

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI ORANLARDA DİATOMİT TAKVİYELİ SİLİKON
MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN TERMAL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür SARAÇ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şenol YILMAZ

Temmuz 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ORANLARDA DİATOMİT TAKVİYELİ SİLİKON
MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN TERMAL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özgür SARAÇ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 06 / 07 / 2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile
kabul edilmiştir.**

.....
Jüri Başkanı

.....
Üye

.....
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Özgür SARAÇ

03.06.2021

TEŞEKKÜR

“Benden sonra beni benimsemek isteyenler bu temel mihver üzerinde akıl ve ilmin rehberliğini kabul ederlerse, manevi mirasçılarım olurlar” sözüyle bilimde ileri bir seviyeye çıkılmasını arzu eden ve bilime ne kadar değer verdiğini gösterirken aynı zamanda fikirleri ile de hayatım boyunca yolumu aydınlatan Ulu önderim, Türkiye Cumhuriyeti’nin kurucusu Gazi Mustafa Kemal Atatürk’e sonsuz teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde ki büyük katkılarından dolayı Sayın hocam Prof. Dr. Akın AKINCI’ya lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan ayrıca ilgisini, desteğini ve sabrını hiç esirgemeyen kendisiyle çalışma onuruna sahip olduğum Sayın danışman hocam Prof. Dr. Şenol YILMAZ’a ayrıca yine lisans ve yüksek lisans eğitimim sırasında üzerimde emeği olan Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm hocalarımın tamamına çok teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmalarım için destek sağlayan Başoğlu Kablo ve Profil Sanayi Ticaret A.Ş. yönetim kurulu başkanı Sayın Tolga BAŞOĞLU’na laboratuvar ve Ar-Ge çalışmalarım süresince bana her türlü desteği veren Ar-Ge ekibimize ve özellikle Ar-Ge takım liderimiz Sayın Hande EYVAZOĞLU’na, numune üretimlerinde ve tez yazım süresince desteğini ve değerli fikirlerini hiç esirgemeyen tüm iş arkadaşlarım ile bütün bu zorlu çalışma sürecinde beni destekleyip bana katlanan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2.	
POLİMER, KAÜÇUK VE ELASTOMER.....	3
2.1. Polimer, Kauçuk ve Elastomerlerin Kısa Tarihi.....	3
2.2. Kauçukta Tapping Yöntemi ve Pıhtılaşma (Koagülasyon).....	6
2.3. Kauçuk Sıvısının İşlenmesi.....	7
2.4. Kauçuk Ağacının Yetiştigi Ülkeler.....	7
2.5. Sentetik Kauçuk ve Elastomerler.....	8
2.6. Başlıca Kauçuk Elastomerler ve Genel Özellikleri.....	11
2.6.1. Tabii kauçuk (NR).....	12
2.6.2. Stiren bütadien kauçuk (SBR).....	13
2.6.3. Kloropren kauçuk (CR).....	14
2.6.4. Nitril kauçuk (NBR).....	15
2.6.5. Etilen propilen kauçuk (EPDM).....	16
2.6.6. Silikon kauçuk (VMQ).....	17
2.7. Üretim Yöntemleri.....	19
2.7.1. Ekstrüder ve ekstrüzyon.....	19

2.7.2. Enjeksiyon kalıplama.....	20
2.7.3. Reaksiyon-enjeksiyon kalıplama (RIM).....	22
2.7.4. Şişirme kalıplama.....	23
2.7.5. Rotasyonel (dönel) kalıplama.....	25
2.7.6. Termoforming (ısıl şekillendirme).....	26
2.7.7. Basınçla kalıplama.....	27
2.7.8. Transfer kalıplama.....	28
2.7.9. Kalenderleme.....	29

BÖLÜM 3.

SİLİKON.....	31
3.1. Silikonun Tanımı ve Genel Özellikleri.....	31
3.2. Silikonda Çapraz Bağlanma.....	35
3.3. Katalizörler, Çapraz Bağ Çeşitleri ve Test Metotları.....	36
3.4. Katalizörler.....	37
3.5. Çapraz Bağlar ve Kataliz Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	38
3.6. Test Metotları.....	39
3.7. Silikonun Kullanım Alanları.....	42

BÖLÜM 4.

DİATOMİT.....	43
4.1. Diatomitin Tanımı ve Özellikleri.....	43
4.2. Tüketim Alanları.....	45
4.3. Türkiye’de Durum.....	46
4.3.1. Ürünün Türkiye’de bulunuş şekilleri.....	46
4.3.2. Rezervler.....	47

BÖLÜM 5.

KOMPOZİT MALZEMELER.....	48
5.1. Kompozitin Tanımı.....	48
5.1.1. Metal matrisli kompozitler (MMK).....	50
5.1.2. Seramik matrisli kompozitler (SMK).....	51
5.1.3. Polimer matrisli kompozitler (PMK).....	52

5.2. Kompozit Üretim Yöntemleri.....	53
5.2.1. Polimer matrisli kompozit üretim yöntemleri.....	53
5.2.2. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri.....	54
5.2.3. Seramik matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri.....	55
5.3. Kompozitlerin Kullanım Alanları.....	56
 BÖLÜM 6.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	58
6.1. Deney Programı.....	58
6.2. Kullanılan Hammaddeler.....	59
6.2.1. MF 970 USP silikon.....	59
6.2.2. Diatomit.....	59
6.2.3. Platin katalizör.....	60
6.3. Yöntem.....	61
6.3.1. Silikon matrisli kompozit (compaund) hazırlama.....	62
6.4. Numunelerin Hazırlanması ve Yapılan Testler.....	64
6.4.1. Reoloji.....	64
6.4.2. Yoğunluk.....	65
6.4.3. Sertlik.....	67
6.4.4. Kopma mukavemeti.....	68
6.4.5. Yırtılma mukavemeti.....	70
6.4.6. % Uzama miktarı.....	71
6.4.7. LOI (Limiting oxygen index).....	71
6.4.8. Post-kür öncesi - sonrası ağırlık değişimi.....	72
6.4.9. Termal iletkenlik katsayısı.....	73
6.4.10. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	74
6.4.11. Termogravimetrik analiz (TGA).....	75
6.4.12. Aşınma.....	76
 BÖLÜM 7.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME.....	78
7.1. Reoloji.....	78

7.2. Yoğunluk.....	79
7.3. Sertlik.....	80
7.4. Kopma Mukavemeti.....	81
7.5. Yırtılma Mukavemeti.....	82
7.6. %Uzama Miktarı.....	84
7.7. LOI Testi.....	85
7.8. Post-kür Sonrası Ağırlık Değişimi.....	86
7.9. Termal İletkenlik.....	87
7.10. FT-IR Testi.....	88
7.11. TGA Testi.....	90
7.12. Aşınma Testi.....	91
 BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
8.1. Sonuçlar.....	93
8.2. Öneriler.....	94
 KAYNAKLAR.....	
ÖZGEÇMİŞ.....	103

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CR	: Kloropren Kauçuk
DIN	: Deutsches Institut für Normung
DRC	: Dry rubber content
EN	: Europeane Norm
EPDM	: Etilen Propilen Kauçuk
FDA	: U.S. Food and Drug Administration
FVMQ	: Fluoro Vinil Metil Silikon
FT-IR	: Fouirer Transform Infrared
HCR	: High Consistency Rubber
HTV	: High Temperature Vulcanization
ISO	: International Standardization Organization
LED	: Light Emitting Diode
LOI	: Limiting Oxygen Index
LSR	: Liquid Silicone Rubber
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
Mp	: Melting Point
NR	: Doğal Kauçuk
NBR	: Nitril Kauçuk
PA 6	: Poliamid 6
PC	: Polycarbonate
PMK	: Polimer Matrisli Kompozit
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Poli Vinil Klorür
PVMQ	: Fenil Vinil Metil Silikon

RTV	: Room Temperature Vulcanization
SBR	: Stiren Butadien Rubber
SMK	: Seramik Matrisli Kompozit
T _g	: Camısı geiş sııcaklığı
TGA	: Termogravimetrik analiz
T.ř.F.A.ř.	: Türkiye şeker Fabrikaları Anonim şirketi
UV	: Ultraviolet
VMQ	: Vinil Metil Polisiloksan
VOA	: Volatile Organic Acids



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kauçuk ağacından kauçuk eldesi.....	7
Şekil 2.2. Kükürt Vulkanizasyonu şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.3. NR (Tabii Kauçuk) kimyasal yapısı.....	12
Şekil 2.4. SBR kimyasal olarak şematik gösterimi.....	13
Şekil 2.5. CR kimyasal olarak şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.6. NBR kimyasal olarak şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.7. EPDM kimyasal olarak şematik gösterimi.....	16
Şekil 2.8. Silikon kauçuğun kimyasal yapısı.....	18
Şekil 2.9. Extrüderin şematik gösterimi.....	20
Şekil 2.10. Pistonlu, Vidalı ve Kombine enjeksiyon makine tipleri.....	21
Şekil 2.11. Vidalı enjeksiyon makinesi şematik gösterimi.....	22
Şekil 2.12. Reaksiyon-Enjeksiyon kalıplama.....	22
Şekil 2.13. Ekstrüzyonla şişirme kalıplama yöntemi.....	23
Şekil 2.14. Enjeksiyonlu şişirme kalıplama yöntemi.....	24
Şekil 2.15. Gerdirme şişirme kalıplama yöntemi.....	25
Şekil 2.16. Dönel kalıplama yöntemi.....	26
Şekil 2.17. Isıl şekillendirme yöntemi.....	27
Şekil 2.18. Basınçla kalıplama yöntemi.....	28
Şekil 2.19. Transfer kalıplama yöntemi.....	29
Şekil 2.20. Kalenderleme yöntemi.....	30
Şekil 3.1. Silikon polimerinin genel gösterimi.....	33
Şekil 3.2. VMQ ' nun kimyasal yapısı	34
Şekil 3.3. Peroksit ile silikon elastomerlerin çapraz bağlanması.....	36
Şekil 3.4. 2,4 Dikloro benzoil peroksit.....	37
Şekil 3.5. 2,5-Dimetil bis tertiyobütil peroksi 2,5- Hekzan.....	37
Şekil 3.6. Dikünil peroksit kimyasal gösterim.....	38
Şekil 4.1. Diatomitin elektron mikroskobunda görünümü.....	44

Şekil 4.2. Diatomitin elektron mikroskopunda görünümü.....	44
Şekil 4.3. Tane halindeki diatomit.....	44
Şekil 5.1. Kompozit malzemede matris ve takviye fazı.....	49
Şekil 5.2. Kompozit malzemelerin takviye elemanı şekline göre sınıflandırılması	50
Şekil 5.3. Airbus A-380 model uçaklarda kullanılan kompozit parçalar.....	53
Şekil 5.4. PMK üretim yöntemleri.....	54
Şekil 5.5. Kompozitlerin avantaj ve dezavantajları.....	55
Şekil 5.6. Kompozit malzemelerin kullanım alanları.....	56
Şekil 6.1. Deneysel çalışmalar akış şeması.....	58
Şekil 6.2. Platin ve peroxide katalizörün çapraz bağ yapma kinetiği.....	60
Şekil 6.3. Platin katalizör çapraz bağ yapma mekanizması.....	60
Şekil 6.4. Şematik olarak karışım (compaund) hazırlama.....	62
Şekil 6.5. Silikon karıştırma (Compaund hazırlama) mili.....	63
Şekil 6.6. Numune kompozit plakalardan örnek görüntü.....	64
Şekil 6.7. Rheometre (kürlenme süresi tayin) cihazı.....	65
Şekil 6.8. Yoğunluk ölçüm cihazı.....	66
Şekil 6.9. Yoğunluk ve sertlik ölçüm numuneleri.....	66
Şekil 6.10. Sertlik ölçme cihazı.....	68
Şekil 6.11. Kaşık numune.....	69
Şekil 6.12. Kaşık numune.....	69
Şekil 6.13. Çekme - Kopma test cihazı.....	69
Şekil 6.14. Yırtılma testi numune ölçüleri.....	70
Şekil 6.15. Yırtılma testi numunesi.....	71
Şekil 6.16. LOI test cihazı.....	72
Şekil 6.17. Post-kür öncesi numuneler.....	73
Şekil 6.18. Post-kür sonrası numuneler.....	73
Şekil 6.19. FT-IR Spektrometre.....	75
Şekil 6.20. TGA (Termogravimetrik Analiz Cihazı).....	76
Şekil 6.21. Başlıca aşınma türleri.....	77
Şekil 6.22. Aşınma Testi Ölçüm Cihazı.....	77
Şekil 6.23. Aşınma test numuneleri.....	77

Şekil 7.1. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak Reoloji değerlerinin değişimi.....	78
Şekil 7.2. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak yoğunluk değerlerinin değişimi.....	80
Şekil 7.3. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak sertlik değerlerinin değişimi.....	81
Şekil 7.4. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak kopma değerlerinin değişimi.....	82
Şekil 7.5. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak yırtılma mukavemeti değerlerinin değişimi.....	83
Şekil 7.6. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak % uzama değerlerinin değişimi.....	84
Şekil 7.7. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak LOI değerlerinin değişimi.....	85
Şekil 7.8. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak post-kür sonrası ağırlık değerlerinin değişimi.....	86
Şekil 7.9. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak termal iletkenlik katsayısı değerlerinin değişimi.....	87
Şekil 7.10. Diatomit FTIR spektrumu.....	89
Şekil 7.11. Deneylerde kullanılan diatomit FTIR spektrumu.....	89
Şekil 7.12. Diatomit, silikon, %7,5 ve %15 diatomit katkılı kompozitlerin FTIR spektrumları.....	90
Şekil 7.13. Katkısız, %2,5 ve %15 diatomit katkılı kompozitlerin TGA termogramları.....	91
Şekil 7.14. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak aşınma testi (ağırlık kaybı) değerlerinin değişimi.....	92

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kauçuk ağacının yetiştiği ülkeler.....	8
Tablo 2.2. Çapraz bağlanmamış ve bağlı (vulkanize) elastomerlerin özellikleri.....	11
Tablo 2.3. Endüstride kullanılan başlıca elastomerler.....	12
Tablo 2.4. NR (Tabii Kauçuk) yapısı.....	12
Tablo 2.5. EPDM mekanik özellikleri tabloda verilmiştir.....	17
Tablo 2.6. En çok bilinen elastomer kauçuk tiplerinin karakteristik özellikleri....	19
Tablo 3.1. Fonksiyonel gruba göre silikon kauçuklar ve DIN ISO 1629 isimlendirmesi.....	34
Tablo 3.2. Farklı kullanım sınıflarına göre silikon özellikleri.....	35
Tablo 5.1. Kompozitlerin matris ve takviye malzemelerine göre sınıflandırılması.....	50
Tablo 5.2. Kompozit malzemelerin sektörlere göre hacim olarak dağılımı (%)...	57
Tablo 6.1. MF 970 USP özellik tablosu.....	59
Tablo 6.2. Diatomit bileşimi.....	59
Tablo 6.3. Hazırlanan kompozit bileşimleri (% ağırlıkça) ve kodları.....	61
Tablo 6.4. DIN 53504'e göre numune ölçü tablosu.....	68
Tablo 7.1. Reoloji test sonuçları.....	78
Tablo 7.2. Yoğunluk testi sonuçları.....	79
Tablo 7.3. Sertlik testi sonuçları.....	80
Tablo 7.4. Kopma testi sonuçları.....	82
Tablo 7.5. Yırtılma mukavemeti testi sonuçları.....	83
Tablo 7.6. Yırtılma mukavemetindeki % azalma tablosu.....	83
Tablo 7.7. %Uzama testi sonuçları.....	84
Tablo 7.8. LOI testi sonuçları.....	85
Tablo 7.9. Post-kür sonrası % ağırlık kaybı sonuçları.....	86

Tablo 7.10. Termal İletkenlik Katsayıları.....	87
Tablo 7.11. Katkısız, %2,5 ve %15 katkılı numunelerin ağırlıkça %0,5'lik termal bozunma sıcaklıkları.....	91
Tablo 7.12. Aşınma testi sonuçları.....	92



ÖZET

Anahtar kelimeler: Silikon, Diatomit, Kompozit, Termal İletkenlik

Bu çalışmanın amacı silikon matrisli kompozitlerde takviye maddesi olarak diatomitin kullanılabilirliğini araştırmaktır. Aynı zamanda diatomitin mekanik özelliklere ve termal iletkenliğe olan etkileri de incelenmiştir. Diatomit ana yapıya %2,5, %5, %7,5, %10 ve %15 oranlarında kademeli olarak ilave edilmiş ve her bir oran için çekme-kopma, uzama, yırtılma, sertlik, yoğunluk, LOI, FT-IR, TGA ve termal iletkenlik testleri yapılarak kompozit numunelerin baz karışım ve birbiri ile kıyaslaması yapılmıştır.

Mekanik ve termal testler sonucunda sertliğin katılan her % birim diatomit için arttığı, yırtılma mukavemetinin artan diatomit oranıyla doğru orantılı olarak azaldığı ve yoğunluğun her % birim diatomit artışı için arttığı görülürken çekme – kopma, uzama, aşınma ve LOI test değerlerinde artan diatomit oranına göre sürekli bir azalma tespit edilmiştir. FT-IR spektrometresi ile diatomit ve % 0 - % 7,5 ve %15 diatomit içerikli karışım numuneler analiz edilmiş ve diatomit ilavesi yapılan karışım numunelerinin FT-IR spektrumları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Bunun sebebinin vinil metil polisiloksan (VMQ) içerisindeki silisyum-oksijen ve metil-silisyum bağlarının miktar olarak çok fazla olması nedeniyle ayırt edici olan diğer bağları baskılaması ve ayrıca diatomitin de yapısı içerisinde yüksek oranda silisyum-oksijen bağı içermesi olduğu düşünülmektedir. TGA analizi uyguladığımız numunelerde ise diatomit ilavesinin termal degradasyonu (bozunmayı) hızlandırdığı, termal kararlılığı artırıcı bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GLASS SPHERE AND FIBER REINFORCEMENT ON THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES IN SILICON MATRIX COMPOSITES

SUMMARY

Keywords: Silicone, Diatomit, Composite, Thermal Conductivity

The aim of this study is to investigate the usability of diatomite as a reinforcement material in silicon matrix composites. At the same time, the effects of diatomite on mechanical properties and thermal conductivity were also investigated.. Diatomite was gradually added to the main structure at 2.5%, 5%, 7.5%, 10% and 15% of the total volume, tensile-rupture, elongation, tear, hardness, density, LOI, FT-IR, TGA and thermal conductivity tests were performed for each ratio, and the composite samples were compared with the base compound as well as among each other.

As a result of the mechanical and thermal tests, it is seen that the hardness increases for each% unit of diatomite added the tear strength decreases in direct proportion to the increasing rate of diatomite and the density increases for each% unit of diatomite a decrease was detected. Diatomite and mixed samples containing 0% - 7.5% and 15% diatomite were analyzed by FT-IR spectrometer, and no significant difference was found between the FT-IR spectra of the mixture samples with added diatomite. The reason for this is thought to be that the amount of silicon-oxygen and methyl-silicon bonds in vinyl methyl polysiloxane (VMQ) suppresses other distinctive bonds and also contains high silicon-oxygen bonds in its structure. In the samples we applied TGA analysis, it was observed that the addition of diatomite accelerates thermal degradation and does not have an effect on thermal stability.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde endüstride verimlilik, kalite, yalın üretim gibi kavramlar işletmelerin kendilerini geliştirmesi ve imalat sanayiinde bulunan rekabetçi ortam içerisinde pazar paylarını artırabilmesi açısından zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır.

Üretim proseslerinde yer alan makine, ekipman, operatör, hammadde, enerji kaynakları, proses şartları gibi her parametrenin analiz edilmesi yapılabiliyorsa sayılan tüm parametrelerin özelliklerinin iyileştirilmesi gereklilik haline gelmiştir. Bu süreçlerin en az birinde yapılacak bir iyileştirme çalışması, yüksek adetli üretimlerde ciddi kazançlar sağlamaktadır.

Özellikle ithal edilen hammaddelerle yapılan üretimlerde oluşan firelerin, geri dönüştürülerek tekrar kullanılamadığı durumlarda iyileştirmeler ile yine bu hammaddelerin özelliklerinin yeni katkı maddeleriyle artırılarak daha farklı alanlarda kullanım olanağı sağlayacak gelişmeler sağlamak işletmeler için her geçen gün daha önemli olmaktadır. Silikon elastomer de bu sınıfta yer alan bir hammaddedir.

Silikon elastomer işleyen işletmelerin hammadde tüketimlerini kontrol altına alması, mümkünse özelliklerini geliştirmesi gerekmektedir. Geri dönüşümü mümkün olmayan bu malzemenin üretimdeki kayıplarının mümkün olabildiğince azaltılması ve içerilerine eklenen yeni ek malzemeler ile özelliklerinin iyileştirilmesi ayrıca gereklidir.

Bu çalışmada, birçok farklı tarzda, farklı alanda kullanım yeri bulan silikonun temel özelliklerinin, ilave edilecek yardımcı katkı malzemesi diatomit ile geliştirilip gelişmeyeceği araştırılmıştır. Silikon esaslı ana reçeteye 5 farklı oranda diatomit eklenerek oluşturulan reçetelerden hazırlanan numunelere çeşitli mekanik ve termal

testler özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve diatomit katkısının etkileri incelenmiştir.



BÖLÜM 2. POLİMER, KAÜÇUK VE ELASTOMER

2.1. Polimer, Kauçuk ve Elastomerlerin Kısa Tarihi

Polimerin sözlük anlamı; birbirini tekrarlayan birimlerin oluşturduğu molekül ağırlığı yüksek bileşiklerdir diye tanımlanmıştır. Polimer ismi ise "poli (çok) + meros (parçalı)" olarak Grekçeden gelir. Monomer ise polimerin oluştuğu her bir küçük yapıtaşına verilen isimdir. Polimerler, birçok monomerin kimyasal bağ ile düzenli formda bağlanarak oluşturdukları mol kütleleri yüksek bileşiklerdir [1].

Günümüzde çok kullanılan ve oda sıcaklığında amorf olan polimerlerden biri olan kauçuklar, çapraz bağlanma özelliğine sahip fakat çapraz bağlanmamış ve camsı geçiş sıcaklığı ortam sıcaklığından daha düşük olan az sayıda çapraz bağ yaparak elastomere dönüşebilen polimerlerdir [2].

Kauçuk hakkında ilk bilgiler, Amerika kıtasına 1496'da ikinci sefer yaptığı yolculuk ile Kristof Kolomb'un Avrupa'ya ulaştırdığı şeklindedir. Ancak kauçuğun tarihçesi aslında çok eskilere gitmektedir keza daha sonra yapılan araştırmalarda Güney ve ayrıca Orta Amerika uygarlıklarından kalmış olan kalıntılarda 900 yıldan daha eski ham kauçuk parçaları tespit edilmiştir [3].

1735'te Güney Amerika'ya gönderilen, Fransız coğrafi keşif grubunun üyesi olan Charles-Marie de La Condamine Amerika yerlilerinin kauçuk kullandıklarına dair ilk ciddi araştırmaları yapmış. Notlarında bu malzemeye, yerlilerinin "**heve**" dedikleri ve bir tür ağacın dış gövdesine açılan kesikten akan, beyaz ve sütü andıran sıvıdan temin edildiğini yazmıştı. Ayrıca Amazon nehri ve çevresinde bulunan yerlilerin bu ağacın adını "**Cau-o-chu**" olarak söylediklerini de bildirmiştir [4]. Hevea Brasiliensis ağacının yoğunlaştırılmış suyunu Fransızca'da "ağlayan ağaç" anlamına gelen "caoutchouc" olarak tanımlamış ve Avrupa'ya kauçuk örnekleri göndermiştir [3].

“Caa” odun “o-chu” akmak, ağlamak demektir. İki kelimenin birleşimi ağlayan ağaç demektir. Aynı kelimeler İspanyolca’da “Gaouchc”, Fransızca için "Caoutchou", Almanca için ise "Kautschuk" olarak tanımlanmıştır. Kauçuk, kurşun kalem izi üzerine sürtüldüğü zaman izleri silebildiği için "rubb off" denilen fiilden "rubber" sözcüğünü türettirler [4].

Kauçuk hakkında ilk bilimsel makale 1751 yılında yazılmış ve 1755 yılında yayımlanmıştır. Yazarı Fransız François Fresneau’dur [3].

Bundan birkaç yıl sonra, 1770’de, İngiliz bilim adamı Joseph Priestley, kauçuk numunelerini İngiltere’ye getirmiş ve kauçuğun kâğıt üzerindeki kurşun kalem izini silmek için kullanılacağını keşfetmiştir. Bu özelliğinden dolayı kauçuk, İngilizce’de silgi anlamına gelen rubber ismi ile anılmaya başlanmıştır.

Aynı tarihlerde Fransız bilim insanları kauçuğu petrol yağı kullanarak sıvı haline geri döndürmeyi ve bu şekilde kauçuğu farklı ebat ve boyutlarda üretmeyi başarmışlardır. Dünyada ilk kauçuk boru bu tarihte üretilmiştir. 1803 yılında ise Fransa’da kauçuk hammaddesinden kadın çorap bağı üreten bir fabrika açılmıştır [3].

Kauçuk hammaddesinin endüstride kullanılmaya başlanması 19. yüzyılın başlarına denk gelir. İskoç kimyager, Charles Macintosh 1823’te naftayı ucuz ve etkili bir çözücü olarak kullanmayı yeniden keşfetmiştir [4]. Nafta, renksiz, uçucu ve yanıcı bir sıvıdır ve ham petrolün atmosfer koşullarında damıtılması ile elde edilir [5]. İki kumaş arasına kauçuk ve nafta çözeltisi yerleştiren Macintosh günümüzde “Macintosh” olarak da bilinen çift dokulu ve su geçirmez pelerinleri üretmiştir [3].

Macintosh’un meslektaşı ve daha sonra ortağı olan Hancock’un çalışması ise kauçuk endüstrisinin başlangıcı adına daha büyük önem taşımaktadır. Kauçuğu farklı şekillerde kumaşların üzerinde deneyen Hancock, çalışmaları sonuç vermeyince atık kauçukları kesmek üzere bir mastikatör icat etmiştir. Elle sürülen ve çivili bir rulonun döndürüldüğü bu ahşap makine, kauçuğu parçalara ayırmak yerine, ileri üretim

aşamalarında kullanıma uygun olacak homojen hale getirerek, endüstriyel kullanımının yolunu açmıştır.

Hancock ile aynı yıllarda Amerikalı Edwin Chaffee kauçuğun düz yapraklar olarak çıkmasını sağlayan kalenderi icat etmiş ve Amerika'daki ilk kauçuk fabrikasını açmıştır.

Macintosh ve Hancock'un çabaları kauçuğun endüstriyel hammadde olarak kullanımı konusundaki bazı sorunları çözmesine rağmen, diğer önemli dezavantajlar yani doğal kauçuğun hava sıcaklığına göre değişmesi (sıcakla yumuşaması ve soğukla sertleşmesi), yapışkan olması, kokulu olması ve şeklinin kolay bozulabilmesi kauçuğun endüstride kullanımı engel oluşturmaya devam etmiştir. Tüm bu dezavantajlar, 1839'da Amerikalı mucit Charles Goodyear tarafından tesadüfen keşfedilen vulkanizasyon işlemi ile giderilmiştir [3].

Kauçuk parçalarını kükürt eşliğinde yüksek ısıya maruz bırakan Goodyear, ilk başta yanmaz lastik daha sonra ise vulkanize kauçuk ismini verdiği ve hava şartlarına dayanıklı olan bir ürün meydana getirmiştir [6].

Vulkanizasyon işlemi, doğal kauçuğun önce makine ve bisikletlerde ve daha sonra otomobillerde kullanılmasına izin vererek, modern kauçuk endüstrisini mümkün kılmıştır. Daha sonraki keşifler ile Goodyear'ın orijinal teknikleri geliştirilmiş olsa da, vulkanizasyon süreci temelde aynı kalmıştır [7].

1840 yılında İngiliz Robert Thomson tarafından araba tekerleklerine eklenmek üzere, içi hava dolu kauçuk tüpler icat edilmiş ancak kauçuğun tekerlek için kullanımı 1888 yılında İskoç John Boyd Dunlop tarafından, oğlunun bisikleti için yaptığı havalı bisiklet lastiği ile başlamıştır [3].

Endüstriyel fidanlıkların kurulmasında, 1956 yılında 101 yaşında ölen ve de 1888 yılında Singapur botanik bahçesi müdürlüğüne getirilen, Henry Nicholas Ridley'in gayretli çalışmaları önemli rol oynamaktadır. Rindley,"hevea" kauçuk ağacının

yetiştirilmesiyle uğraşanlara, bu ağacın maruz kalabileceği hastalıkları kontrol etme yöntemini öğretmiştir. Çalışmalarının en önemli kısmını ise kauçuk ağacına zarar vermeden sıvı lateksin alınması yönteminin geliştirmesi ve pıhtılaştırmak için asetik asit kullanılması yönteminin geliştirilmesi oluşturmaktadır [8].

1899'da John Perkins, formik asit kullanarak lateks pıhtılaşmasını keşfetmiş ve üretim sürecini daha da iyileştirmiştir [3]

2.2. Kauçukta Tapping Yöntemi ve Pıhtılaşma (Koagülasyon)

Hevea Brasiliensis ağacının kabuğu kısmen kesildiğinde, kesilen kısmın içinden sütlü bir sıvı akar ve kuruduğunda lastikli bir filme dönüşür. Akan süte lateks ismi verilir, lateks sütü yaklaşık 0.5 mikrometre çapında, yüksek moleküler ağırlıklı bir kauçuk polimeri olan cis-poliizopren taneciklerinden oluşur. Bu tanecikli sıvı süspansiyonu %30 katı kauçuk içerir [9].

Kauçuk ağaçları her iki günde bir kez “tap” edilir ve her seferinde yaklaşık 50 gram katı kauçuk içeren lateks elde edilir. Standart kesim yöntemi ile ağaç gövdesinin yarısı, kesim için uygun olan en yüksek noktadan başlayarak, 30°'lik bir açıyla, soldan sağa doğru kesilir. Takip eden her kesim bir öncekinin hemen altında yapılır. Kauçuk ağacının plantasyonlardaki ekonomik yaşam süresi, ortalama olarak 32 yıl civarındadır, bunun ilk 7 yılı ağacın olgunlaşması için geçen ve hasat alınmayan süredir, kalan 25 yıl ise üretken fazdır. Ortalama bir kauçuk ağacı yılda yaklaşık 8,5 kg lateks verir, yani yılda ağaç başına yaklaşık 2,5-3,5 kg katı kauçuk elde edilir. Bir dönüme ortalama olarak 35-50 adet ağaç ekilebilir.

Kauçuk üreticileri için hektar başına ürettikleri kauçuk miktarı büyük önem taşımaktadır. Dünyanın en büyük doğal kauçuk üreticisi olan Tayland hektar başına yılda 1.800 kg kauçuk üretirken, sırasıyla Vietnam 1720 kg ve Endonezya ise 1.080 kg üretmektedir [9].

2.3. Kauçuk Sıvısının İşlenmesi

Ağaçlardan elde edilen lateks toplanır (Şekil 2.1.) ve lateks veya kauçuk olmak üzere işlenir. Lateks sıvısı, hiçbir işleme tabii olmadan, amonyak eklenerek korunabilir ve lateks konsantresi olarak sıvı halde işlendiği ülkelere taşınabilir. Piyasada satılan lateksin kauçuk oranı (DRC = Dry rubber content) %60 seviyesindedir, yüksek amonyak veya düşük amonyaklı çeşitleri olabilir [9].

Kauçuk elde etmek için ise, hasat edilen lateksi filtrelemek, suyla seyreltmek ve daha sonra asetik asit veya formik asit gibi maddeler kullanarak pıhtılaşmasını sağlamak gerekir. Sonrasında lateks, içinde bulunan suyun dışarı atılabilmesi için haddeleme işlemine tabi tutulur. Haddelemeden sonra suyla yıkama yapılarak içerisinde bulunan formik asitin temizlenmesi sağlanır. Sonrasında 5-6 saat kurutulmuş lateks sağlam, sert bir forma dönüşür. Raf ya da fırın gibi farklı ortamlarda, küf oluşumunu önlemek için ortalama 40-45 gün duman altında bekletilir. Bekleme işleminden sonra lateks, yaprak benzeri ince kesitler halinde preslenir ve depolanır [8].



Şekil 2.1. Kauçuk ağacından kauçuk eldesi [9].

2.4. Kauçuk Ağacının Yetiştigi Ülkeler

19.yüzyılın sonlarında, dünyadaki kauçuk üretiminin %99'u Brezilya tarafından yapılmıyordu. 1876 yılında İngiliz bir kâşif, Sir Henry Wickham, Hevea Brasiliensis ağacının 70 bin tohumunu Brezilya'dan kaçırarak Londra'ya getirdi. Londra'da Kew Bahçesi'ne ekilen bu tohumlar, daha sonra Sri Lanka, Singapur, Malezya ve Endonezya'daki plantasyonlara gönderildi [8].

Doğal kauçuk üretiminin %86,5'i dünyada toplam 6 ülkeye aittir. Toplam üretimin yüzde 58'i de Tayland ve Endonezya'da yapılmaktadır (Tablo 2.1.). Güney Doğu ve Doğu Asya'da kauçuk üretiminin yoğunlaşmış olması bu bölgelere kauçuk üretim endüstrisinde bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca hammaddeye yakınlıkları ve de hızla artan Asya tüketim pazarına yakın olmaları ile rekabet güçleri artmaktadır [10].

Tablo 2.1. Kauçuk ağacının yetiştiği ülkeler [9].

Asya	Tayland, Çin, Hindistan, Endonezya, Kamboçya, Malezya, Filipinler, Sri Lanka, Vietnam
Afrika	Fil Dişi Sahili, Gana, Kamerun, Liberya, Nijerya, Batı Afrika sahilindeki diğer ülkeler
Amerika	Brezilya

2.5. Sentetik Kauçuk ve Elastomerler

20. yüzyılın başları sentetik kauçukların üretilmesine şahit oldu. 1909'da Almanya'da Bayer laboratuvarlarında çalışan Fritz Hofmann tarafından ilk sentetik kauçuk üretilerek, dünyadaki ilk patenti alındı. Bununla birlikte, sentetik kauçuğun endüstriyel kullanımı 1910'da, birbirlerinden bağımsız çalışan iki İngiliz, Matthews ve Strange ve bir Alman Harries tarafından, sodyumun polimerleşmeyi hızlandırmak için bir katalizör olarak kullanılmasıyla mümkün oldu. 1914-1918 arasındaki I. Dünya Savaşı sırasında, Almanya'da ticari ölçekte metil kauçuk yapıldı [11].

Sektördeki önemli gelişmelerden biri de ilk kapalı karıştırıcının icadı oldu. Fernley H. Banbury, bir İngiliz bilim adamı ve mühendisti. Gıda, kimya, ilaç, plastik, kauçuk ve mineral endüstrileri dahil olmak üzere farklı endüstrilerde kullanılan çok çeşitli malzemeleri karıştırmak veya harmanlamak için kullanılan Banbury karıştırıcısını icat etti. Günümüz teknolojisinin çok ilerlemiş olmasına rağmen, halen Banburyler farklı boyut, şekil ve tipte kauçukları, ilgili kimyasal maddeler ve dolgu maddeleri ile karıştırmak için kullanılmaya devam edilmektedir [12].

20. yüzyılın başlarında, Avrupa ve Kuzey Amerika'da otomobil sektörünün kurulmasıyla birlikte kauçuğa olan talep hızla arttı. Otomotiv endüstrisi, II. Dünya Savaşı'na kadar, lastikleri ve diğer bileşenleri için tamamen doğal kauçuğa bağlı kaldı. Ancak Japonya 1941'de savaşa girdikten sonra, Müttefik ülkelerin Sri Lanka hariç tüm Asya'daki doğal kauçuk kaynakları ile ilişkisi kesildi. Bundan dolayı, ABD'de ilk başlarda guayule çalısı ve karahindiba gibi alternatif doğal kauçuk kaynakları geliştirmeye çalışıldı ancak bu alternatif başarılı olmayınca Amerika büyük sıkıntıya girdi ve tarihin tanık olduğu en büyük kampanyayı başlatarak, elindeki kauçukları savaş araçları için kullanmaya öncelik verdi. Bu bağlamda savaş araçları için gerekli olmayan herhangi bir üründe kauçuk kullanımı yasaklandı, otoyollardaki hız sınırı, ülke genelinde lastiklerde aşınma ve yıpranmayı azaltmak için saatte 35 mil düşürüldü ve vatandaşlardan evdeki kauçuk eşyalarını bağışlayıp, eritmeleri istendi. O dönemde yılda 8000 ton olan sentetik kauçuk üretimi, seferberlik sonrası 1945 yılında 756,000 tonu geçti [3].

1945'ten sonra dünyanın her yerinde, özellikle Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'da sentetik kauçuk fabrikaları kuruldu. II. Dünya Savaşı'nın sonunda doğal kauçuk kaynaklarının açılmasıyla düşüşe geçen sentetik kauçuk endüstrisi, 1950'lerin başlarında teknolojinin de yardımıyla oluşturulan üstün özellikli sentetik kauçukların üretimiyle büyümeye devam etti. 1960 yılında sentetik kullanımı ilk kez doğal kauçuk tüketimini geçti ve sentetik kauçuk tüketimi o zamandan beri liderliğini korudu [3].

Günlük kullanım dilinde kauçuk ve elastomer kelimeleri aynı anlama gelse de ASTM standartlarında bu iki kavram birbirinden ayrılmıştır. Elastomerler, ASTM D1566 (ASTM-D 1566, 1993)] standartlarında üzerine uygulanmış kuvvetin kaldırılmasıyla ilk ölçülerine hemen geri gelen makro moleküler bir malzeme olarak tanımlanmıştır. Kauçuk ise üzerindeki kuvvetin alınması sonucunda belli bir süre içinde ilk boyuna geri gelen makro moleküler malzeme diye tanımlanmıştır. Bu tanımlamalara göre, kauçuk malzemelerin hepsi elastomer iken elastomerlerin hepsi kauçuk malzeme değildir. Bunun nedeni geri dönüş zamanının elastomer tanımında yapılmamış olmasıdır (ASTM-D 1566, 1993) [13].

Elastomerler, seyrek olarak çapraz bağlanmış polimerlerin ağ yapısı halidir. Polimeri elastomer olarak sayabilmek için; molekül ağırlığının yüksek olmasına, zincirler arası düşük kuvvette birbirine bağlı zincirlere, düzensiz yapıdaki zincirlere ve çapraz bağ yapabilme niteliğinde olması gereklidir [14].

Kauçuklar apraz bağlanabilen ama çapraz bağlanmamış, polimerlerdir. Sıcaklığın yüksek ve formunu bozabilecek şekilde kuvvetlerin etkisi altında viskoz akış niteliği gösterirler. Bu şekilde uygun koşullar sağlandığında farklı şekiller alabilirler. Lastik kavramı, üstteki paragraflarda tanımı yapılmış olan elastomer kavramı ile aynı anlamlıdır.

Çapraz bağ yapabilme niteliği vulkanizasyon ile açıklanabilir. Vulkanizasyon işleminde kauçuğun kimyasal yapısında değişiklikler meydana gelir (apraz bağlanma reaksiyonu) buna istinaden kauçuk geri dönüşümsüz bir halde elastik özelliklere sahip olur. Kauçuk vulkanizasyondan önce plastik özellikleri yüksekken, vulkanizasyon sonrasında ise elastik özellikleri yükselir [14].

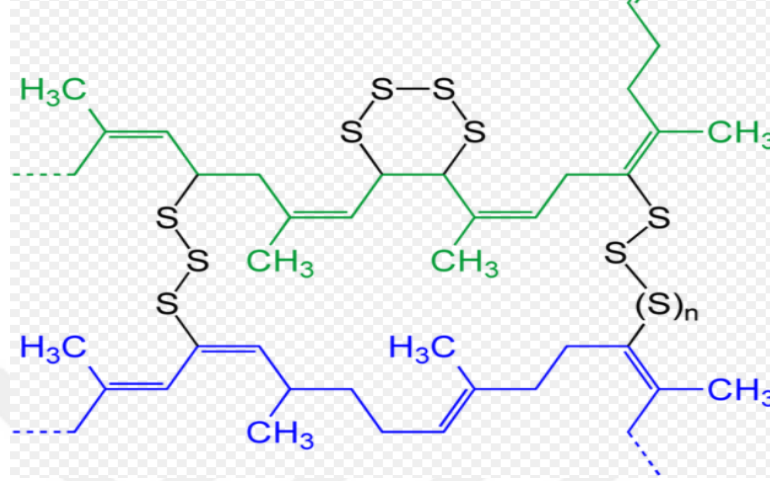
Proseste kullanılacak kimyasal katkılara veya süreçlere göre adlandırılır [15].

- Kükürt vulkanizasyonu
- Peroksit vulkanizasyonu
- Metal oksit vulkanizasyonu
- Reçine (resin) vulkanizasyonu
- Radyasyon vulkanizasyonu

Kükürt yöntemi en çok kullanılan, vulkanizasyon yöntemidir (şekil 2.2.). Bu nedenle yukarıdaki ayrımı, kükürtlü ve kükürtsüz vulkanizasyon olarak iki farklı başlık altında toplayan kaynaklar da vardır [15].

Kükürt, kütlece yaklaşık %1 ile %3 civarında kullanılır ve proses sıcaklığı 120 C – 180 C aralığına yükseltilerek elastomer üretimi yapılır. Eğer sülfür proseste %3’ten

daha çok kullanılması durumunda çapraz bağ miktarı artacağından elastomer yerine ısılsert elde edilir.



Şekil 2.2. Kükürt Vulkanizasyonu şematik gösterimi [16].

Çapraz bağlanmamış ve bağlanmış (vulkanize) elastomerlerin özellikleri aşağıda Tablo 2.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Çapraz bağlanmamış ve bağlı (vulkanize) elastomerlerin özellikleri [17].

Çapraz Bağlanmamış	Çapraz Bağlı (Vulkanize)
Yumuşak, yapışkan	Daha Sert, yapışkan olmayan
Düşük Mukavemet	Yüksek Mukavemet
Isıyoğruk özellik	Elastik özellikler
Isıdan Etkilenme	Isıdan Daha Az Etkilenme
Çözünme	Çözünmezlik yada az çözünme
Yüksek kalıcı deformasyon	Düşük kalıcı deformasyon

2.6. Başlıca Kauçuk Elastomerler ve Genel Özellikleri

Endüstride kullanılan başlıca kauçuklar aşağıda Tablo 2.3.'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Endüstride kullanılan başlıca elastomerler [2].

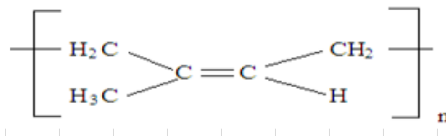
Kısaltma	Açıklama
NR	Doğal Kauçuk
SBR	Stiren Bütadien Kauçuk
CR	Kloropren Kauçuk (Neopren)
NBR	Nitril Kauçuk
EPDM	Etilen Propilen Dien Monomer
VMQ	Silikon Kauçuk

2.6.1. Tabii kauçuk (NR)

Doğal kauçuk olarak bilinir. Moleküler ağırlığı 200.000 – 400.000 aralığında olup molekül ağırlık dağılımı geniştir. Bu nedenden dolayı çok iyi işlenebilme özellikleri vardır [15]. İçeriği aşağıda Tablo 2.4.'te verilmiştir.

Tablo 2.4. NR (Tabii Kauçuk) yapısı [15].

Kauçuk hidrokarbon	%82,3 - 92,35
Aseton ekstraksiyonu	%2,5 - 3,2
Proteinli maddeler	%2,5 - 3,5
Kül	%0,15 - 0,5



Şekil 2.3. NR (Tabii Kauçuk) kimyasal yapısı [15].

Faraday tarafından 1826 yılında formülü C_5H_8 (Şekil 2.3.) olarak açıklanmıştır. Molekül yapısı %99 cis-1,4 poliisoprendir. Düzenli yapısından dolayı üzerine gerilme kuvveti uygulandığında veya sıcaklık düşürüldüğünde kristalleşme eğilimi gösterir. Kuvvet kaldırıldığında ya da sıcaklık artırıldığında kristalleşme kalkar [2].

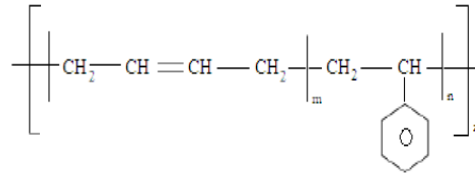
Çalışma aralığı -50 ile 90 °C arasındadır. 35 Shore'dan 95 Shore A'ya geniş bir sertlik aralığında üretilebilir. Yüksek elastisite ve yırtılma dayanımına sahiptir [18].

Kullanım alanlarına baktığımızda araç lastiğinden kabloya, otomotiv parçalarından yer döşemesine, gıda sanayinde kullanılan contalardan sağlık ürünlerine kadar geniş bir liste görebiliriz [15].

2.6.2. Stiren bütadien kauçuk (SBR)

SBR, üretimi en fazla yapılan ve stiren ile bütadienin rastgele kopolimeri olan sentetik kauçuktur. Polimer zinciri ortalama %75 bütadien ile %25 stiren içerir. Yakıtlar ve petrol esaslı yağlara dayanıklı değildir [11].

E. Tchunkur ve A. Bock adındaki kimyacılar 1929 yılında, %75 Bütadien %25 Stiren oranında ki karışımlarını sıvıçözüt polimerizasyonu ile kopolimerleştirerek doğal kauçuğa benzeyen form üretmişlerdir (Şekil 2.4.). Polimer zincirinin yapısı bütadien ile stiren monomerlerinin rastgele karışımından oluşmaktadır. Bundan dolayı kauçuk nitelikleri göstermekle beraber düzenli olmayan bir yapı olduğundan kristalleşmede önlenmektedir [15].



Şekil 2.4. SBR kimyasal olarak şematik gösterimi [15].

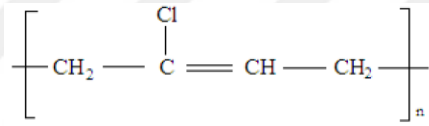
Ortalama molekül ağırlıkları 250.000 ile 800.000 arasında değişmektedir [6]. Yırtılma mukavemeti doğal kauçuktan daha zayıftır ayrıca kopma mukavemeti de çoğunlukla karışım içindeki dolgu maddesinin tür ve oranına bağlıdır. Yaşlandırma ve ısıl dayanım deneylerinde ise tabii kauçuktan daha iyi sonuçlar görülmektedir. Ayrıca mükemmel aşınma direnci nedeniyle lastiklerde ve lastik ürünlerinde büyük ölçüde kullanılmaktadır [19].

Çalışma sıcaklığı aralığı -50 ile 110 °C' dir [18].

En çok kullanıldığı yer araç lastiğidir ve kullanım oranı %75 dolayındadır. Lastik dışında hortum, vücut egzersiz malzemeleri, ayakkabı altlık ve tabanı, çeşitli aktarma kayışları ile yapıştırıcı üretiminde kullanılır [15].

2.6.3. Kloropren kauçuk (CR)

W.H. Carothers ve arkadaşları tarafından 1930 yılında 2-kloro-1,3-bütadien emülsiyon polimerizasyonu ile üretilmiştir (Şekil 2.5.). 2-kloro-1,3-butadienin polimerizasyonu yöntemi ile üretilen kloropren kauçuk, içerdiği sülfür miktarına, kristalizasyon meyline, polimerizasyon seviyesine ve ön bağlama haline göre çeşitlilik göstermektedir [2].



Şekil 2.5. CR kimyasal olarak şematik gösterimi [15].

Bu kauçuktan 30-90 Shore A sertliğinde ürünler üretilmektedir. İçeriğinde dolgu maddesi olmayan kloropren kauçukların kopma mukavemetlerinin birçok sentetik kauçuktan daha iyi olmasının nedeni kristallenme eğiliminden ileri gelmektedir [15].

Kloropren kauçuk, yanmaya eğilimlidir. Bu nedenle karışımı hazırlarken mümkün olduğunca çabuk olunmalı ve çalışma sıcaklığı düşük tutulmalıdır. Ayrıca depolanma işlemleri sırasında özel güvenlik önlemleri alınması gerekir [2].

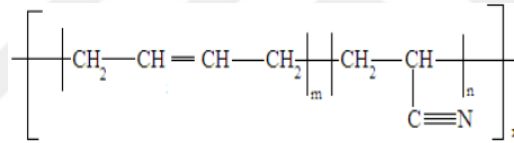
Kloropren kauçuğun herhangi bir katkı eklenmeden bile iyi seviyede mekanik özelliklere sahip olmasının nedeni kristalizasyona olan eğilimindendir. Katkı eklenmiş karışımları, yüksek kopma dayanımı, aşınma direnci ve yüksek tekrarlı yükler altında esneme (flexion) gücüne sahiptir [20]. Modifiye işlemi kükürt ile yapılmış olan kloropren kauçuklar yüksek yırtılma dayanımı ve iyi aşınma özellikleri gösterirler. Ayrıca üretilen ürünlerin oksitlenme ve ısı dayanımları tabii kauçuk ile öteki kauçuklardan yapılan ürünlere göre daha üst sonuçlar vermektedir [15].

Çalışma sıcaklığı aralığı -25 ile 125 °C aralığındadır [18].

Yüksek basınca dayanabilen hidrolik ve fren hortumları, yakıt hortumları, membran, silecek lastikleri, kablo ve ayakkabı sanayi, tank kaplamaları, inşaat ve otomotiv sanayi için çeşitli profiller bu kauçuk ile üretilmektedir [15].

2.6.4. Nitril kauçuk (NBR)

Günümüzde emülsiyon polimerizasyonu ile üretilirler. Doğal olmayan bu kauçuk akrilonitril ile butadienin kopolimerizasyon işlemi sonucu üretilir. 1930 yılında İlk defa E.Konrad ve Tschunkur tarafından akrilonitril kopolimerizasyonu başarıyla yapılmıştır. Kimyasal yapısı Şekil 2.6.'da gösterilmiştir. Seri olarak üretilmeye Almanya'da 1934 yılında başlanmıştır [21].



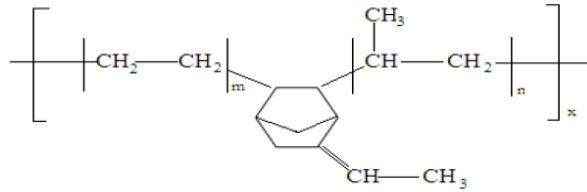
Şekil 2.6. NBR kimyasal olarak şematik gösterimi [15].

Kopolimer içinde butadienin görevi yapıya kauçuksu özellikler sağlamak ve çapraz bağlanma için çift bağ oluşturmaktır [15]. Kauçuk içeriğindeki diğer monomer olan nitril miktarı ile değişiklik yapılarak farklı birçok amaç için kullanılabilecek elastomerler üretilebilir. Örnek olarak nitril miktarı yükseldikçe nitril kauçuğun yağa ve solventlere karşı direnci, öbür polimerlerle karışma yeteneği ile gaz geçirgenliği artar. Ayrıca kopma dayanımı da yükselir [21].

Yakıtlar ile hidrolik akışkanlara karşı mükemmel dayanım özelliğinden dolayı NBR, hava araçları hortumları, yağ ve benzin hortumları ile yakıt tankları üretimi için tercih edilir. Diğer uygulama alanları ise contalar, çeşitli kablolar ve bir çok makine parçalarıdır. Bununla birlikte dolgu malzemesi olarak ısılsert polimerlere belirli oranlarda eklendiğinde tokluk özelliklerini iyileştirmektedirler [20].

2.6.5. Etilen propilen kauçuk (EPDM)

Ticari olarak ilk kez 1963 yılında üretilmeye başlanan EPDM, propilen ile etilenin kopolimerizasyonu ve stereo spesifik katalizörlerin yardımıyla üretilir. EPM, etilen ve propilenin kopolimerleşme ile meydana gelmektedir. Tamamen doymuş bir yapıda olduğu için reaksiyon çift bağ içermez (Şekil 2.7.) bu nedenle de ozon ve oksijene yüksek dayanım gösterirler. Ancak radyasyon ya da peroksit ile vulkanize edilirler [11].



Şekil 2.7. EPDM kimyasal olarak şematik gösterimi [15].

Molekül ağırlığı ortalama 200.000 ila 300.000 arasında olan ticari EPDM kauçuk için Mooney viskozitesi değeri de 25-100 arasında değişmektedir (100 °C sıcaklıkta). Yüksek miktarda yağ ve dolgu alabilme yeteneğinin kaynağı Mooney viskozitesinin yüksek olmasıdır [22].

EPDM içindeki etilen yüzdesi 70-80'lere ulaştığında polimer içinde uzun etilen zincirleri oluşarak kristalleşmeyi artırır. Bunun sonucunda kimyasal bağlanma olmamasına rağmen, mekanik özelliklerin arttığı gözlenir.

EPDM'de polimer zinciri tamamen doymuş durumdadır, doymamışlık ise yan grupta yer alır. Bu durum kimyasal maddeler ile bozulmaya karşı çok iyi dayanım göstermesini sağlar. Ayrıca amorf bir yapıda olduğundan düşük sıcaklıklarda da elastikiyetlerini kaybetmezler [22]. Mekank özellikleri Tablo 2.5.'te verilmiştir.

Tablo 2.5. EPDM mekanik özellikleri tabloda verilmiştir [22].

Sertlik	40 - 90	Shore A
Çekme / Akma Dayanımı	25	MPa
Yoğunluğu	09 - 2	g/cm ³
Aşınma Dayanımı	450	mm ³

EPDM' nin bazı uygulamaları şu şekildedir; su bentleri, sulama kanalları, viyadükler setler, yeni yapılacak ya da halihazırda kullanılan boruların dış ve iç yüzeylerinin kaplanması boruların tekrardan astarlanması ve su arıtma tesisleri nakliye konteynerleri ve diğer benzer şartlardaki uygulamalar, sintine tankları ticari ve ya konut amaçlı binalarda, beton yer döşemelerinde, saksı iç yüzeyleri, nem barındıran iç mekanlarda, tüneller, köprüler, barajlar, araçlarda ve diğer hareketli aksamalarda gürültü ve titreşim transferini gidermek vb.

Endüstriyel işlemler ve yüzme havuzlarının su kayıplarını engellemek için idealdir. Su depolamak amacıyla kullanılan yangın göletleri, sulama göletleri ve hidroelektrik barajlarının taban ve duvarlarında oluşacak kayıpları %100 oranda engeller [23].

2.6.6. Silikon kauçuk (VMQ)

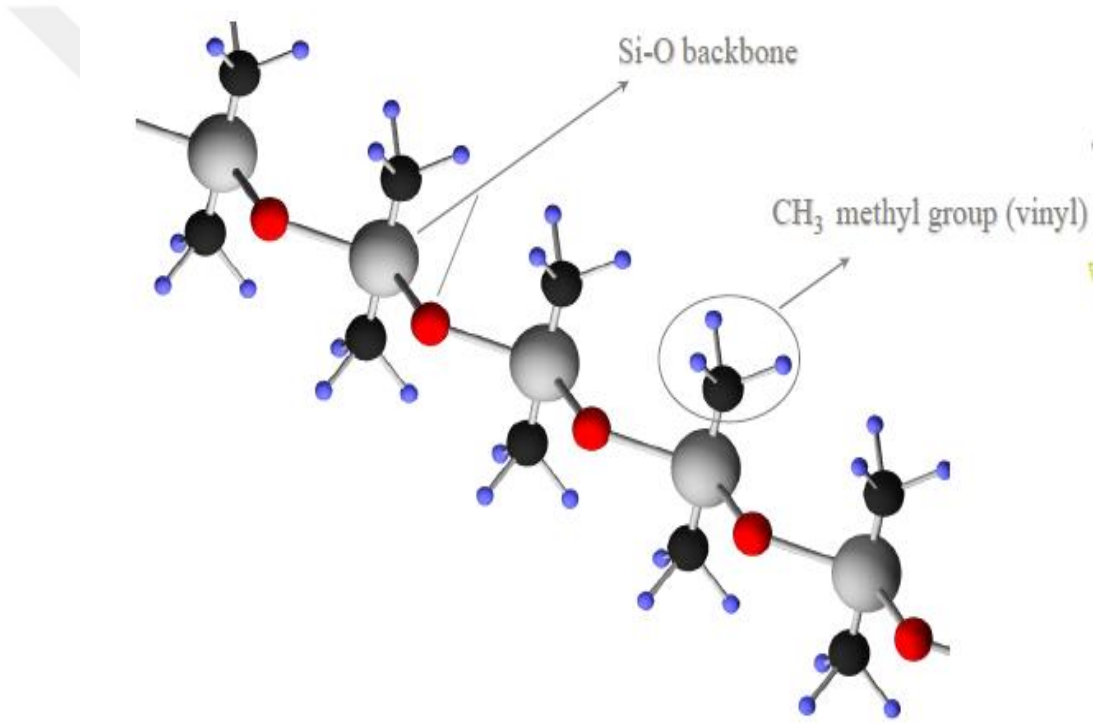
Kısaca değinmek gerekirse; silikon kauçuk, karbon, hidrojen ve oksijenle birlikte silikon içeren polimer yapılarından oluşan elastomerdır [24].

İsimlendirme olarak, oda sıcaklığında vulkanizasyon RTV (room temperature vulcanization) ve yüksek sıcaklıkta vulkanizasyon HTV (high temperature vulcanization). RTV sistemleri oda sıcaklığında ve HTV sistemleri de 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kürlenebilir. İsimde bir sayı var ise, kürlenmeyi sağlamak için karıştırılması gereken komponentlerin sayısını belirtir, örneğin RTV-2.

HTV silikon kauçuklar esas olarak katı silikon kauçuklardır. Kürlenmemiş durumda çok yüksek viskoziteye sahiptirler ve katı madde olarak görünürler. Bu davranış aynı zamanda HCR (high consistency rubber) teriminin ortaya çıkmasına da yol açmıştır.

1975’li yıllarda, enjeksiyon makinelerinde işlenmesi amaçlanan yeni bir malzeme grubu ortaya çıktı. Düşük viskoziteleri ve macun benzeri davranışları nedeniyle likit silikon, LSR (liquid silicone rubber) veya basitçe LR (liquid rubber) olarak adlandırıldılar. Katı silikon kauçuklarda olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda vulkanize olsalar bile, kısaltma olarak HTV yerine LSR veya LR kullanılması yaygındır [24].

Silikon kauçuğun 3 boyutlu kimyasal yapısı aşağıda Şekil 2.8.’te gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Silikon kauçuğun kimyasal yapısı [25].

Yukarıda bahsi geçen endüstride en çok kullanılan kauçuk tiplerinin karakteristik özelliklerinin toplandığı tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.6. En çok bilinen elastomer kauçuk tiplerinin karakteristik özellikleri [26].

Özellikler	NR	SBR	CR	NBR	EPDM	VMQ
Yoğunluk (gr/cm ³)	0,93	0,94	1,23	1	0,88	1,15
Kopma Mukavemeti	Çok İyi	İyi	Çok İyi	İyi	İyi	Orta
Uzama Değeri	Çok İyi	Çok İyi	İyi	İyi	Çok İyi	İyi
Kalıcı Deformasyon	İyi	İyi	Çok İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Aşınma Mukavemeti	İyi	Çok İyi	Çok İyi	İyi	İyi	Zayıf
Ozon Mukavemeti	Zayıf	Orta	Çok İyi	Orta	Çok İyi	Çok İyi
UV Dayanımı	Zayıf	Orta	İyi	Orta	Çok İyi	Çok İyi
Yüksek Isı Mukavemeti (Max)	85 °C	100 °C	110 °C	120 °C	140 °C	100 °C
Düşük Isı Mukavemeti (Max)	-30 °C	-25 °C	-30 °C	-30 °C	-40 °C	-60 °C
Yağlama Yağlarına Karşı Dayanımı	Zayıf	Orta	İyi	Çok İyi	Zayıf	Çok İyi
Aleve Karşı Direnç	Zayıf	Zayıf	İyi	Zayıf	Zayıf	Orta
Elektrik İzolasyonu	İyi	İyi	İyi	Zayıf	İyi	Çok İyi
Oksidasyon Mukavemeti	İyi	İyi	İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi
Su Dayanımı	İyi	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
Hayvani ve Nebati Yağlara Dayanımı	Orta	Orta	Çok İyi	Çok İyi	İyi	Çok İyi
Klorlu Solventlere Dayanım	Zayıf	Zayıf	Orta	Orta	Zayıf	Zayıf
Oksijenli Solventlere Dayanım	İyi	İyi	Orta	Orta	İyi	Orta

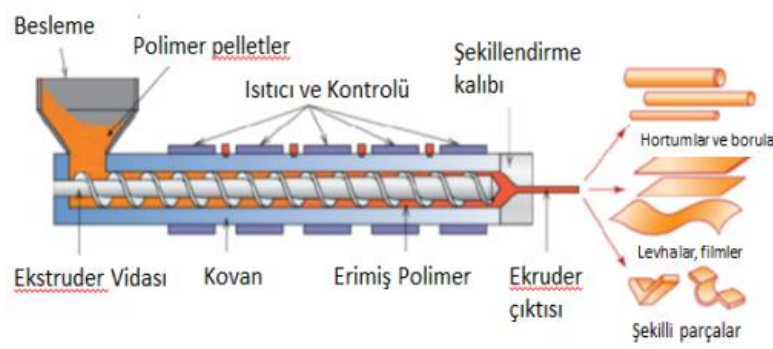
2.7. Üretim Yöntemleri

2.7.1. Ekstrüder ve ekstrüzyon

Granülden ya da toz plastiklerden çeşitli formlar verilmiş nesnelerin üretilebilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir.

Bu kapsamda çeşitli bölümlerden oluşan bir işleme makinesi olan ekstrüderde; ham madde kurutucudan geçirilerek ısıtılmış bir alana beslenir; hammadde bu bölgede ısınarak yumuşar. Akabinde sonsuz vida ve kovan sistemiyle homojenleştirilerek ekstrüder çıkışında yer alan kalıbın içine itilir (Şekil 2.9.). Ekstrüderde çeşitli ısı bölgeleri, ısı kontrolü sağlayan panelleri ile süzgeç gibi düzenekler bulunur. Ergimiş plastik kalıba basıldıktan sonra soğuyup sertleşir. Akabinde kalıp içinden malzeme çıkarılır. Kalıplama süreci esnasında kimyasal tepkime gerçekleşmez. Üretilcek ürünün kompleksliğine göre çeşitli teknolojiler içeren kalıplar kullanılır [27].

Ekstrüzyon daimi (kesintisiz) yada yarı sürekli (yarı kesintisiz) yapılabilir. Bazı hammaddeler sıcak çekme (hot drawn) ile üretime uygunken, bazıları da soğuk çekme (cold drawn) yöntemine uygundur. Örnek olarak yüksek dayanımlı naylon filament üretilmesinde soğuk çekme fazlaca kullanılan bir yöntemdir. Bunun nedeni amorf yapıdaki polimerik zincirleri, üretim esnasında kristal bir düzene girerek mukavemetli bir hal alırlar [28].



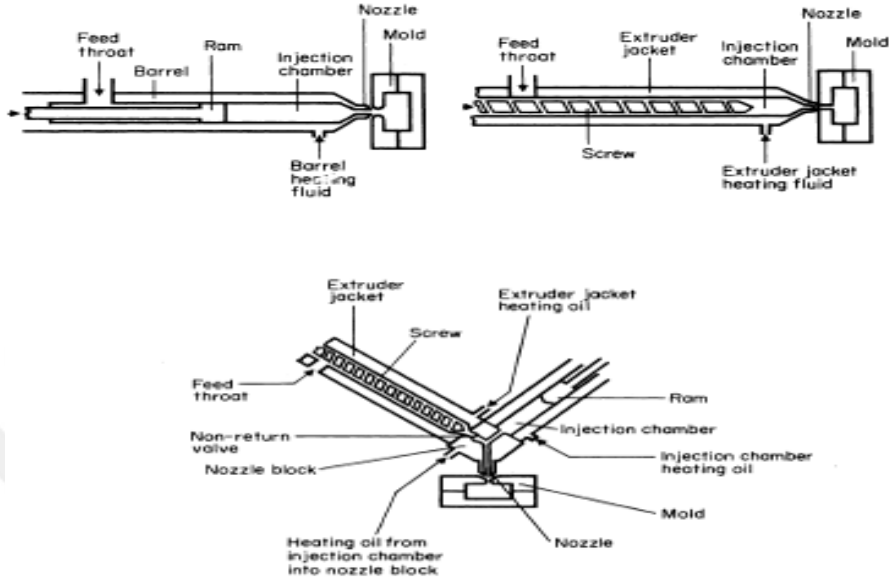
Şekil 2.9. Ekstrüderin şematik gösterimi [29].

2.7.2. Enjeksiyon kalıplama

Enjeksiyon ile üretim yöntemi, kauçuk ve ısıyoğruk malzemelerin şekillendirilmesinde yararlanılan en mühim tekniklerden biridir (Şekil 2.10.); bazı iyileştirmelerle ısılsert plastikler de üretilebilmektedir. Ergimiş ham malzeme, belirli bir basınçla kalıp içine enjekte edilir; kalıp, üretilmek istenilen formun negatfidir (tersi) [27]. Isılsertlerde olduğu gibi elastomerlerin yolluklardan, kalıp giriş kanallarından, traşlamadan gelen atıkları yeniden kullanılmaz [30].

Enjeksiyon kalıplama işlemi genellikle tek bir makine ile gerçekleştirilir. Kauçuk endüstrisinde başlıca üç tip enjeksiyon makinesi vardır. Piston tipi, vida tipi ve sıralı olmayan pistonlu vida tipi. Şu anda, pistonlu makineler yaygın değildir homojenlik ve homojen sıcaklık dağılımı elde etmedeki zorluklar nedeniyle kullanılmamaktadır. Vidalı makineler besleme, karıştırma ve vida hareketiyle ısıtmanın homojenliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.11.). Sıralı olmayan piston ve ayrı

bir vida sisteminin bulunduğu pistonlu vida tipinde ortak bir enjeksiyon odası bulunur ve büyük hacimli kalıpları doldurmak için gereken yüksek basıncı geliştirebilir [31].



Şekil 2.10. Pistonlu, Vidalı ve Kombine enjeksiyon makine tipleri [31].

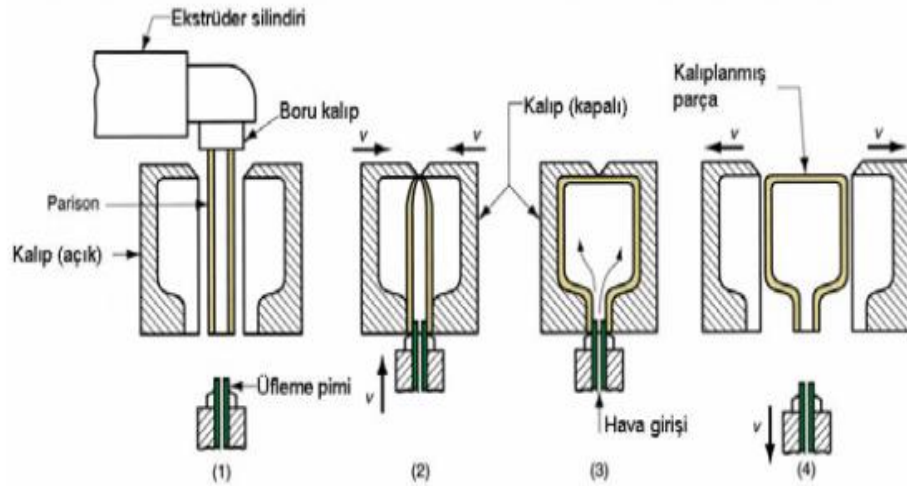
Yöntem basitçe aşağıdaki şekilde uygulanır [27].

1. Toz ya da granül formdaki polimer hammadde besleme ağzından beslenir. Ekstrüder vidası beslenen bu hammaddeyi kalıbın içine taşır.
2. Ergimiş polimer hammadde hidrolik sistemi vasıtasıyla kalıp içine itilir kalıp doldurulur.
3. Polimer hammadde gerekli sıcaklığa gelmesine kadar basınç tatbik edilir. Akabinde kalıp açılarak ürün dışarı alınır.

2.7.4. Şişirme kalıplama

Bu yöntem ile içi boş plastik malzemeler üretilir. Endüstride genel olarak kullanılan üç tip teknik tatbik edilir; (a) ekstrüzyon, (b) enjeksiyon ve (c) gerdirme (stretch) [27].

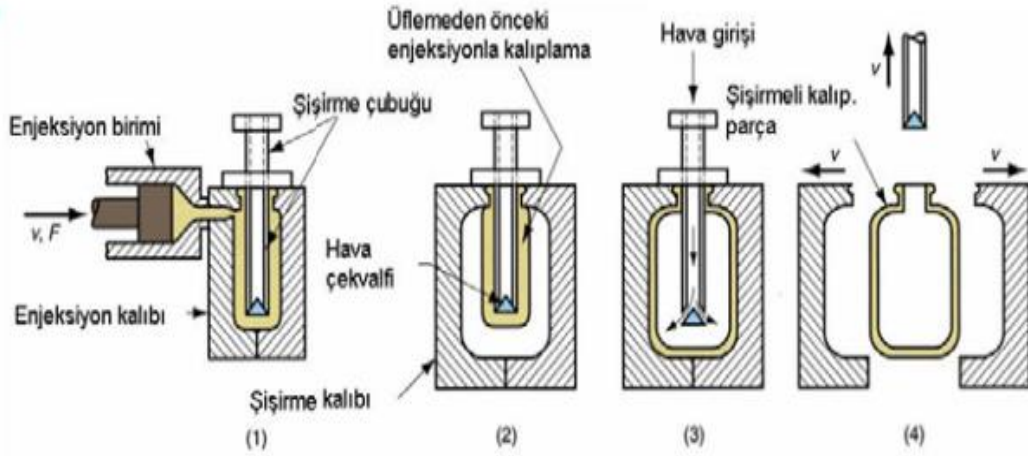
- (a) Ekstrüzyon şişirme kalıplama prosesinde ergitilmiş polimer malzeme iç kısmı boş olan bir tüp formunda (parison) metal kalıp içine itilir. Bu işlem sırasında kalıp soğuktur. Tüp formundaki malzeme basınçlı hava yardımıyla şişirilerek kalıbın şeklini alması sağlanır (Şekil 2.13.). Sıcak hammadde kalıp içinde soğuduktan sonra kalıp açılarak kalıp formunu almış malzeme çıkarılır [32].



Şekil 2.13. Ekstrüzyonla şişirme kalıplama yöntemi [27].

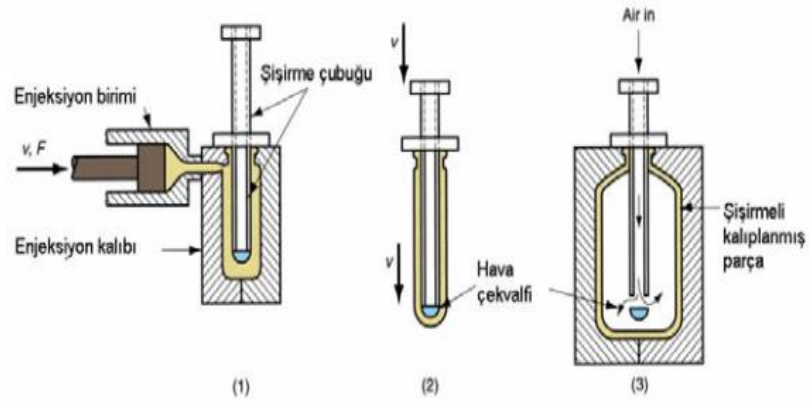
- (b) Enjeksiyon şişirme kalıplama işlemi endüstride yüksek adetli ürünlerin (içi boş) üretilmesinde kullanılır. Plastik malzeme ekstrüderin silindir bölümünde ergitilir. Sonrasında sonsuz dişli düzeneği ile bir dağıtım borusuna beslenerek, püskürtme sistemi yardımıyla ısıtılmış olan ‘ön biçimlendirme’ kalıbına itilir. Ön-biçimlendirmeden sonra yarı mamul halindeki materyalin ilk bölümü (örneğin, şişenin boynu) bu proseste şekillenmiştir, gerisi ise daha sonra gövde

durumuna gelecek olan içi boş kalınca bir tüp şeklindedir. Ön biçimlendirilmiş yarı mamul, çekirdekte (core) yer alan çubuğun dönmesiyle proses, şişirme ile kalıplama bölümüne gelir. Sonrasında soğutulmuş haldeki kalıba koyularak basınçlı hava üflenir (Şekil 2.14.). Bu işlemle beraber ürünün gövde kısmı oluşturulur. Soğutma işlemi bittiğinde kalıp açılır ve malzeme alınır [32].



Şekil 2.14. Enjeksiyonlu şişirme kalıplama yöntemi [27].

- (c) Gerdirme şişirme kalıplama işleminde, polimer hammadde öncelikle enjeksiyonla kalıplamayla bir ‘ön şekillendirme’ işleminden geçirilir; bununla, örneğin şişe üretilmesi isteniyorsa şişenin boyun kısmı ile şişenin bitimindeki ipliksi kısım üretilir. Buradan alınan malzeme, soğuduktan sonra ekstrüzyonla şişirme kalıplama makinesine konur; ısıtılır ($>T_g$), yüksek basınçlı havayla (metal kalıba) şişirilir. Proses sırasında malzeme bir ‘göbek (core)’ çubuğuyla çekilerek gerdirilir (Şekil 2.15.). Bu şekilde üretilen şişeler (PET gibi) özellikle basıncı 60 psi dolayında olan karbonatlı meşrubatlar için çok elverişlidir [32].

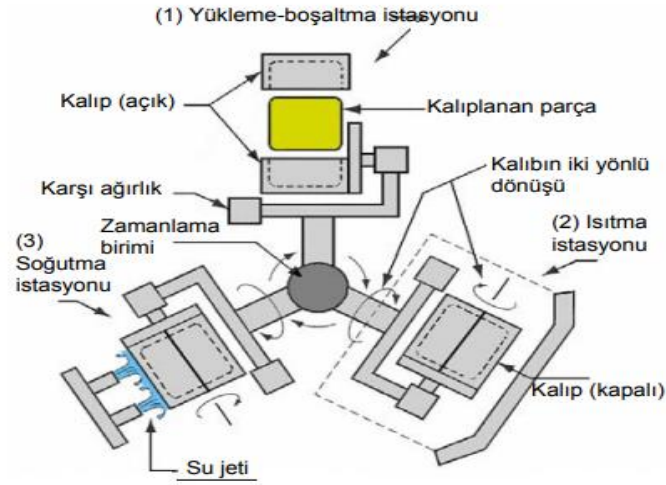


Şekil 2.15. Gerdirme şişirme kalıplama yöntemi [27].

2.7.5. Rotasyonel (dönel) kalıplama

Dönel kalıplama düşük basınç ve yüksek sıcaklık ortamında gerçekleştirilen ve genelde boyutsal olarak büyük ürünlerin kalıplanmasında kullanılan bir yöntemidir [27].

Bu işlemde genellikle toz halindeki tartılmış miktarda polimer dikey ve yatay ekseninde ağır ağır dönen ve bu esnada ısıtılan kalıbın içine koyulur; bu yapılan eşzamanlı ısıtma ile rotasyon polimer hammaddenin kalıbın tüm bölgesine eşit olarak dağılmasına ve ergimesini imkân verir. Polimer hammaddenin tamamen eriyip kalıp iç cidarına tutunmasına kadar ısı verme işlemi sürdürülür. Akabinde kalıbın soğutulmasıyla birlikte parça kalıptan alınır (Şekil 2.16.). Bu yöntem kullanılarak kova, çöp sepeti, plastik top vb. gibi çeşitli ürünler üretilir [27]. Büyük parçaların üretimi genelde tek tek yapılır, küçük parçalarda ise kalıp sayısı artırılarak birden fazla parça aynı anda elde edilir [30].

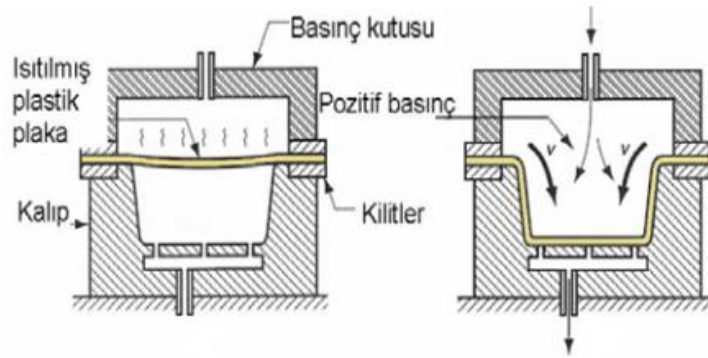


Şekil 2.16. Dönel kalıplama yöntemi [29].

2.7.6. Termoforming (ısıl şekillendirme)

Isıl şekillendirme işlemi bilinen en kolay ve en ucuz plastik materyal işleme yöntemidir ve daha çok ısıyoğruk levha ile filmler şekillendirilir. Isıtma işlemi ürünün form alabileceği sıcaklığa gelinceye kadar devam edilir, devamında sıcaklığı istenilen şekilde değiştirilebilen bir kalıp üstünde ya da içinde şekillendirilir; şekillenmiş parça kalıp soğuyunca kalıptan alınır (Şekil 2.17.). Isıl şekillendirme prosesi çeşitli şekillerde olabilir; örneğin, vakum uygulanarak ya da basınç uygulama yöntemiyle yapılabilir [27]. Bu teknik kullanılarak polipropilen ve polistiren başta olmak üzere birçok ısıyoğruk polimer işlenerek çok farklı şekillerde gıda ambalaj ürünleri üretilmektedir. Termoform yöntemi ile boyutsal olarak büyük, et kalınlığı düşük ve hafif parçalar için kalıpların üretilmesinde uygundur [29].

Elektrikli ısıtıcı kullanılarak gerçekleştirilen ısıtma işlemi plastik yassı ürünün bir veya her iki yanına uygulanır. Bu teknik ile parçaların ambalajlanması ile banyo küvetleri ve buzdolabı kapıları gibi hacim ve yüzey alanı yüksek parçaların üretiminde endüstride fazlasıyla kullanılır.



Şekil 2.17. Isıl şekillendirme yöntemi [27].

2.7.7. Basınçla kalıplama

Kompresyon (sıkıştırma) kalıplama, ısısert polimerlerin ve elastomerlerin kalıplanmasında kullanılan yöntemlerinden biridir [30]. Isısert polimer malzemeler sıkıştırma ile kalıplama esnasında kimyasal değişime maruz kalırlar. Bu değişimin nedeni parçaya basınç ile sıcaklık uygulanmasıdır. Isısert malzemeler şekillenip sertleştikten sonra tekrardan eritilemezler ve şekil değiştiremezler.

Elastomerlerin sıkıştırarak kalıplanmasında kullanılan elastomer hammadde kalıp içerisine yerleştirilerek ısı ve basınç altında pişirilir. Vulkanizasyon kalıplama sırasında gerçekleşir. Parça kalıp içinde yeterli süre ısıtılarak ve basınç altında tutularak çapraz bağlanmanın tamamlanması sağlanır. Akabinde kalıp açılarak parça dışarı çıkarılır (Şekil 2.18.). Basınçla sıkıştırarak yapılan bu teknik ile düşük maliyetli ve kısa bir sürede araç gövdeleri gibi büyük parçalar ile birlikte gram mertebesindeki ağırlıklarda polimer contalar üretilebilir [30].

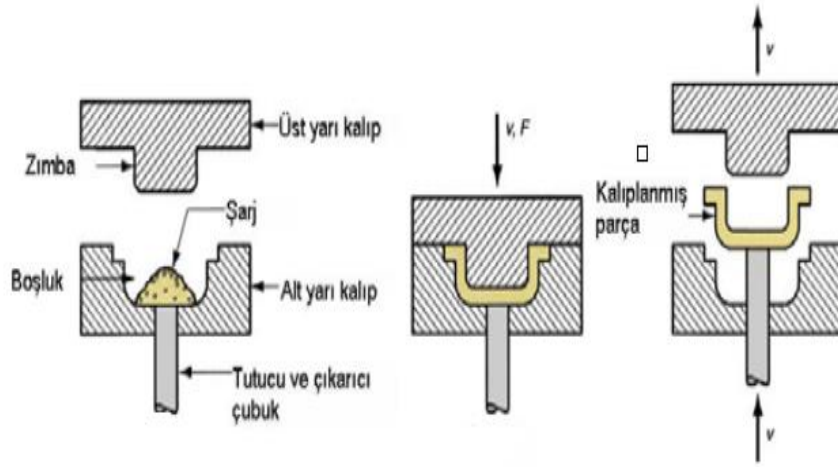
Hidrolik düşey tipli presler endüstride en çok tercih edilen preslerdir. Bu preslerin farklı çalışma şekilleri olabilir. Örneğin pres alt tablası yukarıya doğru hareket eden ya da üst tabla aşağıya doğru hareket eden vb. gibi [27].

Preslerde kalıplamanın gerçekleştiği ana hareket iletim mekanizması genellikle mekanik, hidrolik ya da pnömatik olacak şekilde yapılmıştır. Bunlar içerisinde genelde

uygulanan hareket sistemi, sabit alt tabla ve aşağı yukarı hareket eden üst tabladan meydana gelmektedir. Hidrolik akışkan mekanizması olan bu preslerde dönüş hızı 1200 – 1800 dev / dak. olan elektrik motoru ve 1,6 – 2,5 kg / mm² arasında basınç uygulayabilen hidrolik pompalar yer almaktadır [33].

Bu preslerde pompa, yağ tankı, yüksek basınç boruları, elektrik motoru, çok yönlü valfler, hidrolik silindir ve piston hareket iletme sistemini oluşturmaktadır.

Basınçla kalıplamada, presin alt tablasına dişi kalıp bağlanır ve kalıp içerisine polimer hammadde doldurulur. Üstte yer alan erkek kalıp silindirin kuvvetiyle aşağıya doğru hareket eder ve alt (dişi) kalıp yarımına baskı oluşturarak polimer malzemeyi sıkıştırır. Uygulanan basınç ve sıcaklık ile kalıplama işlemi yapılarak ürün nihai şekline kavuşur [33].



Şekil 2.18. Basınçla kalıplama yöntemi [27].

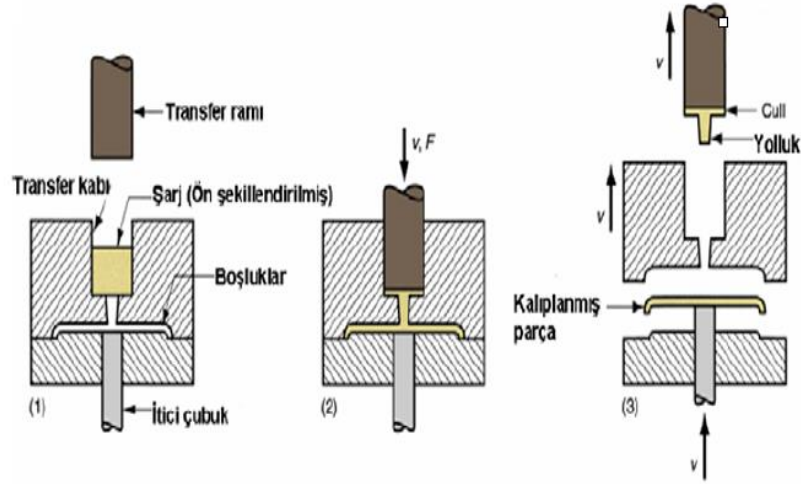
2.7.8. Transfer kalıplama

Transfer kalıplama, enjeksiyonla kalıplama ve basınçla kalıplama yöntemlerinin kombinasyonudur. Kalıplama işlemi, basınçla kalıplama presinde gerçekleşir [34].

Ön ısıtması yapılmış olan kalıplanacak hammadde ‘pot’ denilen kalıp boşluğuna konur. Pota giren bir itici piston ile hammaddeye basınç uygulanarak malzemenin yolluktan kalıbın iç kanallarına yol alması sağlanır.

Hammaddenin kalıp içinde kolay ilerlemesi ve tüm kalıp boşluklarını doldurabilmesi için kalıbın iç duvarlarının malzemenin ergime sıcaklığı üzerindeki bir sıcaklıkta olması gereklidir. Malzeme içindeki kürlenme tepkimesi tamamlanıncaya kadar kalıp kapalı tutulur (Şekil 2.19.).

Geleneksel basınçlı kalıplamaya göre bu işlemin avantajı, hassas parçalar oluşturma ve ürün içinde özel konumlandırma gerektiren eklere sahip parçaları kalıplama yeteneğidir [34].

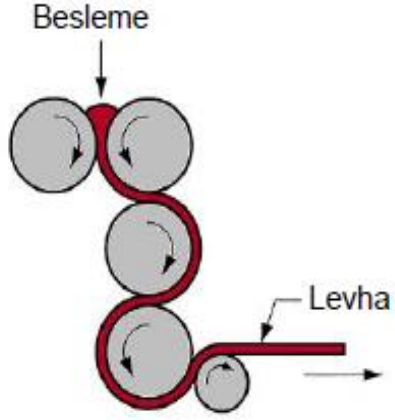


Şekil 2.19. Transfer kalıplama yöntemi [27].

2.7.9. Kalenderleme

Kalenderleme yönteminin temeli ısıtılmış hammaddenin, soğutulmuş çok sayıda milden basınçla sıkıştırılarak istenilen kalınlıkta geçirilerek levha haline getirilmesine dayanır (Şekil 2.20.). Bu işleme yönteminin endüstride kullanıldığı en geniş alan kauçuk, PVC ya da diğer bazı polimerlerden film veya levha üretimidir [35]. Kalender işleminde, kauçuk tabakanın kalınlığı üzerinde yüksek derecede kontrol sağlar. Bu proses

genellikle daha sonra ya bir sonraki işlemde bir kalıba yerleştirmek için bir şekli oluşturmak için ya da contaların veya diğer bitmiş ürünlerin kesilebileceği çapraz bağlı elastomer kaplama üretmek için kullanılır [34].



şekil 2.20. Kalenderleme yöntemi [36].

BÖLÜM 3. SİLİKON

3.1. Silikonun Tanımı ve Genel Özellikleri

Silikonlar, katılardan su inceliğindeki sıvılara ve yarı viskoz macunlara, greslere ve yağlara kadar çeşitli fiziksel biçimler alabilen yüksek performanslı oligomerler veya polimerlerdir. “POLİSİLOKSAN” diye de bilinirler, kimyasal yapılarında karbon (C) atomu yerine art arda dizilmiş Silisyum (Si) ve oksijen (O) atomlarının bulunduğu polimerlerin ortak ismidir. Silikon moleküllerinin neredeyse hepsinde silisyuma bağlı metil, vinil veya fenil grupları bulunur.

Geleneksel malzemeleri yok edecek koşullarda işlev görebilirler. Silikonlar yağlama, sızdırmazlık, yapıştırma, ayırma, köpükten arındırma ve kapsülleme yapabilen bir dizi benzersiz özellik sergiler. Hatta yalıtabilir, su geçirmez ve kaplayabilirler. Elektrik iletmezler. Zamanla sertleşmez, çatlamaz, soyulmaz, ufalanmaz, kurumaz veya kırılğan hale gelmez.

Parlak ve gri renkte kırılğan bir madde olan silikon elementi metal değildir. Yalıtkan değildir ama elektriği metaller kadar iletmez. Elektronik endüstrisinde çok kullanılmasının en önemli nedeni yarı iletkenler arasında olmasındandır [37].

1808 yılında İngiliz bir kimyacı olan H. Davy silikon elementini izole etmeye çalışmış ve ismini de “silisyum” olarak önermiştir. Silisyumu çakmak taşını kullanarak elde etmeye çalışması nedeniyle Latince çakmak taşının ismi olan “silicis” den silisyum kelimesini türetmişti. Silikonu metal sandığından dolayı sodyum ve potasyum gibi metallerin sonunda olduğu gibi “yum” ekini eklemişti. Silikon metal olmadığından “yum” ekinin yerine “on” ekini koyarak silikon kelimesini türeten ise İskoçyalı kimyacı T.Thomson olmuştur.

Toplumumuzda genel olarak silikon kelimesi akla ilk olarak estetik amaçlı implantı getirmektedir. Anlam karmaşası olmaması için Türkçe’de plastiğine silikon, silikon elementine ise silisyum, diyoruz [37].

Silisyum dünyamızın yapısında % 26 oranı ile ikinci sırayı alır. Göktaşlarında ve ay taşında da tespit edilmiştir. Silisyum ve oksijen güçlü bir bağ ile birbirlerine bağlıdırlar. Daima kimyasal ve termal kararlılık içinde olduğu için Ca, Mg, Fe silikat bileşikler, SiO₂ gibi oksijen bileşikler içinde bulunur. Tetravalent bileşiklerinde de Si, O atomları ile çevrilidir. Silisyum hiçbir zaman saf halde bulunamamıştır. Silisyumun atom numarası yani proton sayısı 14’ tür. Simgesi “Si” olmakla beraber oda sıcaklığında katı haldedir. Grubu 4A ve periyodu 2’dir, karbonun hemen altında yer alır [38].

Kuars ile kömür, elektrik ark fırınlarında reaksiyona sokularak silikon elementi elde edilir. Kuvars saf silisyum dioksittir ve kömürün karbon atomları kuvarstaki oksijenle birleşir ve karbondioksit dönüşür bu sayede de silikon elementi serbest hale gelir. Bu yöntem ile imal edilen silikon elementi %95-99 saflıktadır ve endüstride kullanılır.

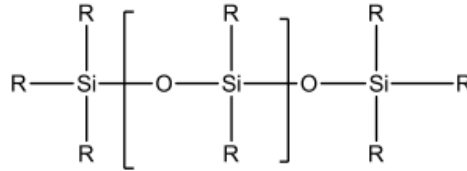
Endüstriyel silikon, karbon elektrotlar kullanılarak elektrik ark fırınında karbon malzemeler aracılığıyla kuvarsın indirgenmesi ile üretilir. Karbotermik süreç genel olarak ve basitçe aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Endüstride fazlaca kullanılan “dumanlı silis” ve “silis dumanı” adıyla bilinen ve silikondan üretilen iki yan ürün vardır. Bu yan ürünler, fazla sayıda üründe kullanılıyor olsa da bilinirliği azdır. Pirojenik silis olarak da bilinen dumanlı silis, mikroskobik ölçülerde olan amorf silistir. Bu silisin parçacık boyutu 5-50 nanometredir ve yoğunluk artırıcı dolgu maddesi olarak kullanılır. 1 gramının yüzeyi 50-600 metrekare civarında olacak kadar yüzey alanı geniştir. Katkı maddesi olarak kozmetik ürünlere, diş macununa, matbaa mürekkebine, yapıştırıcı ve reçinelere eklenir [37].

Bir endüstri yan ürünü olan silis dumanı mikro ölçüdeki silisyum dioksit küreciklerden oluşur. Fırında silikon elementinin üretimi sırasında, fazlaca silisyum dioksit gazı ortama salınır ve bu gaz soğuduğunda camsı yapıdaki amorf silis dumanı oluşur. Silis dumanının oluştuğu parçacıkların çapı yaklaşık 150 nanometredir ve bu silis dumanı Puzolanik yapıdadır. 1970'lere kadar havaya bırakılan silis dumanı; günümüzde yüksek performanslı betonlarda katkı maddesi olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır [37].

Silikon, onu özel kılan Si-O bağına sahip malzemedir ve ayrıca aşağıda "R" olarak alkil gruplarını da içerir (Şekil 3.1.). Alkil grupları, metil, vinil veya fenil olabilir. Saf inorganik silika ile polistiren gibi organik polimerler arasındaki bileşimde ara ürünlerdir. Zincir tamamen inorganik olsa da, değişken Si ve O atomları ile organik yan gruplar silikon atomlarına bağlanır. -Si-O- zincir uzunluklarını, yan grupların işlevselliğini ve moleküler zincirler arasındaki çapraz bağları ayarlayarak, silikonlar neredeyse sonsuz çeşitlilikteki malzemelerde sentezlenebilir.



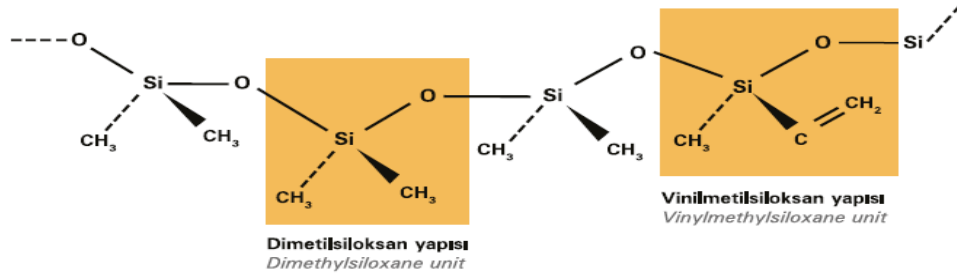
Şekil 3.1. Silikon polimerinin genel gösterimi [38].

Siloksan polimeri termal kararlılık, hidrofobiklik, dielektriksel özellikler, hava koşullarına dayanım, şeffaflık ve biyoyumluluk gibi çeşitli özelliklere sahip sıra dışı esnekliği olan bir inorganik makromolekül polimerdir. Polidimetilsiloksan fonksiyonel grup olarak sadece metil içeren siloksanlar olarak bilinir ve yok denecek kadar az kullanımı vardır. Şu anda genel uygulamalarda en çok kullanılan, metil gruplarına vinil gruplarının bağlanmasıyla oluşan ve VMQ olarak bilinen siloksan ise vinilmetilsiloksan yani silikon kauçuktur (Şekil 3.2.) [38].

Silikon atomu “ dörtlü grup” anlamına gelen «Q» harfiyle gösterilir ve 4 adet valans elektronuna sahiptir. Silikon kauçuğun özellikleri kimyasal yapı ve bağlanan organik gruplara göre değişir. Kendisine bağlanan fonksiyonel gruplar aşağıdaki gibi değişen polisiloksanın DIN ISO 1629’ a göre adlandırılmaları aşağıdaki gibidir (Tablo 3.1.) [38].

Tablo 3.1. Fonksiyonel gruba göre silikon kauçuklar ve DIN ISO 1629 isimlendirmesi [24].

"R"- Organik Grup	Kısaltma	DIN ISO 1629 Adlandırması
- CH ₃	MQ	Metil - polisiloksan
- CH=CH ₂	VMQ	Vinil - metil - polisiloksan
- Ph	PVMQ	Fenil - vinil - metil - polisiloksan
- CH ₂ -CH ₂ -CF ₃	FVMQ	Floro - vinil - metil - polisiloksan



Şekil 3.2. VMQ ' nun kimyasal yapısı [38].

Si-O bağ enerjisi 106 kcal/mol'dür. Yüksek bağ enerjisi yüksek kararlılık sağlamaktadır. Si-O bağ açısı: 143° olup yüksek bağ açısı yüksek esneklik özelliği kazandırmaktadır. Si-O bağ uzunluğu: 0,165 nm'dir ve yüksek bağ uzunluğu yüksek geçirgenlik sağlamaktadır.

Bağ açılarının geniş olmasına bağlı olarak silikon kauçuğun esnekliği oldukça yüksektir. Bağ enerjisine bağlı olarak gerek dış ortam, UV, Ozon gerekse de düşük (eksi) sıcaklıklarda özelliklerini korurlar. Çeşitli kullanım sınıflarına göre silikonların mekanik özellikler Tablo 3.2.'de verilmiştir.

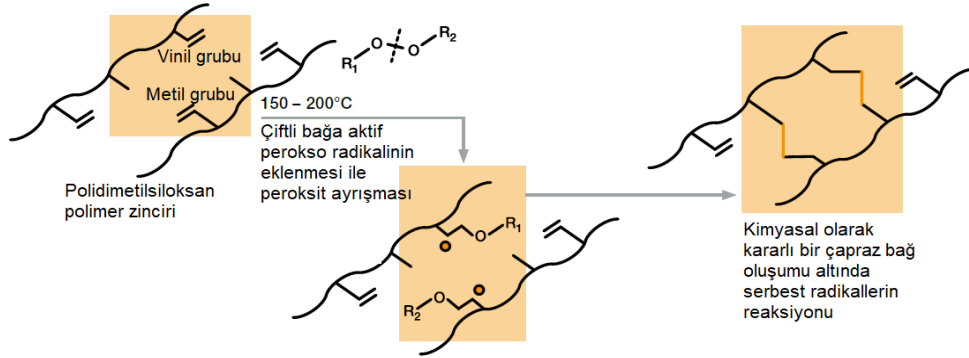
Tablo 3.2. Farklı kullanım sınıflarına göre silikon özellikleri [39].

Kullanım Sınıfı	Sertlik (Shore A)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Kalıcı Deformasyon (%) 150°C 22s	Kullanışlı Olduğu Sıcaklık Aralıkları Min.(°C) Maks.(°C)	Yırtılma Mukavemeti (N/mm)
Genel Kullanım	40 - 80	4,8 - 7,0	100 - 400	15 - 50	-60 260	9
Düşük Kalıcı Deformasyon	50 - 80	4,8 - 7,0	80 - 400	10 - 15	-60 260	9
Düşük Sıcaklık	25 - 80	5,5 - 10,3	150 - 600	20 - 50	-100 260	31
Yüksek Sıcaklık	40 - 80	4,8 - 7,6	200 - 500	10 - 40	-60 315	
Tel ve Kablo	50 - 80	4,1 - 10,3	100 - 500	20 - 50	-100 260	
Çözücüye Dayanıklı	50 - 60	5,8 - 7,0	170 - 225	20 - 30	-68 232	5,7
Yüksek Alev Dayanımı	40 - 50	9,6 - 11,0	500 - 700			28 - 38

3.2. Silikonda Çapraz Bağlanma

Çapraz bağlanma polimer zincirlerinin birbirine bağlanması şeklinde tanımlanır. Elastomerlerin çapraz bağlanması sonucunda fiziksel özellikleri ve dinamik performansları önemli ölçüde artmaktadır. Oluşan çapraz bağların gücü ve miktarı elastomerin ağ yapısını etkilemektedir. Silikon hamuru ve çapraz bağlayıcının düşük sıcaklıklarda homojen olarak karıştırılıp çapraz bağlanması sonucunda silikon elastomerler elde edilir. Silikon elastomerlerin çapraz bağlanmasında organik peroksitler ve platin kullanılmaktadır. Platin, kokusuz ve renksiz oluşu yanı sıra peroksit çapraz bağlanmasına göre daha iyi fiziksel özellikler sağlamaktadır. Ancak peroksitlere göre maliyetlerinin yüksek olması ve yüksek vulkanizasyon sıcaklığı gerektirmesi nedeni ile peroksitlere göre daha az tercih edilmektedirler [38].

Organik bir gruba bağlı ve en az iki oksijen atomunun birbirine bağlanması ile oluşan yapılara organik peroksitler denir. Peroksit ısıyla birlikte ayrışarak polimer zinciri üzerinde aktif grup oluşturan serbest radikaller oluşturur. Çapraz bağlanma polimer zincirleri üzerinde oluşan aktif kısımların birbiri ile etkileşimiyle polimer zincirlerin birbirlerine bağlanması sonucu oluşur. Aşağıda Şekil 3.3.'te peroksit ile silikon elastomerin çapraz bağlanma mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Peroksit ile silikon elastomerlerin çapraz bağlanması [40].

3.3. Katalizörler, Çapraz Bağ Çeşitleri ve Test Metotları

Silikon kauçuğunun kürlenmesi değişik metotlar ile gerçekleştirilebilmektedir. Bunlardan en yaygın kullanılan ve aslında maliyet-yatırım-verimlilik açısından en uygun olanlar Peroksitler ve Platin katalizör yöntemleridir. Bu ikisinin yanında Silanlama, Elektron-beam kürlenme gibi değişik metotlarda mevcuttur [41].

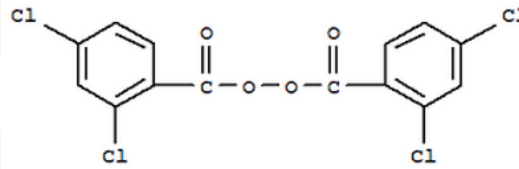
Platin katalizör sistemi, bir katılma reaksiyonudur. Platin eklenerek Silikon üzerinden -H (hidrojen) kopartılır ve açıkta kalan bağlar birbiri ile bağlanır. Açığa yan ürün çıkmaz. En önemli avantajı budur.

Peroksit katalizör sistemi, bir serbest radikal reaksiyonudur. Peroksitler moleküllerdeki bağları kırarak serbest zincirler oluşturur, bu zincirler birbiri ile bağlanır. Peroksit ajanları da kendi aralarında özellikleri ve avantajları bakımında ayrılmaktadır.

Silikon bu aşamada, diğer elastomerlerden ayrılmaktadır. Genel olarak diğer elastomerler, yapılarındaki C=C çift bağlarından dolayı kükürt ile kürlenebilmektedir. Peroksitler ile kürlenmiş Silikonda C – C bağları oluşurken, Kükürt ile kürlenmiş elastomerlerde S – C veya S – S bağları oluşur. Bu bağlar arasında tabii ki en kuvvetlisi C – C bağlarıdır [41].

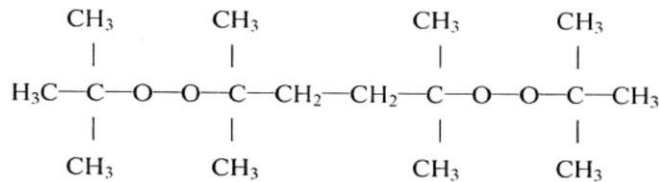
3.4. Katalizörler

a) DCLBP: 2,4 Dikloro benzoil peroksit (% Silikon yağı ile karışım) : Krem katalizör olarak adlandırılır kimyasal yapısı Şekil 3.4.'te gösterilmiştir. Non-Vinil Silikonlar için çok uygundur. Aktif oksijen miktarı %2'dir. Yoğunluğu $1,25 \text{ g/cm}^3$, erime noktası (Mp) da $55-65^\circ\text{C}$ 'dir. Genelde 115°C kür için kullanılır. Yarı ömrü kısadır, düşük sıcaklıklar için iyidir. Aktif oksijen içeriği azaldıkça kürlenme güveni artar (safety). Düşük sıcaklıkta aktif olur, yüksek çapraz bağlanma yoğunluğu vardır, hızlı kürlenir. Karbon siyahı ile kullanımı sıkıntılıdır, porozite (gözenek) yapar. Çapraz bağlanma asidik yan grupların oluşmasından dolayı post-kür gerektirir. Et kalınlığı fazla parçalarda aşırı kürlenme (overcure) olabilir.



Şekil 3.4. 2,4 Dikloro benzoil peroksit [41].

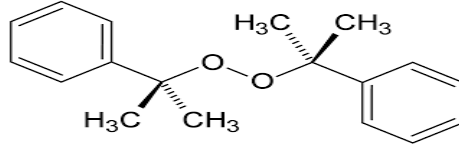
b) DHBP: 2,5- Dimetil bis tertiyobütil peroksi 2,5- Hekzan: Trigonax katalizör olarak adlandırılır kimyasal yapısı Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. Vinil silikonlar için çok uygundur. Aktif oksijen miktarı %11, erime sıcaklığı (Mp) 6°C ve yoğunluğu: $0,94 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Dialkil grubuna girer (O – C yapısı). Genelde 175°C kür için kullanılır. Hızlı kür sağlar, yan ürünleri güvenlidir. FDA uyumludur [41].



Şekil 3.5. 2,5-Dimetil bis tertiyobütil peroksi 2,5- Hekzan [41].

c) DCP: Dikümil peroksit: Toz katalizör olarak adlandırılır, kimyasal yapısı Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Yoğunluğu: $1,56 \text{ g/cm}^3$ ve erime sıcaklığı (Mp) $40-50^\circ\text{C}$ 'dir.

Diaril grubuna girer (O – C – Ph yapısı). Yüksek sıcaklıkta kürlenir. Koku yapar (yan ürün olarak asetofenon çıkarır). Birçok yan ürün açığa çıkarır (metan, asetofenon, metil eter gibi).



Şekil 3.6. Dikütil peroksit kimyasal gösterim [41].

3.5. Çapraz Bağlar ve Kataliz Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Endüstride çapraz bağlanma (kürlenme) çeşitlerinden en çok Peroksit ve Platin kataliz yöntemleri kullanılır.

Bu iki sistemin birbirine karşı avantajlarını ve dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz [41];

- Pt kürlenme ‘ eklenme reaksiyonu ‘ dur. (addition reaction)
- Peroksit kürlenme ‘ serbest radikal reaksiyonu’ (free radical reaction)
- Pt kürlenmede yan ürün oluşmadığı için medikal ürün ve üretime uygundur.
- Pt kürlenme berraktır. Peroksitlerde ise renk şeffaftan biraz kayar.
- Pt kürlenmede yan ürün çıkmadığı için ‘kalıpta birikme’ (die built up) olmaz.
- Pt kürlenmede koku olmaz, renk değişimine uğramaz.
- Pt kürlenmede çevrim süresi daha kısa, kürlenme prosesi daha kontrollüdür.
- Pt kürlenme Vinil Metil Silikon (VMQ) kauçuğunu tercih etmektedir. Bu da düşük sıcaklık dayanımı konusunda önde olmasını getirir.
- Peroksit kürlenmedeki yan ürünler, uçucu organik asitlerdir (V.O.A: Volatile Organic Acids) post-kür ile bunlar elimine edilir. Bu yüzden post-kür gereklidir.
- Pt de post-kür gerekli değildir.

- Peroksit ajanı hamur karışımına katılır. Karışım pres veya ekstrüder başında beklerken eğer ortam sıcak ise kürlenme olabilir. Kürlenme prosesi kontrol altında değildir.
- Pt kataliz ise hamura enjeksiyon sırasında pompa yardımı ile diğer bileşenle birlikte verilir. Bekleyen hamurun pişmesi söz konusu olmaz. Kürlenme kontrol altındadır.
- Pt katalizörde Sıvı Silikon LSR ve Floro Silikon mevcuttur. Bunlar proses ve yaşlandırma dayanımı yüksek ürünler elde etmek için avantajdır.
- Peroksit kürlenme yüksek yüzey yapışkanlığına sahiptir. Çabuk kirlenir ve pislik yapışabilir.
- Pt kürlenmede sıcaklığın kürlenmeye etkisi daha azdır. Kürlenme oranı değişen sıcaklıkta daha az etkilenir. Hedef kürlenme durumu çok değişmez ve bu genel ürünün hep aynı kalitede olmasını sağlar. Hurda azalır.
- Peroksit kürlenmede yetersiz oksijen olduğunda, çapak tam kürlenmez. Bu da kalıptan ayırma sırasında çapağın ürüne veya kalıba yapışması ile hurda miktarının artmasına yol açabilir.
- Pt katalizörde çapaklar tam kürlenir. Kalıp açma zamanı sabittir. Ürün değişimi sırasında sıcaklık dalgalanması minimize olur. Zaman ve enerjiden kazanç sağlar.
- Pt kürlenme yırtılma, sıcak yırtılma ve fiziksel mekaniksel değerlerde daha yüksektir.
- Pt kürlenme ortamda bulunan Kükürt, Kalay ve amin yapılarında etkilenir. Bu yüzden üretim sahası dikkatli ayarlanmalıdır.

3.6. Test Metotları

Kauçukların yüksek mekanik fiziksel ve kimyasal dayanım göstermeleri için karışım (compound) yapılmaları ve kürlenmeleri gerekmekte olduğunu belirtmiştik. Kullanım amacına uygun hazırlanan bu reçeteler ile yapılan karışımlar'ın, istenilen özellikleri taşıyıp taşımadığını ölçmek için bazı testler uygulanmaktadır. Genel elastomer testleri olarak adlandırabileceğimiz bu ölçümleri, özelliklerine göre 6 ana kategoriye ayırabiliriz [41].

- Mekanik Testler: Yırtılma, gerilme, uzama, aşınma, darbe dayanımı
- Termal Testler: Camsı geçiş, termal iletkenlik, min. ve max kullanım sıcaklığı
- Elektriksel Testler: Dielektrik sabiti ve dayanımı, resistivity
- Optik Testler: Kırılma indeksi, ışık geçirgenliği, renk ölçümü
- Proses Testleri: Vizkosite, proses sıcaklıkları, erime akışkanlık indeksi
- Fiziksel Testler: Yoğunluk, nem tayini, yüzey görünümü testleri

Yukarıda bahsi geçen testlerden bazılarının tanımları aşağıda verilmiştir.

- Yoğunluk (Density) : Yoğunluk kütlenin hacime oranıdır. Yoğunluk elastomerler için ayırt edici bir özelliktir. Yoğunluk azaldıkça kauçuk oranı artar, elastikiyet, aşınma dayanımı, kalıcı deformasyon değerleri iyileşir. Isıyoğruk elastomerler ile katı haldeki diğer polimerlerin özgül ağırlıkları alkol yardımıyla hesaplanır. Yoğunluk ölçüm standartları ISO 2781 ve ASTM D 792 olarak verilebilir [41].
- Sertlik (Hardness): Sertlik elastomerin elastikliğini ölçmektedir. Sertlik azaldıkça elastikiyet artar. Elastomerlerin sertliği Shore A ve mikro-IRHD dir. Plastikler için ise Shore A ve Shore D dir. Sertlik, durometer adı verilen cihazlar ile ölçülür. Sertlik ölçüm standartları ISO 48, ISO 868 ve ASTM D 2240 olarak verilebilir [41].
- Gerilme, Uzama (Tensile, Elongation): Elastomer numunesi, kendi uzunluğunun belli bir katına kadar gerdirilir, kesti alanı belirli olan bu numunenin koptuğu andaki gerilme, uzama dayanımı bilgileri kaldırabileceği maksimum yük ve elastikiyeti hakkında bilgi verir. Gerilme Uzama ölçüm standartları ISO 37, ASTM D 412 ve EN 60811 olarak verilebilir.
- Aşınma (Abrasion): Aşınma dayanımı, elastomerin bir yüzeye sürtünmesi sırasında ne kadar kütle kaybedeceğini ölçmektedir. Dolgulu karışımların aşınma değeri (kütle kaybı) daha yüksektir.

- Elastomer oranı arttıkça aşınma değeri azalır. Aşınma ölçüm standartları ASTM D 1630 ve ISO 4649 olarak verilebilir.
- Kalıcı Deformasyon (Compression set): Belli bir yük altında belirli süre yorulan elastomerin yük ortadan kalkınca eski haline gelme oranı ile hesaplanan kalıcı deformasyon, özellikle artan sıcaklıklarda ve dinamik çalışma ortamında elastomerler için önemli bir ölçü birimidir. Ayrıca crosslink oranı da kalıcı deformasyon üzerinden tahmin edilebilir. Kalıcı deformasyon ölçüm standartları ISO 815 ve ASTM D 395 olarak verilebilir.
- Isıl Yaşlandırma (Heat Ageing): Elastomerlerin uzun süre ve artan ortam sıcaklığında yaşlanma sonrası uğrayacağı fiziksel mekaniksel değişimler, elastomerin kullanım yerindeki ömrü hakkında bilgi vermektedir. Isıl yaşlandırma ölçüm standartları ISO 188 ve ASTM D 573 olarak verilebilir [41].
- Sıvılarda Yaşlandırma (Resistance to Liquids): Sıvıların elastomere etkisi; sıvının emilmesi (hacim artışı), elastomerdeki katkıların sıvılarda çözülmesi ve migrasyonu, sıvıların elastomer ile reaksiyon vermesi şeklinde olabilir. Elastomer ve sıvılar arasındaki kimyasal polarite gereği sıvıların emilimi genelde en çok ölçülen parametredir. Buna şişme (swelling) adı verilir. Ayrıca sıcaklık arttıkça şişme değerleri artar. Elastomer malzeme işlevini hızla kaybeder [41].

Şişme oranı;

0 – 5 % arası ise, kullanım önerilir, etkilenmez

5 – 10 % arası ise, genel olarak kullanılabilir, az etkilenir

10 – 20 % arası ise, sadece statik kullanım önerilir, etki artar.

> 20 % ise, kullanım önerilmez, işlevini yerine getirmez

Şeklinde yorumlanabilir. Sıvılarda yaşlandırma ölçüm standartları ASTM D 471 ve ISO 1817 olarak verilebilir [41].

3.7. Silikonun Kullanım Alanları

Sıcaklık dayanımı, UV ve ozon yaşlandırma dayanımı, kimyasallara karşı dayanım, elastikiyet ve güçlü fiziksel – mekaniksel değerlerinden dolayı silikon, birçok sektörde kullanılmakta ve birçok uygulamada ise tek tercih olmaktadır [41].

Endüstri bazında bazı genel uygulama alanlarını örnekleyecek olursak şöyle sıralayabiliriz;

- Otomotiv conta, turbo hortumu, egzoz boru tutacağı, hava yastığı.
- Tel ve kablo kontak kabloları, yangına dayanıklı kablolar, solar kablolar.
- Medikal kan hortumları, kateterler, emzik, iğne tıpaları.
- Pencere profil, macunlar, pencere contaları, sızdırmazlık elemanları.
- Elektronik devre izolasyonları, kablolar, aksesuarlar.
- Tekstil çorap, elbise, kumaş modifikasyonları, halı altı kaymaz.
- Beyaz eşya enjeksiyon parçaları, contalar, su tahliye boruları.
- Tüketim oyuncaklar, saklama kapları.
- İnşaat yapı malzemeleri, yapıştırıcılar, el aletleri.
- Aydınlatma sokak lambaları, LED aydınlatmalar, optik lensler.
- Spor dalış takımları, maskeler, spor aletleri.

BÖLÜM 4. DIATOMİT

4.1. Diatomitin Tanımı ve Özellikleri

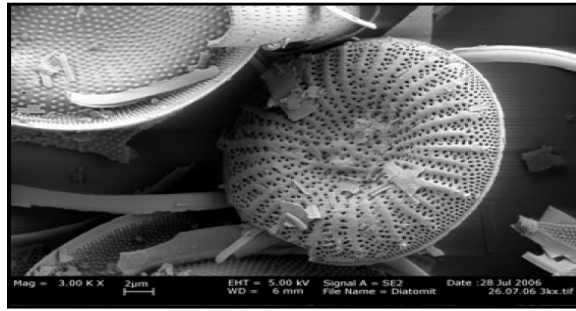
Refrakterlerden dolgu malzemesine, yalıtım malzemesinden filtrasyon ürünlerine kadar uzanan çok geniş bir alanda kullanılan, "Diatomit"; adı diatom olan tek hücreli alglerin fosilleşmiş silisli kabuklarından oluşmuş bir çökeltidir (Şekil 4.1. ve 4.2.) [42].

İçinde yaşamını sürdürdüğü ortam suyundan elde ettiği silisten oluşmuş kabuk ya da kavkı içine yerleşmiş mikroskobik bir protoplazmadır. Havzaların geniş ve sığ kesimlerinde, suda çözünmüş halde bulunan çok miktarda silis ile temiz sular, büyümesini sağlayan ve hızlandıran etmenlerdir. Yaklaşık 16.000 adet değişik diatome çeşidi vardır. Göllerde, akarsularda, denizlerde veya hafif tuzlu sularda gelişebilmektedirler. Diatomit yatakları ölüp dibe çöken diatomelerin kabuklarının birikmesinden oluşmaktadır. Eğer diatome kolonisi çok aktif ise yılda birkaç milimetre kalınlığa ulaşacak hızda çökebilirler. Diatomelerin en büyük miktarlara ulaştığı yıllar 65-135 milyon yıl önce Kretase çağına denk gelmektedir ve günümüzde ticari olarak değeri bulunan yatakların çoğunu da 7-27 milyon yıl önce Miyosen çağında meydana getirmişlerdir [43].

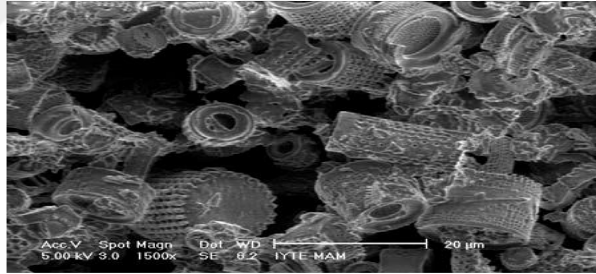
Diatomitin önemli özelliklerinin başında kabuğundaki yüksek gözeneklilik ile düşük özgül ağırlıktır. Çoğunlukla gevşek bir yapıya sahiptir ve una benzer şekilde dağılır. Rengi beyaz, açık bej veya gri olabilir (Şekil 4.3.). Organik materyali fazlaca içeren diatomitler; kahverengi, koyu yeşil ya da siyaha varabilen renklerde olabilirler [44].

Fransızca ve Almanca literatürde “Kieselgur – kieselguhr”, İngilizce literatürde ise “diatomaceous earth veya diatomite” olarak ifade edilir. Kil ve tüfle karışık olan Danimarka diatomitlerine ise “Moler, Molerde veya moler earth” ismi verilir [45].

Emme kabiliyeti çok yüksektir ve kendi ağırlığının en az üç, dört katı kadar su absorblayabilir. Başka bir kayda değer özelliği de % 95'e varan geçirgenlik sağlayan çok yüksek gözenekli yapısıdır. 100-300 °C de 0,08 KCal/m².°C.h. olan ısı iletkenliği 800 °C ve yukarısında ise 0,11 Kcal/m².°C.h civarındadır. Diatomit kimyasal maddelerin çoğuna karşı inerttir. Sadece sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda kuvvetli bazlardan etkilenir. Ayrıca asitlerden de yalnız hidroflorik asitten (HF) etkilenir [44].



Şekil 4.1. Diatomitin elektron mikroskopunda görünümü [46].



Şekil 4.2. Diatomitin elektron mikroskopunda görünümü [47].



Şekil 4.3. Tane halindeki diatomit [12].

Denizlerde ve göllerde bugünde yaşamlarını sürdüren diatomların kabukları amorf silis ($\text{SiO}_2 \times n\text{H}_2\text{O}$) yapısındadır. Diatomit rezervlerin meydana geldiği ortamın yapısı ve şartlarına bağlı olarak, çoğunlukla volkanik kül, organik kalıntılar, kil ve kum içerirler. Silis oranı %75-94 arasında olanlar ticari değere sahiptir. Geri kalan miktarı da alüminyum, demir ve içinde yer alan kilden gelen alkaliler oluşturur. Ham diatomit işlenme şekillerine göre doğal, kalsine ve flaks-kalsine olmak üzere üçe ayrılır. Bu üç grupta yine kendi içlerinde tane büyüklüklerine, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre tekrardan sınıflandırılırlar [48].

4.2. Tüketim Alanları

Diatomit mamulleri endüstride aşağıdaki uygulamalarda yardımcı veya takviye malzemesi olarak kullanılır.

Temel tüketim alanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [49] :

- Süzgeç tertibatlarında yardımcı gereç olarak (süzme),
- Dolgu olarak,
- Yalıtım materyali (elektrik, ısı, ses vb.),
- Sıvı emici olarak,
- Aşındırıcı ve yüzey temizleyici,
- Katalizör taşıyıcı,
- Hafif yapı gereçleri, refrakter üretimi,
- Silis kaynağı olarak kimyasal madde üretimlerinde,
- Gübrelerde taşıyıcı ve topaklanma engelleyici olarak.

% 85-90 oranında gözenekli bir yapıya sahip olan diatomitin steril özelliği ve kimyasal olarak inert bir yapıya sahip olmasından dolayı süspansiyon halindeki katı tanecikleri içinde bulundukları sıvılardan ayırmak için yapılan filtrasyon işlemlerinde hemen hemen rakipsiz olmasını sağlamaktadır [50].

Diatomitin diğerk bir kullanım alanı da fonksiyonel dolgu işlemleridir. Diatomitin ısı, ses ve elektrik izolasyon kabiliyeti, kimyasal olarak inertliği ve hafif olması oluşan nihai ürünün özelliklerini geliştirerek performans artışı sağlamaktadır [48].

Fonksiyonel dolgu olarak diatomit kullanılan en mühim alanlar boya, kağıt, plastik, lastik, kozmetik ve ilaç gibi alanlardır.

%94 e ulaşan silis içeriğinden dolayı kimyasal olarak inert olan diatomit ayrıca 1430 ° C olan ergime sıcaklığından dolayı da aşırı sıcaklıklara karşı dayanıklılık sağlar. Bu özelliklerinden dolayı izolasyon ve katalizör taşıyıcısı olarak kullanılabilirler.

Çimento içindeki su içerik fazlasını giderip homojeniteyi de artırmak için kullanım imkânı bulunmaktadır. % 3 oranında betona katıldığında betonun basma dayanımını % 20, çekme dayanımını ise % 10 civarında yükselttiği gözlenmiştir [48].

4.3. Türkiye’de Durum

4.3.1. Ürünün Türkiye’de bulunuş şekilleri

Ülkemizde yer alan ham diatomit rezervleri ziyadesiyle çok ve niteliklidir.

1972 de Şeker sanayinde aktif diatomit üretimi çalışmaları olumlu olunca 1974 yılında bir tesis kurulmuş olup 1976 da 2 ton/gün, 1980 de ise yapılan iyileştirmeler ile 3 ton/gün üretim kapasitesine erişilmiştir.

Şeker imalatında kullanılması nedeniyle aktif diatomit imalatı ile en başından beridir ilgilenen Şeker Şirketinin artan ihtiyaçlarını karşılanması maksadıyla, Etimesgut Tesisleri alanında inşa edilen 3.000 ton/yıl kapasiteli Diatomit Fabrikası 1992 yılının sonuna doğru test üretimini yaparak üretim faaliyetlerine başlamıştır. Bu işletme daha sonra değişik sebeplerle 1994 yılında kapanmış ve şeker üretiminde diatomit yerine perlit kullanılmaya dönmüştür [48].

4.3.2. Rezervler

Etibank'ın sınırlı bir girişimle katılmış olduğu diatomit rezerv araştırma çalışmaları Türkiye'de ilk olarak MTA tarafından başlatılmıştır. MTA'nın yapmış olduğu bu araştırmaya istinaden hazırlanmış olan envantere göre ülkemiz diatomit rezervi bakımından oldukça zengindir [48].

İmalat çalışmaları yanında kalitenin devamlı yükseltilmesi ilkesiyle kaynak araştırma çalışmaları da yapan T.Ş.F.A.Ş. Diatomit Fabrikası, kısa bir zaman içinde daha önceden bilinen Aydın-Karacasu madenine ilave olarak Niğde, Sivas, Bingöl, Afyon-Tınaztepe, Kayseri, Aksaray, Çanakkale, Konya, Ayvalık gibi yerlerde tespit edilmiş diatomit kaynaklarının da bulunmasına destek olup bu rezervlerden temin edilen numuneleri çeşitli test ve deneylerden geçirmiş, nitelik ve fiziksel özelliklerini inceleyerek birtakım tespitler ve değerlendirmeler yapmıştır. Fakat yapılmış olan bütün bu özellik saptama çalışmalarına karşılık, miktar bakımından yurdumuzun diatomit kaynak miktarını tespit edecek net bir çalışma henüz yapılamamıştır. Ancak nitelik olarak türlü gayelere yönelik olarak kullanılabilecek içerikte oldukça vasıflı rezervlerimiz olduğu ve bu rezervlerin yaklaşık 100 milyon tonu geçtiği söylenebilir. Belirlenen yatakların bulunduğu illerimiz şunlardır. Afyon, Ankara, Aydın, Balıkesir, Bingöl, Çanakkale, Çankırı, Denizli, Eskişehir, Kayseri, Konya, Kütahya, Niğde, Sivas ve Van'dır. Kayseri-Hırka diatomit yatağı 50 milyon ton rezervi ile Türkiye'nin en büyük yatağıdır [48].

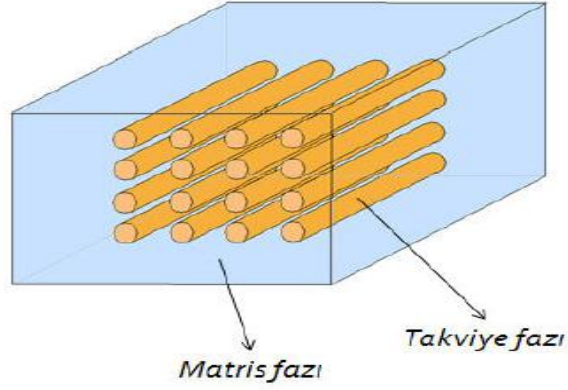
BÖLÜM 5. KOMPOZİT MALZEMELER

5.1. Kompozitin Tanımı

En az iki değişik malzemenin makro ölçekte (birbiri içinde çözünmeyecek şekilde) birleştirilmesiyle meydana getirilen yeni malzemelere kompozit malzeme denir [51].

Yapıyı bir arada tutan ana matris ile yükü taşıyan takviye malzemesinden oluşur (Şekil 5.1.).

- Matris: Seramik, metal ve metal alaşımlı ya da polimer esaslı malzemeler ana matrisi oluşturur. Matrisin ana işlevi, içindeki destek elemanlarını bir arada tutarak onların malzeme üstüne gelen kuvvetlere dayanabilmesi için ayarlanmış olan yerleşim şekillerini korumaktır. Kompozit materyalin üzerine gelen tüm kuvvetler matris vasıtasıyla takviye elemanına aktarılır.
- Takviye: Grafit, karbon, aramid, boron, silisyum karbür (SiC), cam, alümina, ve polietilen malzemelerin uzun ya da kısa süreklili elyaf şeklinde kullanıldığı ve matrise ortalama % 60 hacim oranında sağlamlaştırıcı görevi olan malzemelerdir. Takviye elemanının en önemli işlevi, matris içinde homojen olarak dağılıp, matrisin etkisi altında kaldığı yüklere göre destekleyerek kompozit malzemenin bu etkiye karşı dayanımını artırmaktır.



Şekil 5.1. Kompozit malzemede matris ve takviye fazı [52].

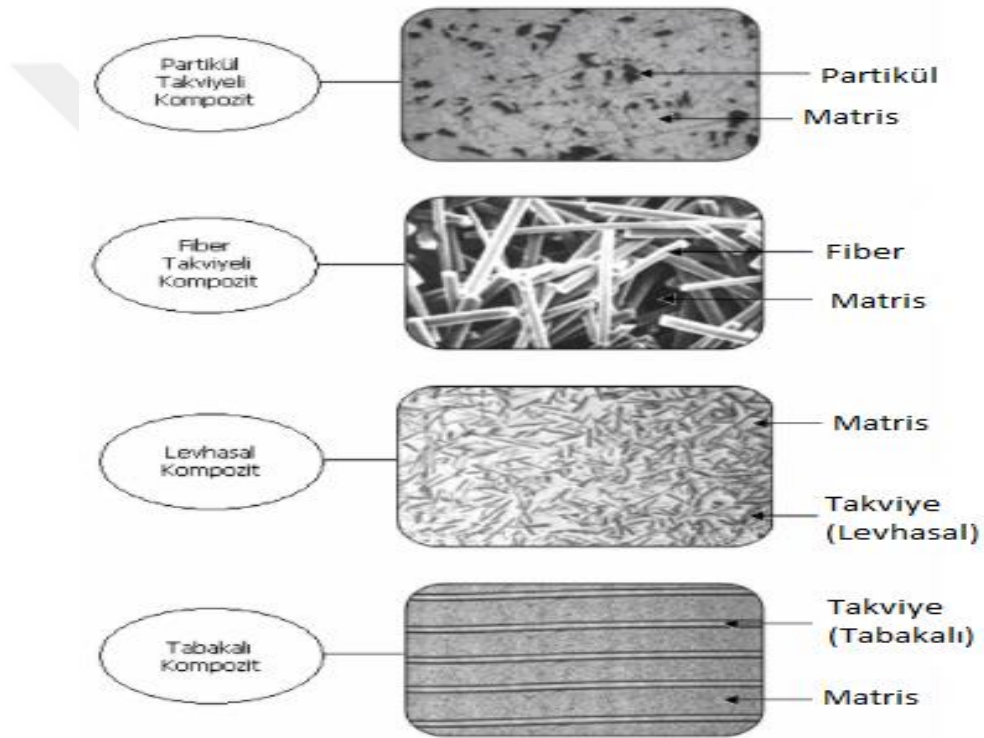
Kompozit malzemelerin imalatıyla aşağıdaki niteliklerin biri veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır [51].

- Dayanıklılık
- Elektrik, ısıl veya akustik iletkenlik
- Rijitlik
- Hafiflik
- Ekonomiklik
- Korozyona dayanım
- Aşınma dayanımı
- Yorulma dayanımı
- Termal özellikler vb.

Kompozitleri ana matris ve takviye malzemelerine göre Tablo 5.1.'de görüleceği şekilde sınıflandırmak mümkündür. Ayrıca şematik olarak takviye elemanının şekline göre gösterimi de aşağıda Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Kompozitlerin matris ve takviye malzemelerine göre sınıflandırılması [51].

Matris Malzemeleri	Takviye Malzemeleri	Kompozit Yapı Şekilleri
-Polimerler -Metaller -Seraamikler	-Lifler -Whiskers -Pudra -Yonga -Granül	-Tabakalar -Film - Folyo -Bal peteği (Honeycomb) -Sürekli elyaf sarma -Kaplamlalar (Laminant)



Şekil 5.2. Kompozit malzemelerin takviye elemanın şekline göre sınıflandırılması [53].

5.1.1. Metal matrisli kompozitler (MMK)

Bu kompozitlerde ana yapı matris metali tarafından oluşturulur ve destek elemanı olarak da genelde seramik bir takviye fazı kullanılır. Metal matris kompozitlerde ana matris yapı esneyebilir (ductile) özellikte metal ya da hafif metal alaşımlarından oluşurlar. Metal matris kompozitlerin işletme sıcaklıkları 200-800 °C aralığındadır;

bundan dolayı da yüksek sıcaklık gerektiren ortamlarda kullanılmaya elverişlidir. Ayrıca su emmeleri düşüktür, alev almazlar, ısı ve elektrik iletimleri yüksektir ve ışınlara karşı dayanımları yüksektir. En mühim eksiklikleri matrisin takviye malzemeyle kimyasal ve mekanik olarak uyumlarının zayıf olması ve reçine matrislere oranla işlenme şartlarının daha zor olmasıdır. Takviye elemanları sürekli ve süreksiz fiberler, whiskerler veya partiküller olabilir ve hacimsel olarak %10 ile % 60 oranı arasında kullanılabilir. Genel olarak bilinen sürekli fiberler karbon, boron, silikon karbid, alümina ve refrakter metallerdir. Süreksiz fiberler ise genelde kesilmiş fiberler (alümina ve karbon), silikon karbid whiskerler ve partiküllerdir (SiC ve Al_2O_3) [54].

5.1.2. Seramik matrisli kompozitler (SMK)

Seramikler inorganik malzemelerdir. Metal ve metal olmayan elementlerin karışımından meydana gelirler [55]. Seramik malzemeler yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda özgül ağırlığı yüksek olan metallerin yerine kullanılabilir. Seramik malzemeler yoğunluklarının düşük olması sebebiyle daha hafif, hem de oksitlenme dirençlerinin çok iyi olması sebebiyle yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya oldukça elverişli malzemelerdir. Seramik matrisli kompozit malzemeleri (SMK) iki ana başlık altında toplayabiliriz.

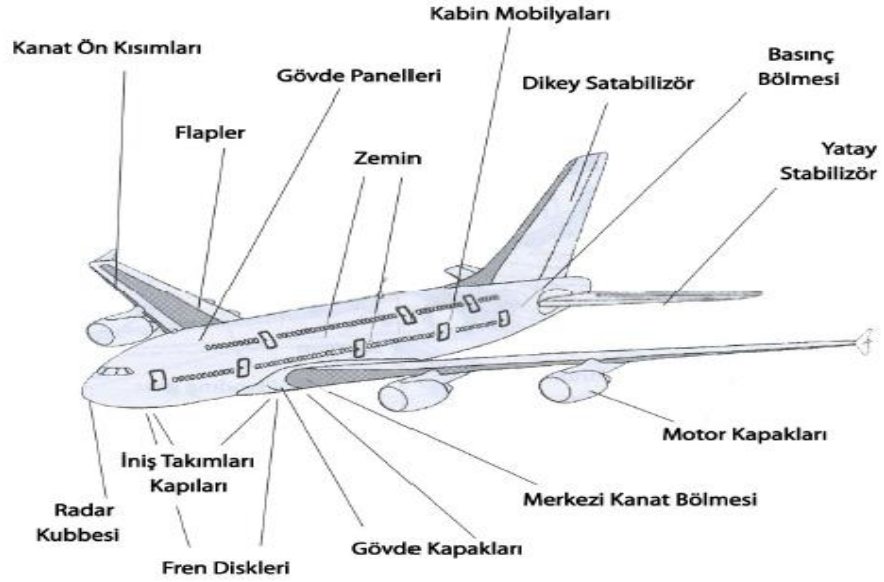
- Sürekli fiber takviyeli SMK,
- Süreksiz takviyeli SMK.

Süreksiz takviyeli SMK malzemeler visker, partikül, plaka, fiber ve insitu katkılı kompozit yapıları kapsar ve enjeksiyonla kalıplama, şerit döküm, çamur döküm vb. metotlarla form verilir ve ardından da sinterlenirler. Sürekli fiber takviyeli SMK'lar ise emdirme (sol, eriyik, buhar vb.) metoduyla hazırlanırlar. Sürekli fiber takviyeli SMK'lar da kendi içlerinde karbon-karbon kompozit yapılar, karbon fiber takviyeli karbon kompozit yapılar ve diğer kompozit yapılar olarak sınıflandırılmaktadır [56].

5.1.3. Polimer matrisli kompozitler (PMK)

Metal ve seramiklere göre çok daha kompleks olan polimerler kompozit imalatında matris olarak kullanıldığında kolay form verilebilen, kullanım ömrü uzun, korozyona dirençli, birim kütle başına taşıyabileceği yük kapasitesi yüksek, aşınma dayanımı ile darbe özellikleri iyi malzemelerdir. Fakat kullanım sıcaklıkları ve elastik modülleri düşüktür. Çok fazla kullanım alanları olmasına rağmen, anizotropik yapıları nedeniyle talaşlı imalat açısından problemlidirler. Bu durum kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bu grupta en çok kullanılan takviye malzemeleri aramid, cam fiber, karbon fiber ve bor fiberlerdir. Polimer matrisli kompozitler, ısıl sert ve ısıl yoğruk matrisli kompozitler olarak ikiye ayrılırlar ve takviye elemanı genel olarak sürekli fiberlerdir [57].

Metal, seramik ve polimer malzemelerin farklı oranlarda bir araya getirilmesi ile oluşturulabilen kompozitler, tek başlarına bu malzemelerin sahip olamadıkları nitelikleri sağlayabilmektedirler. Bu niteliklerden dolayı kompozitler çağımızın en önemli mühendislik malzemeleri haline gelmiş olup denizcilik, otomotiv, petrol, tüketim malları, spor endüstrileri ve Şekil 5.3.'te görüldüğü gibi havacılık ve uzay sanayisi gibi alanlarda önemli çözümler sunmuşlardır [55].

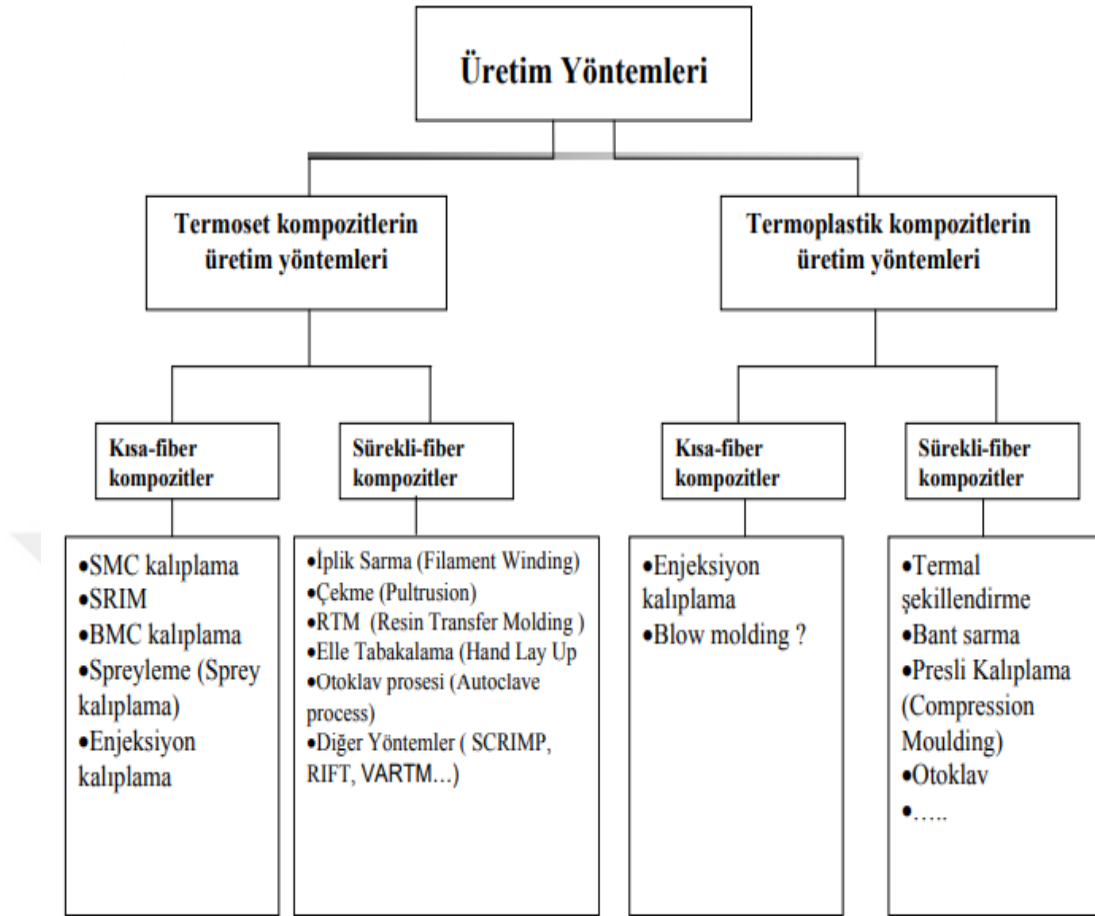


Şekil 5.3. Airbus A-380 model uçaklarda kullanılan kompozit parçalar [55].

5.2. Kompozit Üretim Yöntemleri

5.2.1. Polimer matrisli kompozit üretim yöntemleri

Polimer Matrisli kompozitlerin imalat yöntemleri aşağıda Şekil 5.4.'te görüldüğü gibidir.



Şekil 5.4. PMK üretim yöntemleri [58].

5.2.2. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin imalat yöntemleri aşağıda verilmiştir.

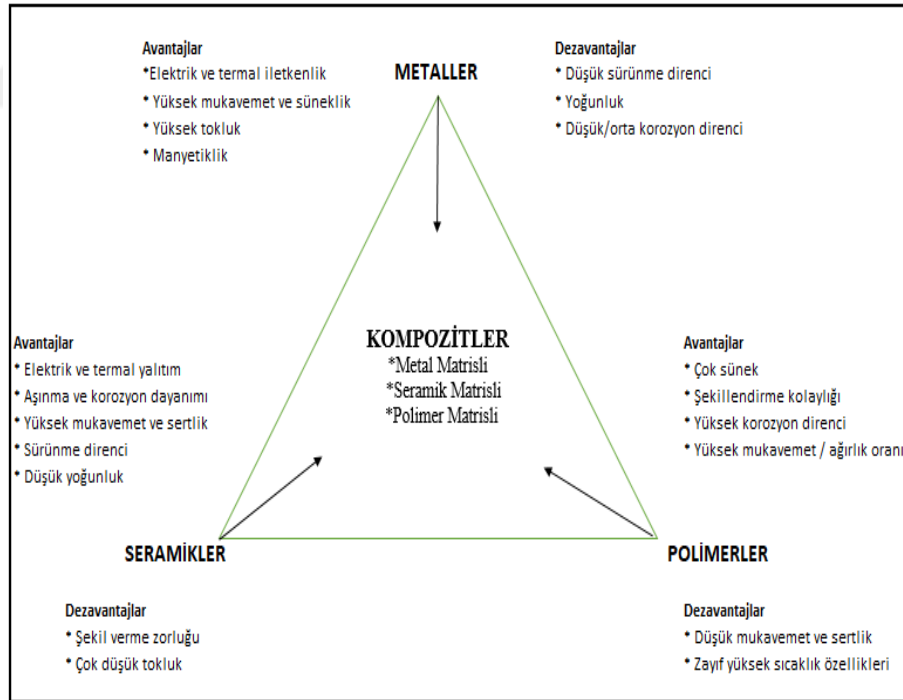
- Sıcak presleme yöntemi
- Toz metalurjisi yöntemi
- Sıvı metal emdirme yöntemi
- Elektroliz yöntemi
- Buhar çöktürme yöntemi
- Haddeleme yöntemi

5.2.3. Seramik matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

Seramik matrisli kompozit malzemelerin imalat yöntemleri aşağıda verilmiştir.

- Sıcak presleme
- CVD (kimyasal buhar kaplama)
- Kimyasal reaksiyonla tepkime bağlama
- Soğuk presleme ve sinterleme
- Tepkin sinterleme ve kendinden ilerleyen yüksek sıcaklık sentezi
- Seramik emdirme
- Sol-jel yöntemi

Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajlarını aşağıdaki Şekil 5.5.'te görmek mümkündür.

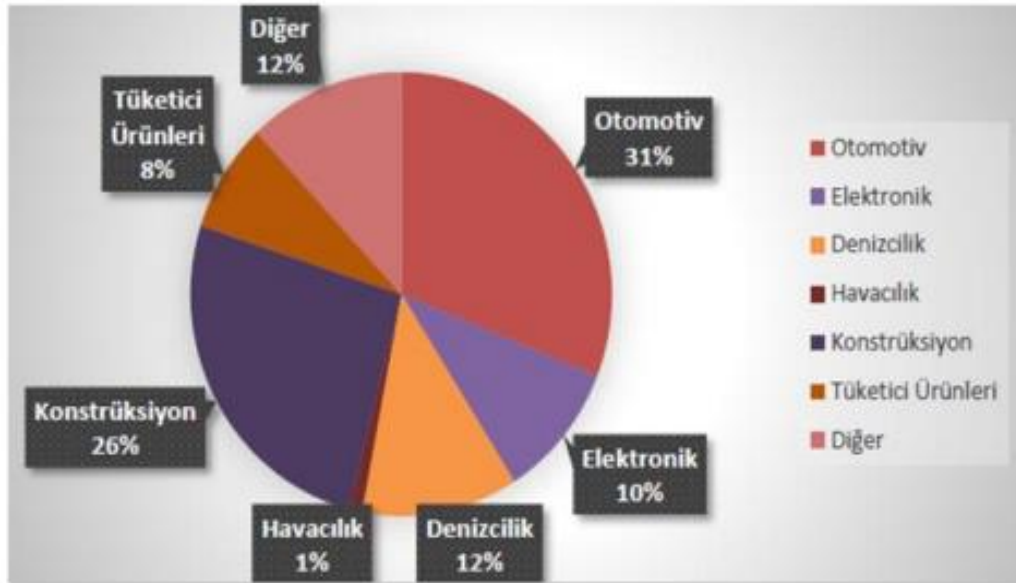


Şekil 5.5. Kompozitlerin avantaj ve dezavantajları [51].

5.3. Kompozitlerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeler uzay endüstrisi, tıp teknolojisi (tıbbi aletlerin üretimi), denizcilik sektörü, kimya endüstrisi, robot teknolojisi, inşaat ve yapı sektörü, elektrik-elektronik sanayi, müzik aletleri imalat sanayi, otomotiv sanayi, gıda ve tarım sektörü, savunma sanayi ve havacılık sanayi, spor aletleri üretimi (yüksek atlama sıırıkları, kayak, yarış tekneleri, tenis raketleri, sörf vs.) gibi birçok farklı sektörde kullanılmaktadır [51].

Kompozitlerin endüstri kollarında dünya çapında hacim ve kıymet olarak dağılımı değişkenlik göstermektedir. Mali değer olarak pazarda havacılık ve uzay ile rüzgâr enerjisi sektörleri da ilk sıralarda bulunurken hacim olarak ise listenin sonlarında bulunmaktadır. Bunun sebebi, bu sektörlerdeki kompozit malzemelerin ortalama fiyatlarının diğer sektördekilerden daha fazla olmasıdır. Şekil 5.6.'da ve Tablo 5.2.'de sektörlere göre kompozit malzemelerin hacimsel dağılımını ayrıntılı olarak görülmektedir [59].



Şekil 5.6. Kompozit malzemelerin kullanım alanları [59].

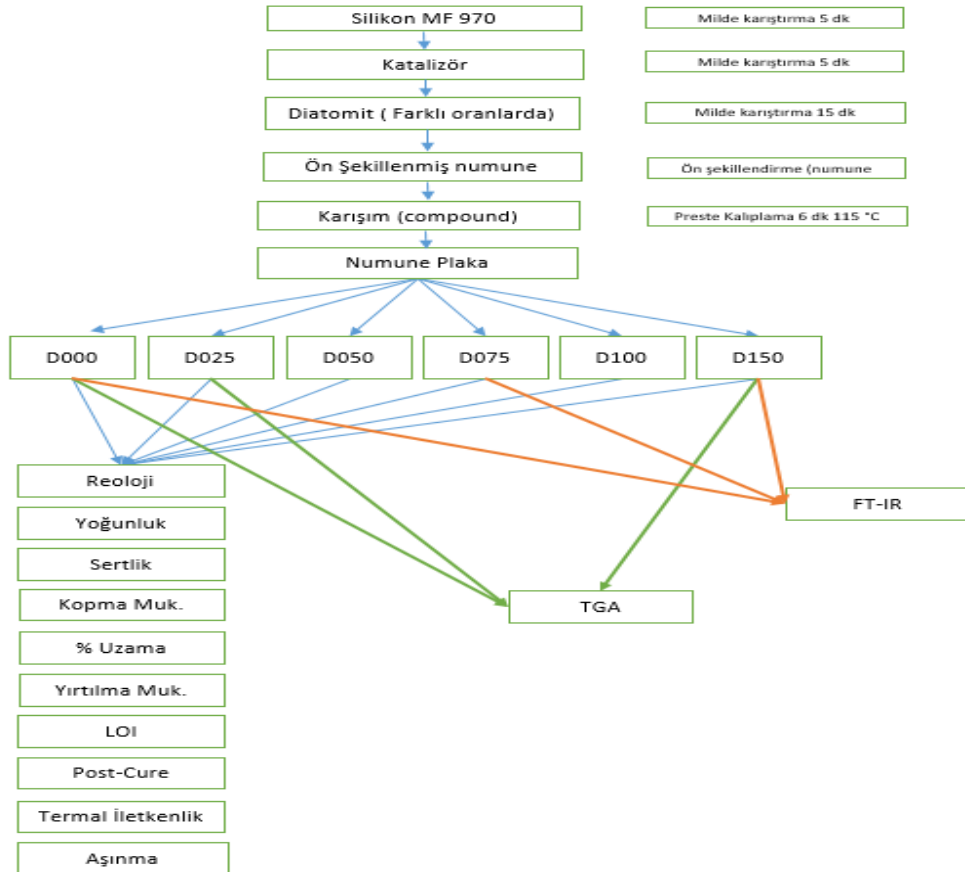
Tablo 5.2. Kompozit malzemelerin sektörlere göre hacim olarak dağılımı (%) [60].

Sektörler	Dünya (%)	Avrupa (%)	Türkiye (%)
Yapı ve İnşaat	25	18	18
Taşımacılık ve Otomotiv	21	30	20
Elektrik ve Elektronik	19	14	3
Tüketim Malları	6	3	2
Rüzgar Enerjisi	7	12	5
Boru ve Tank	14	14	45
Uzay ve Havacılık	1	1	—
Denizcilik	4	5	2
Diğer	4	2	1

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deney Programı

Bu çalışmada silikona diatomit katkısının etkileri araştırılmıştır. Silikon esaslı ana reçeteye 5 farklı oranda diatomit eklenerek oluşturulan reçetelerden hazırlanan numunelere çeşitli mekanik ve termal testler uygulanarak diatomit katkısının etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar Şekil 6.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Deneysel çalışmalar akış şeması

6.2. Kullanılan Hammaddeler

6.2.1. MF 970 USP silikon

Diatomit katkısının silikonun özelliklerine etkisinin incelendiği bu çalışmada kullanılan kompozit ana matris elemanı olan silikon Elkem Company firmasına ait MF 970 USP 'dır ve tipik özellikleri aşağıda Tablo 6.1.'de verilmiştir. MF 970 USP iyi mekanik özellikler elde edebilmek için kalıplama, ekstrüzyon ve enjeksiyon için tercih edilen bir silikondur.

Tablo 6.1. MF 970 USP özellik tablosu [61].

Tipik Özellikler	Değer	Birim
Yoğunluk	1,17	g/cm ³
Uzama	450	%
Sertlik	70	sh.A
Yırtılma Mukavemeti	20	KN/m
Kopma Mukavemeti	8,3	N/mm ²

6.2.2. Diatomit

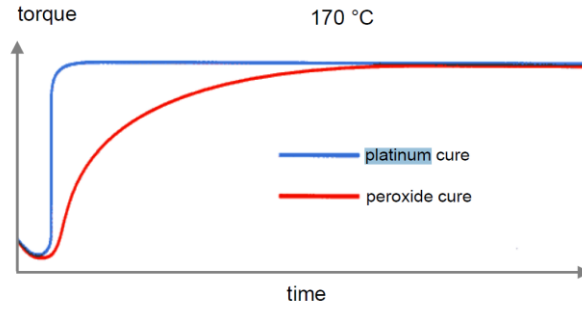
Silikon ana matrisine katılan takviye malzemesi diatomit ise Begtuğ firmasına ait Turko-00 adlı üründür. tane boyu, d(0,9) değeri 18,8 mikrondur ve içeriği aşağıda Tablo 6.2.'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Diatomit bileşimi [44].

İçerik	Ateş Zaiyatı %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MgO %	Na ₂ O %	SiO ₂ %	TiO ₂ %
Miktar	11,75	5,6	1,05	2,15	0,3	0,95	0,25	77,05	0,25

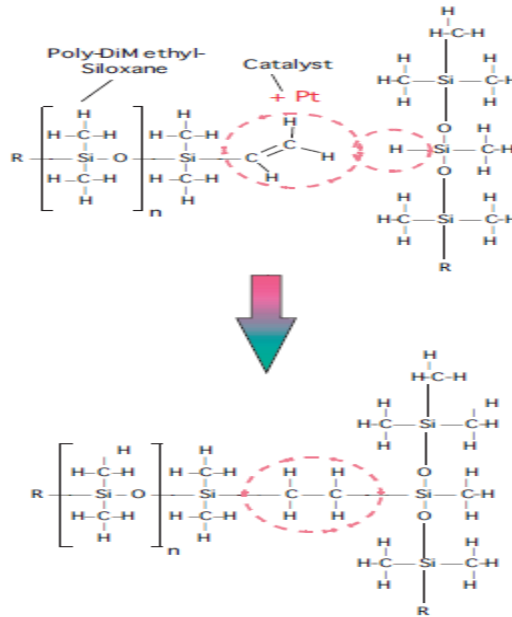
6.2.3. Platin katalizör

Çapraz bağ yapma kinetiğinin platin katalizör ve peroxide katalizör kullanımına göre değişim grafiği aşağıda gösterilmiştir (Şekil 6.2.). Grafikten de görüleceği üzere platin katalizör ile kürlenme peroxide nazaran çok daha kısa sürede tamamlanmaktadır.



Şekil 6.2. Platin ve peroxide katalizörün çapraz bağ yapma kinetiği [62].

Platin katalizörün çapraz bağ yapma davranışı aşağıda Şekil 6.3.'te gösterilmiştir. Platinyum C=C çiftli bağının açılmasını sağlayarak diğer polimer zinciri ile çapraz bağ oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 6.3. Platin katalizör çapraz bağ yapma mekanizması [63].

6.3. Yöntem

Çalışmada hazırlanan silikon matrisli kompozit malzeme katı silikon içinde ilk defa denenecek bir katkı olan diatomit olup bu katkı malzemesinin silikona mekanik ve termal özellikler olarak nasıl etki ettiği incelenmiştir. Hazırlanan kompozit karışım bileşimleri ve kodlama sistemi Tablo 6.3.'te verilmiştir.

Karışımların hepsinde baz silikon ve katalizör oranı sabit tutularak etkisini incelemek istediğimiz diatomitin oranı kademeli olarak artırılarak numuneler hazırlanmıştır. Diatomit oranları Tablo 6.3.'te görüleceği üzere %0 - %2,5 - %5 - %7,5 - %10 ve %15'tir.

Tablo 6.3. Hazırlanan kompozit bileşimleri (% ağırlıkça) ve kodları

Numune Adı	Baz Silikon	Diatomit %	Katalizör %
D000	MF 970	-	1,50%
D025	MF 970	2,50%	1,50%
D050	MF 970	5%	1,50%
D075	MF 970	7,50%	1,50%
D100	MF 970	10%	1,50%
D150	MF 970	15%	1,50%

Yukarıda Tablo 6.3.'te görülen 6 adet numuneye aşağıda listelenen testler uygulanmış ve test sonuçları yorumlanmıştır.

Uygulanan Testler

- 1) Reoloji
- 2) Yoğunluk tayini
- 3) Sertlik tayini
- 4) Kopma mukavemeti tayini
- 5) Yırtılma mukavemeti tayini
- 6) % Uzama tayini
- 7) LOI (Limiting Oxygen Index)

- 8) Post-kür (Post-cure) sonrası ağırlık değişimi
- 9) FT-IR spektrometrik analiz
- 10) TGA
- 11) Termal iletkenlik
- 12) Aşınma

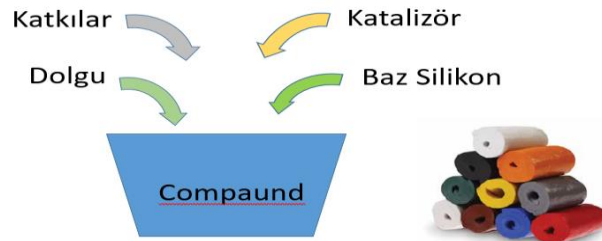
6.3.1. Silikon matrisli kompozit (compaund) hazırlama

Endüstride silikon hamuru da denilen silikon ana matrisli ve istenilen özelliğe göre farklı birçok katkı malzemesinin kullanılabildiği kompozit malzemelere compaund (karışım) denilmektedir.

Karışımlar yukarıda da bahsedildiği üzere kullanılacağı yerin özelliklerine göre (ısıya, yağa, yırtılmaya dayanım vb.) katkı malzemeleri (additive) ve yoğunluk veya maliyet düşürmek amaçlı kullanılan dolgu malzemeleri eklenerek hazırlanan (Şekil 6.4.) karışımlardır.

Karışımlar hazırlanırken aşağıdaki parametreler önemlidir.

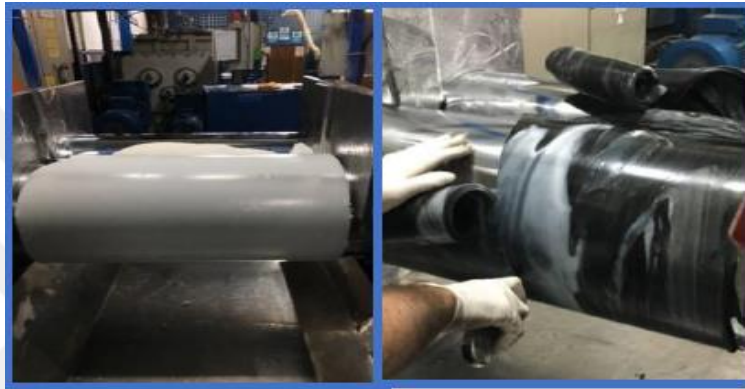
- Kullanım yeri
- İklim ve kimyasal koşullar
- Yüksek sıcaklığa maruz kalma
- Yiyecek ve su teması



Şekil 6.4. Şematik olarak karışım (compaund) hazırlama

Karışım hazırlamak için öncelikle karışımı oluşturacak malzemelerin miktarları belirlenir. Bu miktar belirleme işlemi birçok parametreye ve geçmiş deneyimlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Belirlenmiş olan formüle istinaden karışımı oluşturacak malzemeler belirli gramajlarda hazırlanır ve sıra ile silikona eklenerek bir bamburi de ya da bir karıştırma milinde karışım hazırlanmaya başlanır.



Şekil 6.5. Silikon karıştırma (Compound hazırlama) mili

Karışım hazırlama esnasında öncelikli olarak baz silikon min. 3, max. 25 kg (karıştırıcı milin büyüklüğüne ya da karıştırıcı tipine göre bu miktarlar değişkenlik gösterebilir) olacak şekilde tartılarak alınır ve karışım milinde 5 dk kadar yumuşatma amaçlı karıştırılır. Akabinde ikinci sırada katalizör silikon miktarına ve türüne göre belirlenen miktarda katılır ve 10 dk daha karıştırılır. Üçüncü sırada katkı (takviye) malzemesi katılır ve karıştırma işlemi devam eder (5 dk). En son olarak renklendirme işlemi için boya katılır ve homojen bir yapı oluşuncaya kadar karıştırma işlemi devam eder. Bu işlem ortalama toplamda 25-30 dk sürer.

Bu çalışma için numunelerin hazırlanma aşamasında ise her bir numune kompozit için 1 kg lık karışımlar hazırlandı. Öncelikle her bir numune için MF 970 silikon belirlediğimiz miktarda alınarak (Şekil 6.5.) karışım milinde yumuşatıldı. Yumuşatılan silikon içine katalizör eklendi ve milde karıştırılmaya devam edildi. Homojen karışım elde edildikten sonra formüllerdeki değişik oranda yer alan diatomit miktarlarına göre

her bir numune için farklı oranda diatomit eklenerek karışım milinde karıştırma işi devam ettirildi ve ortalama 15-20 dk sonra numune karışımlar elde edildi. Akabinde numuneler şekillendirme milinde 5 mm kalınlığında 300 mm uzunluğunda şekillendirildikten sonra kalıplama işlemine geçilmiştir.

6.4. Numunelerin Hazırlanması ve Yapılan Testler

Tablo 6.3.'te içerikleri belirtilen formüllerden hazırlanan numune kompozit karışımlarını hidrolik preste 100x200x2 mm ölçülerinde plakalar halinde 115 °C de 6 dk sürede kürlenmesi için sıcaklık ve basınç uygulanmıştır. Üretilen bu plakalara (Şekil 6.6.) aşağıda başlıklarda belirtilen testler yapılmıştır.



Şekil 6.6. Numune kompozit plakalardan örnek görüntü

6.4.1. Reoloji

Reometri, polimerik malzemelerin reolojik niteliklerini tespit etmek için kullanılan deneysel yöntemi ifade eder. Kürlenme için kullanılan cihazımız Gibitre RheoCheck Profile-MD marka cihazdır (Şekil 6.7.). Reoloji, akış, biçim bozulması ve zaman arasındaki karşılıklı ilişkiyi gösteren maddenin akışı ve biçim bozukluğu olarak tanımlanmaktadır.

Dinamik reoloji ölçümünde bir malzemeye sürekli olarak yükselip azalan gerinim belli bir sıklık aralığında tatbik edilir ve en yüksek gerilim, gerinim ve ayrıca gerilim arasındaki faz farklılığı tespit edilir. Malzeme eğer ideal elastik bir malzeme davranışı

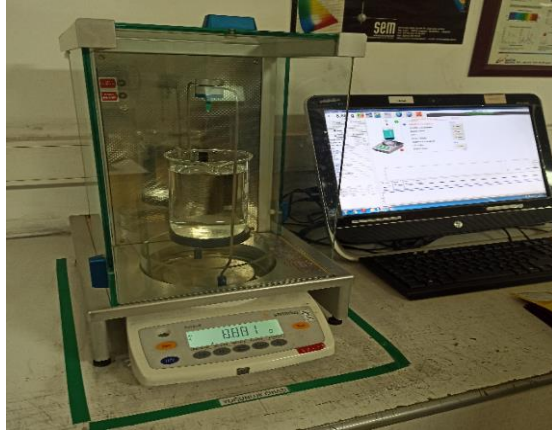
gösterirse, oluşan gerilim, gerinim ile doğru orantılıdır ve gerilim ve gerinim sinyalleri aynı fazdadır. İdeal elastik malzeme davranışı Hooke Kanunu ile ifade edilir. İdeal viskoz (akışkanlığı düşük) malzemeler için, gerilim ile gerinim hızı doğru orantılıdır ve gerilim ile gerinim arasında 90 derecelik bir faz farklılığı vardır. İdeal viskoz bir malzemenin davranışı Newton Kanunu ile temsil edilir. Viskoelastik malzemeler için gerilim ve gerinim arasındaki faz farklılığı elastik (0°) ve viskoz (90°) davranışların arasında bir değer alır [64].



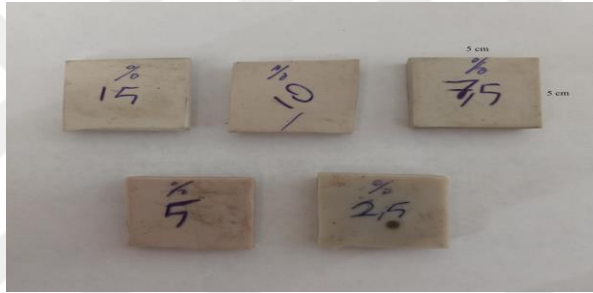
Şekil 6.7. Rheometre (kürlenme süresi tayin) cihazı

6.4.2. Yoğunluk

Yoğunluk tayini için kullanılan cihazımız Gibitre Instruments marka Density Pack model bilgisayar destekli ölçüm cihazıdır (Şekil 6.8.). Kompakt ve emici olmayan malzemelerin % kütle ve hacim değişimlerinin otomatik olarak tespitini PC kontrollü olarak yapar. Ölçüm metodu Arşimed yoğunluk ölçüm metodudur ve hesap yöntemi aşağıda Denklem 6.1 de verilmiştir. Yoğunluk ölçümü yapılan numuneler Şekil 6.9.'da verilmiştir.



Şekil 6.8. Yoğunluk ölçüm cihazı



Şekil 6.9. Yoğunluk ve sertlik ölçüm numuneleri

Katı madde havada tartıldıktan sonra (A), ardından özgül ağırlığı belirli yardımcı bir sıvı içinde (B) tartımı alınır. Katı maddenin özgül ağırlığı (ρ) aşağıdaki biçimde hesaplanır.

$$\rho = \frac{A}{A-B}(\rho_o - \rho_L) + \rho_L \quad (6.1)$$

ρ = Numune özgül ağırlığı

A = Numunenin havadaki ağırlığı

B = Numunenin yardımcı sıvıdaki ağırlığı

ρ_o = Yardımcı sıvının özgül ağırlığı

ρ_L = Havanın özgül ağırlığı

6.4.3. Sertlik

Sertlik ölçümü için Gibitre Shore – PC Type A marka cihaz kullanılmıştır. Shore sertlik değeri esnek malzemelerin yada plastiklerin sertlik değerini tespit etmek için kullanılan yönteme denir. Polimerlerin, elastomerlerin, süngerlerin, kauçukların, kumaşların, sertliğini tespit etmek için de kullanılabilir. Ölçüm yöntemlerinden en çok Shore-A ve Shore-D yöntemi kullanılmaktadır. Tez çalışmasında da Shore-A yöntemi kullanılmıştır (Şekil 6.10.). Yöntemler batıcı uç ve kullanılan ağırlığa göre sınıflandırılır [65].

Shore-A yöntemi kullanılarak; genel itibari ile elastomer, lastik, deri, pvc, vinil, kauçuk, silikon kauçuk, neopren, gibi yumuşak malzemelerin sertliğini, Shore-D yöntemi ile de ABS, naylon, polyester, poliüretan, kevlar, ahşap, poliamid, akril ve polistiren gibi daha sert malzemelerin sertliğini belirlemede kullanılmaktadır.

Shore-D yöntemi mühendislik plastiklerinin sertliğinin ölçümünde kullanılmaktadır. Bu yöntemde, batıcı ucun sertliği ölçülen malzemeye batma derinliği ölçülmektedir. Dalma ucu, uluslararası standartlarca tanımlanmış niteliklere haiz yaylı bir mekanizma vasıtasıyla hareket ettirilmektedir. Malzeme sertliği ne kadar yüksekse dalma derinliği o denli düşük; fakat uygulanmış olan kuvvet de bir o kadar yüksek olacaktır.

Shore-A ve Shore-D yöntemleriyle birlikte Shore-B, Shore-C, Shore,E, Shore-M, Shore-O Shore-OO gibi metotlar da kullanılmaktadır. Malzemenin türüne bağlı olarak bu yöntemler belirlenmektedir. Ölçüm cihazının ucunda bulunan iğnenin kalınlığına, kullanılan yayın kuvvetine ve sivrilik açısına göre yöntemlerin ismi değişmektedir.

Ölçüm genel olarak ASTM D2240 veya ISO 868 (7619) standardına göre yapılmaktadır [65].



Şekil 6.10. Sertlik ölçme cihazı.

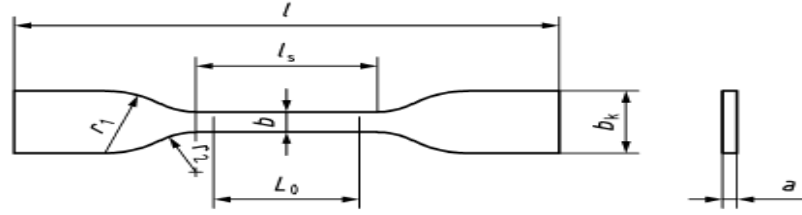
6.4.4. Kopma mukavemeti

Çekme – Kopma tayini için kullanılan cihaz Gibitre Tensor Check marka bilgisayar destekli tamamen programlanabilir mekanik testlerin yapılabildiği test cihazıdır (Şekil 6.13.).

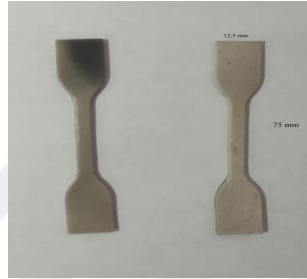
Çekme - Kopma testi için DIN 53504 nolu standartta uygun olarak S2 ölçülerinde kaşık numune hazırlandı (Tablo 6.4., Şekil 6.11. ve 6.12.).

Tablo 6.4. DIN 53504'e göre numune ölçü tablosu [66].

Maße		Schulterstab				
		S 1	S 1A	S 2	S 3	S 3A
Gesamtlänge	l (min.)	115	100	75	35	50
Breite der Köpfe	b_k	25	25	12,5	6	8,5
Länge des Stegs	l_s	33	25	25	12	16
Breite des Stegs $\pm 0,05$	b	6	5	4	2	4
Übergangshalbmesser, innen	r_1	25	20	12,5	3	10
Übergangshalbmesser, außen	r_2	14	11	8	3	7,5
Dicke	a	$2 \pm 0,2$	$2 \pm 0,2$	$2 \pm 0,2$	$1 \pm 0,1$	$2 \pm 0,2$
Anfangsmesslänge	L_0	25	25	20	10	10



Şekil 6.11. Kaşık numune [66].



Şekil 6.12. Kaşık numune



Şekil 6.13. Çekme - Kopma test cihazı

Çekme uzaması ve çekme modülü ölçümleri, malzemelerin özelliklerinin bilinmesi açısından en önemli belirleyici faktör. Çekme testi bir malzemenin değişken yükler altındaki davranışlarının ve kopma anındaki uzamanın ve kopma mukavemetinin belirlenmesinde yardımcı olan bir ölçme yöntemidir. Çeşitli tiplerdeki polimer malzemeler büyük bir sıklıkla çekme dayanımlarına, uzamalarına ve çekme modüllerine kıyaslanır. Çekme testlerinden elde edilen veriler tasarımda doğru polimerin seçiminin yapılabilmesi için gereklidir [67].

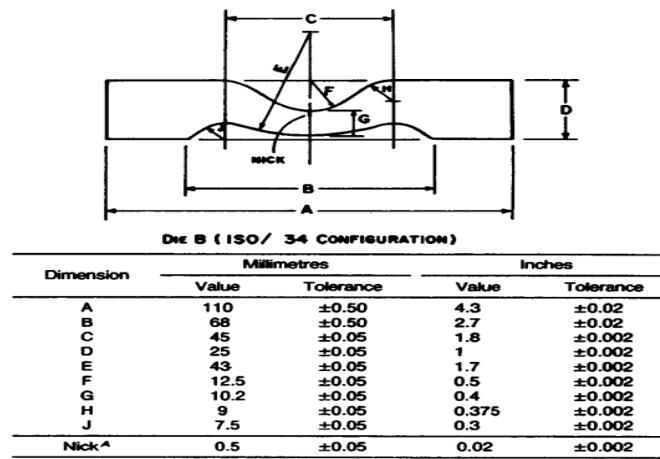
Test numunenin her iki ucunun test cihazının çeneleri arasına sıkıştırılıp çenelerin diğerinin sabit olarak hareket etmesiyle gerçekleştirilir. Numunenin boyundaki uzama ve numunenin gösterdiği dirence karşılık gelen yük değeri makine tarafından kaydedilir. Parça kopana kadar işlem devam eder. Kopma anındaki gözlenen uzama, numunenin kopmada uzama değeridir. Kopma anında uygulanan yük değeri de makine tarafından kaydedilir. Akmadaki ve kopmadaki çekme değerleri hesaplanır [67].

6.4.5. Yırtılma mukavemeti

Yırtılma tayini için kullanılan cihaz yine Gibitre Tensor Check marka çekme – kopma testini yaptığımız bilgisayar destekli tamamen programlanabilir mekanik testlerin yapılabildiği test cihazı kullanılmıştır.

Cihaz başlangıç konumuna ayarlanıp sıfırlandıktan sonra numune cihazın iki çenesi arasına sabitlenerek yırtılması için kuvvet uygulanır. Yırtılma anında uygulanan kuvvet skaladan okunarak test sonlandırılır.

Yırtılma mukavemeti testi için ASTM D 624 nolu standarta uygun olarak B ölçülerinde kaşık numuneler hazırlandı ve bu numuneler ile testler yapıldı (Şekil 6.14. ve 6.15.).



[^] Nick to be cut in specimen with a razor.

Şekil 6.14. Yırtılma testi numune ölçüleri [68].



Şekil 6.15. Yırtılma testi numunesi

6.4.6. % Uzama miktarı

Uzama tayini için kullanılan cihaz çekme – kopma ve yırtılma testinin yapıldığı Gibitre Tensor Check marka bilgisayar destekli tamamen programlanabilir mekanik testlerin yapılabildiği test cihazıdır.

Uzama testi için DIN 53504 nolu standarta uygun olarak S2 ölçülerinde (Tablo 6.4. ve Şekil 6.11.) kaşık numune hazırlanarak kullanılmıştır (Şekil 6.12.). Uzama miktarı tespiti çekme - kopma testi anında ölçülen bir değerdir. Numune, ölçüm cihazında test sırasında kopma mukavemetini ölçmek için uzatılırken numunenin kopması anındaki ölçülen boy değişim oranıdır. Polietilen ve bazı polimerler çekme kuvveti altında kopmadan önce ki boyları ilk boylarının ortalama beş katına kadar sünebilir. Tabii lastik (NR) kopmadan önce başlangıç boyunun 3-4 katı kadar uzar [67].

6.4.7. LOI (Limiting oxygen index)

Tüm malzemeler yanabilmek için oksijene ihtiyaç duyar ve her malzemenin ihtiyaç duyduğu oksijen miktarı farklıdır. İhtiyaç duyulan oksijen miktarına LOI – Limit Oksijen İndeksi (Limiting Oxygen Index) adı verilir.

Örneğin pamuğun LOI değeri %18'dir. Ortamda (atmosferde) %21 oranında oksijen bulunur. Pamuğun ihtiyaç duyduğu değerden (%18) daha fazla oksijen bulunduğundan pamuklu bir kumaş çakmakla yakıldıktan sonra ve çakmak ateşi söndürüldükten sonra

pamuklu kumaş kendi kendine yanmaya devam eder. Çünkü ihtiyaç duyduğu %18 oksijenden daha fazlası atmosferde vardır.

Bu nedenle Pamuk + Oksijen + Çakmak bir araya geldiğinde yanma oluşur.

Aramid malzemelerde LOI değeri %28-32 civarındadır. Bu değer %21'in üzerinde olduğundan aramid malzemeyi çakmakla yakıp çakmağı söndürdüğünüzde aramid yanmaya devam etmez, söner. Çünkü yanmaya devam etmek için ihtiyaç duyduğu yeterli oksijen ortamda yoktur [69].

Silikon karışıma eklediğimiz diatomitin yanmaya olan etkisini incelemek için numuneleri LOI testi yapılmıştır (Şekil 6.16.).



Şekil 6.16. LOI test cihazı

6.4.8. Post-kür öncesi - sonrası ağırlık değişimi

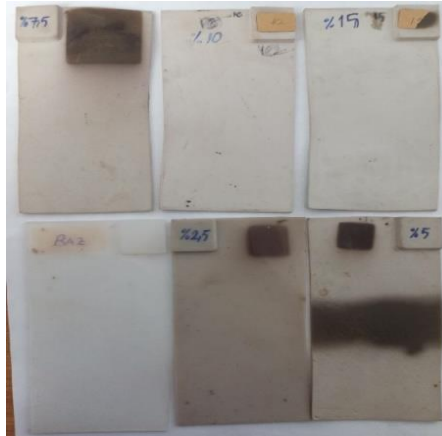
Silikon karışımların çapraz bağ yapabilmesi ve kürlenebilmesi için kullanılan peroksitler, oksijene karşı duyarlı olduklarından bir taraftan çapraz bağlanma yaparken diğer taraftan oksitleyici özelliklerinden dolayı C – C bağlarını koparıp depolimerizasyona sebep olur. Bu nedenle silikon karışımlar çoğunlukla ilave kürlenmeye (post-cure) ihtiyaç gösterirler [70].

Ayrıca post-kür işlemi esnasında yapı içindeki çapraz bağlanmaya katılmayan peroksitler ve uçucu gazlar yapıdan uzaklaştırılmaktadır. Buda belli bir miktar kütle kaybına neden olmaktadır.

Bu çalışmada post-kür işlemi, numuneler 4 saat 200 °C de etüv fırınında tutularak yapılmıştır (Şekil 6.17. – 6.18.).



Şekil 6.17. Post-kür öncesi numuneler



Şekil 6.18. Post-kür sonrası numuneler

6.4.9. Termal iletkenlik katsayısı

Isı iletimi; katı bir malzeme ya da durgun sıvı içindeki sıcaklığı yüksek bir bölgeden bu bölgeye göre nispeten sıcaklığı daha düşük olan diğer bölgeye ısının iletilmesidir.

Herhangi katı bir cisim içerisinde sıcaklık farkı olan bölge var ise ısı yüksek sıcaklığın olduğu bölgeden düşük sıcaklığın olduğu bölgeye iletim yolu ile geçerek dengelenir. Hazırlamış olduğumuz test plakaları Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ÜSKİM Laboratuvarına gönderilmiş ve orada ASTM C1113 -90 Hot Wire metoduyla termal iletkenlik değerleri tespit edilmiştir.

6.4.10. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Moleküllerin yapılarında bulunan bağların tanımlanması yoluyla temel bilimlerde, sağlık bilimlerinde ve mühendislik alanlarında fazlaca kullanılan bir yöntem olan Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, moleküller içindeki bağların yapmış olduğu dönme ve titreşim hareketleri ile üzerlerine yönlendirilen kızılötesi ışınları soğurması temeline dayanır [71].

Plastikler, dolgu maddeleri, harmanlar, yapışkanlar, boyalar, kaplamalar, kauçuklar, reçineler vb. gibi bileşikler kısa sürede ve kesin olarak saptamak için FTIR spektroskopisi kullanılır. Ürün ömrünün her aşamasında tasarım, imalat ve arıza analizi de içinde olmak üzere tatbik edilebilir. Bu, ürün geliştirmede, kalite kontrolünde ve problem çözmede çalışan bilim insanları ve mühendisleri için çok faydalı bir yöntemdir. Diğer kullanıldığı yerler ise; kopolimer ve harman değerlendirmesi, temel ilaç araştırması ve yapısal açıklama, formül geliştirme ve doğrulama, katkı tanımı ve miktarı, moleküler parçalanma değerlendirmesi, kirleticilerin tanımlanması - dökme ve yüzey ve materyallerin kalite kontrol işlemleri [71].

Diatomit katkılı numunelerde de JASCO FT/IR-4700 model cihazda FTIR testleri yapılmıştır (Şekil 6.19.).



Şekil 6.19. FT-IR Spektrometre

6.4.11. Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetri, ısı analiz yöntemlerinden birisidir. Test örneği uygun bir ortamda (hava ya da inert gaz altında) belli bir hızda ısıtılırken kütlesindeki kayıp sıcaklığa karşı kaydedilir. Analizde inert gaz kullanıldığında ısı bozunma, oksijen ve hava varlığında yapılan ısıtmada ise ısı oksidatif bozunma eğrisi elde edilir [30].

TGA malzemenin hangi sıcaklıkta ağırlık kaybına uğradığını tespit eder. Bu ağırlık kaybı numunenin bozunduğunu ya da buharlaştığını ifade eder. Bununla birlikte, ağırlık kaybının bulunmadığı sıcaklık aralığı(veya aralıkları)nı da belirtir. Bu da malzemenin kararlı olduğu durumu ifade eder [72].

Belirli bir sıcaklığa çıkarılan numunenin, TGA ile tespit edilen ağırlık kaybı verisi, bir bileşiğin bileşimini saptama ve bozunma anındaki tepkimeleri izleme kolaylığı sağlar. Ayrıca karışımdaki belli bir bileşiğin yüzdesel oranının tespitine de imkan verir [72].

Diatomit katkılı silikon kompozit numunelerde TGA analizi HITACHI STA 7200 model cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.20.).



Şekil 6.20. TGA (Termogravimetrik Analiz Cihazı)

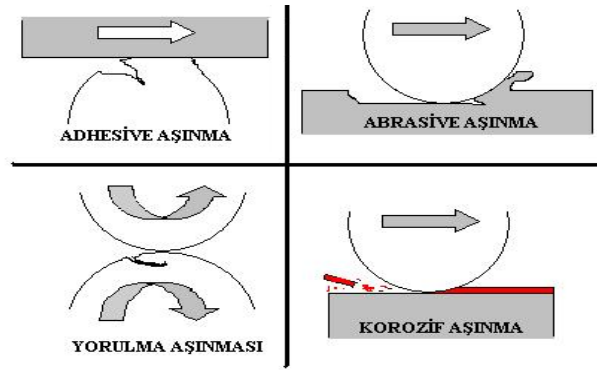
6.4.12. Aşınma

Aşınma, birbiri ile temas eden yüzeylerden mekanik etkiler nedeniyle mikro parçacıkların yüzeyden kopması sonucu malzeme kaybı ve aşınmaya maruz kalan cisimde istenilmeyen değişikliklerin meydana gelmesi olayıdır [73].

Aşağıda en önemli ve bilinen dört aşınma tipi sıralanmıştır.

- Adhesiv Aşınma,
- Abrasiv Aşınma,
- Yorulma Aşınması,
- Korozyon Aşınma.

Geleneksel olarak bilinen bu dört aşınma tipi, Şekil 6.21.'de görsel olarak ifade edilmiştir [74]. Endüstriyel elastomer uygulamalarında ürünler daha çok abrasiv aşınmaya maruz kaldığı için ürettiğimiz numunelerde analiz için bu yöntemi kullandık.



Şekil 6.21. Başlıca aşınma türleri [74].

Aşınma deneylerinde Devotrans marka DVT DA 6 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 6.22.). Cihazın aşındırıcı silindir devir hızı 40 ± 1 dev/dak., aşındırma basıncı ise 5N ($510 \text{ gr} \pm 0,2$) ve 10 N ($1020 \text{ gr} \pm 0,2$)' dur. İlerleme hızı 0,3 m/sn dir.



Şekil 6.22. Aşınma Testi Ölçüm Cihazı

Aşınma deney numune çapı 16 mm, kalınlığı 6 mm'dir (Şekil 6.23.). Teste başlamadan önce hazırlanan numune tartılır sonrasında numune cihaza bağlandıktan sonra 40 mt boyunca aşındırıcıya maruz bırakılır. Deney bitiminde numune cihazdan sökülerek tekrar tartılır ve başlangıç ile bitiş arasında ki kütle farkı hesaplanır.



Şekil 6.23. Aşınma test numuneleri

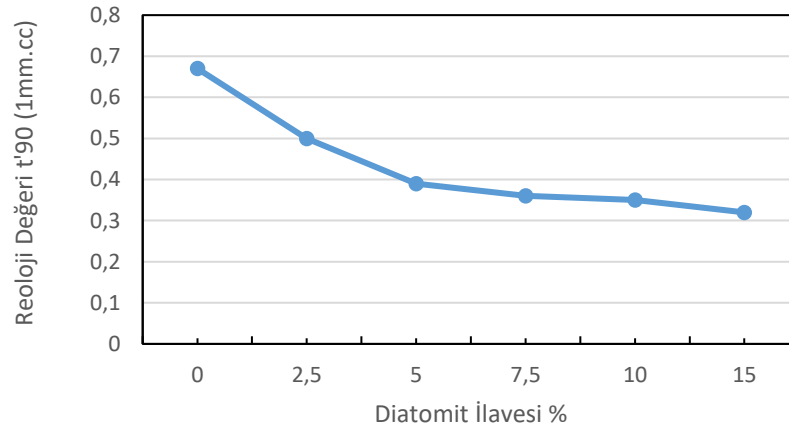
BÖLÜM 7. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

7.1. Reoloji

Silikona farklı oranlarda diatomit katkısı ile hazırlanan kompozitlerin reoloji çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 7.1.'de verilmiş olup Tablodaki verilerin grafikleri de Şekil 7.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Reoloji test sonuçları

Numune Adı	t' 90 1 mm.cc (dk)
D000	0,67
D025	0,50
D050	0,39
D075	0,36
D100	0,35
D150	0,32



Şekil 7.1. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak Reoloji değerlerinin değişimi

Tablo 7.1.'de görüldüğü gibi formül içerisindeki diatomit miktarının artışına bağlı olarak t'90 değeri azalmıştır. Yani çapraz bağlanmanın % 90 oranında tamamlandığı süre diatomit miktarı arttıkça azalmaktadır. Bunun nedeni olarak; diatomitin çapraz

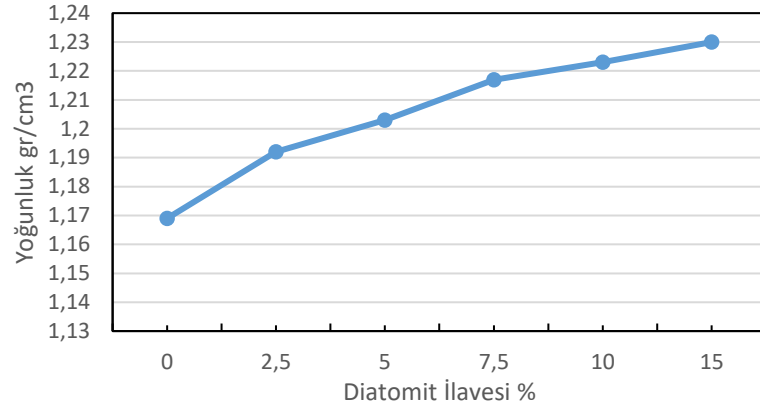
bağlanma reaksiyonuna katılmadığı, polimer zincirleri arasındaki boşluklarda konumlandığı dolayısıyla formüldeki diatomit miktarı arttıkça birim kompozit malzemedeki çapraz bağ yapacak polimer malzeme miktarının azaldığı bu yüzden de kürlenmenin daha kısa sürede gerçekleştiği düşünülmektedir. Benzer bir çalışmada Essawy ve ark. dolgu maddesi olarak montmorillonite kilinin, Akrilonitril Bütadien Kauçuğu(NBR) ve Stiren Bütadien Kauçuğu(SBR) karışımı üzerinde kuvvetlendirici ve bağ yapıcı etkilerini incelemişlerdir. Bunun için montmorillonite kilinden SBR-NBR karışımına farklı oranlarda eklemişler ve reolojik etkilerine baktıklarında optimum pişme süresi ($t'90$) değerinin düştüğünü gözlemlemişlerdir [75].

7.2. Yoğunluk

Kompozit malzemelerin yoğunluk sonuçları Tablo 7.2.'de belirtilmiş olup diatomit katkısı ile yoğunluk değerleri artış göstermektedir. Diatomitin yoğunluğunun silikonun yoğunluğundan yüksek olmasından dolayı Şekil 7.2.' den de görüldüğü gibi kompozit içerisinde diatomit miktarı arttıkça kompozit malzemenin de yoğunluğu ve buna istinaden birim miktar ağırlığının arttığı gözlenmiştir. Liu Pingyuan ve arkadaşlarının çalışmalarında da katkı ile yoğunluk artmaktadır [76].

Tablo 7.2. Yoğunluk testi sonuçları

Numune Adı	Yoğunluk gr/cm ³
D000	1,169
D025	1,192
D050	1,203
D075	1,217
D100	1,223
D150	1,230



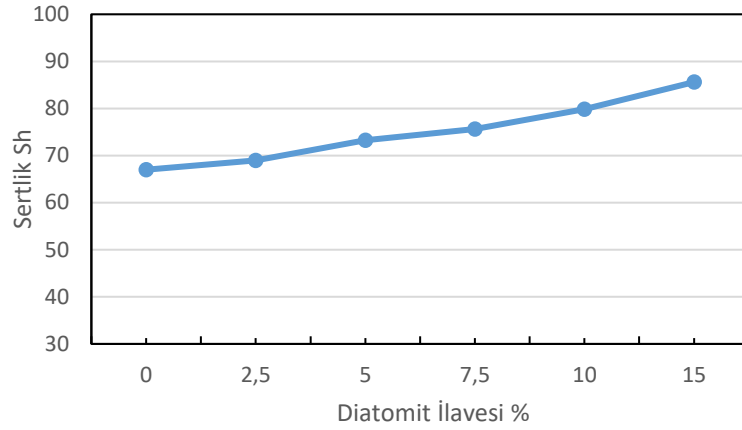
Şekil 7.2. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak yoğunluk değerlerinin değişimi.

7.3. Sertlik

Silikona diatomit katkısına bağlı olarak oluşturulan kompozit malzemelerin sertlik sonuçları Tablo 7.3.'de verilmiştir. Diatomitin sertlik değerinin silikondan yüksek olması nedeniyle birim hacimde artan diatomit miktarı ile kompozit malzemenin de sertliğinin toplamda %25 civarında arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 7.3.).

Tablo 7.3. Sertlik testi sonuçları

Numune Adı	Sertlik Sh A
D000	67
D025	69
D050	73,25
D075	75,63
D100	79,85
D150	85,6



Şekil 7.3. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak sertlik değerlerinin değişimi

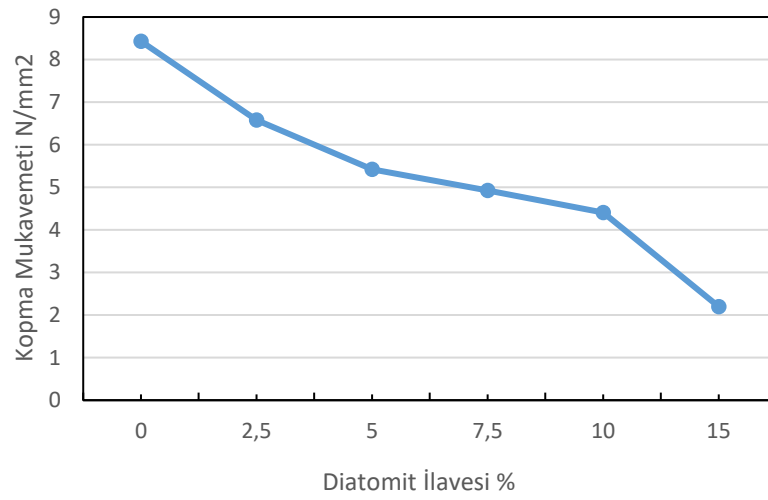
Zhen Zhang ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada dolgu çeşitlerinden biri olan organasilika-modifiye grafen oksit kullanımının da sertliği artırdığını gözlemlemiştir [77]. Yine aynı şekilde Yadav, S. Guruswamy ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada titanyum karbür tozunu dolgu olarak kullanarak silikon üzerindeki mekanik etkilerini incelediklerinde; artan dolgu miktarına göre sertlik ve yoğunluk değerlerinin arttığını gözlemlemiştirlerdir [78]. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak sertlik değerlerinin değişimi literatür ile uyumludur.

7.4. Kopma Mukavemeti

Kopma mukavemeti test sonuçları Tablo 7.4.'de grafiksel ifadesi de Şekil 7.4.'de gösterilmiştir. Kompozit malzemelerin kopma mukavemeti birim hacimde artan diatomit miktarıyla bariz miktarda düşüş göstermektedir. Bunun nedeni katkı olarak kullanılan diatomitin silikon elastomer ile bağ yapmaması ve birim miktarda kendi arasında bağ yapan silikon elastomer miktarının artan diatomit miktarıyla azalmasıdır. 2D BN nano plaka dolgunun etkilerini inceleyen Liu Pingyuan ve arkadaşlarının çalışmalarında da artan katkıyla kopma mukavemeti düşmektedir [76].

Tablo 7.4. Kopma testi sonuçları

Numune Adı	Kopma Muk. N/mm ²
D000	8,43
D025	6,58
D050	5,42
D075	4,93
D100	4,41
D150	2,2



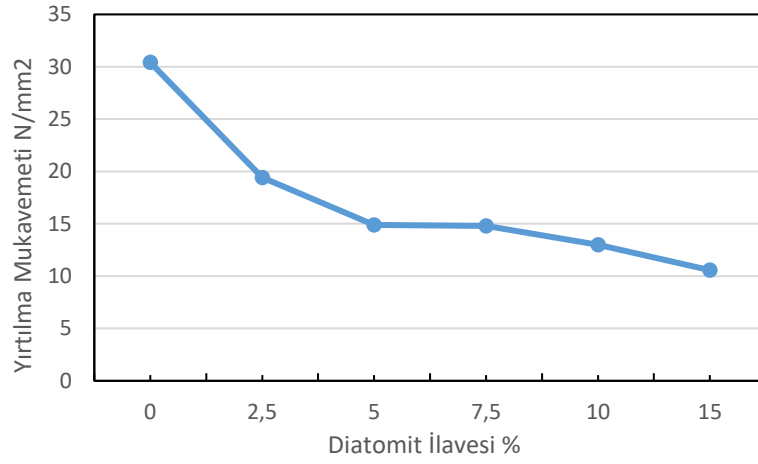
Şekil 7.4. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak kopma değerlerinin değişimi

7.5. Yırtılma Mukavemeti

Silikona diatomit katkısına bağlı olarak oluşturulan kompozit malzemelerin yırtılma mukavemeti sonuçları Tablo 7.5.'de verilmiştir. Katkısız silikon ile %5 diatomit katkılı kompozit arasında bariz bir mukavemet düşüşü (%50 civarında) gözlemlenmiştir (Şekil 7.5.). % 15 diatomit katkılı kompozitte % 65 oranında bir kayıp oluşmuştur (Tablo 7.6.). Yırtılma mukavemetindeki azalma diatomitin silikonun çapraz bağ miktarını azaltmasından kaynaklanmaktadır. Benzer sonuç literatürde de yer almaktadır [76].

Tablo 7.5. Yırtılma mukavemeti testi sonuçları

Numune Adı	Yırtılma Mukavemeti N/mm
D000	30,41
D025	19,43
D050	14,90
D075	14,79
D100	12,98
D150	10,57



Şekil 7.5. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak yırtılma mukavemeti değerlerinin değişimi

Yırtılma mukavemetindeki azalma oranlarının yer aldığı Tablo 7.6.'da görüleceği üzere toplamda % 65 oranında bir kayıp oluşmuştur.

Tablo 7.6. Yırtılma mukavemetindeki % azalma tablosu

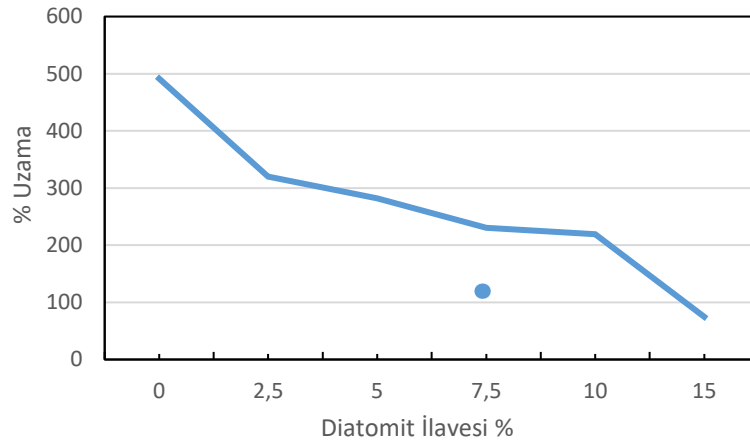
Numune Adı	D000	D025	D050	D075	D100	D150
Diatomit %	-	2,50%	5%	7,50%	10%	15%
Yırtılma Mukavemeti N/mm²	30,41	19,43	14,9	14,79	12,98	10,57
Mukavemetteki % Değişim (Azalma)	-	36,1%	51,0%	51,4%	57,3%	65,2%

7.6. %Uzama Miktarı

% Uzama test sonuçları Tablo 7.7.'de grafiksel ifadesi de Şekil 7.6.'da gösterilmiştir. Katkı miktarı arttıkça % uzama miktarı da gözle görülür şekilde düşmektedir. Diatomitin silikon ile bağ yapmaması ve dolgu davranışı göstermesinin en bariz sonucu burada görülebilmektedir. (Şekil 7.6.). Uzama değerleri arasındaki özellikle dikkat çeken bariz değişimler; baz ile % 2,5 katkı oranı arasındaki negatif yönlü değişim % 35 ve yine baz ile % 15 katkı oranı arasındaki % 85'lik negatif yönlü değişimdir. Weili Wu and Songyan Cong yapmış oldukları çalışmada diatomiti çeşitli oranlarda kauçuk türlerinde dolgu olarak kullanmışlar ve % uzama miktarını düşürdüğünü görmüşlerdir [79].

Tablo 7.7. %Uzama testi sonuçları

Numune Adı	Uzama %
D000	491,3
D025	320,1
D050	282,1
D075	230,5
D100	219,3
D150	74,74



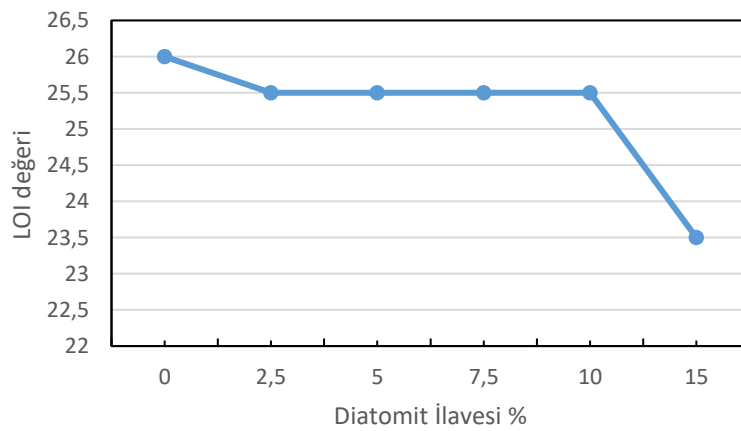
Şekil 7.6. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak % uzama değerlerinin değişimi

7.7. LOI Testi

Silikona diatomit katkısına bağılı olarak oluşturulan kompozit malzemelerin LOI testi sonuçları Tablo 7.8.'de verilmiştir. Şekil 7.7.' de katkısız silikon ve diatomit katkılı kompozitlerin yanma için gerekli % oksijen ihtiyaç miktarları görünmektedir. Formüllere diatomit katılmasıyla beraber yanma için gerekli oksijen miktarı da azalmaktadır. En bariz farkın %15 diatomit katkısında olduğu görülmektedir. Galip ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada farklı derişimlerde dekabromodifeniloksit (DBDPO) kullanarak, (propilenglikol + ftalik anhidrit) polyesterine brom ekleyerek temin ettikleri malzemenin LOI değerini hesaplamışlardır. Sonuç olarak, brom oranı yükseldikçe, LOI değerinin de yükseldiğini, Sb_2O_3 eklemesiyle daha da çok yükseldiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, bromlu polyestere akrilonitril eklediklerinde LOI değerinin düştüğünü görmüşlerdir [80].

Tablo 7.8. LOI testi sonuçları

Numune Adı	LOİ %
D000	26
D025	25,5
D050	25,5
D075	25,5
D100	25,5
D150	23,5



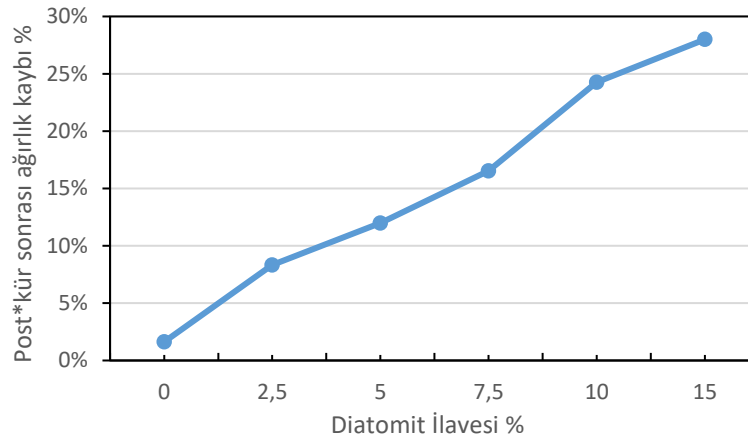
Şekil 7.7. Silikona diatomit katkısına bağılı olarak LOI değerlerinin değişimi

7.8. Post-kür Sonrası Ağırlık Değişimi

% Son kütleme (Post Cure) test sonuçları Tablo 7.9.'da grafiksel ifadesi de Şekil 7.8.'de verilmiştir. Tablo 7.8.' de, 4 saat 200 °C de post-cure işlemi yapılan kompozit numunelerin ağırlık kayıpları görülmektedir. Bu ağırlık kaybı diatomitin nem tutan yani yüksek derecede hidrofilik olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Her ne kadar kompozit numuneler hazırlanırken, diatomit etüvde nem alma işlemine tabi tutulmuş olsa da etüvden alınıp karışım (kompaund) içine katılması esnasında ve devamında numunelerin 6 dk 115°C kürlenmesinden sonra da nem almaya devam ettiği anlaşılmaktadır.

Tablo 7.9. Post-kür sonrası % ağırlık kaybı sonuçları

Numune Adı	P.Ö Ağırlık (gr)	P.S Ağırlık (gr)	Ağırlık Kaybı %
D000	53,67	52,8	2
D025	53,88	49,39	8
D050	57,44	50,55	12
D075	56,03	46,77	17
D100	61,31	46,44	24
D150	56,01	40,33	28



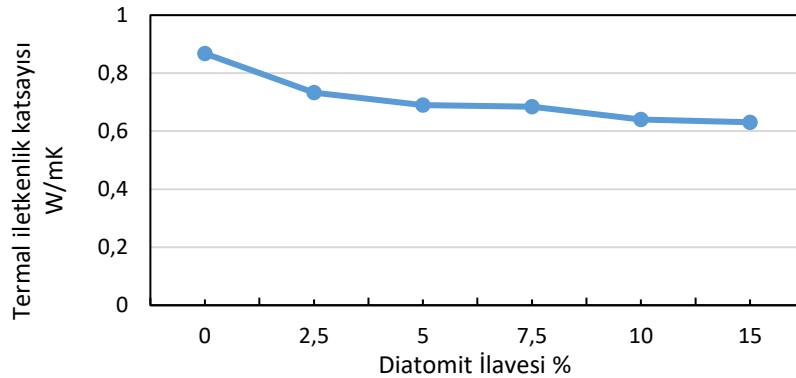
Şekil 7.8. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak post-kür sonrası ağırlık değerlerinin değişimi

7.9. Termal İletkenlik

Silikona diatomit katkısına bağlı olarak oluşturulan kompozit malzemelerin termal iletkenlik testi sonuçları Tablo 7.10.'da gösterilmiştir. Silikon matrise diatomit katkısının termal iletkenliği düşürdüğü gözlenmektedir (Şekil 7.9.). Bunun nedeni diatomitin yüksek oranda porozite içermesi ve bu poroz yapıdaki havanın kompozit yapımı sırasında ana matris içinde hapsolarak yalıtım malzemesi olarak davranmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Literatürde kullanılmış olan birçok dolgu malzemesi birim hacimde artan miktarları ile termal iletkenliği artırırken diatomit tam tersi bir etki ile termal iletkenliği düşürmektedir. Örneğin Zhang Yingchun ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada Al_2O_3 ve grafen nanoplatelet kullanılmış ve termal iletkenliğin arttığı gözlemlenmiştir [77]. Yine benzer bir çalışmayı Yan Hu ve arkadaşları cam kürecikler ile yapmışlar ve birim hacimde artan cam küre oranına istinaden termal iletkenliğin arttığını tespit etmişlerdir [78].

Tablo 7.10. Termal İletkenlik Katsayıları

Numune Adı	Termal İletkenlik W/mK
D000	0,8678
D025	0,7324
D050	0,6896
D075	0,6849
D100	0,6398
D150	0,6307



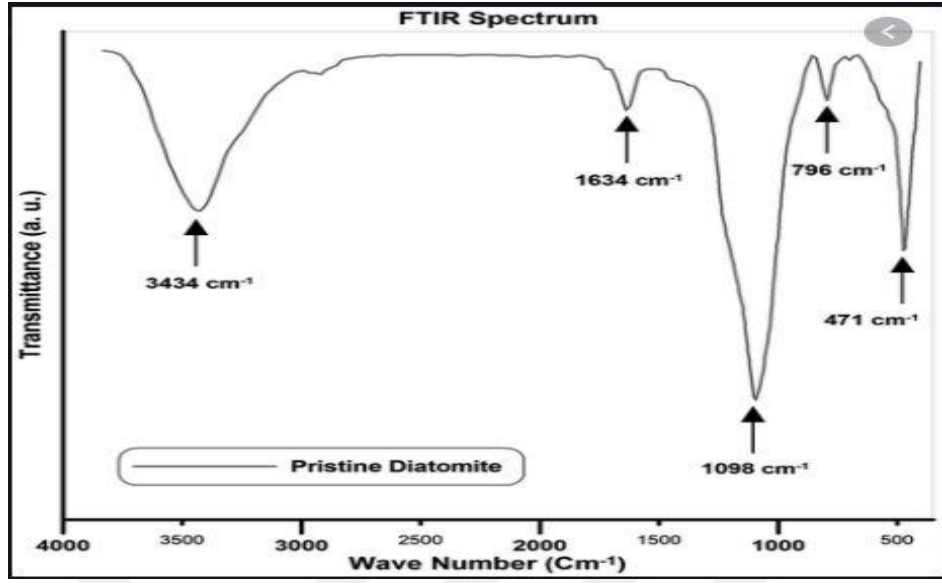
Şekil 7.9. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak termal iletkenlik katsayısı değerlerinin değişimi

7.10. FT-IR Testi

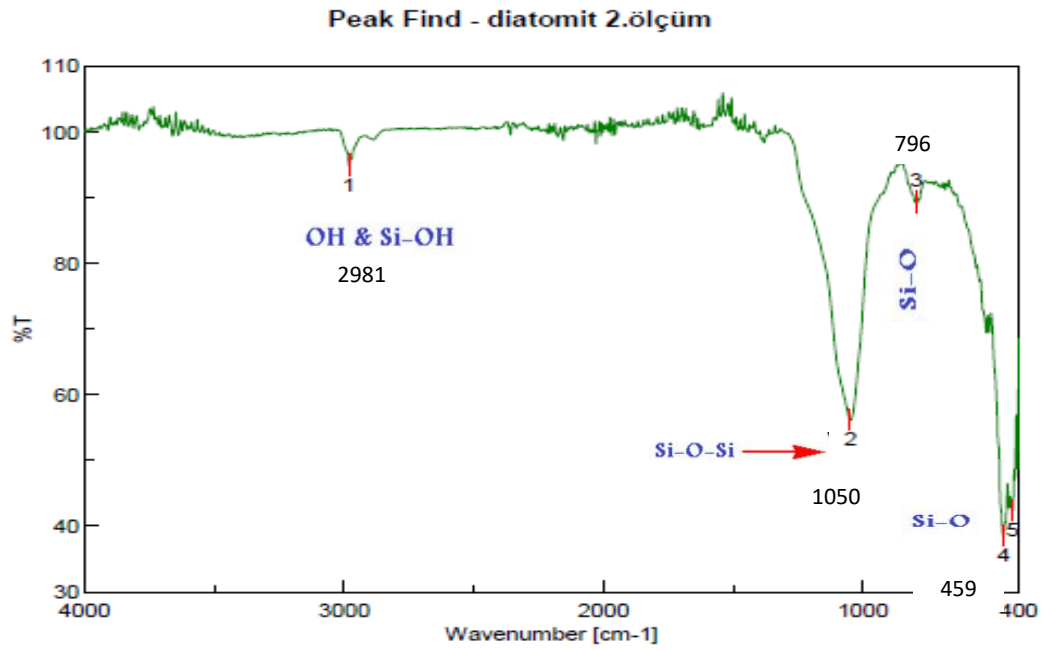
Kullanılan diatomit katkı malzemesi FT-IR spektroskopi yöntemiyle analiz edilmiş ve elde edilen spektrum literatürdeki diatomit spektrumları ile de karşılaştırılmıştır (Şekil 7.10.-7.11.). Şekil 7.11.'de verilen (tez çalışmamızda kullanılan) diatomit spektrumuna bakıldığında 1050 cm^{-1} dalga sayısı civarındaki belirgin pik, silisyum-oksijen-silisyum (Si-O-Si) bağını ifade etmektedir. Şekil 7.12.'de 1400 cm^{-1} civarında görünen ve diatomitte neredeyse olmayan zayıf pik ise çapraz bağları ifade etmektedir. Benzer bir ifade de yine Nik Ismail Nik Intan ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada da görülmektedir [81]. 796 ve 459 cm^{-1} dalga sayısı civarındaki pik de silisyum-oksijen (Si-O) bağını ifade etmektedir. Literatürden alınan Şekil 7.10.'da da verilen diatomit spektrumu ile de sonuçlar doğrulanmıştır [82].

Bunun yanında içerisine diatomit ilavesi yapılan kompaund numunelerinin de FT-IR analizleri yapılmıştır. Ancak yapılan karışım numunelerinin spektrumları arasında belirgin bir fark gözlemlenememiştir. Bunun birinci sebebinin VMQ içerisinde de diatomit içerisinde de silisyum-oksijen bağının bulunması dolayısıyla her ikisinin de aynı dalga sayısı civarında belirgin pik vermesidir. İkinci sebebinin ise silikonun içerisinde çok yüksek miktarda silisyum oksit (Si-O) ve silisyum-metil (Si-CH₃) bağlarının olması nedeniyle silikon polimeri diatomit içindeki tüm spesifik bağları kapsadığından yapılan numunelere uygulanan FT-IR analizlerinde belirgin bir fark görülememiştir.

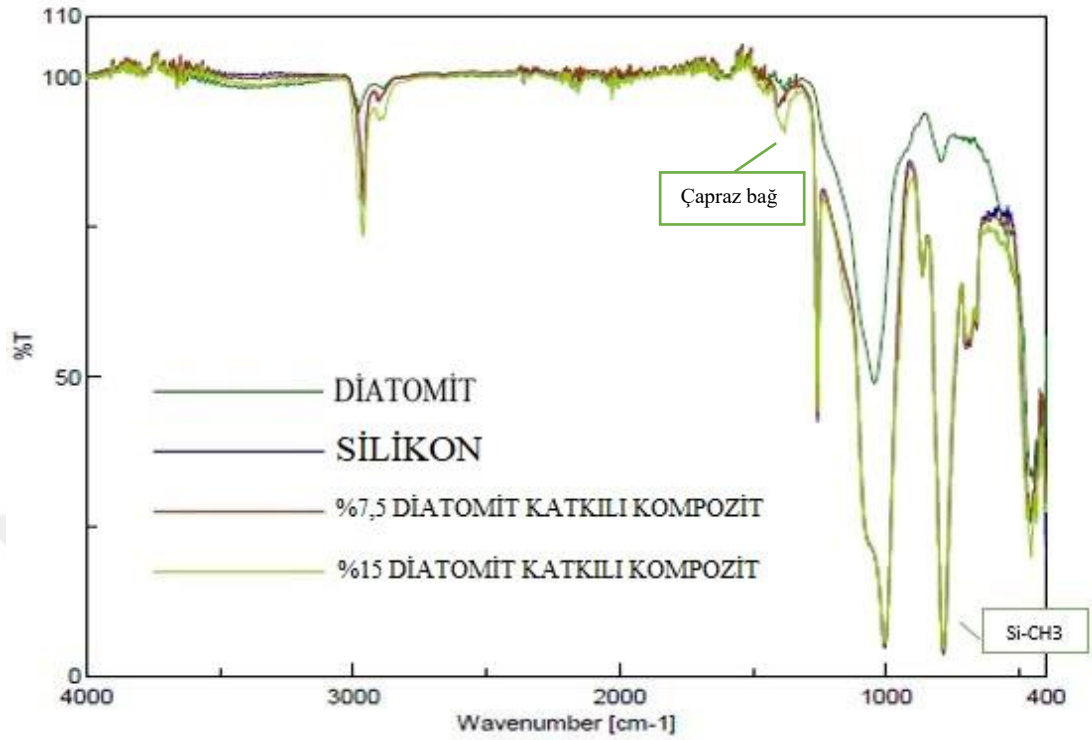
Diatomit içermeyen formül numunesi ile farklı oranlarda diatomit içeren numunelerin spektrumları arasında bir fark olmamasını aynı zamanda diatomitin silikon kauçuğun kimyasal yapısını bozmadığının yani yeni bağlar yapmadığının veya mevcut bağları bozmadığının bir ispatı olduğu yorumu da yapılabilir.



Şekil 7.10. Diatomit FTIR spektrumu [82].



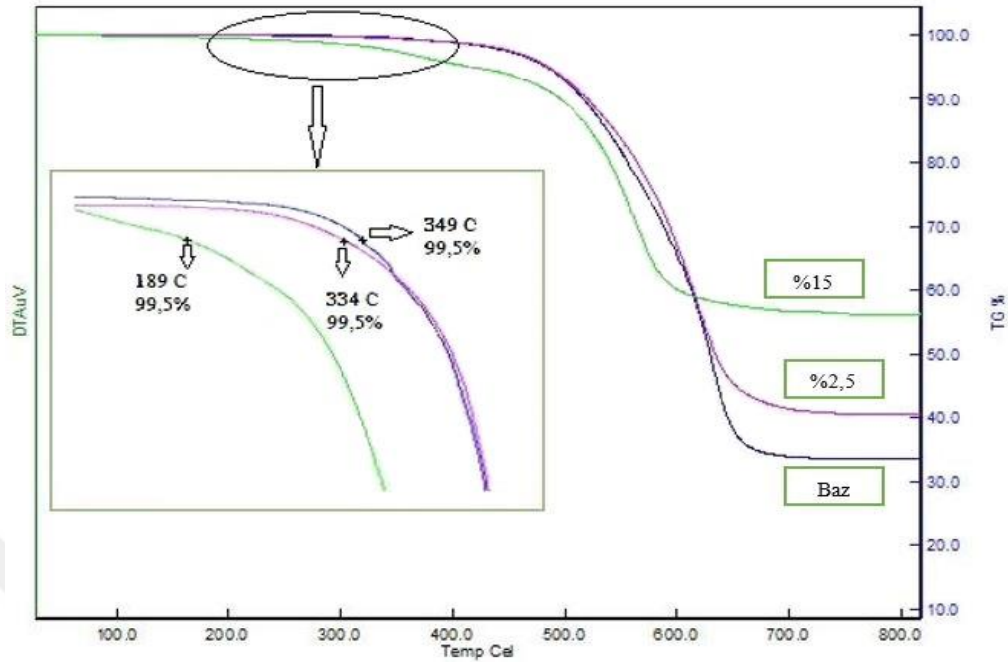
Şekil 7.11. Deneylerde kullanılan diatomit FTIR spektrumu



Şekil 7.12. Diatomit, silikon, %7,5 ve %15 diatomit katkılı kompozitlerin FTIR spektrumları

7.11. TGA Testi

TGA testi, diatomit içermeyen ve % 2,5 ile %15 diatomit içeren kompozitlerde azot atmosferinde 10 °C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. TGA grafiğinden görüleceği üzere (Şekil 7.13.) % 0,5 lik bozunmanın olduğu sıcaklık katkısız silikon için 349 °C, %2,5 diatomit katkılı kompozit için 334 °C ve %15 diatomit katkılı kompozit için de 189 °C'dir. Katkısız silikon ile % 2,5 diatomit katkılı kompozitin % 0,5 lik bozunma sıcaklıklarının arasında 15 °C varken, % 15 katkılı diatomit katkılı kompozit katkısız silikondan 160 °C erken bozunmuştur (Tablo 7.11.). Diatomit formül içerisindeki çapraz bağ miktarını oranca azalttığından dolayı kompozit malzemenin sıcaklık karşısında bozunmaya başlama sıcaklığını düşürdüğü düşünülmektedir. Ancy Smitha Alex ve ark. (2018) yapmış oldukları çalışmada silikon bazlı sentetik köpük yapısına cam ve seramik mikro balonlar eklenmiş ve cam balonların saf silikona göre termal bozunmayı hızlandırdığını tespit etmişlerdir [83].



Şekil 7.13. Katkısız - %2,5 ve %15 diatomit katkılı kompozitlerin TGA termogramları

Tablo 7.11. Katkısız, %2,5 ve %15 katkılı numunelerin ağırlıkça %0,5'lik termal bozunma sıcaklıkları

Diatomit ilavesi %	Numune Adı	%0,5 lik bozunma başlangıç sıcaklığı	Sıcaklık Farkı
Katkısız silikon	D000	349 °C	0
%2,5 diatomit katkılı silikon	D025	334 °C	15 °C
%15 diatomit katkılı silikon	D050	189 °C	160 °C

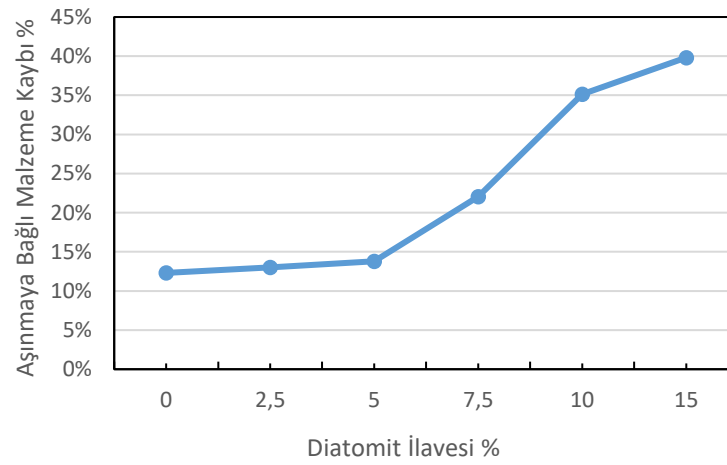
7.12. Aşınma Testi

Aşınma test sonuçları Tablo 7.12.'de grafiksel ifadesi de Şekil 7.14.'de verilmiştir. Aşınma testi sonrasında malzeme kaybı diatomit miktar artışı ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Şekil 7.14.). Bu durumun kompozitte diatomit miktarının artmasıyla toplam hacim içinde ki elastomer (silikon) miktarının azalmasına bağlı olarak diatomitin silikon ile bağ yapmaması sonucunda kompozitin aşınmaya karşı direncinin düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Aşınma üzerine benzer bir çalışma Bedrettin H. Karaaslan ve Banu Sugözü tarafından Polimer matrisli kompozite deniz kabuğu tozu katılarak yapılmış ve katkı oranı %10'u geçtikten sonra aşınmanın sürekli düştüğünü tespit etmişlerdir [84]. Ayrıca yine Esra Baydar yüksek lisans tezinde pvc matrisli kompozite farklı oranlarda ceviz kabuğu tozu, ve yine farklı oranlarda fındık

kabuğu tozu eklemiş ve artan dolgu oranıyla birlikte abrasiv aşınma miktarının arttığını görmüştür [36].

Tablo 7.12. Aşınma testi sonuçları

Numune Adı	Aşınma Öncesi Ağırlık (gr)	Aşınma Sonrası Ağırlık (gr)	% Malzeme Kaybı
D000	1,5737	1,38	12,3
D025	1,5868	1,3804	13,0
D050	1,5835	1,3654	13,8
D075	1,5697	1,2236	22,0
D100	1,6342	1,0598	35,1
D150	1,499	0,9022	39,8



Şekil 7.14. Silikona diatomit katkısına bağlı olarak aşınma testi (ağırlık kaybı) değerlerinin değişimi

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında silikon matrise değişik oranlarda ilave edilen diatomit katkısı ile üretilen kompozit malzemelerin özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan kompozitlere çeşitli testler uygulanmış ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- a) Reolojik sonuçlarda $t'90$ değerinin artan diatomit oranıyla düştüğü gözlemlenmiştir. Reolojik çalışma sonucu elde edilen veriler daha sonra proses çalışmaları için kullanılabilir.
- b) Diatomitin sertlik ve yoğunluğunun silikondan daha yüksek olması nedeniyle tüm kompozitlerde artan diatomit oranına bağlı olarak sertlik ve yoğunluk artışı görülmüştür.
- c) Kopma, yırtılma mukavemeti ve aşınma ile % uzama miktarı, kompozit malzemede birim hacimde artan diatomit oranıyla düşüş göstermektedir. Kullanılan diatomitin silikon elastomer ile bağ yapmaması ve birim miktarda kendi arasında bağ yapan silikon elastomer miktarının artan diatomit miktarıyla azalması bu duruma neden olmaktadır.
- d) Silikon matrise diatomit katılmasıyla birlikte yanma için gerekli oksijen miktarı da azalmaktadır. Diatomit ilavesiyle kompozit malzeme içerisindeki poroziteli diatomitin içinde hapsolan hava miktarı artmakta ve yanmayı kolaylaştırmaktadır.
- e) Post-cure süresince kompozit malzeme içerisindeki uçucu bileşenler ortamdan ayrıldığı için artan diatomit miktarıyla beraber % 30'a varan ağırlık değişimi (düşüşü) görülmüştür.

f) Kullanılan diatomitin FT-IR spektrumu literatürdeki diatomit spektrumu karşılaştırıldığında fark olmadığı görülmüştür. Ayrıca, kompozit malzemelerin FT-IR spektrumu alınarak diatomit ile karşılaştırılmış arada belirgin bir pik farkı görülmemiştir.

g) Yapılan termogravimetrik analiz sonuçlarından diatomit miktarı arttıkça kompozit malzemenin bozunmaya başladığı sıcaklığın azaldığı tespit edilmiştir. Birim hacimdeki elastomer miktarının azalmasıyla diatomitin elastomer ile bağ yapmaması buna neden olmaktadır.

h) Diatomit katkısının kompozit malzemelerde termal iletkenliği azaltmaktadır. Diatomitin yüksek oranda porozite içermesi ve bu poroz yapıdaki havanın kompozit yapımı sırasında ana matris içinde hapsolarak yalıtım malzemesi olarak davranması iletkenlik düşüşüne neden olmaktadır.

8.2. Öneriler

a) Tüm bu analiz ve testler incelendiğinde diatomitin silikon ile polimer kompozit yapımında dolgu malzemesi davranışı gösterdiği ve genel olarak mekanik özelliklerde ana matris yapıya göre daha düşük değerler verdiği tespit edilmiş olup mekanik gerekliliklerin uygun olduğu şartlarda maliyet düşürücü dolgu olarak kullanımı önerilebilir.

b) Termal iletkenliği düşürmesi ise bir avantaj olarak yine mekanik gereksinimlerin öneminin düşük ve alev dayanımı istenmeyen şartlarda ısı yalıtkan malzeme olarak kullanılabileceği önerilebilir.

c) Benzer çalışmalar farklı katkı maddeleri ile de gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Dindaş, B. “MDMO - PPV Polimerinin Sentezi ve Karakterizasyonu”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [2] Soyubol, B. “Elastomerlerin Statik Ve Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi”, T.C Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [3] <https://www.sayestekaucuk.net/endustri-tarihi/>, Erişim Tarihi: 07.06.2020.
- [4] Akdeniz, H. “Kauçuk Tarihi”, Kauçuk Dergisi, 2, 3–4, 1992.
- [5] Anonim, "Yüzeydeki Petrol Ürünlerini Temizleme". T.C Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 1-49, 2013.
- [6] Kişioğlu, İ. O. “Tank Paletlerinde Kullanılan Kauçukların İmalatı Ve Uygulamaları”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- [7] <https://corporate.goodyear.com/en-US/about/history/charles-goodyear-story.html>, Erişim Tarihi: 14.12.2020.
- [8] Vahapoğlu, V. “Kauçuk Türü Malzemeler I . Doğal Kauçuk”, C.B.Ü. Fen Bilim. Dergisi, 3.1, 57–70, 2007.
- [9] <https://www.sayestekaucuk.net/en/kaucuk-agaci/>, Erişim Tarihi: 13.12.2020.
- [10] Gürlesel, C. F., Eriçok, N. A., Temür, Z., ve Uz, İ., “Kauçuk Ürünleri İmalat Sanayi”, İstanbul Sanayi Odası, 21.Grup Kauçuk ve Kauçuk Teknolojileri Sanayi Meslek Komitesi, İstanbul, 2018.
- [11] Vahapoğlu, V. “Kauçuk Türü Malzemeler II . Sentetik Kauçuk”, KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9 (1), 44–55, 2006.

- [12] Killeffer, D. H. “Banbury The Master Mixer”, Pulmerton Publishing CO. INC. USA, 1-162, 1962.
- [13] Vahapoğlu, V. “Kauçuk Türü Malzemeler: Sınıflandırma”, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi, 4(1), 25–34, 2013.
- [14] <http://www.kaucukdernegi.org.tr/kaucuk.asp?id=6.>, Erişim Tarihi: 13.12.2020.
- [15] Akıncı A., Polimerik Malzemeler Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 2018.
- [16] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Vulkanizasyon.>, Erişim Tarihi: 20.12.2020.
- [17] Çevik, P., “Silika ve Titanyum Dioksit İlavesinin İki Farklı Maksillofasiyal Silikon Elastomerin Mekanik Özelliklerine Etkisi”, T.C. Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2013.
- [18] Evcin, A., Polimer Malzemeler Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Afyon, 2017.
- [19] White, J. R., Rubber Technologist ’ s Handbook, Sadhan K. Printed and bound by Polestar Scientifica, Exeter, UK, 2001.
- [20] Boşnak, B., “Kauçuktan Yarı Mamül Üretim Teknolojileri”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [21] Acıgöz, M., “Türkiyede Kauçuk Sektörü ve Sorunları”, Namık Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [22] Cengiz, S. C., “EPDM Elastomerlerinin Gerilme Durulma Davranışlarını Kontrol Eden Parametrelerin Belirlenmesi”, Hacettepe Üniversitesi, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [23] http://www.izolikit.com/tr/uygulama_alanlari.php., Erişim Tarihi: 14.12.2020.

- [24] Çamlıbel, M., “Silikon Kauçuk Enjeksiyon Kalıplarının Soğuk Yolluk Bloğu Sistemleri İle İyileştirilmesi”, T.C. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- [25] Camacho, E., Hernandez-Ortiz, J. P., Osswald, T. A., “Characterization and Modeling of the Curing Process of Silicone Rubber”, University of Wisconsin - Madison, Polymer Engineering Center, SIMTEC Silicone Parts, LLC, 30-57, 2017.
- [26] <http://www.berpaltd.com/tr/teknik-bilgi/kaucuklarin-karsilastirma-tablosu.>, Erişim Tarihi: 26.04.2021.
- [27] Vural, M., Üretim Yöntemleri Ders Notları, “Plastik Şekillendirme Yöntemleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İstanbul, 2020.
- [28] http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/9_13.html, Erişim Tarihi: 19.12.2020.
- [29] Taşdemir, M., Plastik İşleme Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 1-267, 2020.
- [30] Saçak, M., Polimer Teknolojisi. Gazi Kitabevi Yayınları, Ankara, 1-431, 2005.
- [31] Isayev, A., “Injection Molding of Rubbers”, Rubber Chem Technol, 57(5), 355–375, 1984.
- [32] http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/9_77.html, Erişim Tarihi: 19.12.2020.
- [33] Anonim, Plastik Teknolojisi - Sıkıştırma Kalıpları-3. T.C Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 2014.
- [34] Walker, J., “Elastomer Engineering Guide”, James Walker Sealing Products and Services, England, 1-48, 2017.
- [35] <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/9.html>, Erişim Tarihi: 19.12.2020.
- [36] Baydar, E., “Farklı Dolgu Maddeli PVC Kompozit Malzemelerinin Üretimi Ve Özelliklerinin İncelenmesi”, T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2016.

- [37] Akbulut, U., “Silikon Günlük Hayatın Her Alnında Yer Alıyor”, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Bölümü, 2014.
- [38] Erefe, E., “Silikon Sünger Kauçuğun Hazırlanması İçin Optimum Proses Koşullarının Belirlenmesi”, Hacettepe Üniversitesi, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [39] Butts, M., ve Cella, J., Encyclopedia Of Polymer Science And Engineering, c. 11. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2007.
- [40] Wacker, “Solid And Liquid Silicone Rubber Material And Processing Guidelines”, Product Datasheet. Wacker Chemie AG. 1-104, 2014.
- [41] Katırcı, Y. E., 2015. “Silikon Teknolojisi Eğitim Kitabı”, Başoğlu Kablo ve Profil San. A.Ş., Şirket İçi Eğitim Notu, Bolu, 2015.
- [42] Özbey, G., Atamer, N., Kizelgur (Diyatomit) Hakkında Bazı Bilgiler. 10. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, 1987, Ankara, 493–502, 1987.
- [43] Temel, Ş., “Diatomit, Sepiyolit ve Mikalı Kum’un Kuru Zenginleştirilmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
- [44] <http://www.begtugmineral.com/>, Erişim Tarihi: 14.09.2020.
- [45] Uygun, A., Diatomit Jeolojisi ve yararlanma olanakları, Bilimsel Madencilik Dergisi, 15(5), 31-38, 1976.
- [46] Karahisar Gökkonca, E., “Diatomit Katkılı Harçların Bazı Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin Değişiminin İncelenmesi”, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri, Enstitüsü, Mekanik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [47] Gültürk, E. ve Güden, M., “Diyatomitlerin Polimer Kompozitlerde Kullanımı Ve Diatomit Katkılı Epoksi Kompozitlerin Termal Özellikleri”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(3), 13–21, 2011.

- [48] DPT, “Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri IV (Bentonit-Barit-Diatomit-Aşındırıcılar) Çalışma Grubu Raporu”, Ankara, 2001.
- [49] <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/diatomit.>, Erişim Tarihi: 19.12.2020.
- [50] Bentli, İ., Kütahya-Alayunt Diyatomit Cevherindeki Safsızlıkların Hidrosiklon ve Kalsinasyonla Giderilmesi, Madencilik , 49(3), 13-21, 2010.
- [51] Zor, M., Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, “Kompozit Malzeme Mekaniği Ders Notları”, İzmir, 2018.
- [52] Dokur, M. M., “Karbon Fiber Esaslı Polimerik Matrisli Kompozitlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [53] Güven, C., “Kompozit Malzemeler”, T.C. Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı, Proje Ödevi, 2014.
- [54] [http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_38.html.](http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_38.html), Erişim Tarihi: 01.10.2020.
- [55] Sönmez, M., “Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi Ve Geleceği Türkiyeden Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [56] Kalemtaş, A., “Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler”, Putech&Composites, 20-26, 2015.
- [57] Kısasöz, A.A., “Alüminyum Matrisli Titanyumdiborür İn Situ Takviyeli Kompozitlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [58] Atas, C., Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, “Kompozit Üretim Teknolojileri Ders Notları”, İzmir, 2020.

- [59] <http://accluster.com/kompozit-malzemelerin-yapisi/>., Erişim Tarihi: 20.09.2020.
- [60] <http://accluster.com/kompozit-malzemelerinin-kullanim-alanlari/>., Erişim Tarihi: 27.09.2020.
- [61] Elkem Silicones Co., “Silicone School”, Elkem Bluestar Company, France, 2019.
- [62] D. C. Solutions, “Liquid Injection Molding: Processing Guide for Silastic Liquid Silicone Rubber (LSR) and Silastic Fluoro Liquid Silicone Rubber (F-LSR)”, Dow Chem. Co., 1–23, 2012.
- [63] Johann, M., “Silicone Rubber – Properties and Applications”, Wacker Chemie AG, 1-47, 2011.
- [64] <https://merlab.metu.edu.tr/tr/reometre/>., Erişim Tarihi: 06.12.2020.
- [65] Buluş, E., Polimer Bilimi Ve Teknolojisi Laboratuvarı, "Çekme, Sertlik Ve Çentik Darbe Deneyleri" T.C. Kocaeli Üniversitesi, 2019.
- [66] DIN 53504:2017-03. Deutsche Norm, 10, Germany, 2017.
- [67] Arıcıoğlu, M. K., Mert, B. ve Soydan, Y., “Polimer Malzemelerin Mekanik Analiz Yöntemleri”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(1–2), 51-58, 2000.
- [68] DIN ISO 34-1, Deutsche Norm, Germany, 2004.
- [69] <https://hakettiginizkoruma.com/2018/05/29/loi-limit-oksijen-indeksi-limiting-oxygen-index/>., Erişim Tarihi: 26.04.2021.
- [70] Anonim, Lastikte Pişirme İşlemi. T.C Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları. Ankara, 2011.
- [71] <https://potkam.arel.edu.tr/cihazlar/fouirer-transform-infrared-spektrofotometre-ftir/>., Erişim Tarihi: 06.12.2020.

- [72] Düz, M., “Termal Analiz” Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Ders Notu, Afyon, 2013.
- [73] Varol, T., “Aşınma Deneyi”. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Lboratuvar Föyü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2016.
- [74] Gür, A. K., ve Yıldız, T., “Aşınma Sistemleri”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 86-91, 2006.
- [75] Essawy, H., ve El-Nashar, D., “The use of montmorillonite as a reinforcing and compatibilizing filler for NBR/SBR rubber blend”, Polymer Testing, 23, 803–807, 2004.
- [76] Liu, P., Li, L., Wang, L., Huang, T., Yao, Y. ve Xu, W., “Effects of 2D boron nitride (BN) nanoplates filler on the thermal, electrical, mechanical and dielectric properties of high temperature vulcanized silicone rubber for composite insulators”, J. Alloys Compd., 774, 396–404, 2019.
- [77] Zhang, Z., Chen, P., Nie, W., Xu, Y. ve Zhou, Y., 2020. “Enhanced mechanical, thermal and solvent resistance of silicone rubber reinforced by organosilica nanoparticles modified graphene oxide”, Polymer, 203, 1-11, 2020.
- [78] Yadav, S. G., Guntur, N. P. R., Rahulan, N. ve Gopalan, S., “Effect of titanium carbide powder as a filler on the mechanical properties of silicone rubber”, Materials Today: Proceedings, 1-7, 2021.
- [79] Wu W. ve Cong, S., “Modified diatomite forms in the rubber nanocomposites”, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 33(5), 659–672, 2020.
- [80] Galip, H., Hasipoğlu, H. ve Gündüz, G., “Flame-Retardant Polyester”, Journal of Applied Polymer Science, 74(12), 2906–2910, 1999.
- [81] Nik Ismail, N. I., Ansarifar, M. A. ve Song, M., “Improving heat ageing and thermal properties of silicone rubber using montmorillonite clay”, Journal of Applied Polymer Science, 131(22), 1–13, 2014.
- [82] Ilia, I., Stamatakis, M. ve Perraki, T., “Mineralogy and technical properties of clayey diatomites from north and central Greece”, Central European Journal of Geosciences, 1(4), 393–403, 2009.

- [83] Alex, A. S., Thomas, D., Manu, S. K., Sreenivas, N., Sekkar, V. ve Gouri, C., “Addition-cure, room temperature vulcanizing silicone elastomer based syntactic foams with glass and ceramic microballoons”, *Polymer Bulletin*, 75(2), 747–767, 2018.
- [84] Karaaslan, B. H. vd., *Akademik Araştırmalar Bilim & Teknik, Mer-Ak Mersin Akademi Yayınları*, Mersin, 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özgür SARAÇ

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2003
Lise	Ş.Zafer İpek Yabancı Dil Ağırlıklı Lise	1998

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Başoğlu Kablo ve Profil San. A.Ş	Planlama Müdürü
2013-2015	Yorim Cam San. ve Tic. A.Ş	Planlama Müdürü
2008-2012	Mas-Daf Makine San. Tic. A.Ş	Planlama Müdürü
2008-2008	Teknorot Otomotiv San. Tic. A.Ş	Planlama Mühendisi
2006-2008	MT Reklam San. Tic. A.Ş	Planlama Mühendisi
2004-2006	Kiler Isıcam San. Tic. A.Ş	Üretim Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Farklı Oranlarda Diatomit Takviyeli Silikon Matrisli Kompozit Malzemelerin Termal ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi