TURBOŞARJ HORTUMLARI İÇİN YÜKSEK SICAKLIK VE ORTAM ŞARTLARINA MUKAVİM FKM KAUÇUK ESASLI KOMPOZİT MALZEMELER GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Orhan TERZİOĞLU

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TURBOŞARJ HORTUMLARI İÇİN YÜKSEK SICAKLIK VE ORTAM ŞARTLARINA MUKAVİM FKM KAUÇUK ESASLI KOMPOZİT MALZEMELER GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Orhan TERZİOĞLU
0000-0002-5576-5591

Prof. Dr. Murat YAZICI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
POLİMER MALZEMELER ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Orhan TERZİOĞLU tarafından hazırlanan "TURBOŞARJ HORTUMLARI İÇİN YÜKSEK SICAKLIK VE ORTAM ŞARTLARINA MUKAVİM FKM KAUÇUK ESASLI KOMPOZİT MALZEMELER GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Polimer Malzemeler Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Murat YAZICI

Başkan : Prof. Dr. Murat YAZICI İmza
0000-0002-8720-7594
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Polimer Malzemeler Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şebnem DÜZYER GEBİZLİ İmza
0000-0003-3737-5896
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Polimer Malzemeler Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yalçın BOZTOPRAK İmza
0000-0003-1714-7394
Marmara Üniversitesi,
Teknoloji Fakültesi,
Polimer Malzemeler Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
../../….

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

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

beyan ederim.

24/09/2021

Orhan TERZİOĞLU

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.

Danışman Adı-Soyadı Tarih	Öğrencinin Adı-Soyadı Tarih
İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.	İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TURBOŞARJ HORTUMLARI İÇİN YÜKSEK SICAKLIK VE ORTAM ŞARTLARINA MUKAVİM FKM KAUÇUK ESASLI KOMPOZİT MALZEMELER GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Orhan TERZİOĞLU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Polimer Malzemeler Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat YAZICI

Bu tez kapsamında otomotiv turbo şarj sisteminde sıcak tarafta FKM/VMQ/AR/VMQ yapısındaki katmanlı turbo şarj hortumunun iç katmanı olan florokarbon elastomer kauçuk karışımının geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Malzeme geliştirme çalışmaları için öncelikle reçete formülasyon tasarımları yapılmıştır. Bu tasarımda peroksit pişirici sistemli florokarbon polimeri ve diğer malzemeler sabit tutularak 4 farklı proses kolaylaştırıcı tipi kullanılmıştır. Belirlenen reçetelere göre deneme karışımlarının üretimi açık mil prosesi ile gerçekleştirilmiştir.

Deneme karışımlarının vulkanizasyon özelliklerinin belirlenmesi için reometre testi, akışkanlıklarının belirlenmesi için viskozimetre testi yapılmıştır. Fiziksel, mekanik ve termal özelliklerin belirlenmesi için 2 mm kalınlığında standart test plakaları hazırlanmıştır. Test plakaları üzerinden mekanik ve ısıl yaşlandırma testleri yapılmıştır. Ayrıca hazırlanan karışımların test plakası üzerinden VMQ kauçuğu ile yapışma özellikleri incelenmiştir. Test sonuçlarına göre en iyi malzeme özelliklerine sahip deneme karışımı belirlenmiştir. FKM kauçuk karışım reçetesi içerisinde kullanılan proses kolaylaştırıcı tipinin mekanik özellikleri etkilediği tespit edilmiştir. FKM kauçuk için en uygun proses kolaylaştırıcı tipinin yağ asidi ve wax karışımı olan tip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca reçete içerisinde optimum kullanım miktarının 1 phr olduğu tespit edilmiştir.

Geliştirilen yeni FKM kauçuk karışımının turbo şarj hortumu üzerindeki etkisinin incelenmesi için ekstrüzyon ve otoklav prosesleri ile hortum üretimi gerçekleştirilmiştir. Hortum üzerinden performans testleri de yapılarak nihai ürün değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kauçuk, FKM karışımı, turbo şarj hortumu, karışım geliştirme, rheometre, proses kolaylaştırıcı

2021, x + 86 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF FKM RUBBER-BASED COMPOSITE MATERIALS RESISTANT TO HIGH TEMPERATURE AND AMBIENT CONDITIONS FOR TURBOCHARGER HOSES

Orhan TERZİOĞLU

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

Supervisor: Prof. Dr. Murat YAZICI

In this thesis, the development of the fluorocarbon elastomer rubber compound, which is the inner layer of the FKM/VMQ/AR/VMQ turbocharger hose used on the hot side in the automotive turbocharger system, has been studied. Firstly, design of rubber compound formulation were made for material development. In these designs, 4 different types of process aids were used without changing the peroxide curable fluorocarbon polymer and other materials. The production of testing compound according to the determined by rubber compounds formulation was made by the open mill process.

Rheometer test was used to determine the curing properties of the test compound, and viscometer test was used to determine their fluidity. Standard test plates of 2mm thickness were prepared for the determination of physical, mechanical and thermal properties. Mechanical and thermal aging tests were carried out on test plates. In addition, the adhesion properties of the prepared mixtures with VMQ rubber were examined on the test plate. According to the test results, the test compound with the best material properties was determined. It has been determined that the type of process aids used in the FKM rubber compounds formulation affects the mechanical properties. It has been determined that the most suitable process aids type for FKM rubber is the type with a compounds of fatty acid and wax. In addition, it has been determined that the optimum amount of use in the formulation is 1 phr.

In order to examine the effect of the newly developed FKM rubber compound on the turbocharger hose, hose production was carried out by extrusion and autoclave processes. Performance tests were carried out on the hose and the final product was evaluated.

Key words: Rubber, FKM compound, turbocharger hose, compound development, rheometer, process aids

2021, x + 86 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarımda bana her zaman destek olan bilgi ve deneyimlerini paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Murat YAZICI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma hayatımda çok büyük emekleri olan bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, teşvik eden Elatek Kauçuk San. Tic. A.Ş Karışım üretim ve Arge müdürü Muhammet KARA'ya, fikirleri ve düşünceleriyle bana her zaman destek olan Karışım üretim grup departman lideri Ferit YELTEN'e, birlikte çalışmaktan keyif aldığım Arge ve laboratuvar bölümü arkadaşlarıma, tez çalışmam boyunca her türlü imkanlardan yararlanmama olanak sağlayan Elatek kauçuk yönetimine, Tübitak – Teydeb 7201093 numaralı proje aracılığılıyla verdikleri destek için Tübitak'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında bana destek olan değerli eşim Merve TERZİOĞLU'na, doğduğu günden bugüne bana şans getiren kızım Aslı TERZİOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Orhan TERZİOĞLU
24/09/2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa
ÖZET.....i
ABSTRACT.....ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR.....iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....x
1. GİRİŞ…… .....……1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....3
2.1 Polimerler.....3
2.1.1 Polimerler İçin genel kavramlar.....4
2.1.2 Polimerlerin sınıflandırılması.....6
2.2 Elastomerler.....6
2.3 Kauçuk Terimi.....8
2.3.1 Kauçukların sınıflandırılması.....10
2.3.2 Doğal kauçuk (NR).....15
2.3.3 Etilen propilen dien kauçuk (EPDM).....17
2.3.4 Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR).....18
2.3.5 Kloropren kauçuk (CR).....19
2.3.6 Klorosülfon polietilen kauçuk (CSM).....20
2.3.7 Etilen akrilik kauçuk (AEM).....21
2.3.8 Polivinilmetil siloksan (VMQ).....23
2.3.9 Florokarbon elastomer (FKM).....24
2.4 Kauçuk Karışımını Oluşturan Bileşenler.....25
2.4.1 Polimer.....26
2.4.2 Dolgu maddeleri.....26
2.4.3 Karbon siyahları.....27
2.4.4 Siyah olmayan dolgu maddeleri.....30
2.4.5 Yumuşatıcılar.....30
2.4.6 Aktivatörler.....32
2.4.7 Koruyucu malzemeler.....32
2.4.8 Proses kolaylaştırıcılar.....32
2.4.9 Hızlandırıcılar.....33
2.4.10 Pişirici kimyasallar.....34
2.4.11 Kükürt.....35

2.4.12 Peroksit 36
2.5 Kauçuk Karışımı Üretimi 37
2.5.1 İki silindirli açık mil karıştırıcılar 37
2.5.2 Kapalı karıştıcılar (banbury) 38
2.6 Kauçuk Hortum Üretimi Aşamaları 40
2.6.1 Ekstrüzyon prosesi 40
2.6.2 Ekstrüzyon prosesi elemanları 40
2.6.3 Eboş çekimi 42
2.6.4 Otoklav prosesi 43
2.7 Otomotivde Turbo şarj Sistemleri 44
3. MATERYAL ve YÖNTEM 47
3.1 Materyal 47
3.1.1 Kullanılan hammaddeler 47
3.1.2 Kullanılan cihazlar 47
3.2 Yöntem 48
3.2.1 Deneme karışımları reçete tasarımı 48
3.2.2 Deneme karışımlarının üretimi 48
3.2.3 Reometre testi 51
3.2.4 Mooney viskozimetre testi 53
3.2.5 Standart test plakalarının hazırlanması 54
3.2.6 Yoğunluk testi 55
3.2.7 Sertlik testi 55
3.2.8 Kopma mukavemeti/ uzaması testi 56
3.2.9 Yırtılma dayanımı testi 58
3.2.10 Kalıcı deformasyon testi 58
3.2.11 Havada yaşlandırma testi 59
3.2.12 Yağda yaşlandırma testi 60
3.2.13 Katmanlı test plakası üzerinden yapışma testi 60
3.2.14 Hortum üzerinden yapılan testler 62
3.2.15 Kat yapışması testi 62
3.2.16 Çap genişlemesi testi 62
3.2.17. Patlatma testi 62
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 63
4.1 Vulkanizasyon Öncesi Test Sonuçları 63

4.1.1 Reometre test sonuçları 63
4.1.2 Mooney viskozimetre test sonuçları 65
4.2 FKM Deneme Karışımları Standart Test Plakaları Üzerinden Yapılan Testlerin Sonuçları 67
4.2.2 Kopma mukavemeti / uzaması test sonuçları 69
4.2.3 Yırtılma dayanımı test sonuçları 72
4.2.4 Kalıcı deformasyon test sonuçları 74
4.2.5 Katmanlı test plakası üzerinden yapışma testi sonuçları 75
4.2.6 Yağda yaşlandırma sonrasındaki hacim değişimi test sonuçları 76
4.3 Hortum Üzerinden Yapılan Test Sonuçları 77
5. SONUÇ 80
KAYNAKLAR 82
ÖZGEÇMİŞ 86

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
°C	Derece
Bar	Basınç birimi
Δ M	Çapraz bağlanma derecesi
dNm	Dekanewtonmetre
L_o	Numunenin başlangıçtaki kalınlığı
L	Numunenin test sonrası kalınlığı
Mdr	Hareketli kalıp rheometresi
M_L	Minimum tork
M_H	Maksimum tork
N	Newton
Mm	Milimetre
N/mm	Newton milimetre
N/mm^2	Newton milimetre kare
Tg	Camsı geçiş sıcaklığı
Ts_2	Pişmeye başlama sıcaklığı
T90	Maksimum tork değerinin %90 ‘ına ulaştığı zaman

Kısaltmalar	Açıklama
Acn	Akrilonitril
Aem	Etilen akrilik kauçuk
Astm	Uluslararası Amerikan test ve materyalleri topluluğu
Cao	Kalsiyum oksit
Cr	Kloropren kauçuk
Csm	Klorosülfon polietilen kauçuk
Epdm	Etilen propilen dien kauçuk
Fkm	Florokarbon elastomer kauçuk
Ippd	N-(1,3-dimetilbütil)-N-fenil-p-fenilendiamin
Irhd	Uluslararası kauçuk sertlik derecesi
Mdr	Hareketli kalıp rheometresi
Mgo	Magnezyum oksit
Nbr	Akrilonitril bitadien kauçuk
Nr	Doğal kauçuk
Pvc	Polivinil klorür
Phr	Yüz kısım kauçuk başına
Sae	Otomotiv mühendisleri topluluğu
Taıc	Triallilizosiyanürat
Vmq	Polivinilmetil siloksan
Zno	Çinko oksit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Malzemelerin sınıflandırılması 3
Şekil 2.2. Monomerlerin polimerizasyon tepkimesi ile polimerleri oluşturması. 4
Şekil 2.3. Katılma polimerleri örnekleri. 5
Şekil 2.4. Polimerlerin gerilme-uzama eğrileri 7
Şekil 2.5. Polimer malzemenin çapraz bağlanmamış ve çapraz bağlanmış yapısı 8
Şekil 2.6. Çapraz bağlanma olmayan bir polimerin gerilme davranışı 9
Şekil 2.7. Çapraz bağlanmış bir polimerin gerilme davranışı 9
Şekil 2.8. ASTM D2000 standardına göre kodlamaların açıklaması 15
Şekil 2.9. Doğal kauçuğun açık yapısı 15
Şekil 2.10. EPDM kauçuk oluşum reaksiyonu 17
Şekil 2.11. Akrilonitril bütadien kauçuğun açık yapısı 18
Şekil 2.12. Kloroprenin açık yapısı 19
Şekil 2.12. Klorosülfon polietilen kauçuğun açık yapısı 21
Şekil 2.13. (a) Ter polimer yapı diamin sistemli, (b) Dipolimer yapı peroksit sistemli . 22
Şekil 2.14. Silikon kauçuğun açık yapısı 23
Şekil 2.15. Florokarbon kauçuğun açık yapısı 24
Şekil 2.16. Karbon siyahının yapısı. 28
Şekil 2.17. İki silindirli açık karıştırıcı görseli 38
Şekil 2.18. Kapalı karıştırıcı banbury şematik gösterimi 39
Şekil 2.19. Kauçuk hortum üretim aşamaları 40
Şekil 2.20. Ekstrüzyon prosesi aşamaları 40
Şekil 2.21. Ekstrüder cihazının bölümleri: A; vida, B; vidayı çevreleyen silindir, C, D; bölge sıcaklık kontrol sistemi, E, F; karışım besleme bölümü, G, H, I; motor ve vidayı döndüren bölüm 41
Şekil 2.22. Karışımın ekstrüder kafasındaki akışı 42
Şekil 2.23. Eboşun maçaya takılması ve nihai ürün eldesi 43
Şekil 2.24. Turbo şarj sistemi gösterimi 45
Şekil 2.25. Kauçukların sıcaklık ve yağ dayanımları karşılaştırması 45
Şekil 2.26. Elastomerlerin çalışma sıcaklık aralıkları 46
Şekil 3.1. Açık mil kauçuk karışım makinası 49
Şekil 3.2. FKM deneme karışımlarının açık mil prosesi ile üretimi 50
Şekil 3.3. Reometre cihaz görseli 51
Şekil 3.4. Reometre pişme eğrisi örneği 52
Şekil 3.5. Mooney viskozimetre cihaz görseli 54
Şekil 3.6. Laboratuvar ölçekli kompresyon pres ve basılan standart test plakası 54
Şekil 3.7. Hassas terazi 55
Şekil 3.8. Sertlik ölçüm cihazları 56
Şekil 3.9. Tensometre test cihazı 57
Şekil 3.10. Çekme testi numuneleri; 57
Şekil 3.11. Yırtılma testi numuneleri 58
Şekil 3.12. Kalıcı deformasyon hesaplama formülü 59
Şekil 3.13. Etüv içerisindeki havada yaşlandırma numuneleri 59
Şekil 3.14. Etüv içerisindeki yağda yaşlandırma numuneleri 60
Şekil 3.15. Katmanlı test plakaları çalışması özeti 61
Şekil 4.1. FKM deneme karışımları reometre eğrileri 63
Şekil 4.2. FKM deneme karışımları mooney viskozite eğrileri 66

Şekil 4.3. FKM deneme karışımları shore A biriminde sertlik ölçümü sonuçları 67
Şekil 4.4. FKM deneme karışımları mikro IRHD biriminde sertlik ölçümü sonuçları .. 68
Şekil 4.5. FKM deneme karışımlarının havada yaşlandırma sonrasındaki sertlik değişimleri 68
Şekil 4.6. FKM deneme karışımları kopma mukavemeti test sonuçları 69
Şekil 4.7.FKM deneme karışımları havada yaşlandırma sonrasındaki kopma mukavemeti değişimleri 70
Şekil 4.8. FKM deneme karışımları kopma uzaması test sonuçları 71
Şekil 4.9. FKM deneme karışımları havada yaşlandırma sonrasındaki kopma uzaması değişimleri 72
Şekil 4.10. FKM deneme karışımları yırtılma dayanımı test sonuçları 72
Şekil 4.11. FKM deneme karışımları havada yaşlandırma sonrasındaki yırtılma dayanımı değişimleri 74
Şekil 4.12. FKM deneme karışımları kalıcı deformasyon test sonuçları 74
Şekil 4.13. FKM deneme karışımlarının katmanlı test plakası VMQ yapışma test sonuçları 75
Şekil 4.14. FKM deneme karışımları yağda yaşlandırma sonrasındaki hacim değişimi test sonuçları 76
Şekil 4.15. Üretilen hortumun görselleri 77
Şekil 4.16. FKM-VMQ ara yüzey yapışmasının gösteren kat yapışması testi numune görseli 78
Şekil 4.17. Çap genişlemesi ve patlatma testi deney görseli 79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Polimerlerin farklı özelliklerine göre sınıflandırılması.....6
Çizelge 2.2. Vulkanizasyon işleminden sonra malzemede meydanan gelen değişimler ..9
Çizelge 2.3. ASTM D 2000 kauçukların tip grubuna göre gösterilmesi.....11
Çizelge 2.4. ASTM D 2000 kauçukların sınıflarına göre yağ dayanımları 12
Çizelge 2.5. ASTM D 2000 alt harflerin anlamları.....12
Çizelge 2.6. ASTM D 2000 testlerin uygulandığı standart ve süreler 13
Çizelge 2.7. ASTM D 2000 testlerin uygulandığı sıcaklıklar.....14
Çizelge 2.8. Kauçuk karışım reçetesinde kullanılan genel malzemeler ve oranları.....26
Çizelge 2.9. Fırın kauçuk siyahlarının karşılaştırması 29
Çizelge 2.10. Karbon siyahının son ürün performansına etkisi 30
Çizelge 2.11. Mineral yağların anilik noktası ve viskozite yerçekimi sabitleri 31
Çizelge 2.12. Mineral yağların genel özellikleri ve uyumlu oldukları elastomerler.....31
Çizelge 2.13. En yaygın olarak kullanılan hızlandırıcı türleri ve özellikleri 34
Çizelge 2.14. Kükürt vulkanizasyon sistemlerindeki çapraz bağlanma enerjileri 35
Çizelge 3.1. FKM deneme karışımları reçete tasarımları 48
Çizelge 3.2. FKM deneme karışımları açık mil prosesi parametreleri 50
Çizelge 4.1. FKM deneme karışımları reometre test sonuçları karşılaştırması 64
Çizelge 4.2.FKM deneme karışımları mooney viskozimetre test sonuçları karşılaştırması 66

1. GİRİŞ

Turbo şarj sistemi temel olarak; yanma odası, turbo, intercooler, metal, plastik ve kauçuk bağlantı elemanlarından oluşur. Yanma için gerekli olan oksijence zengin havanın motora iletilmesi turbo şarj sistemi ile yapılır. Sistemin çalışması aşağıda detaylı olarak bahsedilmiştir.

Yakıt yanma odasında yandıktan sonra oluşan atık egzoz gazları turboya iletilir. Turboda türbin mili ile birbirine bağlı türbin fanı ve kompresör fanı bulunur. Gelen bu atık egzoz gazları türbin milini döndürür. Türbin mili döndükçe kompresör fanı da ters yönde dönerek dışarıdan hava emilimini gerçekleştirir. Bu dönme yüksek devirlerde olduğu için atmosfer basıncının üstünde bir basınçta hava emilmiş olur. Böylelikle emilen havanın sıcaklığı artar. Sıcaklığı yüksek olan hava oksijen bakımından fakirdir. Oksijen miktarının düşük olması da yakıtın verimli yanmamasına neden olacaktır. Bu yüzden turboda bulunan sıcak havanın motorda yanma odasına gönderilmeden önce sıcaklığının düşürülmesi gerekir. Havanın sıcaklığının düşürülmesi intercooler'da yapılmaktadır. İntercooler'a sıcak havanın transferi sıcak taraf turbo şarj hortumları ile sağlanır. Daha sonra intercoolerda soğutma işlemi gerçekleştirildikten sonra soğuk taraf turbo şarj hortumu ile motora gönderilir. Kısacası turbo şarj sistemi ile motora atmosfer basıncının üzerinde hava verilmesini sağlar. Piston içerisine daha yüksek basınçta hava gönderilmesi de ortamdaki oksijen miktarının artmasıyla yakıtın yüksek oranda yanmasını sağlar. Böylece daha küçük hacimli motorlardan daha yüksek verimler elde edilir.(Tekçe 2015)

FKM (Florokarbon elastomer), diğer kauçukların karşılayamadığı düzeyde yüksek ısıl dayanım ve kimyasal inertlik özellikleri ile bilinir. Kullanım alanları temel olarak uzay ve havacılık endüstrisinde hat bağlantılı elemanları, turbo şarj hortumları, otomotiv endüstrisinde motora yakın çalışan kauçuk parçalar ve kimyasal madde üretimi gibi alanlardır. – 40 °C den 225 °C'ye kadar sürekli çalışma performansı yanı sıra, kimyasal kararlılık ve düşük gaz geçirgenliği gibi önemli avantajlar da sergilerler. Bu mükemmel özelliklere, ana zincirdeki güçlü C-F bağları sayesinde sahiptirler. (Wang 2013)

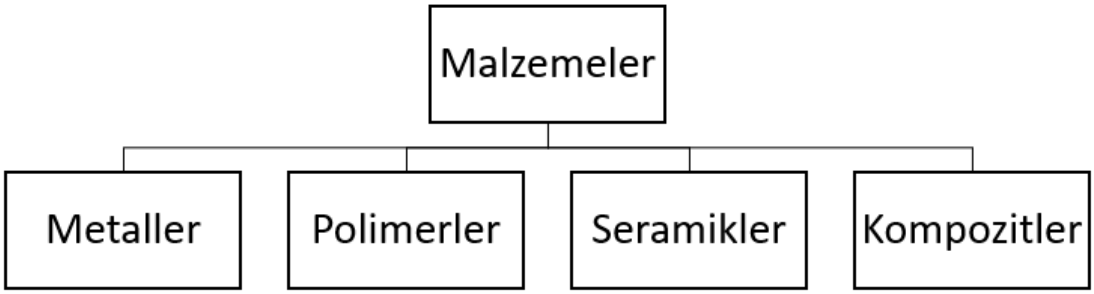
Turbo şarj hortumu maruz kaldığı zorlayıcı şartlarda sürekli çalışma, yüksek performans ve uzun ömür gerekliliklerinden dolayı genellikle 3 katmanlı FKM/VMQ/AR/VMQ

yapısında tasarlanmaktadırlar. Zorlayıcı yüksek termal sıcaklık (200 -220 °C), basınç (1.5-1.8 bar) yağ ve asit buharı gibi kimyasallara karşı ilk maruz kalan FKM katmanıdır. Bu yüzden iç katman malzemesi olarak FKM hamurunun geliştirilmesi ürün performansı için önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı FKM elastomer kompozit malzemenin elastik özelliklerini, kimyasal dayanımını ve ömrünü arttıracak şekilde katkı malzemelerinin belirlenmesi ve karışımlarının oranlarının optimize edilmesi ile özgün FKM kauçuk karışımı geliştirmek ve geliştirilen yeni FKM kauçuk karışımın turbo şarj hortumu üzerinde etkisinin malzeme ve performans testleri ile deneysel olarak incelenmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

İnsanoğlu günlük hayattaki ihtiyaçlarını ve gereksinimlerini birtakım maddeler kullanarak karşılamaya çalışmaktadırlar. Kullanılan bu maddeler *malzeme* olarak adlandırılmaktadır. Malzemeler temelde 4 gruba ayrılır.



Şekil 2.1. Malzemelerin sınıflandırılması

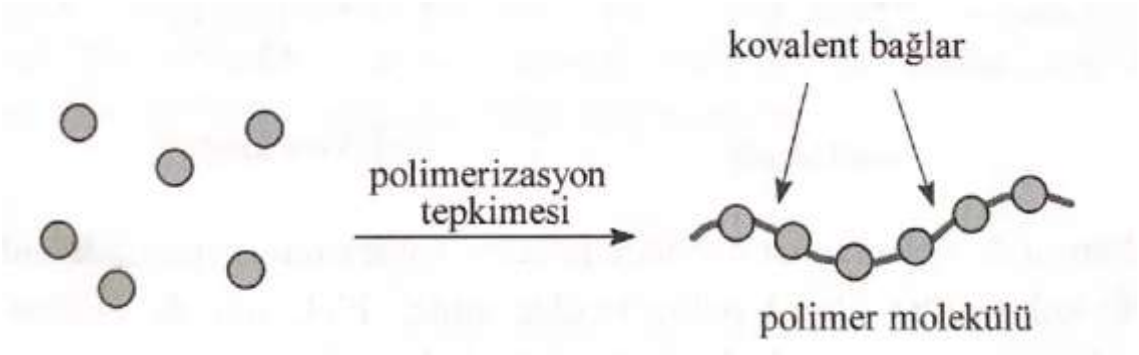
2.1 Polimerler

Polimerlerin çeşitliliği ve özellikleri zaman içerisinde gelişim göstermiştir. Bu gelişmedeki en önemli pay olarak insanların sosyal hayattaki ihtiyaçlarının değişmesi belirgin rol oynamıştır. Bu değişen ihtiyaçlar neticesinde sentetik polimerlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Böylece ticari olarak üretimleri artmış ve yaşantımızın en önemli malzemeleri olarak yerini almıştır.

Monomerler, küçük mol kütleli kimyasal maddelerdir. Bu kimyasal maddelerin binlercesi kovalent bağlar ile bir araya gelerek büyük mol kütleli kimyasal maddeleri meydana getirirler. Çok sayıda monomerin oluşturduğu bu büyük yapıya ise polimer denilmektedir.

Polimer terimi, çok anlamına gelen poly- ve küçük parça, tanecik gibi anlamlara gelen meros kelimesinden meydana gelmektedir.(Saçak 2018)

Polimer molekülleri uzun zincir şeklinde monomerlerin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı polimer zincirleri olarak adlandırılması son derece yaygın kullanılan bir kavramdır. Monomerlerin polimerizasyonu sonucunda oluşan polimerlerin tepkimesi şekil 2.2 de yer almaktadır.



Şekil 2.2. Monomerlerin polimerizasyon tepkimesi ile polimerleri oluşturması (Saçak 2018)

2.1.1 Polimerler için genel kavramlar

Homopolimer, aynı tür monomerlerin bir araya gelmesinden oluşurlar. Polimerin yapısında tek tip monomer yer alır.

Kopolimer, polimer zincirini oluşturan yapıda 2 farklı monomer yer almaktadır. Bu farklı türdeki monomerler sıralanışlarına göre ardışık, rastgele ve blok kopolimer olarak adlandırılırlar.

Terpolimer, 3 farklı monomerin polimerizasyonuyla oluşur.

Oligomer, Monomelerin bir araya gelmesiyle oluşan dimer, trimer, tetramer vb. yapılara verilen addır.

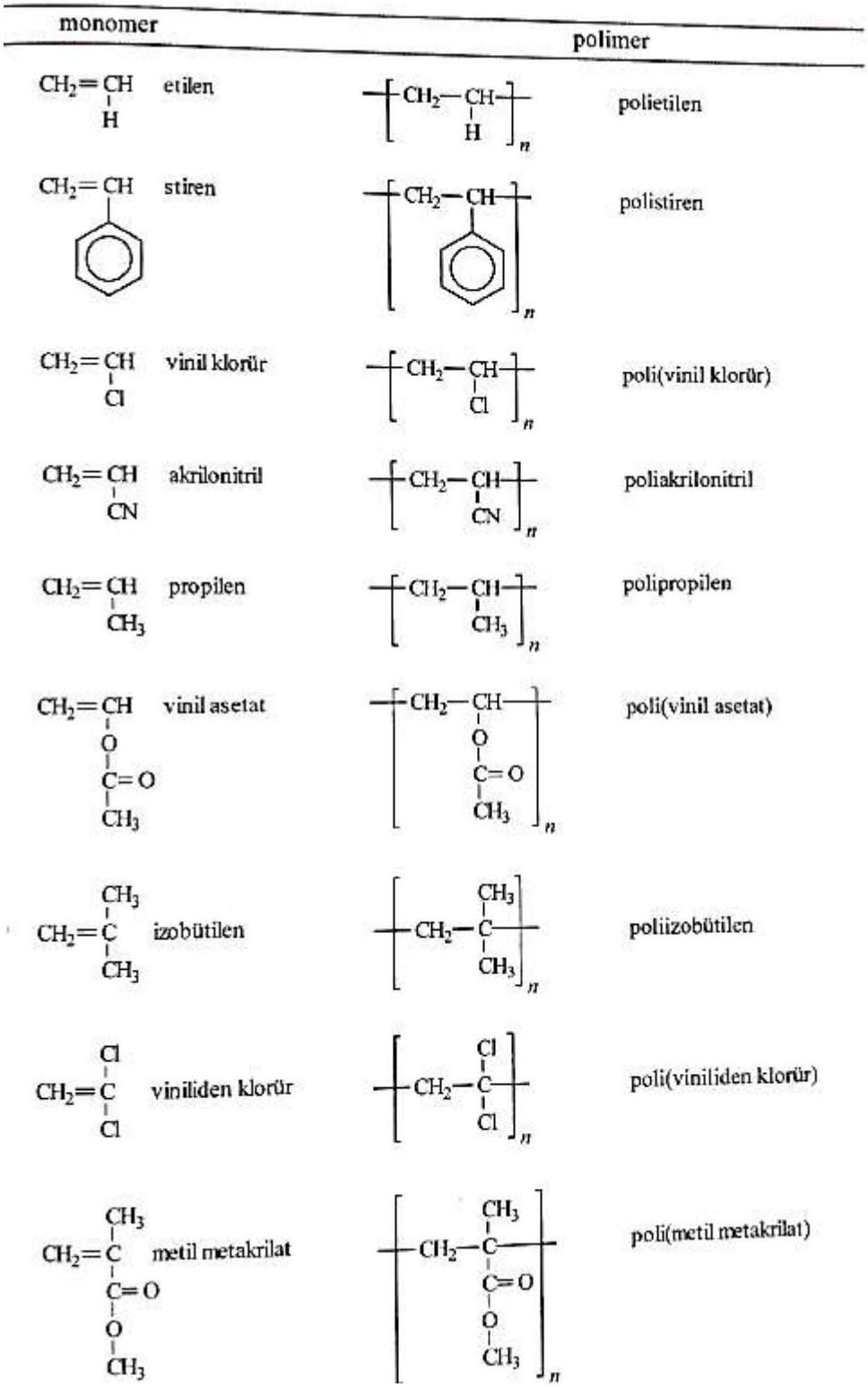
Polimerizasyon, monomerlerin kimyasal reaksiyona girerek uzun zincir halindeki polimerleri oluşturmasıdır.

Tekrar Ünitesi, bir polimerlerin zincir yapısı içerisindeki tekrar eden aynı kimyasal yapıya sahip birimidir. Katılma polimerlerinde tekrar eden birimler parantez dışında– n simgesi ile gösterilir. Ayrıca bu simge polimerizasyon derecesi olarak da bilinir.

Moleküler Ağırlık, polimer molekülünün toplam ağırlığıdır. Polimer zincirindeki tekrar ünitesi sayısına bağlıdır.

Konformasyon, bir molekülün bağ kırılması olmadan dönme hareketleriyle alabileceği geometrik şekillerdir.

Bazı katılma polimerleri örnekleri şekil 2.3 de verilmiştir.(Saçak 2018)

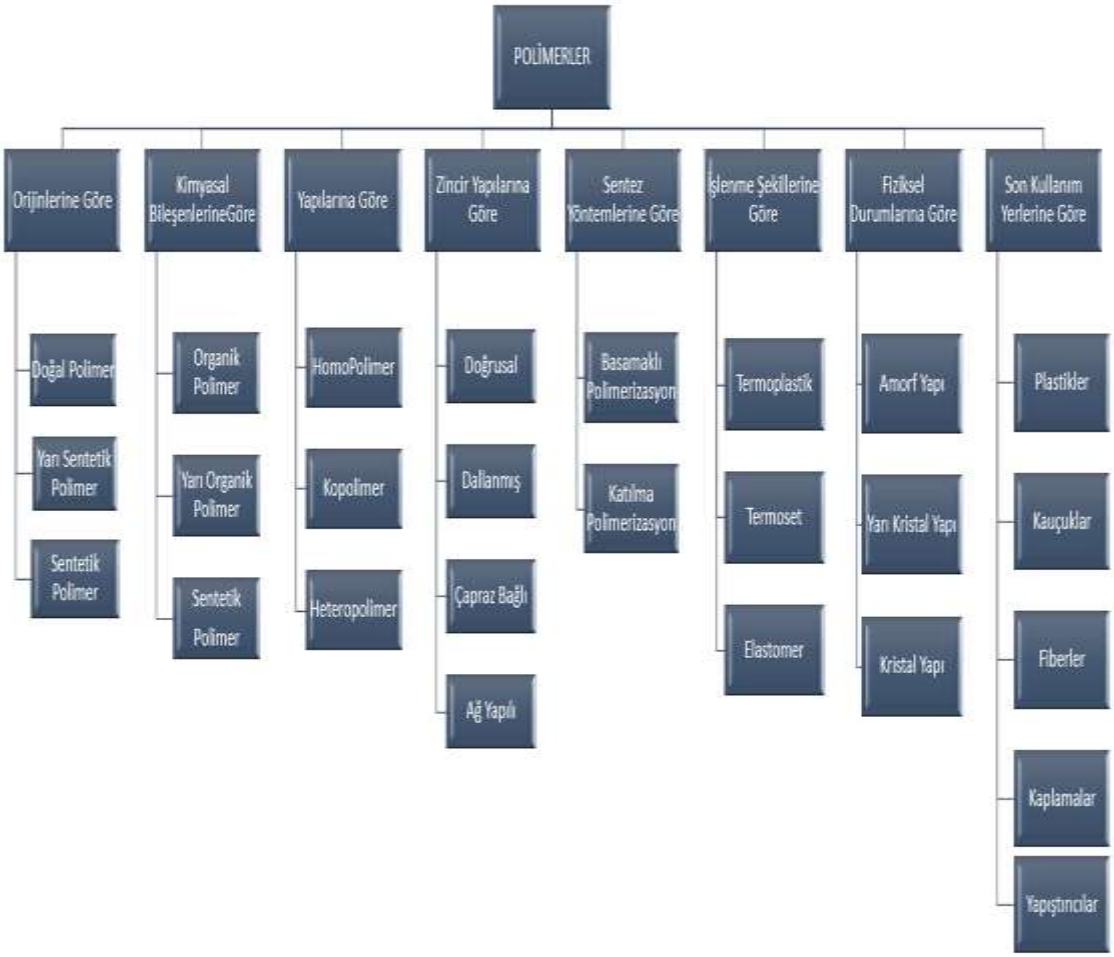


Şekil 2.3. Katılma polimerleri örnekleri (Saçak 2018)

2.1.2 Polimerlerin sınıflandırılması

Polimerler için birçok sınıflandırma çeşidi vardır. Bu çeşitliliğin fazla olmasının nedeni özelliklerine göre ayrılmasıdır. Aşağıdaki çizelgede polimerler farklı özelliklerine göre sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.1. Polimerlerin farklı özelliklerine göre sınıflandırılması

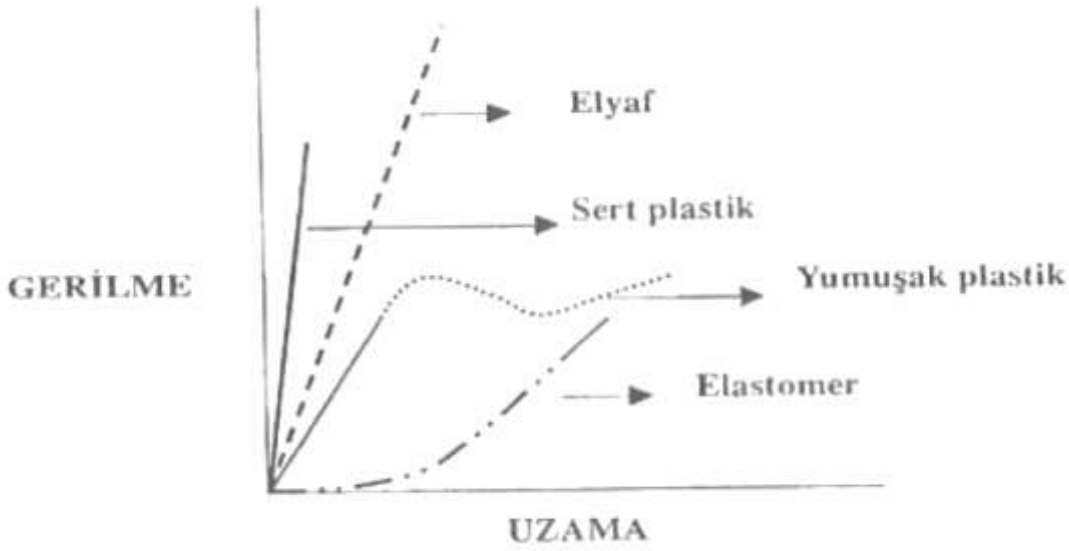


2.2 Elastomerler

Elastomerler için farklı tanımlamalar bulunmaktadır. Bu tanımların en bilineni ASTM standardına göre yapılmıştır. Tanımda oda sıcaklığında orijinal uzunluğunun iki katına kadar uzatılabilen ve bu uzamayı sağlayan kuvvet ortadan kaldırıldıktan sonra hemen hemen eski haline dönebilen malzemeler olduğu belirtilir. (Schweitzer 2006)

Yapılan diğer bir tanım ise çok düşük sıcaklıklarda cam gibi sert olan, çok yüksek sıcaklıklarda dahi akışkan özellik göstermeyen geniş bir kullanım sıcaklığı olan ve elastik özellik gösteren polimer malzemelerdir. (Savran 2001)

Polimer maddeler fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı doğal birçok malzeme yerine kullanılmaktadırlar. Bu polimer malzemeler gerilme – uzama testindeki grafiklerine bakarak ayrılabilirler. Gerçekleştirilen testte sabit hızla çekme kuvveti uygulanarak malzemenin gerilmesi sağlanır ve kopma noktasına kadar uzaması eğrisi belirlenir. Polimerlerin eğrileri şekil 2.4 dedir.



Şekil 2.4. Polimerlerin gerilme-uzama eğrileri (Savran 2001)

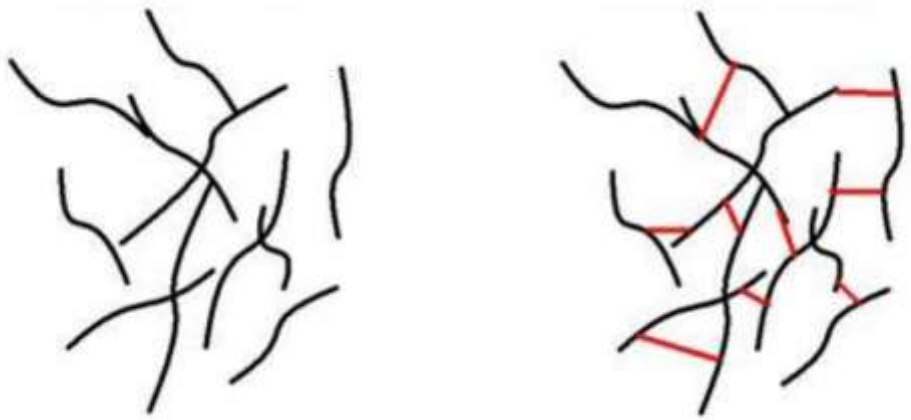
Elastomer, kauçuk olarak tanımlanan polimerlerin vulkanizasyon işlemi sonrasında çapraz bağlanması ile oluşturduğu ağ yapılı haldir.
Elastomer için kauçuk polimerinden beklenen birtakım özellikler vardır. Bu özellikler genel olarak; (Erkek 2007)

- Ortalama molekül ağırlığının yüksek olması
- Polimer zincirleri arasında düşük bağ kuvveti
- Zincir yapısının düzensizliği
- Vulkanizasyon işlemi için çapraz bağlanabilme özelliği
- Düşük camsı geçiş sıcaklığı

2.3 Kauçuk Terimi

Kauçuklar fiziksel, mekanik vb. birçok üstün özellikleri sayesinde yaşantımızda çok geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Kauçuk malzemeler düşük camsı geçiş sıcaklığı (Tg) olan amorf bir yapıya sahip çapraz bağlanmamış ama çapraz bağlanabilme özelliği olan vulkanize edilerek seyrek çapraz bağlanabilerek elastomer hal alabilen polimerlerdir (Soyubol 2006). Bu tür malzemelerin çapraz bağlanabilme özelliği vulkanizasyon işlemi ile ilgilidir. Vulkanizasyon işlemi kauçuk malzemeyi kimyasal yapı değişikliklerine uğratarak geri dönüşümsüz olarak elastik özellikler kazandırmaktadır. Böylelikle vulkanizasyon öncesi yüksek olan plastik özellikler gösteren malzeme vulkanizasyon sonrası yüksek elastik özellikler göstermeye başlar. Polimer zincirlerinin çapraz bağlanmamış ve bağlanmış yapılarının gösterimi şekil 2.5 de yer almaktadır.



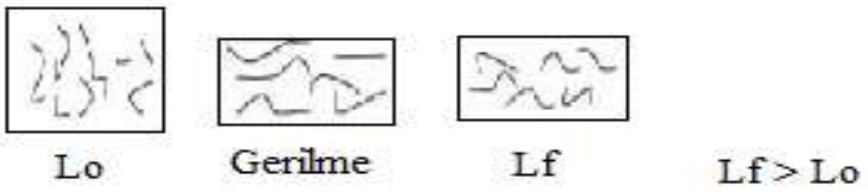
Şekil 2.5. Polimer malzemenin çapraz bağlanmamış ve çapraz bağlanmış yapısı (Peltola 2013)

Vulkanizasyon işleminin malzemede meydana getirdiği kimyasal değişimler çizelge 2.2 de yer almaktadır.

Çizelge 2.2. Vulkanizasyon işleminden sonra malzemede meydana gelen değişimler (Kısacık 2006)

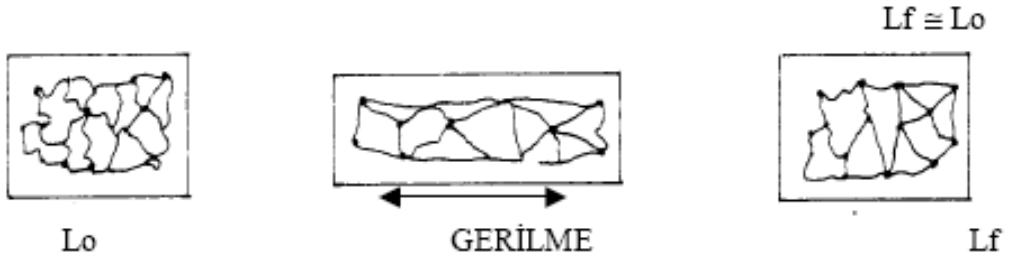
Çapraz bağlanmamış (ham)	Çapraz bağlanmış (Pişmiş, vulkanize)
Yumuşak Yapışkan Zayıf	Daha sert Yapışkan değil Kuvvetli
Düşük elastisite	Yüksek elastisite
Yüksek kalıcı deformasyon	Düşük kalıcı deformasyon
Çözünür	Çözünmez
Isıdan etkilenir	Isıdan daha az etkilenir
Termoplastik	Termoplastik değil

Çapraz bağlanmamış bir polimer çekme kuvvetinin etkisiyle gerildiğinde bağlar birbirine kayarak geçerek sabitlenir. Bu durumda meydana gelen son boy ilk boydan daha uzun olur.



Şekil 2.6. Çapraz bağlanma olmayan bir polimerin gerilme davranışı (Savran 2001)

Vulkanizasyon ile çapraz bağlanmış bir polimere çekme kuvveti uygulandığında bağlar sabit kalır ve gerilmeyi temin eden kuvvet ortan kaldırıldığında da polimer geri döner. Böylece son durumdaki ve ilk durumdaki boylar yaklaşık olarak eşit kabul edilir.(Savran 2001)



Şekil 2.7. Çapraz bağlanmış bir polimerin gerilme davranışı.(Savran 2001)

Bir kauçuk karışımının vulkanize edilebilmesi için 3 önemli parametre vardır. Bu parametreler;

- Sıcaklık
- Basınç
- Zaman'dır.

2.3.1 Kauçukların sınıflandırılması

Kauçuk malzemeler sıcak ve soğuk ortam sıcaklığından, kimyasallardan, sıvılardan, ozondan vb. faktörlerden etkilenmektedir. Bu etkilenme sonucunda malzemede bozunmalar ve deformasyonlar oluşmaktadır. Nihayetinde işlevini yerine getiremez hale gelmektedir. Yıllardan beri yapılan testler ile kauçuk malzemelerin kullanım ömrü tespit edilmeye çalışılmakta ve parçanın çalışma şartlarına göre en uygun kauçuk türünün belirlenmesi önem arz etmektedir.

Kauçuk malzemelerin kalitesinde süreklilik sağlanması ve hep aynı kalitede ürün üretilebilmesi için özelliklerinin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle uygun malzeme seçiminde standartlaşma ihtiyacını beraberinde getirmiştir.

Günümüzde kauçuk türü malzemelerin sınıflandırılması için ASTM tarafından hazırlanan Standartlar yaygın olarak kullanılmaktadır.(Vahapoğlu 2006)

1) ASTM D1418, Rubber and rubber lattices-nomenclatures – kauçuk türü malzemelerin sınıflandırmasını kimyasal yapılarına göre tanımlamaktadır.(Schweitzer 2006)
2) ASTM D2000, Standard classification system for rubber products in automotive applications – ASTM tarafından geliştirilen bu standart başta otomotiv uygulamaları olmak üzere tüm kauçuk malzemeleri kapsamakta ve en yaygın olarak kullanılanıdır.(ASTM D2000)

ASTM D2000 standardı özellikler otomotiv sektöründeki uygulamalarda kauçuk seçimi için son derece önemlidir. Bu standart aynı zamanda SAE J200 standardı ile aynıdır. Standartlarda kauçukları kendilerine has özellikleri göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma genel olarak *Tip* ve *Sınıf* şeklinde 2 grup olarak ele alınmıştır.

Malzemenin ısıl (havada) yaşlanması *Tip* olarak ayrılırken yağ içinde yaşlanması sonrası hacim değişimine göre yapılan ayrım ise *Sınıf* olarak nitelendirilmiştir. Genel bir özetleme yaparsak ASTM D2000 ve SAE J200 Standartları kauçukları sıcaklık dayanımları ve yağ içerinde yaşlandırma sonrasındaki hacim değişimleri özelliklerine göre sınıflandırmaktadır.

Kauçuk malzemenin sıcaklık dayanımı ile çalışma sıcaklığı belirlenmekte ve ayrım harfler kullanılarak yapılmaktadır. Bu ayrımda 70 °C lık sıcaklık A harfine karşılık gelmekte ve 300 °C lık sıcaklık ise K harfine karşılık gelmektedir. Sıcaklıkların belirli bir düzende artması ile A dan K ya kadar sıralı olarak devam eder. Bu durum çizelge 2.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. ASTM D 2000 kauçukların tip grubuna göre gösterilmesi (ASTM D2000)

Tip	Test Sıcaklığı, °C
A	70
B	100
C	125
D	150
E	175
F	200
G	225
H	250
J	275
K	300

Kauçuk malzemelerin yağ içerindeki hacim değişimleri sınıflandırması A harfi ile başlayarak K harfine kadar devam etmektedir. A harfinde hacim değişimi için bir istek yoktur, K harfine doğru gidildikçe hacim değişimi değeri isteği de azalmaktadır. Yani K harfine doğru kauçuğun yağa karşı dayanımlı olması istenmektedir. Yağ dayanımları karşılaştırmaları çizelge 2.4 de verilmiştir.

Çizelge 2.4. ASTM D 2000 kauçukların sınıflarına göre yağ dayanımları (ASTM D2000)

Sınıf	Yağda Hacim Değişimi, max. %
A	Sınırlama yok
B	140
C	120
D	100
E	80
F	60
G	40
H	30
J	20
K	10

Kauçuk malzemelerin kullanım alanına göre bazı karakteristik dayanım göstermesi gereken özellikler vardır. Bu istenen özelliklere dayanımları ise testler ile belirlenmiştir. Aşağıdaki tabloda istenen dayanım özellikleri ve karşılık gelen alt harfler belirtilmiştir.

Çizelge 2.5. ASTM D 2000 alt harflerin anlamları (ASTM D2000)

Alt Harfler	Test İstekleri
A	Isı Direnci
B	Kalıcı Deformasyon
C	Ozon ve Hava Direnci
D	Baskı Altında Esneme
EA	Suda Şişme Direnci
EF	Yakıtta Şişme Direnci
EO	Yağda Şişme Direnci
F	Düşük Sıcaklık Direnci
G	Yırtılma Direnci
H	Esneklik Direnci
J	Aşınma Direnci

Çizelge 2.5. ASTM D 2000 alt harflerin anlamları (devam) (ASTM D2000)

K	Yapışma
M	Yanma Direnci
N	Darbe Direnci
P	Lekeleme Direnci
R	Elastikiyet
Z	Diğer Özel İstekler

Kauçuk malzemenin özelliklerini belirlemek için yapılan testler belirli koşullarda ve standartlaştırılarak yapılmaktadır. Çizelge 2.5 de testlerin uygulandığı standartlar ve test süreleri yer almaktadır. Test sıcaklıkları ise Çizelge 2.6 da detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.6. ASTM D 2000 testlerin uygulandığı standart ve süreler (ASTM D2000)

Alt Harfler	**Deney**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
A	Isı Direnci	D573 70 saat	D865 70 saat	D865 70 saat					
B	Kalıcı Deformasyon	D395 22 saat	D395 70 saat	D395 22 saat	D395 22 saat				
C	Ozon ve Hava Direnci	D1171 Ozon	D1171 Hava	D1171 Ozon					
D	Baskı Altında Esneme	D575 A	D575 B						
EA	Suda Şişme Direnci	D471 70 saat S. Su	D471 70 saat S Su+ EG						
EF	Yakıtta Şişme Direnci	D471 70 saat FuelA	D471 70 saat FuelB	D471 70 saat FuelC					
EO	Yağda Şişme Direnci	D471 70 saat 1 no	D471 70 saat 2 no	D471 70 saat 3 no	D471 168 saat 1 no	D471 168 saat 2 no	D471 168 saat 3 no	D471 70 saat Y101	D471 70 saat Özel

Çizelge 2.6. ASTM D 2000 şartnamesindeki testlerin uygulandığı standart ve süreler (devam) (ASTM D2000)

F	Düşük Sıcaklık Direnci	D2137 3 dak	D1053 5 dak	D2137 22 saat	D1329 %10 Ç.	D1329 %50 Ç.			
G	Yırtılma Direnci	D624 B	D624 C						
H	Esneklik Direnci	D430 A	D430 B	D430 C					
J	Aşınma Direnci	Özel							
K	Yapışma	D429 A	D429 B						
M	Yanma Direnci	Özel							
N	Darbe Direnci	Özel							
P	Lekeleme Direnci	D925	D925						
R	Elastikiyet	D945							

Çizelge 2.7. ASTM D 2000 testlerin uygulandığı sıcaklıklar (ASTM D2000)

Uygulanan Özellikler	2. Alt Sayı	Deney Sıcaklığı, °C
A, B, C, D, EO, EF, G, K	11	275
	10	250
	9	225
	8	200
	7	175
	6	150
	5	125
	4	100
	3	70
	2	38
	1	23
	0	B
B: Açık Hava Deneyinde Sıcaklık	1	23
	2	0
	3	- 10
	4	- 18
	5	- 25
	6	- 35
	7	- 40

Çizelge 2.7. ASTM D 2000 şartnamesindeki testlerin uygulandığı sıcaklıklar (devam) (ASTM D2000)

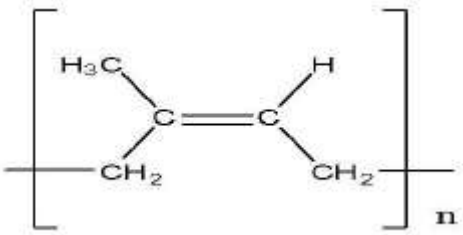
B: Açık Hava Deneyinde Sıcaklık	8	- 50
	9	- 55
	10	- 65
	11	- 75
	12	- 80

ASTM D2000 standardına göre verilen bir şartnamenin ne anlama geldiğini aşağıdaki örnek de incelenmiştir.

Şekil 2.8. ASTM D2000 standardına göre kodlamaların açıklaması

2.3.2 Doğal kauçuk (NR)

Doğal kauçuğun ticari olarak üretimi tropikal bölgelerin bol yağış alan yerlerinde Hevea Brasiliensis ağacından yapılmaktadır. Bu ağacın kabuğuna özel bıçaklarla çizik atılır ve çıkan sıvı bir kapta toplanır. Bu sıvıya lateks denilmektedir. Lateks uygulanan safsızlaştırma ve kimyasal yöntemlerle kauçuk polimerine dönüştürülür.



Şekil 2.9. Doğal kauçuğun açık yapısı

Doğal kauçuk yapısı gereği yüksek kristallenme eğilimindedir. Bu kristallenme özelliği sayesinde olumlu ve olumsuz özellikler kazanmaktadır. (Karaağaç 2017)

Kristalleşmenin kazandırdığı olumlu özellikler;

- Yüksek Kopma Dayanımı
- Aşınmaya ve yırtılmaya karşı direnç
- Çiğ mukavemetinin yüksek olması
- Dinamik özelliklerinde iyileşme
- Yüksek elastik özellik
- Kalıcı deformasyonun düşük olması
- İşlenme özelliğinde iyileşme

Kristalleşmenin kazandırdığı olumsuz özellikler;

- Taşıma ve depolama sırasında polimerin sertliğinde artış
- Polimerin viskozitesinde artış

Zayıf olduğu yönleri;

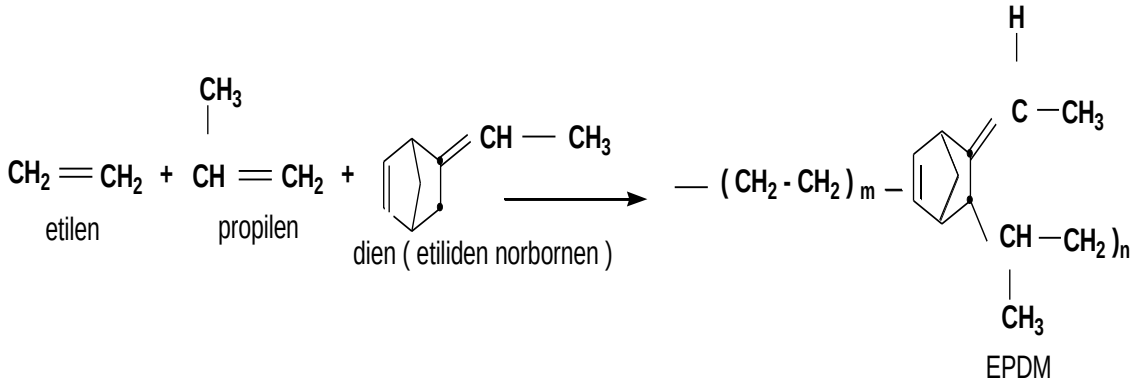
- Hidrokarbonlara karşı dayanımı
- Hava geçirgenliği
- Ozon dayanımı
- Fiyat değişkenliği

Genel kullanım alanları (Öztürk 2008);

- Araç lastikleri
- Motor takozları
- Ayakkabı tabanı
- Conta
- Eldiven
- Sünger imalatı
- Sağlık Ürünleri
- Otomotiv parçaları
- Yer döşemesi

2.3.3 Etilen propilen dien kauçuk (EPDM)

Etilen, Propilen ve Dien monomerlerinden oluşan bir terpolimerdir. Yapıya çift bağ Dien monomeri ile sağlanmaktadır. Bu nedenle peroksitle pişirme sistemine ilave olarak sülfürlü pişirme sistemine de uygun hale gelmiştir. Şekil 2.10 da açık yapısı verilmiştir.



Şekil 2.10. EPDM kauçuk oluşum reaksiyonu (Savran 2001)

Camsı geçiş sıcaklığı içeriğindeki propilen oranına göre – 54 °C ile -64 °C arasında değişmektedir. Bu özelliği neticesinde düşük sıcaklık dayanımı iyidir.(Soyubol 2006)

İyi olduğu yönleri;

- Düşük sıcaklıkta esneklik
- Kimyasal direncini yüksek olması
- Elektrik izolasyon özelliği yüksek
- Ozona ve hava koşullarına karşı mükemmel direnç
- Suya, asitlere ve alkalilere iyi dayanım
- Dolgu ve yağ alma özelliğinin iyi olması ve düşük maliyetli karışımlar
- Yoğunluğunun az olması sebebiyle hafif malzemeler üretebilme.

Zayıf olduğu yönleri;

- Tekstile yapışma özelliği
- Yağlara karşı dayanım
- Yakıtlara karşı dayanım

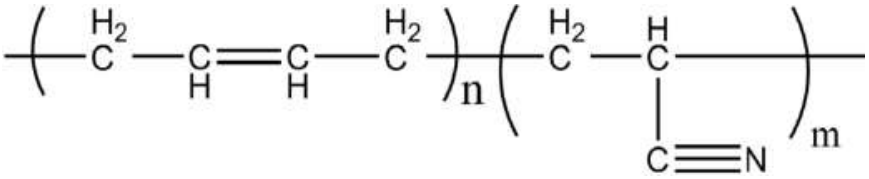
Genel kullanım alanları (Bülbül 2014);

- Radyatör ve ısıtma hortumları
- Kapı ve cam fitilleri

- Konveyör kayışları
- Beyaz eşya körük ve contaları
- İzolasyon kaplaması
- Kablo imalatı
- Sünger fitili
- Sızdırmazlık Elemanları

2.3.4 Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR)

Akrilonitril ve bütadien monomerlerinden meydana bir kopolimerdir. Kopolimer içerinde bütadien vulkanizasyon için çift bağı sağlayarak kauçuksu özellikler sağlamaktır. Bu polimere polar özellik katarak hidrokarbonlara , yağlara karşı dayanım özelliği ise Akrilonitril monomerinden kazandırılmaktadır.(Öztürk 2008)



Şekil 2.11. Akrilonitril bütadien kauçuğun açık yapısı (Öztürk 2008)

Genel özellikleri ACN oranı, Viskozitesi ve PVC ilave ilavesi değişmektedir.

Polimerde ACN oranı atarsa;

- Yağa, yakıta dayanım artar
- Sertlik artar
- Kopma mukavemeti artar
- İşlenebilirlik artar
- Pişme hızı artar
- Plastikleştiricilere uyum artar
- Kalıcı deformasyon kötüleşir
- Gaz geçirgenliği kötüleşir
- Düşük sıcaklığa dayanım azalır

Polimerde PVC oranı atarsa;

- Sertlik artar
- Hava ve ozona dayanım artar
- Aşınma ve yırtılma dayanımı artar
- Yağ ve yakıtlara dayanımı artar
- Alev dayanımı artar

Zayıf olduğu yönleri;

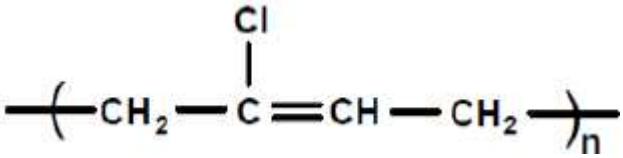
- Ozon dayanımı
- Esnek özelliği
- Düşük sıcaklık değeri
- Elektrik izolasyonu

Genel kullanım alanları;

- Benzin ve yağ hortumları
- Conta
- Konveyör kayış
- Ayakkabı tavanı
- Yağ dayanımı isteyen parçalar

2.3.5 Kloropren kauçuk (CR)

Kloropren kauçukların yapısında bulunan klor atomu yapıdaki polar özelliği arttırmaktadır. Bu sayede birçok yağa karşı dayanım gösterebilmekte ayrıca klor atomunun kattığı diğer bir özellikte yanmaya karşı dirençtir. Kloropren polimerinin açık yapısı şekil 2.12 de yer almaktadır.



Şekil 2.12. Kloroprenin açık yapısı (Annika 2019)

Cr kauçuk karışımları hazırlanırken erken pişmeye başlama özelliği neticesinde karışım süresi ve sıcaklığı mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. (Soyubol 2006)

İyi olduğu yönleri;

- Hava ve ozona karşı mükemmel dayanım
- Yanmaya karşı direnç
- Su ve kimyasallar karşı dayanımı
- Orta derecede yağ dayanımı
- Metal ve tekstil yüzeylere iyi yapışma
- Gaz geçirgenliğinin düşük olması
- Bakteri ve mantar oluşmasına karşı dayanım

Zayıf olduğu yönleri;

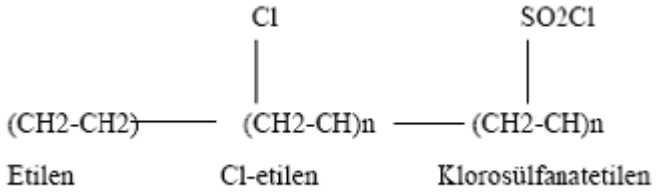
- Orta sıcaklık dayanımı
- Erken pişme eğilimi
- Depolama sırasında viskozite artışı

Genel kullanım alanları (Yelkenci 2008);

- Hortum
- Profil
- Motor takozu
- Conta
- Silecek lastikleri
- Deniz malzemeleri üretiminde
- Kaplama
- Yapıştırıcı

2.3.6 Klorosülfon polietilen kauçuk (CSM)

Klor ve kükürt dioksit ortamında belirli bir sıcaklıkta polietileni klorlanması ile elde edilen bir kauçuk polimeridir.(Kısacık 2006) Özelliklerini belirleyen en önemli etmenler yapısındaki klor ve klorosülfon miktarıdır. Klorosülfonil grupları mekanik özellikler ve dolgu ile uyumdan sorumludur. Genel olarak metal oksit vulkanizasyonu tercih edilir.



Şekil 2.12. Klorosülfon polietilen kauçuğun açık yapısı (Annika 2019)

İyi olduğu yönleri;

- Birçok kimyasala karşı mükemmel direnç
- Sürtünmeye karşı direnç
- Yüksek mukavemet
- Morötesi ışınlara karşı direnç
- Esneklik
- Petrol türevlerine karşı direnç
- Yanmaya karşı direnç

Zayıf olduğu yönleri;

- Kalıcı deformasyon
- Düşük sıcaklık dayanımı
- Yakıtlara karşı direnç

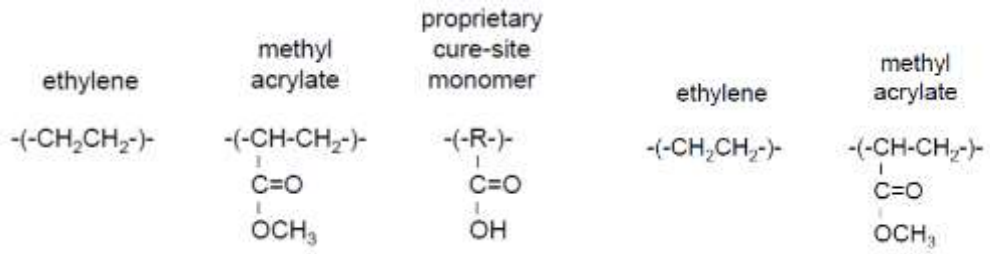
Genel kullanım alanları;

- Hortum
- Profil
- Kablo imalatı
- Konveyör kayış
- Kimyasal madde içeren tank kaplama
- Merdane ve silindir kaplama

2.3.7 Etilen akrilik kauçuk (AEM)

Etilen ve akrilik monomerlerinin bir araya gelmesi ile dipolimer veya yapıya birde vulkanizasyon için bir monomerinde eklenmesiyle terpolimer olarak bulunabilirler.

Kauçuk malzemenin uygulama alanına uygun polimer tipi seçilebilir. Peroksit pişirici sistemi veya diamine pişirici sistemi ile vulkanize edilebilir. Pişirici sistemi olarak diamin kullanılırsa ilave pişme için postcure işlemine ihtiyaç duyar. Postcure işleminde malzeme belirli sıcaklık ve sürede bir miktar daha tutularak vulkanizasyon işleminin tamamlanması sağlanır. Eğer pişirici sistemi olarak peroksitli sistem seçilirse ilave olarak postcure işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır.



(a) (b)

Şekil 2.13. (a) ter polimer yapı diamin sistemli, (b)dipolimer yapı peroksit sistemli

İyi olduğu yönleri;

- Hava ve ozona karşı direnç
- Yağlara karşı dayanım
- Nispeten yüksek sıcaklıkta çalışma (devamlı çalışma sıcaklı 150 °C)
- Titreşim sönümleme ve esnek yorulma direnci
- Düşük kalıcı deformasyon
- Yüksek kopma mukavemeti

Zayıf olduğu yönleri;

- İlave pişirmeye (postcure) e ihtiyaç duyması
- Antifriz sıvısına dayanımı EPDM kauçuğa göre azdır
- Dinamik özellikleri orta seviyedir.
- Keton ve yakıt direnci
- Fren sıvılarına karşı direnç

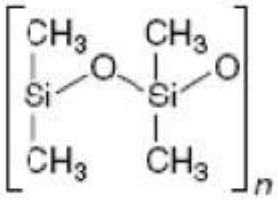
Genel kullanım alanları;

- Turbo şarj hortumu
- Hava emiş hortumları

- Conta
- Otomotiv pres parçaları
- Keçe
- Silindir kaplama
- Yağ hortumları

2.3.8 Polivinilmetil siloksan (VMQ)

Silikon kauçuklar polisiloksan olarak da tanımlanırlar. Ana zincir silisyum ve oksijenden oluşan siloksan temellidir. Diğer elastomerlerden farklı olarak yapılarında silisyum ve oksijen atomlarından oluşan bir yapıdadır. Bu yapı da çift bağın açılmasıyla metil grupları bağlanır ve silikon polimerini oluştururlar.



Şekil 2.14. Silikon kauçuğun açık yapısı (Schweitzer 2006)

İyi olduğu yönleri;

- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Düşük sıcaklık esnekliği
- Mükemmel dielektrik özelliği
- Havaya ve ozon a karşı mükemmel dayanım
- Kolay renklendirilebilir
- Fizyolojik bakımdan zararsızlık
- Şeffaf olarak işlenebilir

Zayıf olduğu yönleri;

- Nispeten düşük kopma mukavemeti
- Yüksek basınçlara karşı zayıf dayanım
- Orta derecede yağ dayanımı
- Benzen, toluen gibi sıvılara karşı düşük dayanım

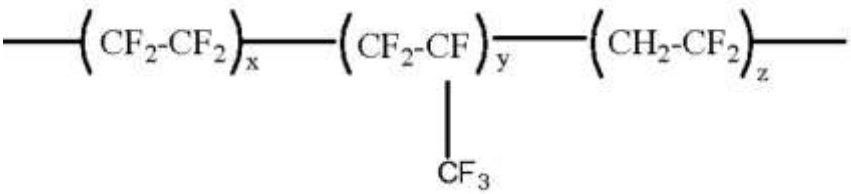
Genel kullanım alanları;

- Turbo şarj hortumları
- Contalar
- Buji körükleri
- Valfler
- Sızdırmazlık elemanları
- Sağlık uygulamaları
- Kablo izolasyonu

2.3.9 Florokarbon elastomer (FKM)

FKM polimeri flor atomu içeren monomerlerin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. -40 °C 'den 225 °C 'ye kadar sürekli çalışma performansı yanı sıra, kimyasal kararlılık ve düşük gaz geçirgenliği gibi önemli avantajlar da sergilerler. Bu mükemmel özelliklere, ana zincirdeki güçlü C-F bağları (485kj/mol) sayesinde sahiptirler. Uygulama alanına göre farklı flor yüzdelerinde (%65-70) viniliden florür, tetrafloroetilen ve hekzafloropropilen gibi monomerlerinin bir araya gelmesi ile kopolimer veya terpolimer olarak farklı gradelerde kullanılırlar. (Wang 2013)

Yapısındaki C-F bağı sayesinde yüksek bağ enerjisine sahiptir. Böylelikle yüksek sıcaklıklara, yağlara ve kimyasallara karşı mükemmel dayanım göstermektedir. Uygulama alanına göre farklı flor yüzdesine sahip gradeleri bulunmaktadır. FKM kauçuklar vulkanizasyon işleminden sonra ilave postcure işlemine ihtiyaç duyarlar. Postcure işlemi ile karışımın mekanik özellikleri artmaktadır. (Guo 2011) Peroksit, bisfenol ve diamin kür sistemleri ile vulkanize olabilir. Şekil 15 de açık yapısı yer almaktadır.



Şekil 2.15. Florokarbon kauçuğun açık yapısı (Karaağaç 2018)

İyi olduğu yönleri;

- Yüksek sıcaklıklara karşı mükemmel dayanım
- Yüksek kimyasal dayanımı (Güçlü asit ve baz, yağlara, ketonlara…)
- Ozona ve hava koşullarına karşı dayanım
- Mineral ve doğal kökenli yağlara karşı yüksek dayanım
- Gaz geçirgenliğinin düşük olması
- -40 °C ile 225 °C arasındaki kullanım aralığı

Zayıf olduğu yönleri;

- Düşük sıcaklıklardaki esnekliği nispeten azdır.
- Yüksek maliyetli olması

Genel kullanım alanları;

- Uzay ve havacılık endüstrisi
- Otomotiv de yüksek sıcaklık dayanımı isteyen sistem parçaları
- Hortumlar
- Kablo üretimi
- Conta – oring gibi sızdırmazlık elemanları
- Hat bağlantı elemanları
- Konektörler
- Valfler
- Gıda endüstrisi
- Kimya endüstrisi

2.4 Kauçuk Karışımını Oluşturan Bileşenler

Elastomerler kendilerinden beklenen fiziksel, mekanik, termal vb. istekleri karşılayabilmek için tek başlarına kullanılmazlar. Tüm bu özellikleri sağlayabilmeleri için ilave malzemelerle birlikte karışım olarak hazırlanırlar. Karışım reçetesinde genel olarak aşağıdaki malzemeler yer almaktadır.

Çizelge 2.8. Kauçuk karışım reçetesinde kullanılan genel malzemeler ve oranları

Kauçuk Karışım Bileşenleri	Phr
Polimer	100
Dolgu maddesi	20-120
Proses Yağı	5-60
Aktivatör	0-5
Koruyucu Malzemeler	0-5
Proses Kolaylaştırıcıları	0-2
Vulkanizasyon Kimyasalları	6-10

2.4.1 Polimer

Kauçuk karışımı reçetesi içerinde en önemli malzeme polimerdir. Çünkü her karışım uygulama alanına göre kendisinden istenen bir takım performans beklentilerini ve isteklerini yerine getirmek için tasarlanıp geliştirilmektedir. Bu beklentilerin karşılanmasında esas pay kullanılan polimere düşmektedir. Polimerin yapısındaki farklı atomların birbirleriyle yaptıkları bağların enerjileri farklı olduğu için malzemeye kazandırdıkları özelliklerde farklıdır.

Kauçuk Polimeri veya polimerleri karışım reçetesi içerisine toplam 100 birim olacak şekilde konur. Daha sonra ilave edilecek tüm malzemelerin miktarları kauçuk oranına göre belirlenmektedir ve bu orana “PHR” denir. PHR kauçuk sektöründe kullanılan teknik bir terimdir. Bu terimin açılımı “Parts per hundred of rubber” olarak ifade edilmekte ve “Yüz birim kauçuk” anlamına gelmektedir.

2.4.2 Dolgu maddeleri

Karışımın teknik özelliklerini geliştirmek veya ürün maliyetini azaltmak için reçete içerinde kullanılan malzemelerdir. Dolgu maddelerini en temel olarak üçe ayırabiliriz. (Babapour 2013)

- Güçlendirici
- Kısmen güçlendirici
- Güçlendirici etkisi olmayan.

Dolgu maddelerinin özgül ağırlıkları, tanecik büyüklüğü, yüzey alanı ve yapı özelliklerine göre tanımlaması yapılabilir. Bu özelliklere göre dolgu maddesinin güçlendirme özelliğinin olup olmadığı veya karışım içerisine maliyet azaltma amaçlı mı katılacağı belirlenmiş olur. Vulkanizasyon hızı için kullanılan dolgu maddesinin asik veya bazik karakterli olması son derece önemlidir. Çünkü asidik yapıdaki dolgu maddeleri vulkanizasyon hızını yavaşlatırken bazik yapıda olan hızlandırmaktadır. (Warrington 1994).

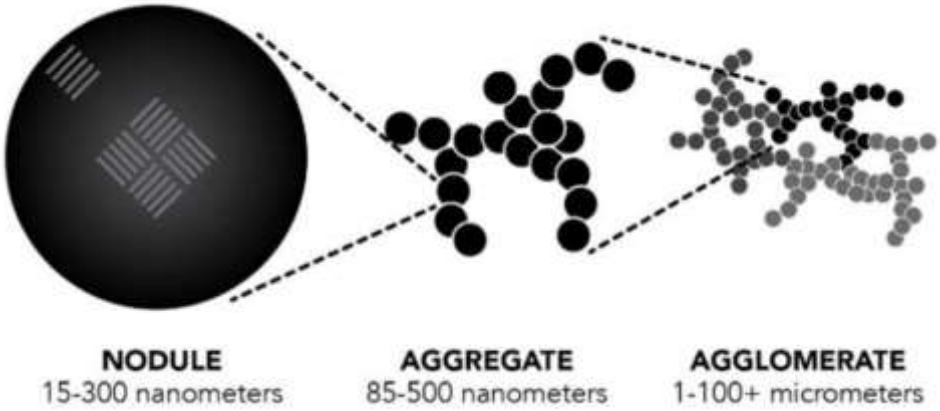
Dolgu maddelerini siyah ve siyah olmayan olarak ayırırsak. Siyah dolgu maddeleri karbon siyahları, diğeri ise kaolini silika, kalsiyum karbonat, gibi malzemelerdir.

2.4.3 Karbon siyahları

Kauçuk karışımında karbon siyahı ve kauçuk polimerini karıştırmamızın amacı polimer molekülleri arasında bir etkileşim sağlamaktır. Bu etkileşim ile karışımın kullanıldığı ürünün performansı artırılmakta ve malzemenin dayanımı artmaktadır.

Karbon siyahı kauçuk karışımının takviye edilmesinde etkin rol oynar. Karışımın takviye edilebilirliği karbon siyahının tanecik boyutu ile ilgilidir. Tane boyutunun küçülmesi karışımın takviye etmesini arttırırken proses edilebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. (Auchter 2005)

Karbon siyahı taneleri birbirlerine sıralı ve yığın şekilde bağlı oldukları için üzüm salkımına benzetilebilirler. (Edge 1999)
Karbon siyahı yapısı şekil 2.16 da yer almaktadır.



Şekil 2.16. Karbon siyahının yapısı (Fındıkçı 2017)

Karbon siyahları üretim şekillerine göre farklı isimlerde sınıflandırılmaktadır.

Fırın siyahları: Ön ısıtma yapılarak yaklaşık 1200 °C-1600°C arasında fırınlarda yakılma işlemi ile üretimi gerçekleştirilir. En çok kullanılan tipleri ISAF, HAF, FEF, GPF, SRF dir. Burada "F" harfi üretim şeklini belirtmektedir. Çizelge 2.8 de bu fırın karbon siyahlarının özellikleri verilmiştir.(Savran 2001)

ASTM D1765 standardında karbon siyahlarının sınıflandırılması tanımlanmıştır. Bu standartta ilk hanede S ve N harfleri bulunur. S harfi yavaş vulkanize olan asidik kanal siyahlarını belirtirken N harfi normal vulkanize olan nötr veya bazik özellikteki fırın ve termal siyahlarını belirtmektedir.

Kanal siyahları: Tamamen doğal gazın yakılmasıyla üretilirler.

Termal siyahlar: Hidro karbonların ısı etkisiyle bozulmasından elde edilirler.

Karışım reçetesinde geliştirme yaparken karbon siyahı tipi seçimi çok önemlidir. Bu karışımdan istenen özellikler, proses edilebilirlik ve maliyet göz önünde bulundurularak tercihler yapılmalıdır.

Çizelge 2.9. Fırın kauçuk siyahlarının karşılaştırması (Koç 2019)

ASTM Sınıfı	İsmi	Özelliği	Tanecik Büyüklüğü (nm)	Yüzey Alanı (m^2/g)
N110	SAF	Super Abrasion Furnace (Üstün Aşınma)	11-19	121-150
N220	ISAF	Intermediate Super Abrasion Furnace (Orta Üstün Aşınma)	20-25	100-120
N234	ISAF	Intermediate Super Abrasion Furnace (Orta Üstün Aşınma)	20-25	100-120
N330	HAF	High Abrasion Furnace (Yüksek Aşınma)	26-30	70-99
N440	FF	Fine Furnace (İnce Fırın Siyahı)	31-39	50-69
N539	FEF	Fast Extrusion Furnace (Hızlı ekstrüzyon) Siyahı	40-48	40-49
N550	FEF	Fast Extrusion Furnace (Hızlı ekstrüzyon)Siyahı	40-48	40-49
N660	GPF	General Purpose Furnace (Genel amaçlı)Siyahlar	49-60	33-39
N762	SRF	Semi-reinforcing Furnace (Yarı kuvvetlendirici) siyahlar	61-100	21-32
N990	MT	Semi-reinforcing Furnace (Yarı kuvvetlendirici) siyahlar	250-350	<10

Karbon siyahının tanecik boyutu ve yapı özelliği son ürünün performansını etkilemektedir. Çizelge 2.10 da etkilenen bu özellikler gösterilmiştir.

Çizelge 2.10. Karbon siyahının son ürün performansına etkisi (Soyubol 2006)

Özellik	Tane boyutu küçülünce	Yapı büyüyünce
Pişirme oranı	Azalır	Düşük
Çekme dayanımı	Artar	Azalır
Modül	Maksimuma kadar artar, sonra azalır	Artar
Sertlik	Artar	Artar
Uzama	Minimuma kadar azalır, sonra artar	Azalır
Aşınma dayanımı	Artar	Artar
Yırtılma dayanımı	Artar	Artar
Esneme dayanımı	Artar	Azalır
Rezilyans	Azalır	Düşük
Kalıcı deformasyon	Düşük	Düşük
Isınma	Artar	Çok az artar
Elektrik iletkenliği	Artar	Düşük

2.4.4 Siyah olmayan dolgu maddeleri

Kauçuk karışımının renkli olması istendiğinde bu dolgu maddeleri kullanılır. Mineral dolgu maddeleri olarak da adlandırılırlar. Malzemeyi güçlendirici etkisi olan türleri ve güçlendirme etkisi olamayan türleri de vardır. Kauçuğa düşük ısıl genleşme ve elektrik yalıtım özelliği kazandırabilirler.(Babapour 2013)

Karbon siyahı ile beraber kullanılarak mekanik ve fiziksel özelliklerin istenilen düzeye ulaşmasında etkilidirler. Kauçuk endüstrisinde en çok kullanılan mineral dolgu maddeleri, silika, kalsiyum karbonat, kil, talk, kaolin vb malzemelerdir. (Öztürk 2008)

2.4.5 Yumuşatıcılar

Yumuşatıcılar düşük molekül ağırlıklı yağlardır. Bu sayede kauçuk karışımının viskozitesini düşürürler ve bu sayede proses edilebilirlik artarken enerji tüketimi de azalır. Karışım içerisinde önemli girdilerdendir. Düşük sıcaklıkta esneklik, uzama, camsı geçiş sıcaklığını etkileme gibi birçok önemli etki yaratabilirler. Mineral yağlar kauçuk sektöründe çok kullanılmaktadır. Bunun nedeni ucuz olması ve birçok kauçuk

türü ile uyumlu olmasıdır. Mineral yağlar petrol türevi malzemelerden elde edilmektedir. Anilin noktası ve viskozite yer çekimi sabiti özelliklerine göre aromatik, naftenik ve parafinik olarak sınıflandırılabilirler. Çizelge 2.10 da bu yağların karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 2.11. Mineral yağların anilik noktası ve viskozite yerçekimi sabitleri (Kasım 2018)

Petro Yağları	**Viskozite Yerçekimi Sabiti**	**Anilin Noktası**
Aromatik	0,95-1,00	25-50 °C
Naftinik	0,85-0,90	55-75 °C
Parafinik	0,78-0,82	100-150 °C

Çizelge 2.12 de ise mineral yağların özellikleri ve uyumlu oldukları elastomer türleri hakkında bilgi verilmiştir.(Kısacık 2006)

Çizelge 2.12. Mineral yağların genel özellikleri ve uyumlu oldukları elastomerler (Kısacık 2006)

Mineral yağların genel özellikleri								
	Yoğunluk	Stoklama	Sıcaklık. / Vis. İlişkisi	Anilin noktası	Düşük sıcaklık. özel.	Renk değişimi	Peroksit ile kürlenme	
Parafinik	düşük	iyi	düşük	yüksek	iyi	iyi	iyi	
Naftanik								
Aromatik	yüksek	kötü	yüksek	düşük	kötü	kuvvetli	kötü	
Mineral yağların farklı tip elastomerler ile uyumluluğu								
	NR	SBR	BR	NBR	CR	CSM	EPDM	IIR
Parafinik	iyi	iyi	iyi	uyumsuz	uyumsuz	uyumsuz	iyi	iyi
Naftanik	iyi	iyi	iyi	orta	orta	orta	iyi	orta
Aromatik	iyi	iyi	iyi	iyi	iyi	iyi	orta	uyumsuz

2.4.5 Aktivatörler

Aktivatörler kauçuk karışımında kullanılan pişiricileri aktif hale getirerek vulkanizasyon zamanının kısaltılmasında etkin rol oynarlar. (Öztürk 2008) Bu sayede polimer zincirleri arasındaki çapraz bağ yoğunluğunda da artış meydana gelmektedir. Çapraz bağ yoğunluğundaki değişim de malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmektedir. Çinko oksitin aktivatör olarak kullanımı yaygındır. Bunun yanında MgO ve CaO gibi metal oksitlerde farklı kauçuk karışımlarında kullanılmaktadır. Aktivatör göveri ile kullanılan diğer kimyasal ise bir yağ asidi olan stearik asittir. Stearik asit Çinko oksittin aktifliğini artırmak için reçete içerisinde tercih edilir. Karışım reçetelerinde genel olarak aktivatör kullanımı 2-5 phr arasında değişmektedir.

2.4.7 Koruyucu malzemeler

Kauçuk malzemeler kullanım alanlarında yüksek sıcaklık, ışık, kimyasal, ozon gibi birçok dış etkene maruz kalırlar. Polimer yapısında bulunan çift bağ oksijen, ozon gibi aktif maddelere karşı zayıf dayanım gösterirler. (Savran 2001) Özellikle oksijen çift bağlara zarar vererek parçalanmalarına neden olmaktadır. Bu etkenlerin zararlı etkilerinden korunmak için karışım reçetesi içerinde kullanılan malzemelere koruyucu malzemeler denilmektedir. Koruyucu malzemeler antioksidan ve antiozonatlar olarak ayrılırlar. Genel olarak reçete içerisinde 1-4 phr arasında kullanılırlar. Antioksidan olarak en yaygın kullanılan TMQ malzemesidir. Antiozonat olarak ise 6PPD ve IPPD tercih edilir.

2.4.8 Proses kolaylaştırıcılar

Kauçuk malzemelerin üretimi aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamalar sonucunda nihai ürün elde edilebilmektedir. İlk olarak hammaddelerin seçimi ve temini gelmektedir. Daha sonrasında uygun reçete tasarımına göre karışım üretilmesi takip eder. Kauçuk karışımı uygulanacağı proseslere göre özel olarak tasarlanmaktadır. Bu proseslerde ürün elde edilmesi aşamasında birçok zorluklar meydana gelebilmektedir. Örneğin kauçuk hortum üretiminde kullanılan Ekstrüzyon prosesinde karışımın viskozitesine bağlı olarak malzeme ekstrüde edilemeyebilir. Karışım Ekstrüzyon prosesinde ekstrüde edilemediği zaman içerideki basınçtan ve sürtünme kuvvetinden dolayı karışımın sıcaklığı artacaktır. Sıcaklıkların artması erken pişmeye (scorch) a neden olabilir. Bu da

nihai ürün üzerinde yüzey pürüzlülüğü gibi istenmeyen durumlara neden olacaktır. Bu gibi problemleri ortadan kaldırmak ve karışımın proses edilebilirliğini arttırmak için birtakım malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelere proses kolaylaştırıcı malzemeler veya proses yardımcı maddeleri denilmektedir. (Siwarote 2017)

Proses kolaylaştırıcıları genellikle reçete içerisinden düşük miktarlarda kullanılırlar. Kauçuk polimer tipine bağlı olarak fazla kullanıldıklarında mekanik ve termal özelliklere etki edebilmektedirler.

Proses kolaylaştırıcıların kauçuk karışımına bazı etkileri şu şekilde sıralanabilir; (Hanif 2020)

- Reçete içerinde kullanılan dolgu maddesi ile uyum sağlayarak daha iyi dağılım
- Karışımın viskozitesinde düşüş
- Sıcaklık birikimini azaltma
- Daha hızlı ve kolay işlene bilirlik, proses edilebilirlik
- Daha az enerji tüketimi
- Düşük karıştırma süresi
- Kolay kalıplana bilirlik

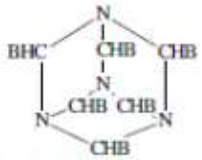
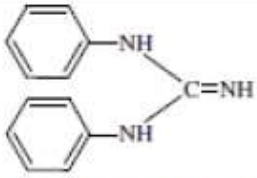
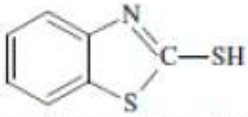
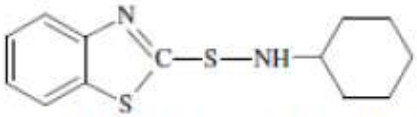
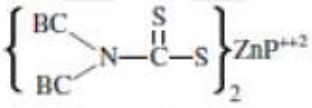
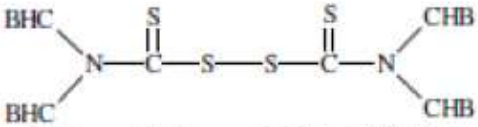
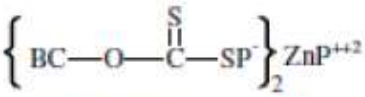
2.4.9 Hızlandırıcılar

Vulkanizasyon hızını arttıran maddelerdir. Kükürtlü pişirici sistemlerinde tercih edilirler. Kükürt ve kauçuk polimeri arasındaki çapraz bağlanma tepkimesine etki ederek mekanizmanın hızının artmasını sağlarlar. Kauçuk karışımlarında yapılarına göre birçok farklı tipte hızlandırıcı kullanılmaktadır. Bu hızlandırıcıları şu şekilde sıralayabilir.(Savran 2001)

- Yavaş hızlandırıcılar: Aldehit ve Aminler
- Orta hızlandırıcılar: Guanidinler
- Yarı ultra hızlandırıcılar: Tiazol- sülfenamidler
- Ultra Hızlandırıcılar: Tiuramlar, ditiokarbamatlar, ksantarlar.

Bu hızlandırıcılar en çok kullanılanları ve özellikleri çizelge 2.13 de açıklanmıştır.(Annika 2019)

Çizelge 2.13. En yaygın olarak kullanılan hızlandırıcı türleri ve özellikleri (Annika 2019)

Sınıf	Örnek	Özellikler
Aldehid Aminler	 Hekzametilen tetramin (HMT)	-NR ve sentetik kauçuklar için birincil hızlandırıcı -Kendiliğinden vulkanize olan yapıştırıcılarda kullanılmaktadır.
Guanidinler	 1,3 Difenil guanidin (DPG)	-Thiazoller, sülfanamidler ve tiuramlar için ikincil hızlandırıcılar
Benzothiazol	 Merkapto benzo tiazol (MBT)	-NR ve sentetik kauçuklar için birincil hızlandırıcı -Genel amaçlı kullanım
Sülfanamidler	 N-siklohekzil-2 benzotiazilsülfanamid (CBS)	-Orta hızlandırıcı -Güvenli proses edilebilirlik
Dithio karbamatlar	 Çinko dietil karbamat (ZDEC)	-NR ve sentetik kauçuklar için birincil hızlandırıcı -Güvenli proses edilebilirlik -Ultra hızlandırıcı
Tiuramlar	 Tetra metil tiuram disülfür (TMTD)	-Hızlı pres vulkanizasyonu için uygun -Özellikle IIR ve CR için güvenli -Ultra hızlandırıcı
Ksantatlar	 Çinko bütil ksanat (ZBX)	-Düşük sıcaklıklı, ultra hızlandırıcı

2.4.10 Pişirici kimyasallar

Kauçuk bir ürünün özelliklerini etkileyen en önemli parametredir. Dolayısıyla reçete tasarımı yapılırken kendisinden beklenen özellikleri sağlayabilmek için vulkanizasyon

sisteminde kullanılacak pişirici kimyasalları doğru seçilmelidir. Pişirici kimyasalları kükürt, peroksit, metal oksit, diamin, bisfenol gibi özel pişiriciler tercih edilir. Bu pişiriciler arasında en yaygın kullanılanı kükürt ve peroksittir.

2.4.11 Kükürt

En çok kullanılan pişirici sistemlerinden biridir. Kükürtlü vulkanizasyon sistemleri kauçuk polimerlerinde çift bağa ihtiyaç duyarlar. Kükürt miktarına bağlı olarak vulkanizasyon sistemini 3'e ayırabilir. Bunlar;

- Konvansiyonel sistem: Bu sistemde kükürt oranı sistemdeki hızlandırıcı oranından fazladır. Böylelikle polisülfidik ($C\text{-}S_X\text{-}C$) çapraz bağlanmalar görülür.
- Yarı etkin sistem: Sistemde kullanılan kükürt ve hızlandırıcı miktarları birbirlerine yakındır. Disülfidik ($C\text{-}S_2\text{-}C$) bağlanmalar görülür.
- Etkin sistem: Hızlandırıcı miktarı kükürt miktarından fazladır. Monosülfidik (C-S-C) çapraz bağlanmalar görülür.

Bu farklı kükürt sistemlerindeki bağ enerjileri de farklıdır. Farklı bağ enerjilerinin olması da kauçuk karışımına farklı etkiler kazandırmaktadır. Çapraz Bağlanma enerjileri çizelge 2.14 de verilmiştir.

Çizelge 2.14. Kükürt vulkanizasyon sistemlerindeki çapraz bağlanma enerjileri (Öztürk 2008)

Bağlanma çeşidi	Bağ enerjisi (kj/mol)
-C-C-	351
-C-S-C-	285
-C-S-S-C	267
$-C\text{-}S_x\text{-}C-$	<267

Kükürt vulkanizasyon sisteminin özellikleri;

- Ts_2 pişmeye başlama zamanı ve optimum pişme zamanı ayrı ayrı olarak kullanılan hızlandırıcılar ile ayarlanabilir.

- Farklı hızlandırıcı tipleri bir arada kullanılarak optimum özellikler elde edilebilir.
- Oksijen bulunan ortamda vulkanize edilebilir.
- Sıcaklık dayanımı peroksit pişirici sistemlerine göre daha düşüktür.
- Reversiyon (çapraz bağların bozulması) dayanımı düşüktür.
- Nispeten karmaşık reçete tasarımları
- Doymamış kauçuk polimeri ihtiyacı
- Dolgu maddelerine karşı hassasiyet.
- Aktivatörlere ihtiyaç vardır.
- Raf ömrü peroksit pişirici sistemli karışımlara göre daha düşüktür.

2.4.12 Peroksit

Peroksit pişirici sistemleri doymuş yani çift bağ içermeyen kauçuk polimerlerinde kullanılırlar. Bu sistemde çapraz bağlanma C-C şeklinde olur. Bu nedenle ihtiyaç duyulan bağ enerjisi de yüksektir. Peroksitler karışımların yüksek sıcaklık dayanımı ve yaşlanma dayanımları için koajan ile beraber sistem halinde kullanılırlar. (Kruželák 2016)

Peroksit pişirici sisteminin özellikleri;

- Ts_2 pişmeye başlama zamanı ve optimum pişme zamanı ayrı ayrı ayarlanamaz.
- Oksijene hassasiyeti vardır. Çapraz bağ yoğunluğu için ortamda oksijen bulunmamalıdır.
- Sıcaklık dayanımı sülfürlü pişirici sistemlerine göre daha yüksektir.
- Reversiyon dayanımı yüksektir.
- Basit reçete tasarımları
- Uzun raf ömrü
- Vulkanizasyon için ihtiyaç duyulan pişirme sıcaklığı yüksektir.
- Açık Renkli karışımlar için uygundur.
- Mükemmel ısı ve deformasyon dayanımı
- Kimyasallara karşı iyi dayanım

2.5 Kauçuk Karışımı Üretimi

Karıştırma süreci reçete içerisinde belirlenen malzemelerin kauçuk polimer ile homojen bir şekilde dağılması açısından son derece önemlidir. İyi bir karışım polimere dolgu ve diğer kimyasalların homojen dağılması ile mümkündür. Bu sayede kaliteli ve ekonomik üretim yapılabilir.

Kauçuk hamurun karıştırmada genel olarak elde edilmek istenen amaçları şu şekilde belirtebiliriz;(Adlı 2018)

- Dolguların ve karışım içerisine konulan malzemelerin homojen olarak dağılmasının sağlanması
- Kauçuk karışımında çok iyi bir dağılım elde edilerek sertlik, kopma mukavemeti gibi fiziksel özelliklerin karışımın her yerinde aynı olmasının sağlanması
- Art arda üretilen karışım batchlerinde aynı dağılımın elde edilmesi ve benzer viskozitedeki karışımlar elde etmek.

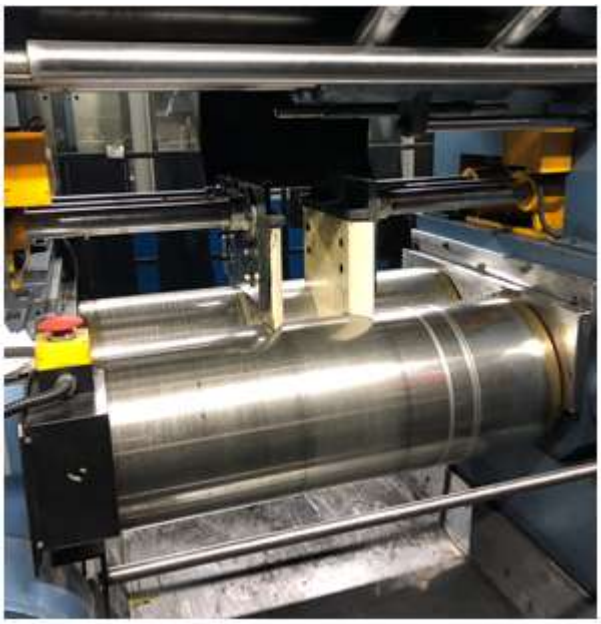
Kauçuk karışım üretim prosesini açık karıştırıcılar ve kapalı karıştırıcılar olarak ayırabiliriz.

2.5.1 İki silindirli açık mil karıştırıcılar

Kauçuk sanayinde kullanılan en eski karıştırma yöntemidir. Bu yöntemde iki silindir bulunmaktadır. Bu silindirler birbirlerine doğru farklı hızlarda dönmektedirler. Dönme hızlarının farklı olmasının amacı malzemeler arasında kayma gerilmesi meydana getirerek karışmanın gerçekleşmesidir. Silindirler arasındaki mesafe ayarlanabilmektedir. Bu sayede karışım hazırlama aşamasında mesafe artırılıp azaltılarak homojen karışım hazırlamaya çalışılır. Bu yöntemde karışım hazırlama kapalı karıştırıcılara kıyasla oldukça uzun sürmektedir. Karışım süresinin uzun olması ve silindirler arasındaki malzemelerin sürtünme enerjilerinin etkisiyle sıcaklıklarda artış olmaktadır. Sıcaklık artışı karışım içerisine konulan bazı malzemelerin erimesi için gereklidir. Fakat kontrolsüz bir şekilde sıcaklık artışı karışımın daha üretim aşamasında erken pişmesine neden olabilir. Bu da istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden silindirlerin içinden soğuk su geçmesine olanak sağlanarak sıcaklık artışı kontrol edilmeye çalışılır.

Soğutulmuş su kullanımı karışımın yanmasını en aza indirir ve daha çok dağılımını iyileştirir. (Dupont 2003)

Açık millerde karışım üretiminde operatörün etkisi oldukça fazladır. Operatörün karışımı sürekli havalandırması ve malzemeleri silindir üzerinden karıştırma bölgesinde farklı noktalara taşıyarak iyi bir şekilde karışmalarına yardımcı olması gerekmektedir. Şekil 2.17 de iki silindirli açık karıştırıcı görseli yer almaktadır.



Şekil 2.17. İki silindirli açık karıştırıcı görseli

2.5.2 Kapalı karıştıcılar (banbury)

Banbury kauçuk sektöründe kullanılan önemli bir karıştırma prosesidir. Açık mil prosesine kıyasla kapalı bir alanda gerçekleştirilir. Bu kapalı alanda rotorlar bulunur. Bu rotorlar intermeshing veya tangential rotor tiplerinden oluşur. Karıştırma işleminin gerçekleştiği alana malzemeler bir kapak vasıtasıyla alınırlar. Bu malzemeleri yukarıdan hareketli bir piston (Ram) yardımıyla sıkıştırılır ve böylece malzemeler karıştırma alanında tutulur. (Adlı 2018) İntermeshing rotor tipinde karıştırma işlemi rotorlar arasında gerçekleştirilir. Tangential rotor tipinde ise rotor ve kapalı alanın duvarı arasında karıştırma sağlanır. Her iki rotor tipinde de rotorlar çok hızlı döndükleri için kısa sürelerde karıştırma işlemi sağlanır. (Adlı 2018)

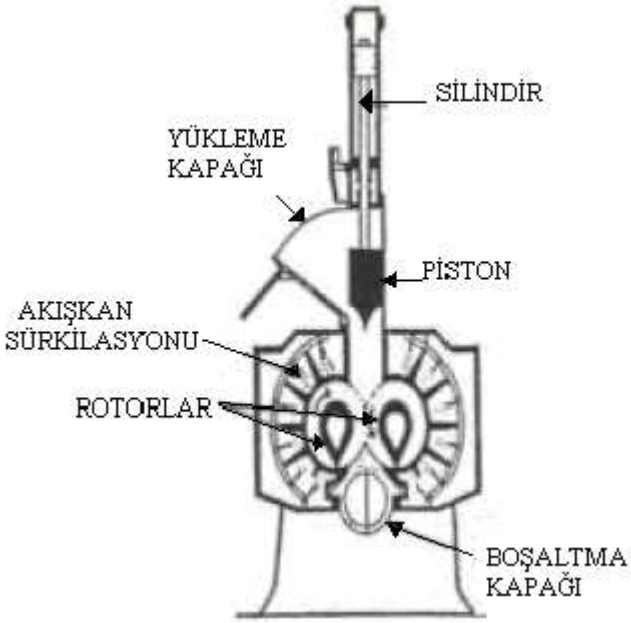
Banbury kapalı karıştırıcılarda karıştırma alanının duvarları içerisinden soğuk su geçirilerek sıcaklık artışı kontrol edilebilmektedir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra altta bulunan kapak açılarak karışımın boşalması sağlanır.

Farklı türdeki kauçukları aynı karıştırıcıyı kullanarak karıştırmayı bekleriz. Bu sebepten dolayı mevcut işlem parametrelerinde yapacağımız düzenlemeler ile en iyi sonuçları alınmaya çalışılır. Bu işlem parametrelerini şu şekilde sıralaya biliriz;(Adlı 2018)

- Karıştırma süresi
- Rotor hızı
- Doldurma faktörü
- Ram piston basıncının ayarlanması
- Sıcaklık kontrollü
- Karışım içerisine eklenen malzemelerin sırası

gibi parametreler ile denemeler yapılarak optimum değerler belirlenebilir.

Şekil 2.18 Banbury tipi kapalı karıştırıcı şematik olarak göstermektedir.(Soyubol 2006)



Şekil 2.18. Kapalı karıştırıcı banbury şematik gösterimi (Soyubol 2006)

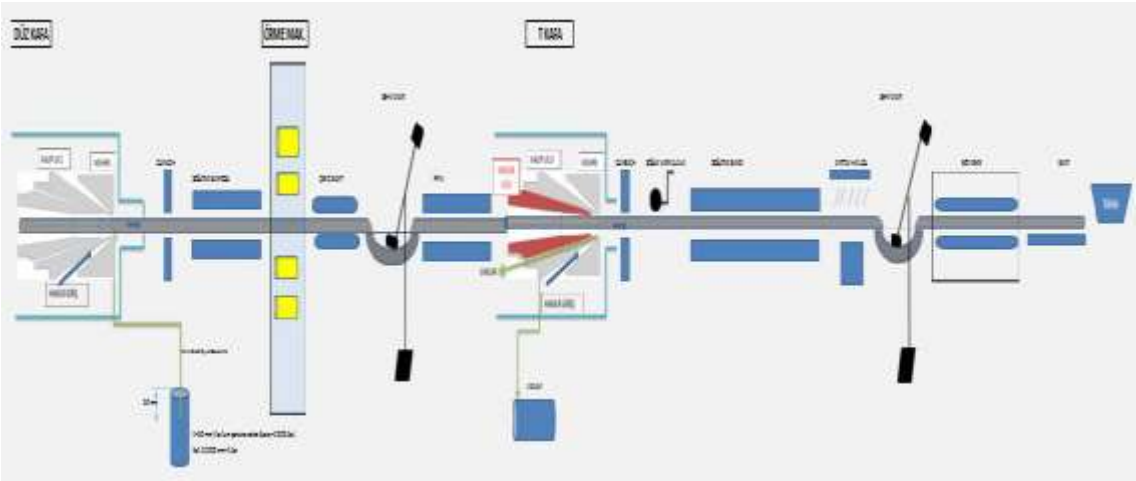
2.6 Kauçuk Hortum Üretimi Aşamaları

Hortum üretimi için farklı birçok proses bir arada kullanılmaktadır. Temel olarak bir proses sonucu elde edilen bir ürün diğer prosesin girdisi olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.19 da kauçuk hortum üretimi aşamaları yer almaktadır.

Şekil 2.19. Kauçuk hortum üretim aşamaları

2.6.1 Ekstrüzyon prosesi

Ekstrüzyon prosesi genel olarak hortum ve profil gibi ürünlerin üretiminde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu yöntemde kauçuk karışımı ekstrüderin besleme ünitesinden verilir, sıcaklık ve basınca maruz kalır ve kalıptan çıkmaya zorlanarak şekillendirilir. İşlem sırasında kauçuk karışımı plastik deformasyona uğrar. Ekstrüzyon prosesinin en önemli elemanı ekstrüderdir. Şekil 2.20 de Ekstrüzyon prosesinin ayrıntıları verilmiştir.



Şekil 2.20. Ekstrüzyon prosesi aşamaları

2.6.2 Ekstrüzyon prosesi elemanları

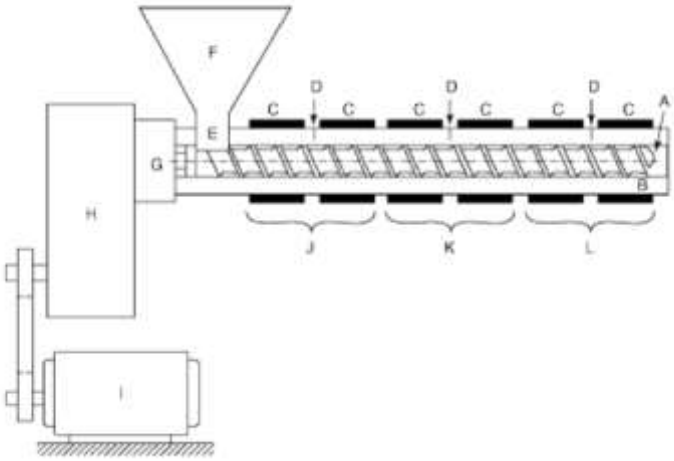
Ekstrüzyon prosesinde yer alan elemanlar;

- ✓ Ekstrüder
- ✓ Lazer çap ölçüm cihazı
- ✓ Soğutma banyosu
- ✓ Örgü makinası
- ✓ Çekici bant
- ✓ Sıcak hava tüneli
- ✓ Kesme makinası
- ✓ Tava

Bir ekstrüder cihazının temel göveri, istenilen geometriye sahip sonsuz uzunlukta ürünler elde etmektir. Cihazın bileşenleri şu şekildedir;

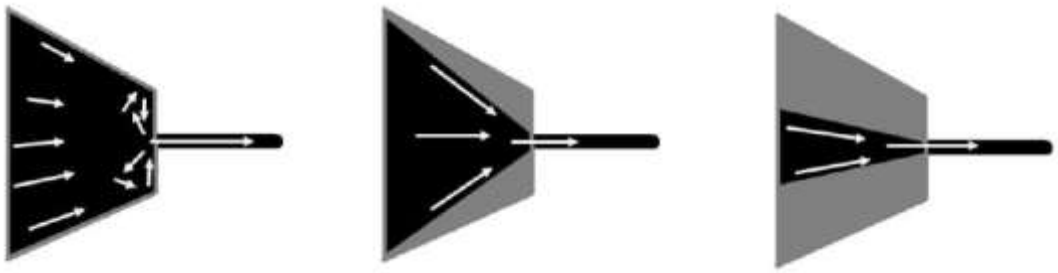
- ✓ Vida
- ✓ Vidayı çevreleyen silindir
- ✓ Besleme Ünitesi
- ✓ Ekstrüder kafa kalıpları
- ✓ Bölge sıcaklık kontrol sistemi

Şekil 2.21 de ekstrüderin bölümleri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.21. Ekstrüder cihazının bölümleri:
A; vida, B; vidayı çevreleyen silindir, C, D; bölge sıcaklık kontrol sistemi, E, F; karışım besleme bölümü, G, H, I; motor ve vidayı döndüren bölüm (Xanthos, M. 2005)

Ekstrüdere kauçuk karışımının şeritler halinde verilmesi besleme bölümünden yapılır. Cihaz içerisinde vakum oluşmaması ve yarı mamul geometrisi için eşit miktarda yapılmalıdır. Karışımın ekstrüder kafasına taşınması vida ile gerçekleştirilir. Bu taşıma işleminde malzemenin akışkanlığı son derece önemlidir. Karışımın akışkanlığı bölge sıcaklıklarının arttırılması ile artmaktadır. Ekstrüder kafasına ulaşan malzeme burada elek ve kırma plakasından geçerek kafa kalıplarına gelir. Ekstrüder kafa basıncı sıcaklığın arttırılması ile kontrol edilir. Kafa basıncını kontrol etmenin diğer bir yolu karışımın ekstrüderden rahat akışını sağlayacak tasarımdır. Şekil 2.22 de bu tasarımlara örnekler verilmiştir.



Şekil 2.22. Karışımın ekstrüder kafasındaki akışı (Peltola 2013)

2.6.3 Eboş çekimi

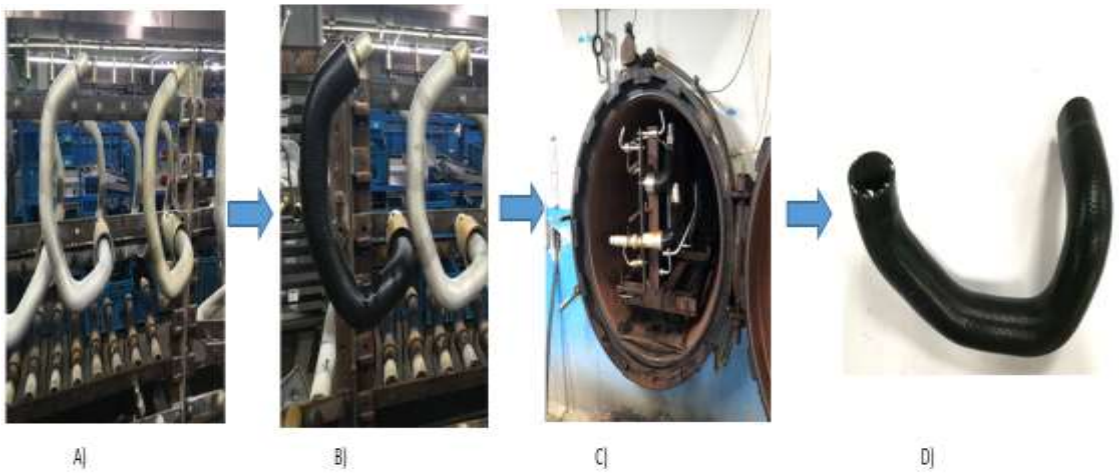
Ekstrüderden çıkan kauçuk malzeme ekstrudat denir, diğer eşdeğer tabiri ise eboş'tur. Eboşta çapraz bağlar oluşmamış yani pişmemiştir. Sadece istenilen geometride düz boru biçiminde ön şekillendirilmiştir. Eboş çekimine düz kafa ekstrüder ile başlanır. Buradan çıkan ürün lazer ile çap kontrolü yapılarak soğuma banyolarından geçer. Daha sonra örgü makinasına gelir. Örgü makinasında hortumun kullanım yerine göre m-aramid, p-aramid veya pet iplikler ile genelde plain örgü tipinde örülür. Alt katman + örgü çekici bantlar ile sıcak hava tünelinden geçerek T kafa ekstrüdere gelir. Burada dış katman ile kaplanır. Hortum alt katmanın göveri içinden geçen sıvı veya sıcak havaya karşı dayanım göstermektir. Bu yüzden dış katmana göre daha kalın üretilir. Dış katmanın işlevi ise örgüyü ve yapıyı korumaktır. Tekrardan lazer ile çap kontrolü yapılır ve izlenile bilirlik için inkjet ile markalama yapılır. Son olarak kesme makinasında istenilen ölçülerde kesildikten sonra tavalara dizilerek eboş bekleme alanında dinlendirilir.

Eboş çapı nihai ürün için tasarlanan maçaların geometrisine göre yapılır. Üretildiği kauçuk türüne bağlı olarak maça çapının yaklaşık 1-3 mm daha az üretilir. Çünkü otoklav prosesinde pişme işlemi gerçekleştirildikten sonra nihai hortum üzerinde yüzey pürüzlüğü ve potluk olmaması için eboşun maçayı sarması gerekmektedir.

2.6.4 Otoklav prosesi

Kauçuk sektöründe kullanılan en eski vulkanizasyon (pişirme) yöntemlerinden biridir. Hazırlanan yarı mamuller otoklavda buhar ile pişirme işlemleri gerçekleştirilir. Ekstrüzyondan çıkan ön şekillendirilmiş eboşlar düz boru şeklindedir. Bu yüzden nihai hortum geometrisini almak için maça denilen özel yapılara takılırlar. Maça malzemesi seçilirken ısı iletkenlik kat sayısına dikkat edilmelidir. Çünkü maçanın ısıyı kendisine giydirilen eboşa iyi iletmesi pişirme işlemi için son derece önemlidir. Alüminyum malzemesinin ısı iletkenliği yüksek olduğu için genelde maça malzemesi olarak tercih edilir.

Peroksitli pişirici sistemleri oksijene karşı hassastır. Bu neden ortamdan oksijenin uzaklaştırılması gerekir. Otoklavın içindeki havanın uzaklaştırılması için belirli bir süre süpürme işlemi yapılır. Daha sonra ortama doymuş buhar basıncı verilerek pişirme işlemi tamamlanır. Şekil 2.23 de maçaya takılmış eboş ve otoklav içerisindeki görselleri yer almaktadır.



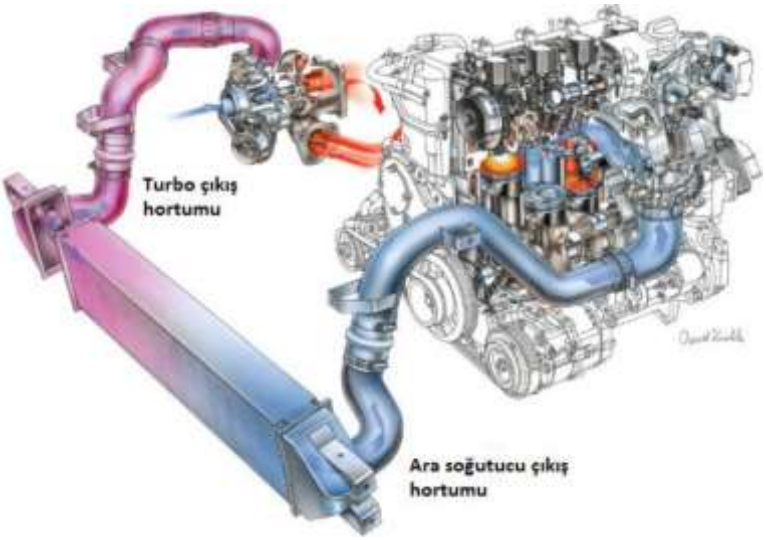
Şekil 2.23. Eboşun maçaya takılması ve nihai ürün eldesi

2.7 Otomotivde Turbo şarj Sistemleri

Turbo şarj sistemi temel olarak; yanma odası, turbo, intercooler, metal, plastik ve kauçuk bağlantı elemanlarından oluşur. Yanma için gerekli olan oksijence zengin havanın motora iletilmesi turbo şarj sistemi ile yapılır. Sistemin çalışması şu şekildedir;

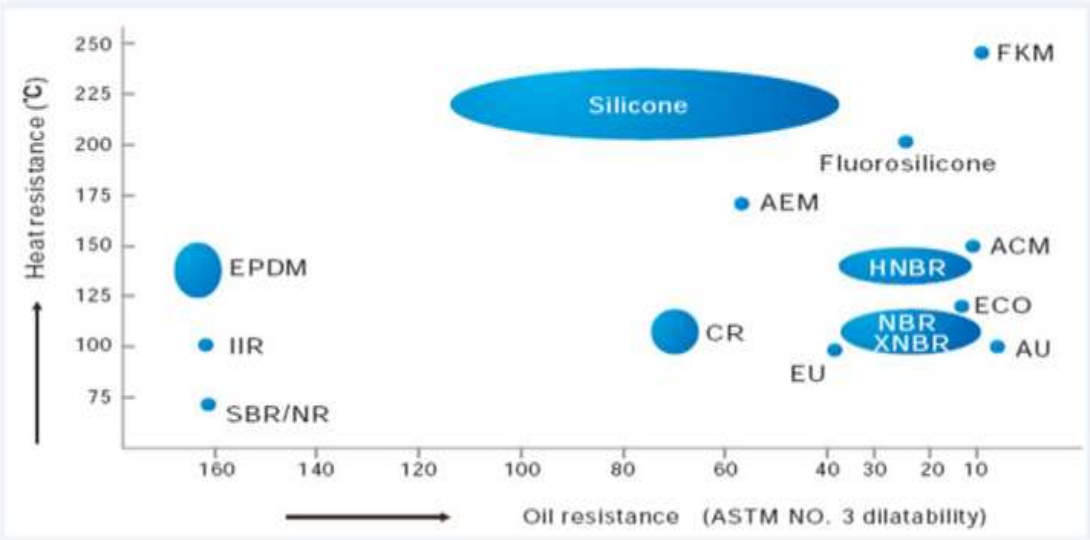
Yakıt yanma odasında yandıktan sonra oluşan atık egzoz gazları turboya iletilir. Turboda türbin mili ile birbirine bağlı türbin fanı ve kompresör fanı bulunur. Gelen bu atık egzoz gazları türbin milini döndürür. Türbin mili döndükçe kompresör fanı da ters yönde dönerek dışarıdan hava emilimini gerçekleştirir. Bu dönme yüksek devirlerde olduğu için atmosfer basıncının üstünde bir basınçta hava emilmiş olur. Böylelikle emilen havanın sıcaklığı artar. Sıcaklığı yüksek olan hava oksijen bakımından fakirdir. Oksijen miktarının düşük olması da yakıtın verimli yanmamasına neden olacaktır. Bu yüzden turboda bulunan sıcak havanın motorda yanma odasına gönderilmeden önce sıcaklığının düşürülmesi gerekir. Havanın sıcaklığının düşürülmesi intercoolerda yapılmaktadır. İntercooler a sıcak havanın transferi sıcak taraf turbo şarj hortumları ile sağlanır. Daha sonra intercooler da soğutma işlemi gerçekleştirildikten sonra soğuk taraf turbo şarj hortumu ile motora gönderilir. Kısacası turbo şarj sistemi ile motora atmosfer basıncının üzerinde hava verilmesini sağlar. Piston içerisine daha yüksek basınçta hava gönderilmesi de ortamdaki oksijen miktarının artmasıyla yakıtın yüksek oranda yanmasını sağlar. Böylece daha küçük hacimli motorlardan daha yüksek verimler elde edilir.(Tekçe 2015)

Turbo şarj motorlar daha verimlidir.(Romagnoli et al. 2017) Aynı performansı elde etmek için daha küçük motorun kullanılmasına olanak tanır. Motorun küçük olması daha az yer kaplamasını sağlar. Böylece aracın ağırlığı azaltılmış olur. Buda aynı performansı elde etmek için harcanan yakıt miktarını azaltır. Turbo şarj sistem ile çalışan motorlardaki düşük yakıt tüketimi sayesinde diğer motorlara göre %50 daha az CO_2 emisyonu değerlerini elde etmesine olanak tanır. Şekil 2.24 de turbo şarj sisteminin çalışma prensibi yer almaktadır.



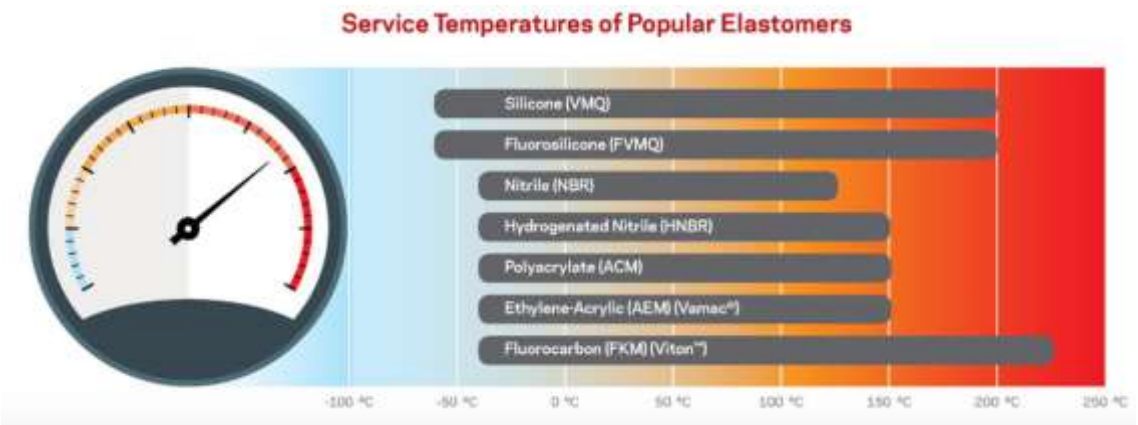
Şekil 2.24. Turbo şarj sistemi gösterimi (Uğur Yıldız 2018)

Turbo şarj sistemindeki önemli parçalardan biride sistemdeki havanın transferinde göver alan esnek bağlantı elemanları yani kauçuk hortumlardır. Kauçuk hortumlar turbo – intercooler arasında ve intercooler – motor arasında olmak üzere 2 yerde vardır. Sıcak taraf yani turbo çıkışı ile intercooler arasındaki kauçuk hortumların sıcaklık ve yağ dayanımları, soğuk taraf (intercooler ile motor arasındaki) hortumlara göre yüksektir. Bu yüzden buralarda kullanılan kauçuk tipleri de farklıdır. Şekil 2.25 de bu kauçuk tiplerinin sıcaklık ve yağ dayanımları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 2.25. Kauçukların sıcaklık ve yağ dayanımları karşılaştırması
(Https://www.technoad.com/engineering/materials/ (Erişim Tarihi 27.06.2021)

İnsan ihtiyaçları ve beklentileri doğrultusunda araç teknolojilerinde gelişmeler yaşanmaktadır. Bu süreçte aynı sürüş performansından ödün vermeden motor hacimlerinde küçülmeler yaşanmıştır. Motor hacimlerinin küçülmesi de bağlantı elemanlarından beklenen performans beklentilerini arttırmıştır. Şekil 2.26 da sıcaklık dayanımı gereksinimlerinin artmasıyla turbo şarj hortumunda kullanılan kauçukların değişimi gösterilmektedir.



Şekil 2.26. Elastomerlerin çalışma sıcaklık aralıkları.
Https://www.viton.com/en/sales-support/white-papers/elastomers-for-harsh-auto-environments (erişim tarihi: 01.07.2021)

Turbo şarj hortumu maruz kaldığı zorlayıcı şartlarda sürekli çalışma, yüksek performans ve uzun ömür gerekliliklerinde dolayı genellikle 4 katmanlı FKM/VMQ/AR/VMQ bir yapıda tasarlanmaktadırlar. Zorlayıcı yüksek termal sıcaklık (200-220°C), basınç (1,5-1.8 bar) yağ buharları gibi kimyasallara karşı ilk maruz kalan katman FKM elastomer katmanıdır. Bu yüzden iç katman malzemesi olarak FKM hamurunun geliştirilmesi ürün performansı için önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı FKM elastomer kompozit malzemenin elastik özelliklerini, ısı dayanımını ve ömrünü arttıracak şekilde katkı malzemelerinin belirlenmesi ve karışımlarının oranlarının optimize edilmesi özgün FKM kauçuk karışımı geliştirmek ve geliştirilen yeni FKM kauçuk karışımı ile turbo şarj hortumu üzerindeki etkisinin malzeme ve performans testleri ile deneysel olarak incelenmesidir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Kullanılan hammaddeler

Tez kapsamında yapılan tüm deneme karışımlarında polimer olarak peroksit pişirici sistemi ile vulkanize edilebilen FKM (florokarbon elastomer) kullanılmıştır. Flor içeriği %67 dir. ASTM D 792 standardına göre yoğunluğu 1,82 g/cm3 tür. Mooney viskosite ML değeri 121 °C de (1+10) dakika da ASTM D 1646 standardına göre 33 MU'dir.

Dolgu maddesi olarak karbon siyahı kullanılmıştır. Karbon siyahı tipi MT N 990 dır. Tanecik boyutu 280 nm ve ortalama yüzey alanı $9m^2/g$ dır.

Aktivatör olarak MgO kullanılmıştır. Yüzey alanı 165 m^2/g 'dır.

Proses kolaylaştırıcı olarak 4 farklı malzeme kullanılmıştır. Bu malzemeler;

- Proses Kolaylaştırıcı 1: Kimyasal yapısı Amin türevidir. Erime sıcaklığı 56 °C'dir.
- Proses Kolaylaştırıcı 2: Doğal bir wax'tır. Erime sıcaklığı 83 °C'dir.
- Proses Kolaylaştırıcı 3: Silikon ve inorganik maddelerden oluşan özel bir yağ asidi türevidir.
- Proses Kolaylaştırıcı 4: Yağ asiti ve wax karışımı bir üründür. Erime sıcaklığı 75 °C'dir.

Peroksit koajanı olarak TAIC (Triallilizosiyanürat) kullanılmıştır. Aktiflik oranı %50'dir.

Pişirici maddesi peroksittir. Yapı içerisindeki peroksit içeriği %45'dir.

3.1.2 Kullanılan cihazlar

Tez çalışmasında ihtiyaç duyulan tüm cihazlar ELATEK Kauçuk Sanayi ve Ticaret A.Ş firmasında bulunan cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihazların isimleri ve kullanılma nedenleri 3.2 Yöntem bölümünde verilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Deneme karışımları reçete tasarımı

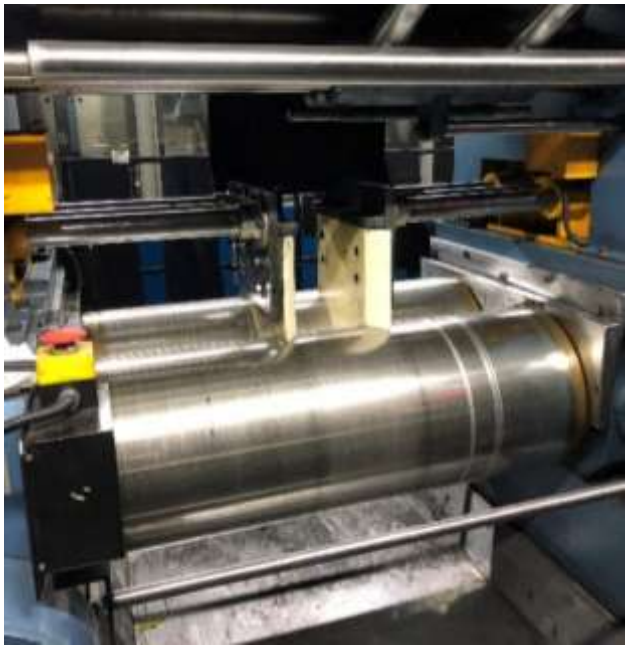
Tez kapsamında özgün FKM kauçuk karışımı geliştirilmesi için araştırma yapılmıştır. Araştırmalar neticesinde reçete içerisinde bulunması gereken hammaddeler tespit edilmiştir. Kullanılacak malzemeler belirlendikten sonra tedarikçi firma araştırması yapılarak malzemelerin temini gerçekleştirilmiştir. Malzeme temini sonrasında deneme karışımları için reçete tasarımı yapılmıştır. Deneme karışımları reçeteleri çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. FKM deneme karışımları reçete tasarımları

FKM Deneme Karışımları Reçeteleri (PHR)									
Malzemeler	**FKM 1**	**FKM 2**	**FKM 3**	**FKM 4**	**FKM 5**	**FKM 6**	**FKM 2**	**FKM 7**	**FKM 8**
FKM Polimer	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dolgu Maddesi	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Aktivatör	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Proses Kolaylaştırıcı 1	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Proses Kolaylaştırıcı 2	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Proses Kolaylaştırıcı 3	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Proses Kolaylaştırıcı 4	-	1	-	-	-	0,5	1	1,5	2
Pişirici Koajan	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Peroksit Pişirici	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Toplam	138,2	139,2	139,2	139,2	139,2	138,7	139,2	139,7	140,2

3.2.2 Deneme karışımlarının üretimi

Deneme FKM kauçuk karışımları 2 kg olarak üretilmiştir. Üretim prosesi açık mil prosesidir. Şekil 3.1 de açık miller gösterilmektedir. Her deneme karışımı çizelge 3.1 de yer alan malzemeler kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.1. Açık mil kauçuk karışım makinası

Açık mil prosesinde birbirlerine paralel olarak yer alan ve aralarında uygun mesafe olan 2 metal silindir vardır. Bu silindirler birbirlerine ters yönde dönmektedirler. Silindirlerin üzerinde malzemelerin dağılmaması ve düzgün şekilde karıştırma yapılabilmesi için 2 adet sınırlayıcı bulunmaktadır. Kauçuk karışımı üretimi bu sınırlayıcıların arasında yapılmaktadır. Silindirlerin dönüş hızlarının farklı olması neticesinde aralarına atılan malzemenin ezilerek dispers edilmesi sağlanmaktadır.

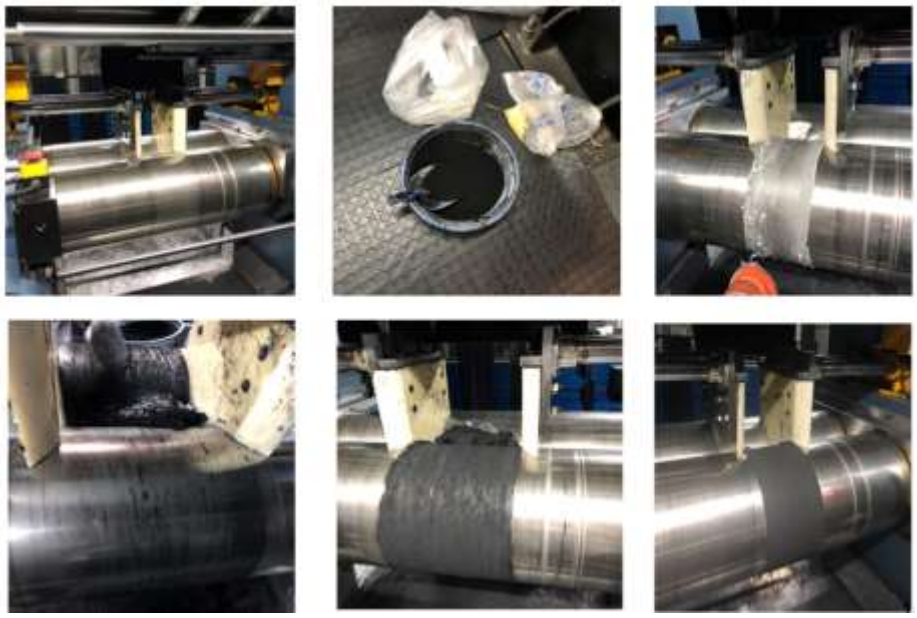
Deneme karışımı üretimine ilk olarak FKM polimerinin millere alınmasıyla başlandı. Polimer mile tam tur sarılarak iki silindir arasında 24 rpm mil dönme hızında 4 dakika karıştırıldı. Bu işlemde polimer mile tam tur sarıldı. İki mil arasındaki mesafe daraltılarak polimerin bu arada birikmesi sağlandı. Biriken bu polimerin üzerine karbon siyahı ve MgO aktivatörü yavaş yavaş eklendi. MgO'nun karbon siyahı ile birlikte ilave edilmesinin amacı karışım içerisinde iyi bir dağılım göstermesi içindir. (Dupont 2010) Ekleme işlemi ile beraber 16 dakika boyunda 30 rpm mil dönme hızında karıştırma devam etti. Karıştırma esnasında oluşan sürtünme enerjisinden dolayı millerin sıcaklığının yükselmemesi, karışımın silindirlere yapışmaması ve iyi bir karıştırma için silindirlerin içerisinde özel kanallarla geçen su ile soğutma işlemi yapılmıştır. Daha

sonra Proses kolaylaştırıcı malzemesi eklenerek karıştırma işlemi 12 dakika daha devam etti. En son olarak da peroksit ve çapraz bağlanma koajanı da ilave edilerek malzeme eklemi işlemi tamamlandı. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra silindirler arasındaki mesafe 3mm ye ayarlandı ve deneme karışımı bu kalınlığa getirilerek silindirlerden alındı. Daha sonra deneme karışımı dinlenmeye bırakıldı. Çizelge 3.2 de FKM deneme karışımları Açık mil prosesi parametreleri yer almaktadır.

Çizelge 3.2. FKM deneme karışımları açık mil prosesi parametreleri

Açık Mil Prosesi Parametreleri			
Adım	**Soğutma Suyu**	**Mil Hızı (Rpm)**	**Karıştırma Süresi (Dakika)**
Polimerin Verilmesi	Kapalı	24	4
Dolgu maddesi + Metal Oksit (Karbon siyahı + MgO)	Açık	30	16
Proses Kolaylaştırıcı	Açık	30	12
Pişirici koajan ve peroksit pişiricisi	Açık	30	6

Şekil 3.2 de Çizelge 3.2 de yer alan açık mil proses adımlarına göre FKM kauçuk karışımlarının üretimi gösterilmektedir.



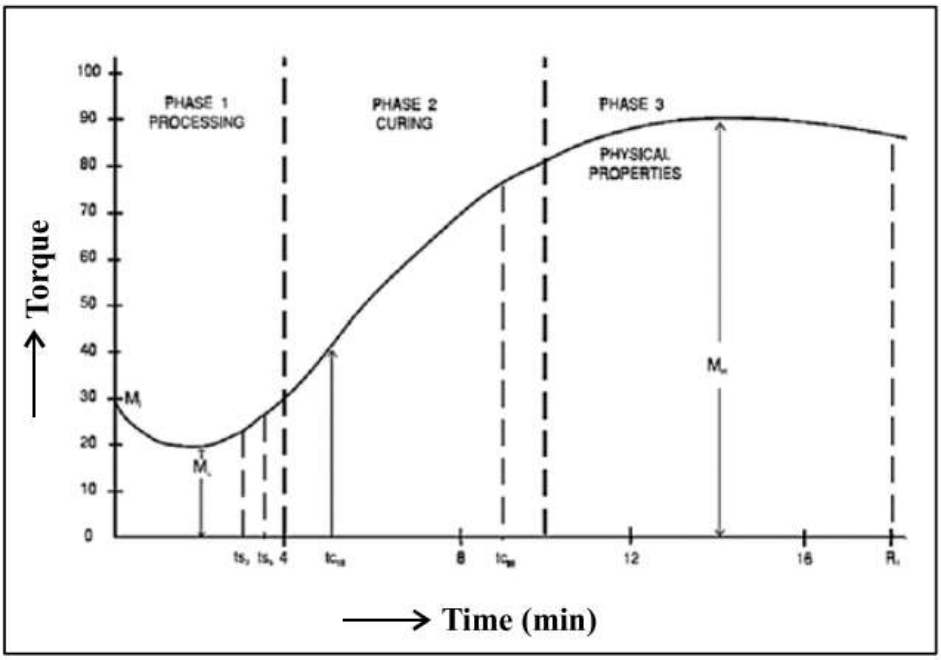
Şekil 3.2. FKM deneme karışımlarının açık mil prosesi ile üretimi

3.2.3 Reometre testi

Her deneme karışımının pişme özelliklerinin belirlenmesi için reometre cihazı ile pişme eğrilerine bakılmıştır. Pişme eğrilerinin belirlenmesi Alpha Technologies MDR 2000 reometre cihazı kullanılarak ASTM D 5289 standardına göre yapılmıştır. Test parametreleri 185 °C de 3 dakikadır. Şekil 3.3 de cihaz görseli verilmiştir. Bu cihaz ile Karışımın pişme özelliklerinden yararlanılarak kauçuk sektöründe sıkça kullanılan birçok önemli parametreler belirlenebilmektedir.

Şekil 3.3. Reometre cihaz görseli

Reometre testi ile elde edilen eğri grafiğinden kauçuk karışımını hakkında birçok bilgi edinilebilir. Şekil 3.4 de eğri grafiği ve yorumlanmasına örnek verilmiştir.



Şekil 3.4. Reometre pişme eğrisi örneği (Al-Nesrawy, Al-Maamori, and Jappor 2016)

Reometre cihazı ile belirlenen test parametreleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

M_L: Testin yapıldığı sıcaklıkta ulaşılan minimum viskozitedir. Bu değerde çapraz bağlanma gerçekleşmediği için pişme henüz başlamamıştır.(Erkek 2007)

M_H: Pişmenin tamamının gerçekleştiği zamana karşılık gelen tork değeridir. Bu aşamada karışımın vulkanizasyon işlemi tamamlanmıştır. M_H değeri reçete formülasyonunda dolgu maddesi kullanımının artmasıyla artmaktadır.

Δ M: M_H ve ΔM vulkanize olmuş kauçuk karışımın göstergeleridir. Burada ΔM (M_H - M_L) eşitliği ile belirlenmektedir. Reometre M_L değerinde henüz çapraz bağlanma başlamamıştır, M_H değerinde ise çapraz bağlanma tamamlanmıştır. Bu nedenle ΔM değerini çapraz bağlanma derecesi olarak belirtebiliriz. (Sagar 2018)

ts_2 : Scorch süresi olarak bilinir. Scorch süresi karışımın pişmeye başlama zamanıdır. M_L değerinin 2 birim üstüne karşılık gelen süreye eşittir. (Nesrawy 2016) Kauçuk sektöründe sıkça kullanılan parametrelerden biridir. Scorch süresinin kısa olması karışımın erken pişmesine neden olmaktadır. Bu da ürünün şeklinin bozulmasına ve yüzey pürüzlüğü gibi problemlere neden olabilir.

t90: M_H ‘ a ulaşmak için geçen zamanın % 90’ ını ifade etmektedir , diğer bir ifadeyle optimum pişme zamanı olarak da adlandırılır. Karışımın ne kadar sürede çapraz bağlanmayı tamamlayıp pişme zamanını belirlememize yardımcı olur. Ürünün %100 değil %90 pişmesi istenir. Çünkü geriye kalan %10 luk kısım ürün soğumaya bırakıldığında zamana yayılır. Böylece karışımın reversiyon olma ihtimali azaltılarak fiziksel ve mekanik özelliklerde bir kayıp olması engellenmeye çalışılır.

3.2.4 Mooney viskozimetre testi

Karışımın Money viskozite testi Şekil 3.5’deki Alpha Technologies Mooney Mv 2000 viskozimetre cihazı ile 100 °C de (1+4) dakika süre ile ASTM D 1646 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bu test deneme FKM karışımlarının akışkanlığını tespit etmek amacıyla kullanılırmıştır. Böylece karışımın ekstrüderdeki akışı, hareketi ve şekil değiştirme davranışları hakkında bilgi edinmiştir. Reçete içerisindeki kullanılan malzemeler ve miktarları ile karışımın mooney viskozitesi de değişmektedir. Örneğin dolgu maddesi olarak karbon siyahı miktarının artması, proses kolaylaştırıcı türü ve miktarını, pişirici miktarının artması gibi nedenler mooney viskozite değerini arttırmaktadır. Dolayısıyla bu viskozite artışı da karışımın ekstrüde edilebilirliğini olumsuz etkilemektedir.

Şekil 3.5. Mooney viskozimetre cihaz görseli

Money viskozimetre testi ile karışımın aşağıdaki özellikleri belirlenebilmektedir.

Inıt: Karışımın test başlangıç viskozitesidir.

ML: Test cihazında gerçekleştirilen sıcaklık ve süre sonrasında karışımın ölçülen en akışkan noktadaki minimum viskozite değeridir.

3.2.5 Standart test plakalarının hazırlanması

Hazırlanan deneme karışımlarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için ASTM D 3182 standardına göre test plakaları hazırlanmıştır. Öncelikle henüz pişmemiş, çapraz bağlanmaların gerçekleşmediği deneme karışımları açık millerde tavlama işlemine tabi tutularak kalınlıkları 4,5 ±1,5 mm arasına getirilmiştir. Kalıp hacmi ve yoğunluk değerleri kullanılarak test plakası basımı için ihtiyaç duyulan karışım miktarı 3 gram çapak payı da eklenerek hesaplanmıştır. Gibitre Instruments laboratuvar ölçekli kompresyon pres cihazı ile 175 °C de 15 dakika süre ile 220 bar basınç altında 2 ±02 mm kalınlığında standart test plakaları basımı gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6 de laboratuvar ölçekli kompresyon pres ve basılan standart test plakası verilmiştir.

Şekil 3.6. Laboratuvar ölçekli kompresyon pres ve basılan standart test plakası

Her deneme karışımından bölüm 3.2.4'deki gibi standart test plakaları hazırlanmıştır. Malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi için test plakaları kullanılarak fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır.

3.2.6 Yoğunluk testi

Yoğunluk testi Şekil 3.7'daki RADWAG AS220 R2 hassas terazisi ile DIN ISO 1183-1 Standardına göre yapılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında 23±2 °C de yapılmıştır. Yoğunluk, karışımın birim hacminin kütlesi olarak bilinir. Ürünün maliyetinin hesaplanmasında son derece önemlidir. Reçete formülasyonunda kullanılan malzemelerin yoğunluklarına göre karışım yoğunluğu da değişmektedir

Şekil 3.7. Hassas terazi cihazı görseli

3.2.7 Sertlik testi

Sertlik testi uygulanan batma kuvveti altında kauçuk malzemenin göstermiş olduğu direnç ile ilgilidir. Sertlik birimleri shore A ve IRHD'dir. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda iki farklı standart ve birimde sertlik ölçümleri yapılmıştır. Zwick/Roell sehpalı sertlik cihazı ile ISO 7619-1 standardına göre Shore A birimde, Zwick/Roell sehpalı mikro IRHD sertlik cihazı ile ISO 48 M standardına göre mikro IRHD biriminde

ölçümler yapılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında 23±2 °C de, havada ve yağda yaşlandırma sonrasındaki test numunelerine yapılmıştır.

Şekil 3.8. Sertlik ölçüm cihazları

3.2.8 Kopma mukavemeti/ uzaması testi

Karışımların mekanik özelliklerinin belirlenmesi Şekil 3.9'deki Zwick/Roell Z010 Tensometre cihazı ile ASTM D 412 standardına göre DIE C kaşığı kullanılarak yapılmıştır. Test plakası üzerinden alınan kaşık numuneleri kalınlıkları ölçülerek tensometrenin çenelerine bağlanmıştır. Bu çenelerden altta bulunan çene sabit, üstte bulunan çene hareketlidir. Tensometre sabit hızda yukarı yönde bir çekme hareketi yapmaktadır. Bu hareket neticesinde numunenin bu çekme hareketine karşı göstermiş olduğu kuvvet loadcel ile ölçülmektedir. Nihayetinde kaşık numunesinde kopma gerçekleştiği andaki kuvvet numunenin alanına bölünerek otomatik olarak N/mm^2 cinsinden hesaplanmaktadır. Test sırasında kopma uzaması extensometreler ile ölçülmektedir. Uzama değeri kopmanın gerçekleştiği mesafe ile ilk mesafe arasındaki orantı ile sistem tarafından belirlenmektedir. Çekme testleri $0{,}1N/mm^2$ ön yük altında dakikada 500 mm hız ile gerçekleştirilmiştir. Her FKM deneme karışımı test plakaları üzerinden 5 farklı test yapılarak ortalaması alınmıştır.

Şekil 3.9. Tensometre test cihazı görseli

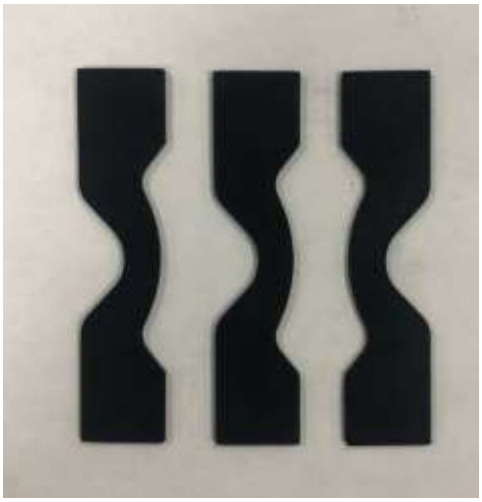
ASTM D 412 çekme testi standardı DIE C göre kullanılan kaşık numuneleri test öncesi ve test sonrası görselleri Şekil 3.10 da verilmiştir.

(a) (b)

Şekil 3.10. Çekme testi numuneleri; (a) test öncesi, (b) test sonrası

3.2.9 Yırtılma dayanımı testi

Yırtılma dayanımı testi ASTM D 624 standardı DIE B çentikli bıçağı kullanılarak Şekil 3,8'deki Zwick/Roell Z010 Tensometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yırtılma testleri 0,1N/mm^2 ön yük altında dakikada 500 mm hız ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan test numunesi görselleri şekil 3.11 da verilmiştir.



Şekil 3.11. Yırtılma testi numuneleri

3.2.10 Kalıcı deformasyon testi

Kalıcı deformasyon testi, özel olarak tasarlanmış test aparatında uygulanan sıkıştırma kuvveti altında belirli bir sıcaklık ve sürede malzemenin yaşlandırıldıktan sonra ilk halindeki kalınlığına göre meydana gelen kalıcı şekil değiştirmedir. Kalıcı deformasyon testi 9.02132/01 Type B-0 şartnamesi bölüm 2.5.13 e göre yapılmıştır. Test 200 °C'lik etüv de 72 saat süre ile %25 sıkıştırma oranı kullanılarak yapılmıştır. Numune 15 mm çapında 2 mm kalınlığında daireseldir. Test süresi tamamlandıktan sonra aparat etüvden çıkarılarak oda sıcaklığında 2 saat soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra aparatta sıkıştırılmış halde bulunan numuneler çıkarılmış ve 30 dakika sonra kalınlıkları ölçülmüştür. Test sonrasındaki numune kalınlığı şekil 3.12 deki formül de yerine yazılarak % olarak kalıcı deformasyon değeri belirlenmiştir.

$$C = \frac{Lo - L}{Lo - Ls}$$

C: kalıcı Deformasyon miktarı (%)

Lo: Numunenin başlangıç kalınlığı (mm)

L: Numunenin test sonrası kalınlığı (mm)

Ls: Numunenin %25 lik sıkıştırılmış haline karşılık gelen kalınlık (mm)

Şekil 3.12. Kalıcı deformasyon hesaplama formülü

3.2.11 Havada yaşlandırma testi

Havada yaşlandırma testi ISO 188 standardına göre hava sirkülasyonlu etüvde 200 °C sıcaklıkta 70 saat ve 504 saat olmak üzere 2 farklı sürede yapılmıştır. Test süresi tamamlandıktan sonra numuneler etüvden çıkarılarak oda sıcaklığında dinlendirildikten sonra testleri yapılmıştır. Havada yaşlandırma testi ile deneme FKM karışımlarının ısı dayanımları test edilmiştir. Denemelerin ısı dayanımları, sertlik değişimi, kopma mukavemeti/uzaması değişimi ve yırtılma dayanımı değişimi testleri ile yapılmıştır. Şekil 3.13 de etüv içerisindeki test numuneleri yer almaktadır.

Şekil 3.13. Etüv içerisindeki havada yaşlandırma numuneleri

3.2.12 Yağda yaşlandırma testi

Yağda yaşlandırma testi ISO 1817 standardına göre hava sirkülasyonlu etüvde 150 °C sıcaklıkta 70 saat süre ile 5w-30 yağı kullanılarak kapalı bir kap içerisinde yapılmıştır. Test süresi tamamlandıktan sonra numuneler etüvden çıkarılarak oda sıcaklığında dinlendirildikten sonra testleri yapılmıştır. Yağda yaşlandırma testi ile deneme FKM karışımlarının yağ dayanımları test edilmiştir. Denemelerin yağ dayanımları, sertlik değişimi ve hacim değişimi testleri ile yapılmıştır. Şekil 3.14 de etüv içerisindeki test numuneleri yer almaktadır.

Şekil 3.14. Etüv içerisindeki yağda yaşlandırma numuneleri

3.2.13 Katmanlı test plakası üzerinden yapışma testi

FKM/VMQ/AR/VMQ konstrüksiyonundaki bir turbo şarj hortumunun performansı ve uzun kullanım ömrü açısından FKM ve VMQ ara yüzey yapışmasının iyi olması gerekmektedir. FKM deneme karışımlarının hangisinin VMQ ile ara yüzey yapışmasının daha iyi olduğunu belirlemek son derece önemlidir. Bu özelliği belirlemek

için katmanlı test plakaları basılmıştır. Katmanlı test plakalarının basımı için FKM ve VMQ karışımları açık millerde tavlanarak eşit kalınlığa getirilmiştir. Eşit kalınlığa getirilen karışımlardan eşit hacimde numuneler alınmıştır. Alt katmana FKM karışımı konulmuş ve bir ucuna yanmaz mylar bant yapıştırılarak üzerine VMQ karışımı konulmuştur. Yani FKM/Mylar bant/VMQ yapısı elde edilmiştir. Daha sonra Gibitre Instruments laboratuvar ölçekli kompresyon pres cihazı ile 170 °C de 10 dakika süre ile 220 bar basınç altında 2 ±02 mm kalınlığında katmanlı test plakaları hazırlanmıştır. Hazırlanan plakalar üzerinden 20 mm genişliğinde 150 mm uzunluğunda kat yapışması kalıbı ile numuneler alınmıştır. Alınan bu test numuneleri Zwick/Roell Z010 Tensometre cihazı ile 50 mm/dk hız ile testleri gerçekleştirilerek N/cm cinsinden ara yüzey yapışma değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.15 de katmanlı test plakası basılması ve ara yüzey yapışmasını belirlemek için yapılan çalışmanın özeti yer almaktadır.

Şekil 3.15. Katmanlı test plakaları çalışması özeti

3.2.14 Hortum üzerinden yapılan testler

Laboratuvar ölçekli yapılan FKM kauçuk karışımı geliştirme çalışmalarından sonra en uygun reçete tasarımı belirlenmiştir. Belirlenen reçeteden endüstriyel ölçekli üretilerek Ekstrüzyon prosesinde eboş çekimi yapılmıştır. Eboşların hortum formunu alması için özel tasarlanmış maçalara takılmıştır. Daha sonra otoklav prosesinde 7 bar /1500 sn pişirme şartlarında vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve FKM/VMQ/AR/VMQ hortum yapısına sahip ürün elde edilmiştir. Elde edilen ürünün performansının belirlenmesi için testler yapılmıştır.

3.2.15 Kat yapışması testi

Kat yapışması testi iki kauçuk katmanı arasındaki ara yüzey yapışması hakkında bilgi vermektedir. Hortumun düz bölgesinden 20 mm genişte ve min 80mm uzunluğa sahip test numuneleri alınmıştır. Bu test numuneleri 9.02132/01 şartnamesi bölüm 2.5.6'a göre Zwick/Roell Z010 Tensometre cihazı kullanılarak test edilmiştir. Test hızı 50 mm/dk ve birimi N/cm dir. Kat yapışması testi sonucunda oluşan pik değerlerinin minimum değeri alınarak ölçümler tamamlanmıştır.

3.2.16 Çap genişlemesi testi

Çap genişlemesi testi PF 90088 şartnamesi bölüm 7.8'e göre yapılmıştır. Amaç hortumun çalışma basıncında formunda meydana gelebilecek artış hakkında bilgi sahibi olmaktır. Bu testte öncelikle hortumun düz bölgesinin dış çapı ölçülür. Test basıncı (2.1 bar) hortuma verilir ve belirli zaman sonrasında dış çapı tekrardan ölçülür. Son ölçüm ile ilk ölçüm arasındaki değişim çap genişlemesini yüzde olarak vermektedir.

3.2.17 Patlatma testi

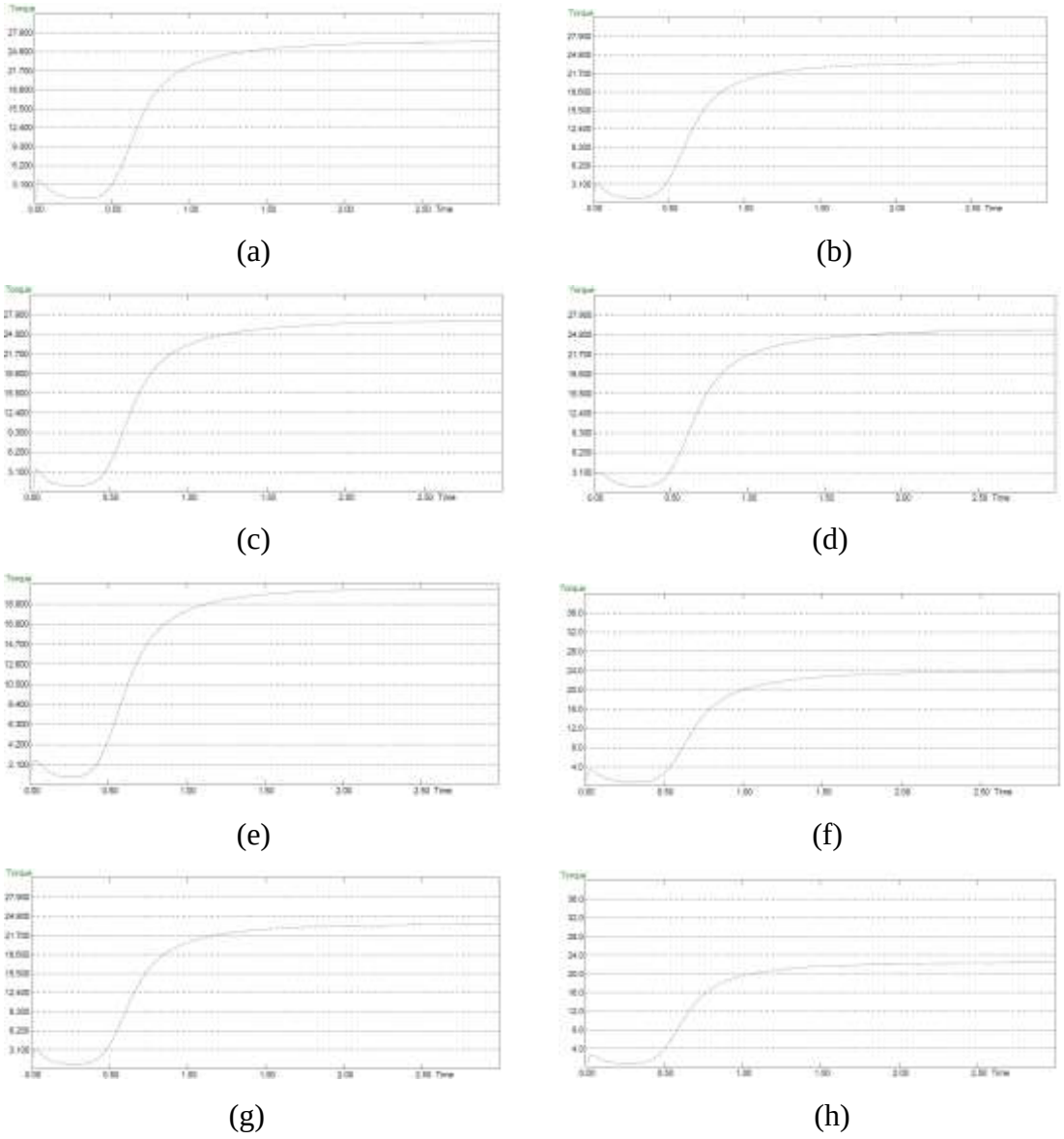
Patlatma testi PF 90088 şartnamesi bölüm 7.4'e göre gerçekleştirilmiştir. Hortuma dakikada 2 bar artışı olacak şekilde sürekli basınç verilmiştir. Basınç arttıkça hortum dış çapında artış olmuştur. Basıncın sürekli artmasından dolayı hortum dayanabileceği noktaya ulaştıktan sonra fail etmiştir ve ulaşılan bar kaydedilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Vulkanizasyon Öncesi Test Sonuçları

4.1.1 Reometre test sonuçları

Her FKM deneme karışımının pişme özelliklerinin belirlenmesi için reometre cihazı ile pişme eğrilerine bakılmıştır. Pişme eğrilerinin belirlenmesi Alpha Technologies MDR 2000 reometre cihazı kullanılarak ASTM D 5289 standardına göre yapılmıştır. Test parametreleri 185 °C de 3 dakikadır. Şekil 4.1 de reometre eğrileri ve çizelge 4.1 de test sonuçları yer almaktadır.



Şekil 4.1. FKM deneme karışımları reometre eğrileri
(a) FKM-1, (b) FKM-2, (c) FKM-3, (d) FKM-4, (e) FKM-5, (f) FKM-6, (g) FKM-7, (h) FKM-8,

Çizelge 4.1. FKM deneme karışımları reometre test sonuçları karşılaştırması

FKM Deneme Karışımları Reometre Test Sonuçları (185 °C de 3 dakika)										
Test Değerleri	**Birim**	**FKM 1**	**FKM 2**	**FKM 3**	**FKM 4**	**FKM 5**	**FKM 6**	**FKM 2**	**FKM 7**	**FKM 8**
M_L	dNm	0,79	0,78	0,85	0,86	0,76	0,77	0,78	0,78	0,77
M_H	dNm	26,4	23,5	26,9	25,6	20,5	23,9	23,5	22,4	21,42
Δ M	dNm	25,61	22,72	26,05	24,74	19,74	23,13	22,72	21,62	20,65
ts_2	mm:ss	0,29	0,28	0,28	0,29	0,27	0,31	0,28	0,28	0,29
t90	mm:ss	1,10	1,05	1,08	1,11	1,03	1,12	1,05	1,05	1,08
Tand MH	-	0,0690	0,0970	0,0690	0,0720	0,1120	0,0890	0,0970	0,1000	0,1000

M_L değeri testin yapıldığı sıcaklıktaki minimum tork değeridir. Bu değerde karışımda pişme başlamamıştır. Reçete içerisinde kauçuk tipine, dolgu maddesinin türüne ve miktarına göre değişebilir. Daha çok fiziksel bir özelliktir diyebiliriz. Amin ve wax türevi proses kolaylaştırıcı tipi kullanılan reçetelerde 0,77 – 0,79 dNm aralığında gelmiştir. Proses kolaylaştırıcı tipinin yağ asidi ve yağ asidi + wax karışımı olan FKM-3 ve FKM-4 deneme karışımları reçetelerde ise 0,85 – 0,86 dNm geldiği görülmüştür. Deneme karışımları içerisinde kullanılan proses kolaylaştırıcı tipinin M_L değerini arttırdığı tespit edilmiştir. Reçete içerisinde aynı proses kolaylaştırıcı miktarının arttırılmasının M_L değerinin değiştirmediği görülmüştür.

Pişmenin tamamının gerçekleştiği zamana karşılık gelen tork değeri M_H'tır. Bu aşamada karışımın vulkanizasyon işlemi tamamlanmıştır. M_H değeri reçete formülasyonunda dolgu maddesi kullanımının artması, bağ sayısının artması gibi daha çok vulkanizasyon ile ilgilidir. FKM- 1 ve FKM-3 denemelerinde en yüksek M_H değerleri görülmüştür. FKM-1 reçetesinde proses kolaylaştırıcı kullanılmazken FKM-3 denemesinde yağ asidi türevi proses kolaylaştırıcı kullanılmıştır. Test değerlerine göre proses kolaylaştırıcı

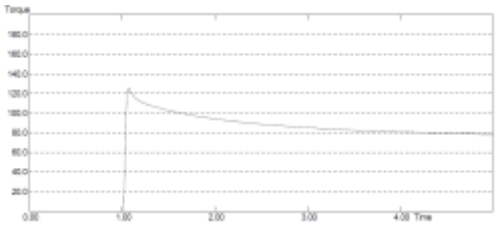
tipinin ve miktarının artmasının M_H değerinin etkilediği tespit edilmiştir. M_H değerinin etkilenmesi de çapraz bağlanma derecesini de etkilemiştir.

FKM deneme karışımları reçetelerinde pişirici kimyasallarının tipi ve miktarı sabit tutulmuştur. Böylelikle karışımların pişmeye başlama zamanı olan ts_2 ve optimum pişmenin tanımlandığı t90 değerlerinin değişmediği tespit edilmiştir.

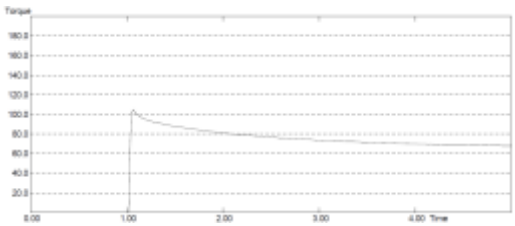
4.1.2 Mooney viskozimetre test sonuçları

Karışımların Money viskozite testi Şekil 3.5'deki Alpha Technologies Mooney Mv 2000 viskozimetre cihazı ile 100 °C de (1+4) dakika süre ile ASTM D 1646 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bu test deneme FKM karışımlarının akışkanlığını tespit etmek amacıyla kullanılırmıştır.

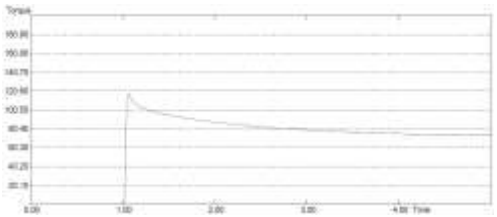
FKM deneme karışımlarının mooney viskozimetre test sonuçları çizelge 4.2 de ve grafik eğrileri gösterimi şekil 4.2 de yer almaktadır.



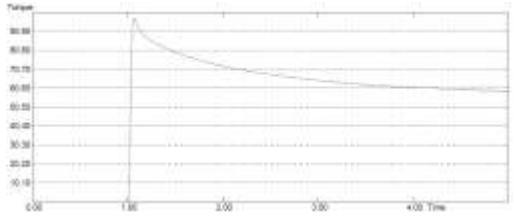
(a)



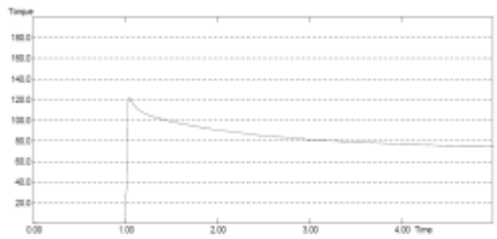
(b)



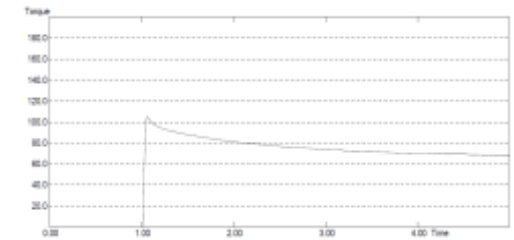
(b)



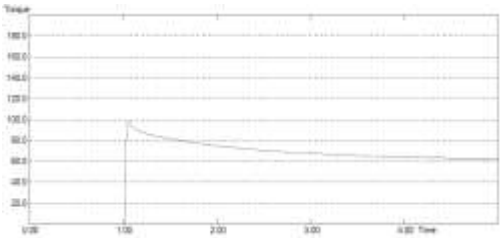
(d)



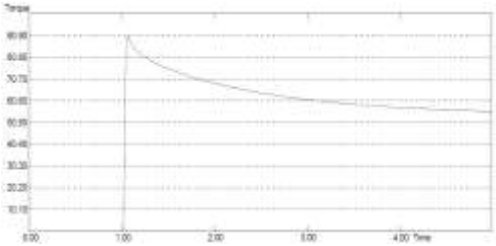
(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 4.2. FKM deneme karışımları mooney viskozite eğrileri
(a) FKM-1, (b) FKM-2, (c) FKM-3, (d) FKM-4, (e) FKM-5, (f) FKM-6, (g) FKM-7, (h) FKM-8,

Çizelge 4.2. FKM deneme karışımları mooney viskozimetre test sonuçları karşılaştırması

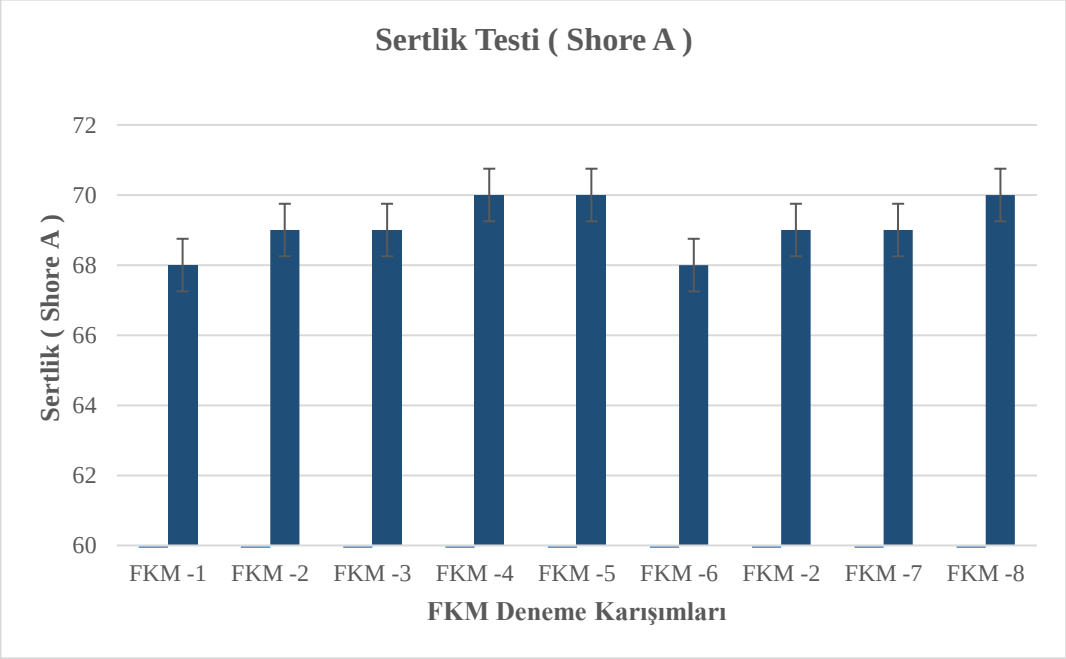
FKM Deneme Karışımları Mooney Viskozimetre Test Sonuçları (100 °C de 1+4 dakika)										
Test Değerleri	**Birim**	**FKM 1**	**FKM 2**	**FKM 3**	**FKM 4**	**FKM 5**	**FKM 6**	**FKM 2**	**FKM 7**	**FKM 8**
Viskozite ML	Mooney	78,6	68,1	77,6	73,0	59,0	74,7	68,1	62,2	55,6

Mooney viskozimetre testi ile karışımın ekstrüderdeki akışı, hareketi ve şekil değiştirme davranışları hakkında bilgi edinmiştir. Reçete içerisindeki kullanılan malzemeler ve miktarları ile karışımın mooney viskozitesi de değişmektedir. Örneğin dolgu maddesi olarak karbon siyahı miktarının artması, proses kolaylaştırıcı türü ve miktarını, pişirici miktarının artması gibi nedenler mooney viskozite değerini arttırmaktadır. Dolayısıyla bu viskozite artışı da karışımın ekstrüde edilebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Karışımların mooney viskozite değerlerine doğrudan etkileyen malzeme proses kolaylaştırıcılardır. FKM-1 reçetesinde hiç proses kolaylaştırıcı malzeme kullanılmamıştır ve test değeri 78,6 Mooney'dir. FKM- 2, FKM-3, FKM-4 ve FKM-5 deneme karışımlarında 4 farklı proses kolaylaştırıcı tipi kullanılmıştır. Kullanılan proses kolaylaştırıcı tipinin deneme karışımının viskozitesini etkilediği görülmüştür. FKM -6, FKM-2, FKM-7 ve FKM-8 denemelerinde ise proses kolaylaştırıcı miktarı 0,5 phr dan başlayarak 2,0 phr a kadar arttırılmıştır. Bu artışla beraber karışımların mooney viskozite değerlerinde sistematik bir düşüş tespit edilmiştir.

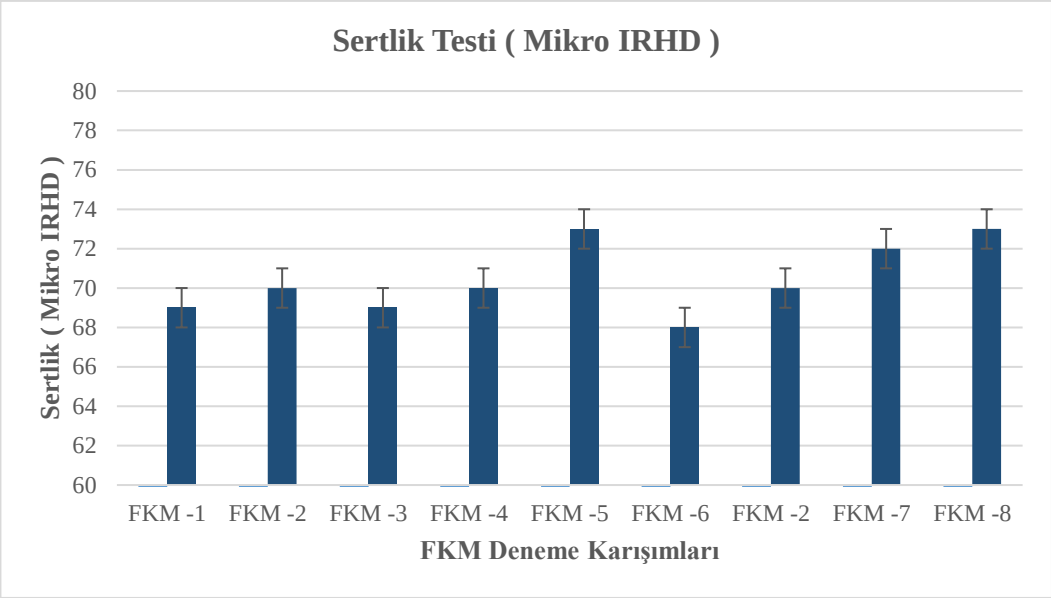
4.2 FKM Deneme Karışımları Standart Test Plakaları Üzerinden Yapılan Testlerin Sonuçları

4.2.1 Sertlik test sonuçları

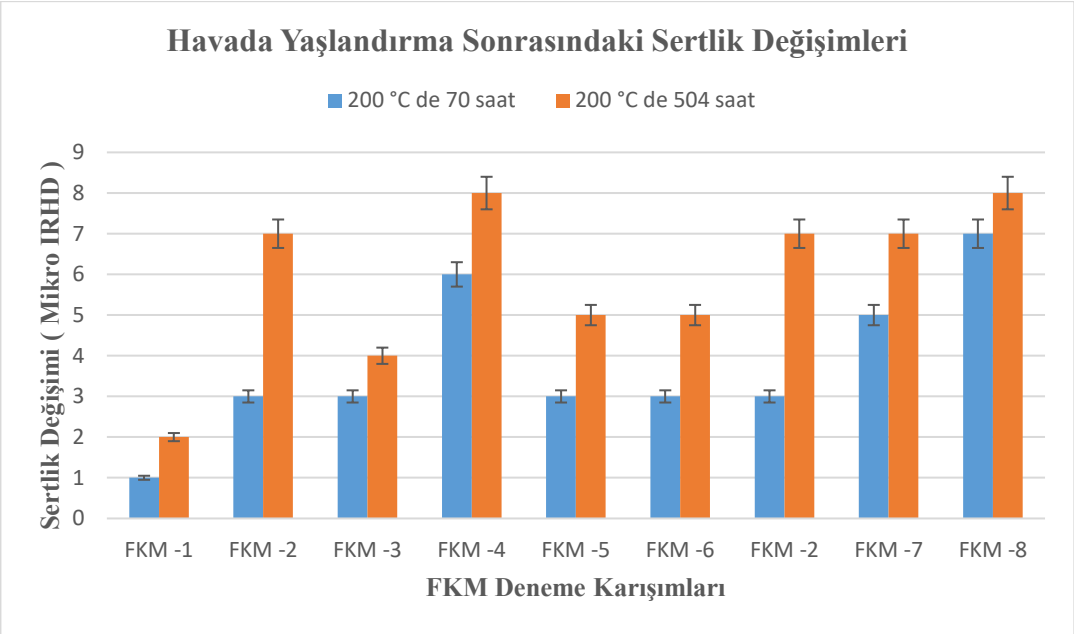
Sertlik testi uygulanan batma kuvveti altında kauçuk malzemenin göstermiş olduğu direnç ile ilgilidir. Sertlik birimleri shore A ve IRHD'dir. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda iki farklı standart ve birimde sertlik ölçümleri yapılmıştır. Zwick/Roell sehpalı sertlik cihazı ile ISO 7619-1 standardına göre Shore A birimde, Zwick/Roell sehpalı mikro IRHD sertlik cihazı ile ISO 48 M standardına göre mikro IRHD biriminde ölçümler yapılmıştır. Sertlik testi sonuçları şekil 4.3, şekil 4.4 ve şekil 4.5 de verilmiştir.



Şekil 4.3. FKM deneme karışımları shore A biriminde sertlik ölçümü sonuçları



Şekil 4.4. FKM deneme karışımları mikro IRHD biriminde sertlik ölçümü sonuçları



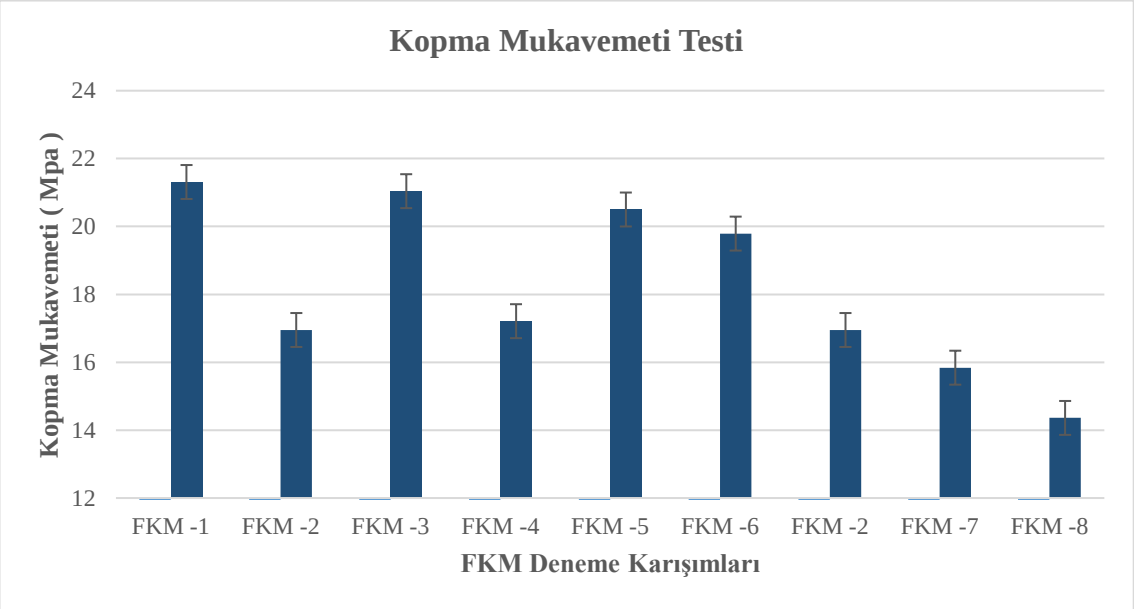
Şekil 4.5. FKM deneme karışımları havada yaşlandırma sonrasındaki sertlik değişimleri

Denemelerin sertlik değerlerinin proses kolaylaştırıcı tipi ile değiştiği test sonuçlarından görülmektedir. Sertlik değerini en çok amin türevi proses kolaylaştırıcı 4 malzemesi arttırmıştır. Ayrıca reçete içerisinde proses kolaylaştırıcı miktarının artması da sertlik değerlerini 68 mikro IRHD den 73 mikro IRHD e kadar arttırmıştır.

FKM kauçuğun kullanım alanı çalışma sıcaklığının 200 °C in üzerinde olduğu zorlu şartlardır. Bu yüzden karışımın ısıl kararlılığı son derece önemlidir. Isıl dayanımını etkileyen etmenlerden biri de reçete tasarımında proses kolaylaştırıcı kullanılmasıdır. FKM-1 denemesinde proses kolaylaştırıcı kullanılmamıştır ve 200 °C de 70 saat havada yaşlandırma sonrasındaki sertlik değişimi +1 olarak gerçekleşmiştir. FKM-2, FKM-3, FKM-4, ve FKM-5 karışımlarında kullanılan farklı tipteki proses kolaylaştırıcılar ısı sonrasındaki sertlik değerini arttırmıştır. Sertlik değişiminin en çok wax tipi proses kolaylaştırıcı 3 maddesinin kullanıldığı reçetede artış göstermiştir. Ayrıca diğer deneme sonuçlarına bakıldığında da kauçuk karışım reçetesi içerindeki proses kolaylaştırıcı miktarının artması havada yaşlandırma sonrasındaki sertlik değişimini olumsuz etkileyerek karışım sertleşmesine sebep olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2 Kopma mukavemeti / uzaması test sonuçları

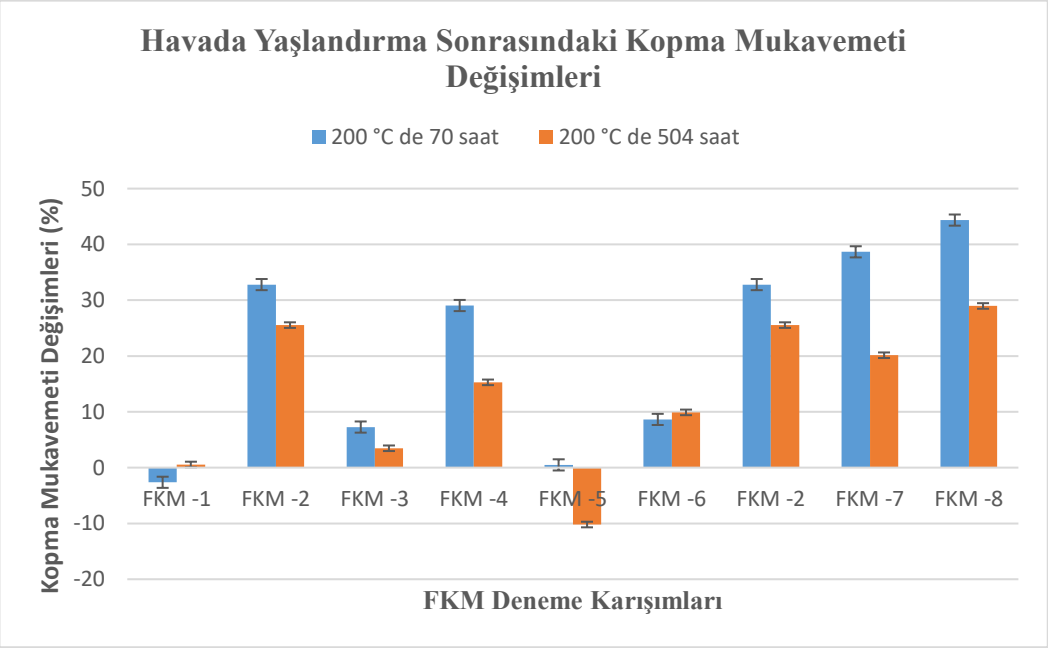
Karışımların mekanik özelliklerinin belirlenmesi Şekil 3.9'deki Zwick/Roell Z010 Tensometre cihazı ile ASTM D 412 standardına göre DIE C kaşığı kullanılarak yapılmıştır. Test sonuçları şekil 4.6 ve havada yaşlandırma sonrasındaki değişimleri şekil 4.7 de yer almaktadır.



Şekil 4.6. FKM deneme karışımları kopma mukavemeti test sonuçları

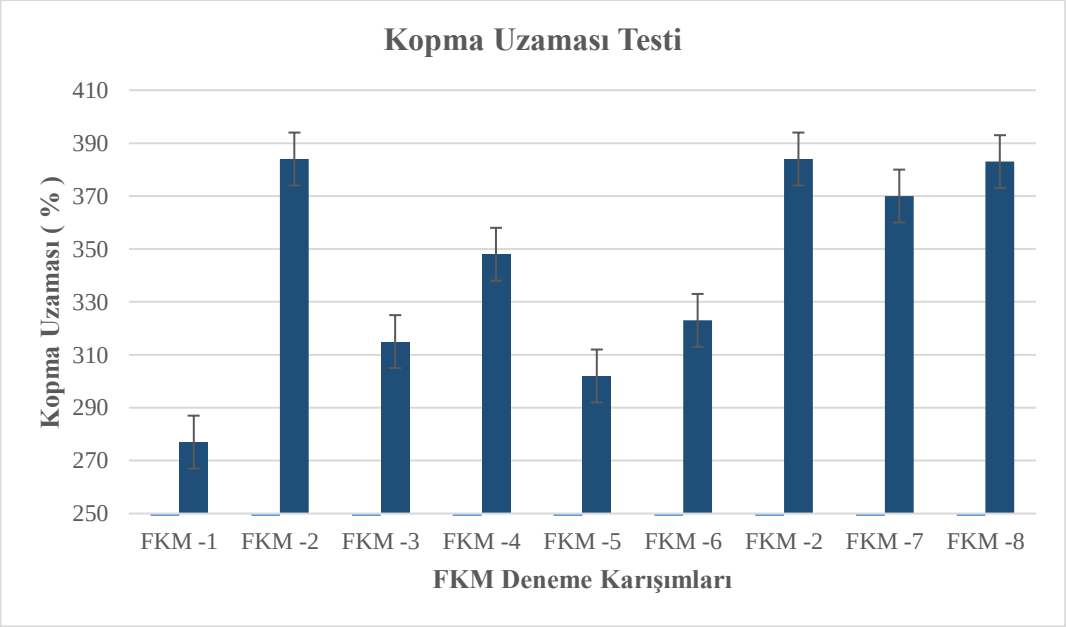
Kopma mukavemeti değeri karışımın vulkanizasyon sonrasında polimer zincirlerinin oluşturduğu çapraz bağ yoğunluğu, bağ sayısı gibi özellikleri ile değişebilmektedir. Kullanılan her malzeme mekanik özellikleri iyileştirmeye bilir hatta kötüleştire de bilir. Bu nedenle uygun malzemenin optimum miktarda kullanılması önem arz etmektedir. Proses kolaylaştırıcı kullanılmadığında kopma mukavemeti 21,31 N/mm^2 bulunmuştur. FKM -3 ve FKM-5 denemelerinde kullanılan proses kolaylaştırıcı 2 -4 kimyasalları ile 21,04 ve 20,50 N/mm^2 elde edilmiştir. Bu da kopma mukavemeti değerlerine olumsuz bir etki göstermediği tespit edilmiştir. FKM -2 ve FKM-4 denemelerinde kullanılan tiplerinin ise kopma mukavemetini olumsuz etkilediği test değerlerini 16,95 ile 17,21 N/mm^2 e kadar düşürdüğü fark edilmiştir. Ayrıca bu tipteki proses kolaylaştırıcı tipinin reçete içerisinde kullanımının artması kopma mukavemetinde sistematik bir düşüşe neden olmuştur.

Farklı tipteki proses kolaylaştırıcı malzemesi deneme karışımlarının ısıl kararlılıklarını da etkilemiştir. Karışımların havada yaşlandırma sonrasındaki kopma mukavemetlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Bu da karışımın daha fazla yaşlanmasına neden olarak mekanik özelliklerini bozmuştur. 200 °C 70 saat ve 504 saat olarak gerçekleştirilen test sonuçları şekil 4.7 de verilmiştir.



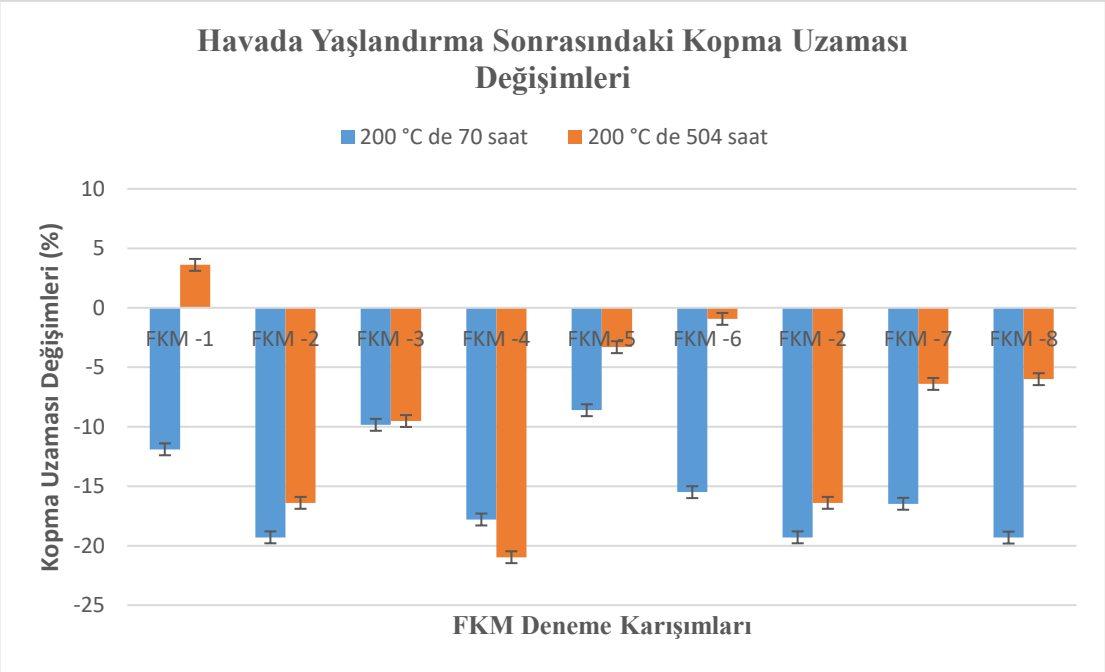
Şekil 4.7. FKM deneme karışımları havada yaşlandırma sonrasındaki kopma mukavemeti değişimleri

Kopma Uzaması değeri reçete içerisinde proses kolaylaştırıcı kullanılması ile arttığı görülmüştür. Bu atış özellikle proses kolaylaştırıcının tipine bağlı olduğu tespit edilmiştir. En iyi sonucu veren deneme karışımı FKM-2 dir. Yani Yağ asidi ve wax karışımının blend hali olan proses kolaylaştırıcı 2 dir. Ayrıca bu malzemenin kullanım oranının 0,5 phr dan 2,0 phr çıkarılması kopma uzaması değerine olumlu etki yapmıştır. Bu olumlu etki 1,0 phr dan sonra kendini sabitlemiştir. Bu da gösteriyor ki optimum kullanım miktarının 1 phr olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.8 de deneme karışımlarının kopma uzaması değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.8. FKM deneme karışımları kopma uzaması test sonuçları

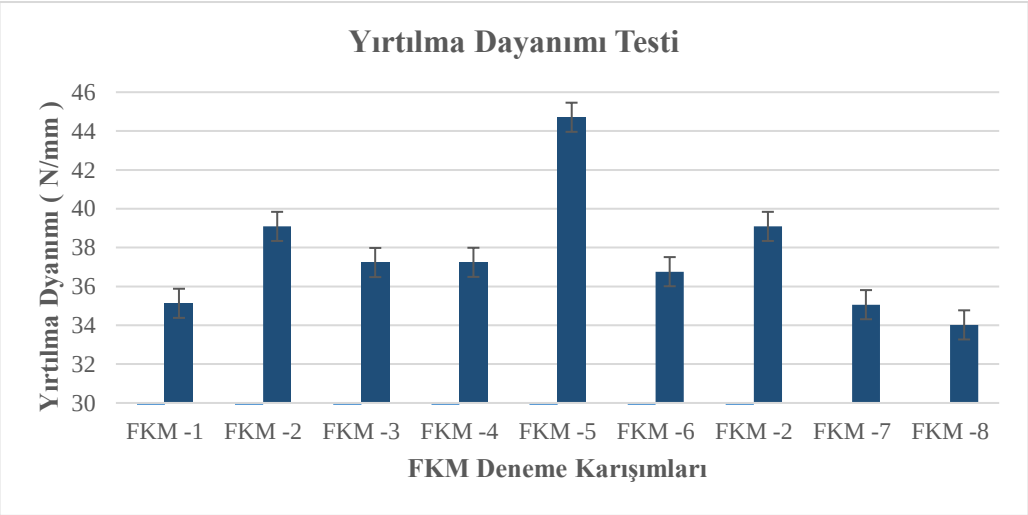
Havada yaşlandırma sonrasında kopma uzaması değerlerinin ilk hallerine göre azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. FKM deneme karışımları havada yaşlandırma sonrasındaki kopma uzaması değişimleri

4.2.3 Yırtılma dayanımı test sonuçları

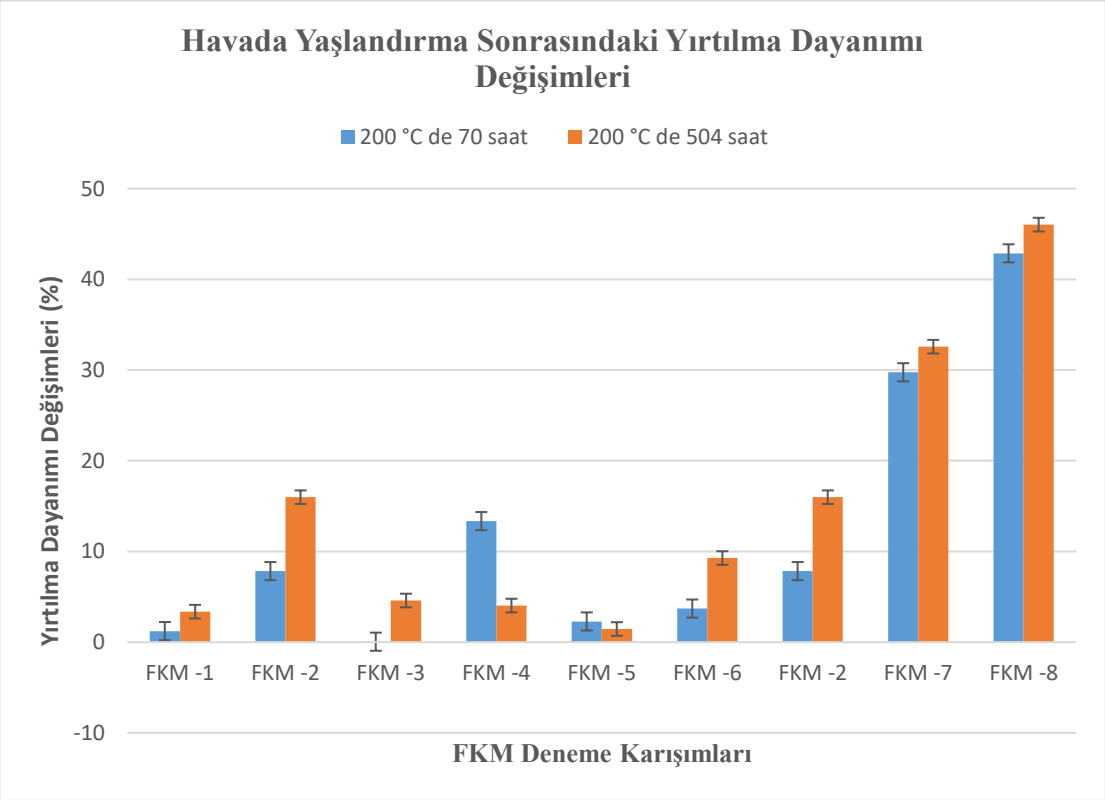
Yırtılma dayanımı testi ASTM D 624 standardı DIE B çentikli bıçağı kullanılarak Şekil 3,8'deki Zwick/Roell Z010 Tensometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yırtılma testleri 0,1N/mm^2 ön yük altında dakikada 500 mm hız ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10 da yırtılma dayanımı test sonuçları yer almaktadır.



Şekil 4.10. FKM deneme karışımları yırtılma dayanımı test sonuçları

Bu test ile deneme karışımlarının yırtılmaya karşı göstermiş oldukları direnç hakkında yorum yapmamıza olanak sağlar. FKM-1 denemesinin yırtılma dayanımı test sonucu 35,13 N/mm 'dir ve bu reçete tasarımında proses kolaylaştırıcı kullanılmamıştır. FKM-2, FKM-3, FKM-4 ve FKM-5 denemelerinde ise 4 farklı proses kolaylaştırıcı 1 phr oranında kullanılmıştır. Test sonuçları sırasıyla 39,29 – 37,23 – 37,24 – 44,71 N/mm olarak ölçülmüştür. Test sonuçlarına göre 4 farklı tip proses kolaylaştırıcının da yırtılma dayanımı test sonucuna olumlu etki yaparak arttırdığı tespit edilmiştir. Daha sonra proses kolaylaştırıcı 4 sabit tutularak deneme reçeteleri içerisinde 0,5 phr dan 2,0 phr a kadar artırılarak denemesi yapılmıştır. Test sonuçları 36,76 – 39,09 – 35,06 – 34,02 N/mm ölçülmüştür. Proses kolaylaştırıcı malzemesi 1,0 phr a kadar olan kullanımlarda yırtılma dayanımını arttırırken daha fazla kullanılması halinde karışıma olumsuz etki yaratarak yırtılma dayanımını düşürdüğü belirlenmiştir. Böylelikle optimum kullanım miktarı 1.0 phr olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.11 de havada yaşlandırma sonrasındaki yırtılma dayanımı değişimleri verilmiştir.

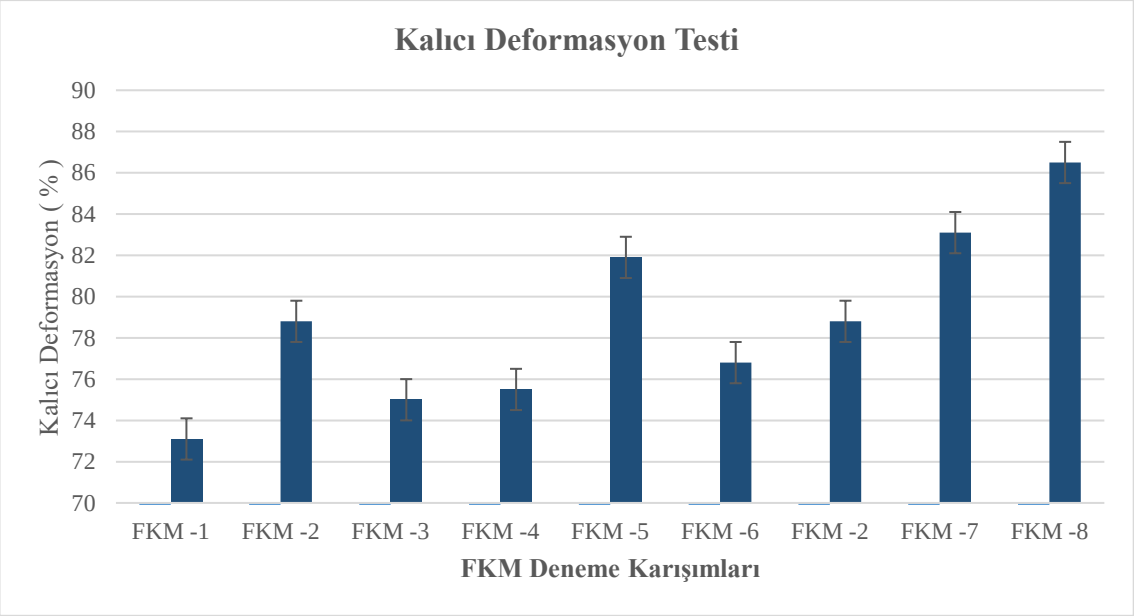


Şekil 4.11. FKM deneme karışımları havada yaşlandırma sonrasındaki yırtılma dayanımı değişimleri

Test sonuçları incelendiğinde 200 °C 70 saat ve 504 saat olarak gerçekleştirilen havada yaşlandırma testi sonrasında yırtılma dayanımı değerleri ilk hallerine göre artış gösterdiği tespit edilmiştir. Reçete içerisinde proses kolaylaştırıcı miktarının artması havada yaşlandırma sonrasındaki yırtılma değişimlerini de bu oranda çok fazla arttırmıştır. FKM-6, FKM-2, FKM-7, FKM-8 deneme karışımlarına bakılarak bu sonuç tespit edilmiştir.

4.2.4 Kalıcı deformasyon test sonuçları

Kalıcı deformasyon testi, özel olarak tasarlanmış test aparatında uygulanan sıkıştırma kuvveti altında belirli bir sıcaklık ve sürede malzemenin yaşlandırıldıktan sonra ilk halindeki kalınlığına göre meydana gelen kalıcı şekil değiştirmedir. Kalıcı deformasyon testi 9.02132/01 Type B-0 şartnamesi bölüm 2.5.13 e göre yapılmıştır. Test 200 °C'lik etüv de 72 saat süre ile %25 sıkıştırma oranı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.12 de test sonuçları yer almaktadır.



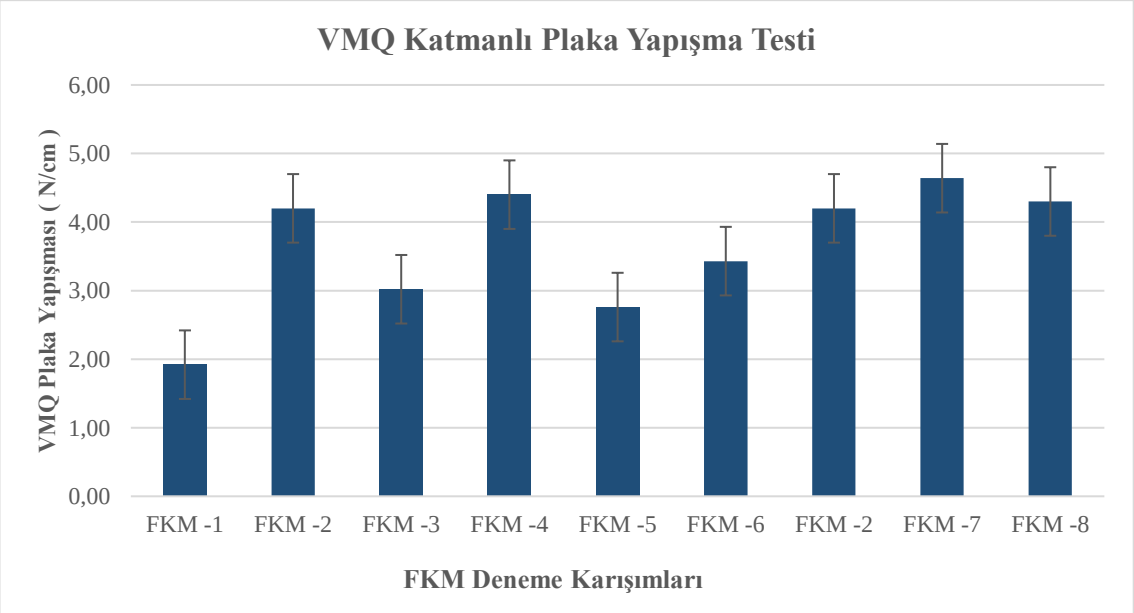
Şekil 4.12. FKM deneme karışımları kalıcı deformasyon test sonuçları

Kalıcı deformasyon testi ürünün sızdırmazlık özelliği açısından son derece önemlidir. Polimer zincirleri arasındaki çapraz bağ yoğunluğu ile kalıcı deformasyon testi arasında

bir orantı vardır. Çapraz bağ yoğunluğu ne kadar çok olursa deneme karışımının kalıcı deformasyon değeri de o denli az olur. Çizelge 4.1'deki rheometre sonuçlarındaki tand Mh değeri az olanın kalıcı deformasyon değerinin de az olduğu tespit edilmiştir.Peroksit kürleme özelliği olan florokarbon elastomer reçetesi pişirici sistemi içerisinde koajan kullanımı çapraz bağ yoğunluğunu etkileyen en önemli kriterlerden biridir.(Boyd 2020) Test sonuçlarına göre kalıcı deformasyon değeri en düşük olan karışım FKM-1 deneme karışımıdır. Diğer deneme FKM karışımları reçete tasarımlarında proses kolaylaştırıcı kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre proses kolaylaştırıcı kullanılmasının kalıcı deformasyon değerinin kötüleştirdiği tespit edilmiştir.

4.2.5 Katmanlı test plakası üzerinden yapışma testi sonuçları

FKM/VMQ/AR/VMQ konstrüksiyonundaki bir turbo şarj hortumunun performansı ve uzun kullanım ömrü açısından FKM ve VMQ ara yüzey yapışmasının iyi olması gerekmektedir. FKM deneme karışımlarının hangisinin VMQ ile ara yüzey yapışmasının daha iyi olduğunu belirlemek son derece önemlidir. Bu özelliği belirlemek için katmanlı test plakaları basılmıştır. Şekil 4.13 de katmanlı test plakaları üzerinden yapılan yapışma test sonuçları verilmiştir.

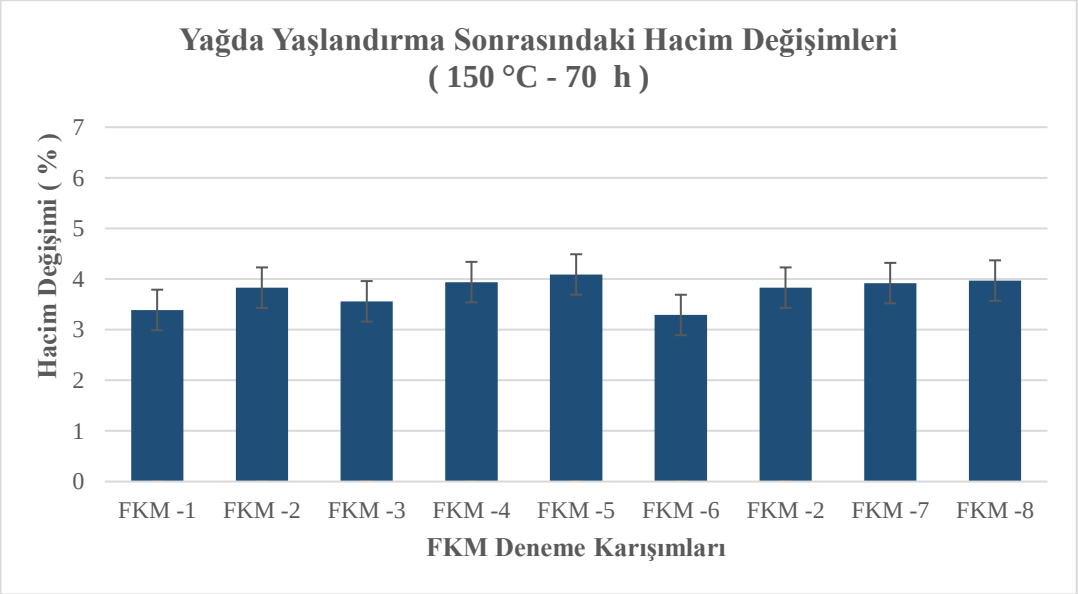


Şekil 4.13. FKM deneme karışımları katmanlı test plakası VMQ yapışma test sonuçları

Katmanlı test plakaları üzerinden yapılan VMQ ara yüzey yapışma test sonuçlarına göre reçete tasarımında proses kolaylaştırıcı kullanılmasının VMQ ile olan ara yüzey yapışmasını 1,92 N/cm değerinden 4,40 N/cm değerleri civarlarına kadar iyileştirdiği tespit edilmiştir. Diğer bir tespit ise proses kolaylaştırıcı tipinin ve kullanım miktarının da VMQ ara yüzey yapışmasına olumlu etki yarattığı görülmüştür.

4.2.6 Yağda yaşlandırma sonrasındaki hacim değişim test sonuçları

Turbo şarj sisteminde hortum içerisinden yüksek sıcaklıkta yağlı hava geçmektedir. Dolayısıyla iç katmanda kullanılan kauçuk karışımının yağ dayanımı ürün performansı açısından son derece önemlidir. Yağda yaşlandırma testi ISO 1817 standardına göre hava sirkülasyonlu etüvde 150 °C sıcaklıkta 70 saat süre ile 5w-30 yağı kullanılarak kapalı bir kap içerisinde yapılmıştır. Yağda yaşlandırma testi ile deneme FKM karışımlarının yağ dayanımları test edilmiştir. FKM polimer zincirindeki C-F bağları sayesinde yağ dayanımı yüksektir. Yağda yaşlandırma sonrasındaki hacim değişimine etki eden diğer etken ise çapraz bağlanma sonucunda oluşan çapraz bağ yoğunluğudur. Çapraz bağ yoğunluğu ne kadar fazla ise hacim değişimi o kadar az, çapraz bağ yoğunluğu ne kadar az ise hacim değişimi o kadar çoktur.



Şekil 4.14. FKM deneme karışımları yağda yaşlandırma sonrasındaki hacim değişimi test sonuçları

4.3 Hortum Üzerinden Yapılan Test Sonuçları

FKM malzeme geliştirme çalışmaları sonucunda FKM-2 deneme karışımı en iyi test sonuçlarını vermiştir. Bu yüzden bu reçete tasarımı ile hortum üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen hortumun görseli şekil 4.15 de verilmiştir.

(a)

(b)

Şekil 4.15. Üretilen hortumun görselleri
(a) Hen bağlantı aparatı olmadan ve yan kesit görüntüsü
(b) Hen bağlantı aparatı ile birlikte

FKM ve VMQ ara yüzey yapışma değerini belirlemek için kat yapışması testi yapılmıştır. Hortum iç katmandan 20 mm genişliğinde test numunesi alınmıştır. Test numunesi üzerinden yapılan analize göre FKM ile VMQ ara yüzey yapışmasının iyi olduğu, FKM katmanın VMQ katmandan ayrılmadığı, VMQ katmandan et kopararak ilerlediği tespit edilmiştir. Kat yapışması testi numune görselleri Şekil 4.16 de yer almaktadır.

Şekil 4.16. FKM-VMQ ara yüzey yapışmasının gösteren kat yapışması testi numune görseli

PF 90088 turbo hortum şartnamesi bölüm 7.8'e göre çap genişlemesi testi yapılmıştır. Bu testte ilk olarak hortumun dış çapı ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Daha sonra hortuma 2.1 bar basınç uygulanarak tekrardan dış çapı ölçülmüştür. Son ölçüm ile ilk ölçüm arasındaki fark hesaplanarak çap genişlemesi değerini % olarak bulunmuştur. Çap genişlemesi test sonucu %9,3 olarak hesaplanmıştır.

Diğer bir test ise Patlatma testidir. Bu test PF 90088 turbo hortum şartnamesi bölüm 7.4'e göre yapılmıştır. Test yöntemine göre dakikada 2 bar artış gerçekleştirilecek şekilde hortum içerisine basınç verilmeye başlanmıştır. Hortum içerisine basınç verilmesi işlemi hortum patlayana kadar devam ettirilmiştir. Nihayetindeki hortumda patlamanın gerçekleştiği basınç değeri kaydedilmiştir. Yapılan analiz göre patlatma test sonucu 9 bar dan büyük ölçülmüştür. Çap genişlemesi ve patlatma testi deney görseli şekil 4.17 da verilmiştir.

Şekil 4.17. Çap genişlemesi ve patlatma testi deney görseli

5. SONUÇ

Bu tez kapsamında otomotiv turbo şarj sistemindeki sıcak taraf FKM/VMQ/AR/VMQ yapısındaki katmanlı turbo şarj hortumunun iç katmanı olan FKM kauçuk karışımının geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Malzeme geliştirme çalışmaları için öncelikle karışım reçete tasarımları yapılmıştır. Belirlenen reçetelere göre deneme karışımlarının üretimi açık mil prosesi ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen karışımların rheolojik özelliklerinin belirlenmesi için rheometre testi, akışkanlıklarının tespiti için ise viskozimetre test ile yapılmıştır. Fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin belirlenmesi için 2mm kalınlığında standart test plakaları hazırlanmıştır. Bu test plakaları üzerinden uluslararası standartlara göre testler yapılarak en uygun deneme karışımı ve reçete tasarımı belirlenmiştir. Belirlenen reçete formülüyle üretim yapılarak Ekstrüzyon ve otoklav prosesleri sonrasında hortum üretimi gerçekleştirilmiştir. Ürün üzerinden performans testlerinin de yapılmasıyla çalışmalar neticelendirilmiştir. Bu çalışmalar sonucun da tespit edilen bulgular şu şekildedir;

Peroksit pişirici sistemli FKM deneme karışımlarına vulkanizasyon işlemi öncesinde rheometre testi yapılarak kauçuk sektöründe en çok kullanılan M_L, M_H, ts_2, t90 gibi parametreler belirlenmiştir. Testin yapıldığı sıcaklıktaki minimum tork değerini gösteren M_L değerinin proses kolaylaştırıcı tipinin farklı olmasından etkilendiği tespit edilmiştir. Yağ ve wax türevi proses kolaylaştırıcı tipleri karışım viskozitesini amin ve yağ asidi + wax blend tipine göre daha az düşürdüğü için M_L değerlerinde bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Vulkanizasyonun tamamlandığı M_H değeri çapraz bağ yoğunluğu ve bağ sayısı ile ilgilidir. Farklı türde proses kolaylaştırıcı kullanılması çapraz bağlanmayı etkilediği görülmüştür. Çapraz bağlanmanın etkilenmesi de pişmenin gerçekleştiği tork değeri olan M_H değerinin de azalmalara ve artışlara neden olmuştur. FKM-1 reçetesinden hiç proses kolaylaştırıcı malzemesini kullanılmamış ve test değeri 26,44 dNm bulunmuştur. Bu değer amin türevi proses kolaylaştırıcının kullanılması ile min 20.47 dNm ye azaldığı, yağ asidi türevi proses kolaylaştırıcı kullanımı ile max 26,87 dNm değerine artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca reçete içerisinde proses kolaylaştırıcı kullanım miktarının arttılması da M_H değerinde azalmalara sebep olduğu görülmüştür.

FKM deneme karışımları reçetelerinde pişirici kimyasallarının tipi ve miktarı sabit tutulmuştur. Böylelikle karışımların pişmeye başlama zamanı olan ts_2 ve optimum pişmenin tanımlandığı t90 değerlerinde belirgin bir artış gözlenmemiştir.

Karışımların akışkanlıklarının belirlenmesi amacıyla viskozimetre testi yapılmıştır. Viskozimetre testinde reçete içerisinde proses kolaylaştırıcı kullanılmasının ve kullanım miktarının azaltılmasının akışkanlığı arttırdığı tespit edilmiştir. Amin türevi proses kolaylaştırıcı viskozite ML değeri 59 Mooney ile en çok etkileyen malzeme olmuştur.

Fiziksel, mekanik ve termal özelliklerin belirlenmesi için 2mm kalınlığında standart test plakaları hazırlanmıştır. Test plakaları üzerinden sertlik testi, kopma mukavemeti, kopma uzaması, yırtılma dayanımı, Havada yaşlandırma sonrasındaki değişimler, kalıcı deformasyon testi ve katmanlı test plakası üzerinden VMQ ile yapışması testi yapılmıştır.

Reçete tasarımında proses kolaylaştırıcı kullanımının artmasıyla;

- Sertlik değerlerinde artış,
- Kopma Mukavemetinde azalma,
- Kopma uzama değerlerinde artış,
- Yırtılma dayanımından 1phr a kadar artış, daha fazla kullanımda azalma,
- Havada yaşlandırma testi sonrasındaki değişimlerde artış,
- VMQ ile olan katmanlı yapışma plaka değerlerinde artış olduğu deney sonuçlarındaki verilere göre tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Adlı, O. 2018. Elastomer İşleme Süreçleri Süreçleri ve Makinaları. Kauçuk Derneği Eğitim Notları, İstanbul

Al-Nesrawy, S. H., Al-Maamori, M., and Jappor, H., S. 2016. Effect of Temperature on Rheological Properties of Sbr Compounds Reinforced by Some Industrial Scraps as a Filler. *International Journal of Chemical Sciences,* 14(3):12, 85–95.

Auchter, J.F. 2005. Chemical Economics Handbook: Carbon Black. Menlo Park, CA, SRI Consulting.

Annika, S.S. 2019. Nitril kauçuk/aramid elyaf kompozitlerinin akış performansının geliştirilmesinde sıvı kauçuk etkinliği. *Yüksek lisans tezi*, Kocaeli Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim dalı, Kocaeli.

ASTM D2000-18. Standard Classification System for Rubber Products in Automotive Applications. ASTM international.

ASTM D1418-21. Standard Practice for Rubber and Rubber Latices—Nomenclature. ASTM international.

ASTM D1646-19. Standard Test Methods for Rubber—Viscosity, Stress Relaxation, and Pre-Vulcanization Characteristics (Mooney Viscometer). ASTM international.

ASTM D5289-19. Standard Test Method for Rubber Property—Vulcanization Using Rotorless Cure Meters. ASTM international.

ASTM D3182-16. Standard Practice for Rubber—Materials, Equipment, and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets. ASTM international.

ASTM D412-16. Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension. ASTM international.

ASTM D624-20. Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers. ASTM international.

Babapour, A. 2013. Doğal kauçuk/bütadien kauçuk esaslı silecek lastiği malzemelerinin hazırlanması ve karakterizasyonu. *Yüksek lisans tezi,* Hacettepe Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim dalı, Ankara.

Bülbül, Ş. 2014. Farklı inorganik ve organik dolguların NR/SBR tipi elastomer malzemelerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi. *Doktora tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.

Dupont, D. E. 2003. Processing Guide . Technical information. Viton fluoroelastomer a product of dupont dow elastomers. Reorder No: VTE-A10123-00-B0604

Dupont, T.I. 2010. DuPont ™ Viton ® Processing Guide, Technical information

Reference No. VTE-H-90171-00-B0710

Edge, M. 1999. Influence of Cure and Carbon Black on the High Temperature Oxidation of Natural Rubber. I. Correlation of Physico-Chemical Changes. Polymer Degradation and Stability 64(2):197–205. doi: 10.1016/S0141-3910(98)00185-2.

Erkek, S. 2007. Karbon siyahı/yağ ve karbon siyahı/dolgu maddesi oranının farklı vulkanizasyon sistemlerinde EPDM,NBR ve SBR elastomerlerinin fiziko-mekaniksel özelliklerinin etkisi. *Yüksek lisans tezi*, Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü,Kimya Anabilim dalı, Adana.

Fındıkçı. S. 2017. Plastik sektöründe kullanılan karbon siyahı ve siyah masterbach (https://tr.linkedin.com/pulse/plastiksekt%C3%B6r%C3%BCnde-kullanilan-karbon-siyahi-ve-siyah-serdar f%C4%B1nd%C4%B1k%C3%A7%C4%B1) (Erişim tarihi : 29.07.2021)

Guo, J., Zeng, X., Li, H., and Luo, Q. 2011. Effect of curatives and fillers on vulcanization, mechanical, heat aging, and dynamic properties of silicone rubber and fluororubber blends. *Journal of Elastomers and Plastics*. DOI: 10.1177/0095244311418440.

Hanif, M. H., Yong, K. C., and Lee, S. Y. 2020. Effects of a newly developed palm-Based processing aid and curing systems on the physical properties of nitrile rubber composites. *Sains Malaysiana*, vol. 49, no. 9, pp. 2187–2196, 2020, doi: 10.17576/jsm-2020-4909-16.

ISO 1183-1 . Methods for determining the density of non-cellular plastics — Part 1: Immersion method, liquid pycnometer method and titration method. ISO international.

ISO 48 M. Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 IRHD). ISO international.

ISO 188. Rubber, vulcanized or thermoplastic — Accelerated ageing and heat resistance tests. ISO international.

ISO 1817. Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of the effect of liquids. ISO international.

Karaağaç, B. 2018. Doğal Kauçuk. Eğitim notları, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi , Kimya Bölümü, Kocaeli.

Karaağaç, B. 2017. Florlu Kauçuklar. Eğitim notları, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi , Kimya Bölümü, Kocaeli.

Kasım, H. 2018. Karbon esaslı nano katkılar ile elektrik iletken elastomer nanokompozitler geliştirilmesi: statik ve tekrarlı dinamik yükler altında elektriksel, fiziksel ve mekanik karakterizasyonu ve algılama performansının belirlenmesi. *Doktora tezi*, Bursa Uludağ Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim dalı, Bursa.

Khanra, S., Kumar, A., Ghorai, S.K., Ganguly, D. and Chattopadhyay, S. 2020. Influence of partial substitution of carbon black with silica on mechanical, thermal, and aging properties of super specialty elastomer based composites. Rubber Technology Centre, Indian Institute of Technology Kharagpur, Kharagpur, West Bengal, India. DOI:10.1002/pc.25720.

Kısacık, F. 2006. İki komponentli kauçuk hortum. *Yüksek lisans tezi,* Kocaeli Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalı, Kocaeli.

Koç, A. 2019. Epdm kauçuk karışımlarının kükürt vulkanizasyon sistemlerinde kullanılan hızlandırıcıların rheolojik ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. *Yüksek lisans tezi,* Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim dalı, Adana.

Kruželák, J.. Sýkora, R. and Hudec, I. 2016. Sulphur and peroxide vulcanisation of rubber compounds – overview. Chemical Papers 70 (12) 1533–1555, DOI: 10.1515/chempap-2016-0093

Boyd, M., Therrien, I. and Pazur, R. J. 2020. Characterızatıon and correlatıon of the network chaın densıty to the propertıes of fluoroelastomer rubber. *Rubber chemıstry and technology.* VL - 93 DOI:10.5254/rct.20.80367

Öztürk, E. 2008. Farklı kauçuk karışımlarının vulkanizasyonuna hızlandırıcıların etkisi. *Yüksek lisans tezi,* Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimler Enstitüsü, Kimya Anabilim dalı, Sakarya.

Peltola, P. 2013. Rubber Extrusion Parameter Optimization. Tampere University of Applied Sciences Paper-, Textile- and Chemical Engineering Chemical Engineering, Bachelor's thesis 138 pages, appendices 1 page February 2013.

PF 90088 . Charge air hoses and plumbing assemblies. Fıat Chrysler Automobiles.

Romagnoli, A., Manivannan, A., Rajoo, S., Chiong, M. S., Feneley, A., Pesiridis, A. and Martinez-Botas, R. F. 2017. A Review of Heat Transfer in Turbochargers. Renewable and Sustainable Energy Reviews 79:1442–60. doi: 10.1016/j.rser.2017.04.119.

Saçak, M. 2018. Polimer Kimyası. Gazi Kitap evi, 568 s.

Sagar, M. 2018. A Potential Utilization of End-of-Life Tyres as Recycled Carbon Black in EPDM Rubber. Waste Management 74:110–22. doi: 10.1016/j.wasman.2018.01.003.

Savran, H. 2001. Elastomer Teknolojisi 1. Kauçuk Derneği Eğitim notları. İstanbul

Schweitzer, P. A. 2006. Standard Practice for Rubber and Rubber Latices—Nomenclature.

Siwarote, B., Sae-Oui, P., Wirasate, S. and Suchiva, K. 2017. Effects of bio-based

oils on processing properties and cure characteristics of silica-filled natural rubber compounds. *J. Rubber Res.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–19, 2017, doi: 10.1007/bf03449138.

Soyubol, B. 2006. Elastomerlerin statik ve dinamik özelliklerinin incelenmesi. *Yüksek lisans tezi,* Bursa Uludağ Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim dalı, Bursa.

Tekçe, V. 2015. 3 LT dizel motorun çift kademeli turboşarj sisteminden tek kademeli turboşarj sistemine dönüştürülmesi. *Yüksek lisans tezi,* İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim dalı, İstanbul.

Techno Ad Materials, 2021. Rubber and elastomers Techno ad materials. https://www.technoad.com/engineering/materials/ (Erişim Tarihi 27.06.2021).

Wang, Y., Jiang, X., Xu, C., Chen, Z. and Chen, **Y. 2013**. Effects of partial replacement of silicone rubber with flurorubber on properties of dynamically cured poly(vinylidene fluoride)/silicone rubber/flurorubber ternary blends. *Polym. Test.*, vol. 32, no. 8, pp. 1392–1399, 2013, doi: 10.1016/j.polymertesting.2013.09.004.

Yelkenci, B. 2008. Kauçuk işleme prosesleri. *Yüksek lisans tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya-Metalürji Fakültesi**,** İstanbul.

Yıldız, U. 2018. Turbo Hortumu Takviye Örgüsünün Hortum Ömrüne Etkisinin Deneysel Yollarla İncelenmesi. *Yüksek lisans tezi,* Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalı, Sakarya.

Vahapoğlu, V. 2006. Kauçuk Türü Malzemelerin Inelastik Özelliklerinin Deneysel Olarak Incelenmesi. *Yüksek lisans tezi,* Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalı, Trabzon.

Xanthos, M. 2005. Plastics Processing. *Wiley online library*, doi.org/10.1002/0471440264.pst492

Warrington, N. 1994, Rubber, Footwear Open Tech. *Satra Footwear Technology Center*, Module 31, London.

9.02132/01 2020. Flexible sleeves for air conduction to the boosting cırcuıts. Fıat Chrysler Automobiles.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Orhan Terzioğlu
Doğum Yeri ve Tarihi	: Kırcaali- 10.12.1989
Yabancı Dil	: İngilizce
Eğitim Durumu	
Lise	: Bursa Süleyman Çelebi Lisesi
Lisans	: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Yüksek Lisans	: Bursa Uludağ Üniversitesi
Çalıştığı Kurum/Kurumlar	: Elatek Kauçuk San. Tic. A.Ş
İletişim (e-posta)	: Orhan.terzioglu@elatek.com.tr
Yayınları	: