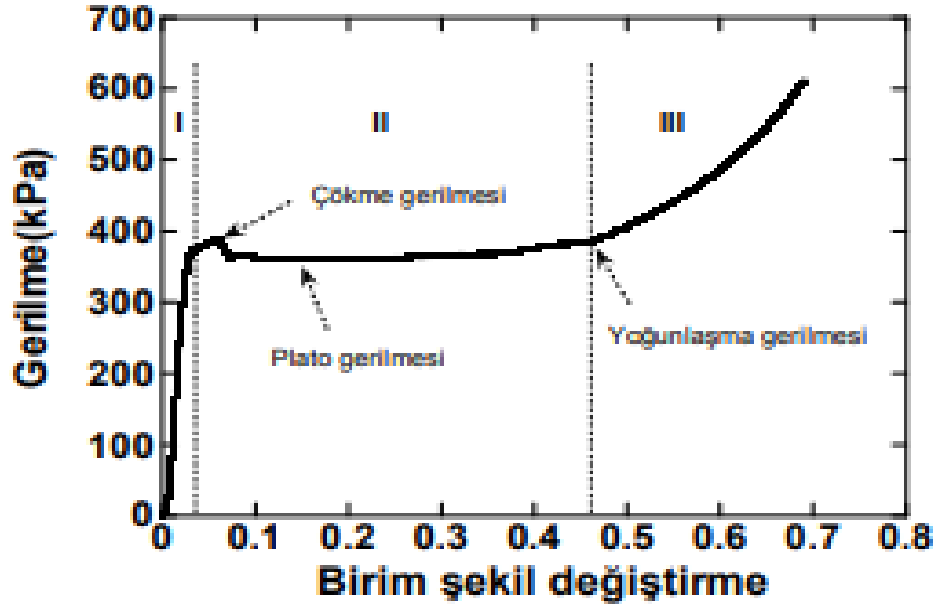
Basma deneyi, malzemeye basma yükü uygulanması sonucu numune boyunda kısılma veya ezilme meydana gelmesi esasına dayanan deney yöntemidir. Basma kuvvetlerinin etkili olduğu yerlerde kullanılan malzemeler genellikle gevrek malzemelerdir ve

özellikleri basma testi ile belirlenir. Basma deneyinde silindirik veya küp şeklindeki numuneler iki paralel tabla arasına yerleştirilir ve uygulanan kuvvetle oluşan şekil değiştirmeler ekstansometre yardımı ile ölçülür. Basma çenelerinin düz, temiz ve deney numunesine oranla sert olması gereklidir. Basma deneyinde kesit alanı sürekli arttığından çekme deneyinde oluşan boyun verme olayı meydana gelmez. Sünek malzemelerin deneyinde fiçılama olarak adlandırılan şişme oluşur.



**Şekil 3.10.** Basma deneyi uygulanan bir sünek malzemedeki oluşan fiçılama (Anonim 2018 b).

Genel olarak köpük malzemeler; yapıldığı malzeme, Gözeneklerin yoğunluğuna ve türüne (açık veya kapalı) bağlı olarak nispeten farklı olsalar da, bu farklı alanları netleştirir. Burada ilk lineer bölge, köpüğün elastik davranış gösterdiği kısımdır. Bu bölgede hücre duvarları elastik uzama veya kısalma şeklinde deformasyona uğrar. Lineer elastik bölgenin bitimiyle beraber, plastik olarak katlanma (deformasyon) başlamakta ve gerilmenin neredeyse sabit olarak devam ettiği bir plato bölgesi boyunca devam etmektedir. Köpük basıncının arttırılmadığı gerilme değerine (yoğuşma gerilmesi) ulaştıktan sonra, köpük kabaca temel malzeme (hücre duvarlarını oluşturan madde) gibi davranır ve gerilme değeri hızla artmaya başlar.



**Şekil 3.11.** bir polimer köpüğün basma etkisi altında gösterdiği farklı deformasyon bölgeleri (Toksoy 2004).

#### Bası Gerilmesi Hesabı

Deneyde uygulanan en yüksek basma kuvvetinin ( $F_{max}$ ) başlangıç kesit alanına bölünmesiyle basma gerilmesi bulunur.

$$\sigma_b = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (4.1)$$

$\sigma_b$  = Basma gerilmesi

$F_{max}$  = maksimum basma kuvveti

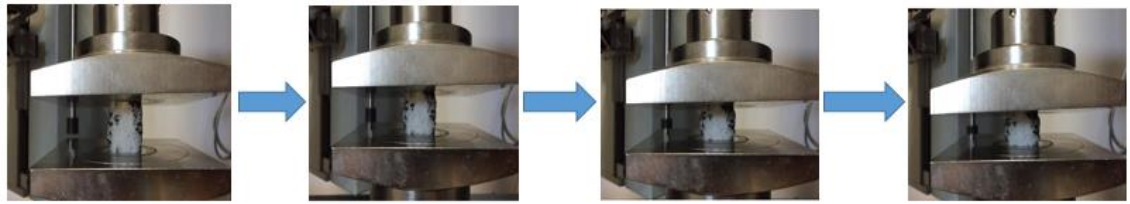
$A_0$  = Başlangıç kesit alanı

### 3.3.1. Bası Testi Uygulaması ve Sonucu



Şekil 3.12. Basma Test Cihazı.

Şekilde 3.12 basma test cihazı gösterilmektedir. Hazırlanan numunelerin basma testi uygulamak için gerekli işlemler yapılır maksimum kuvvet ve hızı ayarlanır ve çenelerin arasındaki mesafeyi numunelerin boyutuna göre ayarlanır, gereken ayarları bitikten sonra basma testi uygulanır.



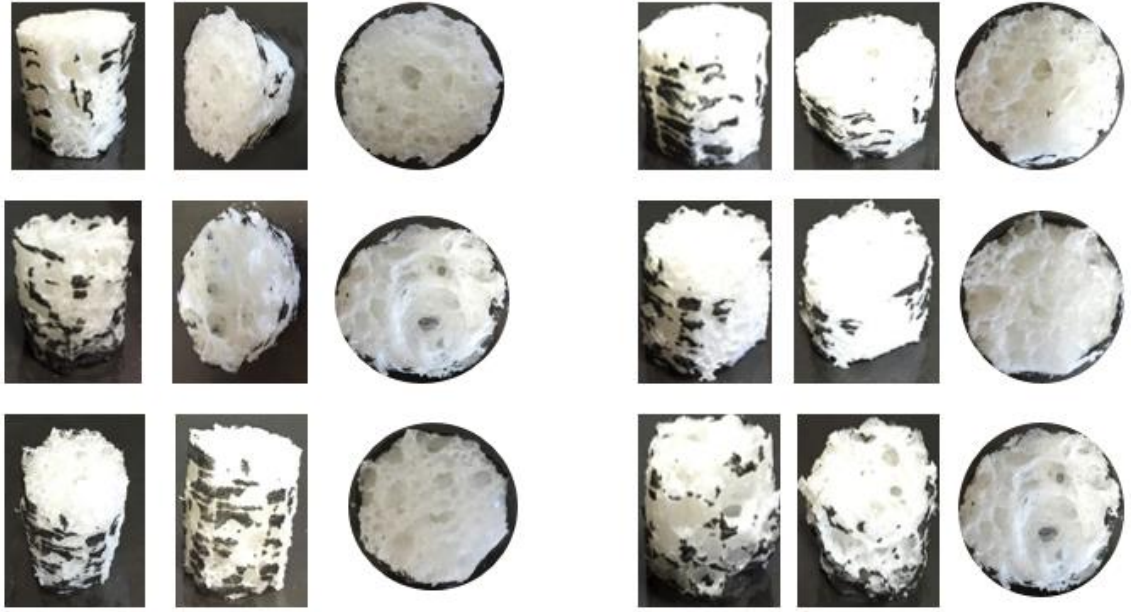
**Basma**



**Gevşeme**

Şekil 3.13. Numuneye basma periyodu ve gevşeme periyodu.

Yukardaki şekillerde iki farklı numunelere basma testi uygulanmıştır. İlk olarak iki numuneye aynı kuvvet ve aynı hız kullanıldı ve basma cihazı çalıştığında numuneleri şekil değiştirmeye başladı, ve numunelerinin uygulanan maksimum kuvvetten etkilendi ve ortasında boşlukları doldurmak nedeniyle şişirmeye başladı ve basmayı son noktaya geldiğinde (daha fazla deformasyon olmayınca) uygulanan kuvvet numunenin üzerinden kaldırıldı ve çeneleri açıldı ve numunelerin alındı.



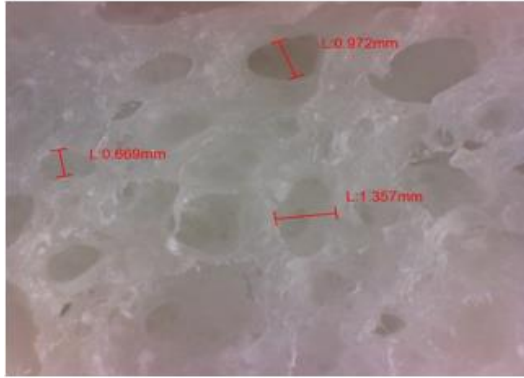
Basma testi yapılmadan önce

Basma testi yapıldıktan sonra

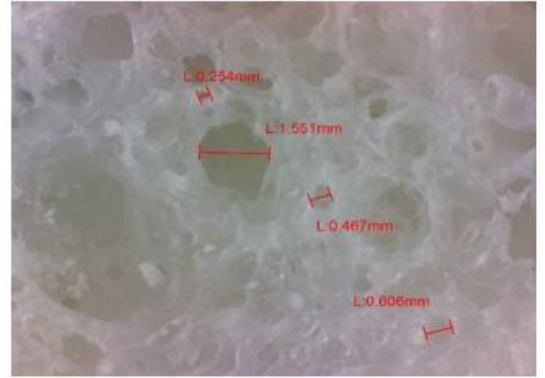
**Şekil 3.14.** Basma testi öncesi ve sonrası numunelerinin göstermektedir.

**Çizelge 3.2.** LDPE Köpüklerin Hücre Boyutu ve Hücre Yoğunluğu.

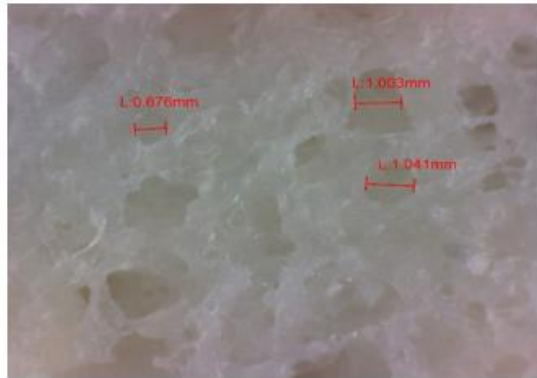
Numune	Gözenek Boyutu (mm)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
N1	0,493 - 1,911	0,40857
N2	0,596 – 1,881	0,21907
N3	0,683 – 1,212	0,3134
N4	0,466 – 1,509	0,30687
N5	0,669 – 1,357	0,25071
N6	0,254 – 1,551	0,33099
N7	0,676 – 1,041	0,32336
N8	0,983 – 2,192	0,3824
N9	0,693 – 2,035	0,30373
N10	0,335 – 1,269	0,31637
N13	0,619 – 1,364	0,27404



N5

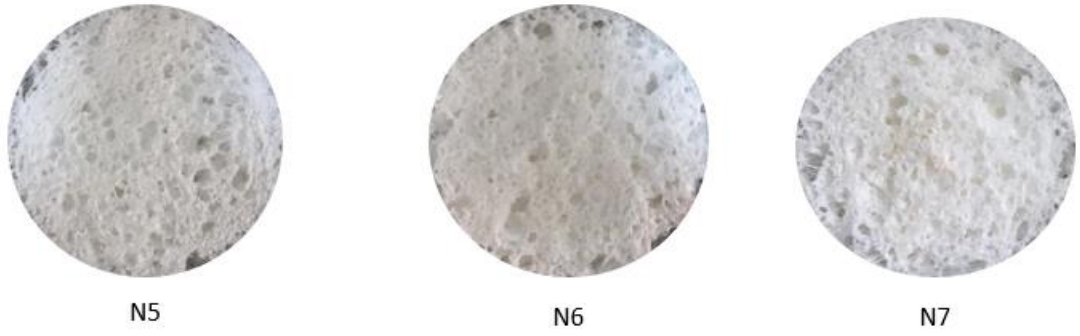


N6



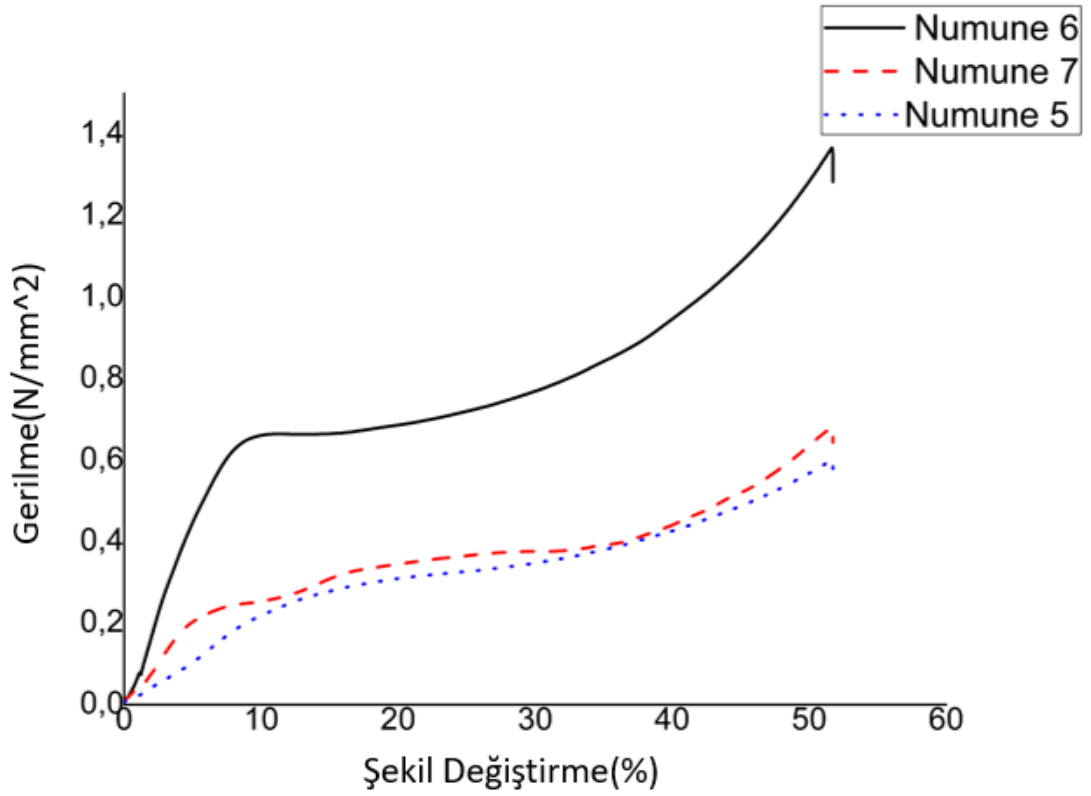
N7





**Şekil 3.15.** Basma testinde seçilen numunelerin ortalama gözenek boyutlarını (0,254 mm ve 0,467 mm) ve yoğunluğu (0,30168 g/cm<sup>3</sup>).

### 3.2.2. Basma Testin Sonucu ve Tartışmaları



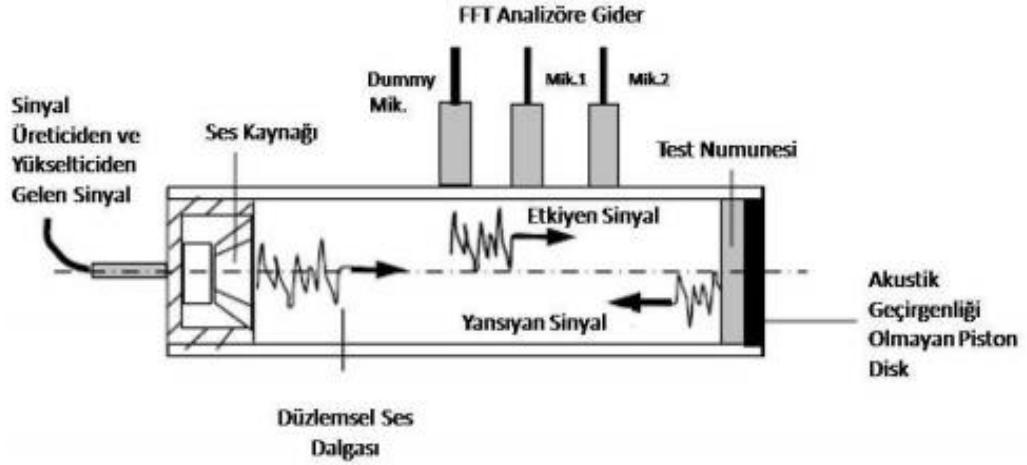
**Şekil 3.16.** Numune 5, 6 ve 7'nin gerilme ve şekil değişirme eğrisi.

Bu çalışmada üretilmiş köpüklerinden basma testi için üç numune seçilmiştir ve seçilen 5,6 ve 7 nolu numuneler farklı yoğunluğa sahiptir. Şekil 3.16'te görüldüğü gibi polietilen

köpüğün gerilme-şekil değiştirme eğrisini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi numune 6'nın eğrisi en yüksektir, bu da demek ki en yüksek yoğunluğa sahip olan numuneler, en yüksek basma mukavemetine sahip olur. Tabi bu durum ideal karışımlar için geçerlidir. Ondan sonra geri kalan numunelerin daha yüksek yoğunluğa sahip olan daha yüksek basma mukavemetine sahiptir. Bazı numuneler homojen olarak karışmadığı için ve heterojen gözenek yapısı nedeniyle numunelerin düşük yoğunluğa sahiptir ve düşük mukavemetine sahip olduğu görülmektedir.

### **3.4. Ses Sönümleme**

Otomobil, havacılık ve inşaat endüstrilerindeki en büyük sorunlardan biri, polimer köpüklerin ses sönümleme spektrumunun artırılması veya uyarlanması ihtiyacıyla ilgilidir. Binalarda, arabalarda ve uçaklarda gürültüyü azaltmak için gözenekli akustik malzemeler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ses emici özellikler ve ses yalıtımını iyileştirme potansiyeli için kullanılırlar. Ses absorpsiyon, malzemenin yapısına ( hücre boyutu, açık ve kapalı hücre), yoğunluğuna, elastikiyetine ve diğer özelliklere bağlıdır. Otomotiv söktöründe kullanılacak köpük malzemenin ses yutumu ve diğer testleri ediliyor, ses absorpsiyon testi Empedans Tüpünün cihazda yapılıyor. Otomotiv ve tekstil sıklıkla kullanılan yalıtım malzemelerinin ses azaltma karakteristiklerinin belirlenmesi işlemlerinde ve özellikle malzeme geliştirme faaliyetlerinde kullanılırlar. Malzemelerin ses yutma özellikleri yalıtılacak olan bir ortamdaki sesin frekansına göre değişmektedir. Dolayısıyla kullanılacak malzemenin hangi ortamlar için uygun olduğu ses yutma karakteristiklerine göre belirlenir. Ses yutum katsayısı değerini tespit etmek için çift mikrofona empedans tüpü yöntemi kullanılmıştır. Çift mikrofona empedans tüpü yöntemi; empedans tüpüne takılmış iki mikrofona arasındaki ses basınç farkının ölçümüne dayanmaktadır. Empedans tüpü yöntemi ile ses yutma katsayısını belirlemek için kullanılan standart düzen Sinyal Üretici ile oluşturulan sesin Empedans Tüp Aparatı'na verilmesi, malzemenin gösterdiği davranışın PC tarafından incelenmesi ve sinyal üreticinin Frekans Ölçer ile değerinin ayarlanmasıdır. Empedans tüpü yöntemi Şekil 3.17 ile küçük boyuttaki numunelerin yutum katsayısı, yansıma katsayısı, yüzey empedansı ve yüzey admitansı belirlenebilmektedir. (Yunseon ve ark. 2004, bolton ve ark. 2007)



**Şekil 3.17.** Empedans Tüpü Ses Yutum Ölçüm Düzeneği (Anonim 2018c).

Deneyde 100-1000 Hz arası ölçümler için 10 cm çapında, 1000-20.000 Hz arasındaki ölçümler için ise 3 cm çapında numuneler kullanılmaktadır.



**Şekil 3.18.** Empedans Tüplerinde Kullanılan Farklı Çaplardaki Tüpler (Anonim 2018 c).

Bu çalışmada ürettiğimiz 13 numunenin “Empedans Tüpü” kullanılarak karşılaştırılması yapılmıştır. Ve bu numunelerin yüksek frekanslar için küçük tüp ( $f > 1600$  Hz için  $d = 3$  cm), düşük frekanslar için büyük tüp ( $f < 1600$  Hz için  $d = 10$  cm) kullanılmaktadır.



**Şekil 3.19.** Empedans Tüpünde test yapıldığı 3cm çaplı numuneler.



**Şekil 3.20.** Empedans Tüpünde test yapıldığı 10cm çaplı numuneler.

### 3.3.1. Ses Absorpsiyon Testi



**Şekil 3.21.** Ses yutum testi uygulaması.

Bu deneyde kullanılan ekipman, çift mikrofönlü empedans ölçüm tüpü, iki kanallı sinyal analizörü, amplifikatör ve bir bilgisayardan oluşuyordu. Numune, sert duvarın solundaki tüplere tutturulur ve iyi tanımlanmış frekanslarda ses dalgaları yayabilen bir hoparlör, sağ sert duvarına takılır. Hoparlör tarafından yayılan ve numuneden yansıyan dalgalar, tüpün

ekseni boyunca kayabilen küçük bir mikrofon tarafından algılanır. analizör, daha sonra yükseltile bir sinyal üretir. Daha sonra tüpün içinde ses kaynağına bir frekans ağırlıklandırma ünitesi uygulanır. Son olarak, analizör iki mikrofonun yanıtını ölçer ve iki mikrofon kanalı arasındaki frekans yanıt işlevini hesaplar.

### 3.5 Ses İletim Kaybı Değeri Ölçümleri

Ses iletim kaybı, bir malzemenin, ses yalıtma kapasitesini dB cinsinden veren bir özelliğidir. Ses iletim kaybı,

$$TL = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad (\text{dB}) \quad (3.1)$$

İfadesiyle tanımlanır. Burada,  $W_1$  malzemenin üzerine gelen toplam ses enerjisi,  $W_2$  ise iletilen ses enerjisidir. Ses iletim katsayısı,

$$T = \frac{W_2}{W_1} \quad (3.2)$$

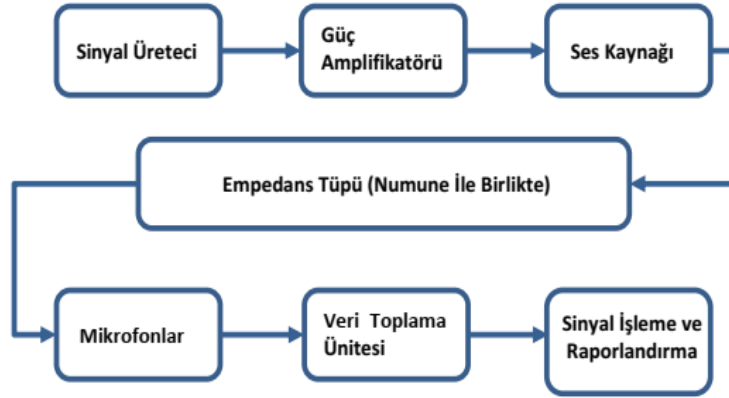
Şeklinde tanımlanacak olursa, ses iletim kaybı, iletim katsayısı cinsinden,

$$TL = 10 \log \frac{1}{T} \quad (\text{dB}) \quad (3.3)$$

Şeklinde yazılabilir. Ses yalıtımı açısından, bir malzemenin ses iletim katsayısının küçük olması dolayısıyla ses iletim kaybının büyük olması istenir. Bir malzemenin ses iletim kaybı, frekans, malzeme özellikleri ve özellikle yüzey yoğunluğuna bağlı olarak değişir.

### Deney Düzenegi

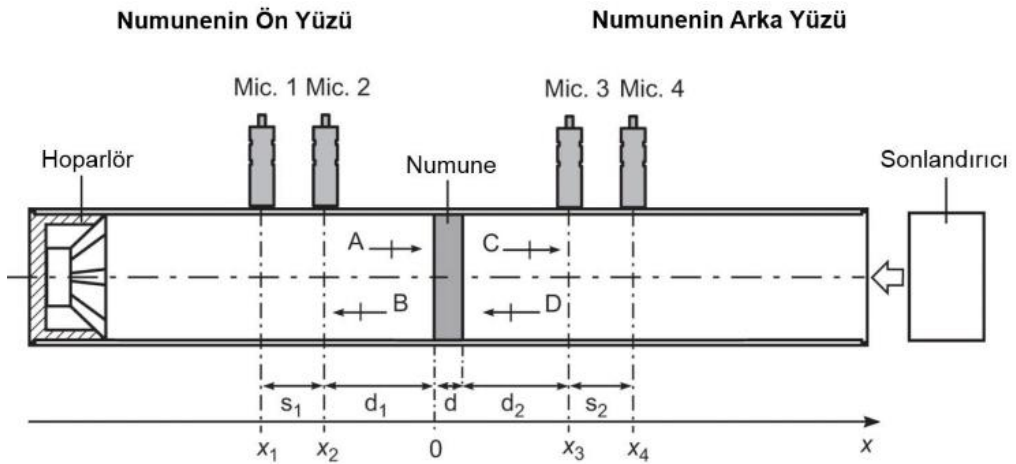
Deneyi, belirlenen kriterlere göre hazırlandı. Bir empedans tüpü, bir sinyal üretici, bir güç amplifikatörü, bir hoparlör (ses kaynağı), dört mikrofon, bir veri toplama ünitesi ve ölçülen sinyalleri işleyen bir yazılımdan oluşmaktadır.



Şekil 3.22. Deney düzeneğine ait ölçüm zinciri (Anonim 1987).

### 3.5.1. Empedans Tüpü

Şekil 3.23'de görüldüğü gibi, ses iletim kaybı ölçümü bir empedans tüpü ile yapılmaktadır.  $X_1$ 'den  $X_4$  'e kadar olan mikrofon karmaşık ses basınç ölçümleri alındıktan sonra karmaşık genlik ifadeleri elde edilir ve transfer matris metodundan yararlanılarak da ses iletim kaybı ifadesine geçilir. Empedans tüpünün bir ucuna ses kaynağı ve ortasına da Şekil 3.23'de gösterildiği şekilde test edilecek malzeme yerleştirilir.



Şekil 3.23. Ses iletim kaybı için ölçüm teorisi (Bolton 2007).

Ses kaynağı sayesinde oluşan düzlemsel ses dalgaları malzemeye çarpar ve bir kısmı yansiyarak geri dönerken, bir kısmı malzeme tarafından yutulur ve bir kısım ise malzeme

içerisinden geçerek tüpün diğer ucuna doğru yönelir. Malzemenin içinden geçen ses dalgalarının bir kısmı tüpün diğer ucundan geri yansır ve bir kısmı dışarıya doğru yönlendirilir. Dört mikrofon konumunda ses basınçları ölçüldükten sonra, 4 kanallı dijital frekans analizörü sayesinde karmaşık iletim matrisi fonksiyonu hesaplanarak malzemenin ses iletim kaybını elde etmek mümkündür. Kullanılan frekans aralığı tüpün çapına ve mikrofonlar arası mesafeye bağlıdır. A, B, C ve D karmaşık genlik ifadeleri olmak üzere, transfer matris yöntemi kullanılarak malzemenin her iki yüzeyindeki ses basınç ve partikül hızlarının hesaplanmasına yardımcı olurlar. Transfer matris elemanları ayrıca partikül hızı ve yüzey basınç değerlerine göre hesaplanır ve ardından empedans tüpündeki sınır koşulları ses güç iletim katsayısına ve ses iletim kaybı ifadelerine elde edilir (Bolton ve ark. 2007 ve Anonim 2018c).

Karmaşık ses basınç ifadeleri aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir. Burada,  $k$  ses dalga sayısı,  $H_{ir}$ , karmaşık ses basınçları  $P_i$  ve karmaşık referans sinyali  $r$  arasındaki frekans cevap fonksiyonudur.  $G_{rr}$  ise referans sinyali  $r$ 'nin oto spektrumunu vermektedir (Lee ve ark. 2008).

$$A = \sqrt{G_{rr}} \frac{j(H_{1r}e^{jKx_2} - H_{2r}e^{-jKx_1})}{2\text{sinc}(X_1 - X_2)} \quad (3.4)$$

$$B = \sqrt{G_{rr}} \frac{j(H_{2r}e^{-jKx_1} - H_{1r}e^{jKx_2})}{2\text{sinc}(X_1 - X_2)} \quad (3.5)$$

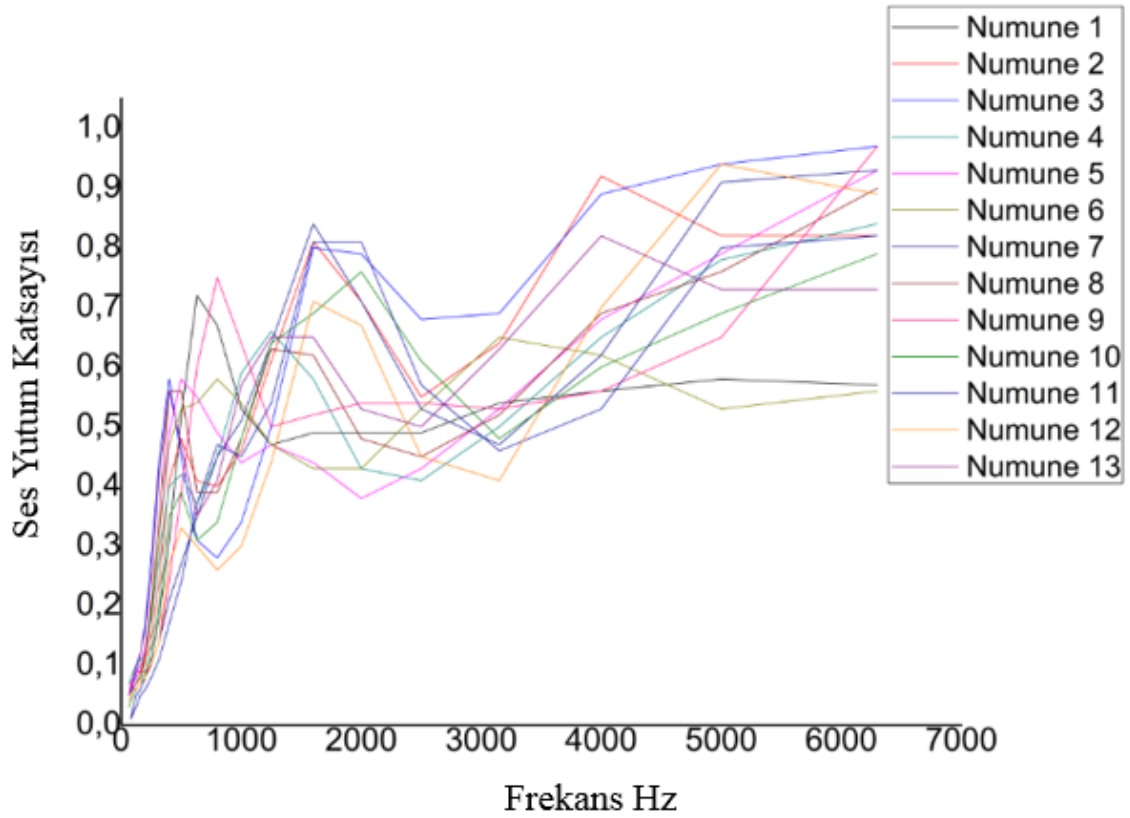
$$C = \sqrt{G_{rr}} \frac{j(H_{3r}e^{jKx_4} - H_{4r}e^{-jKx_3})}{2\text{sinc}(X_3 - X_4)} \quad (3.6)$$

$$D = \sqrt{G_{rr}} \frac{j(H_{4r}e^{-jKx_3} - H_{3r}e^{jKx_4})}{2\text{sinc}(X_3 - X_4)} \quad (3.7)$$

## 4. BULGULAR

Bu bölümde yapılan testler sonucunda elde edilen sonuçlar otomotiv sektöründe ve uygulanacak alanlarda değerlendirilecektir. Ve bu sonuçlara göre üretim yapılacaktır. Testlerde belirtilen sonuçları grafik şeklinde göstermektedir ve onun üzerinde tartışılacaktır.

### 4.1. Ses Absorpsiyon Katsayısı Test ve Tartışmaları



Şekil 4.1. Köpüklerin Ses Yutum katsayısına karşı frekans analiz.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi LDPE köpüğü için ölçülen ses yutum katsayılarını göstermektedir. N1, N2 ve N13’ e kadar örnekleri farklı yoğunluk ve gözenek boyutları sahip numunelerin ses yutma performansını temsil eder. Ve tablo 3.2 numunelerin özellikleri özetlemiştir.



Numune 1' de absorpsyon katsayısı artmaya başlar 0-1000 Hz frekanslar için 0,7 civarında maksimum ses yutma değerine ulaşır. Ondan sonra 1000-2000 Hz frekanslarda ses absorpsyon katsayısı 0,48' e düşer, ve 3000 Hz frekanslardan ses absorpsyon 0,55 artmaya başlar ancak 6000 Hz frekansta 0,59 ses absorpsyon gerçekleşir.

İkinci numunede 0-1000 Hz frekanslarda ses katsayısı 0,49' a yükselmiş ondan sonra 0,4' te düşmüş 1200 Hz frekansta, ve 1900 Hz frekansta katsayısı 0,8' e artmış, 4000-5000 Hz arasındaki frekanslar maksimum ses katsayısı 0,91 civarına artmış, ancak 7000 Hz frekanslara kadar 0,8 sabit bir değer kurur.

Üçüncü numunenin eğrisi 0-1000Hz frekanslar arasında 0,58 civarında ses katsayısı yükselir ve frekans 2000 Hz artığında ses katsayısı 0,81' e artmış. Ondan sonra 3000 Hz frekansında 0,7' ye düşer ancak 4000 Hz frekansından itibaren ses katsayısı yükselir ve 0,98' e ulaşır.

Dördüncü numunenin eğrisi ses katsayısı 800 Hz frekansta 0,41 yükselmiştir. Ondan sonra 1000-2000 Hz frekanslar arasında 0,67 civarı ses katsayısı artmış, 3000-7000 Hz frekanslara kadar absorpsyon eğrisi artıyor ve maksimum değerine 0,85 ulaşır.

0-700 Hz frekanslarda 5' ci numunenin ses yutum katsayısı 0,6' ya artıyor ondan sonra 0,4 'e kadar düşüyor 2000 Hz frekansta ve aynı noktadan itibaren ses absorpsyon katsayısı artmaya başlar 6300 Hz frekansta 0,92' ye ulaşana kadar.

0-1000 Hz frekanslar arasında numune altı ses yutma katsayısı 0,6' ya yükselir, 2000 Hz frekansta ses yutma eğrisi 0,4' de düşer onda sonra 3000 Hz frekansta tekrar yükselir ve 4000-7000 Hz frekanslar arasında 0,58' e düşmeye başlar.

Numune 7'de absorpsyon katsayı eğrisi 0-1800 Hz aralarında 0,82'ye yükselir ondan sonra 3200 Hz de 0,46'ya düşer ve tekrar 6000 Hz'te ses yutma katsayısı en maksimum değerine 0,91 yükselir.

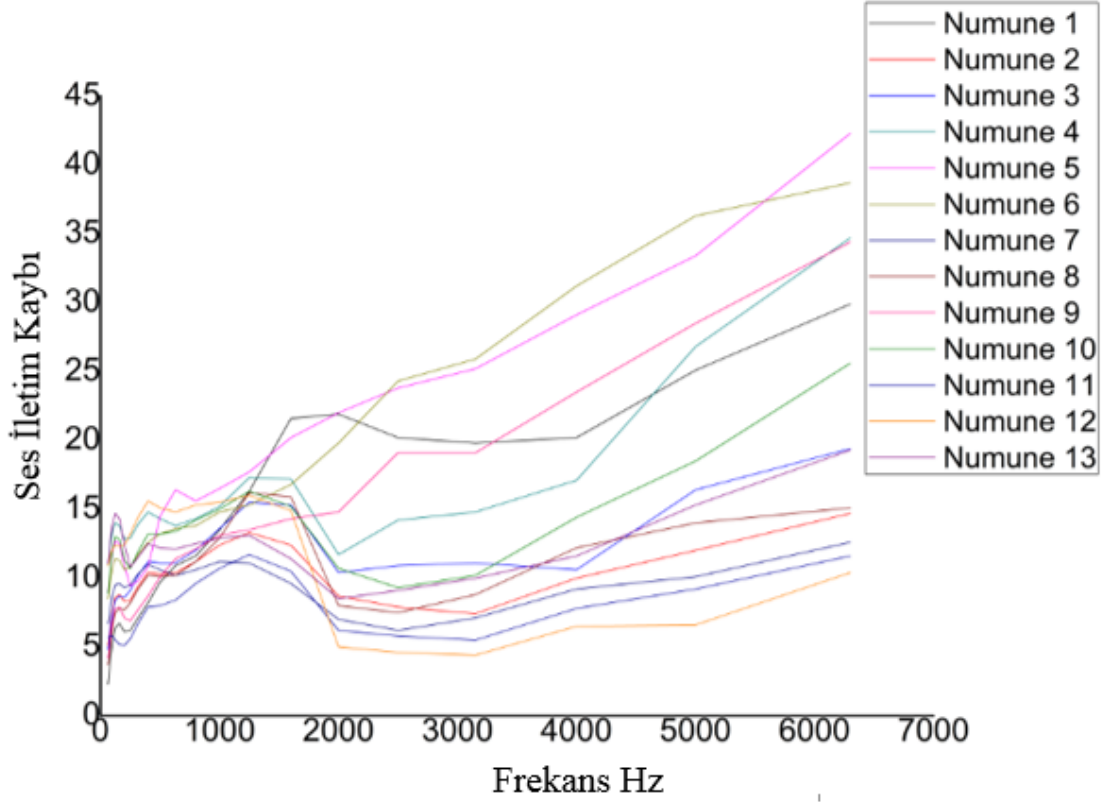
Numune 8'de absorpsyon katsayısı 0-1000 Hz frekansta 0,58'e yükselir ondan sonra 1400 Hz frekansta 0,64'de artar, 2500 Hz ses absorpsyon katsayısı 0,46'ya düşer ve aynı frekanstan itibaren ses yutma katsayısı 6000 Hz frekansına kadar 0,9'a yükselir.

Dokuzuncu numunenin eğrisi 0-800 Hz arasındaki frekanslar ses yutma katsayısı 0,75'e artar, ondan sonra 1250 Hz te ses yutum katsayısı 0,58 düşer, ve 1600 Hz ten 6300 Hz ses absorpsyon katsayısı maksimum değerine 0,97 ye ulaşır.

Onuncu numunenin eğrisi 0-1000 Hz frekansta ses absorpsyon katsayısı 0,48'e artıyor, ondan sonra ses yutma katsayısı 1250 Hz den 2000 Hz 'e 0,76'ya yükselir sonra 3150 Hz frekansta 0,48'e düşer ve tekrar ses yutma katsayısı maksimum değerine 0,79'a 6300 Hz frekansla ulaşır.

Ve 13 numunesinde 400 Hz'te ses yutma katsayısı 0,56'ya artmıştır, 1600 Hz'te ses yutma katsayısı 0,65'e artmıştır ancak 2500 Hz ses absorpsyon katsayısı 0,5'e düşer, tekrar 4000 Hz'te ses yutma katsayısı maksimum değerine 0,82 ulaşır,ve ondan sonra 5000-6000 Hz frekanslarda ses yutma katsayısı minimum değerine 0,73 düşer.

#### 4.2. Ses iletim kayıpları test ve sonuçları



Şekil 4.2: Ses iletim kaybı-frekans grafiği.

Ses dalgasının katı ortamlarda davranış frekans ve malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişir. Düşük frekanslarda ses dalgasının duvarda oluşturduğu hareketleri yapı elemanın boyutları, yüzey yoğunluğu ve kullanılan malzemenin sertliği kontrol eder. Orta frekanslar kütle kontrol bölgesidir, panelin bu bölgedeki ses iletim kaybı panelin kütlesi ile iyileştirilebilir, panelin sertliği ses iletim kaybı deyerini azaltır. Yüksek frekanslar sönüm kontrol bölgesi, panelin bu bölgedeki ses iletim kaybı panel sönümü ile iyileştirilebilir.

Yukardaki şekil 4.2' de numunelerin ses iletim kaybı ve frekans eğrileri gösterir. Birinci numunenin eğrisi sertlik kontrolü bölgesinde 0'dan 250 Hz aralarında frekans artığında ses iletim kaybı minimum değerine 6,2 düşer, 250 Hz belirtilen rezonans frekans noktasından ses iletim kaybı frekansla birlikte artıyor 2000 Hz de 21,9'a çıkıyor, ve 4000 Hz frekansta 20,2'ye düşmüş ancak o noktadan sonra tekrar frekansla birlikte maksimum değerine 29 kadar.

Numune ikide 0-200 Hz sertlik kontrol bölgesi ses ileti katsayısı frekans artığında 8,3'e kadar düşer. ve 1250 Hz'e kadar ses iletim kaybı frekansla birlikte 13,3 değerine artar ve 3150 Hz de ses iletim kaybı tekrar 7,4'e düşer sonra frekans artığında değeri 14,7 ye artar.

Numune üçünde ses iletim kaybı sertlik bölgesinde 8,6 minimum değerine düşer ondan sonra frekansla birlikte 15,5 değerine ulaşır ancak frekans 4000 Hz artığında ses iletim kaybı değerinden düşüyor 10,6 ya kadar düşer ve sonra frekansla birlikte yükseliyor maksimum değerine 19,4 ulaşır 6300 Hz de.

Numune dört 0-630 Hz frekanslarda ses iletim kaybı minimum değerine 13,8 düşer ondan sonra frekansla birlikte 1600 Hz de 17,2 yükselir, ve 2000 Hz 'de ses iletim kaybı tekrar 11,7 değerine düşer ancak o noktadan sonra frekansla birlikte yükseliyor 2000-6300 Hz de 34,7 ye artar.

Numune beş 0-250 Hz bölgesinde frekans artığında ses iletim kaybı minimum değerine düşer ve rezonans noktasından sonra frekansla birlikte 630 Hz de 16,4 yükselir ve artmayı 42,3'e 6300 Hz frekansla devam eder.

Numune altı 0-200 Hz bölgesinde ses iletim kaybı minimum değerine 10,6 düşer ondan sonra ikinci ve üçüncü bölgelerde frekans değerleri artırdığında ses iletim kaybı artıyor maksimum değerine 38,7 kadar.

Numune yedide 0-200 Hz artış frekanslarda ses iletim kaybı 9,3 değerine düşer ondan sonra 1000 Hz'e kadar frekansla birlikte 11,2 değerine ulaşır ancak bu değer ikinci bölgede frekans artışıyla 6,2 ye düşer ve 2500 Hz frekanslardan itibaren frekansla birlikte 12,6'ya artar.

Numune sekizde 0-2000 Hz artış frekanslarda ses iletim kaybı maksimum değerine ulaşır, ondan sonra 7,5'e düşüyor frekans artışıyla 2500 Hz. ve bu noktadan sonra ses iletim kaybı frekans ile birlikte artar 6300 Hz de 15,1 değerine ulaşır.

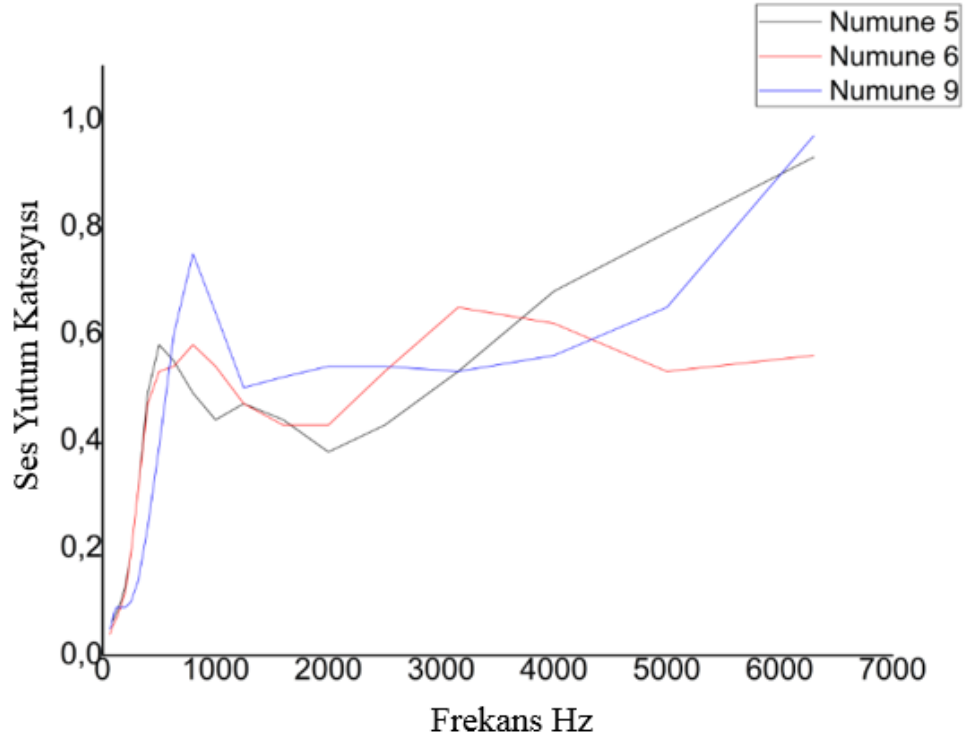
Numune dokuzda 0-250 Hz frekans artışıyla ses iletim katsayısı 0,69'a düşer, ondan sonra her iki bölgede ses iletim kaybı frekans artışıyla maksimum değere 34,4 ulaşır.

Numune on sertlik bölgesinde (0-250 Hz) frekans artığında ses iletim kaybı 10,7 değerine düşer ondan sonra frekans artışıyla 1250 Hz de 16,3'e yükselir, tekrar frekans artışıyla ses iletim kaybı minimum değerine 9,3 düşer, ve bu noktadan itibaren frekans ile artığında ses iletim kaybı maksimum değerine 25,6'ya ulaşır.

Numune on üç eğrisi 0-250 Hz bölgesinde frekans artığında ses iletim kaybı 10,8 değerine düşer, ondan sonra 1250 Hz de 13,1'e frekans artışıyla yükselir, ancak 2000 Hz de frekans artışıyla minimum değerine 8,5 düşer ve 2000 Hz itibaren frekans artışıyla ses iletim kaybı 6300 Hz de maksimum değerine 19,3 ulaşır.

**Çizelge 4.1:** Numune 5,6ve 9 ses yutum değerleri göstermektedir.

Frekans (Hz)	Numune 5 $\rho = 0,25071$ g/cm <sup>3</sup>	Numune 6 P=0,33099 g/cm <sup>3</sup>	Numune 9 $\rho = 0,30373$ g/cm <sup>3</sup>
0 - 1000	0,59	0,58	0,75
1000 - 2000	0,47	0,43	0,54
2000 - 4000	0,58	0,65	0,53
4000 - 6300	0,93	0,56	0,97



**Şekil 4.3:** Numune 5,6 ve 9 ses yutum katsayısı analizi.

Şekil 4.3' te değerleri iyi olan numuneleri göstermiştir ve sonuç kısmında tartışılmıştır.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu projede yapılan köpük üretimi on üç numunenin gereken testleri yapıldıktan sonra en iyi veren sonuçları seçildi bunlar 5,6 ve 9. Bu numunelerin sağladığı yoğunluk ortalaması  $0,2951 \text{ g/cm}^3$  ve gözenek boyutları  $0,254 - 2,035 \text{ mm}$  arasındadır. Burada örnek olarak yüksek yoğunluğu sahip olan numune altı basma testinde yüksek mukavemete sahip olduğu şekil 4.17 de gösterilmiştir. Ses absorpsyon testinde numune 5 ve numune 9,  $0 - 1000 \text{ Hz}$  frekanslar arasında ses yutumu yüksek bir değere  $0,59$  ve  $0,75$  ulaşmış ve bu değerler  $4000 - 6300 \text{ Hz}$  frekanslarda  $0,93$  ve  $0,97$  değerleri elde edilmiştir. Ama numune 6,  $0 - 1000 \text{ Hz}$  ve  $4000 - 6300 \text{ Hz}$  frekanslar aralığında ses yutum katsayısı değeri  $0,58$  gösterilmiştir, lakin  $2000$  ve  $4000 \text{ Hz}$  değerli frekanslarda yüksek ses yutumu elde edilmiştir. Bu projede elde edilen numune 5 ve numune 9 yüksek frekans değerlerine ulaşıldığında düşük yoğunluk numunelerin yüksek ses emme göstermiştir. Ve son olarak açık hücreli köpük, duvarlardaki oluşan delikleri nedeniyle kapalı hücre malzemelerine kıyasla daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Açık hücreli köpükler, kapalı hücreli malzemelerden daha iyi ses absorpsiyona sahiptir. Kapalı hücrelerin duvarlarında delik bulunmadığı için ve içindeki gazların kaçışına izin vermediği için basma testlerinde mukavemeti yüksektir.

## KAYNAKLAR

**Al Awam, K.A., Johnson, S. 2019.** The effect of cosmetic talc powder on health. *Indian J Respir Care*, 8(1):18-21 pp.

**Andersons, J., Kirpluks, M. 2016.** Anisotropy of the stiffness and strength of rigid low-density closed-cell polyisocyanurate foams. *Materials & design* 92: 836–845. DOI: 10.1016/j.matdes.2015.12.122.

**Anonim 1987.** <http://www.proplan.com.tr/Yayinlar/gurultu-kontrol-elemanlarinin-akustik-ozelliklerinin-empedans-tupu-ile-belirlenmesi>

**Anonim 1990.** <Http://www.sanifoam.com.tr/otomotiv/>.

**Anonim 1997.** <https://www.ekipmuhendislik.com.tr/endustriyel-polimer-tesisler/pe-pp-stiren-kompozit-hazirlama-tesisleri>.

**Anonim 2006.** lastics. Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics. (2006). British Standard Institute. Retrieved 1 12, 2015.

**Anonim 2007.** Auto foam: proper application and placement—body shop business, [www.bodyshopbusiness.com/auto-foam-proper-applicationand-placement](http://www.bodyshopbusiness.com/auto-foam-proper-applicationand-placement).

**Anonim 2010.** Parallel-twin-screw. Retrieved 04 2015, from HARDEN INDUSTRIES: <http://www.extruder-screw.com/parallel-twin-screw/parallel-twinscrew>.

**Anonim 2011.** Sodiumbicarbonat Wikipedia [https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium\\_bicarbonate](https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_bicarbonate).

**Anonim 2013a.** <https://docplayer.biz.tr/6541324-Organik-kimya-polimerler-prof-dr-arif-altintas.html>.

**Anonim 2013 a.** <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Ses-Yalitimi.pdf>

**Anonim 2013 b.** <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Ses-Yalitimi.pdf>

**Anonim 2014.** <https://docplayer.biz.tr/11924126-Ekstrud-edilmis-urunler-levha-termoforming-ekstruzyon-tup-injeksiyon-kaliplama-rotasyonel-kaliplama-yapisal-kopuk-kaliplama.html>.

**Anonim 2015 a.** <https://alkatuff.com.au/wp-content/uploads/2017/06/tg6roto.pdf>.

**Anonim 2015b.** [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Enjeksiyon%20Makinelerinde%20Kontrol](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Enjeksiyon%20Makinelerinde%20Kontrol).

**Anonim 2017.** <https://medium.com/sercansolmaz/canl%C4%B1lar%C4%B1n-duydu%C4%9Fu-ses-frekans-aral%C4%B1klar%C4%B1-9cfe6c11d12a>.

**Anonim 2018 a** [Http://www.isiturkrezistans.com/rezistans\\_nedir.php/](Http://www.isiturkrezistans.com/rezistans_nedir.php/) ,Son Erişim:26.05.2018.

**Anonim 2018 b.** <https://www.ceyrekmuhendis.com/tahribatli-muayene-yontemleri>.

**Anonim 2018c.** [http://novosim.com/wpcontent/uploads/2018/06/malzemelerin\\_akustik\\_performans\\_testleri.pdf](http://novosim.com/wpcontent/uploads/2018/06/malzemelerin_akustik_performans_testleri.pdf) .



- Anonim 2019** <http://rustempolat.com/makaleler>.
- Anonim 2020 a.** <http://www.dersakademi.com/?pnum=224&pt=SES>.
- Anonim 2020 b.** <https://www.flokser.com.tr/kimya/flokser-kimya-rijit-poliuretan-sistemler/>
- Anonim 2020c.** <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/egitim-faaliyetleri/ytu-ses-sunumu-ayhan-cakir.pdf>
- Behravesh, A., Park, C.B. 1998.** Challenge to the production of lowdensity fine-cell HDPE foams using carbon dioxide. Vol. 17( 5): pp 309–326.
- Benning, C.J. 1969.** Introduction in Polymeric Foams, Wiley-Interscience of John Wiley and Sons, New York. PP 82.
- Bolton, J.S., Yoo, T. 2007.** Technical Review Measurement of Normal Incidence Transmission Loss and Other Acoustical Properties of Materials Placed in a Standing Wave Tube. Brrüel&KjÊr Sound and Vibration Measuremen, Denmark. PP 50.
- Crawford, R.J. 1998.** Plastics Engineering. Department of Mechanical, Aeronautical and Manufacturing Engineering The Queen’s University of Belfast, London, 530 PP.
- Crawford, R.J. 2014.** Plastics Engineering Third Edition. Department of Mechanical, Aeronautical and Manufacturing Engineering The Queen’s University of Belfast, 530 pp.
- Dawson, J.R., Shortall, J.B. 1982.** The microstructure of rigid polyurethane foams, *Malzeme Bilimi Dergisi*, 17 (1): pp 220 – 224. <https://doi.org/10.1007/BF00809056>.
- Doelder, J.C.F., Paquet, A.N. 2000.** Modeling Foam Growth in Thermoplastics. *Advanced Materials* 12(23): 1873-1880.
- Eaves, D. 2004.** Handbook of polymer foams. Rapra Technology, Shrewsbury, Shropshire, U.K, pp 302.
- Eaves, D.C. 2004.** Handbook of Polymer Foams. Rapra Technology Limited, United Kingdom, 304 pp.
- Eslami, H. 2015.** Macro advanced extrusion systems. (Macro Engineering and Technology) Retrieved 4 8, 2015, from understanding screw design for film-extrusion process: <http://www.macroeng.com/understanding-screw-design-for-film-extrusionprocess.php>.
- Frisch, K.C., Saunders, J.H. 1973.** Plastic Foams. Marcel Dekker Inc. Vol. 1, Part 2, New York.
- Gosselin, G. 2003.** The effect of nucleating agents on PP foam morphology, Blowing Agents and Foaming Processes conference, Munich, RAPRA Technology, Shawbury. 535 pp.
- Guerra, E., LIMA, E. 2013.** Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing. y John Wiley & Sons, Inc, , Mexico, pp 644.
- Harper, C.A. 1999.** Modern Plastics Handbook. Technology Seminars, McGraw-Hill Companies, United States of America, pp 1231.

- Haper, C.A. 2006.** Handbook of plastics Technologies. McGraw-Hill Education, New York, 900 pp.
- Harding, R.H. 1960.** Structure of Plastic Foams, in: Resinography of Cellular Plastics. *Modern. Plastics.* 37(10), 156.
- Harold, F.G. 2005.** Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook. William Andrew. New York, pp 560.
- Hellwege, K.H., Knappe, W., Lehmann, P. 1962.** Die isotherme Kompressibilität einiger amorpher und teilkristalliner Hochpolymerer im Temperaturbereich von 20–250 °C und bei Drucken bis zu 2000 kp/cm<sup>2</sup>. *Kolloid-Zeitschrift und Zeitschrift für Polymere*, 183(2), pp110-120. doi:10.1007/bf02657207.
- Henderson, A.M. 1993.** Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) Copolymers: A General Review. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Volume:9, Issue:1, 30-88 pp.
- Holden, G. 2000.** THERMOPLASTIC ELASTOMERS AND THEIR APPLICATIONS Introduction Classification and Structure Production Structure / Property Relationships Applications Economic Aspects and Tradenames Literature Cited.
- Hou, M., Yw, M. 1997.** Manufacturing of an aileron rib with advanced thermoplastic composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 10, no. 2, pp. 185–195.
- Jiong, S. M. S. 2006.** Application of nanoparticles in polymeric foams. Degree of Doctor of Philosophy, Graduate School of the Ohio State University.
- Johnson, D.L., Koplik, J., Dashen, R. 1987.** Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid saturated porous media. *Fluid Mech.* 176 (1987) 379. DOI: 10.1017/S0022112087000727.
- Kandare, E., Chevali, V. 2016.** Rigid biofoam composites as eco-efficient construction materials. Cambridge, United Kingdom, 275-304 pp.
- Kaya, A.İ. 2016.** Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29: 38-45.
- Klernpner, D., Frish K. C. 1991.** Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology, Hanser Publishers, Munich Vienna New York Barcelona, 442 PP.
- Kulakov, K., Romanovich, M. 2019.** Technical and economic comparison of soundproof wall panels. *EDP Sciences, E3S Web of Conferences*, PP1-8.
- Landrock, H.A. 1995.** HANDBOOK OF PLASTIC FOAMS Types, Properties, Manufacture and Applications. Noyes, United States, 507 pp.
- Landrock, A.H. 1995.** Handbook of Plastic Foams: Types, Properties, Manufacture and Applications. Park Ridge, N.J., U.S.A: Noyes Publications. pp 509.
- Lee, S.T., 2000.** Foam Extrusion: Principles and Practice. CRC Press, U.S. 347 pp.
- Lee, S.T., Scholz, D. 2008.** Polymeric foams, technology and developments in regulation, process, and product. CRC Press, Taylor, 302 pp.

- Lee, Y.B., Jung, S.S., Kim, Y.T. 2008.** Measurement of Sound Transmission Loss by Using Impedance Tubes. *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 53, (No. 2):pp. 596-600.
- Lerner, L.S. 1996.** Physics: for scientists and engineers. Sudbury Massachusetts, U.S.A, pp 1137.
- Lett, N.M., Sirelkhtim, A., Hasan, H. 2015.** Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. *Nano-Micro Lett.* 7(3):219–242. DOI 10.1007/s40820-015-0040-x.
- Liu, M., Hu, X. Merjin, M. 2013.** Polymer Foam Technology Handbook of Manufacturing Engineering and Technology. *Springer-Verlag London*,1-13. DOI 10.1007/978-1-4471-4976-7\_23-5.
- Liu, P.S., Park, C.B., Ramesh, N.S. 2004.** Introduction to porous materials. Beijing: Tsinghua University Press.
- Maffezzoli, G.A., Forleo, S. 2014.** Sintering of PLLA powders for rotational molding, *Elsevier*, vol 582 pp. 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2014.03.005>.
- Mann, D., Bos, J.C.V 2007.** Automotive Plastics & Composites. *Elsevier Science*, 420 pp.
- Ma, Z.L, Zhang, G.C. 2011.** Microstructure and properties of foam plastics. *Eng Plast Appl*, 39(11):96–100.
- Mello, D.D., Amico, S.C. 2009.** The effect of post-consumer PET particles on the performance of flexible polyurethane foams. *Polymer Test*,28:702-708.
- Mills, N.J. 2004.** Polyolefin Foams, Rapra Review Reports, Expert overviews covering the science and technology of rubber and plastics. Smithers Rapra Press, United Kingdom, 148pp.
- Mills, N.J. 2007.** Polymer Foams Handbook Engineering and Biomechanics Applications and Design Guide, Chapter 3. Butterworth-Heinemann,U.K,pp 531.
- Mosanenzadeh, S.G. 2014.** Design, Characterization and Modeling of Biobased Acoustic Foams. Doctor of Philosophy, University of Toronto, Department of Mechanical & Industrial Engineering.
- Mosanenzadeh, S.G., Nguib, H.E., Atalla, N. 2013.** Development of Polylactide Open-Cell Foams with Bimodal Structure for High-Acoustic Absorption.*applied polymer Science*, 131(7): 1-11. DOI: 10.1002/app.39518.
- Naguib, H.E. 2001.** Extrusion Processing for Manufacture of Low-Density, Fine-Celled Polypropylene Foams. Degree of Dactor, University of Toronto, Department of Mechanical and Industrial Engineering.
- Nalawade, S.P., Picchioni, F., Janssen, L. 2006.** Supercritical carbon dioxide as a green solvent for processing polymer melts: processing aspects and applications. *ScienceDirect*, Volume 31, Issue 1, Pages 19-43. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2005.08.002>.

- Nikitine, C., Common, A., Rodier, E. 2011.** New challenges in polymer foaming: A review of extrusion processes assisted by supercritical carbon dioxide. *Polimer Biliminde İlerleme*, 31( 1): Pages 19-43.  
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2005.08.002>.
- Ogila, K. O., shao, m. 2017.** Rotational molding: A review of the models and materials. *eXPRESS Polymer Letters*, Vol.11 (No.10): PP778–798.  
<https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2017.75>.
- Qian, Z.P. 1998.** Polymer foams. Beijing: China Petrochemical Press.
- Park, B.C., Ramesh, N.S. 1969.** Introduction in Polymeric Foams. *Polymeric Foams: Science and Technology*. CRC Press, Taylor, 328 pp.
- Park, C. B., Suh, N.P. 1996.** Filamentary Extrusion of Microcellular Polymers Using a Rapid Decompressive Element. *Polym. Eng. Sci.* 36, 34 –48.  
<https://doi.org/10.1002/pen.10382>.
- Park, C.P. 2002.** Foam Extrusion of Syndiotactic Polypropylene–Polyethylene Blends. *SAGE Journal*. Volume: 38 issue: 2, 129-138 pp.  
<https://doi.org/10.1177/0021955X02038002244>.
- Park, C. 2013,** Class notes from Manufacturing of Cellular and Microcellular Polymers: Continuous Microcellular Processing, Toronto: University of Toronto.
- Park, N., Kim, Y., 1997.** *Eng. Chem.* 8 (1997) 197.
- Quinn, S. 2001.** Chemical blowing agents: providing production, economic and physical improvements to a wide range of polymers. *Bayer plc Strawberry Hill Newbury Berkshire UK*,3(5): 16-21. [https://doi.org/10.1016/S1464-391X\(01\)80162-8](https://doi.org/10.1016/S1464-391X(01)80162-8).
- Ridha, M., Shim, V.P.W. 2008.** Microstructure and tensile mechanical properties of anisotropic rigid polyurethane foam. *Exp. Mech.*48, 763–776.
- Rosato, D.V., Rosato, M.V. 2004.** Compression Molding. *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*. 439–454. doi:10.1016/b978-185617431-2/50017-7 .
- Ruiz, J.A.R., Vincent, M., Sadik, T. 2015.** Polymer foaming with chemical blowing agents: Experiment and modeling. *Wiley-Blackwell*, 55 (9), pp.2018-2029. DOI: 10.1002/pen.24044.
- Shafi, A.S., Lee, J.G 1996.** Prediction of cellular structure in free expansion polymer foam processing, *Poly. Eng. Sci.* 36(14): 1950– 1959.
- SooCheon, B., Lee, Y.S. 2003.** Ynthesis of Glycerol Monostearate with High Purity *Bull. Korean Chemical Society*, (Volume 24 Issue 8): 1229-1231.
- Sung, C.H., Lee, K.S., Oh, S.H.,Lee, K.S., Kim, J.H., Kim, M.S., Jeong, H.M. 2007.** Sound Damping of a Polyurethane Foam Nanocomposite. *Macromolecular Research*, 15(5), pp 443-448.
- Tham, D.Q., Tuan, V.M., THanh, D.T.M. 2015.,** Preparation and Properties of Ethylene Vinyl Acetate Copolymer/Silica Nanocomposites in Presence of EVA-g-

Acrylic Acid. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 15, No. 4, 2777–2784. doi: 10.1166/jnn.2015.9209.

**Throne, L.J. 2004.** Thermoplastic Foam Extrusion: An Introduction. Published by Hanser Verlag, United States, pp 135.

**Tiuc, A.E., Vermesan, H., Gabor, T. 2016.** Improved Sound Absorption Properties of Polyurethane Foam Mixed with Textile Waste. *Energy Procedia*, 85, 559–565. Doi: 10.1016/j.egypro.2015.12.245.

**Toksoy, A.K., Guden, M. 2004.** Ekstrude polisitren Köpüklerin Basma Davranışları. Malzeme Araştırma Merkezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye.

**Trevor, J.C., D’Antonio, P. 2009.** Acoustic absorbers and diffusers. CRC Press, U.K, pp 428.

**Verdejo, R. 2004.** Gas loss and durability of EVA foams used in running shoe soles, Ph.D. thesis, University of Birmingham.

**Verdejo, R. 2004.** Gas loss and durability of EVA foams used in running shoe soles. Ph.D. Thesis, University of Birmingham.

**Verdejo, R., Mourad, S., Shaffer, M. 2009.** Enhanced acoustic damping in flexible polyurethane foams filled with carbon nanotubes. *Elsevier Composites Science and Technology*, 69 :1564–1569. DOI: 10.1016/j.compscitech.2008.07.003.

**Vigé, D. 2010.** Vehicle interior noise refinement – cabin sound package design and development. Vehicle Noise and Vibration Refinement, *Woodhead Publishing Limited*, 286-317. Doi:10.1533/9781845698041.3.286

**Wagon, S.J. 1998.** Retrieved January 5, 2015, from Force of friction: <http://regentsprep.org/regents/physics/phys01/friction/default.htm>.

**Wouterson, E.M., Hu, X. 2013.** Polymer Foam Technology Handbook of Manufacturing Engineering and Technology. *Springer-Verlag London*, 1-35. DOI 10.1007/978-1-4471-4976-7\_23-5.

**Xu, M. 2013.** Development of Lightweight, Biodegradable Plastic Foam Fibres with Poly (Lactic) Acid-Clay Nanocomposites. Master of Applied Science, University of Toronto, Department of Mechanical and Industrial Engineering.

**Yetgin, S.H., Ünal, H. 2008.** Polimer Esaslı Köpük Malzemeler. Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 54187, Sakarya. 117-128 pp.

**Yunseon, RYU, Rim, M. 2004.** Transmission Loss Measurement of the Exhaust system using 4-Microphones with Impedance Tube. University, Bruel & Kjaer Sound and Vibration Measurement, Denmark. RYU, *AVISS Korea*.

**Zhang, F., Crowley, M.M. 2007.** Pharmaceutical Applications of Hot-Melt Extrusion: Part I. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 33:909–926. DOI: 10.1080/03639040701498759

**Zhang, J.B.P., Rizvi, G. 2011.** effects of wood fiber content on the rheological properties, crystallization behavior, and cell morphology of extruded wood fiber/hdpe composites foams. PEER-REVIEWED ARTICLE, 6(4):4979-4989.

**Zhang, Y.L. Li C.D. 2000.** Introduction to polymer foams. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press; 2000.

**Zhang, Y., Parent, J.S., Kontopoulou, M. 2014.** Foaming of reactively modified polypropylene: Effects of rheology and coagent type. *Journal of Cellular Plastics*, 0(0): 1–18. DOI: 10.1177/0021955X14566209.

**Zwinselman, J., Bachmann, W.D. 1988.** Polyurethane Foams for Sound and Vibration Dampening in Automotive Applications. *journal of cellular plastics*, 24(3), 274-283.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Moussa EL KHODOR  
Doğum Yeri ve Tarihi : 05.07.1990 / Lübnan  
Yabancı Dil : İngilizce, Türkçe

Eğitim Durumu

Lise : El Kawashra Lisesi  
Lisans : konya Selçuk üniversitesi\ makine mühendisliği  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi/Otomotiv Mühendisliği

Çalıştığı Kurum(lar) : .....

İletişim (e-posta) : mossa\_lebanese@hotmail.com  
Akademik çalışmalar : .....