

**EPDM KAUCUĞUN ÇAPRAZ BAĞLANMASINA ETKİ
EDEN FİZİKOKİMYASAL PARAMETRELERİN
İNCELENMESİ**

Şule ÇİÇEK



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EPDM KAUCUĞUN ÇAPRAZ BAĞLANMASINA ETKİ EDEN
FİZİKOKİMYASAL PARAMETRELERİN İNCELENMESİ**

Şule ÇİÇEK
0000-0003-4159-969X

Prof. Dr. ALİ KARA
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
POLİMER MALZEMELER ANABİLİM DALI

BURSA– 2023

TEZ ONAYI

Şule ÇİÇEK tarafından hazırlanan “EPDM kauçuğun çapraz bağlanmasına etki eden fizikokimyasal parametrelerin incelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Polimer Malzemeler Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ali KARA

Başkan :	Prof. Dr. Ali KARA 0000-0002-9739-7619 Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Fakültesi, Kimya Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Doç Dr. Ali MARDANI 0000-0003-0326-5015 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	İmza
Üye :	Prof. Dr. Deniz UZUNSOY 0000-0002-2515-7624 Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım
Prof. Dr.
Enstitü Müdürü
.././....(Tarih)

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

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

beyan ederim.

31/05/2023

Şule ÇİÇEK

TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EPDM KAUÇUĞUN ÇAPRAZ BAĞLANMASINA ETKİ EDEN FİZİKOKİMYASAL PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Şule ÇİÇEK

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Polimer Malzemeler Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali KARA

Bu çalışmanın özet konusu, aynı phr oranında aynı kimyasallar kullanılarak iki farklı EPDM karışım üretimi yapılmıştır. Üretim esnasında çapraz bağlayıcı olarak aynı oranlarda polimerik sülfür (ticari ismi) ve sülfür S80 (ticari ismi) kullanılmıştır. Çapraz bağlayıcıların kauçunun yapısal testlerini nasıl etkilediği incelenecektir. Yapısal testler incelenirken reolojik sonuçları doğrultusunda polimerik sülfür kullanılan karışım daha erken pişme gözlemlenmiştir. Sertlik testleri doğrultusunda polimerik sülfür kullanılan karışım daha serttir. Polimerik sülfür kullanılan karışım S80 kullanılan karışıma oranla mekanik değerleri daha yüksek gelerek daha dayanıklı bir karışım üretimi gerçekleşmiştir. Polimerik sülfür kullanılan karışım S80 kullanılan karışıma oranla düşük değerlerde daha yanma direnci yüksek bir karışım elde edilmiştir.

Çapraz bağlayıcı olarak polimerik sülfür OT20 kullanılan karışımın yapısal test değerleri S80 çapraz bağlayıcısına oranla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çapraz bağlanma, EPDM, EPDM kauçuk, Hızlandırıcı, Kauçuk

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS AFFECTING THE CROSSLINKING OF EPDM RUBBER

Şule ÇİÇEK

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Polymer Materials

Supervisor: Prof. Dr. Ali KARA

This sentence is the summary, two different EPDM mixtures were produced by using the same chemicals at the same phr ratio. During production, polymeric sulfur (trade name) and sulfur S80 (trade name) were used in the same proportions as cross linkers. How cross linkers affect the structural tests of rubber will be examined. While examining the structural tests, it was observed that the mixture using polymeric sulfur was cured earlier in line with the rheological results. According to the hardness tests, the mixture using polymeric sulfur is harder. The mixture using polymeric sulfur has higher mechanical values compared to the mixture using S80, resulting in a more durable mixture. A mixture with higher combustion resistance was obtained at lower values compared to the mixture using polymeric sulfur, S80.

Structural test values of the mixture using polymeric sulfur OT20 as cross linker were better than S80 cross linker.

Keywords: Accelerator, Crosslinking, EPDM rubber, Rubber,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans akademik çalışmamda bana hep destek olup rehberliği doğrultusunda çalışmamı tamamladığım saygı değer hocam Prof. Dr. Ali KARA 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans akademik eğitim öğrenimim boyunca anlayış gösterip çalışmam için fikirlerini ve desteğini esirgemediğim yanımda olan ve BLS Birleşik Lastik A.Ş. Karışım Birimi Laboratuvar'ında çalışmalarımı yürütebilmeme vesilen olan Sn. Şükrü SEKMEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım başta olmak üzere maddi ve manevi yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Şule ÇİÇEK
31/05/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
ÖNSÖZ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Polimer.....	2
2.2. Polimerlerin Tarihsel Gelişimi.....	2
2.3. Polimerlerde Moleküler Kuvvetler ve Kimyasal Bağlanma.....	3
2.3.1. Birincil Bağlar.....	3
2.3.2. İkincil Bağlar.....	3
2.3.3. Konfigürasyon ve Konformasyon.....	3
2.4. Polimer Zinciri.....	4
2.5. Polimerlerin Sentezi.....	4
2.6. Polimerlerin Sınıflandırılması.....	6
2.7. Polimerlerin Mekanik ve Kimyasal Özellikleri.....	9
2.7.1. Çekme – Uzama Gerilmesi.....	9
2.7.2. Yorulma.....	10
2.7.3. Çarpma Direnci.....	10
2.7.4. Isıl Özellikler.....	11
2.7.5. Optik Özellikler.....	14
2.7.6. İletkenlik ve Direnç.....	17
2.7.7. Yanmazlık Testi (UL-94).....	17
2.7.8. Kimyasal Özellikleri.....	19
2.8. Elastomer Teknolojisi.....	19
2.8.1. Vulkanizasyon.....	19
2.8.2. Kauçuk Nedir?.....	25
2.8.3. Kauçuk Çeşitleri.....	27
2.8.4. Yumuşatıcılar.....	33
2.8.5. Dolgu Malzemeleri.....	35
2.8.6. Proses Yardımcı Maddeler.....	36
2.8.7. Aktivatörler.....	38
2.8.8. Hızlandırıcılar.....	39
2.8.9. Vulkanizasyon.....	50
2.9. Elastomerlerin İşlenmesi.....	53
2.9.1. Karışım Hazırlama.....	54
2.9.2. Silindir Karıştırıcılar.....	54
2.9.3. Banbury Karıştırıcılar.....	54
2.9.4. Merdaneleme.....	56
2.9.5. Sıkıştırarak Kalıplama.....	56
2.9.6. Transfer Kalıplama.....	56
2.9.7. Enjeksiyon.....	57

2.9.8. Ekstrüzyon.....	58
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	67
3.1. Materyal	67
3.1.1. Lastik Karışım Üretiminde Kullanılan Kimyasallar	67
3.1.2. Üretilen Karışımların Yapısal Testlerinde Kullanılan Test Cihazları	67
3.2. Yöntem	70
3.2.1. Yapısal Testler.....	70
4. BULGULAR.....	75
4.1. Yapılan Test Sonuçları.....	75
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	77
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	Derece
Kısaltmalar	Açıklama
EPDM	Etilen Propilen Dien Kauçuk
DOP	Dioktil Ftalat
DBP	Dibütil Ftalat
DINP	Diisononil Ftalat
NaCl	Sodyum Klorür
CH ₄	Metan
UL 94	Yanmazlık Testi
LOI	Limit Oksijen İndeksi
VMQ	Silikon
FKM	Floroelastomer
EPM	Etilen Propilen Kauçuk
ACM	Alkil Akrilat Kopolimeri
NR	Doğal Kauçuk
IR	Poliizopren Kauçuk
SBR	Stiren Bütadien Kauçuk
BR	Polibütadien Kauçuk
NBR	Akrilonitril Bütadien Kauçuk
CR	Kloropren Kauçuk
IIR	Bütil Kauçuk
U	Mükemmel (Çizelge 2.3.)
UI	Mükemmel – İyi (Çizelge 2.3.)
İ	İyi (Çizelge 2.3.)
Oİ	Orta – İyi (Çizelge 2.3.)
O	Orta (Çizelge 2.3.)
OK	Orta – Kötü (Çizelge 2.3.)
K	Kötü (Çizelge 2.3.)
UD	Tavsiye Edilmez (Çizelge 2.3.)
SCORCH	Erken Pişme, Yanma
NDPA	N – Nitrozo Difenil Amin
HAF	Yüksek Aşınma Fırını
ISAF	Orta Seviye Süper Aşınma Fırını
FEF	Hızlı Ekstrüzyon Fırını
SRF	Yarı Güçlendirme Fırını
EPC	Kolay İşleme Kanalı
FT	İnce Termal
MT	Orta Termal
ZDEC	Çinko Dietilditiokarbamat
ZDMC	Çinko Dimetilditiokarbamat
ZDBC	Çinko Dibütilditiokarbamat
ZBEC	Çinko Dibenzilditiokarbamat
ZIX	Çinko İzo-Propil Ksantat
ZBX	Çinko n- Bütil Ksantat

TMTM	Tetrametiltiuram Monosülfit
TMTD	Tetrametiltiuram Disülfit
TETD	Tetraetiltiuram Disülfit
MBT	Merkaptobenzotiazol
DM	2'- Dibenzotiazol Disülfit
ZMBT	Çinko Tuzu veya 2 -Merkaptobenzotiazol
CBS	N – sikloheksil – 2 – benzotiazol Sülfenamid
TBBS	N – Tert – Bütil -Benzotiazolsülfenamid
DPG	1,3 -Difenilguanidin
S	Sülfür, Kükürt
BiDMC	Bizmut Dimetil Ditiokarbamat
CuDMC	Bakır Dimetil Ditiokarbamat
TDEC	Telyum Dietil Ditiokarbamat
DTDM	Ditio – Bis- Morfolin
TBBS	Benzotiazil – 2 – Tert. Bütil Sülfenamid
MBS	Benzotiazil – 2 – Sülfen Morfolid
MBTS	Dibenzotiazil Disülfit
ZIX	Çinko İzopropil Ksantat
TBZTD	Tetrabenziltiuram Disülfit
DPTT	Dipentametilentiuram Tetrasülfit
DBTU	Dibütil Tiyöüre
DPTU	Di – Pentametilen Tiyöüre
ETU	Etilen Tiyöüre
DCBS	N, N' – Disikloheksil – 2 – Benzotiazol Sülfenamid
BA	Heptaldehit – Anilin
HMT	Hekzametilen Tetramin
DPG	Difenil Guanidin
DOTG	N – N' – Diortotoil Guanidin
ZMBT	Çinko – 2 – Merkaptobenzotiazol
ZBDP	Çinko – O, O – Di – N – Fosforditiod
ZnO	Çinko oksit
MgO	Magnezyum oksit
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
TGA	Termogravimetrik Analiz
DMA	Dinamik Mekanik Analiz

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Etilen Monomerinin Polimerizasyonu.....	2
Şekil 2.2. Aynı Moleküle Ait Cis ve Trans Konfigürasyon Şekilleri...	4
Şekil 2.3. Molekülde Konformasyon Örneği.....	4
Şekil 2.4. Vinil Asetattan Katılma Polimerizasyon Tepkimesi ile Polivinil Asetat Eldesi.....	5
Şekil 2.5. Basamaklı Polimerizasyon Tepkimesi.....	5
Şekil 2.6. Polimerlerin Sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.7. Tarihsel Gelişim Süreçlerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.8. Kimyasal Bileşimlerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması	6
Şekil 2.9. Yapılarına Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.....	7
Şekil 2.10. Sentez Yöntemlerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması...	7
Şekil 2.11. İşleme Şekillerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.....	7
Şekil 2.12. Son Kullanış Yerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması....	8
Şekil 2.13. Fiziksel Durumlarına Göre Polimerlerin Sınıflandırılması...	8
Şekil 2.14. Fiziksel Hal Geçişlerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.....	8
Şekil 2.15. Çekme – Uzama Gerilmesi Grafiği.....	9
Şekil 2.16. Wöhler Deneyle ve Deneyle Göre Elde Edilen Wöhler Eğrisi.....	10
Şekil 2.17. Sıcaklık – Çarpma Direnci Grafiği.....	11
Şekil 2.18. Yanma Üçgeni.....	12
Şekil 2.19. Renk Ölçüm Cihazı Resmi.....	15
Şekil 2.20. Glossmetre Cihazı Resmi.....	15
Şekil 2.21. Dikey Yanma Test Örneği.....	18
Şekil 2.22. Yatay Yanma Test Örneği.....	18
Şekil 2.23. Vulkanize Olmuş ve Vulkanize Olmamış Kauçuk Reaksiyonu.....	20
Şekil 2.24. Kükürt ve Peroksit ile Kurlenme Sistemi.....	21
Şekil 2.25. Poliizoprenin Kükürt ile Vulkanizasyon Mekanizması.....	22
Şekil 2.26. EPDM Kauçuğun Peroksit Vulkanizasyon Mekanizması....	23
Şekil 2.27. Kauçuk Bileşenleri Şeması.....	25
Şekil 2.28. İzoprenden Poliizopren Reaksiyonu.....	27
Şekil 2.29. Stiren – 1,3 – Bütadienden Stiren Bütadien Kauçuk Eldesi Reaksiyonu.....	27
Şekil 2.30. Bütadienden Polibütadien Reaksiyonu.....	28
Şekil 2.31. 1,3 – Bütadien ve Akrilonitrilden Akrilonitril Bütadien Kauçuk Eldesi Reaksiyonu.....	28
Şekil 2.32. 2- Kloro – 1,3 – Bütadienden Neopren Kauçuk Eldesi Reaksiyonu.....	29
Şekil 2.33. Michael Faraday Tarafından İzobütilen Keşfinden Elde Edilen Bütül Kauçuk Reaksiyonu.....	29
Şekil 2.34. EPDM Kauçuğun Eldesi Reaksiyonu.....	30
Şekil 2.35. Akselatörlerin Kimyasal Sınıflandırılması.....	40
Şekil 2.36. Akselatörlerin Pişme Zamanı, Kür Oranı ve Çapraz Bağ Yoğunluğuna Göre Kıyaslanması.....	43

Şekil 2.37.	Vulkanize Edici Kimyasalların Çapraz Bağ Yoğunluğuna Göre Lastik Karışıma Etkileri Grafiği.....	43
Şekil 2.38.	Bazı Çapraz Bağlanma Şekilleri.....	49
Şekil 2.39.	Reometre Eğrisinin Yorumlanması.....	50
Şekil 2.40.	Elastomerlerin Şekillendirilmesinde İzlenen Genel Adımlar	52
Şekil 2.41.	Silindir Karıştırıcı Resmi.....	53
Şekil 2.42.	Banbury Resmi.....	55
Şekil 2.43.	Transfer Kalıplama Yöntemi Resmi.....	56
Şekil 2.44.	Enjeksiyon Pres Resmi	57
Şekil 2.45.	Ekstrüzyon Resmi.....	58
Şekil 3.1.	Reolojik Test Cihazı Resmi.....	66
Şekil 3.2.	Shore A Test Cihazı Resmi.....	67
Şekil 3.3.	Micro – IRHD Cihazı Resmi.....	67
Şekil 3.4.	Mukavemet Test Cihazı Resmi.....	68
Şekil 3.5.	Yatay Yanma Test Kabini Resmi.....	68
Şekil 3.6.	Yandaki resimde reolojik test esnasında alınan parçanın ağırlığı gösterilmektedir.....	69
Şekil 3.7.	Test esnasında kullanılan sertlik test diski.....	71
Şekil 3.8	Çekme-Kopma testinde kullanılan test numunesi yanda verilmiştir.....	71
Şekil 3.9.	Yırtılma testinde kullanılan test numunesi yukarıdaki resimde verilmiştir.....	72
Şekil 3.10.	Mekanik testler yapılırken kullanılan test numuneleri yukarıdaki resimde birlikte verilmiştir.....	72
Şekil 3.11.	Yandaki resimde yatay yanma testi yapılırken kullanılan test numunesi verilmiştir.....	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1.	Konfigürasyon ve Konformasyonun Karşılaştırılması Tablosu... 3
Çizelge 2.2.	Çapraz Bağlanmış ve Çapraz Bağlanmamış Kauçukların Özellikleri 20
Çizelge 2.3.	Kauçukların Karşılaştırılması Tablosu..... 31
Çizelge 2.4.	Değişik Elastomer ile Uyum Gösteren Yumuşatıcılar..... 34
Çizelge 2.5.	Kimyasal Yapısına Göre Proses Yardımcı Maddelerin Sınıflandırılması..... 36
Çizelge 2.6.	Hızlandırıcılar, Kimyasal Grupları ve Vulkanizasyondaki Hızları Tablosu..... 38
Çizelge 2.7.	Bazı Hızlandırıcı (Akselatörlerin) Hızlıdan Yavaş Sıralanması. 39
Çizelge 2.8.	Pişme Sırasında Belirtilen Değişikliklerin Olduğu Tablo..... 39
Çizelge 2.9.	Akselatör İsimleri ve Kimyasal Yapıları Tablosu..... 44
Çizelge 2.10.	EPDM Kauçukta Kullanılan Bazı Hızlandırıcıların Katılma Oranları..... 48
Çizelge 2.11.	Hamur Makinesi ve Banbury Karıştırıcının Karşılaştırılma Tablosu..... 54
Çizelge 2.12.	Ekstrüzyon Üretiminde Yaşanan Pürüzlü Yüzey Problemi Sonucunda Uygun Çözüm Yolları Tablosu..... 59
Çizelge 2.13.	Ekstrüzyon Üretiminde Akış Yönündeki Boyutsal Ölçüdeki Sorun ve Profil İç Kısmında Boşluk Var İse Üretimde Yaşanan Problemi Sonucunda Uygun Çözüm Yolları Tablosu..... 60
Çizelge 2.14.	Ekstrüzyon Üretiminde Siyah Nokta, Yabancı Parçacık, Koku veya Sararma, Profil Boyunca Kenarlarda Yırtılma Var İse Üretimde Yaşanan Problemi Sonucunda Uygun Çözüm Yolları Tablosu..... 61
Çizelge 2.15.	Ekstrüzyon Üretiminde Profil Üzerindeki Akış Yönünde Yüksek Basınç / Ekstrüderlerden Az Malzeme Çıkışı Var İse Üretimde Yaşanan Problemi Sonucunda Uygun Çözüm Yolları Tablosu... 62
Çizelge 2.16.	Ekstrüzyon Üretiminde İstenen İşleme Sıcaklığı Değerine Ulaşamıyor ve Üründe Et Kalınlığı Her Yerde Eşit Değil İse Üretimde Yaşanan Problemi Sonucunda Uygun Çözüm Yolları Tablosu..... 63
Çizelge 2.17.	Ekstrüzyon Üretiminde Profil Ürün Üzerinde İstenmeyen Çizik Oluşuyor İse ve Ürün İstene Geometrik Özelliklerini Taşımıyor İse Üretimde Yaşanan Problemi Sonucunda Uygun Çözüm Yolları Tablosu..... 64
Çizelge 2.18.	Ekstrüzyon Üretiminde Profil Ürün Sık Sık Kopuyor İse Üretimde Yaşanan Problemi Sonucunda Uygun Çözüm Yolları Tablosu..... 65
Çizelge 3.1.	Karışım Üretiminde Kullanılan Kimyasal Listesi 66
Çizelge 3.2.	Karışım Formülleri..... 69
Çizelge 4.1.	Reolojik Test Sonuçları..... 74
Çizelge 4.2.	Shore A ve Micro – IRHD Test Sonuçları..... 75
Çizelge 4.3.	Çekme – Kopma, Yırtılma Test Sonuçları..... 75
Çizelge 4.4.	Yatay Yanma Test Sonuçları..... 75

1. GİRİŞ

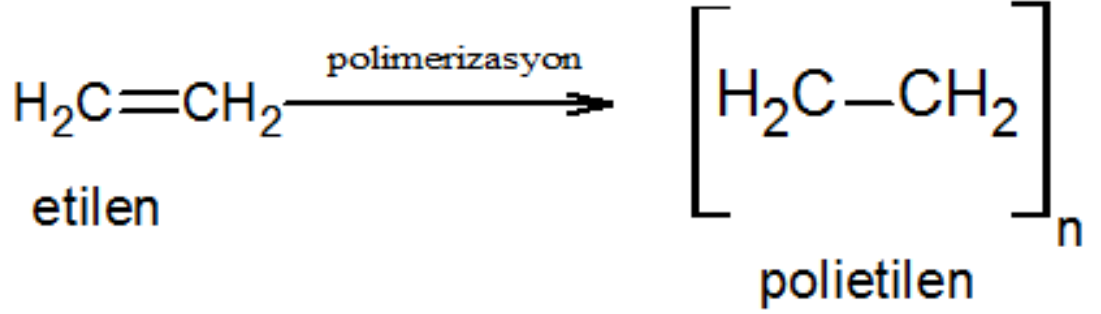
Doğal ve sentetik kauçuklar polimer türü olan elastomerler sınıfındadır. Kauçuklar hayatımızın her alanında karşımıza çıkmaktadır. Kauçuklar bisiklet, otomobil vb. araçlarda lastik olarak kullanılır. Araç lastikleri dışında fren hortumları, contalar, körük, amortisör bağlantı takozları, cam silecekleri, aks körükleri, şaft mafsalları, kapı fitilleri, şanzıman sızdırmazlık contaları içinde kauçuk malzemeler kullanılmaktadır. Bunlar dışında ayakkabı, sıhhi eşyalar, eldiven, döşeme malzemeleri, şişme yatak, beyaz eşya sektörü ve oyuncak yapımında kullanılmaktadır. Kullanım alanının bu kadar geniş olması sebebiyle kauçuk oldukça değerli ve oldukça güvenilir bir polimer malzemedir.

Bu çalışmada geniş kullanım alanına sahip olan EPDM kauçuğun çapraz bağlanmasına etki eden fizikokimyasal parametreler konu olarak ele alınmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Polimer

Çok fazla tekrar eden çok büyük moleküllerden oluşan malzemelere polimer denir. Polimerler sentetik ve doğal olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar(Anonim, 2023).



Şekil 2.1. Etilen monomerinin polimerizasyonu (Saçak, 2017)

Polimerlerin oluşmasını sağlayan en küçük moleküllere monomer denir (Saçak, 2017).

2.2. Polimerlerin Tarihsel Gelişimi

Doğal kauçuk, selüloz ve nişasta doğal polimerler sınıfına örnektir ve tarih boyunca endüstriyel kullanımları geçmişe dayanmaktadır fakat doğal polimerlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yetersiz olmasından dolayı doğal polimer kullanılarak üretilen ürünlerde sorunlar meydana gelmiştir.

İlk olarak Good Year tarafından doğal kauçuğun kükürtle vulkanizasyon prosesi gerçekleştirilmiş olup ardından plastik sınıfında olan selüloit üretilmiştir. Ardından sentetik polimerler sınıfında olan fenol formaldehit reçine üretimi yapılmıştır.

Polimerlerin insan hayatında çok fazla kullanılması ve faydası olması sebebiyle başta kauçuk türleri olmak üzere plastik sınıfından polistiren, teflon, formika da çalışmalar yapılmıştır ve polimerlerin gelişimi halen daha devam etmektedir (Anonim, 2023).

2.3. Polimerlerde Moleküler Kuvvetler ve Kimyasal Bağlanma

2.3.1. Birincil Bağlar

Birincil bağlar olarak iyonik ve kovalent bağlar örnek verilebilir. Sofra tuzu (NaCl) iyonik bağa örnek iken; metan (CH₄) kovalent bağa örnektir (Saçak, 2017).

2.3.2. İkincil Bağlar

İkincil bağlara dipol kuvvetleri, indüksiyon kuvvetleri ve dispersiyon kuvvetleri olarak örnek verilebilir (Saçak, 2017).

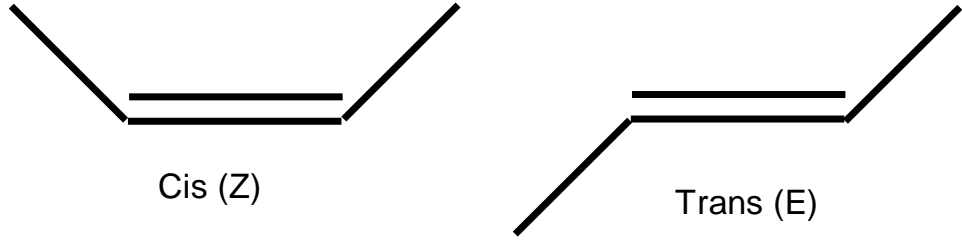
2.3.3. Konfigürasyon ve Konformasyon

Polimer zincirindeki atomların belirli bir düzen içerisinde sıralanmasına konfigürasyon denir ve bu polimer yapısında bağlar kırılmadan bozulamaz.

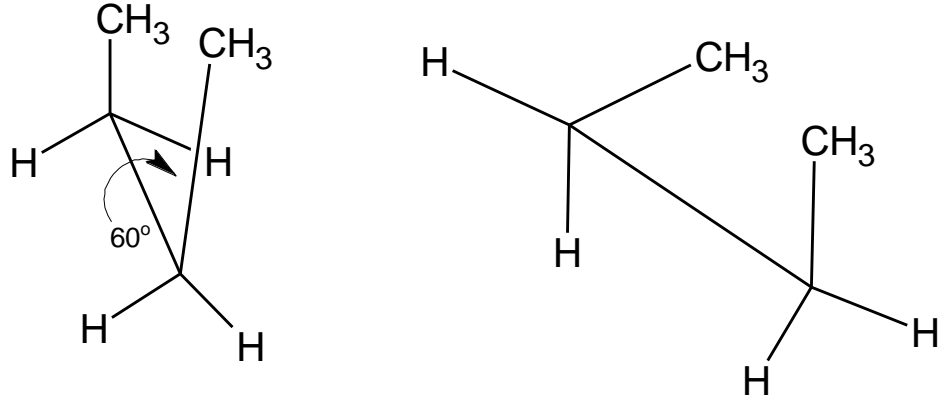
Konformasyon ise bağ kırılması olmadan tek bağlar etrafında dönme işlemi ile polimer molekülünün aldığı geometrik şekildir (Saçak, 2017).

Çizelge 2.1. Konfigürasyon ve konformasyonun karşılaştırılması tablosu (Anonim, 2023)

	Konformasyon	Konfigürasyon
Açıklama	Bir moleküldeki atomların kolayca birbirlerine dönüştürülebilen farklı düzenlemelerini ifade eder.	Bir moleküldeki kolayca birbirine dönüştürülemeyen farklı atom düzenlemelerini ifade eder.
Dönüşüm	Bir konformasyonun diğerine dönüştürülmesi oda koşullarında gerçekleşir ve kolaydır.	Bir molekülün bir konfigürasyonunu başka bir konfigürasyona dönüştürmek zordur.
Esneklik	Konformasyonlar çok esnektir.	Konfigürasyonlar daha az esnektir.
Ayrışma	Konformasyonlar birbirlerinden ayrılamazlar. Konformasyonların birbirine dönüştürülmesi, karbondan karbona tekli bağlar etrafındaki dönüşler yoluyla yapılır.	Konfigürasyonlar birbirinden ayrılabilir. Konfigürasyonların birbirine dönüştürülmesi yeni kimyasal bağlar yapılması yoluyla yapılır.



Şekil 2.2. Aynı moleküle ait cis ve trans konfigürasyon şekilleri. (Saçak, 2017)



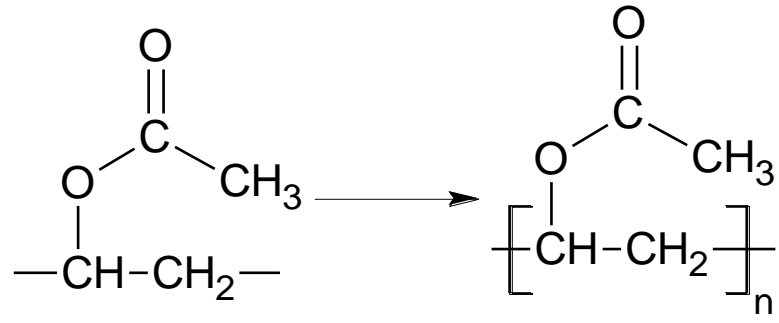
Şekil 2.3. Molekülde konformasyon örneği. (Saçak, 2017)

2.4. Polimer Zinciri

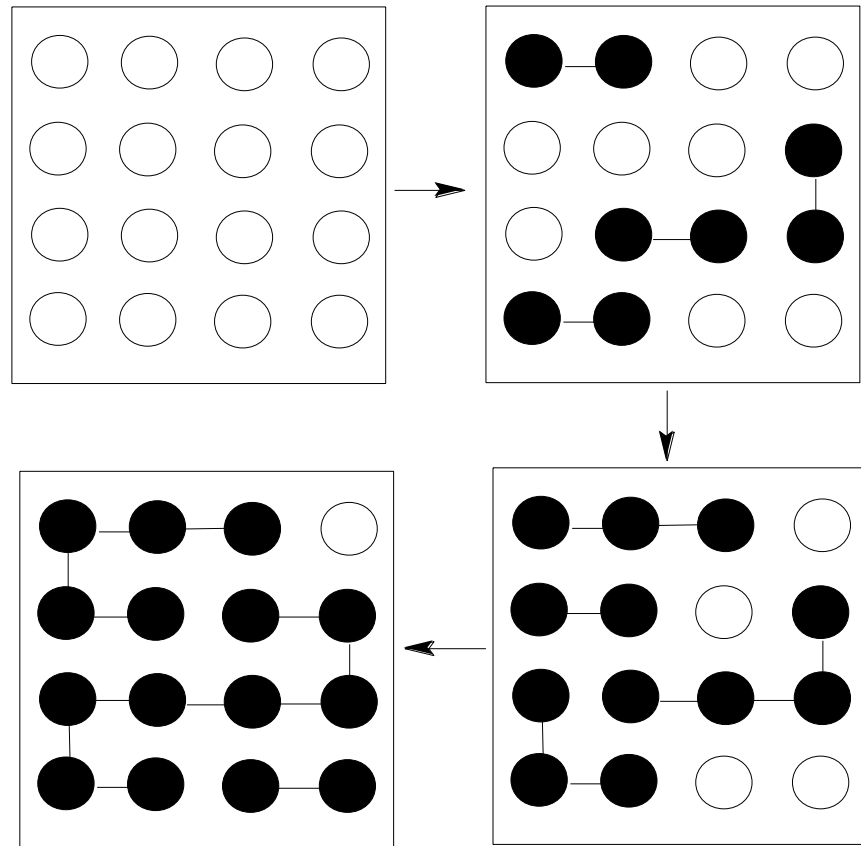
Polimer zincirleri doğrusal, dallanmış ve çapraz bağlı olmak üzere üç gruba ayrılır. Doğrusal polimerde zincir üzerinde sadece yan gruplar vardır. Polimer sentezi sonrasında yan reaksiyon sonucunda ana zincirde oluşan dallara dallanmış polimer denir. Çapraz bağlı polimer zincir üzerinde farklı uzunluklara sahiptir ve kovalent bağlarla bağlıdır (Saçak, 2017).

2.5. Polimerlerin Sentezi

Kimyasal reaksiyonlar sonucunda basamaklı veya katılma polimeri olmak üzere iki farklı polimerizasyon sentezi vardır. Uzun zincirler oluşturmak için iki ve daha fazla fonksiyonel grubun tepkimeye girmesi sonucunda basamaklı polimer sentezi gerçekleşir. Katılma polimer sentezinde ise art arda katılma söz konusudur (Saçak, 2017).

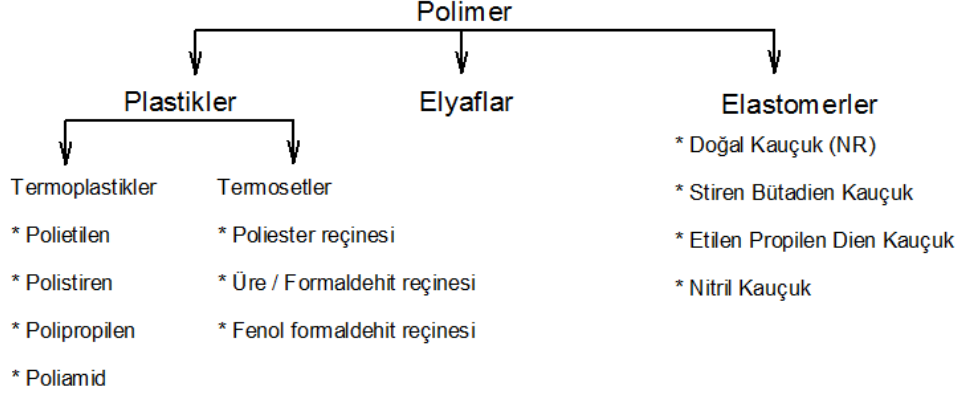


Şekil 2.4. Vinil asetatın katılma polimerizasyon tepkimesi ile polivinil asetat eldesi. (Saçak, 2017)



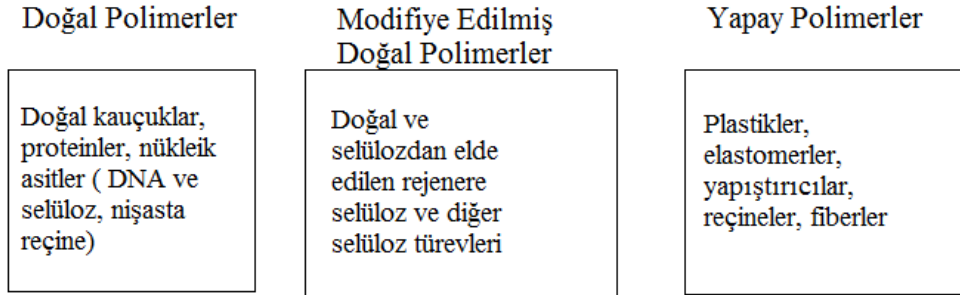
Şekil 2.5. Basamaklı polimerizasyon tepkimesi (Saçak, 2017)

2.6. Polimerlerin Sınıflandırılması



Şekil 2.6. Polimerlerin Sınıflandırılması

Tarihsel Gelişim Sürecine Göre Polimerler



Şekil 2.7. Tarihsel Gelişim Süreçlerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.

Kimyasal Bileşimlerine Göre Polimerler



Şekil 2.8. Kimyasal Bileşimlerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.

Yapılarına Göre Polimerler

Homopolimer

Tek bir monomer biriminin tekrarlanması ile oluşan polimerlerdir. Örneğin; polietilen.

Kopolimer

İki monomerin karışımından oluşan polimerlerdir. A ve B monomer olmak üzere alt gruplara ayrılır.

- * Ardışık Kopolimer: Örnek; stiren maleikanhidrit
- * Blok Kopolimer: Örnek; stiren - izopren
- * Gelişi Güzel Kopolimer: Örnek; stiren - metilmetakrilat
- * Graft Kopolimer: Ana zincire bağlı, farklı monomerlerin tekrarlandığı yan gruplara bağlıdır. Örnek; stiren zincirlerinin üzerine metil metakrilatın çekilmesi ile oluşan zincir homopolimer ve kopolimerlerdir.
- * Doğrusal: Örnek; yüksek yoğunluklu polietilen
- * Dallenmiş: Örnek; alçak yoğunluklu polietilen
- * Çapraz Bağlı: Örnek; vulkanize kauçuk

Şekil 2.9. Yapılarına Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.

Sentez Yöntemlerine Göre Polimerler

Katılma Polimeri

Polistiren oluşumu katılma polimerine örnek olarak verilebilir.

Kondenzasyon Polimeri

Polyester oluşumu kondenzasyon polimerine örnek olarak verilebilir.

Şekil 2.10. Sentez Yöntemlerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.

İşlenme Şekillerine Göre Polimerler (Isıya veya Çözücülere Gösterdikleri Davranışlara Göre)

Termoplastikler

Isı ve basınç altında yumuşar, akar veya şekillendirilir veya bir çözücünde çözünüp şekillendirilir. Örnek; polietilen, polipropilen, naylon vb.

Termosetler

Çapraz bağlı olup çözünmez ve erimezler. Çözmek ve erimekle şekillendirilmezler. Örnek; bakalit, silikon vb.

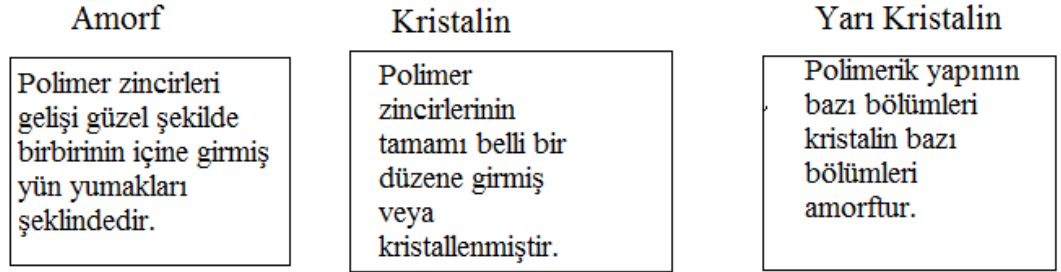
Şekil 2.11. İşleme Şekillerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.

Sentez Yöntemlerine Göre Polimerler



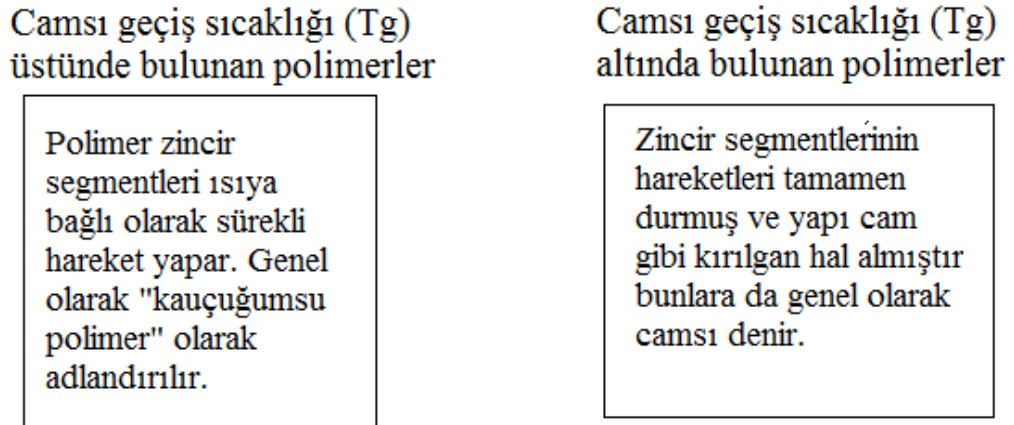
Şekil 2.12. Son Kullanış Yerlerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.

Fiziksel Durumlarına Göre Polimerler



Şekil 2.13. Fiziksel Durumlarına Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.

Fiziksel Hal Geçişlerine Göre Polimerler



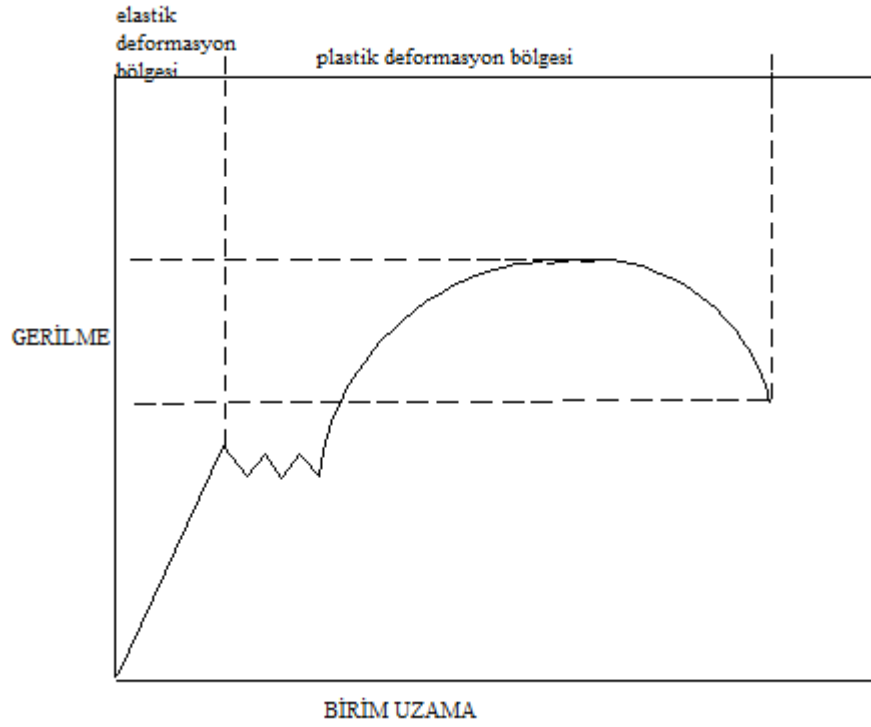
Şekil 2.14. Fiziksel Hal Geçişlerine Göre Polimerlerin Sınıflandırılması.

2.7. Polimerlerin Mekanik ve Kimyasal Özellikleri

Polimer malzemelerde mekanik özellikler sıcaklık, deformasyon veya istenen yapısal özelliklerin tamamını kapsamaktadır (Saçak, 2017).

2.7.1. Çekme – Uzama Gerilmesi

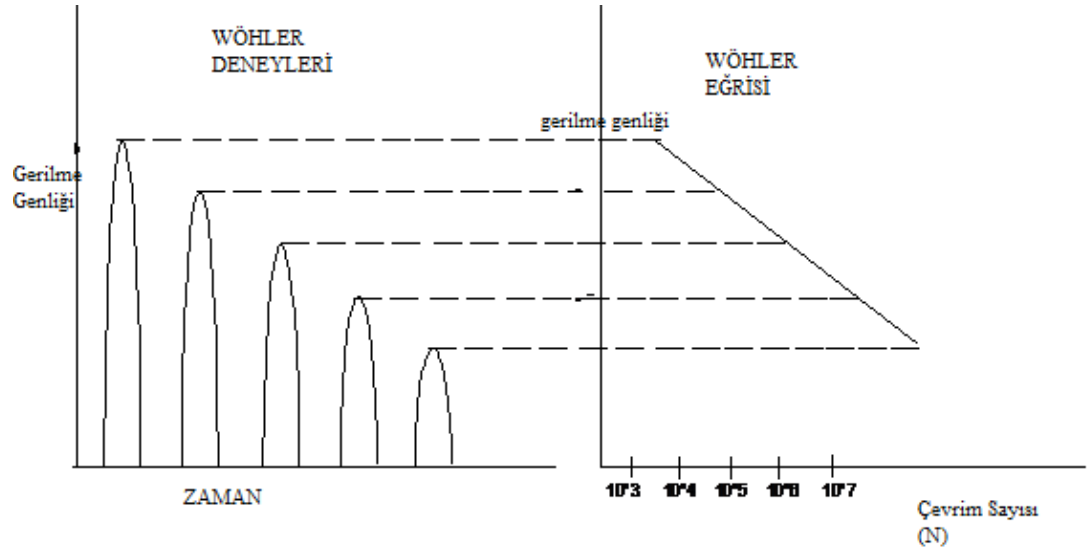
Polimer malzemenin mekanik testlerinin ölçülmesinde kullanılan bir test yöntemidir (Saçak, 2017). Bu test yöntemi ile polimer malzemeye cihaz yardımı ile sabit bir güç uygulanarak malzemenin gerdirilip çekilmesiyle elde edilen kuvvetin ölçülmesidir. Uygulanan kuvveti kesit alanına bölüp hesaplama yapıldığında gerilme test sonucu elde edilir. Bu deney esnasında polimer malzeme test cihazının iki çenesi arasına yerleştirilerek uygulanan kuvvetle çekilip uzatılarak koparılır. Koptuğu andaki değer çekme gerilme değerine eşittir ve bu değeri birim uzama değeri ve elastisite modülü ile çarparak elde edebiliriz. Birim uzama değerini polimer malzemenin toplam uzama değerine böldüğümüzde elde ederiz (Anonim, 2023).



Şekil 2.15. Çekme – Uzama Gerilmesi Grafiği (Saçak, 2017)

2.7.2. Yorulma

Kullanılacağı yerde güç altında kalmasından dolayı deformasyona uğrayan polimer malzemeye çekme, basma veya eğme kuvvetleri uygulanarak yapılan testlerdir. Mekanik testler sınıflandırmasına örnek olarak verilebilir. Kauçuk malzemeye dögüsel bir yük uygulanır ve bu yük doğrultusunda kauçuğun ömrü belirlenir. Polimer malzemenin yorulma testine; polimer malzemenin cinsi, polimer malzemenin yapısı, polimer malzemenin yüzey özellikleri, korozyon etkisi, çentik etkisi, gerilme etkisi, test çalışma ortamı, sıcaklık etkisi, boyutsal özellikler, Wöhler diyagramı, deney hızı vb. maddeler etki eden faktörlerdir (Saçak, 2017).



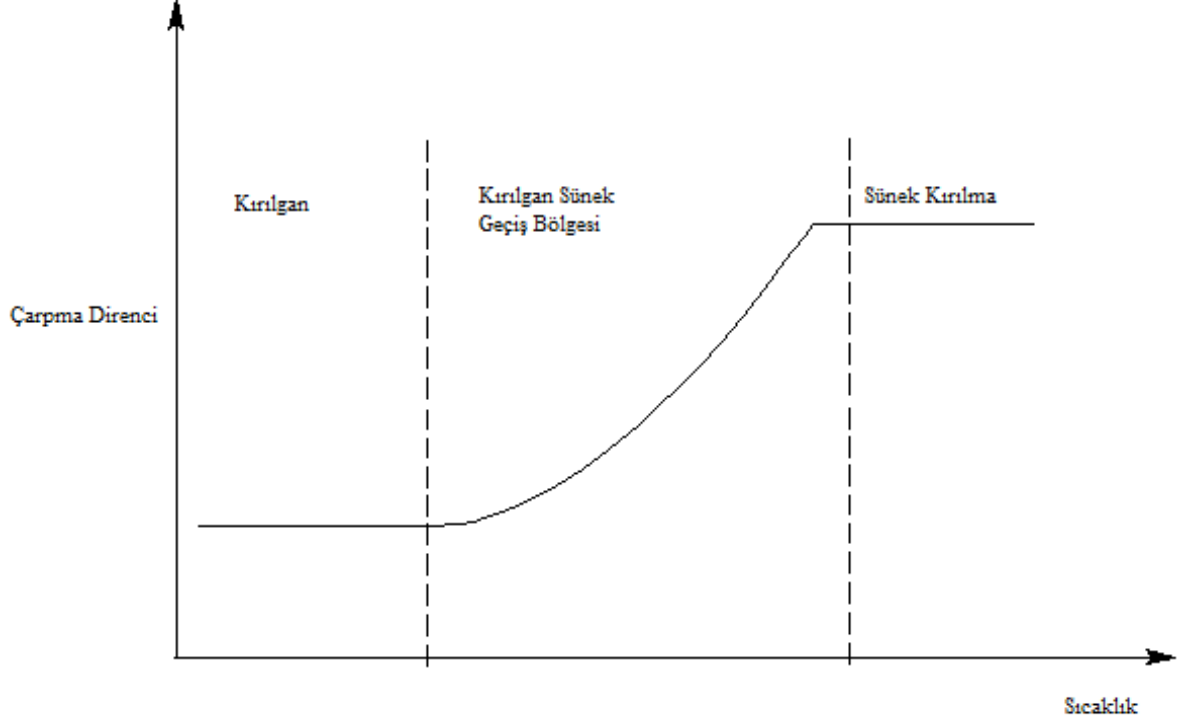
Şekil 2.16. Wöhler deneyleri ve deneylere göre elde edilen Wöhler eğrisi. (Saçak, 2017)

2.7.3. Çarpma Direnci

Genellikle oda koşullarında yapılan bu testte polimer malzemenin aniden gerçekleşen bir darbe sonucundaki etkisini ölçmek amacıyla yapılan deneysel çalışmadır (Saçak, 2017).

Polimer malzemelerin çarpma direncini ölçmek için izod, charpy, gardner çarpma direnci gibi yöntemler kullanılmaktadır. Darbe testleri laboratuvar koşullarında göreceli çarpma direncini karşılaştırmayı sağlar ve malzeme seçimi amacıyla uygulanan yöntemdir. ASTM D256 test yöntemi kullanılarak bu test uygulanır.

ASTM D256: Bir sarkaç sallanır ve polimer numuneye çarpar. Polimer numunede gerçekleşen darbe (enerji) ve sarkaç takip mesafesi ölçülür. Polimer numune kalınlığı 1/8 inçtir (Anonim, 2023).



Şekil 2.17. Sıcaklık – çarpma direnci grafiği (Anonim, 2023)

2.7.4. Isıl Özellikler

- **Isıl İletkenlik**

Polimer malzemeye metal tozları katılarak ısıl iletkenliği düşürülür çünkü ısıl iletkenlik ısıl yorulmalara neden olmaktadır(Saçak, 2017).

- **Isıl Genleşme**

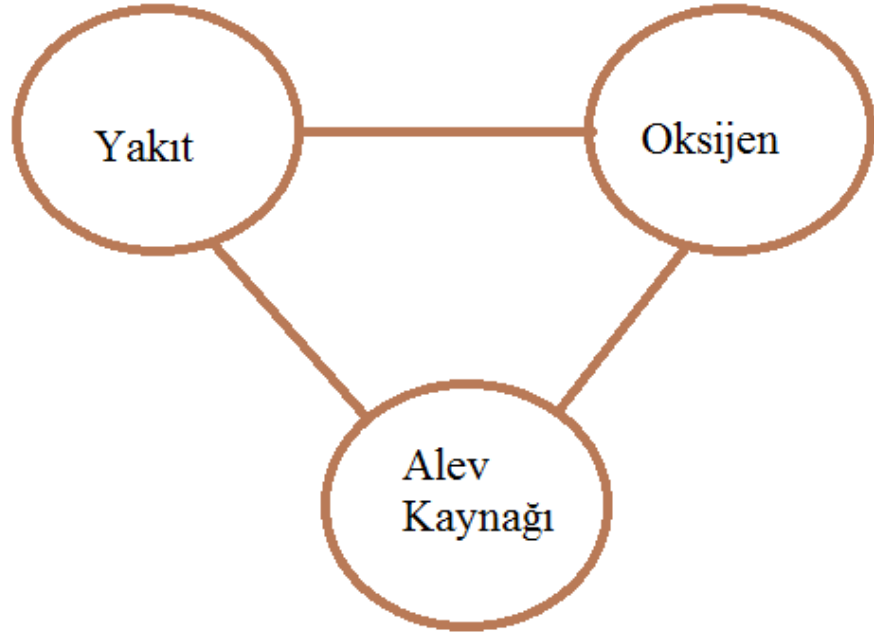
İnorganik kimyasallar polimerik malzemeye katılarak polimerik malzemenin genleşmesini ya da tam tersi büzülmesini önlemek amacıyla kullanılır. Polimerik malzemenin ısıl genleşmesi istenmeyen yapısal özelliktir (Saçak, 2017).

- **Isıl Direnç**

Polimerik malzemeler kullanım alanlarına göre sıcağa veya soğuga dayanıklı olması istenmektedir. Isıl direnç olmayan polimer malzemelerde mekanik özelliklerinde ve fiziksel özelliklerinde değişmeler gözlemlenir bu olay olumsuz, istenmeyen bir etkidir. Isıl direncin kazandırılması için bazı katkı maddeleri polimerik malzemeye eklenmelidir (Saçak, 2017).

- **Alevlenebilirlik**

Polimer malzemelerin çoğu karbon bazlı malzemelerdir ve aleve maruz kaldıklarında yanıp gaz ve duman çıkarırlar. Bu malzemelerin tümü, çok yüksek sıcaklıklarda uçucu ve gaz halinde yanan ürünlere ayrışır. Yanmanın gerçekleşmesi için üç bileşene ihtiyaç vardır ve bunlar “yanma üçgenini” oluşturur herhangi bileşenden biri olmadığında yanma gerçekleşmez. Polimer malzemelerin alevlenmesi o malzemenin yanma hızı sonucunda elde edilen deneysel bir sonuçtur.



Şekil 2.18. Yanma üçgeni

Yanma üçgeninde;

Yakıt: Herhangi bir ateşlenme eyleminin olması için yakıt kaynağı olmalıdır.

Oksijen: Yanma eyleminin temel bileşenidir.

Ateşlenme Kaynağı: Yakıtı yeterince ısıtmak için gereklidir.

Polimer malzemeler için yanma süreci 6 aşamayı takip eder.

- Birincil Termal: Ateşlenme kaynağı, ürüne ve ateşlenme kaynağının enerji çıkışına bağlı olarak sıcaklıkta bir artış yaparak polimer malzeme ısıtılır.
- Birincil Kimyasal: Isıtılan polimer genellikle tutuşturma kaynağının etkisi altında serbest radikallerin oluşumu yoluyla bozulmaya başlar.
- Polimer Ayrışması: Polimer malzeme hızla parçalanmaya başlar.
- Tutuşma: Yanıcı gazlar, yeterli oksijen ve ateşlenme kaynağının varlığında yanmayı başlatmak için tutuşur.
- Yanma: Yanan gazlar polimer malzeme yüzeyinde veya yüzeyine yakın yerlerde yanmaya neden olur.
- Alev Yayılımı: Polimer malzemeye bağlı olarak alevlere yayabilen ve buna zehirli gazlar eşlik eder.

Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI): Polimer malzemenin yanmasının gerçekleşmesi için bulunması gereken oksijen yüzdesinin ölçüsüdür. LOI değeri ne kadar yüksek ise tutuşabilirlik o kadar düşüktür. Hava yaklaşık %21 oksijen içerir ve bu nedenle LOI'si 21'den az olan herhangi bir malzeme muhtemelen açık hava koşullarında yanar. LOI testinde aleve bir polimer numune dikey bir cam kolona tutturulur ve cam kolona yavaşça bir oksijen / azot karışımı beslenir. Numune aleve tutuşturulur ve kolondan aşağı doğru akar. Oksijen / azot oranı değişebilir ve test yalnızca yanmayı destekleyecek minimum oksijen konsantrasyonunu kaydeder (Anonim, 2023).

- **Termal Analiz Teknikleri**

Polimer malzemelerin termal analiz yöntemlerine örnek olarak diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), termogravimetrik analiz (TGA), termomekanik analiz (TMA) ve dinamik mekanik analiz (DMA) verilir. DSC'de bir numune ısıtılır, soğutulur veya numuneye gelen ve numuneden ısı akışı olarak sabit bir sıcaklıkta tutulur. Referans malzeme, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Ölçüm milivat cinsinden numune tarafından emilen ve salınan enerji miktarıdır. TGA'da numune tanımlanmış bir

atmosferde ısıtılır soğutulur veya izotermal olarak tutulur ve kütlesi tartılır. TMA'da bir numune, sabit bir kuvvete, artan bir kuvvete veya modüle edilmiş bir kuvvete maruz kaldığında deforme olma veya değişme yeteneği açısından sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. DMA'da numunenin periyodik olarak salınan bir kuvvete tabi tutulması gerekir ve mekanik özellikleri değerlendirilir. Spesifik olarak kuvvet genliği, deformasyon ve faz kayması, sıcaklık veya frekansın bir fonksiyonu olarak belirlenir. DSC'de ısı kapasitesi, erime noktası dahil erime nitelikleri, buharlaşma, kristalleşme, sıcaklık kararlılığı, elastikiyet, camsı geçiş sıcaklıkları gibi malzemenin çeşitli yönlerinin değerlendirilmesini sağlayan metotlardır (Anonim, 2023).

2.7.5. Optik Özellikler

Optik özellikler, spesifik polimer veya kopolimer malzemeye, formülasyona (renklendiriciler, dolgu malzemeleri, plastikleştiriciler ve diğer katkı maddeleri) ve malzemelerin kristalliğine bağlıdır. Mekanik ve kimyasal bozunma veya yaşlandırma işlemleri ve işlem sırasında uygulanan mekanik koşullar ve sıcaklık polimerin ve polimer formülasyonlarının optik özelliklerini etkiler. Bir polimerin optik özellikleri üzerindeki herhangi bir olumsuz etki fonksiyonel veya mekanik özellikleri karşılamaya devam etse bile ürünün kullanım ömrünü etkileyebilir. Polimerin özellikleri, bu malzemelerin kimyasal mikro yapısı, termal ve fiziksel özellikleri ile yakından ilişkilidir ve bu nedenle kimyasal, termal, fiziksel ve mekanik testleri kapsayan genel testlere denir (Anonim, 2023).

- **Geçirgenlik ve Yansıtma**

Spektrofotometre kullanılarak test yapılır. Saydam malzemeler geçirgen iken opak yapıdakiler geçirgen değildir ve yansıtırlar(Saçak, 2017).

- **Renk**

Polimer malzemelerde renk cihaz yardımı ile tayin edilir ve üretilen üründe istenen renk ölçülerek ifade edilir(Saçak, 2017).



Şekil 2.19. Renk ölçüm cihazı resmi (Anonim, 2023)

- **Parlaklık**

Fotoelektrik cihaz ile parlaklık testi yapılır. Polimerik malzemede yüzeyi yansıtmasından dolayı parlaklık söz konusudur (Saçak, 2017).



Şekil 2.20.Glossmetre cihazı resmi(Anonim, 2023)

- **Pusluluk**

Polimer malzemeden gelen ışık demetinden saçılan ışığın yüzdesel testidir (Saçak, 2017).

- **Şeffaflık**

Saydam polimerik malzemeler şeffaftır ve polimerik malzemeden saçılan ışık demetinin yüzdesel ölçülmesi ile elde edilen test sonucudur.

Polimer malzemelerin atomik ve iyonik yapıları optik özellikleriyle ilişkilidir. Polimer malzemeler görünür bölgedeki özelliklerini belirleyen polimerik malzemenin atomik yapısının konsantrasyonuna ve atomlarının hareketlerine bağlıdır.

Işık bir malzeme üzerine çarptığında;

- Işığın bir kısmı malzemeden yansır.
- Genellikle ısı enerjisine dönüştürüldüğünde ışık emilir ve bir kısmı ise malzemenin içine girerek ilerletilir.
- Işığın geri kalanı malzemeden geçer.

Kristal metalik malzemelerde elektron yoğunluğu yüksektir ve gelen ışığın büyük bir kısmı yansır. Elektron yoğunluğu ve hareketliliği nedeniyle yapıya giren ışık elektronlar tarafından emilerek elektron akışı gerçekleşir. Bunun sonucunda, metalik kristal malzemelerde yüksek opaklık gözlemlenir.

Polimerler optik özellikleri bakımından metallere çok farklıdır ve polimer malzemelerde elektron hareketliliği daha düşüktür. Bu sebeple, elektronların titreşmesi için görünür bölgede ışığın soğrulması yeterlidir. Şeffaf özellikte bir polimer malzeme, düşük görünür ışık absorpsiyonuna ve şeffaf görünür ışık özelliklerine sahip olduğu anlamına gelir. Bununla birlikte, ultraviyole ve kızılötesi ışık bölgelerinde absorpsiyon gösterebilir. Elektronlar güçlü bir şekilde bağlıdır ve bu yapılarıdaki molekülleri uyarmak için çok fazla enerji gereklidir. “C – C” , “C = O” , “N = N” ve “N = O” gibi birçok doymamış gruba sahip yapılarda elektronlar daha düşük enerji aktive edebilir bu nedenle bu maddeler görünür ışık bölgesinde seçici olarak emilir ve renk oluştururlar (Saçak, 2017).

2.7.6. İletkenlik ve Direnç

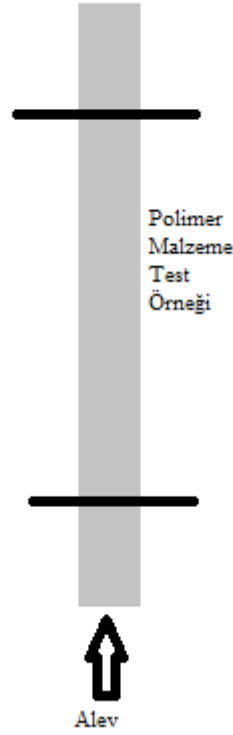
Polimerik malzemenin elektrik iletme yeteneğine iletkenlik denir. Atom yapısının dış yörüngesinde bulunan elektronlar taşıyıcı görev yaparlar. Atoma zayıf olarak bağlanan elektronlar serbest dolaşımında valans yörünge düzeyine geçiş yaparsa iletkenlik özelliği kazanmış olur. Direnç ise ohm kanuna bağlıdır. Gerilim ve elektrik akımının etkisiyle direnç oluşur(Saçak, 2017).

2.7.7. Yanmazlık Testi (UL-94)

Kauçuk bir malzeme olarak kolayca tutuşmaz, ancak tutuştuğunda, malzemenin aşırı yüksek sıcaklıklarda yanmasıyla ateş ve dumanın yayılması hızlı olabilir. 200°C' de kauçuk sıcak bir kütle olarak akmaya başlar. 230°C' de, erimiş kauçuğa hapsolabilen yanıcı buharlar yayar.

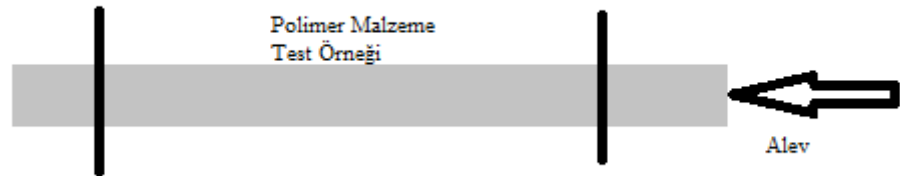
Yanmazlık testlerinde polimerik malzemelerin bir ateşe karşı duyarlılığı, yanma eğilimi ve ateşlendiği zamana bağlı yanma hızı gibi test yöntemlerini içermektedir. UL testi UL tarafından geliştirilmiş olsa da birçok ulusal ve uluslararası standarda dahil de edilmiştir. ISO 9772 ve 9773 standartları örnek olarak verilebilir.

Dikey UL - 94 testi, tutuşabilirliği ve düşük miktarda aleve maruz kaldığında alevin yayılabilirliğini ölçmede kullanılan test yöntemidir. Test dikey pozisyonda yapılır ve polimer numunesinin alt ucundan aleve maruz bırakılır. Testi geçmek için malzeme kendiliğinden sönmelidir.



Şekil 2.21. Dikey yanma testi örneği. (Anonim, 2023)

Yatay UL - 94 testi ise malzemenin yanma hızını belirlemek için kullanılır. Yatay yanma geçilmesi en kolay testtir. Test yapılırken, polimer malzeme yatay bir çubuğun üzerine yerleştirilir ve 30 saniye boyunca aleve maruz bırakılır. Polimer malzeme üzerinde teste başlamadan önce işaret konulur ve bu işarete ulaşma süresi ölçülür. Yavaş yanan veya kendi kendine sönen ve yanan malzeme, damlatmayan malzemeler UL sınıflandırma şemasında en üst sıralarda yer alır.



Şekil 2.22. Yatay yanma test örneği. (Anonim, 2023)

2.7.8. Kimyasal Özellikleri

Polimerik malzemeler çevresel etkilere ve kimyasal maddeye dayanıklıdır.

Kimyasal bozunmalar, polimer malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimler sonucunda ölçümler yapılarak test edilir.

Kimyasal cinsine, polimer malzeme yapısına, uygulama esnasındaki sıcaklık gibi faktörler bozunmalara sebep olurlar (Saçak, 2017).

2.8.Elastomer Teknolojisi

Polimerik malzemeye yük uygulandıktan sonra malzemenin eski haline dönmesine elastikiyet denir. İlk olarak doğal kauçuk ile kauçuk kavramı ortaya çıkmış olsa da sentetik kauçuklarla bu kavramın içeriği gelişmeye devam etmiştir. Kauçuk özelliklerini gösteren tüm malzemeler elastomer sınıfına örnektir(Saçak, 2017).

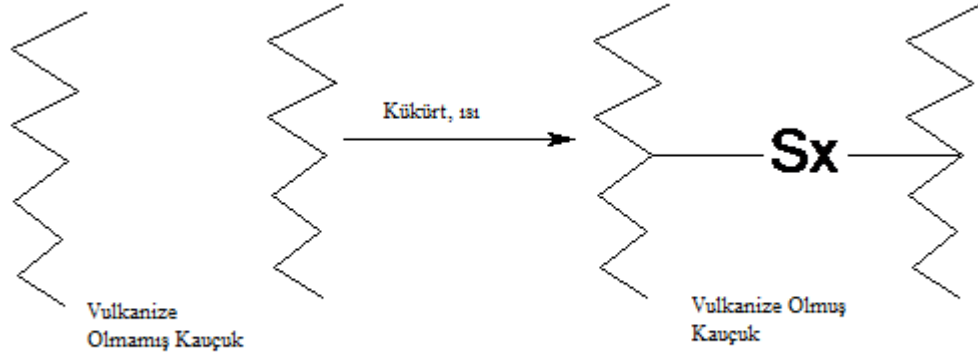
2.8.1. Vulkanizasyon

Kauçuk başlı başına mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri yetersiz bir karışım içindeki ilk maddedir ve endüstriyel bir malzemeye dönüştürmek amacıyla vulkanizasyon işlemi uygulanır. Vulkanizasyon ise lastik karışımında kükürt ile çapraz bağların oluşması prosesine denir ve kükürt miktarının karışımın sertliğine etkisi vardır.

Kauçuk vulkanizasyonunda sadece kükürt kullanmak vulkanizasyon prosesinin süresini uzatır. Vulkanizasyon prosesinde kükürt ve kauçuğun hidrokarbonları arasında (C=C çift bağında) kimyasal bir reaksiyon gerçekleşir ve bu çapraz bağlanma prosesi için sadece kükürt kullanılacak ise 40-55 kükürt atomu gereklidir. Bu prosesin tamamlanması yaklaşık olarak 140°C 6 saat sürer. Bu proses uygun üretilen karışımların mekanik özellikleri düşüktür ve oksidatif bozunmaya yatkındır. Bu üretim prosesinin zor olması daha sonralarında AR-GE faaliyetlerinin oluşmasına sebep olup hızlandırıcıların keşfine sebep olmuştur. Doymuş elastomerlerin çapraz bağlanmasında organik peroksitler kullanılır.

Vulkanizasyon işlemi sonrasında lastik karışım mekanik özellikleri yüksek, elastik davranış gösteren, belirli bir sertliğe sahip ve yapışkan olmayan bir malzeme haline gelmiş olur.

Lastik karışım vulkanizasyon işleminde hızlandırıcı, aktivatör ve geciktirici adı verilen karışım içerisinde kullanılan bazı ilk maddelerde mevcuttur. Hızlandırıcıların görevi çapraz bağlanma hızını arttırmak iken, aktivatörlerin görevi ise hızlandırıcı kimyasalın etkisini arttırmaya yardımcı olur. Geciktiriciler ise vulkanizasyon süresi başladıktan sonra karışıma etki eder (Saçak, 2017).



Şekil 2.23. Vulkanize olmuş ve vulkanize olmamış kauçuk reaksiyonu. (Anonim,2023)

Çizelge 2.2. Çapraz bağlanmış ve çapraz bağlanmamış kauçukların özellikleri. (Saçak, 2017)

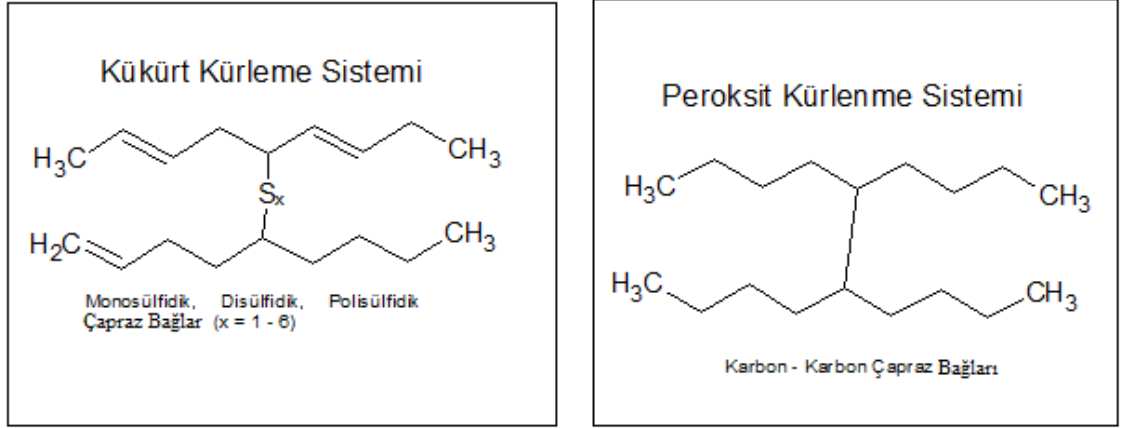
Çapraz Bağlanmamış	Çapraz Bağlanmış
Yumuşak	Daha sert
Yapışkan	Yapışkan değil
Zayıf	Kuvvetli
Düşük elastiklik	Yüksek elastiklik
Isıdan etkilenme	Isıdan daha az etkilenir
Çözünme	Çözünmez

Lastik karışımları vulkanize etmek için bazı kürlenme sistemleri geliştirilmiştir;

- Kükürt bazlı kürlenme sistemi
- Peroksit kürlenme sistemi
- Fenolik reçineler
- Kinonlar
- Metal oksitler

- Aminler
- Üretanlar vb. kütleme sistemlerine örnek olarak verilebilir.

Uygulanan kütleme sisteminin türü, lastik karışımındaki çapraz bağların yapısını belirler.



Şekil 2.24. Kükürt ve peroksit ile kürlenme sistemi. (Anonim, 2023)

Doymamış dien elastomerlerinin kükürt vulkanizasyonu üç aşamada ilerler. Birinci aşamada, kauçuk ile birlikte aktif çapraz bağlayıcı kimyasalın bileşenlerinin kürlenme etkileşimidir. İkinci aşama, polisülfidik çapraz bağlar ile birincil vulkanizat ağının oluşumu gerçekleşir. Üçüncü aşamada, çapraz bağlar (polisülfidik çapraz bağlar di ve monosülfidik çapraz bağlar) ve kauçuğun makromoleküllerinin (izomerizasyon, dehidrojenasyon, siklizasyon) modifikasyonu ve vulkanizatın son uzamsal ağı oluşturulur.

Kükürt ile kürlenmiş vulkanizatların yapısı incelendiğinde; oluşan çapraz bağların yapısı çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Vulkanizasyonu etkileyen parametrelerin başında kauçuk imalatında kullanılan hızlandırıcılar ve kullanılan hızlandırıcı miktarıdır.

Sülfürlü çapraz bağlar ne kadar uzun olursa o kadar kolay ayrışır ve yüksek sıcaklığa karşı daha düşük dirence sahiptirler. Bu nedenle, yüksek seviyede polisülfirik çapraz bağlara sahip vulkanizatlar, ısıya çok dayanıklı değildir. Genellikle mekanik, fiziksel ve dinamik yapısal özelliklere sahiptirler.

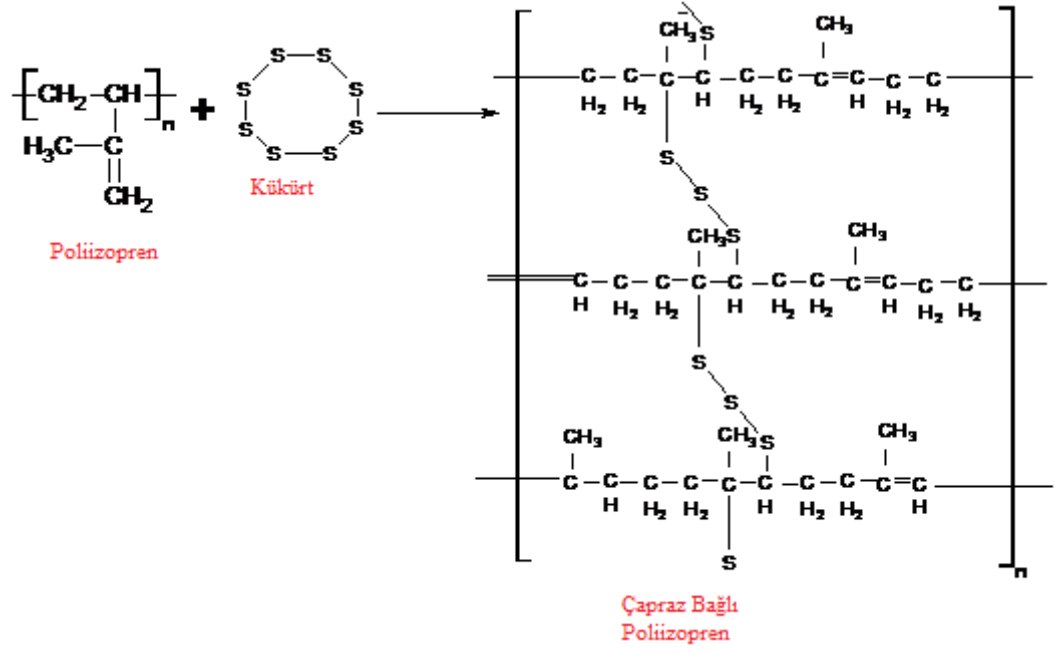
Peroksit vulkanizasyonu ise lastik karışım imalatında krlenmenin organik peroksitler ile gerçekleşmesine denir.

Esas olarak EPDM veya FKM tipindeki elastomerlerin kürlenmesinde kullanılan bu yöntem aynı zamanda doymuş elastomerlerin kürlenmesinde de kullanılmaktadır.

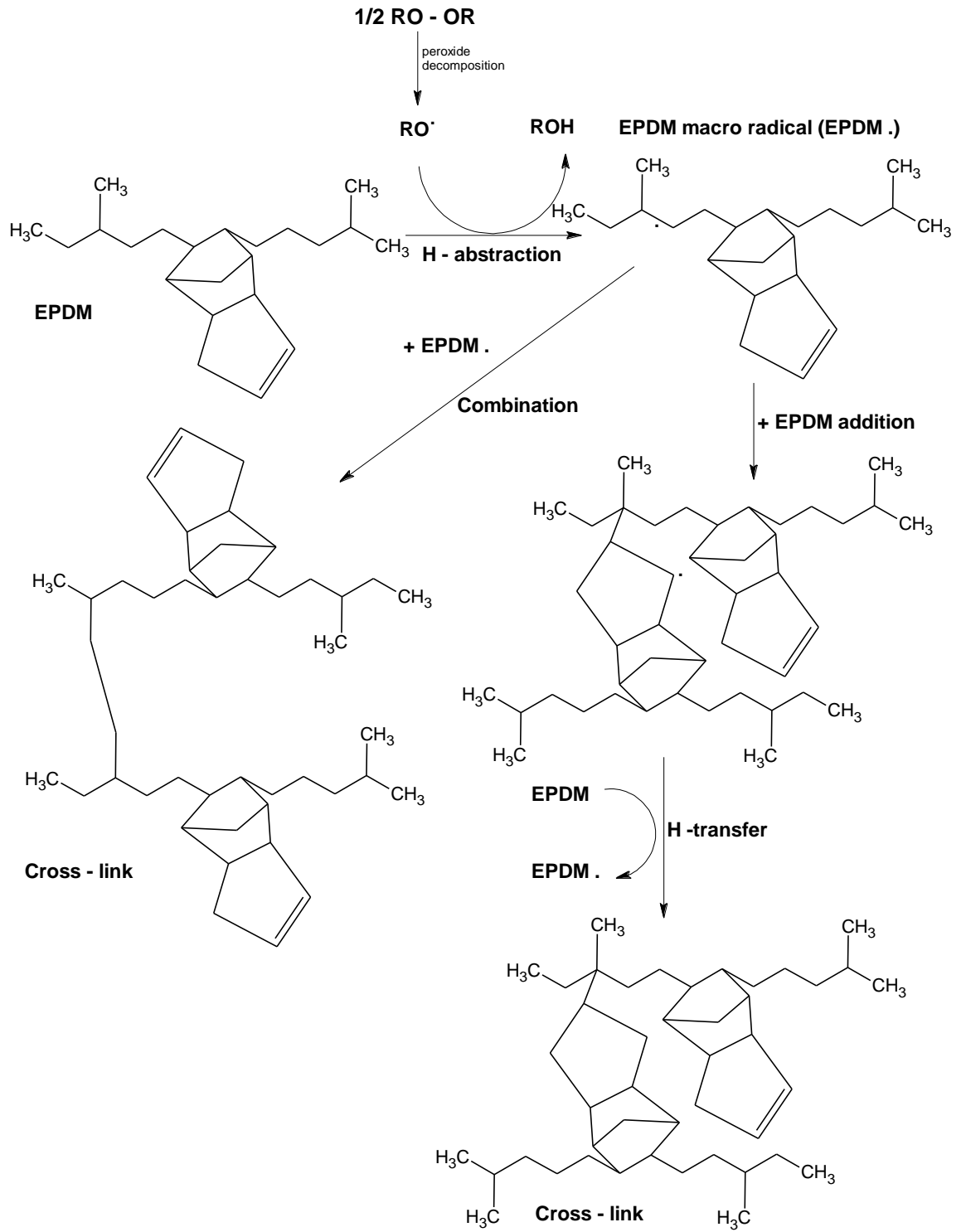
Elastomerlerin apraz bağlanmasında organik peroksitlerin kullanılması, elastomer zincirleri arasında kovalent karbon – karbon çapraz bağlarının oluşmasına yol açar. Karbon – Karbon bağları sülfürlü çapraz bağlara kıyasla daha yüksek ayrışma enerjisine sahiptir, bu sebeple peroksitle ile vulkanize edilmiş elastomerler daha yüksek termal kararlılık ve termo – oksidatif yaşılanmaya karşı iyi direnç gösterirler. İyi elektriksel özellikler, ürünler üzerinde renk değişikliği olmaması peroksitle krlenmenin ayırt edici özellikleri arasında gelmektedir.

Peroksitle kürlenme esnasında;

İlk aşamada, peroksitler homolitik olarak serbest radikallere ayrıştırılır. Peroksit serbest radikal türleri, elastomerler ile reaksiyona girer. (Elastomer zincirlerinden hidrojenin soyutlanması: oluşan elastomer radikalleri daha sonra yeniden birleşerek çapraz bağlar oluşturur.) (Doymamış kauçukların çift bağlarına ek: elastomer zincirlerinin ucunda veya yan zincir gruplarında bulunan çift bağlar, zincirler içindeki çift bağlara “cis / trans” kıyasla sterik olarak daha az engellenir (Anonim, 2023).



Şekil 2.25. Poliizoprenin kükürt ile vulkanizasyon mekanizması. (Anonim, 2023)



Şekil 2.26. EPDM kauçuğun peroksit vulkanizasyon mekanizması. (Anonim, 2023)

2.8.2. Kauçuk Nedir?

Hevea Brasiliensis ağacının öz suyuna lateks denir ve doğal kauçuklar bu ağacın öz suyundan elde edilirler. Sentetik kauçuklar ise petrol ve türevlerinden elde edilirler. Ağaç öz suyundan ya da petrol türevlerinden elde edilen daha çok endüstriyel alanda kullanılan bu elastik malzemeye kauçuk denir (Anonim, 2023).

- **Kauçuğun Etimolojisi**

Hevea Brasiliensis ağacına çizikler atılarak ağaçtan akan süt kovalara toplanır bu sebeple Keçuva dilinde ağlayan ağaç anlamına gelmektedir fakat ilk başlarda silgi olarak kullanılan kauçuk rubber olarak da adlandırılmaktadır (Anonim, 2023).

- **Kauçuğun Tarihçesi**

Kauçuk Good Year tarafından insan hayatına dahil edilmiştir fakat Kristof Kolomb yazdığı günlüklerde Azteklerin yaklaşık 15. yüzyılda lateksten yapılan bir topa oynadıklarından bahsetmiştir (Anonim, 2023).

- **Kauçuğun Kullanım Alanları**

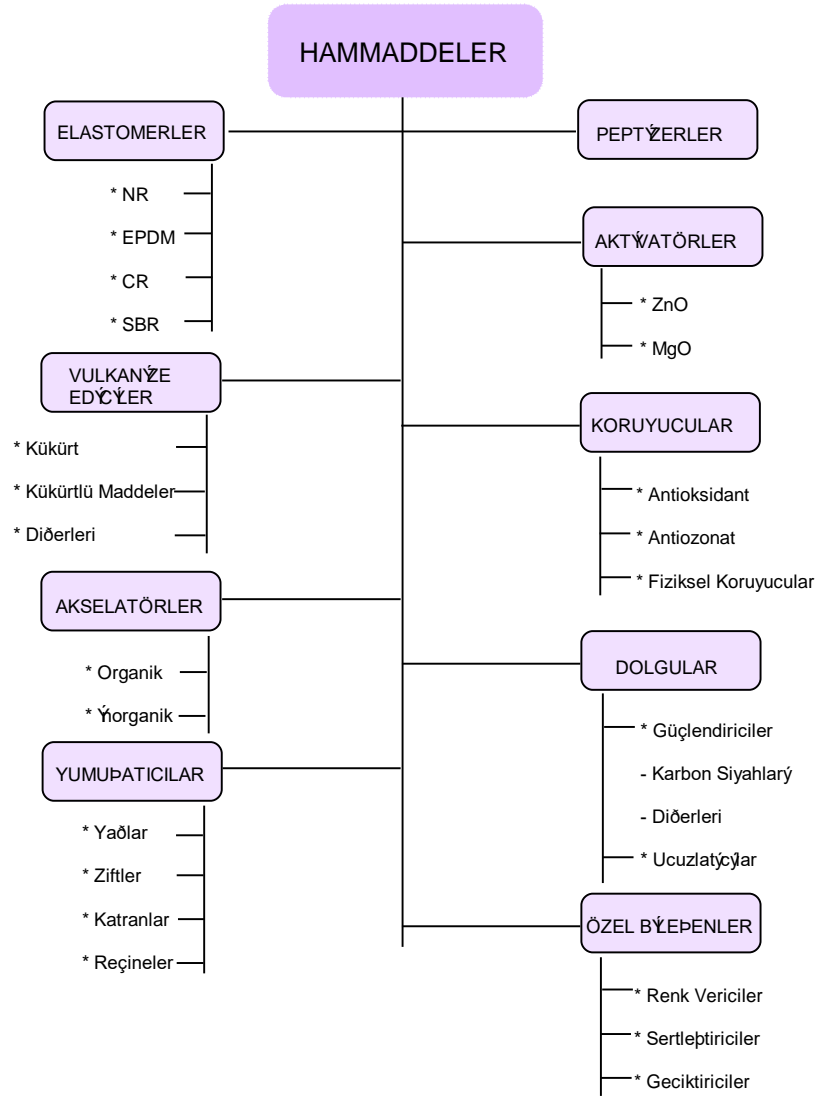
Polimer malzeme örneklerinden biri olan kauçuk çok fazla alanda kullanılmaktadır. Örneğin pamuk veya viskon ile karıştırıldığında kemer, korse gibi giyim alanında kullanılabileceği gibi daha çok otomotiv sektöründe araç lastiği, kapı cam profillerinde, yakıt hortumlarında da kullanılmaktadır. Aynı zamanda titreşim önleyici olarak titreşim takozu olarak da kullanılmaktadır. Suya dayanıklı olması sebebiyle dalgıç kıyafetlerinde, yağmurlukların yapımında da kullanılmaktadır. Kauçuğun farklı türleri olması sebebiyle kullanım alanları çok geniştir (Anonim, 2023).

- **Kauçuk Nasıl Elde Edilir?**

Kauçuk ağacının öz suyuna lateks denir. Lateksi toplamak için ağaç gövdesinde demir bir bıçakla V şeklinde bir kesi yapılır. Burada elde edilen lateksin %35'i kauçuktur. Lastik karışım olabilmesi için kükürt gibi kürlendiren kimyasal maddeler katılması gerekir ve kükürt içeriği %12-20 olan kauçuğa lastik denir. Kükürt içeriği

yüksek ise ebonit adı verilen bir ürün elde edilir. Kauçuğu sertleştirmek için kükürt gibi kimyasalların eklenmesi, yüksek sıcaklıklarda kimyasal bağları güçlendiren bir işlem olan vulkanizasyon olarak adlandırılan proses gerçekleşir. Kauçuk çeşitli sektörlerde kullanıldığı için kauçuğa olan talep artmakta ve bu durum kauçuk kıtlığına yol açmaktadır. Daha sonra bu durum suni (sentetik) kauçuk üretimini şekillendirmiştir (Anonim, 2023).

- **Kauçuk Bileşenleri Nelerdir?**



Şekil 2.27. Kauçuk Bileşenleri Şeması (Anonim, 2023)

2.8.3. Kauçuk Çeşitleri

- **Doğal Kauçuk (NR veya Tabii)**

Doğal kauçuk H. Brasiliensis ağacının öz suyundan elde edilir. H. Brasiliensis ağacına V şeklinde yarık açılır ve bu yarıktan akan ağacın sütü toplanır bu süte lateks adı verilir. Ağaçtan elde edilen trans – poliizoprendir ve sert, kristalin formdadır. Cis – poliizopren ise yumuşak ve amorf formdadır.

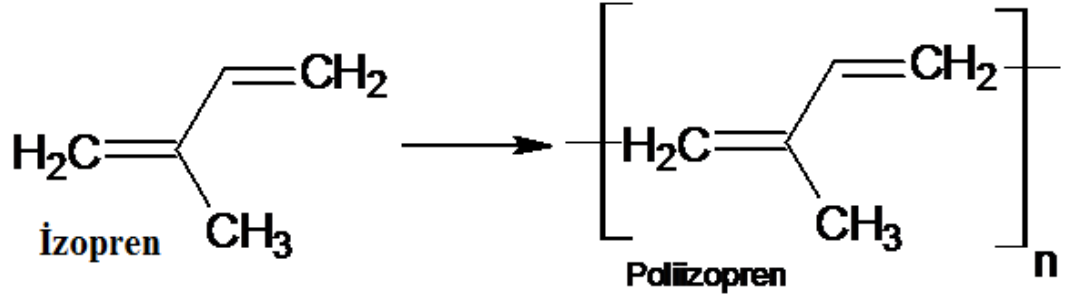
Doğal kauçuk dayanıklı, aşınma dayanımı yüksek, deformasyonu düşük, kolay işlenebilir, mekanik değerleri yüksek olması iyi özelliklerine örnek iken; havaya dayanıksız olması, ozona dayanıksız olması, sıcağa dayanıksız olması, değişken fiyata sahip olması, hidrokarbonlara dayanıksız olması kötü özelliklerine örnektir (Saçak, 2017).

- **Sentetik Kauçuklar**

Sentetik kauçuklar petrol ve türevlerinden laboratuvar ortamında üretilen kauçuk türüdür. Kimyasal yapısı gereği yüksek elastik davranışlara sahiptir. Laboratuvar ortamında istenen özelliklere göre değiştirilip geliştirilmesinden dolayı kullanımı çok yüksektir böylece sektöründe gelişmesine neden olmuştur (Saçak, 2017)

- **Poliizopren Kauçuk (IR)**

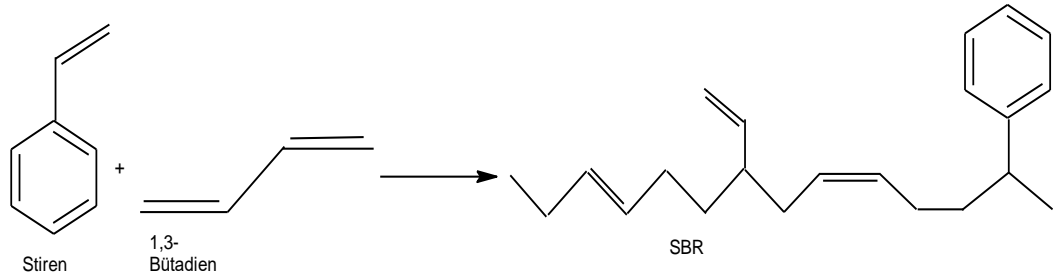
Doğal kauçuk poliizoprenden oluşmaktadır, poliizopren kauçuk ise yapısı gereği doğal kauçukla benzer yapısal özellikleri göstermektedir. Poliizopren kauçuğun mekanik değerlerinden kopma uzaması, elastikiyet özellikleri, suya dayanımı yüksektir fakat yapışma dayanımı düşüktür. Mekanik değerlerinin yüksek olması sebebiyle preslenmesi ve ekstrüzyonda üretimi daha iyidir. Ayakkabı taban imalatında, biberon emziklerinde, yer döşemelerinde ve sağlık sektöründe kullanılmaktadır (Saçak, 2017).



Şekil 2.28. İzoprenden poliizopren reaksiyonu (Saçak, 2017)

- **Stiren Bütadien Kauçuk (SBR)**

Üretimi en çok olan sentetik kauçuklar arasındadır. Stiren ve bütadienin reaksiyonu sonucunda oluşur. Stiren bütadien kauçuk zincir yapısı gereği düzensizdir.



Şekil 2.29. Stiren ve 1,3-bütadienden stiren bütadien kauçuk eldesi reaksiyonu (Saçak, 2017)

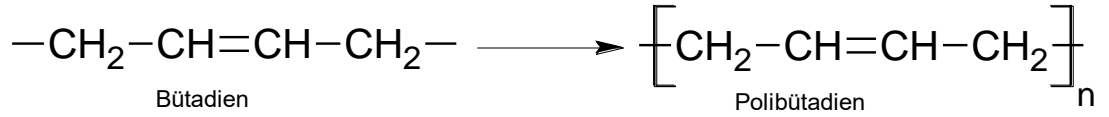
Doğal kauçuk ile karşılaştırıldığında daha kısa sürede ve kolayca kalenderlenir. Doğal kauçuğa göre aşınma, yaşlanma, ısı dayanımı daha yüksektir. Doğal kauçuğa göre ozona karşı dayanıklıdır. Doğal kauçuğa oranla mekanik özelliklerinin yüksek olması için dolgu maddelerine ihtiyaç vardır. Doğal kauçuğa göre kötü özellikleri arasında ise yakıt ve yağlara dayanımı, esnekliği daha düşüktür.

Kablo kılıflama prosesinde, hortum, paspas, ayakkabı tabanı gibi kullanım alanları mevcuttur(Saçak, 2017).

- **Polibütadien Kauçuk (BR)**

Bütadien monomerinin polimerizasyon tepkimesi sonucunda oluşur. Polibütadien kauçuk otomotiv sektöründe araçların lastiklerinin dış yüzeylerinde kullanılır.

Mekanik değerlerinde çekme ve kopma dayanımı düşük olması sebebiyle tabii kauçuk ve stiren bütadien kauçuk ile birlikte kullanılır. Aşınma dayanımı ve çatlama dayanımı yüksek olması sebebiyle dış lastiklerde kullanılır. Düşük sıcaklığa polibütadien kauçuk dayanıklıdır bu sebeple elastik davranış gösterir. Daha çok tekerlek üretiminde kullanılan bu kauçuk hortum, ayakkabı tabanı ve yer döşemelerinde de kullanılmaktadır.

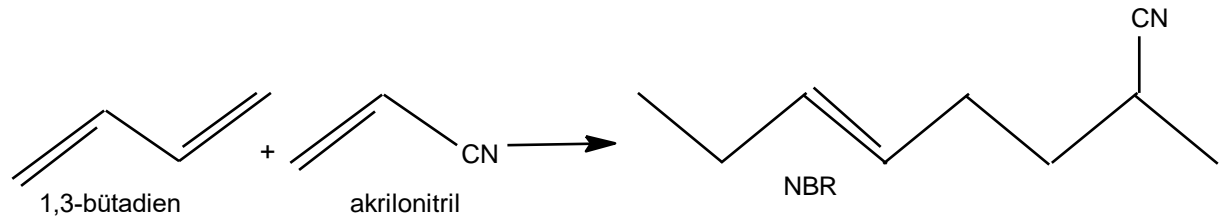


Şekil 2.30.Bütadienden polibütadien reaksiyonu (Saçak, 2017)

- **Akrilonitril Bütadien Kauçuk (NBR)**

Akrilonitril ve bütadienin polimerizasyon tepkimesi sonucunda sentetik kauçuk olarak elde edilir. Akrilonitril bütadien kauçukta nitril sayısı arttıkça kauçuğun yağa ve çözücülere karşı dayanımı, mekanik özelliklerinden olan kopma dayanımı da artmaktadır. Akrilonitril miktarı arttıkça; yağa ve yakıtlara dayanımı, yoğunluğu, sertliği, pişme hızı, mekanik özellikleri bu kauçuğun artarken; akrilonitril miktarı azaldıkça elastikiyet özelliği ve düşük sıcaklıklara olan dayanımı azalır.

Yağa dayanımı sebebiyle otomotivde araçların benzin ve yağ hidrolik hortumlarında, konveyör kayışların yapımında kullanılmaktadır.

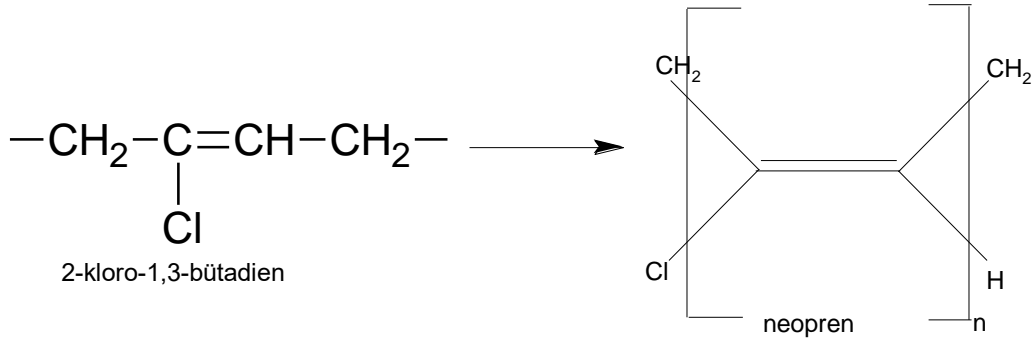


Şekil 2.31. 1,3-Bütadien ve akrilonitrilden akrilonitril bütadien kauçuk eldesi reaksiyonu.(Saçak, 2017)

- **Kloropren Kauçuk (CR)**

2-kloro 1,3 bütadienin polimerizasyon tepkimesi sonucunda elde edilir. Ticari adı ise neoprendir. Kloropren kauçuğun aşınma dayanımı ve mekanik özellikleri yüksektir. Yüksek sıcaklıklara, havaya ve ozona karşı dayanımı yüksektir. Kloropren kauçuklar tekstil ürünlerine ve metal üzerine iyi yapışır. Fren hortumu,

motor takozu, araç silecek lastikleri, kimyasal madde içeren tankların kaplamalarında ve deniz malzemesi üretiminde kullanılmaktadır.

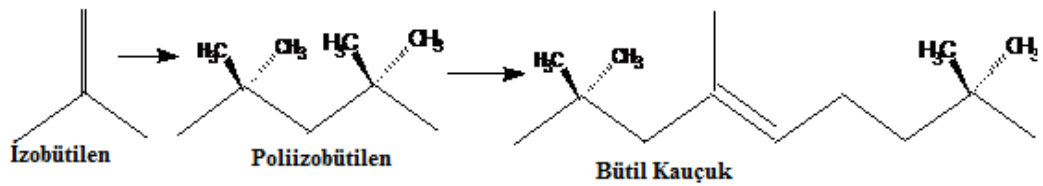


Şekil 2.32. 2-kloro- 1,3-bütadienden neopren kauçuk eldesi reaksiyonu.(Saçak, 2017)

- **Bütıl Kauçuk (IIR)**

İzobütülenin polimerizasyon tepkimesi sonucunda elde edilir. İzobütülen içerisine maksimum %3 izopren eklenerek doymamış bir yapı elde edilir bu yapıya vulkanizasyon işlemi uygulanınca bütıl kauçuk elde edilir.

Bütıl kauçuk düşük gaz geçirgenliğine sahiptir bu sebeple lastiklerin iç astarının yapımında kullanılmaktadır. Aynı zamanda ozon dayanımı, hava dayanımı ve neme karşı dayanımı çok yüksektir. Bütıl kauçuk asit, baz, hayvansal ve bitkisel yağlara karşıda dayanımı yüksek bir kauçuktur.

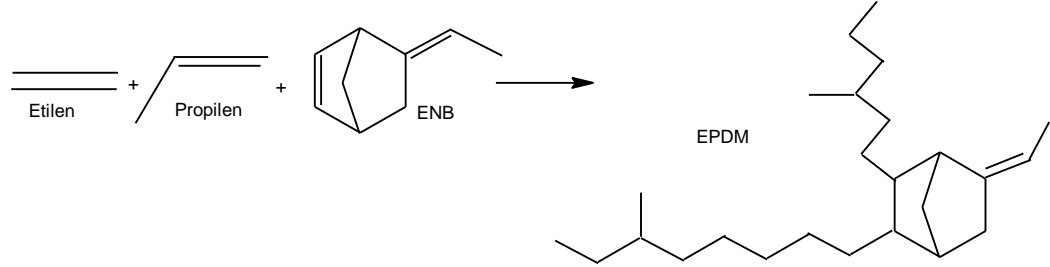


Şekil 2.33. Michael Faraday tarafından izobütülen keşfinden elde edilen bütıl kauçuğun reaksiyonu. (Saçak, 2017)

- **Etilen Propilen DienKauçuklar (EPDM)**

Etilen ve propilenin polimerizasyon tepkimesi esnasında dieninde reaksiyona girmesi sonucunda EPDM kauçuk elde edilir ve bu reaksiyonda çift bağ olmadığı için doymuş yapıya sahip bir kauçuktur bu özelliği sebebiyle ozon dayanımı ve oksijen dayanımı yüksektir. Beyaz eşya sektöründe körük ve conta yapımında, konveyör bantlarında, kapı ve cam profillerde ya da fitillerde, sünger fitillerde

kullanılmaktadır. EPDM kauçuk asitlere ve bazlara dayanıklıdır. Yağ emme kapasitesi yüksek olması sebebiyle düşük maliyetli lastik karışım üretimi olmasına sebep olur.



Şekil 2.34. EPDM kauçuğun eldesi reaksiyonu (Saçak, 2017)

EPDM kauçuk ozon dayanımı, yaşlanma dayanımı, dielektrik özelliği, prosete işleme özelliğinin yüksek olması iyi özelliklerine örnek iken; hidrokarbonlara dayanımının olması kötü özelliklerine örnek verilebilir.

Ekstrüzyon üretiminde etilen miktarı çok önemlidir. Etilen miktarı arttıkça karışımın yüzey kalitesi, sertlik değeri, çekme ve yırtılma gibi mekanik özellikleri, peroksitle kürlenme etkisi artarken; dien miktarı arttıkça uzama ve yaşlanma direnci azalır aynı zamanda koku ve çapraz bağlar arasındaki etkileşim artar (Dikland, 2020).

- **Silikonlar (VMQ)**

Silikon yapısı O-Si-O'dan oluşmaktadır ve yapısı gereği çok kararlıdır. Silikonlar daha çok kablo ve sızdırmazlık işlevinde kullanılırlar.

Silikonların ısı aralıkları yüksektir, ısıya dayanımı, ozona dayanımı ve oksijene dayanımı yüksektir, esneme dayanımı yüksektir bu özellikler güçlü / iyi özelliklerine örnek iken; pahalı olması, aşınma dayanımının kötü olması, prosete işlenmesinin pahalı olması, yakıt ve yağlara dayanımının düşük olması kötü özelliklerine örnek olarak verilebilir.

- **Floroelastomerler (FKM)**

Floru monomerlerin polimerizasyon tepkimesi ile floroelastomerler elde edilir. Floroelastomerler yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır, kimyasal ve yağlara karşı dayanımı yüksektir. Flor atomunun bu kauçuk yapısında sayısı arttıkça kauçuğun sıvılara karşı olan direnci de artmaktadır. Floroelastomerler daha çok havacılık ve uzay sanayisinde, otomotiv sektöründe, kablo kılıflamada kullanılmaktadır (Saçak, 2017).

Çizelge 2.3. Kauçukların karşılaştırılması tablosu yukarıda verilmiştir.

(U: Mükemmel, UI: Mükemmel-İyi, İ: İyi, Oİ: Orta-İyi, O: Orta, OK: Orta-Kötü, K: Kötü, UD: Tavsiye edilmez)

Fiziksel Özellikleri	NR	IR	SBR	BR	IIR	EPM	EPDM	CR	NBR	ACM	FVMQ	FKM
Yoğunluk	0,93	0,93	0,94	0,94	0,92	0,86	0,86	1,23	1	1,1	1,35	1,95
Sertlik	30-100	30-100	40-100	45-80	30-100	40-95	40-95	40-95	20-100	40-90	35-80	60-90
Gaz Geçirgenliği	O	O	O	O	U	O	O	İ	UI	İ	K	U
Elektrik İzolasyonu	U	U	İ	İ	U	U	U	O	OK	İ	İ	İ

Mekanik Özellik	NR	IR	SBR	BR	IIR	EPM	EPDM	CR	NBR	ACM	FVMQ	FKM
Kopma	>30	>28	>24	>21	>21	>21	>21	>28	>24	>17	5-9	>17
Aşınma	İ	U	U	U	Oİ	İ	İ	UI	U	Oİ	K	İ
Esneme	U	U	İ	U	İ	İ	İ	İ	İ	İ	K	İ
Yırtılma	U	U	O	O	İ	İ	İ	İ	İ	O	O	İ
Darbe	U	U	U	İ	İ	İ	İ	İ	O	K	O	İ
Elastikiyet	U	U	İ	U	Oİ	Oİ	UI	UI	İ	Oİ	İ	U
Kahçı Deformasyon	İ	İ	İ	O	İ	U	UI	İ	İ	İ	O	O

Isı Özellikleri	NR	IR	SBR	BR	IIR	EPM	EPDM	CR	NBR	ACM	FVMQ	FKM
Servis Sıcaklığı °C	70	70	100	70	100	140	150	100	125	150	200	250
Düşük Sıcaklık Özelliği	UI	İ	UI	U	O	UI	UI	O	O	K	İ	K
Isıya Dayanım	O	Oİ	İ	İ	UI	UI	UI	UI	İ	U	U	U
Aleve Dayanım	K	K	UI	O	OK	K	K	UI	K	K	U	U

Dayanıklılık	NR	IR	Oİ	BR	IIR	EPM	EPDM	CR	NBR	ACM	FVMQ	FKM
Atmosferik Yaşlanma	O	O	O	O	U	U	U	İ	Oİ	U	U	U
Oksidasyon	İ	İ	İ	İ	U	U	U	U	İ	U	U	İ
Ozon	OK	OK	OK	OK	U	U	U	U	OK	İ	U	U
Radyasyon	O	O	O	K	İ	U	U	İ	O	İ	U	U
Su	U	U	U	U	UI	U	U	U	U	K	U	Oİ
Buhar	İ	İ	O	İ	UI	U	U	İ	Oİ	Oİ	Oİ	K
Alkali (Su)	U	İ	Oİ	Oİ	UI	U	U	U	İ	O	U	İ
Alkali (Konsantre)	Oİ	Oİ	Oİ	Oİ	-	U	U	U	İ	O	İ	K
Asitler (Sulu)	İ	İ	Oİ	Oİ	U	U	U	M	İ	O	İ	O
Asitler (Konsantre)	O	O	O	O	U	U	U	İ	İ	O	O	K
Hayvansal Yağlar	O	O	O	O	UI	O	O	İ	İ	Oİ	U	O
Bitkisel Yağlar	O	O	O	O	UI	O	O	İ	İ	Oİ	UI	U
Yağlama Yağları	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	O	U	U	UI	U
Oksijenli Sıvılar	İ	İ	İ	İ	U	UI	UI	O	K	K	K	İ
Halojenli Sıvılar	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	UD	O	İ	UI	İ
Alkol	UI	İ	İ	İ	İ	UI	-	K	Oİ	K	UI	K
Ester	-	-	-	-	-	-	-	-	UI	OK	U	-
Hidrolik Sıvılar	İ	İ	İ	İ	U	O	UI	O	İ	İ	İ	O

2.8.4. Yumuşatıcılar

Lastik karışım üretiminde kullanılan en önemli ilk madde kimyasallarından biridir. Karışım üretimi esnasında lastik hamurun homojen olarak karışmasını, karışımın sertliğini, üretim prosesinin kolaylaşmasını sağlar. Üretim prosesinin kolaylaşmasını sağlamayı açıklamak gerekirse lastik karışımın akışkanlığını arttırarak proses işlemlerinde yardımcı olur. Aynı zamanda lastik karışımın yapışkanlığını arttırır ve hamurun erken pişme riskini azaltır. İyi bir maliyet düşürücü kimyasaldır. Aynı zamanda karışımın mekanik özelliklerini etkiler(Savran, 1996).

• Yumuşatıcıların Sınıflandırılması

Lastik karışım üretiminde kullanılan yumuşatıcılar (yağlar) fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılırlar ve hangi kauçuk üretiminde kullanılacak ise o kauçuğa uygun yumuşatıcı seçilmelidir (Savran, 1996).

❖ Kimyasal Yumuşatıcılar

Kauçuk yapısındaki bağlar gereği serttir ve tek başına üretiminde işlenmesi zordur bu sebeple üretimde prosesi kolaylaştırmak için kauçuk ezilir bu işleme mastikasyon denir. Mastikasyon işleminde kauçuklar bir yandan parçalanırken bir yandan da yeniden birbirlerine yapışırlar. Bu işlem tek başına yapıldığında uzun zaman almaktadır ve bu prosesin maliyeti çok yüksektir. Proses süresini azaltmak ve kullanılan kimyasalların homojen dağılımını sağlamak amacıyla peptizerler kullanılır. Peptizerlerin kauçuk üretiminde reaksiyona girmesi sonucuna peptizasyon denir ve bu işlem sayesinde kauçuğun viskozitesi düşer, karışım üretim işlemi daha hızlı olur, üretimde kullanılan kimyasalların dağılımı homojen olur (Savran, 1996).

❖ Fiziksel Yumuşatıcılar

Mineral, sentetik ve tabii yağlar olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar. Karışım üretiminde görevleri karışımın maliyetini düşürmek, homojen şekilde kimyasalların dağılımını sağlamak ve karışımın sertliğini ayarlamak amacıyla kullanılmaktadır.

- **Mineral Yağlar:** Lastik karışım üretiminde en çok kullanılan yumuşatıcı sınıfıdır. Petrolün ve türevlerinin destilasyon işlemi sonucunda elde edilirler.

- **Parafinik Yağlar:** Parafinik yağlar düz ve uzun karbon zincirlerinden oluşmuşlardır. Parafinik yağlar açık renkli olmaları sebebiyle karışımda leke bırakmazlar. Parafinik yağlar karışımın homojen şekilde karışmasını sağlarlar.
- **Naftenik Yağlar:** Bu yağlarda bağlar halka şeklindedir ve bu halkaya bazı fonksiyonel gruplar bağlanmıştır. Özellikleri bakımından parafinik yağlara benzerler.
- **Aromatik Yağlar:** Bu yağlar yapısında bir benzen halkası ve fonksiyonel gruplar bulundurur. Maliyeti düşüktür bu sebeple karışım üretiminde maliyeti düşürmek amacıyla fazla miktarda kullanılırsa karışımın yapısal ve mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Renkleri koyudur ve kokulu bir yağdır.
- **Sentetik Yağlar:** Petrol türevli yağ değildir, laboratuvar ortamında kimyasal sentez ile üretilen yağ türüdür bu sebeple maliyetleri daha yüksektir. Maliyetinin yüksek olması sebebiyle kauçuk üretiminde en az tercih edilen yağlar sınıfındadır. Karışım üretiminde kullanılan bu yağların karışımın yapısal özelliklerine etkileri; karışım sertliğini düşürmek, uzama dayanımını arttırmak, elastik davranışını arttırmak, alev dayanımını yükseltmektir. Karışım üretiminde kullanılan bu yağların karışımın prosesine olan etkileri; homojen şekilde kimyasalların dağılmasını sağlar, yapışma özelliğini arttırır. Dioktilftalat (DOP), dibütilftalat (DBP), diisonilftalat (DINP) sentetik yağlara örnektir. Sentetik yağlarda karbon sayısı arttıkça kauçukla yağ arasındaki uyum azalırken, fazla dallanma olması da oksidasyonu arttırır.
- **Tabii Yağlar:** Hayvansal ve bitkisel yağlar bu sınıfa örnektir. Bu yağlar diğer iki yağ türüne göre en pahalıdır. Bu yağlar karışımın yüzey düzgünlüğü ve parlaklığını sağlamak amacıyla kullanılır.

Çizelge 2.4. Değişik elastomerler ile uyum gösteren yumuşatıcılar (U:Uyumlu)
(Savran, 1996)

	Parafenik	Naftenik	Aromatik	Ester, Eter tipi	Özel Yağlar
NR	U	U	U		Tabi Yağ
IR		U			
EPDM	U	U			
CR		U	U	U	
NBR			U	U	

2.8.5. Dolgu Malzemeleri

❖ Karbon Karaları

Karbon karaları %95 kauçuk üretiminde %5 oranında plastik, boya endüstrisi, adsorban madde olarak kullanılmaktadır. Kauçuk üretiminde kauçuğun mekanik özelliklerini arttıran, kauçuğa siyah rengi veren ve aynı zamanda lastik karışımın sertliğini arttırmak amacıyla kullanılan ilk maddedir (Savran, 1996).

• Karbon Karalarının Sınıflandırılması

Karbon karaları üretim yönteminin farklı olmasıyla birlikte dört sınıfa ayrılmaktadır.

○ Fırın Siyahları (Furnare Black)

Kauçuk sanayinde en çok kullanılan sınıftır. Fırın siyahlarının pH'si 6,5-10 aralığındadır. Fırın siyahlarına örnek verecek olursak; ISAF, HAF, FEF, GPF ve SRF'dir (Savran, 1996).

○ Kanal (Baca) Siyahları (Channel Black)

Kanal siyahları doğalgazdan elde edilirler. Bu karbon siyahları çevreye zarar vermektedir bu sebeple kısıtlı üretimi yapılmaktadır. Kanal siyahlarının pH değeri 5'dir (Savran, 1996).

○ Termal Siyahları (Thermal Black)

Termal siyahları orta tanelere sahiptir ve doğalgazın yüksek sıcaklıklarda parçalanması sonucu elde edilirler. Bu gruba örnek olarak FT ve MT verilebilir (Savran, 1996).

○ Asetilen Siyahı

HAF tipi karbon siyahları bu gruba örnektir ve asetilenin yüksek sıcaklıkta bozunması sonucunda elde edilirler (Savran, 1996).

❖ Beyaz Dolgular

• Silikalar

Silikalar yapısal özellikleri bakımından karbon siyahları ile benzer özelliklere sahiptirler. Karışımın mekanik özelliklerini arttırmak, maliyeti düşürmek ve açık renkli renkli karışımlar üretmek amacıyla kullanılmaktadır (Savran, 1996).

• Kaolin

Kaolin karışımın mekanik özelliklerini (sertlik, çekme dayanımı, kopma uzaması, aşınma dayanımı) gibi özelliklerinin artmasına yardımcı olan dolgu malzemesidir ve bu amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır (Savran, 1996).

• Talk

Talkın kimyasal yapısı magnezyum alüminyum silikadır. Talkın fiyatları çok yüksektir bu sebeple ile kullanımları daha düşüktür. Talkın en önemli özellikleri arasında karışım içerisinde kullanıldığında karışımın elektrik direncinin yüksek olmasını ve mekanik özelliklerinin yüksek olmasını sağlaması vardır (Savran, 1996).

• Kalsiyum Karbonat (Tebeşir)

Lastik karışım üretiminde en çok kullanılan beyaz dolgulardan biridir. En çok kullanılmasının sebepleri arasında fiyatlarının diğer beyaz dolgulara oranla daha ucuz olması yatmaktadır. Karışımın maliyetini düşürürken aynı zamanda mekanik özelliklerinin de düşmesine sebep olması dezavantajları arasındadır (Savran, 1996).

2.8.6. Proses Yardımcı Maddeler

Proses yardımcı maddeleri şu şekilde sınıflandırabiliriz:

- Dispergator
- Viskozite (Akışkanlık) Yükselten Kimyasal
- Peptizer
- Yapışkanlık Özelliği Yükselten Kimyasal
- Homojen Özellik Veren Kimyasal

Çizelge 2.5. Kimyasal yapısına göre proses yardımcı maddelerin sınıflandırılması.
(Savran, 1996)

Grup	Örnek
Hidrokarbonlar	Mineral yağlar Petrol türevleri Parafin vaks Petrol reçineleri
Yağ asidi türevleri	Yağ asitleri Yağ asidi esterleri Yağ alkolleri Metal sabunları Yağ asidi amitleri
Sentetik reçineler	Fenolik reçineler
Düşük molekül ağırlıklı polimerler	Polietilen Polibütenler
Organik thio karışımlar	Peptizerler

❖ **Hammadde Etkileri**

Hammaddeler sınıfına hızlandırıcılar, aktivatörler, antioksidantlar örnek verilebilir bu karışım içerisindeki ilk maddeler genellikle toz halindedir. Toz halinde olmaları sebebi ile karışım üretimi esnasında tozların uçuşmasından kaynaklı karışımda homojen olarak dağılma olmaz. Hammaddelerin belirli avantajları vardır bu avantajlara homojen karıştırma işlemi yapıldığında batchler arasındaki test sonuçlarında uyum sağlanması, sert lastik karışıma katıldığında yanma direncinin artmış olması örnek verilebilir (Savran, 1996).

❖ **Peptizerler**

Kauçuk başlı başına yüksek viskoziteye sahip bir ilk maddedir bu viskoziteyi düşürmek karışım üretim prosesini kolaylaştırmak amacıyla peptizerler kullanılmaktadır. Peptizerler peptizasyon tepkimesine neden olurlar bu tepkime sonucunda karışımda dolgu malzemelerinin karışması kolaylaşır, kullanılan ilk maddeler homojen dağılım yaparlar, viskozitenin düşmesi sayesinde karışımın akışı kolaylaşır ve yapışma özellikleri artar. Enerji tüketiminin azalması, karışım batchleri arasındaki yapısal uyumlar, karışımın dağılımının homojen olması, karışım maliyetinin düşük olması peptizerlerin avantajları arasındadır (Savran, 1996).

❖ Yağlayıcılar

Yağlayıcıların karışım içerisindeki dolgu malzemelerini karıştırma işlemini hızlandırması, dağılımı homojenleştirilmesi, daha düşük sıcaklıklarda karıştırma işlemini sağlaması, viskozite düşürmesi, enerji tüketimini düşürmesi, özellikle ekstrüzyon üretiminde daha hızlı daha kolay üretim yapılmasını sağlaması, ekstrüzyonda kalıptan çıkarken profilin şişme ve çekme gibi proses problemlerini azaltması gibi avantajları vardır. Yağlayıcılara yağ alkoller, yağ asitleri, yağ esterleri örnek verilebilir. Ticari olarak yağlayıcılara örnek verecek olursak stearik asit ve çinko stearat en iyi örnektir (Savran, 1996).

❖ Homojenleştirici Reçineler

Kauçuklar farklı polarite ve viskoziteye sahiptir farklı özelliklerdeki kauçuklar birbiri ile karıştırılmak istendiğinde üretim proses süresi uzamaktadır bu süreyi kısaltıp homojen halde dağılım yapmasını homojenleştirici reçineler sağlar. Homojenleştirici reçinelerin farklı polariteye sahip kauçuklarla uyumu, batchler arasında uyum sağlaması, dolgu malzemelerinin karışmasını ve dağılımını kolaylaştırması, üretim proses süresini kısaltması, lastik karışım üzerinde yüzey düzgünlüğünün sağlanması gibi avantajları vardır (Savran, 1996).

❖ Vulkanizasyona Etkileri

Lastik karışım vulkanizasyon prosesinde transfer kalıplama, enjeksiyon kalıplama, kompresyon kalıplama, ekstrüzyon gibi bazı sistemler kullanılmaktadır. Bu proseslerde ürün oluştururken amaç karışımın akış özellikleri, ürünün yüzey düzgünlüğü, kalıptan ürünün kolay alınması veya çıkmasıdır (Savran, 1996)

2.8.7. Aktivatörler

Aktivatörlere en iyi örnek çinko oksittir. Aktivatörlerin asıl görevi vulkanizasyon prosesini hızlandırmak ve lastik karışımın mekanik özelliklerine etki etmesidir (Savran, 1996).

❖ Çinko Oksit

Çinko oksit lastik karışım üretiminde 2-10 phr aralığında kullanılmaktadır fakat çoğunlukla 5 phr oranında kullanılır. Stearik asit ile reaksiyona girer. Kauçuğun ilk üretildiği zamanlarda dolgu malzemesi olarak kullanılan çinko oksit daha sonralarında aktivatör amacıyla kullanımına devam edilmiştir (Savran, 1996).

❖ Aktif Çinko Oksit

Çinko oksit oranına göre aktif çinko daha az miktarda açık renkli karışımlarda daha çok kullanılmaktadır (Savran, 1996).

❖ Transparan Çinko Oksit

Transparan çinko oksit, çinko karbonat ve çinko hidroksitten oluşmaktadır ve lastik karışımında 1-1,5 phr aralığında kullanılmaktadır (Savran, 1996).

2.8.8. Hızlandırıcılar

Hızlandırıcılar kükürt ile birlikte kullanıldıklarında çapraz bağlanma reaksiyonunu başlatır, daha kısa süre içerisinde pişme işlemi başlar. Lastik karışımında mekanik ve fiziksel özelliklere etki etmesi ve daha düşük oranda kükürt kullanarak vulkanizasyon işleminin başlaması gibi avantajları vardır. Vulkanizasyon prosesinde kullanılacak olan kükürt miktarının azalmasını sağlar (Savran, 1996).

Çizelge 2.6. Hızlandırıcılar, kimyasal grupları ve vulkanizasyondaki hızları tablosu. (Savran, 1996).

Hızlandırıcılar	Kimyasal Grup	Vulkanizasyon Hızı
BA, HMT	Aldehit amin	Yavaş
DPG, DOTG	Guanidin	Yavaş
MBT, MBTS, ZMBT	Tiyazol	Yarı ultra hızla
ZBDP	Tiyosülfat	Ultra hızlı
CBS, TBBS, MBS, DCBS	Sülfenamid	Hızlı gecikmeli
ETU, DPTU, DBTU	Tiyöre	Ultra hızlı
TMTM, TMTD, DPTT, TBzTD	Thiuram	Ultra hızlı
ZDMC, ZDEC, ZDBC, ZBEC	Ditiyokarbamat	Ultra hızlı
ZIX	Ksantatlar	Ultra hızlı

Hızlandırıcılar birincil ve ikincil hızlandırıcılar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tiyazoller ve sülfenamidler birincil hızlandırıcılar sınıfına örnektir ve lastik karışımın formülünde 0,5-1,5 phr dozajında kullanılır. Guanidinler, thiuramlar ve ditiyokarbamatlar temel hızlandırıcılardır birincil hızlandırıcıları etkinleştirmek için ikincil hızlandırıcı olarak kullanılırlar. İkincil hızlandırıcıların dozajları genellikle birincil hızlandırıcıların %10-40' ı arasındadır.

Çizelge 2.7. Bazı hızlandırıcı (akselatörlerin) hızlıdan yavaşa sıralaması. (Savran 1996)

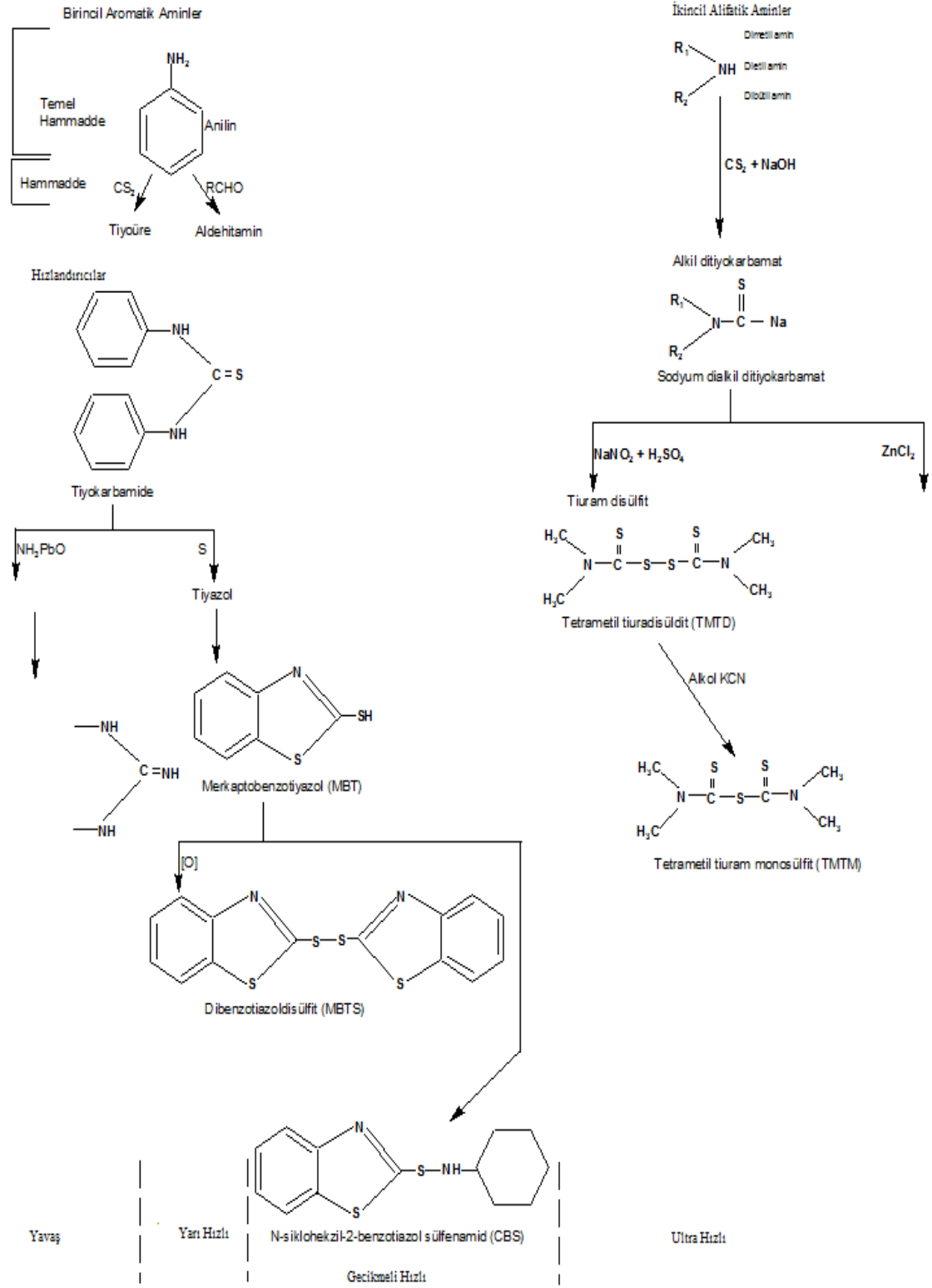
Çinko dietilditiokarbamat(ZDEC)
Çinko dimetilditiokarbamat(ZDMC)
Çinko dibütilditiokarbamat(ZDBC)
Çinko dibenzilditiokarbamat(ZBEC)
Çinko izo-propilksantat(ZIX)
Çinko n-bütiksantat(ZBX)
Tetrametiltiurammonosülfid(TMTM)
Tetrametiltiuram disülfid (TMTD)
Tetraetiltiuram disülfid (TETD)
MERkaptobenzotiazol(MBT)
2' – Dibenzotiazol disülfid (DM)
Çinko tuzu veya 2-merkaptobenzotiazol (ZMBT)
N-sikloheksil-2-benzotiazol sülfonamid(CBS)
N-ter-bütül-benzotiazolsülfonamid(TBBS)
1,3-difenilguanidin (DPG)

Üretim prosesinde yüksek sıcaklıkta ve basınç etkisiyle kükürt ve hızlandırıcılar kullanılarak kauçukta polimerik zincirlerin oluşmasıyla çapraz bağlar oluşur bu prosese vulkanizasyon denir.

Çizelge 2.8. Pişme sırasında yukarıda belirtilen değişikliklerin olduğu tablo. (Savran, 1996)

Özellik Adları	Vulkanize Olmamış Karışım	Vulkanize Olmuş Karışım
Kopma Mukavemet Özelliği	Düşük	Yüksek
Elastik Özelliği	Sınırlı	Çok fazla
Akışkan Özelliği	Yüksek	Düşük
Plastik Özelliği	Plastik	Plastik değil
Yapışkan Özelliği	Yapışkan	Yapışkan değil
Erime Özelliği	Erir	Erimez

AKSELERATÖRLERİN KİMYASAL SINIFLANDIRILMASI



Şekil 2.35. Akselatörlerin kimyasal sınıflandırılması. (Anonim, 2023)

Lastik karışım üretiminde esnasında kullanılacak hızlandırıcı seçiminde;

- Kauçukta yüksek çözünürlüğe sahip olmasına
- Isı transferine
- Maksimum vulkanizasyon sıcaklığına
- Vulkanizasyon prosesinde istenen kürlenme döngüsüne
- Çok çeşitli kürlenme sıcaklıklarında etki ve farklı elastomerlerde kullanımda uygun olmasına dikkat edilmelidir.

Tiyazol Hızlandırıcılar:

MBT, MBTS, ZMBT gibi kimyasallar tiyazol hızlandırıcılara örnektir. Tiyazoller orta hızlı birincil hızlandırıcılardır ve lastik endüstrisinde bisiklet lastikleri, ayakkabılar, kayışlar, hortumlar ve diğer kalıplanmış veya ekstrüde edilmiş ürünler gibi çok çeşitli ürünlerin üretimi için uygun ve en yaygın olarak kullanılan hızlandırıcılardır. Tiyazoller çinko oksit ve stearik asit kombinasyonu ile aktive edilir ve vulkanizatla kürlenmeyi sağlar. Tüm tiyazol hızlandırıcılar DPG, DOTG, TMTM, TMTD gibi küçük miktarlarda temel hızlandırıcılar kullanılarak vulkanizasyon hızı arttırılabilir. Tiyazol hızlandırıcılar küçük oranlarda PVI veya NDPA, ftalik anhidrit, salisilik asit gibi kimyasallar kullanılarak hızlandırma özellikleri yavaşlatılabilir. Fazladan stearik asit eklenmesi veya sülfenamid hızlandırıcı ile lastik karışımın erken pişmesini kontrol edebiliriz.

Pişme zamanı: MBT<MBTS<ZMBT

Kür oranı: ZMBT<MBTS<MBT

Çapraz bağ yoğunluğu: ZMBT<MBT<MBTS

Sülfenamid Hızlandırıcılar:

Sülfenamid sınıfı hızlandırıcılar arasında CBS, TBBS, MBS, DCBS bulunur. Sülfenamid hızlandırıcılar 2-merkaptobenzotiyazol sikloheksilamin / tert – butilamin / morfolin / disikloheksilamin gibi bazik aminler ile reaksiyon sonucunda oluşan ürünleridir. Sülfenamid hızlandırıcılar kürlenme oranını daha da arttırmak için DPG, DOTG, TMTM, TMTD tipi temel hızlandırıcılar kullanılarak güçlendirilebilir. Sülfenamid hızlandırıcıların kürlenme oranını etkilemeden küçük oranlarda PVI kullanılarak etkili bir şekilde geciktirilebilir. Sülfenamid hızlandırıcılar tiyazol hızlandırıcılarına

oranla daha iyi esneklik ve esneme yorulma direnci ile birlikte daha yüksek çekme – kopma özelliği sergiler.

Pişme zamanı: CBS<TBBS<DCBS

Kür oranı: DCBS<CBS<TBBS

Çapraz bağ yoğunluğu: DCBS<CBS<TBBS

Sülfenamid hızlandırıcılar sınırlı depolama stabilitesine sahiptir ve bozunma hızı, nem ve ısı gibi depolama koşullarında büyük ölçüde etkilenir.

Tiuram Hızlandırıcılar:

Tiuram sınıfı TMTM, TMTD, TETD, TBzTD, DPTT gibi hızlandırıcıları içerir. Tiuramlar daha hızlı sertleşme oranı elde etmek için tiyazol / sülfenamid sınıfı hızlandırıcılarla genellikle 0,05 – 0,4 phr dozajında ikincil hızlandırıcı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Kükürt eksikliğinde 2,5 – 3,0 phr dozajında kullanıldığında lastik karışımın daha esnek olması, daha düşük yırtılma direnci ve yüksek sıcaklıklarda daha çok sertleşir.

Pişme zamanı: TMTD<TETD<TMTM

Kür oranı: TMTM=TETD=TMTD

Çapraz bağ yoğunluğu: TMTM=TETD=TMTD

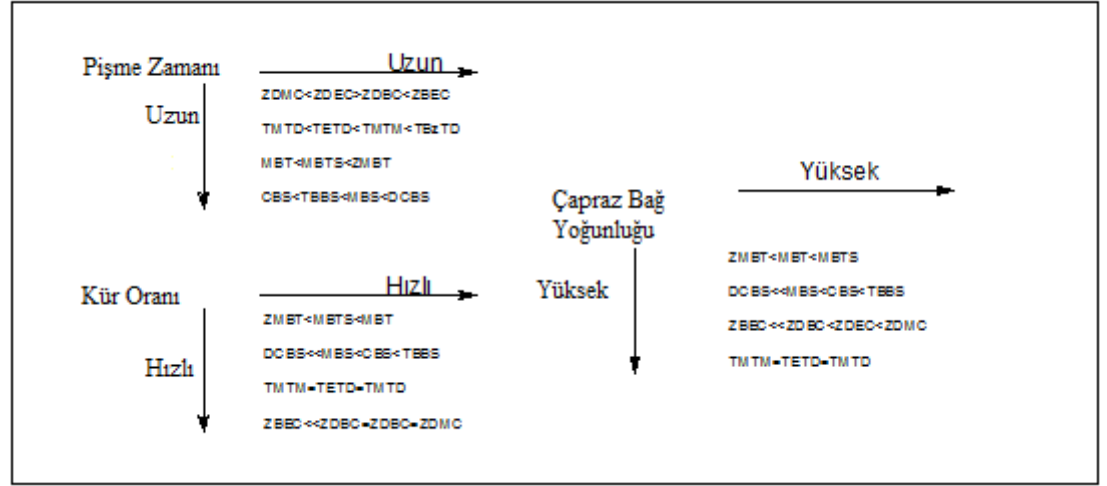
Ditiyokarbamat Hızlandırıcılar:

ZDMC, ZDEC, ZBzDC gibi hızlandırıcılar örnek olarak verilebilir. Ditiyokarbamatlar doğal kauçukta ultra hızlı hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Ditiyokarbamat sınıfı hızlandırıcılar aktivasyon için çinko oksit ve stearik asit ile hızlı vulkanizasyon sağlar. Ditiyokarbamatlar düşük sıcaklıklarda (115 – 120°C) kısa sürede vulkanizasyonu sağlar. EPDM ve IIR gibi kauçuklarda birincil hızlandırıcı olarak tiuram sınıfı hızlandırıcılarla birlikte ikincil hızlandırıcı olarak kullanılarak kürlenme sağlanabilir. Işığa maruz kalan karışımlarda bile renk değişikliği, blooming (kusma) yapmadığı için şeffaf karışım üretiminde de kullanımını uygundur.

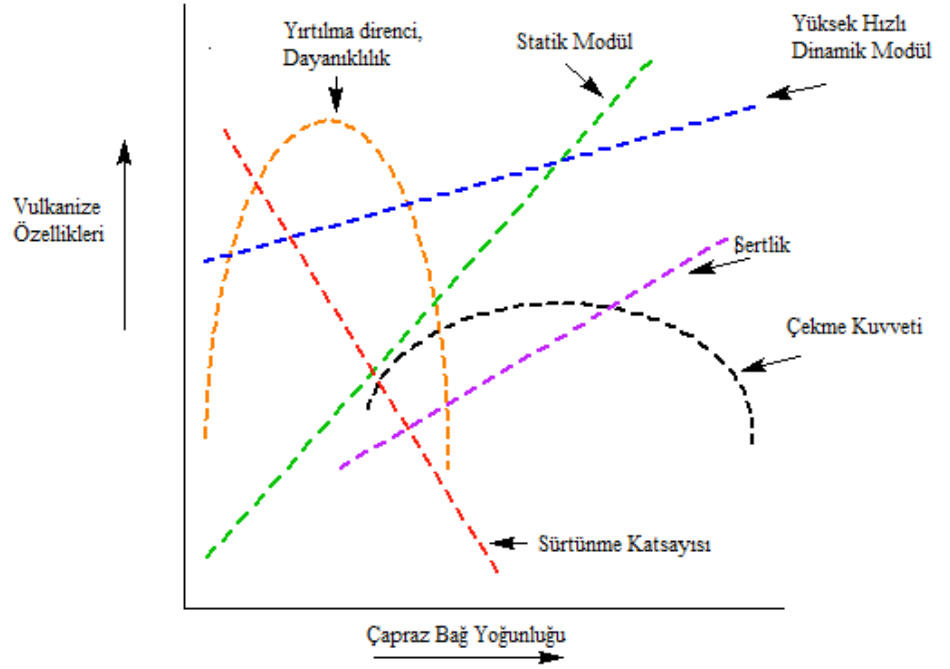
Pişme zamanı: ZDMC<ZDEC<ZDBC

Kür oranı: ZDBC=ZDEC=ZDMC

Çapraz bağ yoğunluğu: ZDBC=ZDEC=ZDMC

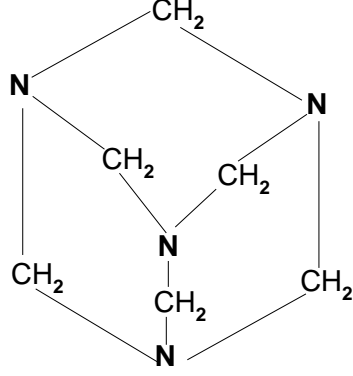
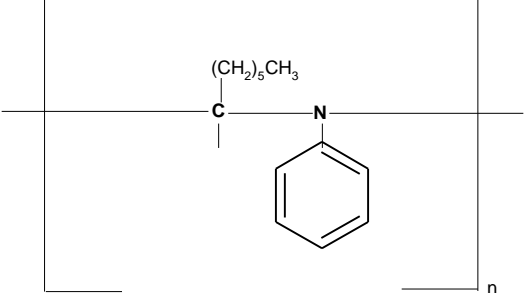
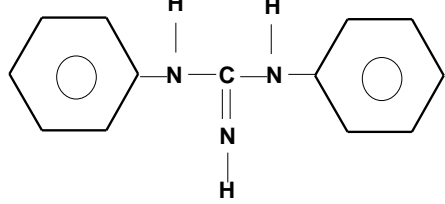
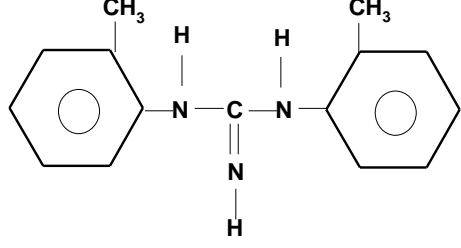
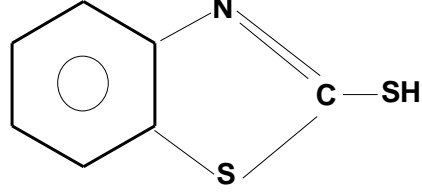


Şekil 2.36. Akselatörlerin pişme zamanı, kür oranı ve çapraz bağ yoğunluğuna göre kıyaslanması. (Anonim, 2023)



Şekil 2.37. Vulkanize edici kimyasalın çapraz bağ yoğunluğuna göre lastik karışıma etkileri grafiği (Anonim, 2023)

Çizelge 2.9. Akselatör isimleri ve kimyasal yapıları tablosu. (Anonim, 2023)

Hızlandırıcı Adı	Kimyasal Şekli
Hekzametilen Tetramin (HMT)	
Heptaldehit – Anilin (BA)	
Difenil Guanidin (DPG)	
N, N' – Diortotoil Guanidin (DOTG)	
2 – Merkaptobenzotiazol (MBT)	

Çizelge 2.9.Akselatör isimleri ve kimyasal yapıları tablosu. (devam) (Anonim, 2023)

Hızlandırıcı Adı	Kimyasal Şekli
2 – 2' – Ditiobis(benzotiazol) (MBTS)	
Çinko – 2 – Merkaptobenzotiazol (ZMBT)	
Çinko – O,O – di – N – fosforditiod (ZBDP)	
N – Sikloheksil – 2 – benzotiazolsülfenamid (CBS)	
N – tert – butil – 2 – benzotiazolsülfenamid (TBBS)	
2 – (4 – Morfolintio) – benzotiazol (MBS)	
N, N' – disikloheksil – 2 – benzotiazolsülfenamid (DCBS)	

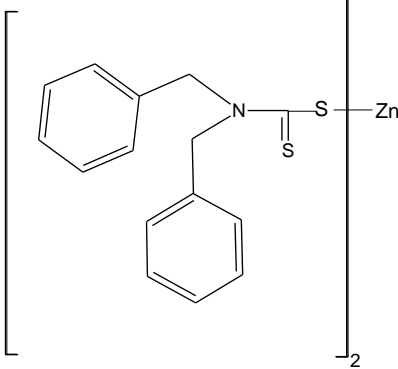
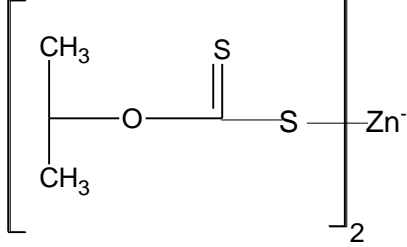
Çizelge 2.9.Akselatör isimleri ve kimyasal yapıları tablosu. (devam) (Anonim, 2023)

Hızlandırıcı Adı	Kimyasal Şekli
Etilen Tiyöüre (ETU)	
Di – Pentametilen Tiyöüre (DPTU)	
Dibütül Tiyöüre (DBTU)	
Tetrametiltiuram Monosülfit (TMTM)	
Tetrametiltiuram Disülfit (TMTD)	
Dipentametilentiuram Tetrasülfit (DPTT)	

Çizelge 2.9.Akselator isimleri ve kimyasal yapıları tablosu. (devam) (Anonim, 2023)

Hızlandırıcı Adı	Kimyasal Şekli
Tetrabenziltiuram Disüfit (TBzTD)	
Çinko Dimetilditiokarbamat (ZDMC)	
Çinko Dietilditiokarbamat (ZDBC)	
Çinko Dibütilditiokarbamat (ZDBC)	

Çizelge 2.9.Akselatör isimleri ve kimyasal yapıları tablosu. (devam) (Anonim, 2023)

Hızlandırıcı Adı	Kimyasal Şekli
Çinko Dibenzyditiokarbamat (ZDBC)	
Çinko – İzopropil Ksantat (ZIX)	

❖ Bazı Hızlandırıcıların Katılma Oranları

Çizelge 2.10. EPDM kauçukta kullanılan bazı hızlandırıcıların katılma oranları. (Savran, 1996)

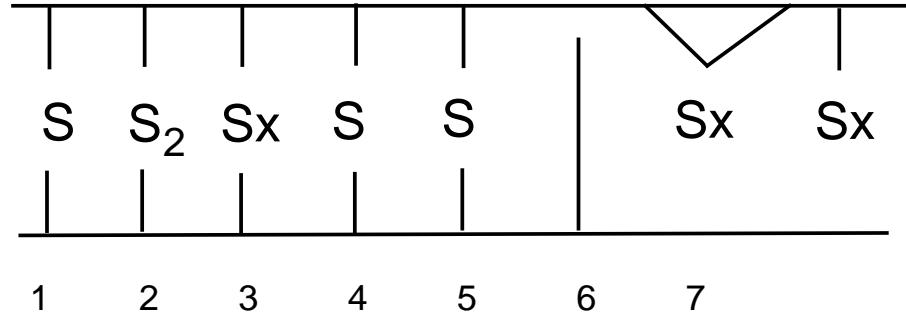
Üst Limit	Hızlandırıcı	Hızlandırıcı Kısaltma
0,3	Telyumdietildithiokarbamat Bizmut dimetildithiocarbamat Bakır dimetildithiocarbamat	TDEC BiDMC CuDMC
0,5 / 0,7	Tetrametil tiuramdisülfid Tetrametil tiurammonosülfid Dipentametilentiuramtetrasülfid Çinko-N-dimetildithiokarbamat	TMTD TMTM ZDMC
0,7 / 0,9	Çinko-N-dietildithiokarbamat Dithio-bis-morfolin Tetraetilthiuram disülfid	ZDEC DTDM TETD
2,0	Çinko-N-dibütildithiokarbamat	ZDBC
2,5	Benzotiazil-2-sikloheksil sülfenamit Benzotiazil-2-tert.bütilsülfenamit Benzotiazil-2- sülfenmorfolid	CBS TBBS MBS
3,0	2-Merkaptobenzotiazol Dibenzotiazil disülfid Sülfür	MBT MBTS S
	Zincdibenzylthiocarbamate	ZBEC

2.8.9. Vulkanizasyon

❖ Vulkanizasyon Mekanizması

Çapraz bağlanma özelliği, vulkanizasyonu sağlayan maddenin miktarına, aktivitesine ve reaksiyon zamanına bağlıdır. Bu özellik, vulkanizasyon derecesi ve çapraz bağlanma yoğunluğu olarak ifade edilir.

En çok kullanılan kükürt vulkanizasyonunda diğer katkı maddelerinin, özellikle kullanılan hızlandırıcıların, cins ve miktarına bağlı olarak farklı çapraz bağlanma şekilleri oluşabilmektedir. Vulkanize kauçuğun özellikleri büyük ölçüde çapraz bağlanma şekline ve yoğunluğuna bağlıdır.



Şekil 2.38. Bazı çapraz bağlanma şekilleri (1. Monosülfür, 2. Disülfür, 3. Polisülfür, 4. $x \geq 3$ komşu bağ yapısı, 5. C-C bağı, 6. Zincir modifikasyonu, 7. Kükürt zincirleri (Savran, 1996)

Genel olarak vulkanizasyon, kükürt ile polimer zincirleri arasında oluşan çapraz bağlanma reaksiyonudur ve $R - S_x - R$ tipinde bir bağ yapısıdır.

❖ Vulkanizasyon Sistemi

Vulkanizasyon sistemine konvansiyonel sistem, peroksit sistemi, kükürt verici sistem örnek olarak verilebilir. Kauçuk üretiminin ilk başlarında vulkanizasyon prosesinde kükürt çok yüksek oranlarda kullanılmaktaydı fakat bu fazla kullanımda üretim süresinin uzun olmasına sebep olmaktadır daha sonraları aktivatör ve hızlandırıcıların yardımı ile proses süresi azaltıldı ve kükürt miktarı lastik karışım üretiminde daha az kullanılmaya başlandı (Savran, 1996).

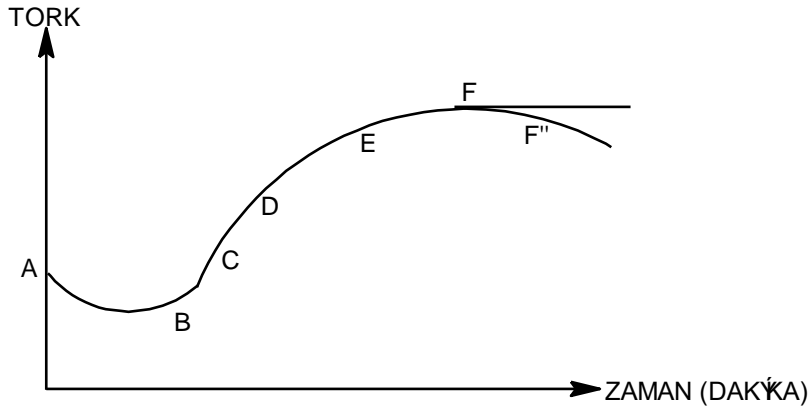
❖ Vulkanizasyona Aktivatör Etkisi

Lastik karışım üretimindeki vulkanizasyon prosesinin daha hızlı olması için hızlandırıcı kimyasallara ihtiyaç vardır. Hızlandırıcılar lastik karışımın yapısal özelliklerini etkiler. Aktivatör olarak çoğunlukla çinko oksit kullanılmaktadır ve aktivatörler hızlandırıcılar ile reaksiyona girerek vulkanizasyon prosesini kolaylaştırırlar (Savran, 1996).

❖ Vulkanizasyona Hızlandırıcı Etkisi

Lastik karışım üretiminde hızlandırıcılar vulkanizasyon hızını arttırmak amacıyla kullanılır. Hızlandırıcılar kükürt ile birlikte kullanıldığında proses süresini kısaltır, karışımın fiziksel ve yapısal özelliklerine olumlu etki eder, lastik karışımın ısı direnci, dinamik ve yaşlanma dayanımına olumlu etkileri avantajları arasındadır (Savran, 1996).

❖ Vulkanizasyon Eğrisi



Şekil 2.39.Reometre eğrisinin yorumlanması. (Savran 1996)

AB: Akmaya başladığı an: Karışım henüz plastik özelliktedir fakat eriyerek kalıba akmaya başlamıştır.

BC: Yanmaya başladığı an: Karışım içinde kullanılan vulkanize edici kimyasal olan kükürdün halkası açılmıştır ve karışımı vulkanize etmeye başlamıştır.

CD: Yetersiz vulkanizasyon anı: Karışıma ait çapraz bağların bağlanmaya başladığı andır.

DE: İstenen vulkanizasyon anı: Vulkanizasyon prosesi için istenmiş olan uygun andır.

EF: Karışımında bağlar kısalmıştır ve sert bir karışım olduğu andır.

EF'': Karışıma ait bağların ayrıldığı andır.

❖ Vulkanizasyon Maddeleri

Lastik karışımında vulkanizasyonun olması için kükürt kullanılır. Vulkanizasyon prosesi yüksek sıcaklıkta gerçekleşir kükürt vulkanizasyon işleminde çapraz bağlar oluşturur ve lastik karışım depolandıktan sonra karışım yüzeyinde beyazlaşma var ise buna blooming denir. Blooming karışımında kükürt kimyasalının karışımında homojen olarak dağılmamasından dolayı karışımın o bölgesinde birikmesinden dolayı oluşmaktadır.

Aynı zamanda eğer kükürt homojen dağılmamış ise overcure gerçekleşir bu da karışımın erken pişmesinden dolayı ürün yüzeyinde pişik oluşmasına sebep olur. Bu gibi proses sorunlarını önlemek amacıyla çözünmeyen kükürt geliştirilmiştir.

Vulkanizasyonda kükürt çiçeği karışım yüzeyinde bloomingi önlemek amacıyla kullanılır, yağlı kükürtler içeriğinde mineral yağlar bulundurlar bu yağlar sayesinde tozlaşma olmaz, tartım işlemi daha kolaydır ve karışım üretimi esnasında homojen dağılım daha fazla olur, kükürt klorür ise karışımın vulkanizasyon prosesinde kullanılır, kükürt verici sistemlere TMTD, morfolin örnek olarak verilebilir bu sistemler vulkanizasyon esnasında sıcaklık etkisiyle parçalanır ve kükürt salınımı yapar, organik peroksitler ise daha çok EPDM, silikon, NR, SBR gibi kauçukların üretiminde kullanılmaktadır. Fenolik reçineler ise daha çok bütül kauçuk üretiminde kullanılmaktadır. Peroksitli vulkanizasyonda depolimerizasyon gerçekleştiği için tekrar vulkanizasyona ihtiyaç vardır bu sebeple post cure işlemi gerçekleştirilir (Savran, 1996).

❖ Hamurların Geç Pişmesi

Lastik karışım geç pişmesini önlemek amacıyla eğer karışım formülünde asidik dolgu maddeleri, hızlandırıcı kimyasallar kullanılmış ise asidik dolgu maddesi (glikol ve trietonolamin) gibi dioller eklenerek veya asidik yağlar kullanılarak üretilen lastik karışımlarda daha geç vulkanizasyon gerçekleşeceği için prosesi hızlandırmak için hızlandırıcı kimyasallar kullanılarak lastik karışımın geç pişmesi önlenebilir (Savran, 1996).

❖ Hamurların Erken Pişmesi (Yanma, Scorch)

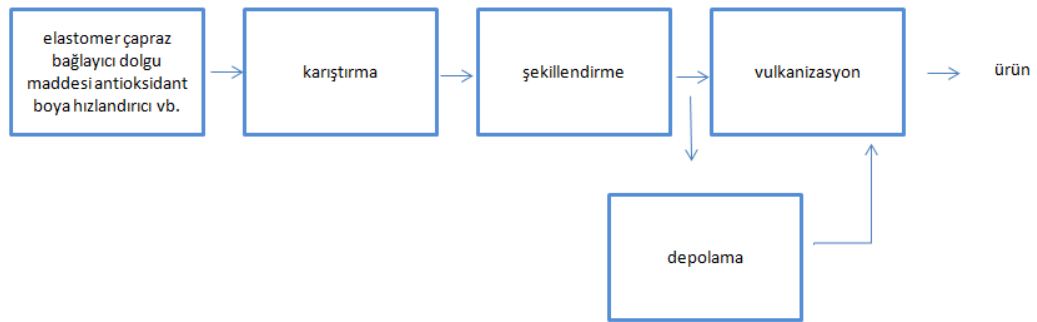
Lastik karışım üretiminde karışımın erken pişmesi üretim açısından istenmeyen olumsuz bir proses problemidir. Üretilen ürün üzerinden hamurun erken pişmesi sebebi ile şişikler oluşur. Lastik karışım üretiminde erken pişmeyi önlemek amacıyla geciktirici kimyasallar kullanılır. Kullanılan geciktiriciler eğer asit içerikli ise ftalik anhidrit, salisilik asit, benzoik asit örnek verilebilir fakat nitrozo içerikli ise N-nitrozodifenilamin (NDPA) örnek olarak verilebilir. NDPA kimyasalı yaklaşık 0,45 oranında kullanılmaktadır ve erken pişmeyi önlerken aynı zamanda karışımın kalıcı deformasyon ve mekanik değerlerini olumsuz etkilemesi dezavantajları arasındadır (Savran, 1996).

❖ Rejenerasyon

Lastik karışımında vulkanizasyon prosesinin tam tersine rejenerasyon denir. Rejenerasyon ile çapraz bağlar koparılır. Rejenerasyon işleminde elyaf giderici olarak sodyum hidroksit, kalsiyum klorür, çinko klorür kullanılması örnek verilebilir iken yumuşatıcı olarak stearik asit, oleik asitler örnek verilir, yapışkanlık özelliği verenler çam katranı, kömür katranı, kolofan reçineleri örnek olarak verilebilir iken aktif reaksiyon kimyasalına örnek ise ksiloldisülfür olarak örnek verilebilir (Savran, 1996).

2.9.Elastomerlerin İşlenmesi

Elastomerler merdaneleme, sıkıştırarak ve transfer kalıplama, enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon yöntemleri ile şekillendirilerek üretilir(Saçak, 2017).



Şekil 2.40. Elastomerlerin şekillendirilmesinde izlenen genel adımlar. (Anonim, 2023)

2.9.1. Karışım Hazırlama

Lastik karışım formülünün ana maddesi kauçuk iken yumuşatıcılar, karbon siyahı, aktivatörler, hızlandırıcılar, reçineler, dolgu malzemeleri ve kükürt gibi ilk maddeler formül tablosundaki miktarı kadar tartılır (Saçak, 2017).

2.9.2. Silindir Karıştırıcılar

Silindir karıştırıcılar piyasada açık miller veya açık karıştırıcı olarak adlandırılmaktadır ve bu açık miller iki silindirden oluşurlar. İki silindir birbirlerine doğru dönerek hareket eder. Açık mil aralığı ayarlanarak üretilecek lastik karışım olan hamurun kalınlıkları ayarlanabilir. Daha homojen bir karışım elde etmek amacıyla daha sıcak olan mile karışım sardırılır ve 2/3 oranında kesilip altı üste gelecek şekilde karışması sağlanarak üretim yapılır (Saçak, 2017).



Şekil 2.41. Silindir karıştırıcı resmi. (Anonim, 2023)

2.9.3. Banbury Karıştırıcılar

Banbury karıştırıcılar piyasa mikser ya da kapalı karıştırıcı olarak da adlandırılmaktadır. Kapalı karıştırıcılar için en önemli parametreler makinanın sıcaklıkları, rotor devri, uygulanan piston basıncı ve sıcaklık doğrultusundaki süredir. Bu karıştırıcı makineler sayesinde kauçuk üretiminde kullanılan tüm kimyasallar sırası ile mikser içine atılır, makinanın uyguladığı piston basıncı ve sıcaklığı doğrultusunda homojen bir karıştırma prosesi gerçekleşir.

Ram Silindiri: Ram, bir ram kafası (piston) ve bir ram silindirinden oluşur. Burada mikser gövdesinin girişi kapatılır ve karışıma belirli bir basınç uygulanarak karışım kapalı karıştırıcıda beslenir. Geri basınç, ram silindiri ve pnömatik basınç ile uygulanır.

Karıştırıcı Gövdesi: Karıştırma olayının gerçekleştiği hazneye (bölgeye) karıştırıcı gövdesi denir. İki adet rotor içerir. Lastik karışım, rotorlu iç gövde duvarları arasında gerçekleşir.

Rotor: Bir kapalı karıştırıcıda karıştırma işlemini yürüten ana eleman, çok küçük bir hız farkı ile zıt yönlerde içe doğru dönen iki parçaya denir. Farklı rotor hızları nedeniyle kanat uçlarının konumu her zaman aynı değildir. Birbirine geçen rotorlar, lastik karışımı homojen şekilde karıştırma özelliğine sahiptir.

Besleme Ağzı: Besleme kapağının ağzı, karışım yapılacak malzemenin kapalı karıştırıcıya beslendiği alandır. Besleme kapakları açılıp kapanma hareketi pnömatik sistem ile gerçekleşmektedir.

Tahliye Kapağı: Rotora paralel dönen bir mil üzerine monte edilmiştir. Bu dengeli menteşe benzeri sistem, kapağın gövde alt kapağı açma ve karıştırma işleminden aşağı düşmesini sağlar. Bitmiş lastik karışımın boşlatılmasını sağlar.

Çizelge 2.11. Hamur makinesi ve banbury karıştırıcının karşılaştırması tablosu. (Saçak, 2017)

	HAMUR MAKİNESİ	BANBURY
HIZ	30 dakika	8 dakikadan az
BİR PERİYOTTA YAPILAN MİKTAR	KAPAŞİTENİN ALTINDAKİ HER MİKTAR	KARIŞIM KAZANININ HACMİNE BAĞLIDIR
KARIŞIM VERİMİ	DÜŞÜK	VERİMLİ
DÜŞÜK ISIDA KARIŞIM	KOLAY	ZOR
İŞÇİLİK MALİYETİ	YÜKSEK	DÜŞÜK
TECRÜBE	YÜKSEK	DÜŞÜK
KAPLADIĞI ALAN	YÜKSEK	DÜŞÜK
KARIŞIM DEĞİŞTİĞİNDEKİ TEMİZLİK	YÜKSEK	DÜŞÜK



Şekil 2.42.Banbury resmi. (Anonim, 2023)

2.9.4. Merdaneleme

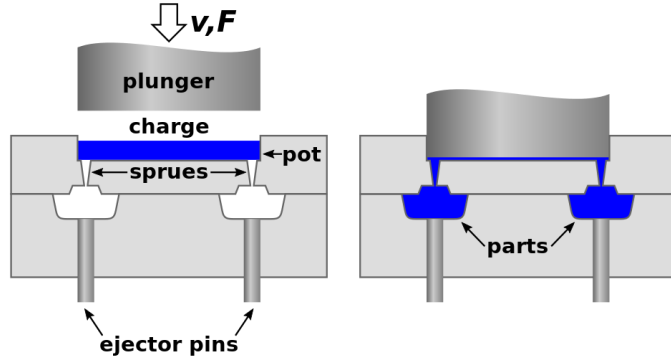
Merdaneleme prosesi silindir karıştırıcıların prosesi ile aynıdır. İki adet silindirin birbirine paralel şekilde hareket etmesiyle iki silindir arasındaki karışımın daha sıcak olan silindire sardırılarak bıçak ile kesikler atılarak homojen şekilde karışmasını sağladıktan sonra vulkanize olmamış (kükürt ile çapraz bağlanmamış) karışımlar bu proste iletilen olarak vulkanize olmasını sağlayan karışım üretimidir (Saçak, 2017).

2.9.5. Sıkıştırarak Kalıplama

Lastik karışım üretilecek ürün boyutlarında kalıp içerisine yerleştirilir ve presteki sıcaklık ve basınç altında vulkanize edilir vulkanizasyon için gerekli süre geçtikten sonra kalıp açılır ve ürün kalıptan alınır (Saçak, 2017).

2.9.6. Transfer Kalıplama

Lastik karışım transfer kalıba yerleştirildikten sonra kalıbın pistonu ile yardımı ile boşluğu karışım iletilir ve sıcaklık ile vulkanizasyon prosesi gerçekleşir ve kalıptan alınır (Saçak, 2017).



Şekil 2.43. Transfer kalıplama yöntemi resmi. (Anonim, 2023)

2.9.7. Enjeksiyon

Prete şerit halinde beslenir ve lastik karışım yumuşar ve kalıba iletilerek basılır kalıpta vulkanizasyon işlemi gerçekleşir. Vulkanizasyon süresi sonunda kalıp açılır ve basılan ürün kalıptan alınır (Saçak, 2017).

Enjeksiyon kalıplamanın avantajları;

- Daha düşük üretim maliyeti
- Daha düşük çevrim sayısı
- Daha az hurda atık
- Yüksek boyutlarda tolerans aralığı

Enjeksiyon kalıplamanın dezavantajları;

- Daha yüksek maliyetli kurulum.
- Daha pahalı makine ve aletler



Şekil 2.44. Enjeksiyon pres resmi. (Anonim, 2023)

2.9.8. Ekstrüzyon

Kauçuk ekstrüzyon, kauçuk malzemeleri özel olarak şekillendirilmiş bir ürüne dönüştürme işlemidir.

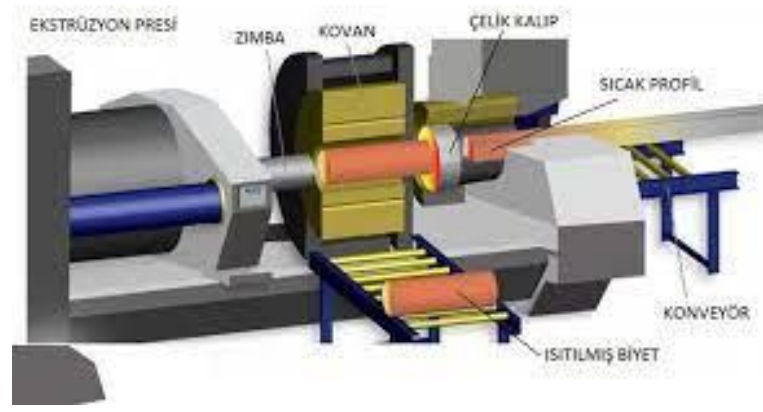
Ekstrüder besleme bölgesinden karışım beslenerek sıcaklık, basınç etkisi ve ekstrüder kovanı içindeki vida yardımı ile karışım kalıp açıklığına iletilir ve kalıbın şeklini alan ürün oluşturur(Saçak, 2017).

Kauçuk ekstrüzyonun faydaları;

- Verimli ve ekonomik bir üretim sürecine sahiptir.
- Bu üretim sürecinde hurdaya giden malzeme hacmi minimumdur.
- Kauçuk ekstrüzyonda, çeşitli şekillerde farklı uzunluklarda bitmiş ürünler üretebilen sürekli bir işlemdir.

Kauçuk ekstrüde ürünlerin faydaları;

- Ekstrüde kauçuk ürünler hafif, esnek, son derece dayanıklı ve uzun ömürlüdür.
- Kimyasallara, sıcağa, soğuğa, yaşlanmaya, sürtünmeye, aşınmaya ve yıpranmaya karşı oldukça dirençlidir.
- Çok zorlu ve aşırı kullanımı olacak koşullarda kullanımı uygundur(Anonim, 2023).



Şekil 2.45. Ekstrüzyon resmi (Anonim, 2023)

Çizelge 2.12. Ekstrüzyon üretiminde yaşanan pürüzlü yüzey problemi sonucunda uygun çözüm yolları tablosu. (Anonim, 2023)

Problem	Olası Neden	Uygun Çözüm
Pürüzlü Yüzey	Eriyik ya da kalıp sıcaklığı düşük ise;	* Ekstrüder sıcaklıklarını arttırın. * Kalıp sıcaklıklarını arttırın. * Isıtıcı / termokuplerin kalibrasyonunu kontrol edin.
	Malzemenin erimesi homojen değil ise;	* Yüksek sıkıştırma oranlı ya da karıştırıcılı burgu kullanın (burgu hızını arttırın). * Daha dar filtre kullanın.
	Nem	* Malzemenin ön kurutmasını doğru yapın.
	Kalıp merkezlenmemiş ise;	* Kalıp dizaynını kontrol edin ya da çekici hızını düşürün.
	Gerdirme oranı çok yüksek ise;	* Kalıp dizaynını kontrol edin ya da çekici hızını düşürün.
	Kalıp dizaynı hatalı ise;	* Kalıpta konik sonrası düz alanı azaltın. Sürtünmeyi azaltacak şekilde akan malzemenin hızını ve kalıp konik açısını düşürün. Kalıp boyunu kısaltın.Kalıbı parlatın.Kalıptaki aşınmaları kontrol edin.
	Uygun olmayan burgu kullanılıyor ise;	* Kalıp dizaynını kontrol edin ya da çekici hızını düşürün.

Çizelge 2.13. Ekstrüzyon üretiminde akış yönündeki boyutsal ölçüdeki sorun ve profil iç kısmında boşluk var ise üretimde yaşanan problemi sonucunda uygun çözüm yolları tablosu. (Anonim, 2023)

Problem	Olası Neden	Uygun Çözüm
Akış Yönündeki Boyutsal Ölçüde Sorun	Malzemede dalgalanma var ise;	<ul style="list-style-type: none"> * Malzeme çıkış hızını düşürün. * Besleme bölgesinde ya da ölçme bölgesinde uzun burgu kullanın. * Arka basıncı arttırmak için dar aralıklı filtre kullanın. * Burgudaki aşınmayı kontrol edin. * Kalıp ve eriyik sıcaklıklarını kontrol edin. * Kalıp alanını düşürün.
	Çekicinin hız dalgalanması	<ul style="list-style-type: none"> * Çekicinin hızını kontrol edin.
Profil İç Kısmında Boşluklar Var İse;	Malzemede nem çok yüksek ise;	<ul style="list-style-type: none"> * Malzemeyi uygun olan süre ve sıcaklıkta kurutun malzemeyi alın ve haznenin boğazında yoğunlaşma olup olmadığını kontrol edin.
	Eriyik sıcaklığı çok yüksek / soğutma homojen değil ise;	<ul style="list-style-type: none"> * Kovan ısılarını düşürün. * Soğutma şartlarını ayarlayın.
	Aşırı sürtünme / sıkıştırma	<ul style="list-style-type: none"> * Daha yüksek hat ve derinliği olan burgu kullanın / sıkıştırma oranını düşürün.
	Besleme bölgesinde hava kalıyor ise;	<ul style="list-style-type: none"> * Burgu hızını düşürün besleme kısmında kovan sıcaklıklarını düşürün boğazın soğutma suyunu arttırın.

Çizelge 2.14. Ekstrüzyon üretiminde siyah nokta, yabancı parçacık, koku veya sararma, profil boyunca kenarlarda yırtılma var ise üretimde yaşanan problemi sonucunda uygun çözüm yolları tablosu. (Anonim, 2023)

Problem	Olası Neden	Uygun Çözüm
Siyah Nokta, Yabancı Parçacık	Kirlilik	* Kir ve yabancı parçacıkların bulaşmasını kontrol et. * Renk konsantresinin uyumluluğunu kontrol et.
Koku veya sararma	Aşırı yüksek eriyik sıcaklığı / bozunma	* Kovan sıcaklıklarını düşürün. * Kalıp sıcaklıklarını düşürün. * Isıtıcı / termokupl doğru çalışmasını kontrol edin. * Sürtünmeyi düşürün. * Sıkıştırma oranı düşük burgu kullanın. * Malzeme akış yolunun merkezlenmesini kontrol edin.
Profil Boyunca Kenarlarda Yırtılma Var İse;	Kalıp sıcaklığı çok düşük	* Kalıp sıcaklığını artırın. * Isıtıcılarda ve termokupllarda hata olup olmadığını kontrol edin.
	Eriyik akışkanlığı çok düşük ise;	* Malzeme akışkanlığını burgu hızını arttırın ya da kovan ısınısını arttırın.
	Kalıptan malzeme akışı dengesiz ise;	* Sıkıştırma oranı / basıncı arttırarak malzemenin kenarları tam doldurmasını garanti altına alın.

Çizelge 2.15. Ekstrüzyon üretiminde profil üzerindeki akış yönünde kalıp izleri varsa, radyal ölçülerde değişkenlik varsa, yüksek basınç / ekstrüderlerden az malzeme çıkışı var ise üretimde yaşanan problemi sonucunda uygun çözüm yolları tablosu. (Anonim, 2023)

Problem	Olası Neden	Uygun Çözüm
Profil Üzerindeki Akış Yönündeki Kalıp İzleri	Kalıp ısısı çok yüksek, çok düşük ya da değişken ise;	* Kalıp ısıtıcı ünitesini kontrol et, ısı değerlerini sabitle.
	Nem oranı yüksek ise;	* Malzemeyi iyice kurutun, kurutucunun düzenli çalışmasını kontrol edin.
	Eriyik ısısı çok düşük ise;	* Eriyik ısınısını arttır.
	Kalıpta birikme var ise;	* Kalıbı değiştirin.
Radyal Ölçülerde Değişkenlik Var İse;	Kalıp aşınmış ise;	* Kalıbı değiştirin.
	Profil değişken, yetersiz soğutma nedeniyle formunu kaybediyor ise;	* Eriyik sıcaklıklarını düşürün. * Soğutmayı arttırın. * Kapasiteyi düşürün.
Yüksek Basınç Ekstrüderlerden Az Malzeme Çıkışı	Eriyik çok soğuk ise;	* Ekstrüder ısınısını arttırın. * Kalıp ısınısını arttırın.
	Filtrede tıkanma var ise;	* Filtreyi temizleyin ya da değiştirin.

Çizelge 2.16. Ekstrüzyon üretiminde istenen işleme sıcaklığı değerlerine ulaşamıyor ve üründe et kalınlığı her yerde eşit değil ise üretimde yaşanan problemi sonucunda uygun çözüm yolları tablosu. (Anonim, 2023)

Problem	Olası Neden	Uygun Çözüm
İstenen İşleme Sıcaklığı Değerine Ulaşmıyor İse;	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebepler (Isıtıcılar bozuk)	* Hammaddenin işleme sıcaklığı ısıtıcılar ile sağlanır. Isıtıcılardan birinin veya tamamının çalışmamasının ürünün işleme sıcaklığına ulaşmasını engeller. Bu nedenle makine açıldıktan sonra sıcaklık değerinin yükselip yükselmediği kontrol edilerek sıcaklık değerleri yükselmeyen bozuk ısıtıcı varsa ısıtıcıları donanım birimine haber vererek değiştir.
	Elektrik bağlantıları arızalı ise;	Isıtıcıların ısınmamasının bir diğer sebebi elektrik bağlantısı arızasıdır. Donanım birimine haber vererek arıza giderilir.
Üründe Et Kalınlığı Her Yerde Eşit Değil İse;	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebep (Isı dağılımı dengesiz)	* Kalıpta ısının homojen dağılmaması, ürün çıkışının kalıbın bazı noktalarında hızlı bazı noktalarında yavaş olmasına sebeptir. Isıtıcıları kontrol ederek, az veya fazla ısınan bölgeleri dengeleyerek sıcaklık değerlerini ürün çıkışını homojen hale getirecek biçimde ayarlayın.

Çizelge 2.17. Ekstrüzyon üretiminde profil ürün üzerinde istenmeyen çizik oluşuyor ise ve ürün istenen geometrik özelliklerini taşıyor ise üretimde yaşanan problemi sonucunda uygun çözüm yolları tablosu. (Anonim, 2023)

Problem	Olası Neden	Uygun Çözüm
Üründe İstenmeyen Çizik Oluşuyor İse	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebepler (Kalibre veya kalıp yüzeyinde yabancı malzeme veya deformasyon)	* Kalıp ve kalibreyi kontrol edin. Kalıp ya da kalibre üzerinde olabilecek herhangi bir yabancı maddeyi kalıp ve kalibreye zarar vermeyecek yumuşak malzemeler ile temizleyin.
Ürün İstenen Geometrik Özellikleri Taşıyor İse;	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebep (Sıcaklık değerleri uygun değil)	* İşleme sıcaklığı ürün özelliklerine en fazla etki eden parametredir. İşleme sıcaklık değerinin gereğinden fazla ya da az olması ürünün geometrik şeklini bozar. Sıcaklık değerini kontrol edin.
	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebep (Çekici hızı uygun değil)	* Çekicinin hızının gereğinden fazla olması ürünün fazla çekilerek kesit kalınlığının bozulmasına neden olur. Ürün et kalınlığının azalmasına bağlı geometrik bozulmalarda çekicinin hızını kontrol edin.
	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebep (Yetersiz soğutma)	* Yetersiz soğutma ürün geometrisini etkileyen bir diğer önemli unsurdur. Soğutmanın yetersiz olduğu durumlarda soğutma sisteminin açık olup olmadığını, soğutma kanallarının tıkanıp tıkanmadığını ve soğutma suyu sıcaklığının istenen değer üstünde olup olmadığını kontrol edin.

Çizelge 2.18. Ekstrüzyon üretiminde profil ürün sık sık kopuyor ise üretimde yaşanan problemi sonucunda uygun çözüm yolları tablosu. (Anonim, 2023)

Problem	Olası Neden	Uygun Çözüm
Ürün Sık Sık Kopuyor İse;	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebepler (Çekici hızı fazla)	* Çekici hızının gereğinden fazla olması çekilirken fazla gerilen ürünün incelmesine ve kopmasına neden olur. Çekici hızını düşürün.
	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebepler (Vida devri düşükse)	* Çekici normal hızda çekmemesine rağmen üründe kopma meydana geliyorsa bu durumun makineden kaynaklanan diğer sebebi uygun vida devri sağlanmamış olmasıdır. Birim zamanda elde edilecek ürün miktarına bağlı olarak vida devri
	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebepler (Çekici hızı fazlaysa)	* Çekici hızının gereğinden fazla olması çekilirken fazla gerilen ürünün incelmesine ve kopmasına neden olur. Çekici hızını düşürün.
	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebepler (Vida devri düşükse)	* Çekici normal bir hızda çekmesine rağmen üründe kopma meydana geliyorsa bu durum da vida devrini birim zamanda elde edilecek ham madde miktarına uygun olarak arttırmamız.
	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebepler (Çekim hızı dengesiz)	* Çekicinin pnömatik bağlantıları kontrol edilmelidir.
	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebepler (Soğutma yetersiz)	*Bu gibi durumlarda soğutma sistemi ve kalibre soğutma kanalları kontrol edilmeli, tıkalı soğutma kanalı var ise temizlenerek açılmalıdır. Soğutma suyu sıcaklığının istenilen değerlerin üstünde olmasıdır. Su soğutmanın soğutup soğutmadığı kontrol edilmelidir.
	Makine, kalibre ve kalıptan kaynaklanan olası sebepler (Sıcaklık değerleri fazla ise)	* Ürün yeterince soğumamış ve sertleşmemiş olduğundan kopabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Lastik Karışım Üretiminde Kullanılan Kimyasallar

Çizelge 3.1. Karışım Üretimde Kullanılan Kimyasallar Listesi

S80 İle Vulkanize Edilen Karışım	Polimerik Kükürt İle Vulkanize Edilen Karışım
Kauçuk	Kauçuk
Çinko oksit	Çinko oksit
Stearik asit	Stearik asit
Karbon siyahı	Karbon siyahı
Kalsit	Kalsit
Parafinik Yağ	Parafinik Yağ
ZDBC 80	ZDBC 80
TMTD 80	TMTD 80
MBT 80	MBT 80
ETU 80	ETU 80
S 80	Polimerik Sülfür

3.1.2. Üretilen Karışımların Yapısal Testlerinde Kullanılan Test Cihazları

Reometre testi için MonTech MDR Basic 3000 cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Reolojik test cihazı resmi. (Anonim, 2023)

Sertlik testi için kullanılan cihaz resimleri aşağıdadır.



Şekil 3.2. Shore A test cihazı resmi. (Anonim, 2023)



Şekil 3.3. Micro – IRHD cihazı resmi (Anonim, 2023)

Mukavemet testleri için devotrans marka cihaz kullanılmıştır.



şekil 3.4. Mukavemet test cihazı resmi. (Anonim, 2023)

Yatay yanma testi için devotrans marka cihaz kullanılmıştır.



şekil 3.5. Yatay yanma test kabini resmi. (Anonim, 2023)

3.2.Yöntem

Çizelge 3.2. Karışım formülleri.

Kullanılan Kimyasallar	A karışımı phr oranı	B karışımı phr oranı
Kauçuk	100	100
Çinko oksit	5	5
Stearik asit	1	1
Karbon siyahı	70	70
Parafinik yağ	22,5	22,5
ZDBC 80	2	2
TMTD 80	1	1
MBT 80	1	1
Etu 80	1	1
S 80	1	
Polimerik kükürt		1

3.2.1. Yapısal Testler

- **Reometre Testi**

Reo kelimesi Yunancada akış anlamına gelmektedir. Bir reometre cihazı kauçuk malzemeye uygulanan kuvvetin sonucunda viskoz özelliklerinin ölçülmesi için kullanılan bir laboratuvar cihazıdır. Tek bir viskoz değeri yeterli olmamasından dolayı viskozimetreden daha fazla parametre değerinde ölçümler yapılan cihazdır (Anonim, 2023).



Şekil 3.6. Yukarıdaki resimde reolojik test esnasında alınan parçanın ağırlığı gösterilmektedir.

ASTM D 5289 standardına uygundur. Üretilen lastik karışımdan $5,8 \pm 0,1$ gr tartılır reometreye yerleştirilir. 190°C de 5 dakika test yapılır ve testin bitiminin sonucunda reolojik sonuç elde edilir.

Smin :Lastik karışımın vulkanizasyona başladığı andır ve karışımın akışkanlığı hakkında bilgi verir.

Smax : Lastik karışımın vulkanizasyon süresinin tamamlandığı andır ve karışımın sertliği hakkında yorum yapmamızı sağlayan değerdir.

ts2 : Lastik karışımda vulkanizasyonun başladığı andır.

tc50 : Lastik karışımda vulkanizasyonun %50'sine ulaşmak için geçmesi gereken zamandır.

t90 : Lastik karışımda vulkanizasyonun %90'ına ulaşmak için geçmesi gereken zamandır.

- **Sertlik Testi**

Elastomerik malzemeler genellikle Shore A veya IRHD sabit yük sistemi ile ölçümü yapılır. Bu testler yaklaşık 6 mm kalınlığındaki 13 mm çapındaki numunelerin 5 mm çapındaki mesafeden en az 3 ölçüm yapılır. IRHD sertlik test cihazı 2 mm kalınlığındaki numunelerin sertliklerini ölçmek için kullanılır.

Shoremetre el tipi sertlik ölçüm aletidir ve malzemenin viskoelastik özelliklerinin bir fonksiyonu olan sertlik değerinin elde edildiği ucunda iğne olan bir cihazdır. Shoremetre ucundaki girinti (iğne) 0,098 inç kauçuk malzemeye batar ve 822 gramlık bir kuvvet ile numune üzerine bastırılır. Shoremetre cihazının ucundaki iğnenin her 0,001 inç saplanması 1 Shore olarak gösterilir. Bu sebeple sertlik ölçümü yapılacak olan malzeme ne kadar sertse cihazdan okunan değerde o kadar yüksektir.

10 Shore altında ve 90 Shore üzerinde sertlik değerlerinde Shore A metodu kullanılmaz, Shore OO ve Shore D ile test ölçümü yapılır. Shore OO 10 Shore altındaki malzemelerin sertlik ölçümlerini okumak için kullanılır iken, Shore D 90 Shore üzerindeki malzemelerin sertliğini okumak için kullanılır (Anonim, 2023).

Bu test DIN ISO 7619-1 standartına göre yapılmıştır. Sertlik deneyi; küçük bir temas kuvveti ile büyük bir batma kuvveti altında batma ucunun kauçuk içinde ilerlediği derinlikler arasındaki farkın ölçülmesidir. Shore A ve IRHD cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 3.7.Test esnasında kullanılan sertlik test diski.

- **Mukavemet Testleri (Çekme, Kopma, Yırtılma)**

Pres yardımı ile basılan lastik karışımların test plakalarından çekme test cihazı yardımı ile çekme ve kopma testi yapılır. Çekme testinin birimi N/mm^2 iken kopma testinin birimi %'dir. Test esnasında makineye yerleştirilen lastik karışım test numunesine kuvvet uygulanır ve bu kuvvet sonucunda bir değer elde edilir.



Şekil 3.8.Çekme – Kopma Testinde kullanılan test numunesi yukarıda verilmiştir.

Toplam uzunluk ; 75 mm
Dar kısmın uzunluğu ; 25 mm
Uçların genişliği ; 12,5
Dar kısmın genişliği ; 4 mm
Kavis yarıçapı (dış) ; 8 mm
Kavis yarıçapı (iç) ; 12,5 mm



Şekil 3.9. Yırtılma testinde kullanılan test numunesi yukarıdaki resimde verilmiştir.

Yırtılma testi lastik karışım malzemeye uygulanır. Çekme test makinesine yandaki şekildeki test numunesi gibi yerleştirilir. Makinenin uygulaması çenelere yerleştirilen bu test numunesini yukarıya doğru çekerek uygulanan kuvvete bağlı olarak numunenin yırtılarak ayrılmasını sağlar.



Şekil 3.10. Mekanik testler yapılırken kullanılan test numuneleri yukarıdaki resimde birlikte verilmiştir.

- **Yatay Yanma Testi**

Plastik ve lastik karışımlardan alınan test parçalarının yanma eğilimi ECE 118-03 veya Annex 6 standartına uygun olarak yapılır.

Lastik karışım veya plastik malzeme yanma kabini içindeki standda U şeklinde yatay olarak yerleştirilerek 15 saniye boyunca ateşe tutulur.



Şekil 3.11. Yukarıdaki resimde yatay yanma testi yapılırken kullanılan test numunesi verilmiştir.

Lastik karışımında yatay yanma hızı, yanmanın ilk başladığı ve bittiği mesafe de geçen sürenin hesaplanması ile test sonucu elde edilir.

$$V_c = 60 S/T$$

V_c: mm cinsinden yanma hızı

S: mm cinsinden alev kat ettiği alan

T: alevin hareket ederken harcağı süre (sn cinsinden).

4. BULGULAR

Bu çalışmada; EPDM kauçukta aynı phr oranlarında farklı kükürt kullanılarak vulkanizasyonun fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi araştırılarak incelenmiştir. Pişirim sistemi olarak A karışımında kükürt (S80) ve B karışımında polimerik kükürt (OT 20) kullanılmıştır. Her bir karışım için standart bir reçeteden yola çıkılarak sadece aynı oranda kükürt değişikliği yapılmıştır. Yarı-mamül aşamasında reometre testi yapılmıştır.

Vulkanize olmuş lastik karışım aşamasında ise sertlik, çekme-kopma, yırtılma ve yatay yanma testleri yapılmıştır.

4.1.Yapılan Test Sonuçları

Çizelge 4.1. Reolojik test sonuçları

Karışım Adı	Smin (dNm)	Smax (dNm)	TS2 (dakika)	TC50 (dakika)	TC90 (dakika)
A Karışımı (S 80)	2.22	13.90	0.36	0.55	1.60
B Karışımı (Polimerik Sülfür)	2.54	17.60	0.35	0.54	1.38
Standart Sapması	0,18	2,02	0,008	0,007	0,01

Smin : Lastik karışımın vulkanizasyona başladığı andır ve karışımın akışkanlığı hakkında bilgi verir.

Smax : Lastik karışımın vulkanizasyon süresinin tamamlandığı andır ve karışımın sertliği hakkında yorum yapmamızı sağlayan değerdir.

ts2 : Lastik karışımında vulkanizasyonun başladığı andır.

tc50 : Lastik karışımında vulkanizasyonun %50'sine ulaşmak için geçmesi gereken zamandır.

t90 : Lastik karışımında vulkanizasyonun %90'ına ulaşmak için geçmesi gereken zamandır.

Çizelge 4.2.Shore A ve micro – IRHD test sonuçları

Karışım Adı	Shore A (±5)	Micro IRHD (±5)
A Karışımı (S 80)	63	67,9
B Karışımı (Polimerik Sülfür)	65	69,5

Aynı oranlarda üretilen lastik karışımında farklı kullanılan kükürt karışımının sertliğini etkilemiştir. 65±5 Shore A karışım üretimi yapılmıştır (±5 tolerans aralığıdır) ve polimerik sülfür kullanılan karışım S80 kullanılan karışıma oranla daha serttir.

Çizelge 4.3. Çekme – Kopma, Yırtılma test sonuçları

Karışım Adı	Çekme Dayanımı N/mm²	Kopma Uzaması (%)	Yırtılma N/mm
A Karışımı (S 80)	9.1	397	8.7
B Karışımı (Polimerik Sülfür)	10.7	437	9.5

Aynı oranlarda üretilen lastik karışımında farklı kullanılan kükürt karışımının mekanik değerlerini etkilemiştir. Genellikle çekme dayanımı için >5 N/mm², kopma uzaması için >200 %, yırtılma dayanımı için >5 N/mm istenen toleranslar arasındadır. Polimerik sülfür kullanılan karışım S80 kullanılan karışıma oranla mekanik değerleri daha yüksek gelerek daha dayanıklı bir karışım üretimi gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.4. Yatay Yanma Test Sonuçları

Karışım Adı	Yatay Yanma Sonucu (mm/dk)
A Karışımı (S 80)	12.5
B Karışımı (Polimerik Sülfür)	7.5

Aynı oranlarda üretilen lastik karışımında farklı kullanılan kükürt karışımının yanma değerlerini etkilemiştir. Polimerik sülfür kullanılan karışım S80 kullanılan karışıma oranla düşük değerlerde daha yanma direnci yüksek bir karışım elde edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kükürt (S80) ve Polimerik kükürt (OT 20) kullanılarak aynı phr oranında üretilen A ve B karışımlarının reolojik, mukavemet, sertlik ve yatay yanma yapısal özellikleri incelendi.

A ve B karışımlarının reolojik sonuçları incelendiğinde Smin değeri A karışımında daha düşük olduğu için sertliğinin B karışımına göre daha düşüktür. İstenmiş olan en uygun pişme (vulkanizasyon) süresine TC90 denir. A ve B karışımlarının reometre sonuçları incelendiğinde polimerik sülfür kullanılan karışım B karışımı daha erken pişme süresini tamamlamaktadır.

Sertlik testi yapıldığında Shore A ve micro – IRHD testlerinde sonucunda polimerik sülfür kullanılarak üretilen karışım daha serttir.

A ve B lastik karışımında farklı kullanılan kükürt karışımının mekanik değerlerini etkilemiştir. Polimerik sülfür kullanılan karışım S80 kullanılan karışıma oranla mekanik değerleri daha yüksek gelerek daha dayanıklı bir karışım üretimi gerçekleşmiştir.

A ve B lastik karışımında farklı kullanılan kükürt karışımının yanma değerlerini etkilemiştir. Polimerik sülfür kullanılan karışım S80 kullanılan karışıma oranla düşük değerlerde daha yanma direnci yüksek bir karışım elde edilmiştir.

Üretim yapılan bu iki karışımın yapısal test sonuçları incelendiğinde yanma dayanımı ve mekanik değerlerinde daha iyi sonuçlar elde etmek için polimerik sülfür OT20 kullanılmalıdır.

Tez çalışması esnasında araştırılan literatürlerde polimerik sülfür ile yapılan çalışmalara denk gelinmemiştir ve polimerik sülfürün maliyetinin S80'e oranla daha ucuz olması da avantajları arasındadır.

KAYNAKLAR

- Anonim.(2023) Çekme Gerilmesi- Wikipedi wikipedia.org (Erişim Tarihi: 12.01.2023)
- Anonim.(2023) <https://labomat.eu/gb/hardness-faq/785-irhd-faq.html> (Erişim Tarihi: 28.01.2023)
- Anonim.(2023) <https://matweb.com/reference/izod-impact.aspx> (Erişim Tarihi: 10.01.2023)
- Anonim.(2023) <https://silo.tips/download/polimerlerin-tarihsel-geliimi#>(Erişim Tarihi: 08.01.2023)
- Anonim.(2023) <https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Kauçuk>(Erişim Tarihi: 12.01.2023)
- Anonim.(2023) <https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Polimer> (Erişim Tarihi: 08.01.2023)
- Anonim.(2023) www.scientific.net/AMR.299-300.751(Erişim Tarihi: 28.01.2023)
- Anonim.(2023)http://cps.utb.cz/images/Gumference19/Gumference_2019_Hudec.pdf(Erişim Tarihi: 28.02.2023)
- Anonim.(2023)<http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek.pdf> (Erişim Tarihi: 06.01.2023)
- Anonim.(2023)<https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/ibrahim.inanc/123256/Polimer+Malzemeler-VIII.pdf>(Erişim Tarihi: 08.01.2023)
- Anonim.(2023)<https://derbyrubber.com.au/blog/what-is-rubber-extrusion/>(Erişim Tarihi: 25.02.2023)
- Anonim.(2023)https://en.wikipedia.org/wiki/Transfer_molding#/media/File:Transfer_molding.svg(Erişim Tarihi: 26.02.2023)
- Anonim.(2023)https://haygot.s3.amazonaws.com/questions/342531_248732_ans_25fab11415f44fb8bc8ffe7960f0676.png(Erişim Tarihi: 17.02.2023)
- Anonim.(2023)<https://lafayettefirefighters.com/tr/difference-between-conformation-and-configuration>(Erişim Tarihi: 26.02.2023)
- Anonim.(2023)https://m.media-amazon.com/images/W/IMAGERENDERING_521856-T1/images/I/61Qls1uF5rL_SL1186.jpg(Erişim Tarihi: 22.02.2023)

Anonim.(2023)https://m.turkish.rubbermakingmachine.com/photo/pt22508306-185kw_banbury_rubber_machine_31_2001_plastic_and_rubber_compounding_equipment.jpg(Erişim Tarihi: 19.02.2023)

Anonim.(2023)https://m.turkish.siliconerubberinjectionmoldingmachine.com/photo/pc17824590-efficient_plastify_rubber_mixing_machine_large_production_capacity_for_rubber_industry.jpg(Erişim Tarihi: 19.02.2023)

Anonim.(2023)<https://materials.co.uk/rubber.htm>(Erişim Tarihi: 20.02.2023)

Anonim.(2023)<https://st3.myideasoft.com/idea/df/26/myassets/products/762/hassas-parlaklik-olcum-cihazı-portatif-parlaklik-olcum-cihazı-acili-parlaklik-olcum-cihazı-olcum-cihazı-glossmetre-glossmetre-parlaklik-olcum-cihazı-fiyat-istoc-parlaklik-olcum-cihazı.jpg?revision=1625060002>(Erişim Tarihi: 22.02.2023)

Anonim.(2023)https://www.appstate.edu/~clementsjs/journalarticles/zeus_flammability.pdf(Erişim Tarihi: 18.02.2023)

Anonim.(2023)<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12883>(Erişim Tarihi: 18.02.2023)

Anonim.(2023)<https://www.en.wikipedia.org/wiki/Rheometer>(Erişim Tarihi: 20.02.2023)

Anonim.(2023)<https://www.gidanotlari.com/wp-content/uploads/2022/02/gidalarda-ekstruzyon-islemi.jpg>(Erişim Tarihi: 19.02.2023)

Anonim.(2023)<https://www.intertek.com/polymers/optical-properties>(Erişim Tarihi: 18.02.2023)

Anonim.(2023)https://www.mpm.com.tr/unload/resimler/mini/p_170803_06679.jpg(Erişim Tarihi: 19.02.2023)

Anonim.(2023)https://www.researchgate.net/figure/Products-and-reaction-mechanism-of-peroxide-cure-of-EPDM-note-the-formation-of_fig1_289368298(Erişim Tarihi: 01.02.2023)

Dikland Herman, Früh Thomas, Grob Thomas, Habmann Caren, Sary Nicolas, Schmidt Roland, *Hand Book of Synthetic Rubber*, Arlanxeo Deutschland GmbH, Dormagen, Germany, 2020.

Eirich Frederick R., *Science and Technology of Rubber*, Academic Press, New York, 1978.

Hofmann Werner, *Rubber Technology Handbook*, Hanser Publishers, New York, 1989.

Prof. Dr. Mehmet Saçak, 2017, *Polimer Teknolojisi (4. Baskı)*, Gazi Kitapevi, Ankara.

Rubber Chemistry and Technology.(2007) *Thermoplastic Elastomers Based on PP/EPDM Blends bu Dynamic Vulcanization*.

Savran Haldun Ömer, *Elastomer Teknolojisi 1*, Kauçuk Derneği Yayınları, İstanbul, 1996.

Science Direct. (2003, December) *The effect of mercapto – and thioacetate – modified EPDM on the curing parameters and mechanical properties of natural rubber/ EPDM blends*.

Science Direct. (2010, September) *Effect of tackifier compatibility and blend visco elasticity on peel strength behavior of vulcanized EPDM rubber co-cured with unvulcanized rubber*.

Science Direct. (2012) *Optimization of Extrusion Production Lines for EPDM rubber vulcanized with sulphur: A two- phase model based on Finite Elements and Kinetic Second Order Differential Equation*.

Science Direct. (2019, August) *Optimization of Accelerator Mixing Ratiofor EPDM Rubber Grommet to Improve Mountability Using Mixture Desing, Applied Sciences Bases*.

Science Direct. (2021, February) *Effect of mixing process on spatial distribution and coexistence of sulfur and zinc in vulcanized EPDM rubber*.

Science Direct. (2021, January) *Effect of Crosslinked Structure on the Chemical Degredation of EPDM in an Acidic Environment*.

Science Direct. (2022) *Mechanical properties of rubber vulcanizates containing Ethylene Propylene Diene Rubber waste at different types of vulcanization system*.

Science Direct. (2022, May) *Mechanical Properties of Rubber Vulcanizates Containing Ethylene Propylene Diene Rubber Waste at Different Types of Vulcanization System.*

White James L, Coran Aubert Y. and Moet Abdelsamie, *Polymer Mixing Technology and Engineering*, Hanser Publishers, Munich, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şule ÇİÇEK
Doğum Yeri ve Tarihi :
Yabancı Dil : İngilizce
Eğitim Durumu
Lise : Dörtçelik ATL / Bilişim Teknolojileri
Lisans : Uludağ Üniversitesi / Kimya
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi / Polimer Malzemeler
Çalıştığı Kurum(lar) : BLS Birleşik Lastik A.Ş.
İletişim (e-posta) : sule.cicek@msn.com
Akademik çalışmalar* :EPDM Kauçuğun Çapraz Bağlanmasına Etki Eden Fizikokimyasal Parametrelerin İncelenmesi
Yayınlar :Çiçek Şule, Prof. Dr. Kara Ali, Investigation Of The Rheological Values Of Ethylene Propylene Diene (EPDM) Rubber Using Different Cross-Linkers (Sulphur) In Same Proportions, 9. International Zeugma Conference On Scientific Research, Page 52-57, 19-21 February 2023, Gaziantep, Türkiye.[614b1f_3ea53e1467814ad58096bce5f48abf60.pdf](https://www.zeugmakongresi.org/614b1f_3ea53e1467814ad58096bce5f48abf60.pdf) ([zeugmakongresi.org](https://www.zeugmakongresi.org))

Çiçek Şule, Prof. Dr. Kara Ali, Investigation Of The Mechanical Values Of Ethylene Propylene Diene (EPDM) Rubber Using Different Cross-Linkers (Sulphur) In Same Proportions, 4. International Anatolian Scientific Research Congress, Page 278-283, 17-20 February 2023, Kars, Türkiye.[614b1f_e26ecee2b8594fac934aa8b7e5b68499.pdf](https://www.discoveranatolia.org/614b1f_e26ecee2b8594fac934aa8b7e5b68499.pdf) ([discoveranatolia.org](https://www.discoveranatolia.org))

Çiçek Şule, Prof. Dr. Kara Ali, Investigation Of Physicochemical Parameters Affecting The Crosslinking Of EPDM Rubber, International Research In Engineering Sciences, Page196-212, March 2023, Platanus Yayınevi, Türkiye.[International Research in EngineeringSciences](https://www.platanuskitaapstore.com/International%20Research%20in%20Engineering%20Sciences) ([platanuskitaapstore.com](https://www.platanuskitaapstore.com))

Çiçek Şule, Prof. Dr. Kara Ali, Investigation Of Horizontal Burning And Hardness Test Values Of Rubber By Using Different Cross-Linker (Sulphur) In Ethylene Propylene Diene (EPDM) Rubber In The Same Ratio, 4. International Hasankeyf Scientific Research And Innovation Congress, 29-30 April 2023, Batman, Türkiye. https://www.isarconference.org/files/ugd/6dc816_b772694d766142eb98a151804cb47f05.pdf