

**FLOROSİLİKON KAUCUĞUNUN KÜR KOŞULLARININ
OPTİMİZASYONU**

**OPTIMIZATION OF CURING CONDITIONS OF
FLUROSILICONE RUBBER**

ERKAN KÖSE

PROF. DR MURAT ŞEN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Canım Aileme ve Sevgili Eşime

ÖZET

FLOROSİLİKON KAUCUĞUNUN KÜR KOŞULLARININ OPTİMİZASYONU

Erkan KÖSE

Yüksek Lisans, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat ŞEN

Haziran 2022, 101 sayfa

Bu tez çalışmasının temel amacı floro vinil metil silikonun (FVMQ) pişme ve mekanik özelliklerine peroksit tipi, peroksit miktarı ve Tip II ko-ajan TAIC'in etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda bir dizi karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan ilk seri karışımlarda peroksit tipi ve peroksit miktarı değiştirilirken ikinci seri karışımlara ise sabit miktarda ko-ajan olarak Tip II TAIC eklenmiştir. Silikon elastomer karışımları tork reometrede 25°C'de 50 rpm hızla 20 dakikada hazırlanmıştır. TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan karışımların reolojik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Hazırlanan karışımlar hareketli kalıp reometrede 160°C, 170°C ve 180°C'de kürleştirilerek reolojik özellikleri incelenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için sıcaklık kontrollü preste plaka ve disk şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Evrensel test cihazı, sertlik ölçüm cihazı ve geri sekme cihazı kullanılarak peroksit tipleri ve ko-ajan varlığında kopma dayanımı, kopmadaki uzama, sertlik ve geri sekme gibi mekanik özelliklerdeki değişimler incelenmiştir. Hazırlanan elastomerlerin enerji sönümleme kapasitelerinin incelenmesi amacıyla evrensel test cihazı ile %50 sıkıştırılmalı 10 tekrarlı döngüsel sıkıştırma testi uygulanmıştır.

Yapılan tüm bu çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde karışımlara eklenen peroksit tipi, peroksit miktarı ve ko-ajan silikon elastomerlerin reolojik ve mekanik özellikleri üzerinde önemli bir rolü olduğu görülmüştür. Peroksit tipi, peroksit miktarı ve ko-ajan tipine bağlı olarak %200-372 aralığında % uzama ve 5,0-9,4 MPa aralığında kopma dayanımı olan elastomerlerin kontrollü olarak hazırlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu alışma sonunda peroksit miktarı ve peroksit tipi ve ko-ajan kullanımı ile geniş çalışma aralığına sahip floro silikon elastomerlerinin hazırlanma koşulları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Florosilikon, kauçuk, krleşme, reolojik ve mekanik analiz

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF CURING CONDITIONS OF FLUOROSILICONE RUBBER

Erkan KÖSE

Master of Science, Department of Polymer Science and Technology

Supervisor: Prof. Dr. Murat ŞEN

June 2022, 101 pages

The main purpose of this thesis is to investigate the effects of peroxide type, peroxide amount and Type II co-agent TAIC on the curing and mechanical properties of fluoro vinyl methyl silicone (FVMQ). For this purpose, a number of mixtures have been prepared. While the type of peroxide and the amount of peroxide were changed in the first batch of mixtures prepared, Type II TAIC was added to the second batch of mixtures as a fixed amount of co-agent. Silicone elastomer mixtures were prepared in a torque rheometer at 25°C at 50 rpm in 20 minutes. The rheological and mechanical properties of the mixtures prepared in the presence and absence of TAIC were investigated. The prepared mixtures were cured in a moving mold rheometer at 160°C, 170°C and 180°C, and their rheological properties were examined. In order to determine the mechanical properties, samples in the form of plates and disks were prepared in a temperature-controlled press. Changes in mechanical properties such as tensile strength, elongation at break, hardness and rebound were investigated in the presence of peroxide types and co-agent using a universal tester, hardness tester and rebound device. In order to examine the energy absorption capacity of the prepared elastomers, a cyclic compression test with 50% compression with 10 repetitions was applied with a universal test device.

When the results of all these studies were evaluated, it was seen that the type of peroxide added to the mixtures, the amount of peroxide and the co-agent had an important role on the rheological and mechanical properties of silicone elastomers. It

was concluded that elastomers with an elongation of 200-372% and tensile strength in the range of 5.0-9.4 MPa can be prepared in a controlled manner, depending on the type of peroxide, amount of peroxide and type of co-agent.

At the end of this study, the amount of peroxide and the type of peroxide and the use of co-agents and the preparation conditions of fluorosilicone elastomers with a wide working range were determined.

Keywords: Fluorosilicone, rubber, curing process, rheological and mechanical test

TEŐEKKÜR

Hacettepe Üniversitesi'ne başladığım ilk günden itibaren değerli bilgi ve önerileri ile tez çalışmamın planlanması, yürütülmesi, analizleri ve raporlamaları konusunda yol gösteren Sayın Hocam Prof. Dr. Murat ŞEN'e teŐekkür ve Őükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarımnda laboratuvar ekipmanlarının kullanımları, ilgili testlerin yürütülmesi ve raporlama gibi birçok konuda bana destek olan, eğitim ve yönlendirmeleriyle hep yanımda olan Sayın Hocam Dr. Davut AKSÜT'e teŐekkür ederim.

Meslek hayatımın başlangıcında değerli bilgi ve birikimlerini paylaşan AKO Akü Genel Müdürü Sayın Dr. Hulki BÜYÜKKALENDER, Fabrika Müdürü Sayın İlder GÜRSOY ve Ar-Ge Müdürü Sayın Yıldırım EYDEMİR, Kalite Yönetim Sistemleri Lideri Sayın Fatih AKTEPE ve Mikropor Makina San. Tic. A.Ő. Kalite Müdürü Sayın Gürol ALTUNAN'a teŐekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan florosilikonu temin ederek çalışmalarımna destek sağlayan Başoğlu Kablo ve Profil San. ve Tic. A.Ő. firmasına teŐekkür ederim.

Son olarak, doğrularımnda ve yanlışlarımnda her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, canım ailem ve sevgili eşime sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Elastomerler	3
2.2. Silikon Kauçuk.....	4
2.3. Florosilikon Kauçuk.....	6
2.4. Silikon Kauçukların Endüstriyel Uygulamaları	7
2.5. Silikon Elastomer Hamurların Hazırlanması	8
2.5.1. Çapraz Bağlayıcılar	8
2.5.2. Ko-ajanlar	11
2.5.3. Kalıp Ayırıcı	11
2.6. Reolojik Özelliklerin Analizi	12
2.7. Mekanik Özelliklerin Analizi.....	13
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	16
3.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler	15
3.2. Kullanılan Test Cihazları	15
3.2.1. Tork Reometre	16
3.2.2. Hareketli Kalıp Reometre	17
3.2.3. Sıcaklık Kontrolü Hidrolik Pres	18
3.2.4. Kesme Presi	20

3.2.5. Mekanik Test Cihazı.....	20
3.2.6. Sertlik Ölçüm Cihazı	21
3.2.7. Geri Sekme Cihazı.....	22
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	23
4.1. Silikon Hamurların Hazırlanması	23
4.2. Peroksit Tipinin ve Peroksit Oranının Reolojik ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi.....	24
4.2.1. DBPH İçeren Silikon Hamurların Pişirilmesi ve Reolojik Özellikleri.....	24
4.2.2. DCP İçeren Silikon Hamurların Pişirilmesi ve Reolojik Özellikleri.....	27
4.2.3. DCLBP İçeren Silikon Hamurların Pişirilmesi ve Reolojik Özellikleri.....	31
4.2.4. DBPH İçeren Silikon Hamurların Mekanik Özellikleri	33
4.2.5. DCP İçeren Silikon Hamurların Mekanik Özellikleri	38
4.3. Ko-ajan TAIC'in Reolojik ve Mekanik Özelliklere Etkisi	42
4.3.1. FVMQ-DBPH-TAIC İçeren Elastomerlerin Reolojik Özellikleri.....	42
4.3.2. FVMQ-DCP-TAIC İçeren Elastomerlerin Reolojik Özellikleri	47
4.3.3. FVMQ-DBPH-TAIC İçeren Elastomerlerin Mekanik Özellikleri	50
4.3.4. FVMQ-DCP-TAIC İçeren Elastomerlerin Mekanik Özellikleri	54
4.4. TAIC Varlığında ve Yokluğunda DBPH ve DCP Kullanılarak Hazırlanan Tüm FVMQ Elastomerlerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması	58
5. SONUÇLAR.....	69
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. (A) Kürlenme öncesi ve (B) kürlenme sonrası çapraz bağlı zincir yapısı.....	3
Şekil 2.2. Floro vinil metil silikon kauçuk yapısı	6
Şekil 2.3. Çift silindirli mikser sistemleri	8
Şekil 2.4. Silikon elastomerinin peroksit ile çapraz bağlanması	9
Şekil 2.5. Örnek reometre eğrisi	12
Şekil 2.6. Polimer malzemeler için genel bir çekme test grafiği	14
Şekil 2.7. Sıkıştırma-kuvvet eğrisi üzerindeki Mullin Etkisi gösterimi	15
Şekil 3.1. Tork reometre	17
Şekil 3.2. Banbury tipi bıçak	17
Şekil 3.3. Alpha Technologies MDR 2000B hareketli kalıp reometre	18
Şekil 3.4. Brabender Polystat-200T sıcaklık kontrollü pres	18
Şekil 3.5. Basma ve sertlik testleri numunesi hazırlama plakası	19
Şekil 3.6. Çekme testi numunesi hazırlama plakası.....	19
Şekil 3.7. Geri sekme testi numunesi hazırlama plakası.....	19
Şekil 3.8. Zwick ZC020 kesme presini	20
Şekil 3.9. ASTM D412 tip numune örneği	20
Şekil 3.10. Zwick ZC010 evrensel test cihazı	21
Şekil 3.11. ZC010 evrensel test cihazı basma test aparatı	21
Şekil 3.12. Sertlik ölçüm cihazı	22
Şekil 3.13. Geri sekme test cihazı	22
Şekil 4.1. FVMQ-0,5DBPH hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri	25
Şekil 4.2. FVMQ-0,8DBPH hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	25
Şekil 4.3. FVMQ-1,2DBPH hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri	26
Şekil 4.4. FVMQ-0,5DCP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	28
Şekil 4.5. FVMQ-0,8DCP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	28
Şekil 4.6. FVMQ-1,2DCP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	29
Şekil 4.7. FVMQ-0,5DCLBP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	31
Şekil 4.8. FVMQ-0,8DCLBP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	31
Şekil 4.9. FVMQ-1,2DCLBP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	32
Şekil 4.10. FVMQ-DBPH silikon elastomerlerin gerilim-gerinim grafiği.....	34

Şekil 4.11. FVMQ-0,5DBPH elastomerinin %50 oranında 10 döngüsel sıkışma eğrisi	36
Şekil 4.12. FVMQ-0,8DBPH elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkışma eğrisi .	36
Şekil 4.13. FVMQ-1,2DBPH elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkışma eğrisi .	37
Şekil 4.14. FVMQ-DBPH elastomerlerin %50 oranında 10 döngülü sıkışma sırasında enerji emilimin döngü sayısı ile değişimi	37
Şekil 4.15. FVMQ-DCP silikon elastomerlerin gerilim-gerinim grafiği.....	38
Şekil 4.16. FVMQ-0,5DCP elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkışma eğrisi	40
Şekil 4.17. FVMQ-0,8DCP elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkışma eğrisi	40
Şekil 4.18. FVMQ-1,2DCP elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkışma eğrisi	41
Şekil 4.19. FVMQ-DCP elastomerlerin %50 oranında 10 döngülü sıkışma sırasında enerji emilimin döngü sayısı değişimi	41
Şekil 4.20. FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	42
Şekil 4.21. FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	43
Şekil 4.22 FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	43
Şekil 4.23. TAIC katkısının farklı sıcaklıklardaki FVMQ-0,5DBPH silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi.....	45
Şekil 4.24. TAIC katkısının farklı sıcaklıklardaki FVMQ-0,8DBPH silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi.....	45
Şekil 4.25. TAIC katkısının farklı sıcaklıklardaki FVMQ-1,2DBPH silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi.....	46
Şekil 4.26. FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	47
Şekil 4.27. FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	47
Şekil 4.28. FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	48
Şekil 4.29. TAIC Katkısının FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi.....	49
Şekil 4.30. TAIC Katkısının FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi.....	49

Şekil 4.31. TAIC Katkısının FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi.....	50
Şekil 4.32. FVMQ-DBPH-0,5TAIC silikon elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri	51
Şekil 4.33. FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri.....	52
Şekil 4.34. FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri.....	53
Şekil 4.35. FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri.....	53
Şekil 4.36. FVMQ-DBPH-0,5TAIC elastomerinin sıkışma sırasında enerji emilimin döngü sayısı ile değişimi.....	54
Şekil 4.37. FVMQ-XXDCP-0,5TAIC Silikon elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri.	55
Şekil 4.38. FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri.....	56
Şekil 4.39. FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri.....	57
Şekil 4.40. FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri.....	57
Şekil 4.41. FVMQ-XXDCP-0,5TAIC elastomerinin sıkışma sırasında enerji emilimin döngü sayısı ile değişimi	58
Şekil 4.42. FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC Hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	58
Şekil 4.43. FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC Hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	58
Şekil 4.44. FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC Hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	60
Şekil 4.45. FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC Hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	61
Şekil 4.46. FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC Hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	61
Şekil 4.47. FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC Hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri.....	62
Şekil 4.48. Farklı phr'lardaki DBPH ve TAIC katkısının silikon elastomerlerinin enerji emilimin döngü sayısı ile değişimi	63

Şekil 4.49. Farklı phr'lardaki DCP ve TAIC katkısının silikon elastomerlerinin enerji emiliminin döngü sayısı ile değişimi	64
Şekil 4.50. TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan FVMQ-XXDBPH elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri.....	65
Şekil 4.51. TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan FVMQ-XXDCP elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri.....	65
Şekil 4.52. TAIC içeren ve içermeyen FVMQ-XXDBPH elastomerlerin Shore A sertlik değerleri	66
Şekil 4.53. TAIC içeren ve içermeyen FVMQ-XXDBPH elastomerlerin geri sekme değerleri	67
Şekil 4.54. TAIC içeren ve içermeyen FVMQ-XXDCP elastomerlerin Shore A sertlik değerleri	68
Şekil 4.55. TAIC içeren ve içermeyen FVMQ-XXDCP elastomerlerin geri sekme değerleri	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Silikon elastomerlerin kısaltmaları ve kimyasal yapıları	5
Çizelge 2.2. Silikon kauçuğun farklı sıcaklıklarda mekanik özelliklerinin EPDM ve NR ile karşılaştırılması.....	5
Çizelge 2.3 Silikon ve florosilikonun özellikleri	6
Çizelge 2.4. Peroksitlerin sınıfları, kimyasal yapıları, avantaj ve dezavantajları.....	10
Çizelge 2.5. Kür reaksiyonlarında kullanılan bazı ko-ajan çeşitleri	11
Çizelge 3.1 Kullanılan kimyasal malzemelerin kısaltmaları, kullanım amaçları ve molekül yapıları	16
Çizelge 4.1. Silikon elastomer karışımların hazırlanmasında kullanılan reçeteler.....	23
Çizelge 4.2. Silikon elastomer karışımların sıcaklık kontrollü preste pişme süreleri ve pişme sıcaklıkları	24
Çizelge 4.3. FVMQ-XXDBPH silikon elastomerlerin kür parametreleri	26
Çizelge 4.4. FVMQ-XXDCP silikon elastomerlerin kür parametreleri	30
Çizelge 4.5. FVMQ-XXDCLBP silikon elastomerlerin kür parametreleri	33
Çizelge 4.6. FVMQ-DBPH silikon elastomerlerinin mekanik özelliklerinin DBPH oranına bağlı olarak değişimi.....	34
Çizelge 4.7. FVMQ-XXDBPH silikon elastomerlerinin sertlik ve geri sekme test değerinin DBPH oranına bağlı olarak değişimi	35
Çizelge 4.8. FVMQ-XXDCP silikon elastomerlerinin mekanik özelliklerinin DCP oranına bağlı olarak değişimi.....	39
Çizelge 4.9. FVMQ-XXDCP silikon elastomerlerinin sertlik ve geri sekme özelliklerinin DCP oranına bağlı olarak değişimi.....	39
Çizelge 4.10. FVMQ-XXDBPH-0,5TAIC silikon elastomerlerin kür parametreleri.....	44
Çizelge 4.11. FVMQ-XXDCP-0,5TAIC silikon elastomerlerin kür parametreleri.....	48
Çizelge 4.12. Farklı oranlarda DBPH içeren FVMQ-XXDBPH-0,5TAIC elastomerlerinin mekanik özellikleri.....	51
Çizelge 4.13. Farklı oranlarda DBPH içeren FVMQ-XXDBPH-0,5TAIC elastomerlerinin sertlik ve geri sekme test değerleri.....	51
Çizelge 4.14. Farklı oranlarda DCP içeren FVMQ-XXDCP-0,5TAIC elastomerlerinin mekanik özellikleri.....	55

Çizelge 4.15. Farklı oranlarda DCP içeren FVMQ-XXDCP-0,5TAIC elastomerlerinin sertlik ve geri sekme test değerleri.....	55
--	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C	Santigrad
%	Yüzde
M _H	Reometre maksimum tork değeri
M _L	Reometre minimum tork değeri
t ₉₀	Maksimum tork değerinin %90'ına ulaşılması için geçen süre
t ₅₀	Maksimum tork değerinin %50'sine ulaşılması için geçen süre
ts ₂	Ön vulkanizasyon
Hz	Hertz
Mm	Milimetre
T	Sıcaklık
MPa	Mega paskal

Kısaltmalar

FVMQ	Floro vinil metil silikon kauçuk
DBPH	2,5-dimetil-2,5-di(tersiyer-bütülperoksi) hekzan
DCP	Dikünil peroksit
DCLBP	di-2,4-diklorobenzoil peroksit
TAIC	Triilil izosiyanürat
MDR	Hareketli kalıp reometresi
Q	Silikon kauçuk
NR	Doğal kauçuk
NBR	Akrilonitril-bütadien kauçuk
BR	Bütadien kauçuk
SBR	Stiren-bütadien kauçuk
EPDM	Etilen propilen dien kauçuk
RTV	Room Temperature Vulcanization
HTV	High Temperature Vulcanization

Kısaltmalar

KHI	Kür hızı indeksi
KD	Kür derecesi
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu

1. GİRİŞ

Silikonlar, kullanım alanı gün geçtikçe artmaya devam eden çalışma sıcaklık aralığının genişliği, üstün kimyasal direnci ve mükemmel elektrik yalıtımı ile savunma-havacılık, otomotiv, elektrik-elektronik ve enerji gibi farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım yerlerine bağlı olarak üretim süreçlerinde kullanılan peroksitin tipi, peroksitin oranı, ko-ajan ve dolgu maddeleri silikon elastomerlerin kürleşme hızı, çapraz bağ yoğunluğu, sertlik ve çekme-uzama gibi birçok özelliğine etki etmektedir. Üretim süreçlerinde hamurun reolojik ve mekanik özelliklerini etkileyen diğer önemli noktalar ise pışme sıcaklığı ve pışme süresidir.

İstenilen malzeme özelliklerinin elde edilmesi için kür sıcaklığı, kür süresi, peroksit miktarı, peroksit tipi ve ko-ajan tipi gibi değişkenlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan silikon elastomer olarak floro vinil metil silikon (FVMQ), peroksit olarak ise 2,5-dimetil-2,5-di(tersiyer-butilperoksi) hekzan (DBPH), dikümil peroksit (DCP), di-2,4-diklorobenzoil peroksit (DCLBP) ve ko-ajan olarak Tip II trietil izosiyanat (TAIC) kullanılmıştır. Ko-ajanlar karışımlarda genel olarak çapraz bağlayıcının etkinliğini ve çapraz bağ sayısını artırmaktadırlar. Kür hızı ve kür süresi üzerinde de oldukça önemli bir etkiye sahip katkı maddesidirler. Kürleşme üzerinde gösterdikleri etkiye göre Tip I ve Tip II olarak iki gruba ayrılırlar. Tip I ko-ajanlar kür hızı ve çapraz bağlanmayı artırmaktadır. Tip II ko-ajanlar ise çapraz bağlanmayı artırmaktadırlar.

Tez çalışmasında kullanılacak karışımları hazırlama sırasında peroksit tipi ve peroksit miktarı değiştirilirken TAIC ve kalıp ayırıcı miktarı ise sabit tutulmuştur. Bu doğrultuda silikon elastomerlerin farklı tip ve miktardaki peroksit ve ko-ajan kullanımının kürleşme üzerindeki değişimi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Karışımlar 160°C, 170°C ve 180°C sıcaklıklarda hareketli kalıp reometresi (MDR) ile kürleştirilerek silikon elastomerlerin kür parametreleri incelendikten sonra optimum kür koşulları ve kür sıcaklığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Mekanik özelliklerin belirlenmesi için sıcaklık kontrollü preste plaka ve diskler hazırlanmıştır. Evrensel test cihazı, Shore A sertlik ölçüm cihazı ve geri sekme test

cihazı kullanılarak gerilim-gerinim, sıkıştırma, sertlik ve geri sekme testleri gerçekleştirilmiştir.

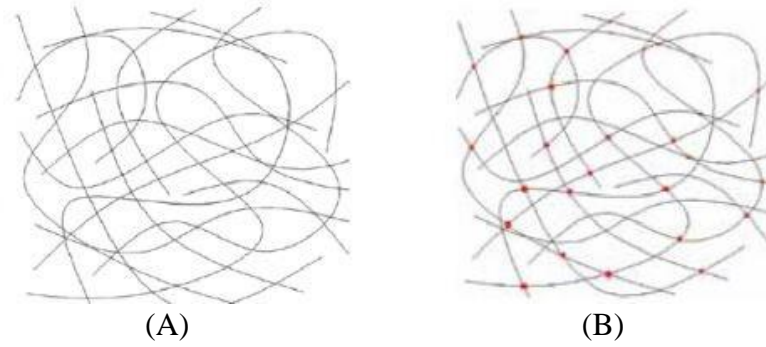
Bu tez kapsamında peroksit tipinin, peroksit miktarının ve ko-ajan miktarının silikon elastomerin reolojik ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş farklı kür süresi ve kür sıcaklığında mekanik özelliklerde florosilikon elastomerlerin nasıl hazırlanacağı belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Elastomerler

Elastomerler, çekme ve basma gibi kuvvetler altında şekil değişikliğine uğradıktan sonra kuvvetlerin etkisinin ortadan kalkması ile orijinal boyutlarına geri dönebilen malzemelerdir [1]. Elastomerlerin molekül arası bağ kuvvetleri zayıftır ve düşük elastik modüle sahip olmalarından dolayı yüksek oranda uzama gösterirler [2]. Elastikiyet yetenekleri uzun polimer zincirlerinin kendilerini yeniden yapılandırabilme özelliklerinden gelmektedir. Gelişmiş özellikleri ile geniş kullanım alanına sahip olduklarından otomotiv, savunma sanayi ve hidrolik sistemlerde kullanılabilirler.

Vulkanizasyon prosesi ile elastomer malzemelerin reolojik ve mekanik özelliklerinde iyileşme sağlanabilmektedir. Isı, basınç ve kürleştirici malzemeler ile gerçekleşen vulkanizasyon işleminde çapraz bağlı polimer zincirleri oluşmaktadır. Bu işlem sonrasında malzemelerin elastikiyetleri artmaktadır [1]. Dolgu ve katkı malzemeleri ile de mekanik özellikler üzerinde iyileşme yapılabilmektedirler.



Şekil 2.1. (A) Kürlenme öncesi ve (B) kürlenme sonrası çapraz bağlı zincir yapısı [1]

Endüstride kullanım alanlarına göre farklı elastomer malzemelerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu malzemeler,

- Silikon kauçuk (Q)
- Doğal kauçuk (NR)
- Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR)
- Bütadien kauçuk (BR)

- Stiren bütadien kauçuk (SBR)
- Etilen propilen dien kauçuk (EPDM)

Elastomerlerin kimyasallara karşı dirençleri, dış ortama karşı dayanıklı olmaları ve aşınma dirençlerinin yüksek olması diğer polimer karşı üstün özellikleridir [3]. Elastomerler termoset ve termoplastik elastomerler olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Termosetler ve elastomerler organik çözücüler ile çözünmezler ve ısı ile işleme yapıldığında yapılarında bozulma meydana gelmesinden dolayı tekrar işlenememektedir. Termoplastik elastomerler ise çözücülerde çözünebilirler ve ısı ile işleme yapıldığında tekrar kullanılabilirlerdir.

2.2. Silikon Kauçuk

Silikon kauçuk, II. Dünya Savaşı sırasında askeri malzemelerin üretiminde geniş sıcak aralığında kullanımı ve kolay işlenebilirliğinden dolayı tercih edilmiştir. İlerleyen yıllarda teknolojinin gelişimi ile malzeme üzerindeki çalışmalar devam ederek mekanik ve kimyasal özellikleri geliştirilmiştir [4]. Silikon kauçuklar vulkanizasyon tiplerine göre iki kısımda incelenmektedir:

- Yüksek sıcaklıkta vulkanize olanlar HTV (high temperature vulcanization),
- Oda sıcaklığında vulkanize olanlar RTV (room temperature vulcanization)

HTV'lerin vulkanizasyon sıcaklıkları 100 °C'nin üzerindedir. Kütleme sırasında katkı maddeleri kullanılacak ise kullanılan katkı malzemesi adetine göre adlandırma RTV-1 ve HTV-2 şeklinde olmaktadır. Silikon elastomerlerin yapısında hidrokarbonlar bulunmamaktadır. Silikon yapısını oluşturan siloksan bağlarının (-Si-O-Si-) bağlanma enerjisi 433 kJ/mol'dür ve 355 kJ/mol bağlanma enerjisine sahip olan karbon bağlarından (-C-C-) daha yüksektir. Bu nedenden dolayı silikon kauçuklar hidrokarbon içeren polimerlere göre daha iyi mekanik ve kimyasal özelliklere sahiptir [5]. Silikon elastomerler metil gruplarının farklı fonksiyonel gruplarla yer değiştirmesiyle sınıflandırılmaktadırlar [6].

Çizelge 2.1. Silikon elastomerlerin kısaltmaları ve kimyasal yapıları

Silikon Elastomer	Kısaltması	Kimyasal Yapı
Fenil-metil-polisiloksan	PMQ	C_6H_5
Fenil-vinil-metil-polisiloksan	PVMQ	$CH_2=CH-C_6H_5$
Fluro-metil-polisiloksan	FMQ	$CF_3CH_2CH_2$
Floro-vinil-metil-polisiloksan	FVMQ	$(CH_3)_3Si-(O-Si(CH_3)(CH_2CH_2CF_3))_n-OSi(CH_3)_3$

Silikon kauçukların diğer polimerlere göre üstün özellikleri şunlardır,

- Geniş sıcaklık aralığında kullanımı (-55 °C ve 250 °C)
- Kolay işlenebilirlik
- İyi mekanik özellikleri
- Esnek ve şeffaf olması
- Elektrik yalıtkanlığıdır [7].

Kauçuklar elastomer malzemeler grubunda yer alır ve doğal ve sentetik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Çizelge 2.2.'de silikon kauçuğun farklı sıcaklıklardaki mekanik özelliklerinin doğal kauçuk ve etilen propilen dien kauçuğu ile karşılaştırılması verilmiştir [7].

Çizelge 2.2. Silikon kauçuğun farklı sıcaklıklarda mekanik özelliklerinin EPDM ve NR ile karşılaştırılması [7]

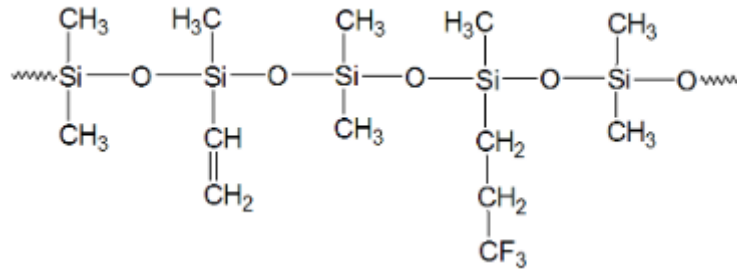
Sıcaklık	Mekanik Özellik	Silikon Kauçuk (SR)	Doğal Kauçuk (NR)	Etilen Propilen Dien Kauçuk (EPDM)
25 °C	Yırtılma Direnci (N/mm)	22	42	17
	Kopmadaki Uzama (%)	720	610	670
	Kopma Dayanımı (MPa)	9,6	15,2	15,4
100 °C	Yırtılma Direnci (N/mm)	17	15	-
	Kopmadaki Uzama (%)	530	330	270
	Kopma Dayanımı (MPa)	8,5	9,4	9,8
150 °C	Yırtılma Direnci (N/mm)	11	10	-
	Kopmadaki Uzama (%)	490	210	200
	Kopma Dayanımı (MPa)	7,6	5	5

2.3. Florosilikon Kauçuk

Florosilikonlar, 1960'larda, dimetilsilikonlar ve fenilmetil silikonların bir uzantısı olarak geliştirilmiştir. Otomotiv ve havacılık sektöründe üstün mekanik özelliklere sahip daha yüksek performanslı malzemelere ihtiyaç arttıkça florosilikonların önemi de artmaya başlamıştır. Florosilikonlar düşük yüzey gerilimi, yağ ve solvent direnci, termal kararlılık, yüksek sıcaklıkta bozulmama ve oksidasyona karşı dirençleri ile ön plana çıkmaktadır Silikonların çoğundan daha iyi çözücü ve glikol gibi agresif kimyasallara karşı güçlü dirence sahiptirler [8,9].

Florosilikon ayrıca -50°C ile 300°C arasındaki geniş servis kullanım sıcaklık aralığı ile otomotiv endüstrisinde conta olarak kullanılmaktadır [10].

Florosilikonun genel yapısı,



Şekil 2.2. Floro vinil metil silikon kauçuk yapısı [11]

Kürleştirilmemiş florosilikon amorf yapıdadır genel amaçlı silikon kauçuk ise yarı kristalin bir yapıya sahiptir. Silikon ve florosilikonun özellikleri Çizelge 2.3.'de gösterilmiştir [12].

Çizelge 2.3 Silikon ve florosilikonun özellikleri

Polimer	Mn (kg/mol)	Mw (kg/mol)	%mol vinil grup	T _g °C	T _c °C	T _f °C
Silikon	380	600	0,22	-126	90/-84	46/-41
Florosilikon	63	434	1	-70	-	-

2.4. Silikon Kauçukların Endüstriyel Uygulamaları

Silikonlar yüksek sıcaklık kararlılığı, yaşlanma direnci ve ultraviyole radyasyon direnci gibi üstün özelliklere sahip olmasından dolayı farklı alanlarda kullanılabilmektedirler. Bu sektörler,

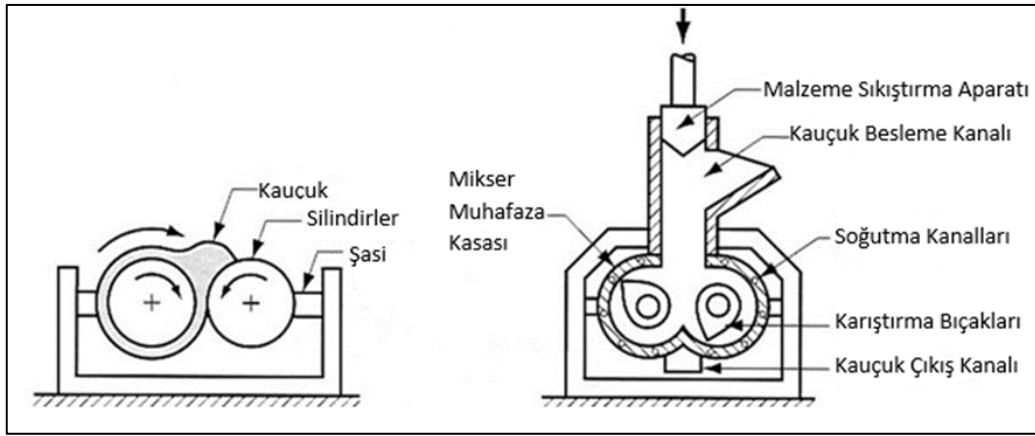
- Kişisel bakım ürünleri,
- Enerji,
- Savunma ve havacılık,
- Elektrik ve elektronik
- Spor malzemeleri ve giyimdir.

Kişisel bakım ürünlerinde kullanılan silikonlar, deodorantların ve ter önleyicilerin yapışkan hissini azaltmaktadırlar.

Enerji sektöründe güneş panellerinin ve fotovoltaik cihazların verimliliğini, dayanıklılığını ve performansını iyileştirerek onları daha uygun maliyetli hale getirir. Silikonlar güneşe yıllarca dayanabildikleri için güneş paneli ve fotovoltaik uygulamalar için ideal malzemelerdir. Elektronik bilgisayarların, mobil elektronik cihazların ve ev eğlence ekipmanlarının birçok bileşeni gibi sağlam, dayanıklı silikonlardan yapılmıştır. Silikonlar ayrıca LED aydınlatma teknolojisinin etkinleştirilmesinde önemli bir rol oynar. Silikonların yüksek termal kararlılığı ve mükemmel dielektrik özellikleri, çeşitli elektrik iletim uygulamalarında kullanımında önemli rol oynamaktadır. Havacılık ve savunma alanında silikonlar aşırı gerilime ve aşırı sıcaklıklara dayanabildiklerinden, uçak kapıları, pencereleri, kanatları, yakıt depoları ve motor contalarında kullanılmaktadırlar. Savunma sanayisinin son yıllarda Türkiye’de gelişmesi ile daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı jet motoru tasarımı yapılması ihtiyacı doğmuştur. Burada florosilikonları diğer silikon türlerinden ayıran nokta ise yüksek sıcaklıklara dayanımı olarak ön plana çıkmaktadır. Spor malzemeleri ve giyim sektöründe ise gözlüklerdeki ve dalış maskelerinde suyu sızdırmazlığında önemli rol oynamaktadır. Hafif, dayanıklı ve su itici özelliği ile de yüksek performanslı spor giyim ekipmanlarının tasarlanmasına olanak sağlamaktadır [13,14].

2.5. Silikon Elastomer Hamurların Hazırlanması

Silikon elastomer hamurlar kullanım yerine göre istenilen performansı sağlayabilecek şekilde çok farklı kimyasal malzemeler kullanılarak hazırlanabilmektedir. Bu amaç doğrultusunda dolgu maddeleri, peroksitler ve ko-ajanlar gibi bileşenler kullanılmaktadır. Karışımların hazırlanmasında açık sistem olarak bilinen çift silindirli mil (two roll mill) ya da kapalı sistemler olarak bilinen mikserler (internal mixer) kullanılmaktadır. Çift silindirli mil kullanılarak daha yüksek miktarda hamur karışımları hazırlanabilir. Mikser sisteminin avantajı karışımların daha homojen yapıda olmasıdır. Sistem Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Çift silindirli mikser sistemleri

Karışım hazırlanması sırasında kauçuğa eklenen bazı kimyasal malzemeler,

- Peroksitler
- Ko-ajanlar
- Kalıp Ayrıcılar
- Yaşlanma Önleyici Malzemeler
- Renklendiricilerdir.

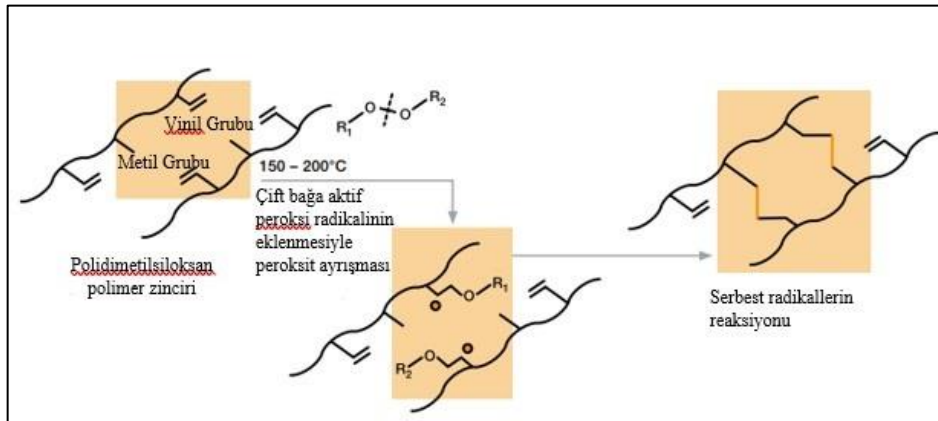
2.5.1. Çapraz Bağlayıcılar

Vulkanizasyon ilk olarak 1839 yılında Charles Goodyear tarafından keşfedildi. Goodyear aslında kumaş parçası üzerinde kauçuk-kükürt bileşiğinin etkilerini araştırıyordu ancak evinde kumaş soba ile temas halinde bıraktı ve sonuçları ile farklı etkileri gördü. 1844 yılında ise vulkanizasyonun patentini aldı [15].

Vulkanizasyon işlemi kauçukların mekanik özelliklerini geliştirmek, çözeltilere karşı dayanımını artırarak nihai ürün performansını geliştirmek için uygulanan işlemdir. Kimyasal reaksiyon ısı varlığında peroksitler, kükürt ve organik reçineler gibi vulkanizatlar ile gerçekleşmektedir. Vulkanizasyon öncesinde kauçuklar viskoz yapıda bulunurken kimyasal reaksiyon sonrasında ise üç boyutlu elastik ağ yapıya sahip olur [16-18]. Vulkanizasyon süresi uzadıkça kauçukların sürünme dayanımı, çekme uzamaları ve mukavemetleri artmaktadır. Kauçukların darbe dayanımlarının ve çekme uzamalarının yüksek olması için vulkanizasyon süresi oldukça önemlidir [19].

Kauçuk karışımlarına peroksit kürleşmesi ve platinum ile kürleşmesi olarak temel iki tür proses uygulanmaktadır. Kürleşme sırasında peroksit kullanıldığında kauçuk malzemeler daha sağlam olurken platinum kürleşmesinde ise yapı daha esnek olmaktadır [20].

Peroksit kürleşmesi ile ilgili tepkime Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Silikon elastomerinin peroksit ile çapraz bağlanması [21]

Vulkanizasyon, kauçuk ya da elastomerlerin belirli sıcaklık, zaman ve basınç altında gerçekleştirilen prostedir. Peroksitlerin kürleştirilmesi veya vulkanizasyonu sırasında oluşan C-C bağları diğer kauçuklarda kullanılan kükürt vulkanizasyonu sırasında oluşan S-S bağlarına göre daha kuvvetli yapıya sahiptir.

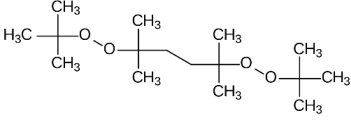
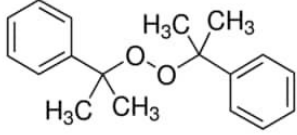
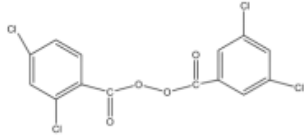
DBPH’ın termal olarak bölünmesi sırasında 4 aktif radikal grup oluşuyorken DCP’de ise 2 aktif radikal grup oluşmaktadır. Bu durumda çapraz bağlanma için gerekli olan ana zincir üzerindeki radikal grup sayısı daha fazladır.

Peroksit vulkanizasyonu sonrasında elastomerlerin avantajları [22],

- Üstün elektriksel özellikler,
- Geniş sıcaklık aralığında kullanım,
- Yağ ve kimyasallara karşı üstün direnç,
- Isıl yaşlanmaya karşı dayanıklılıktır.

Silikon hazırlanması sırasında kullanılan bazı peroksit çeşitlerinin yapıları, avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Peroksitlerin sınıfları, kimyasal yapıları, avantaj ve dezavantajları

Kısaltma	Sınıfı	Kimyasal Yapı	Avantaj	Dezavantaj
DBPH	Dialkil		Kokusuz ve renk bozulması olmaz	Kür verimsizliği ve yüksek maliyet
DCP	Dialkil		Kür verimi yüksek ve düşük maliyetli	Dış ortama yaydığı koku
DCBP	Diaçil		Hızlı kürleşme	Karbon siyahı kullanılan sistemlerde düşük kür verimi

Kauçuklarda üç boyutlu ağ yapısının oluşumu elastomerik özellik kazanabilmeleri açısından oldukça önemlidir. Çapraz bağlanma işlemi malzemenin mekanik ve reolojik özelliklerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Çapraz bağ yapmamış elastomerler deformasyona karşı dirençlerini koruyamamaktadırlar.

Elastomer malzemelerde deformasyon karşı direncin sağlanması çapraz bağ işlemi ile yapılmaktadır.

2.5.2. Ko-ajanlar

Ko-ajanlar krleme hzn artırmak, vulkanizasyon srasndaki sıcaklığı düşürme ve çapraz bağ yoğunluğunu sağlamak amacıyla kullanılan kimyasal malzemelerdir [23-25]. Ko-ajanlar reaksiyon sırasında kr kinetiğine etki ederek reoloji ve mekanik özellikleri etkileyebilir. ko-ajanların çapraz bağlanma etkinliğini önemli ölçüde artrmasnn temel nedeni literatürde elastomer zincirleri arasında köprü oluşturmak kaydıyla ekstra çapraz bağlar oluşmasına olanak sağlaması olarak belirtilmiştir [26-29].

Ko-ajanlar vulkanizasyona etkilerine göre Tip I ve Tip II olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Tip I ko-ajanlar düşük molekül ağırlığına sahip ve çok fonksiyonlu yapılarıdır. Çapraz bağlanma saysn artrrlar ve polardrlar.

Yapılarında akrilat, metakrilat, metakrilat ester ve dimelaimidler içermektedir. Tip II ko-ajanlar ise daha düşük reaksiyon aktivitesine sahip olup çapraz bağların saysn artrmaktadırlar. Tip I ko-ajanlar Tip II ko-ajanalara göre daha düşük molekül ağırlığına sahiptir ve daha polar olmaları nedeniyle çapraz bağlanmasnn balama süresi genel olarak daha kısa sreye sahiptir. [30].

Yapılarında allil grubu, siyanrat, ve izosiyanürat grupları bulunmaktadır. Krleme reaksiyonlarında kullanılan bazı ko-ajanlar izelge 2.5.'de gösterilmiştir [31].

Çizelge 2.5. Kr reaksiyonlarında kullanılan bazı ko-ajan eitleri

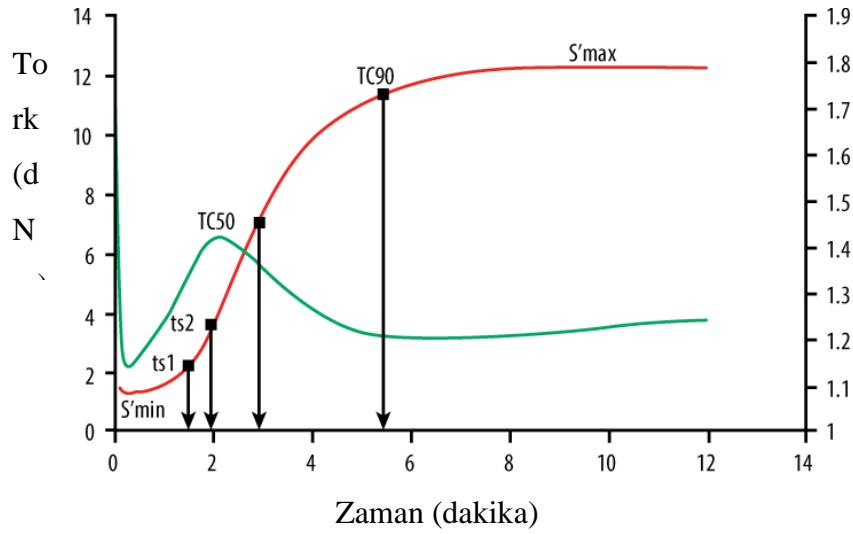
Ko-ajan İsmi	Kısaltma	Tipi
Triallil izosiyanürat	TAIC	Tip II
Triallil siyanrat	TAC	Tip II
Çinko diakrilat	ZDA	Tip I
Çinko dimetakrilat	ZDMA	Tip I

2.5.3. Kalıp Ayırıcı

Kalıp ayırıcılar, elastomerlerin krleme sonrasında kalıptan kolaylıkla ayrılmasn sağlayan kimyasal malzemelerdir. Kalıp ayırıcı kullanımı ile kalıptan ayrılma süresi kısaltılarak zaman kayplarnn önüne geçilmektedir. Karışımların içerisine eklenebildiği gibi kalıp yüzeyine de uygulanabilmektedirler.

2.6. Reolojik Özelliklerin Analizi

Reolojik özelliklerin analizi kauçukların vulkanizasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Hareketli kalıp reometresi (MDR) hamur karışımlarının sabit basınç ve sıcaklık altında akış davranışlarını incelemektedir. Makine sabit ve hareketli olmak üzere 2 farklı diskten oluşmaktadır. Vulkanizasyon işlemi sırasında kalıbın hareketine devam edebilmesi için tork değeri artmaktadır. Tork değeri değişiminin zamana bağlı değişiminin grafiği çizilerek reolojik özelliklerin parametreleri elde edilir. Örnek reometre eğrisi Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Örnek reometre eğrisi [32]

Bir reometre eğrisinden kauçuk hamurun pişmesine ait birçok parametre elde edilmektedir. En yüksek tork değeri M_H ve en düşük tork değeri (M_L) olarak gösterilmektedir. (M_L) ve (M_H) değerlerinin arasındaki ve sürekli tork artışının olduğu bölge ise çapraz bağlanma bölgesi olarak adlandırılmaktadır. (t_{90}) olarak gösterilen nokta çapraz bağlanmanın %90'nın tamamlandığı süreyi ifade etmektedir. (t_{50}) süresi ise çapraz bağlanmanın %50'sinin tamamlandığı süreyi göstermektedir. Çapraz bağlanma bölgesindeki en önemli noktalardan biri de (ts_2)'dir (M_L) değerinden 2 Mooney birimi daha yüksek tork değerine ulaşmak için başlangıç zamanından itibaren geçen toplam zamanı gösterir [33,34]. Kür hızı indeksi (CRI) ve kür derecesi Eşitlik 2.1 ve 2.2'de gösterilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{Kür Hızı İndeksi (KHI)} = 100 / (t_{90} - t_{s2}) \quad (\text{Eşitlik 2.1})$$

$$\text{Kür Derecesi (KD)} = M_H - M_L \quad (\text{Eşitlik 2.2})$$

2.7. Mekanik Özelliklerin Analizi

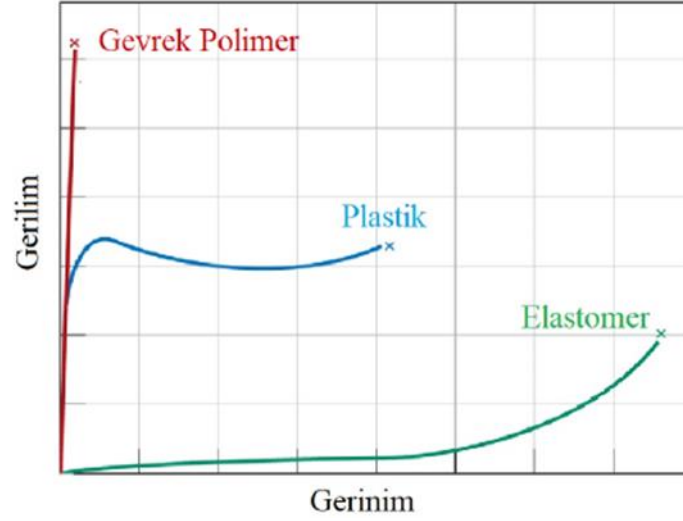
Polimerler malzemelerin son yıllarda kullanımlarının artması ile nihai ürün özelliklerinin sürekli olarak geliştirilmesi hem performans hem de maliyet açısından oldukça önemlidir. Birçok uygulamada seramik ve metallere karşı gösterdikleri üstün özellikleri ile endüstriyel alanda önemli rol oynamaktadırlar. Mekanik özelliklerinin belirlenmesi için polimer malzemelere farklı test metodları uygulanmaktadır.

Mekanik özellikler polimerlerin mikroyapı ve morfolojileri ile ilgilidir. American Society for Testing and Materials (ASTM) tarafından standart olarak yayınlanan bazı mekanik testler,

- Sürünme testleri
- Gerilme-durulma testleri
- Gerilme-uzama testleri
- Dinamik mekanik testler

Çekme testi ASTM standartlarına göre hazırlanmış numunenin belirlenen sabit hız ile deformasyon altındaki gerilimdeki değişimin deformasyona karşı ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Test sonucunda elastik modül, kopma dayanımı ve kopmadaki uzama gibi parametreler elde edilmektedir. Çekme testi ile gerilim-gerinim eğrileri elde edilerek malzemenin karakteri hakkında bilgiler elde edilmektedir [35]. Test sonucundaki gerilim-gerinim eğrileri numune boyutlarından bağımsızdır ve eğri altındaki alan malzemenin kopması için gerekli olan enerji ile orantılı olarak değişmektedir. Elastomerlere gerilim uygulandığı zaman elastik özellik sergilemektedir. Malzeme üzerindeki yük kaldırıldığında eski haline geri dönerler [36,37].

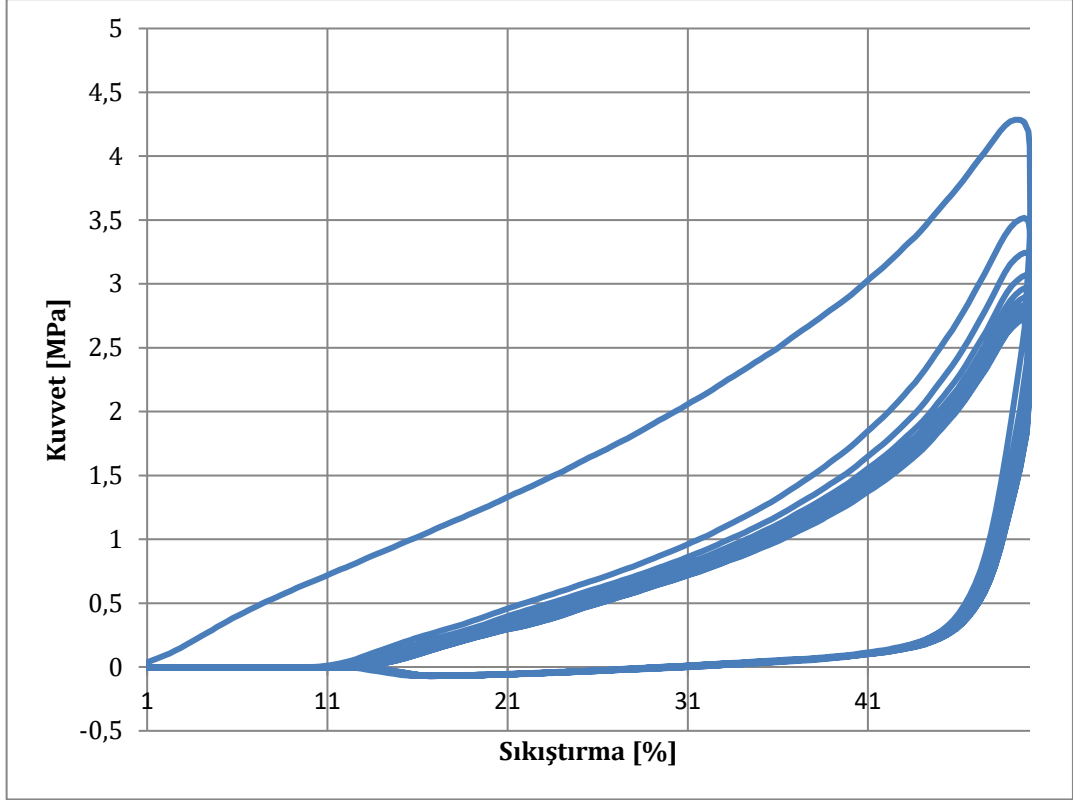
Polimer malzemeler için genel bir çekme testi grafikleri Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.6. Polimer malzemeler için genel bir çekme test grafiği

Polimer malzemelere uygulanan döngüsel deformasyon boyunca malzeme üzerindeki en önemli etki gerilim durulma ya da diğer adıyla Mullins etkisi olarak bilinmektedir. Deney esnasında malzemeye uygulanan kuvvet 1. döngüden son döngüye kadar azalma eğilimi göstermektedir [38]. Mullins Etkisi Şekil 2.6’da verilmiştir. Buna göre 1. Döngü sonrasında oluşan diğer döngülerin sahip oldukları alanlar daha küçüktür.

Literatürde gerinim yumuşaması olarak bilinen bu durumun oluşma nedeni ilk döngü sonunda polimer malzeme yapısındaki zincir aralıklarının birbirinden uzaklaşması sonucunda gerinim değerinin azalmasıdır [39].



Şekil 2.7. Sıkıştırma-kuvvet eğrisi üzerindeki Mullins Etkisi gösterimi

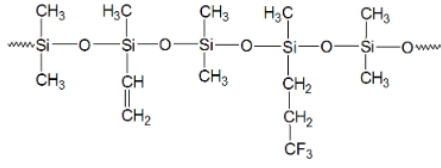
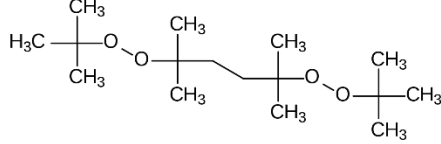
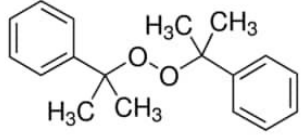
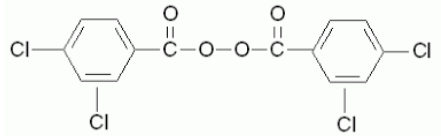
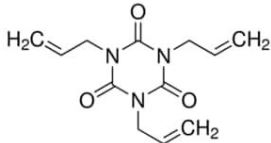
Malzemelerin sürtünme, çizilme veya plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu direnç sertlik olarak adlandırılmaktadır. Sertlik testi malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde oldukça önemli bir test yöntemidir. Test sırasında konik veya küresel bir uç malzeme üzerine batırılarak deformasyon oluşturulur. Malzeme üzerinde bu uçların oluşturduğu bu iz sertlik değeri ile ters orantılıdır. İz büyük ise malzemenin sertlik değeri düşük, oluşan iz küçük ise malzemenin sertlik değerinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır [40].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Tez kapsamında kullanılan floro vinil metil silikon kauçuğu (FVMQ) Başoğlu Kablo Firmasından temin edilmiştir. Momentive Performance Material firmasının FSE 7360 kodlu ürünü kullanılmıştır. [41]. Ko-ajan olarak kullanılan triallil izosiyanürat (TAIC) Sigma-Aldrich (Amerika), çapraz bağlayıcı olarak trigonax 101-45S ürün kodlu peroksit içeriği %44-46 olan 2,5-dimetil-2,5-di(terciyer-butilperoksi) hekzan (DBPH) Akzo Nobel (Hollanda), Dikünil peroksit (DCP) SolPro (Türkiye) ve di(2,4-diklorobenzoil) peroksit (DCLBP) Başoğlu Kablo Firmasından temin edilmiştir. Hamur karışımlarının tork reometre kalıbından ayrılması için kullanılan kalıp ayırıcı ise SolPro (Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Kullanılan kimyasalların malzemelerin adı, kullanım amacı, kısaltmaları ve moleküler yapıları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan kimyasal malzemelerin kısaltmaları, kullanım amaçları ve moleküler yapıları

Kimyasal Adı	Kısaltma	Kullanım Amacı	Moleküler Yapı
Floro vinil metil silikon kauçuk	FVQM	Elastomer	
2,5-Dimetil-2,5-di(terciyer-butilperoksi) hekzan	DBPH	Peroksit	
Dikünil peroksit	DCP	Peroksit	
Diklorobenzoil peroksit	DCLBP	Peroksit	
Triallil izosiyanürat	TAIC	Ko-Ajan	

3.2. Kullanılan Test Cihazları

3.2.1. Tork Reometre

Hamur karışımlarının hazırlanmasında Thermo HAAKE Rheomix Tork Reometre mikser kullanılmıştır. Karıştırıcı sistemin görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tork reometre

Mikser maksimum 350°C sıcaklık ve 160 Nm tork değerinde çalışabilmektedir. Roller, cam, sigma ve banbury tipi bıçaklar ile hamur karışımları hazırlanabilmektedir. Bıçakların maksimum dönme hızı maksimum 250 rpm’dir. Tez çalışması kapsamında kullanılan banbury tip bıçaklar Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Banbury tipi bıçak

3.2.2. Hareketli Kalıp Reometre

Silikon elastomer karışımların kürleşme özelliklerinin incelenmesinde Alpha Technologies MDR 2000B (Hareketli Kalıp Reometre) sistemi kullanılmıştır. Bu cihaz 1,667 Hz frekans ve 0,5° gerilme açısı ile izotermal olarak kauçuk hamurların reolojik özelliklerini inceleyebilmektedir. Hazırlanan tüm karışımları 160°C, 170 °C ve 180 °C’de 30 dakika kürleştirilerek reolojik özellikleri incelenmiştir. Cihazın görüntüsü Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Alpha Technologies MDR 2000B hareketli kalıp reometre

3.2.3. Sıcaklık Kontrollü Hidrolik Pres

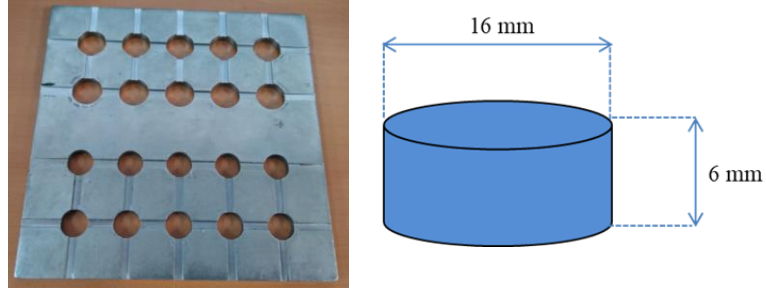
Hamur karışımlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi için numune hazırlanmasında Brabender Polystat-200T sıcaklık kontrollü hidrolik pres sistemi kullanılmıştır. Cihazın görüntüsü Şekil 3.4’de verilmiştir.



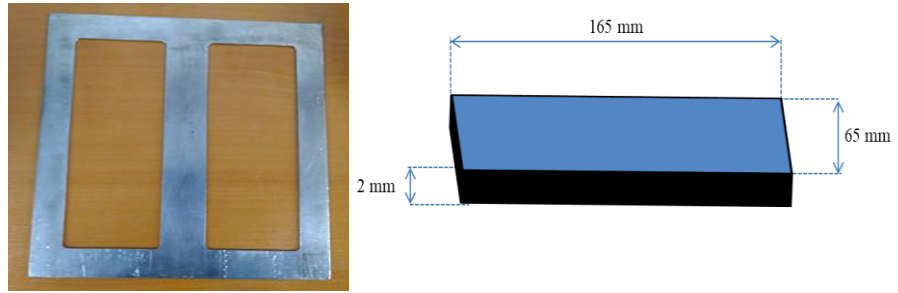
Şekil 3.4. Brabender Polystat-200T sıcaklık kontrollü pres

Cihazın alt ve üst plaka sıcaklığı 1 °C duyarlılıkta kontrol edilebilmektedir. Tüm silikon elastomer karışımlarının test plakaları, diskleri ve geri sekme test numunelerinin hazırlanma süreleri ve sıcaklıkları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

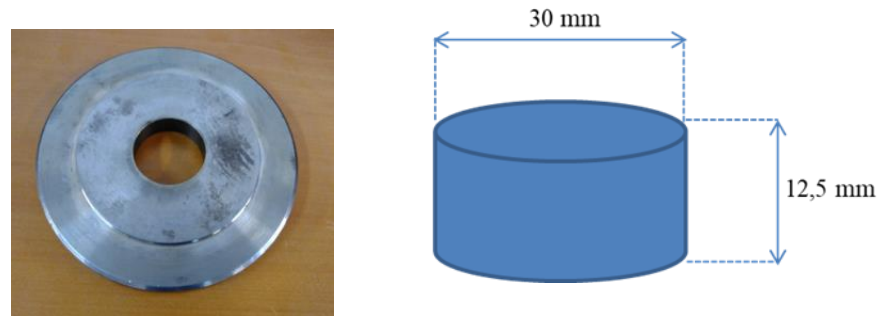
Hamurların mekanik özelliklerinin incelenmesinde kullanılan numune hazırlama plakaları Şekil 3.5- Şekil 3.7’de verilmiştir



Şekil 3.5. Basma ve sertlik testleri numunesi hazırlama plakası



Şekil 3.6. Çekme testi numunesi hazırlama plakası



Şekil 3.7. Geri sekme testi numunesi hazırlama plakası

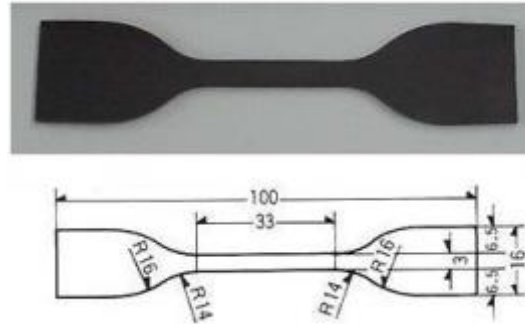
3.2.4. Kesme Presi

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılacak olan numuneler Zwick ZC020 kesme presinde hazırlanmıştır. Kesme presi cihazı Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Zwick ZC020 kesme presi

Elastomer karışımları yaklaşık olarak 2 mm kalınlıkta olacak şekilde belirli sıcaklık ve basınç altında pişirildikten sonra ASTM D412 Tip standardında kesilmiştir. Numune örneği Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. ASTM D412 tip numune örneği

3.2.5. Mekanik Test Cihazı

Test çalışmaları kapsamında numunelerin gerinim-gerilim ve enerji sönümlenme kapasitelerinin incelenmesinde Zwick Z010 evrensel test cihazı kullanılarak ASTM D412 standardına göre yapılmıştır [42]. Cihazın görüntüsü ve basma testi aparatı Şekil 3.9-10’da verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar % sıkıştırmadaki kuvvet ve her bir döngüdeki enerji emilim miktarı (mJ/cm^3) hamur karışımları birbirleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.10. Zwick ZC010 evrensel test cihazı



Şekil 3.11. ZC010 evrensel test cihazı basma test aparatı

3.2.6. Sertlik Ölçüm Cihazı

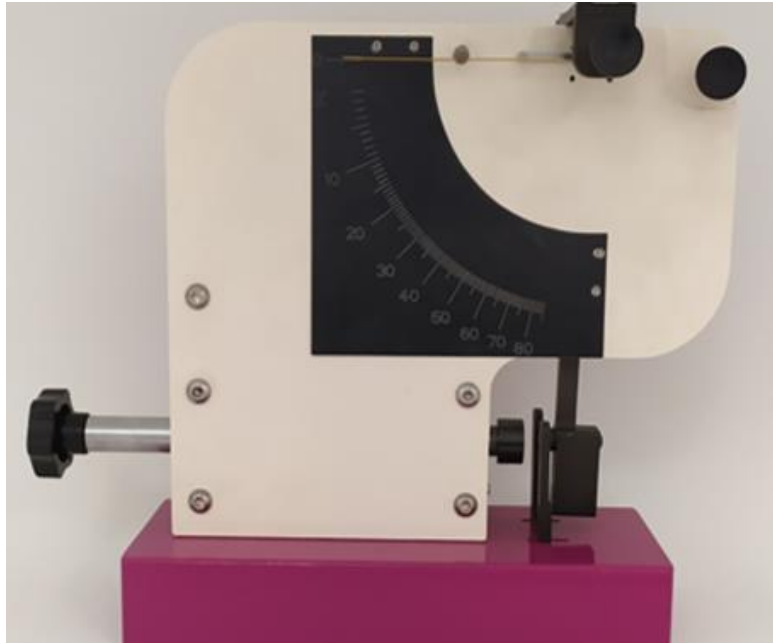
Silikon elastomer karışımlarının sertlikleri ASTM 2240 standardına göre Shore A olarak ölçülmüştür. Cihazın görüntüsü Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Sertlik ölçüm cihazı

3.2.7. Geri Sekme Cihazı

Hazırlanan elastomerlerin oda sıcaklığında geri sekme davranışlarını incelemek için Hacettepe Üniversitesi Polimer Bilimi ve Teknolojisi Ana Bilim Dalında yüksek lisans tezi çalışması kapsamında tasarımı yapılan geri sekme test cihazı kullanılmıştır. Cihazın görüntüsü Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13. Geri sekme test cihazı

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasının temel amacı floro silikonun (FVMQ) pişme ve mekanik özelliklerine etki eden parametrelerin incelenmesidir. Bu kapsamda aşağıda belirtilen konular üzerine çalışmalar yapılmıştır.

- i) KÜRLEŞTİRİCİ ajan olarak kullanılan peroksit tipinin ve peroksit oranının FVMQ elastomerinin pişme ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması.
- ii) Hamur reçetelerinde ko-ajan olarak kullanılan TAIC varlığının FVMQ elastomerinin pişme ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması.

4.1. Silikon Hamurların Hazırlanması

Hamur karışımları Çizelge 4.1’de belirtilen reçetelerdeki phr (per hundred rubber) göre hazırlanmıştır. Kullanılan peroksitler karışımlarda 0,5 phr, 0,8 phr ve 1,2 phr olarak 3 farklı oranda kullanılmıştır [43]. Karışımlarda peroksitlerle ko-ajan olarak TAIC kullanılmıştır [5-38,39]. TAIC ve kalıp ayırıcı ise tüm hamur karışımlarda sabit miktarda sırası ile 0,5 ve 1,25 phr’larda eklenmiştir.

Çizelge 4.1. Silikon elastomer karışımların hazırlanmasında kullanılan reçeteler

Karışım No	Karışım Adı	FVMQ	DBPH	DCP	DCLBP	TAIC	Kalıp Ayırıcı
1	0.5DBPH	100	0,5	–	–	–	1,25
2	0.8DBPH	100	0,8	–	–	–	1,25
3	1.2DBPH	100	1,2	–	–	–	1,25
4	0.5DBPHTAIC0.5	100	0,5	–	–	0,5	1,25
5	0.8DBPHTAIC0.5	100	0,8	–	–	0,5	1,25
6	1.2DBPHTAIC0.5	100	1,2	–	–	0,5	1,25
7	0.5DCP	100	–	0,5	–	–	1,25
8	0.8DCP	100	–	0,8	–	–	1,25
9	1.2DCP	100	–	1,2	–	–	1,25
10	0.5DCPTAIC0.5	100	–	0,5	–	0,5	1,25
11	0.8DCPTAIC0.5	100	–	0,8	–	0,5	1,25
12	1.2DCPTAIC0.5	100	–	1,2	–	0,5	1,25
13	0.5DCLBP	100	–	–	0,5	–	1,25
14	0.8DCLBP	100	–	–	0,8	–	1,25
15	1.2 DCLBP	100	–	–	1,2	–	1,25

Peroksit çeşidi ve miktarının kauçuğun reolojik ve mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla DBPH, DCP, DCLBP ve TAIC kullanılarak hazırlanan karışımlar tork reometrede 25°C, 20 dakikada ve 50 rpm’de hazırlanmıştır [5,38,39].

Hamurların pişirilmesinde kullanılan kimyasal malzemelerin pişme sıcaklıkları ve pişme süreleri malzemelerin katalog bilgileri ve literatür verilerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Hamur karışımlarının kürleşme özelliklerinin incelenmesi amacıyla hareketli kalıp reometre kullanılarak 160°C, 170°C ve 180°C’de 30 dakika pişme süresinde tork-zaman eğrileri elde edilmiştir. Kürleşme süresinin ve sıcaklığının seçilmesinde malzemelerin katalog bilgilerinde yer alan bilgilerden yararlanılmıştır [44].

Mekanik özelliklerin incelenmesi için test numuneleri sıcaklık kontrollü hidrolik preste hazırlanmıştır. Silikon elastomer karışımların pişme süreleri ve sıcaklıkları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

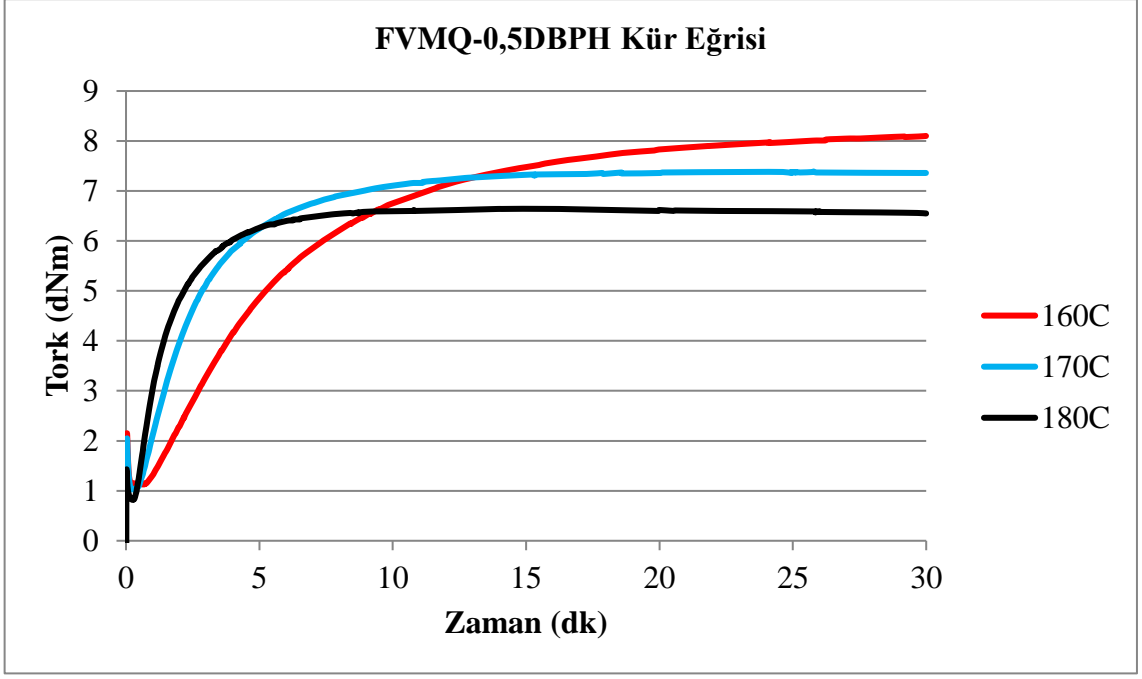
Çizelge 4.2. Silikon elastomer karışımların sıcaklık kontrollü preste pişme süreleri ve pişme sıcaklıkları [44].

Karışım Adı	Çekme Testi		Basma Testi		Geri Sekme Testi		Basınç Bar
	Sıcaklık (°C)	Pişme Süresi (dk)	Sıcaklık (°C)	Pişme Süresi (dk)	Sıcaklık (°C)	Pişme Süresi (dk)	
FVMQ-DBPH	180	11	180	14	180	15	200
FVMQ-DBPH- TAIC	180	11	180	14	180	15	200
FVMQ-DCP	170	19	170	23	170	26	200
FVMQ-DCP- TAIC	170	19	170	23	170	26	200

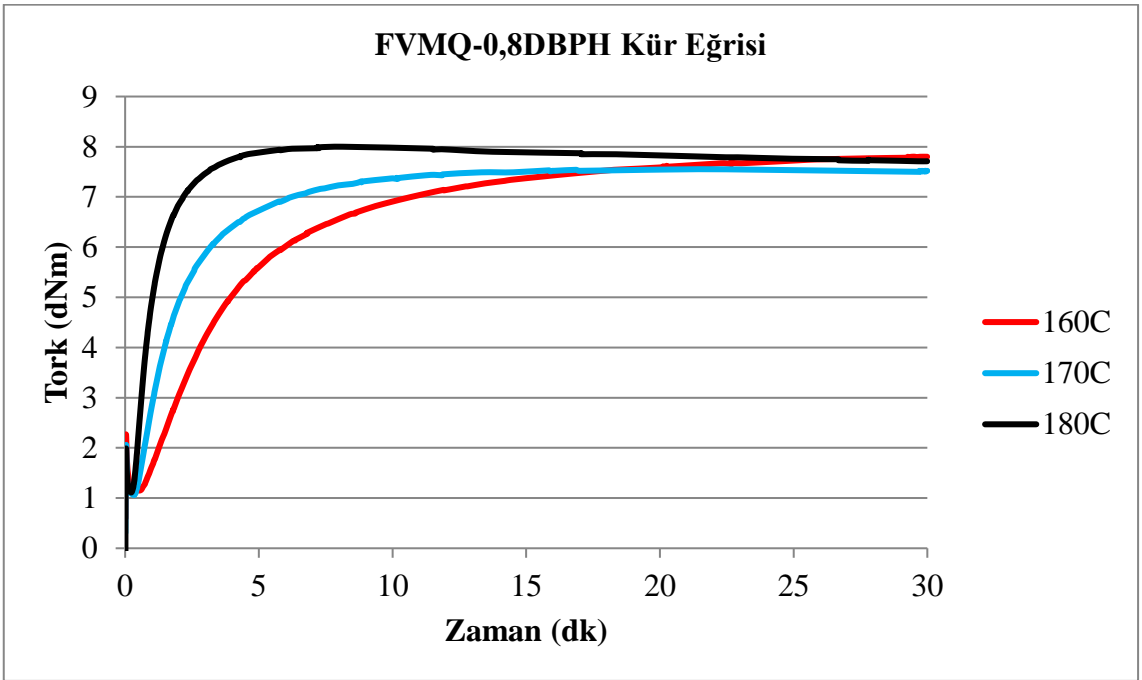
4.2 Peroksit Tipi ve Oranının Reolojik ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi

4.2.1. DBPH İçeren Silikon Hamurların Pişirilmesi ve Reolojik Özellikleri

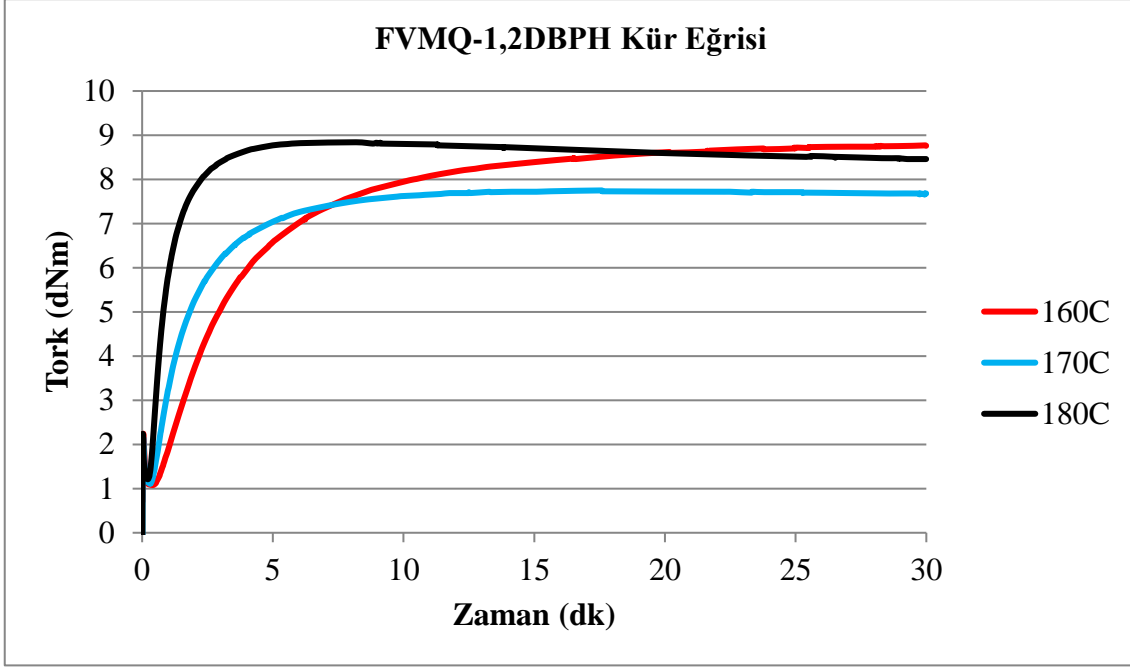
Çizelge 4.1’de belirtilen reçetelere göre FVMQ silikonu içerisine DBPH peroksidi eklenerek hazırlanan 3 farklı hamur karışımı 160°C, 170°C ve 180°C sıcaklıkta 30 dakika boyunca kürleştirilerek tork-zaman eğrileri incelenerek DBPH miktarının FVMQ’nun pişme davranışına etkisi aydınlatılmıştır. FVMQ-DBPH silikon elastomerlerin tork-zaman eğrileri Şekil 4.1-4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.1. FVMQ-0,5DBPH hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



Şekil 4.2. FVMQ-0,8DBPH hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



Şekil 4.3. FVMQ-1,2DBPH hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri

Şekil 4.1-4.3’de gösterilen kür eğrilerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen reolojik parametreler Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

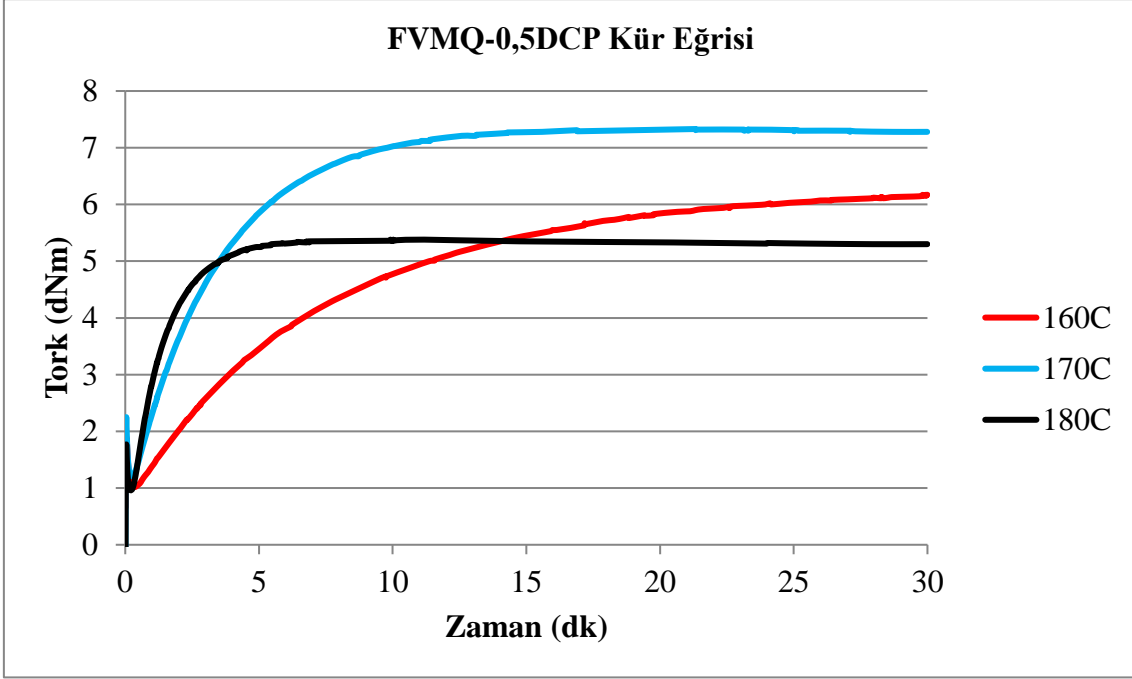
Çizelge 4.3. FVMQ-XXDBPH silikon elastomerlerinin kür parametreleri

Kür Sıcaklığı	Kür Parametreleri	FVMQ-0,5DBPH	FVMQ-0,8DBPH	FVMQ-1,2DBPH
160°C	M_L dNm	1,13	1,15	1,008
	M_H dNm	8,1	7,8	8,77
	t_{S2} dak	2,84	2,09	1,63
	t_{90} dak	14,26	11,9	10,49
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	6,97	6,65	7,76
	CRI	8,75	10,19	11,28
170°C	M_L dNm	1,03	1,06	1,11
	M_H dNm	7,39	7,55	7,75
	t_{S2} dak	1,46	1,08	0,95
	t_{90} dak	7,04	5,75	5,19
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	6,36	6,49	6,64
	CRI	17,92	21,41	23,58
180°C	M_L dNm	0,82	1,11	1,21
	M_H dNm	6,64	8	8,84
	t_{S2} dak	0,93	0,63	0,54
	t_{90} dak	4,13	2,65	2,37
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	5,82	6,89	7,63
	CRI	31,25	49,50	54,64

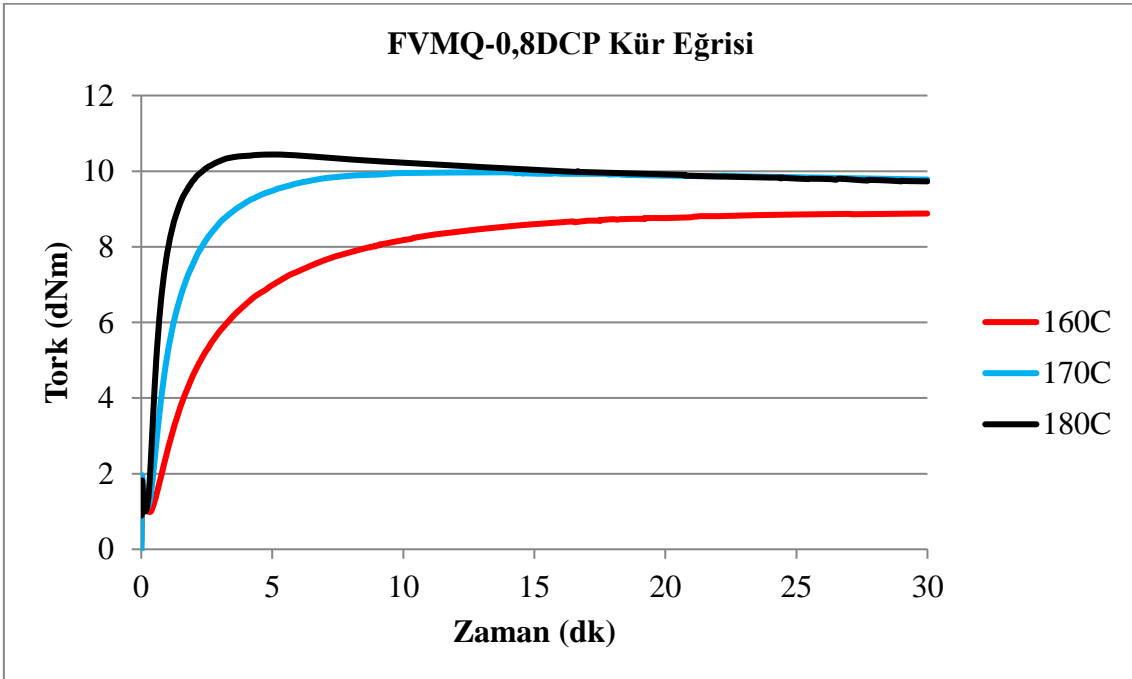
Çizelge 4.3.'de verilen FVMQ-DBPH silikon elastomerlerinin kür parametreleri incelendiğinde DBPH miktarının artması ile maksimum tork değeri (M_H) ve kür hızı indeksi (CRI) artış göstermiştir. Sıcaklığın artmasıyla 0,5 phr DBPH kullanılmış sistemde sistematik bir artış gözlenmezken diğer DBPH oranlarında genel olarak sıcaklığın artması azda olsa delta tork (Δ Tork) değerini artırmıştır. DBPH miktarı ve sıcaklığın artması ile kürleşmeye başlama zamanı olarak kabul edilen (t_{s2}) değerinde düşüş gözlenmiştir. Elastomer karışımların 180°C sıcaklıkta 160°C ve 170°C sıcaklığa göre daha hızlı denge tork değerine ulaştığı görülmektedir. Optimum kürleşme süresi olarak kabul edilen (t_{90}) değeri ise DBPH miktarı arttıkça azalmıştır. Şekil 4.1.'de verilen kür eğrileri incelendiğinde 0,5 phr DBPH oranının FVMQ'nın kürleştirilmesi için yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla kürleşme hızı artmasına rağmen maksimum tork (M_H) değerinde sabit bir değere ulaşmamış ve sistematik bir değişim gözlenmemiştir. 160°C'de yavaş ama daha fazla kürleşme gözlenirken 180°C'de daha düşük maksimum tork (M_H) değeri elde edilmiştir. Reometre eğrisinde delta tork değeri çapraz bağ yoğunluğu ile ilişkilidir.

4.2.2. DCP İçeren Silikon Hamurların Pişirilmesi ve Reolojik Özellikleri

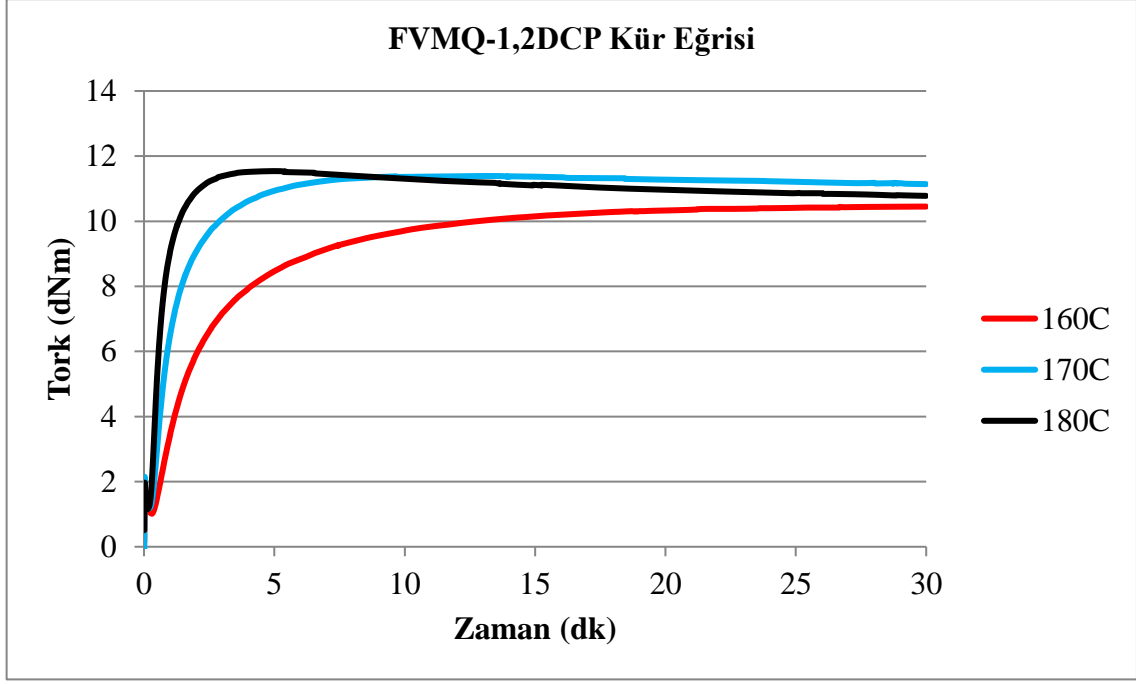
Çizelge 4.1.'de belirtilen reçetelere göre FVMQ-DBPH silikon elastomer karışımları ile aynı işlem süreleri ve parametreler uygulanarak FVMQ-DCP silikon karışımları kürleştirilmiş ve tork-zaman eğrileri incelenmiştir. FVMQ-DCP silikon elastomer karışımlarının tork-zaman eğrileri Şekil 4.4-4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4. FVMQ-0,5DCP hamurunun 160°C, 170°C ve 180 C’de 180°C kür eğrileri



Şekil 4.5. FVMQ-0,8DCP hamurunun 160°C, 170°C ve 180 C’de 180°C kür eğrileri



Şekil 4.6. FVMQ-1,2DCP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri

Çizelge 4.4.'deki veriler incelendiğinde 160°C, 170°C ve 180°C'de kürleşme başlama zamanı (ts_2) değerinin FVMQ-DBPH karışımlarında olduğu gibi DCP miktarı arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir. FVMQ-DCP0.5 referans alınarak DCP miktarı %60 oranında artırılarak DCP 0,8 olduğunda kürleşme başlama zamanının (ts_2) %70,73 azaldığı, %140 oranında artırılarak DCP 1,2 olduğunda ise %70,60 oranında azaldığı görülmektedir. Karışımlarda DCP miktarı ve sıcaklığın artması ile birlikte kür hızı indeksinin (CRI) FVMQ—DBPH karışımlarında olduğu gibi arttığı gözlemlenmiştir. FVMQ-DCP silikon elastomer karışımlarında DCP miktarı arttıkça reolojik özelliklerdeki en belirgin değişim kür hızı indeksi (CRI) ve delta tork (Δ Tork) olarak göze çarpmaktadır.

0,5 phr DCP kullanıldığında elde edilen kür eğrileri 0,5 phr DBPH kullanıldığında elde edilen kür eğrileri ile benzer davranışa göstermiştir. 0,5 phr DCP oranında FVMQ'nın kürleştirilmesi için yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla kürleşme hızı artmasına rağmen maksimum tork (M_H) değerinde sistematik bir artma veya azalma veya denge değerine ulaşmamıştır. 160°C'de yavaş ama daha fazla kürleşme gözlenirken 180°C'de daha düşük maksimum tork (M_H) değeri elde edilmiştir. 170°C'nin diğer sıcaklıklara göre kürleşme için daha uygun olduğu görülmektedir.

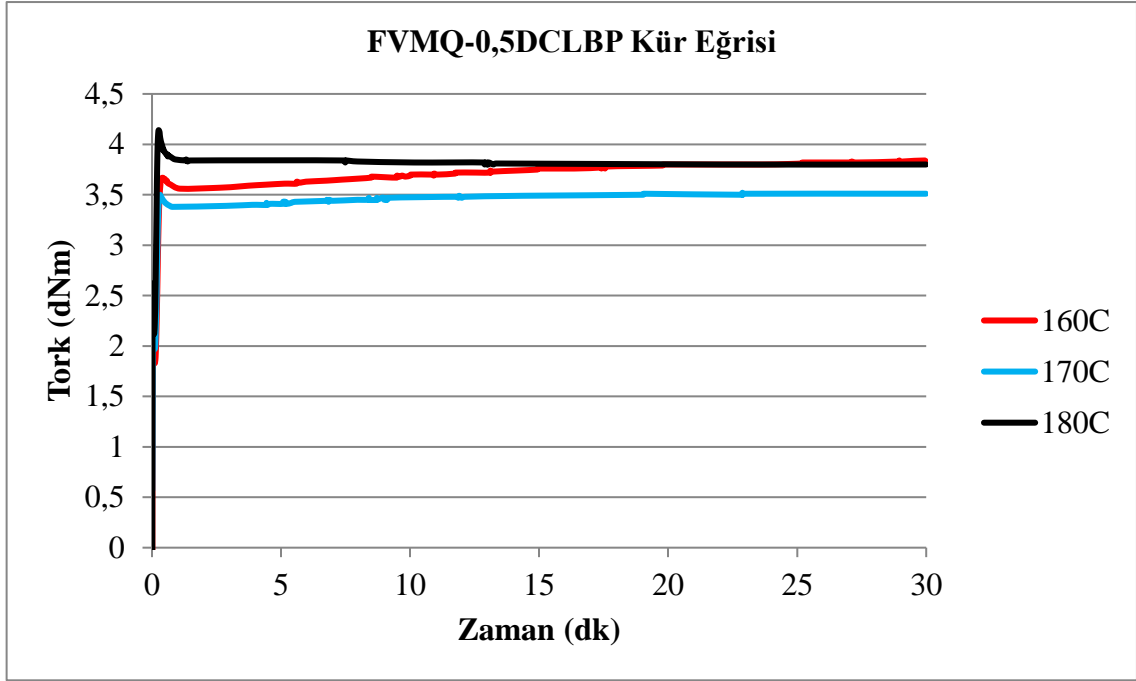
Şekil 4.4-4.6’de gösterilen FVMQ-DCP içeren karışımların kür karakteristiklerini gösteren parametreler Çizelge 4.4.’ de verilmiştir.

Çizelge 4.4. FVMQ-XXDCP Silikon elastomerlerin kür parametreleri

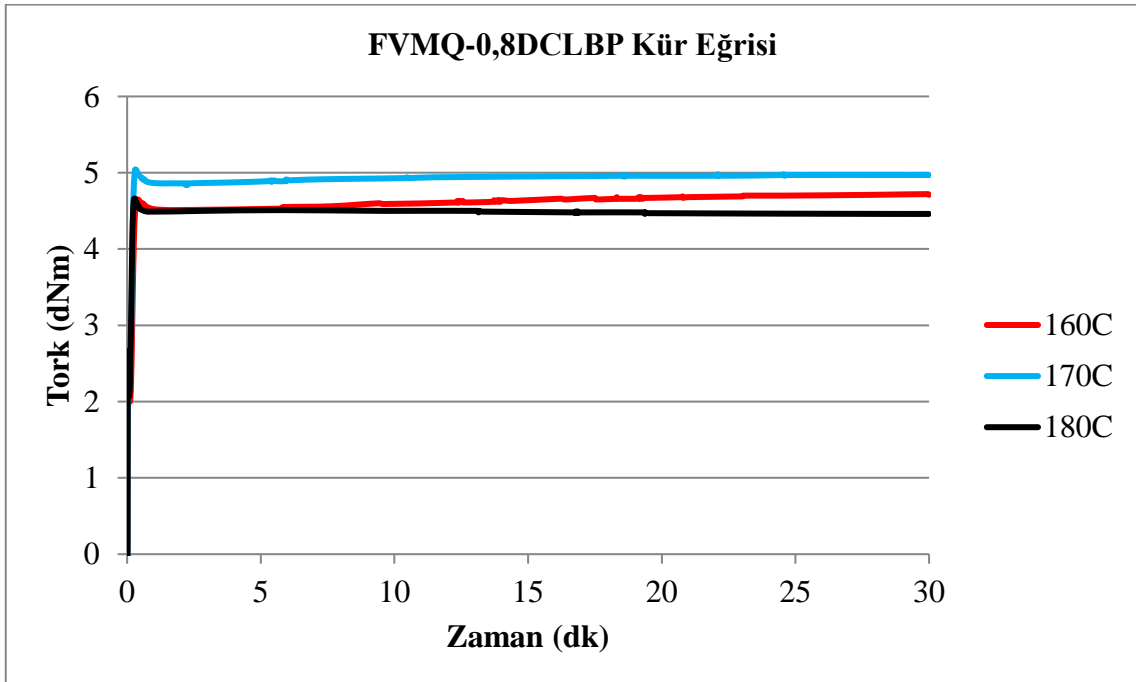
Kür Sıcaklığı	Kür Parametreleri	FVMQ-0,5DCP	FVMQ-0,8DCP	FVMQ-1,2DCP
160°C	$M_L dNm$	1,02	0,99	1,02
	$M_H dNm$	6,17	8,88	10,46
	$ts_2 dak$	3,93	1,15	0,88
	$t_{90} dak$	17,17	9,42	8,75
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	5,15	7,89	9,44
	CRI	7,55	12,09	12,71
170°C	$M_L dNm$	1,21	1,12	1,18
	$M_H dNm$	7,33	9,97	11,39
	$ts_2 dak$	1,64	0,62	0,52
	$t_{90} dak$	7,84	3,81	3,46
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	6,12	8,85	10,21
	CRI	16,13	31,35	34,01
180°C	$M_L dNm$	0,96	1	1,16
	$M_H dNm$	5,38	10,44	11,54
	$ts_2 dak$	1,06	0,41	0,37
	$t_{90} dak$	3,32	1,74	1,63
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	4,42	9,44	10,38
	CRI	44,25	75,19	79,37

4.2.3. DCLBP İçeren Silikon Hamurların Pişirilmesi ve Reolojik Özellikleri

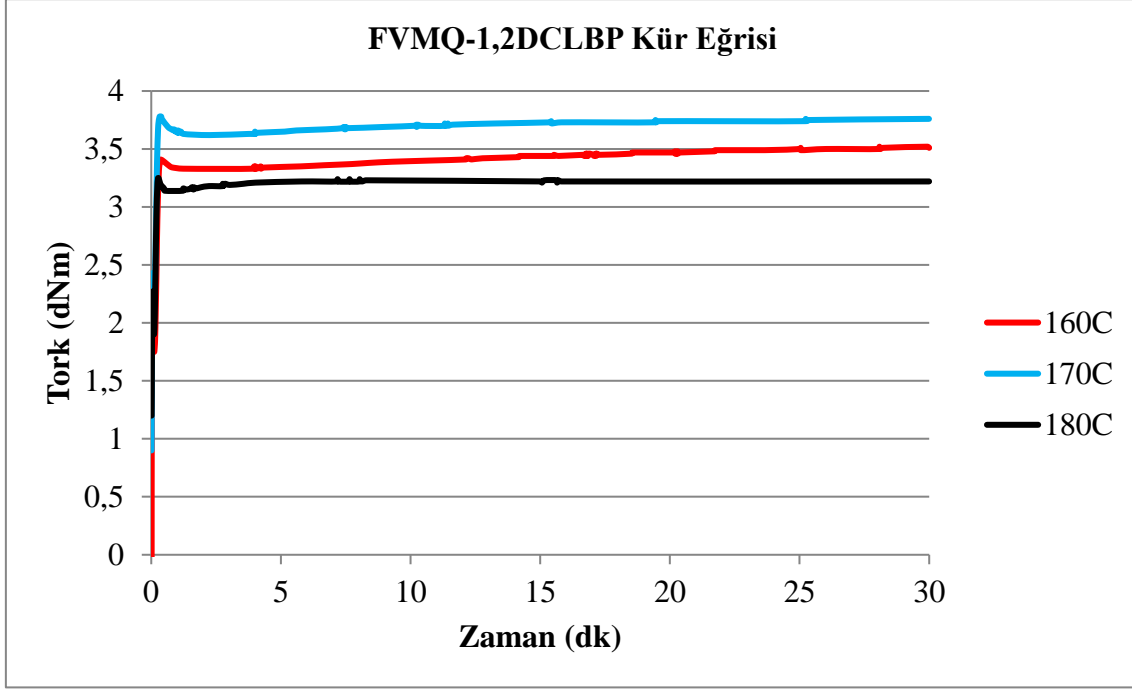
FVMQ-DBPH ve FVMQ-DCP hamur karışımları ile aynı ortam koşullarında ve Çizelge 4.1'deki belirtilen 3 farklı phr oranında DCLBP kullanılarak FVMQ-DCLBP hamur karışımı hazırlanmış ve tork-zaman eğrileri incelenmiştir. FVMQ-DCLBP silikon elastomer karışımlarının tork-zaman eğrileri Şekil 4.7-4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.7. FVMQ-0,5DCLBP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



Şekil 4.8. FVMQ-0,8DCLBP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



Şekil 4.9. FVMQ-1,2DCLBP hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri

Şekil 4.7-4.9'da verilen reometre eğrileri ve bu eğrilerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen Çizelge 4.5.'de verilen parametreler incelendiğinde DCLBP ile yapılan kürleştirme çalışmaları sonunda elde edilen kür eğrilerinin tipik kür eğrilerinden farklı karakter gösterdiği tespit edilmiştir. Kürleşme çok hızlı başlamakta ve tork değeri diğer peroksitler ile elde edilen tork değerinin yaklaşık üçte birine ulaştığında bir miktar düşme göstermekte ve sonra sabit kalmaktadır. Bu durum endüstriyel uygulamalarda katalizör zehirlenmesi olarak isimlendirilmektedir. Bunun sebebinin DCLBP deki klor grupları nedeniyle florosilikondaki kür reaksiyonlarının engellenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. DCLBP kullanılarak hazırlanan elastomer karışımlarında kullanılan diğer peroksitlerden farklı olarak kürleşme gözlemlenmemiştir. Elastomelerin çok yumuşak ve pişmemiş yapıda olmasından dolayı mekanik özellikleri incelenmemiştir.

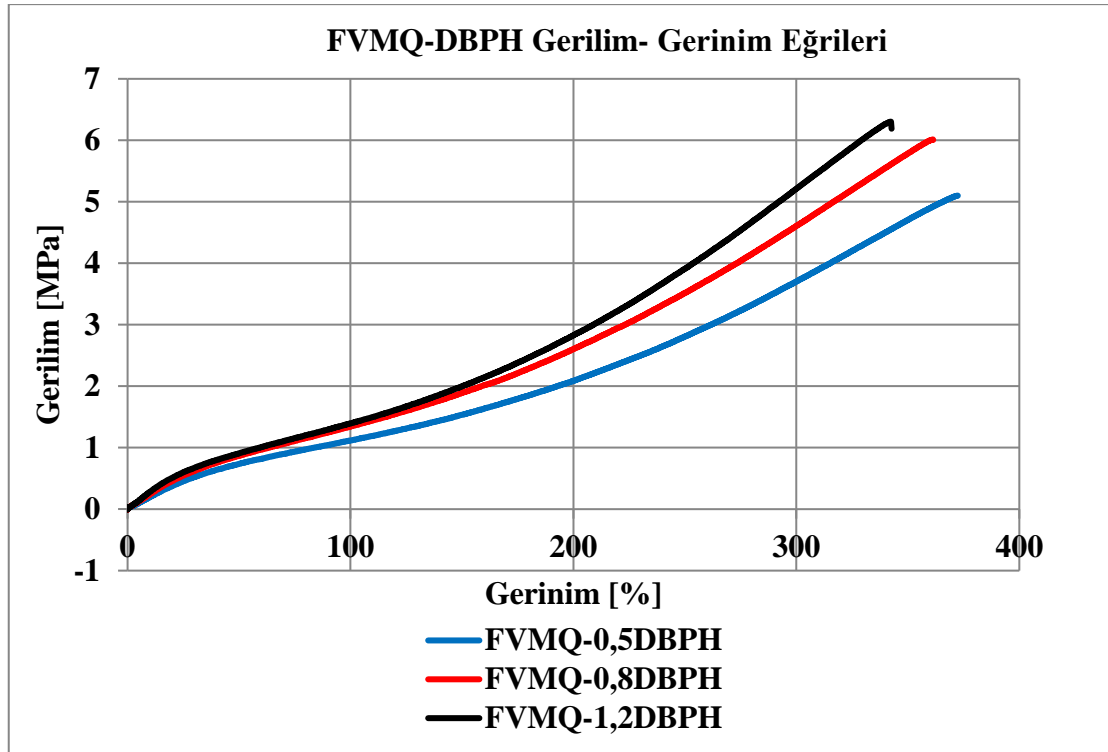
Şekil 4.7-4.9'de gösterilen kür eğrilerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen reolojik parametreler Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. FVMQ-XXDCLBP elastomerlerinin kür parametreleri.

Kür Sıcaklığı	Kür Parametreleri	FVMQ-0,5DCLBP	FVMQ-0,8 DCLBP	FVMQ-1,2DCLBP
160°C	$M_L dNm$	1,83	2	1,75
	$M_H dNm$	3,84	4,72	3,52
	$ts_2 dak$	27,11	0,24	-
	$t_{90} dak$	0,34	0,29	0,3
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	2,01	2,72	1,77
	CRI	-3,74	2000,00	333,33
170°C	$M_L dNm$	1,97	2,21	2,18
	$M_H dNm$	3,52	5,04	3,78
	$ts_2 dak$	-	0,21	-
	$t_{90} dak$	0,25	0,24	0,25
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	1,6	2,8	1,6
	CRI	400,0	3333,3	400,0
180°C	$M_L dNm$	2,12	2,09	1,9
	$M_H dNm$	4,14	4,66	3,25
	$ts_2 dak$	0,24	0,19	-
	$t_{90} dak$	0,21	0,22	0,22
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	2,02	2,57	1,35
	CRI	-3333	3333	455

4.2.4. DBPH İçeren Silikon Hamurların Mekanik Özellikleri

DBPH miktarının FVMQ silikonunun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelenmek için gerilim-gerinim, sertlik, geri sekme ve basma testleri yapılarak karışımların mekanik özellikleri incelenmiştir. Test numuneleri Çizelge 4.2’de belirtilen pişme süreleri ve sıcaklıklarına göre hazırlanmıştır. Farklı phr’deki FVMQ-DBPH silikon elastomer karışımların gerilim-gerinim eğrileri Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10. FVMQ-DBPH Silikon elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri

Şekil 4.10'daki farklı phr'larda DBPH kullanılarak hazırlanan FVMQ-DBPH silikon elastomer karışımlarının gerilim-gerinim eğrilerinden görüleceği üzere DBPH miktarının artmasına bağlı olarak çapraz bağlanmanın göstergesi olan elastik modül artmıştır. Kopma dayanımı da DBPH miktarının karışımlardaki miktarının artmasına bağlı olarak artış gösterirken kopmadaki uzama değeri ise azalmıştır. Silikon elastomer karışımların gerilim-gerinim, sertlik ve geri sekme testlerinden elde edilen parametreler Çizelge 4.6-4,7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. FVMQ-XXDBPH silikon elastomerlerinin mekanik özelliklerinin DBPH oranına bağlı olarak değişimi

Karışım Adı	Elastik Modül (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Kopmadaki Uzama (%)
FVM-0,5DBPH	1,70	5,09	372,57
FVMQ-0,8DBPH	2,09	6,01	361,37
FVMQ-1,2DBPH	2,29	6,19	342,70

Çizelge 4.7 veriler göz önüne alındığında karışımlarda FVMQ silikon elastomeri içerisindeki DBPH miktarının artması ile Shore (A) sertlik değerinin arttığı görülmektedir.

FVMQ-0,5DBPH elastomer karışımı referans olarak değerlendirildiğinde DBPH miktarının 0,3 phr ve 0,7 phr artması ile Shore (A) sertliği %1,92 ve %5,76 artış göstermiştir.

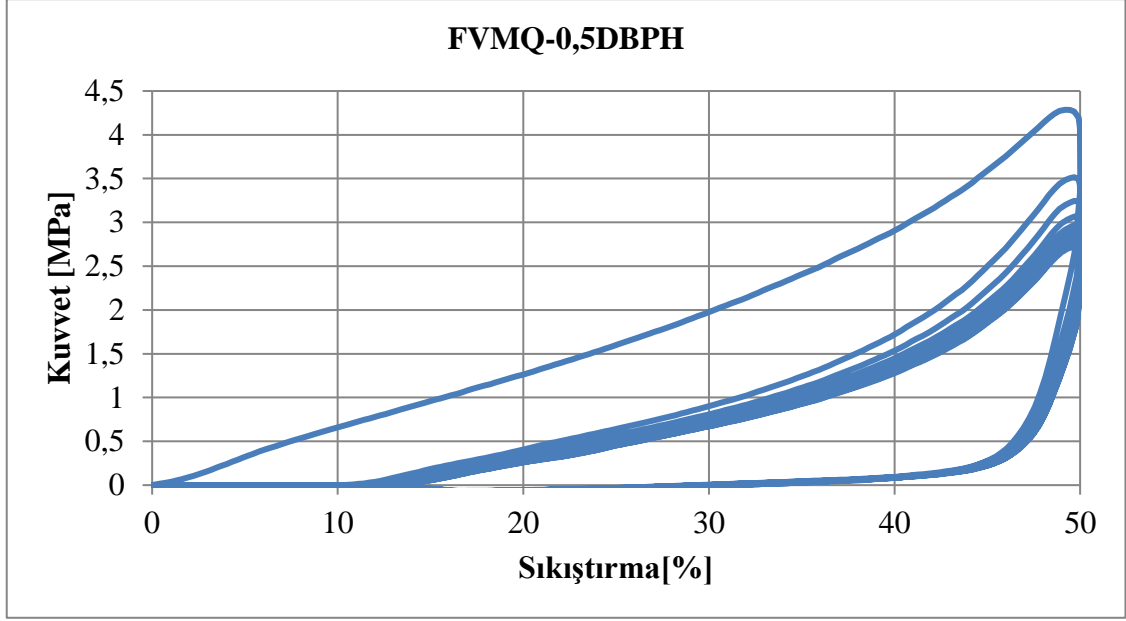
Çizelge 4.7. FVMQ-XXDBPH silikon elastomerlerinin sertlik ve geri sekme test değerinin DBPH oranına bağlı olarak değişimi

Karışım Adı	Sertlik Değeri (Shore A)	Geri Sekme Testi
FVMQ-0,5DBPH	52 ±1	15 ±1
FVMQ-0,8DBPH	53 ±1	16 ±1
FVMQ-1,2DBPH	55 ±1	17 ±1

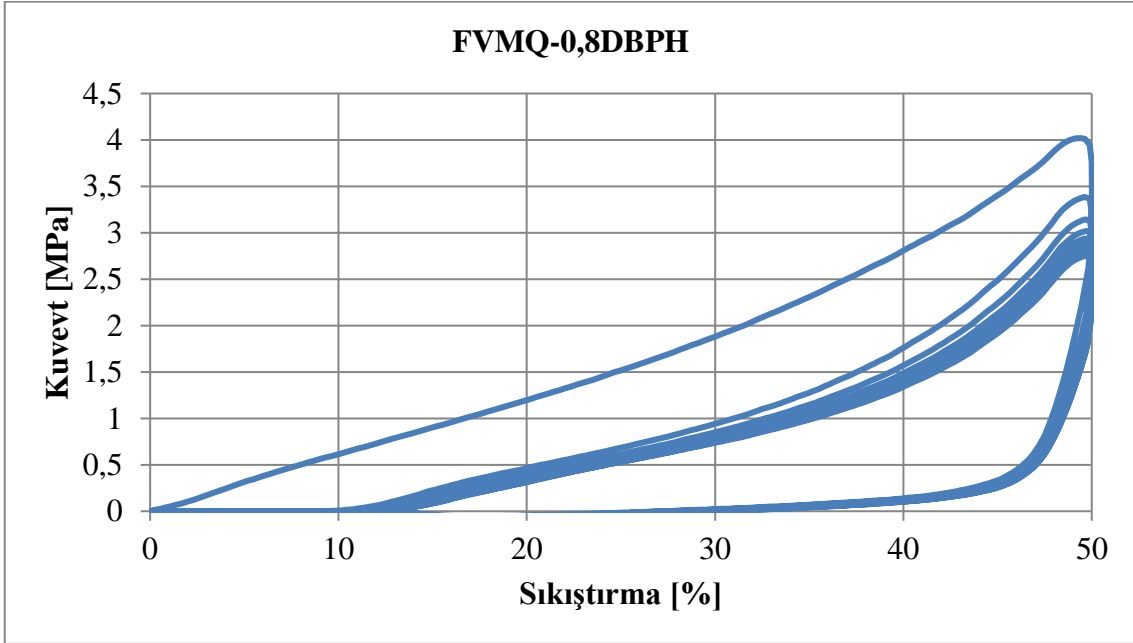
Shore A sertlik değeri arttıkça malzemenin sertliği artmaktadır. Bunun sonucunda ise daha yüksek tork ve mekanik özellikler elde edilmektedir. Çizelge 4.7'deki veriler incelendiğinde geri sekme değerlerinin sertlik değeri ile benzer olarak DBPH oranının artması bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Sertlik ve geri sekme test değerlerinin sıralaması FVMQ-1,2DBPH>FVMQ-0,8DBPH>FVMQ-0,5DBPH şeklinde sıralama olmuştur.

DBPH oranının FVMQ elastomerlerinin enerji sönümlenme ve damping özelliklerine etkisinin incelenmesi için disk şeklindeki örnekler kullanılarak evrensel test cihazında 10 döngülü sıkıştırma testleri yapılmıştır.

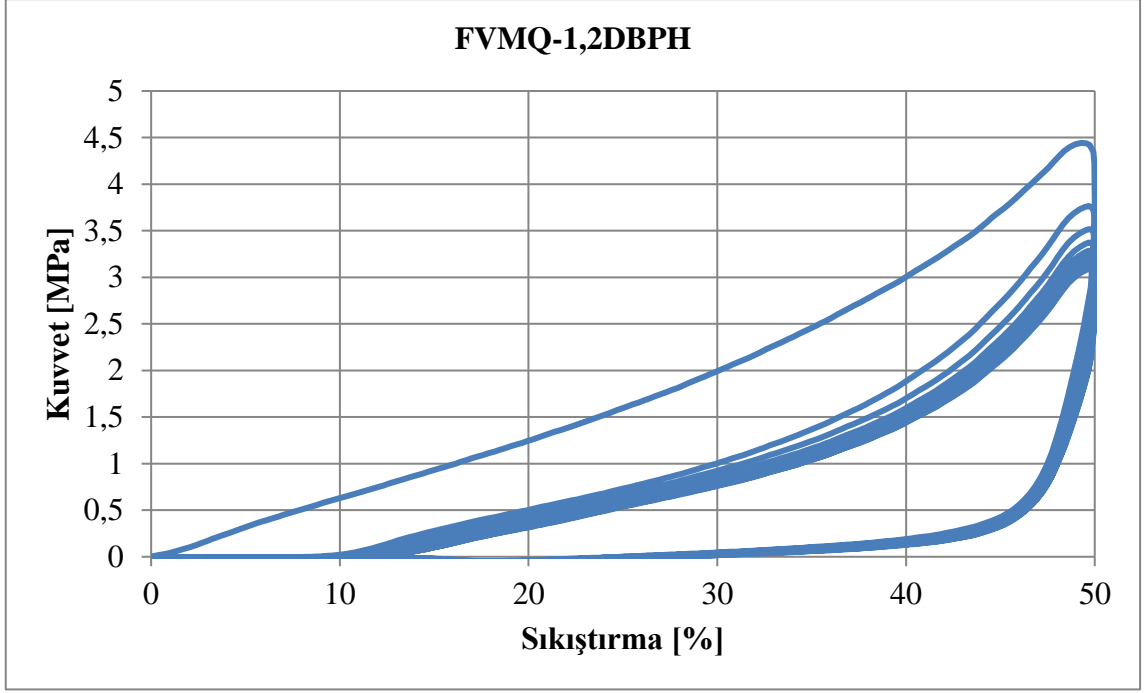
Döngülü sıkıştırma eğrileri Şekil 4.11-13'de verilmiştir. Bu eğrilerin değerlendirilmesi sonucunda birim alan başına enerji emilim değerleri hesaplanmıştır. FVMQ-DBPH elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma sırasında enerji emiliminin döngü sayısı ile değişimi Şekil 4.14'de verilmiştir.



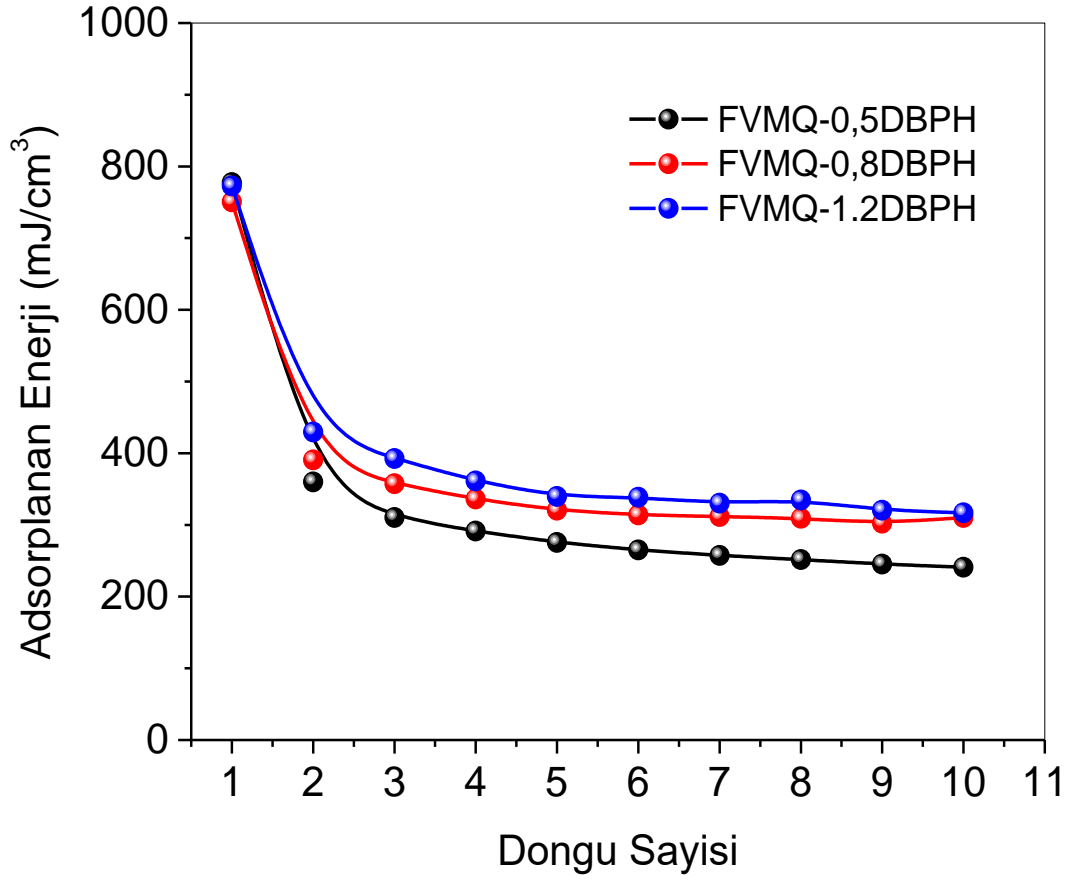
Şekil 4.11. FVMQ-0,5DBPH elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma eğrisi



Şekil 4.12. FVMQ-0,8DBPH elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma eğrisi



Şekil 4.13. FVMQ-1,2DBPH elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma eğrisi



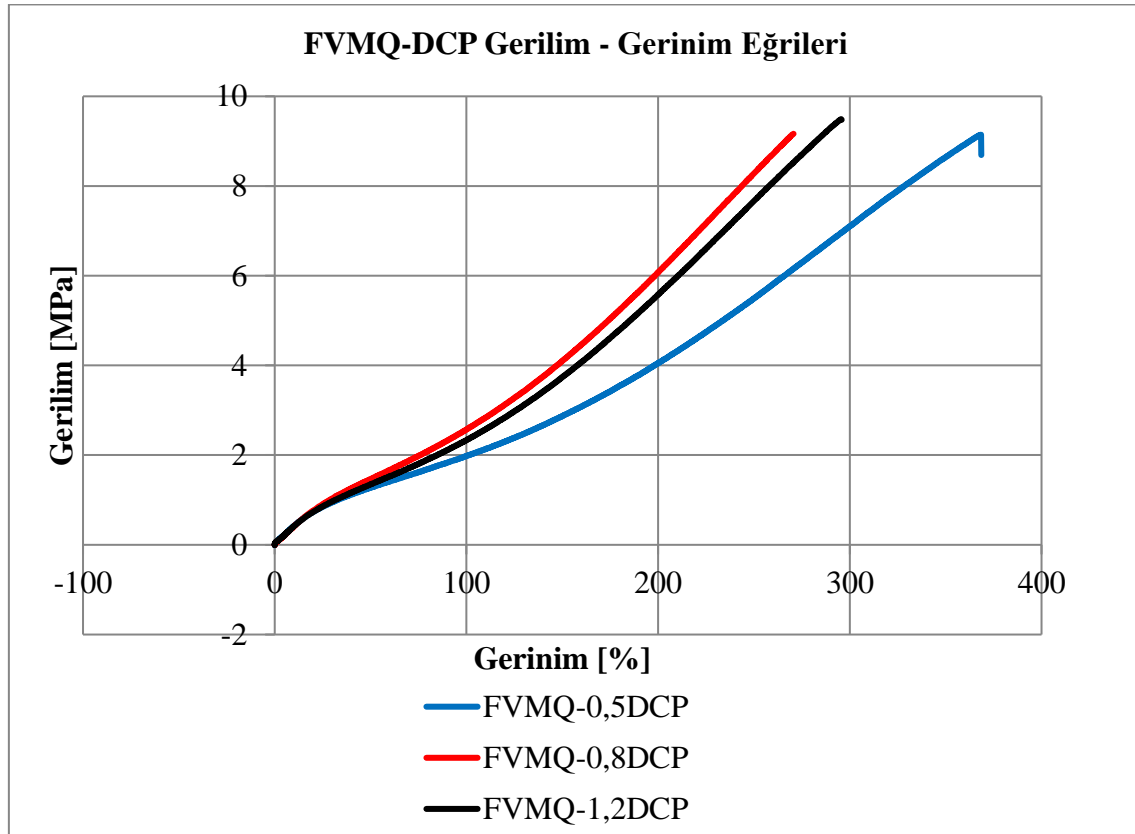
Şekil 4.14. FVMQ-DBPH elastomerlerin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma sırasında enerji emiliminin döngü sayısı ile değişimi

Farklı oranlarda DBPH kullanılarak hazırlanan silikon elastomerlerde %50 sıkıştırma oranındaki enerji emilim değerlerine bakıldığında ilk döngüde FVMQ-1,2DBPH silikon elastomer karışımı en fazla enerji emilimini yapmıştır. Silikon elastomerlerin sıkıştırma testindeki 10 döngü incelendiğinde genel olarak DBPH miktarının artması ile enerji emilimi artış göstermektedir. Tüm karışımlarda 1. döngüden 2. döngüye geçerken enerji emilimleri arasında fark görülmektedir. Sonraki döngülerin kuvvet değerleri birbirine daha yakındır. Bu durum malzemelerin viskoelastik özellikleri ile açıklanmaktadır [45]. 1. döngü sonrasındaki diğer döngülerin eğrileri daha küçüktür. Bunun temel nedeni ise döngüler için gerekli olan gerinim değerinin azalmasıdır. Literatürde gerilim yumuşaması ya da Mullins etkisi olarak bilinmektedir [39].

4.2.5. DCP İçeren Silikon Hamurların Mekanik Özellikleri

FVMQ-DBPH silikon elastomer karışımlarında olduğu gibi DCP miktarının FVMQ silikonunun mekanik özellikler üzerindeki etkisinin incelenmesi için aynı ortam koşullarında gerilim-gerinim, sertlik, geri sekme ve basma testleri yapılmıştır.

FVMQ-DCP silikon elastomer karışımlarına ait gerilim-gerinim eğrileri Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15. FVMQ-DCP silikon elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri

Şekil 4.15’de verilen FVMQ-DCP silikon elastomer karışımların elastik modülleri ve kopma dayanımları DCP miktarının artmasına bağlı olarak FVMQ-DBPH karışımlarında olduğu gibi artış göstermiştir. Kopmadaki uzama değeri ise DCP miktarının artmasına bağlı olarak azalmıştır. FVMQ-DCP silikon elastomer karışımlarına ait mekanik özellik parametreleri Çizelge 4.8-4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. FVMQ-XXDCP silikon elastomerlerinin mekanik özelliklerinin DCP oranına bağlı olarak değişimi

Karışım Adı	Elastik Modül (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Kopmadaki Uzama (%)
FVMQ-0,5DCP	3,11	8,77	360,55
FVMQ-0,8DCP	3,84	9,16	270,65
FVMQ-1,2DCP	3,37	9,47	295,75

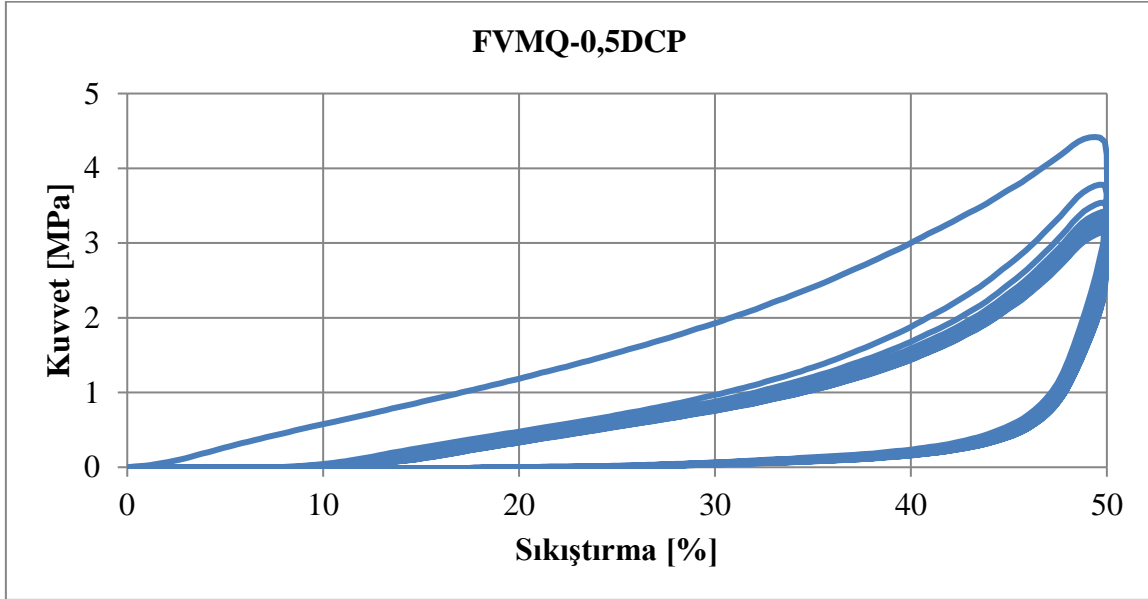
Çizelge 4.9. FVMQ-XXDCP silikon elastomerlerinin sertlik ve geri sekme özelliklerinin DCP oranına bağlı olarak değişimi

Karışım Adı	Sertlik Değeri (Shore A)	Geri Sekme Testi
FVMQ-0,5DCP	58±1	20±1
FVMQ-0,8DCP	62±1	21±1
FVMQ-1,2DCP	64±1	23±1

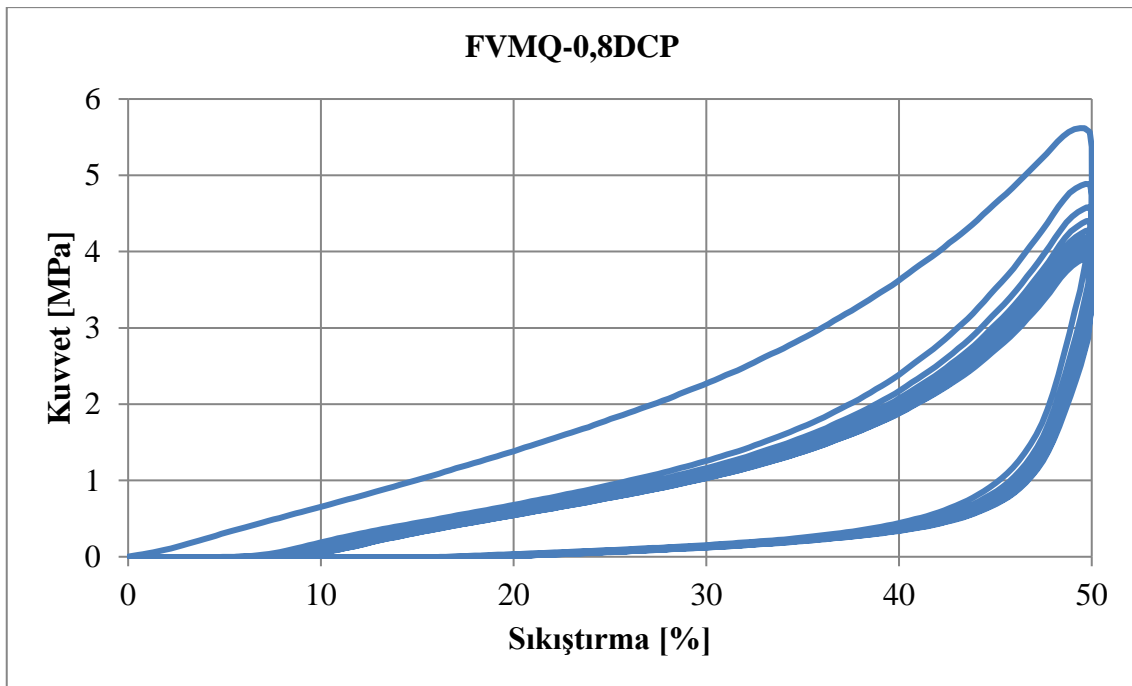
Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’daki veriler göz önüne alındığında karışımlarda DCP miktarının FVMQ-DBPH karışımlarında olduğu gibi 0,5 phr’den 0,8 phr ve 1,2 phr miktarına kadar artırılması ile elastik modül, kopma dayanımı, sertlik ve geri sekme değerlerinde genel olarak bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Karışımlarda çapraz bağların daha yüksek olması ile sertlik değerinin ve geri sekmenin artması beklenen bir durumdur [46]. Karışımların Shore (A) sertlik değeri ve geri sekme test sonuçları değerlendirildiğinde FVMQ-1,2DCP>FVMQ-0,8DCP>FVMQ-0,5DCP şeklinde sıralama elde edilmiştir.

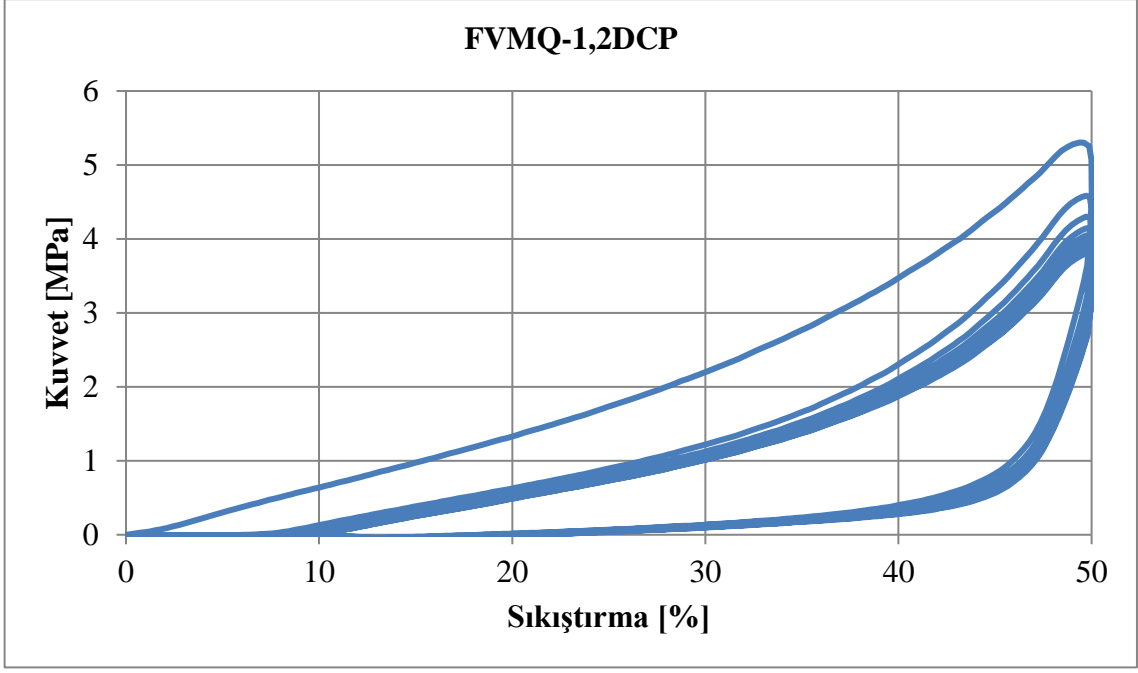
DCP oranının FVMQ elastomerlerinin enerji sönümlenme ve damping özelliklerine etkisinin incelenmesi için disk şeklinde örnekler kullanılarak evrensel test cihazında 10 döngülü sıkıştırma testleri yapılmıştır. Döngülü sıkıştırma eğrileri Şekil 4.16-18’de verilmiştir. FVMQ-DCP elastomerlerinin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma sırasında enerji emiliminin döngü sayısı ile değişimi Şekil 4.19’da verilmiştir.



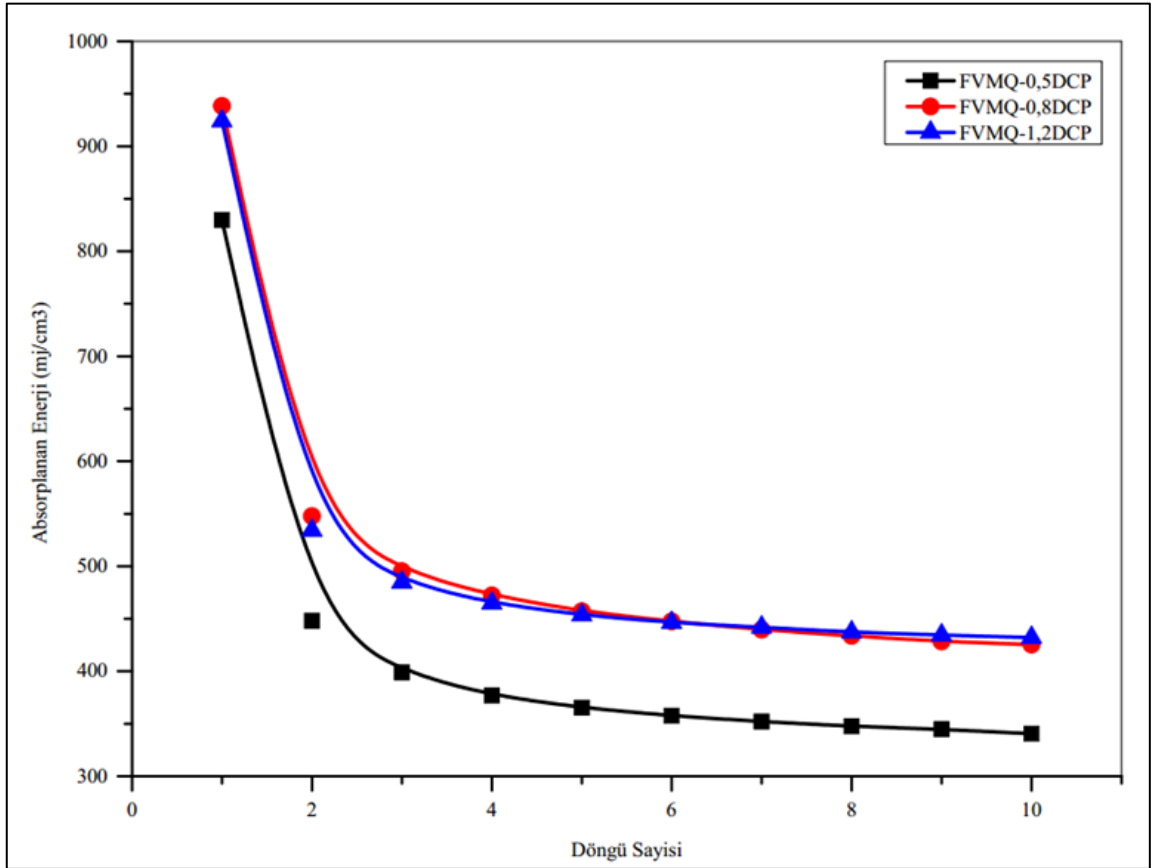
Şekil 4.16. FVMQ-0,5DCP elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma eğrisi



Şekil 4.17. FVMQ-0,8DCP elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma eğrisi



Şekil 4.18. FVMQ-1,2DCP elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma eğrisi



Şekil 4.19. FVMQ-DCP elastomerlerin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma sırasında enerji emiliminin döngü sayısı değişimi

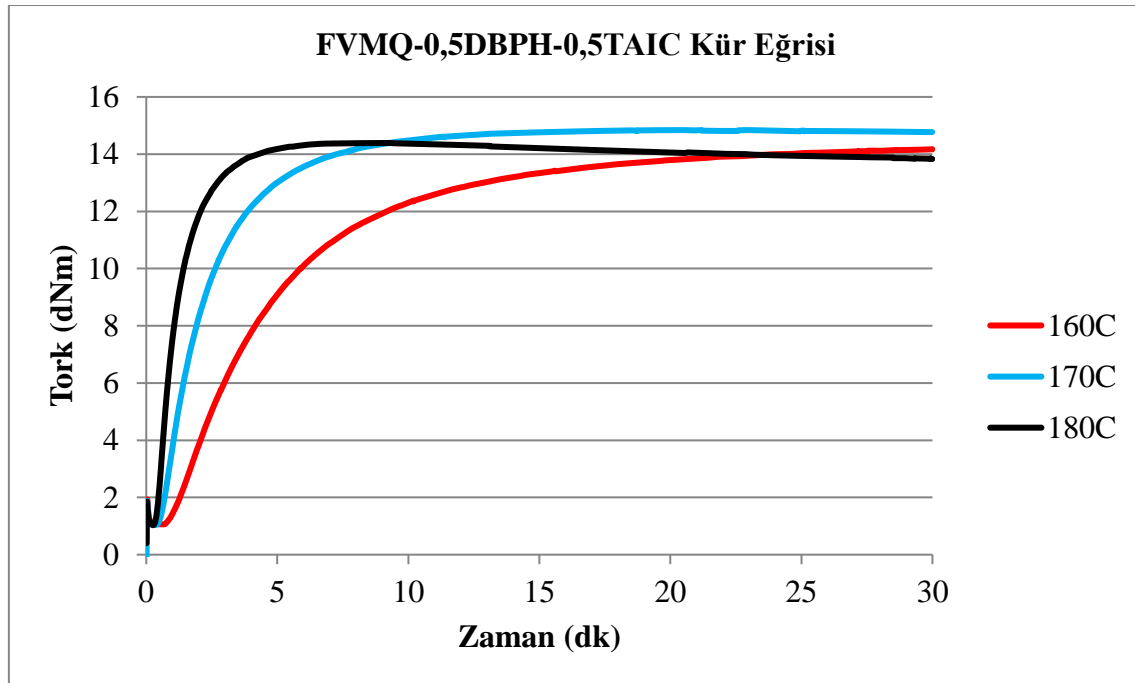
FVMQ-DCP karışımlarında, DCP miktarı 0,5 phr'den 1,2 phr'a kadar artırıldıkça enerji emiliminin arttığı görülmektedir. 10 döngülü ve %50 sıkıştırma altında yapılan testlerde her bir döngüde enerji emilimlerine bakıldığında en yüksek enerji emilim değerine FVMQ-1,2DCP sahipken en düşük enerji emilim değerine ise FVMQ-0,5DCP silikon elastomeri sahiptir. FVMQ-0,8DCP için enerji emilim değerinin FVMQ-1,2DCP'nin enerji emilimi değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

4.3. Ko-ajan TAIC'in Reolojik ve Mekanik Özelliklere Etkisi

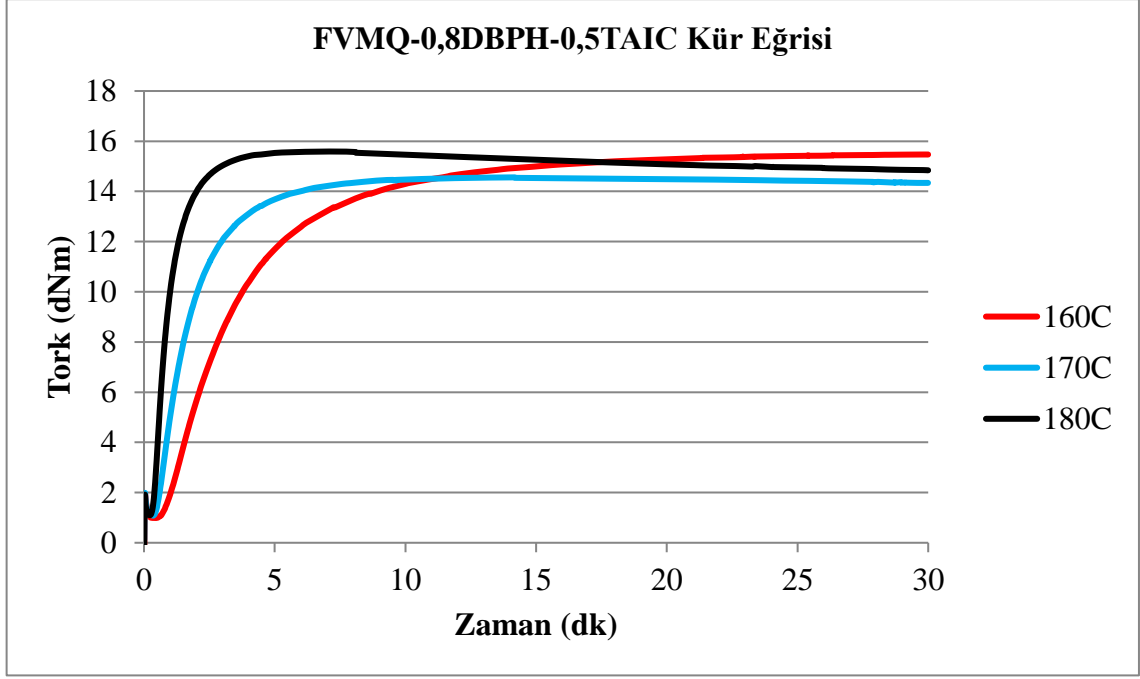
Ko-ajan FVMQ silikonun reolojik ve mekanik özelliklerine etkisini incelemek için Çizelge 4.1'de belirtilen reçetelere göre FVMQ-DBPH ve FVMQ-DCP hamur karışımlarına sabit miktarda 0,5 phr TAIC eklenmiştir.

4.3.1. FVMQ-DBPH-TAIC İçeren Elastomerlerin Reolojik Özellikleri

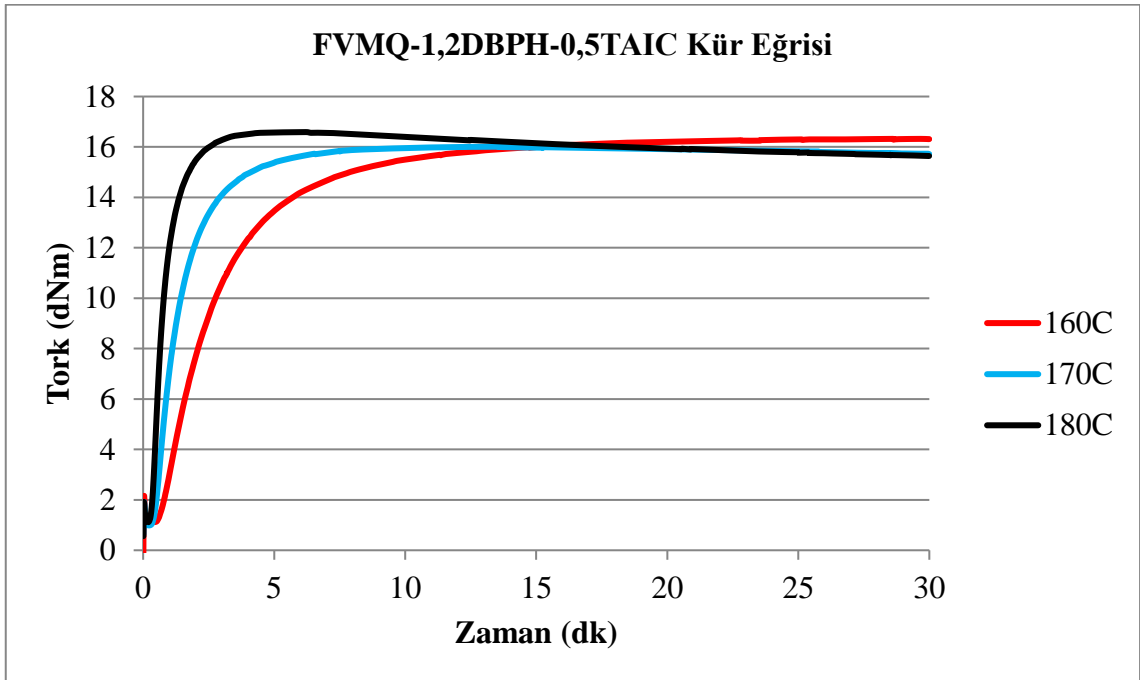
FVMQ-DBPH-TAIC silikon elastomer karışımların tork-zaman eğrileri hareketli kalıp reometrede 160°C, 170°C ve 180 C'de kürleştirilerek tork-zaman eğrileri incelenmiştir. Silikon elastomerlerin kür eğrileri Şekil 4.20-22'de verilmiştir.



Şekil 4.20. FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



Şekil 4.21. FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



Şekil 4.22 FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri

Şekil 4.20.-22'de gösterilen kür eğrilerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen reolojik parametreler Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

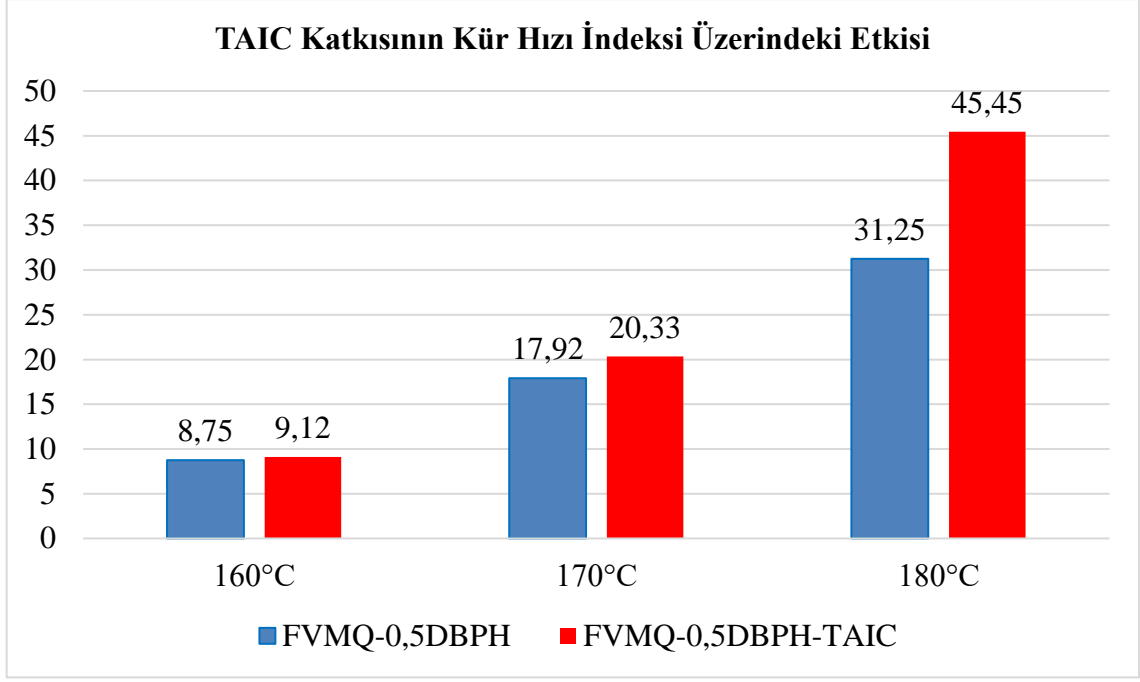
Çizelge 4.10. FVMQ-XXDBPH-0,5TAIC Silikon elastomerlerin kür parametreleri

Kür Sıcaklığı	Kür Parametreleri	FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC	FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC	FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC
160°C	$M_L dNm$	1,06	0,99	1,12
	$M_H dNm$	14,17	15,48	16,32
	ts_2 dak	1,17	1,29	1,02
	t_{90} dak	12,14	9,04	7,3
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	13,11	14,49	15,2
	CRI	9,12	12,90	15,92
170°C	$M_L dNm$	1,04	1,08	0,99
	$M_H dNm$	14,84	14,56	16,01
	ts_2 dak	0,88	0,74	0,6
	t_{90} dak	5,8	4,14	3,42
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	13,8	13,48	15,02
	CRI	20,33	29,41	35,46
180°C	$M_L dNm$	1,03	1,1	1,12
	$M_H dNm$	14,39	15,59	16,59
	ts_2 dak	0,56	0,47	0,41
	t_{90} dak	2,76	2,1	1,76
	$\Delta Tork (M_H-M_L)$	13,36	14,49	15,47
	CRI	45,45	61,35	74,07

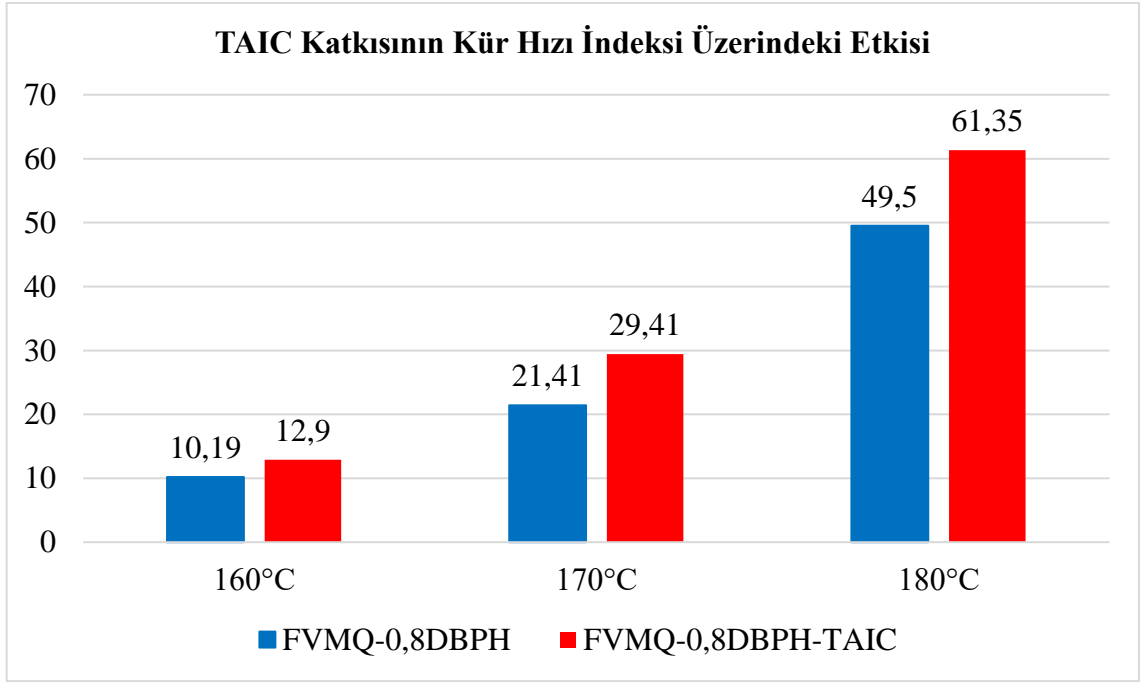
Çizelge 4.10’da görüleceği üzere FVMQ-DBPH karışımlarına ko-ajan olarak 0,5 phr TAIC eklenmesi ile farklı sıcaklıklarda kür hızı artmaktadır. Delta tork ($\Delta Tork$) değerinin de ko-ajan olmayan FVMQ-DBPH karışımlarına göre arttığı görülmektedir. Ko-ajan olarak TAIC katkısı ile reolojik özellikler üzerindeki en belirgin değişim kür hızı indeksi (CRI) ve delta tork ($\Delta Tork$) değerleri olarak göze çarpmaktadır.

TAIC katkısı içeren silikon elastomer karışımların içermeyen karışımlardan daha yüksek çapraz bağ yoğunluğunda olmasının temel nedeni TAIC moleküllerinin molekül başına üç vinil grubuna sahip olması olarak değerlendirilmektedir [31].

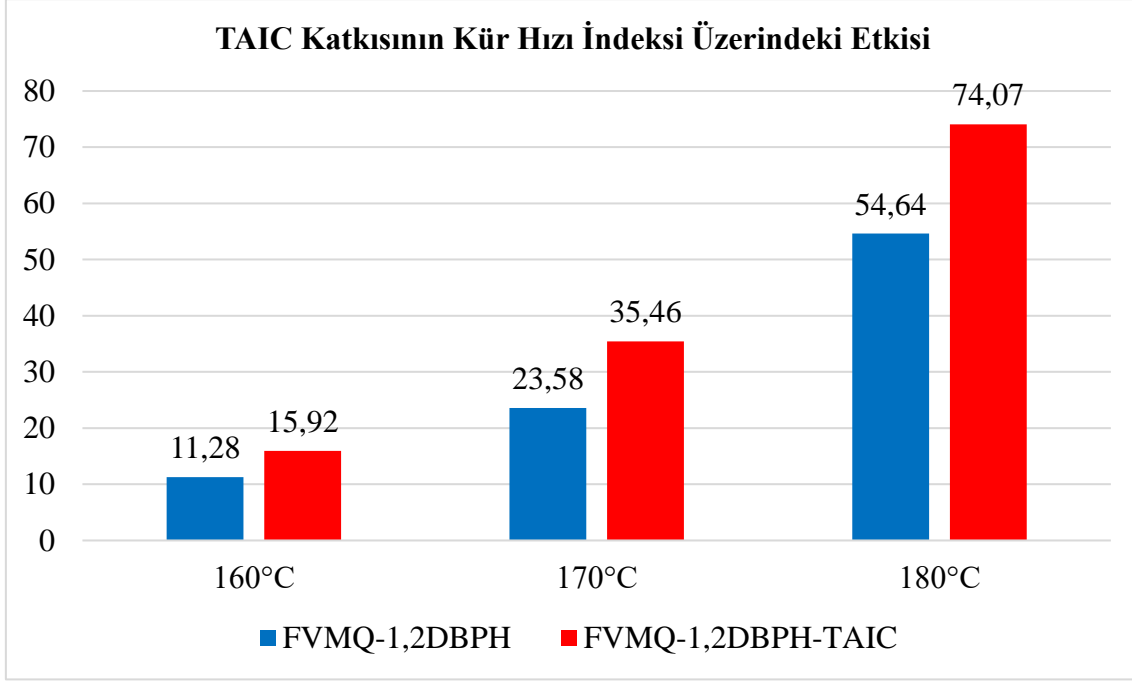
Kür hızı indeksinin ko-ajan kullanılan ve kullanılmayan karışımlar üzerindeki değişimleri gösteren değişim Şekil 4.23-4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.23. TAIC katkısının farklı sıcaklıklardaki FVMQ-0,5DBPH silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi



Şekil 4.24. TAIC katkısının farklı sıcaklıklardaki FVMQ-0,8DBPH silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi

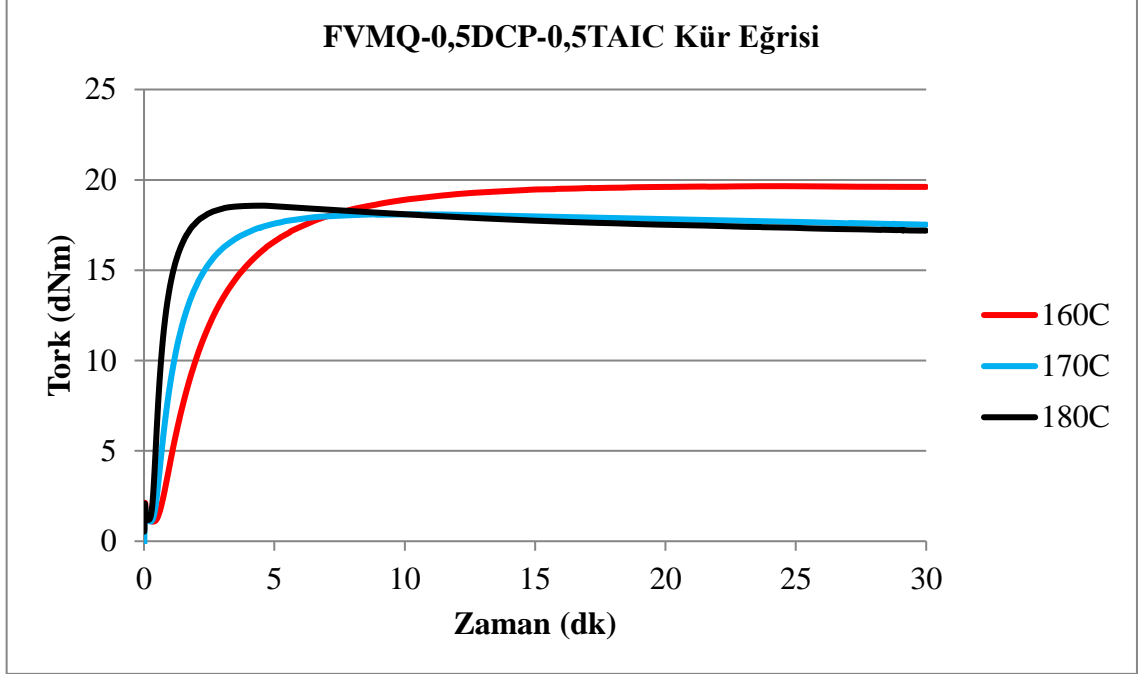


Şekil 4.25. TAIC katkısının farklı sıcaklıklardaki FVMQ-1,2DBPH silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi

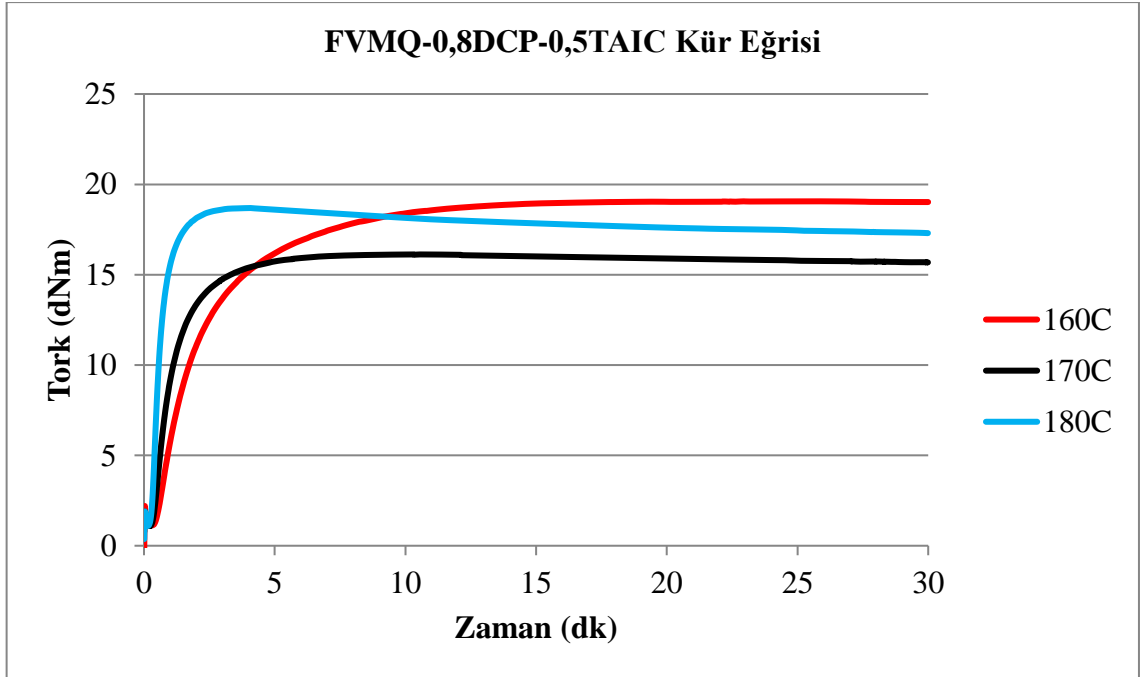
TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan FVMQ-DBPH-0,5TAIC silikon elastomer karışımlarının kür hızı indekslerinin sıcaklık ile değişimleri incelendiğinde FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC silikon elastomerinin kür hızı indekslerindeki (CRI) değişim incelendiğinde en fazla değişim %45,44 artış ile 180°C'de gerçekleşmiştir. 170°C'de ise %13,44, 160°C'de %4,22'dir. Sıralama yapıldığında 180°C > 170°C > 160°C olarak sıralanmaktadır. FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC silikon elastomerindeki kür hızı indeksi değişimleri 160°C'de %26,59, 170°C'de %37,36 ve 180°C'de ise %23,93'dür. Sıralama yapıldığında 170°C > 160°C > 180°C'dir. FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC 160°C'de %41,13, 170°C'de %50,38 ve 180°C'de ise %35,56'dür. Sıralama ise 170°C > 160°C > 180°C olarak sıralanmıştır. Reometre eğrisinden elde edilen delta tork değeri çapraz bağ yoğunluğu ve kürleşme ile doğru orantılıdır. Delta tork (Δ Tork) değerinin yüksek olması silikon elastomer malzemelerin çapraz bağ yoğunluklarının yüksek olması ile değerlendirilmektedir [47]. TAIC katkısı ile kür hızı indeksinin (CRI) artması yapılan farklı çalışmalarda da görülmektedir [5].

4.3.2. FVMQ-DCP-TAIC İçeren Elastomerlerin Reolojik Özellikleri

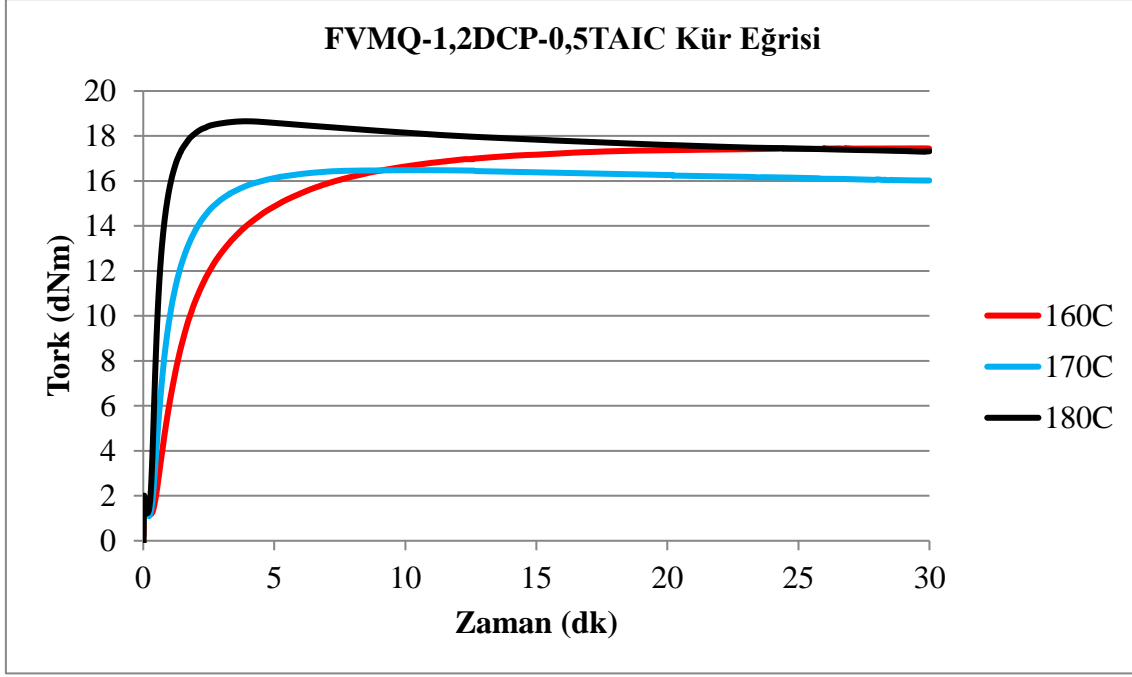
FVMQ-DCP-TAIC içeren silikon elastomerlerin MDR kür eğrileri Şekil 4.26-4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.26. FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



Şekil 4.27. FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



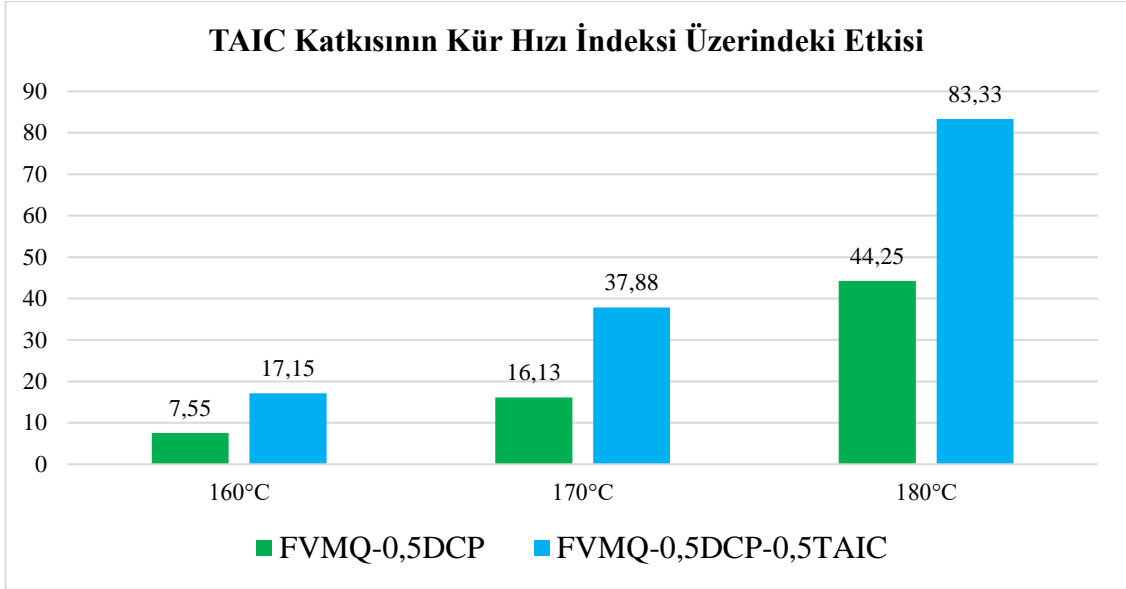
Şekil 4.28. FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri

Şekil 4.26-4.28’de verilen FVMQ-DCP-TAIC içeren silikon elastomerlerin kür karakteristiklerini gösteren parametreler Çizelge 4.11.’de gösterilmiştir.

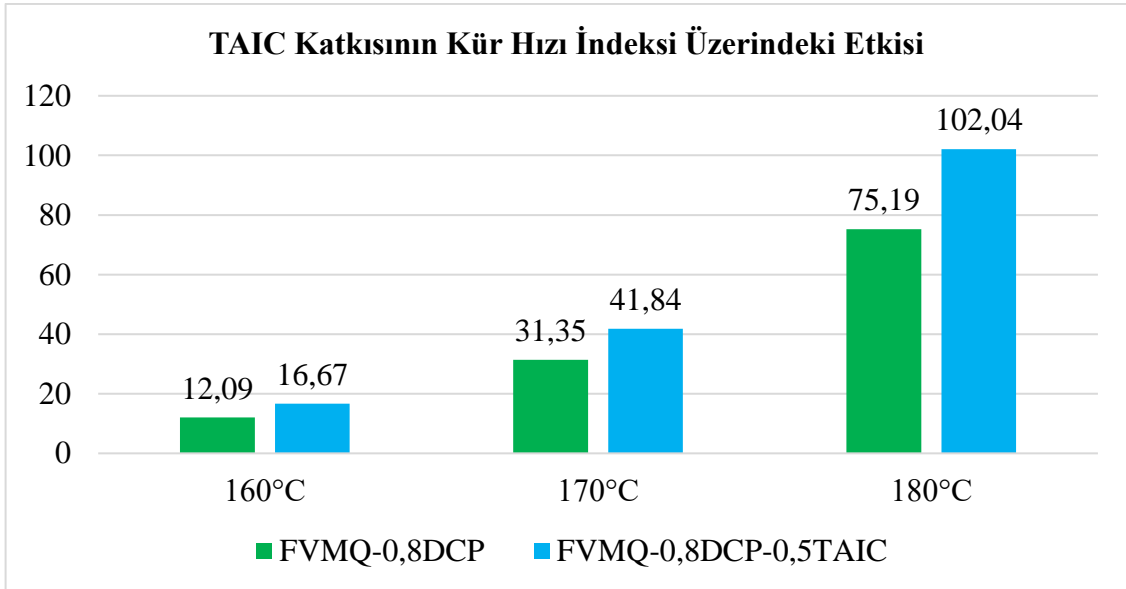
Çizelge 4.11. FVMQ-XXDCP-0,5TAIC silikon elastomerlerin kür parametreleri

Kür Sıcaklığı	Kür Parametreleri	FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC	FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC	FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC
160°C	M_L dNm	1,09	1,13	1,18
	M_H dNm	19,65	19,06	17,45
	ts_2 dak	0,83	0,69	0,63
	t_{90} dak	6,66	6,69	6,86
	$\Delta Tork (M_H - M_L)$	18,56	17,93	16,27
	CRI	17,15	16,67	16,05
170°C	M_L dNm	1,09	1,09	1,1
	M_H dNm	18,1	16,12	16,48
	ts_2 dak	0,54	0,48	0,44
	t_{90} dak	3,18	2,87	2,74
	$\Delta Tork (M_H - M_L)$	17,01	15,03	15,38
	CRI	37,88	41,84	43,48
180°C	M_L dNm	1,17	1,1	1,22
	M_H dNm	18,57	18,69	18,65
	ts_2 dak	0,38	0,34	0,33
	t_{90} dak	1,58	1,32	1,28
	$\Delta Tork (M_H - M_L)$	17,4	17,59	17,43
	CRI	83,33	102,04	105,26

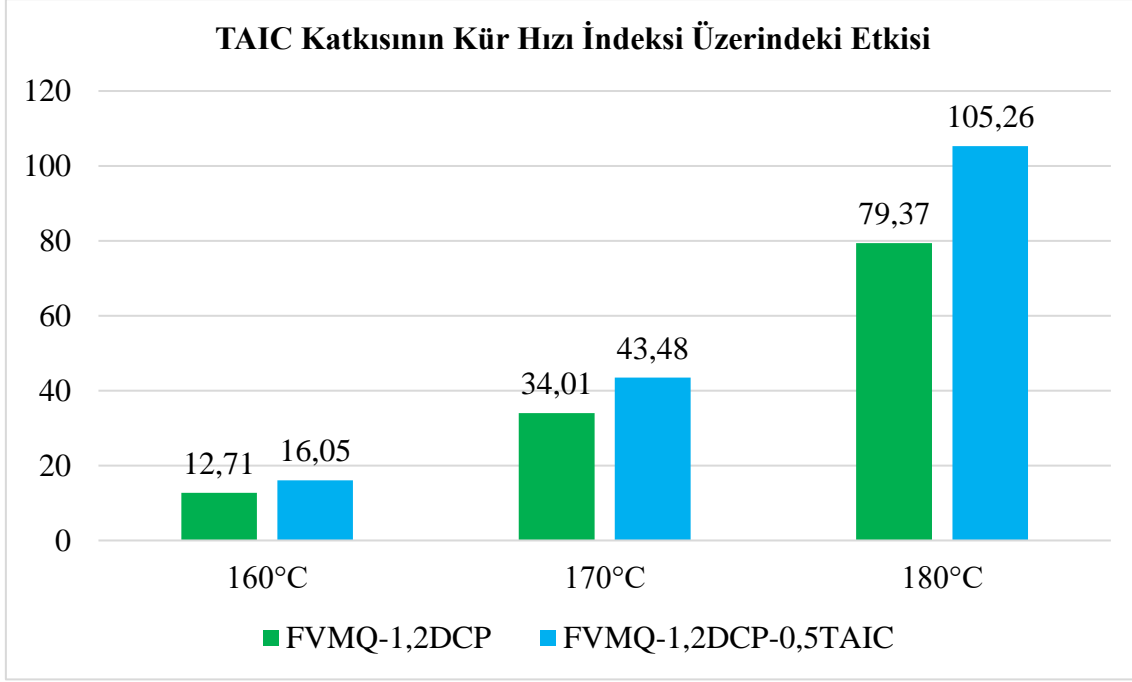
FVMQ-DCP silikon elastomer karışımlarına 0,5 phr'de TAIC eklenmesi ile beklenildiği gibi 160°C 170°C ve 180°C'de kür hızı indeksi ve Δ Tork değerinin arttığı görülmektedir. Ko-ajan içeren ve içermeyen silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi Şekil 4.29-4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.29. TAIC katkısının FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi



Şekil 4.30. TAIC katkısının FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi



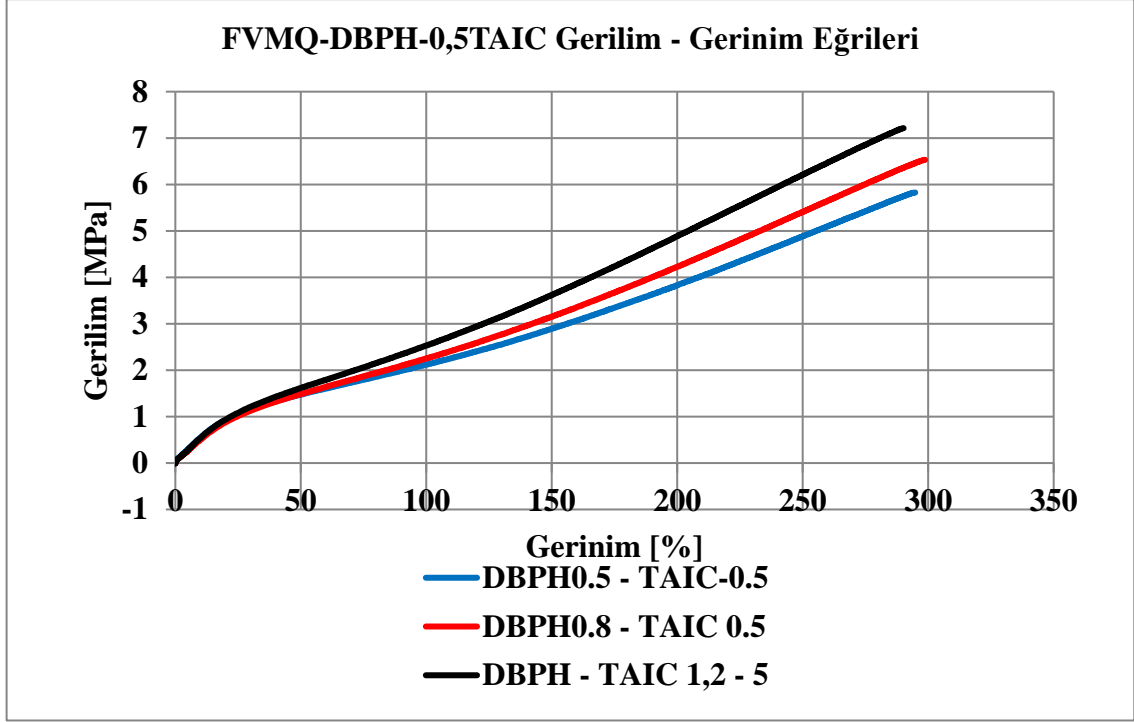
Şekil 4.31. TAIC katkısının FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC silikon elastomer karışımlarının kür hızı indeksi üzerindeki etkisi

TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan FVMQ-DCP-0,5TAIC silikon elastomer karışımlarının kür hızı indekslerinin sıcaklık ile değişimleri incelendiğinde, FVMQ-0,5DCP-TAIC karışımında en fazla değişim 170°C’de %134,84 olarak gerçekleşmiştir. 160°C’de %127,15 ve 180°C’de ise %88,31’dir.

Sıralama yapıldığında 170°C > 160°C > 180°C olarak sıralanmaktadır. FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC elastomerinde en fazla değişim 160°C’de %37,88’dir, 170°C’de %33,46 ve 180°C’de ise %35,70 oranında artış olmuştur. Sıralama yapıldığında 160°C > 180°C > 170°C’dir. FVMQ-1,2DCP-TAIC elastomerinde ise en fazla değişim 180°C’de %32,61’dir, 160°C’de %26,27, 170°C’de %27,84 artış gerçekleşmiştir. Sıralaması ise 180°C > 170°C > 160°C olarak sıralanmaktadır. Silikon elastomerlerde DCP ve TAIC miktarının artmasına bağlı olarak kür hızı indekslerinde değişim oranının azaldığı görülmektedir.

4.3.3. FVMQ-DBPH-TAIC İçeren Elastomerlerin Mekanik Özellikleri

Ko-ajan olarak eklenen TAIC’in mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemek için gerilim-gerinim, sertlik, geri sekme ve basma testleri yapılmıştır. Gerilim-gerinim eğrileri Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. FVMQ-DBPH-0,5TAIC silikon elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri

FVMQ-DBPH-0,5TAIC silikon elastomer karışımların gerilim-gerinim, sertlik, geri sekme ve basma testlerinden elde edilen parametreler Çizelge 4.12-4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Farklı oranlarda DBPH içeren FVMQ-XXDBPH-0,5TAIC elastomerlerinin mekanik özellikleri

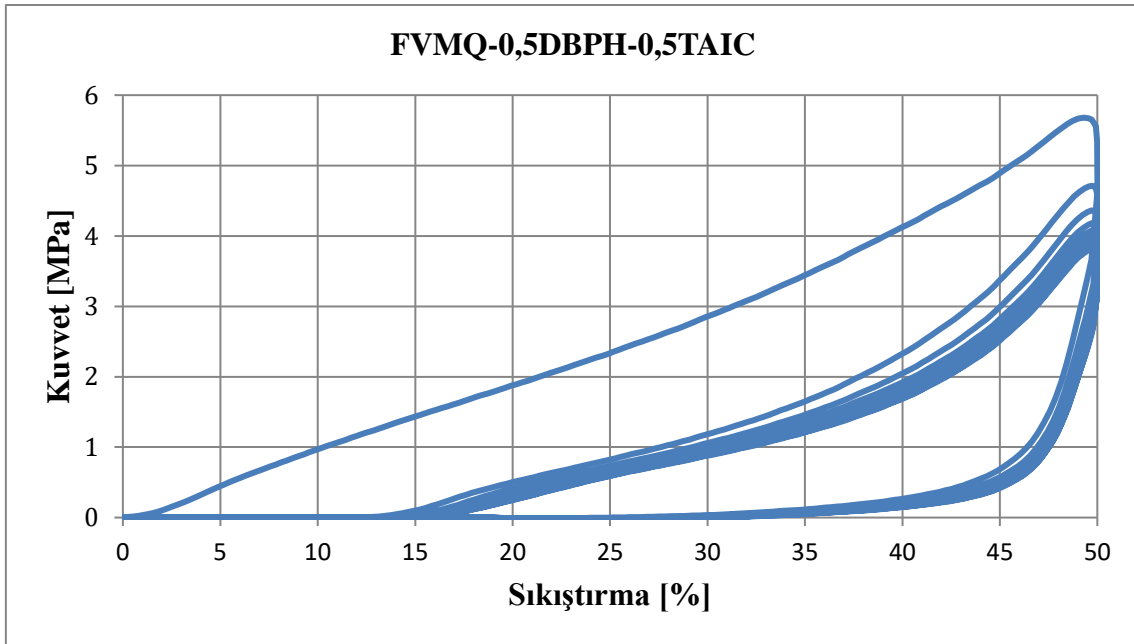
Karışım Adı	Elastik Modül (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Kopmadaki Uzama (%)
FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC	4,96	5,85	294,82
FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC	4,47	6,10	240,15
FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC	5,04	7,32	309,62

Çizelge 4.13. Farklı oranlarda DBPH içeren FVMQ-XXDBPH-0,5TAIC elastomerlerinin sertlik ve geri sekme test değerleri

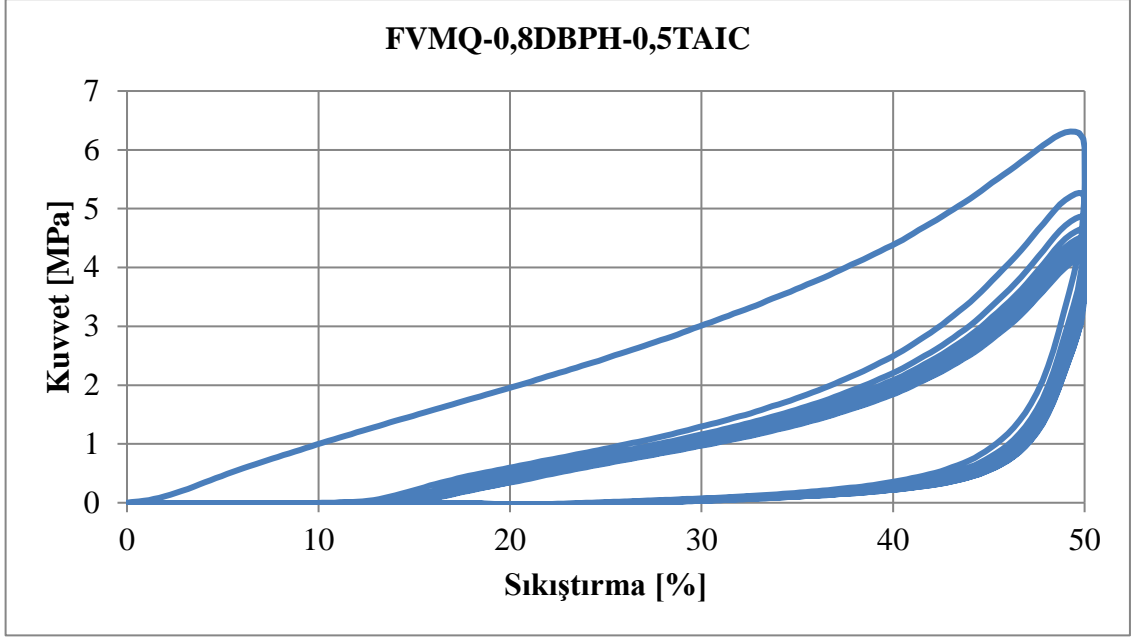
Karışım Adı	Sertlik Değeri (Shore A)	Geri Sekme Testi
FVMQ-0,5DBPH-0,5 TAIC	66±1	18±1
FVMQ-0,8DBPH-0,5 TAIC	67±1	19±1
FVMQ-1,2DBPH-0,5 TAIC	68±1	22±1

FVMQ-DBPH karışımlarına ko-ajan olarak TAIC eklendiğinde ko-ajan olmayan karışımlar ile karşılaştırma yapıldığında sertlik ve geri sekme değerlerinin arttığı görülmektedir. TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan karışımları sertlik ve geri sekme değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.52-53’de verilmiştir. Sertlik ve geri sekme değerlerindeki artışın nedeni ko-ajan eklenmesi ile elastomerin çapraz bağ yoğunluğunun artmasıdır.

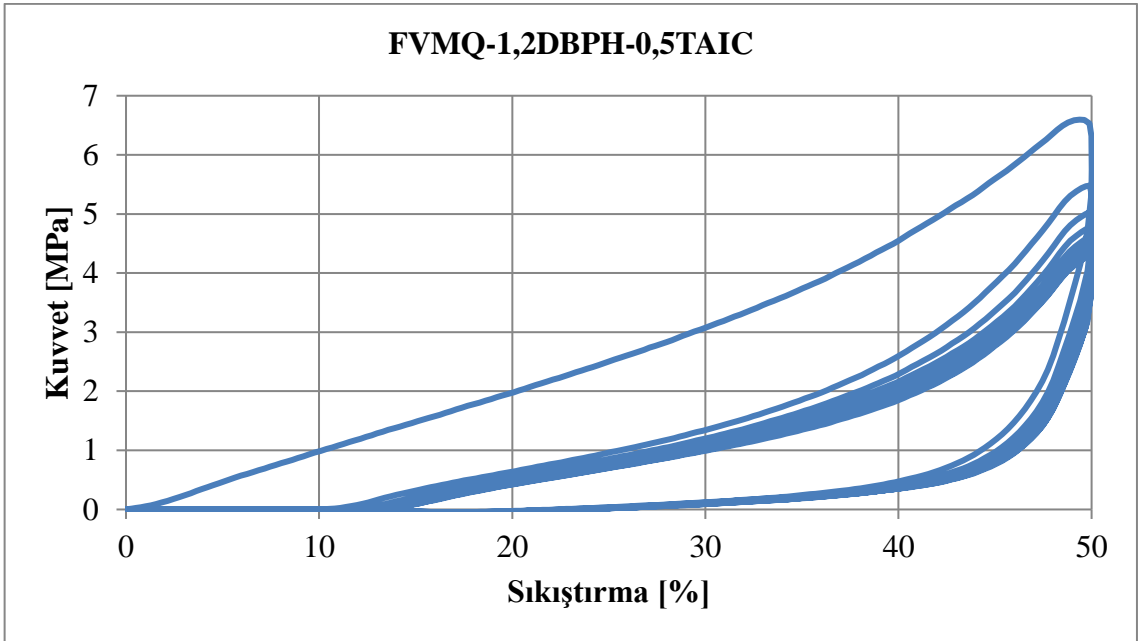
TAIC’in dolayısıyla çapraz bağlanmanın DBPH ile hazırlanan FVMQ elastomerlerinin enerji sönümlenme ve damping özelliklerine etkisinin incelenmesi için daha önceki sistemlerde yapıldığı gibi disk şeklindeki örnekler kullanılarak evrensel test cihazında 10 döngülü sıkıştırma testleri yapılmıştır. Döngülü sıkıştırma eğrileri Şekil 4.33-35 ‘da verilmiştir.



Şekil 4.33. FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri



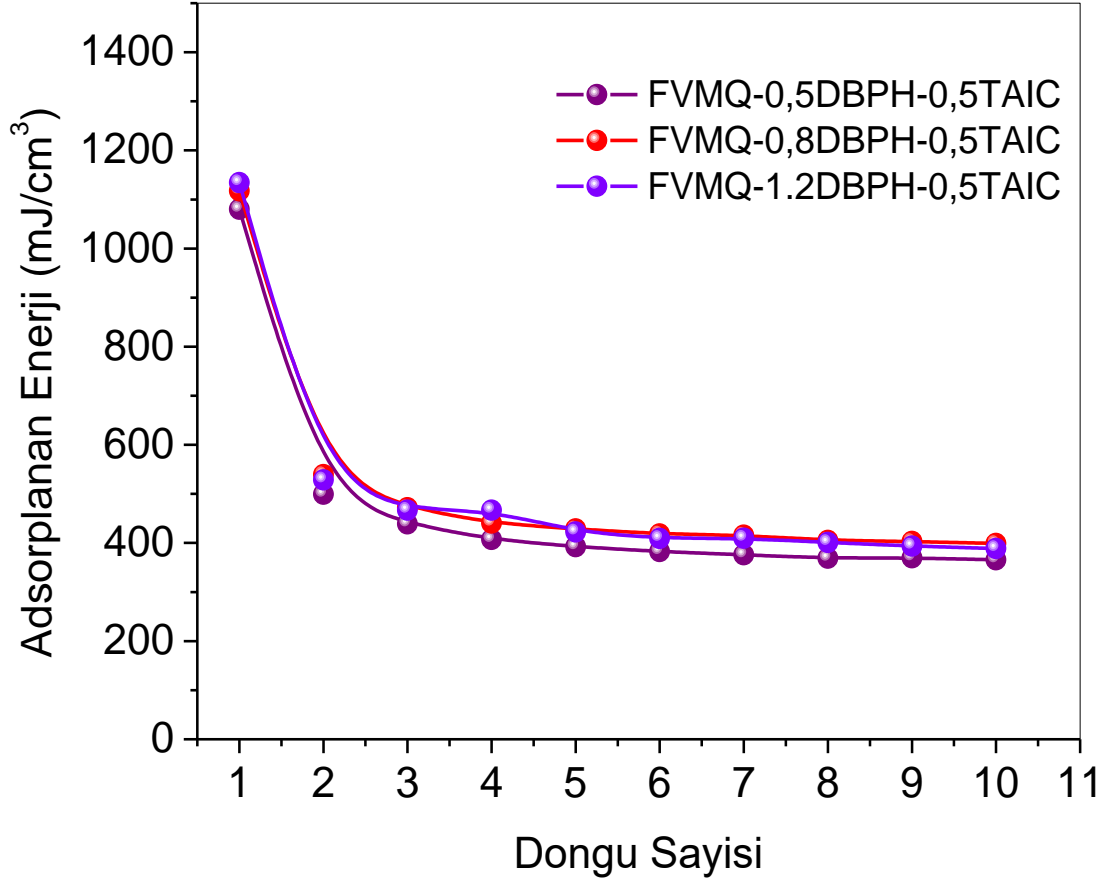
Şekil 4.34. FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri



Şekil 4.35. FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri

FVMQ-DBPH-0,5TAIC elastomerlerinin enerji emiliminin döngü sayısı ile değişimi Şekil 4.36'da verilmiştir. TAIC varlığında çapraz bağ yoğunluğunun artırılmış olmasından dolayı DBPH oranının etkisi azalmıştır. FVMQ-DBPH-0,5TAIC

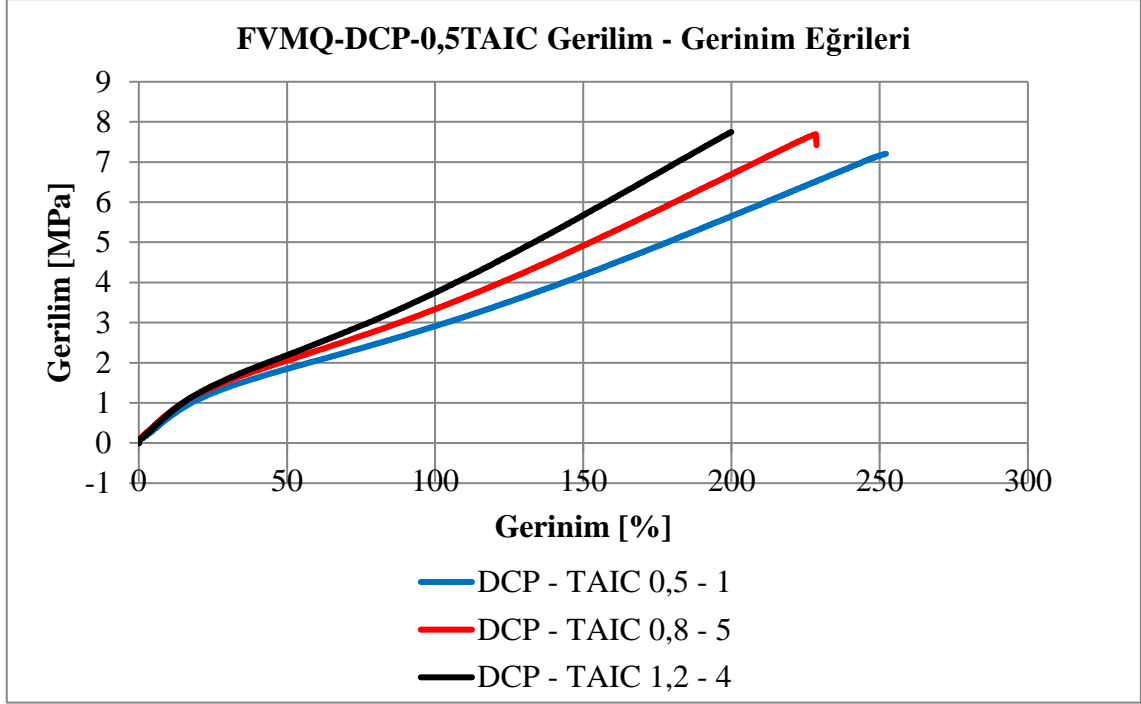
elastomerinin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma sırasında enerji emiliminin döngü sayısı ile değişimi Şekil 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.36. FVMQ-XXDBPH-0,5TAIC elastomerlerin %50 oranında 10 döngülü sıkıştırma sırasında enerji emiliminin döngü sayısı değişimi

4.3.4. FVMQ-DCP-TAIC İçeren Elastomerlerin Mekanik Özellikleri

FVMQ-DCP hamur karışımlarına ko-ajan olarak eklenen TAIC’in mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemek için FVMQ-DBPH silikon elastomer karışımı ile aynı ortam koşulları ve test parametreleri kullanılarak gerilim-gerinim, sertlik, geri sekme ve basma testleri yapılmıştır. Gerilim-gerinim eğrileri Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37. FVMQ-XXDCP-0,5TAIC silikon elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri

FVMQ-XXDCP-0,5TAIC silikon elastomer karışımların gerilim-gerinim, sertlik ve geri sekme test özellikleri Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Farklı oranlarda DCP içeren FVMQ-XXDCP-0,5TAIC elastomerlerinin mekanik özellikleri

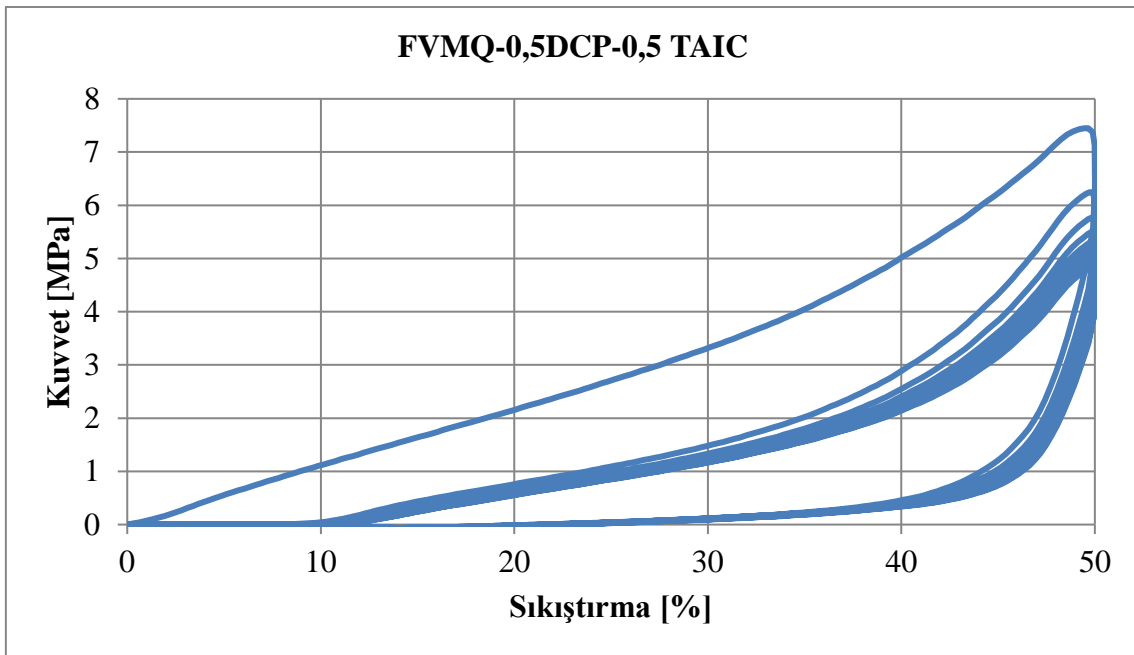
Karışım Adı	Elastik Modül (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Kopmadaki Uzama (%)
FVMQ-0,5DCP-0,5 TAIC	5,59	7,21	252,12
FVMQ-0,8DCP-0,5 TAIC	7,26	7,42	228,67
FVMQ-1,2DCP-0,5 TAIC	6,61	7,75	199,92

Çizelge 4.15. Farklı oranlarda DCP içeren FVMQ-XXDCP-0,5TAIC elastomerlerinin sertlik ve geri sekme test değerleri

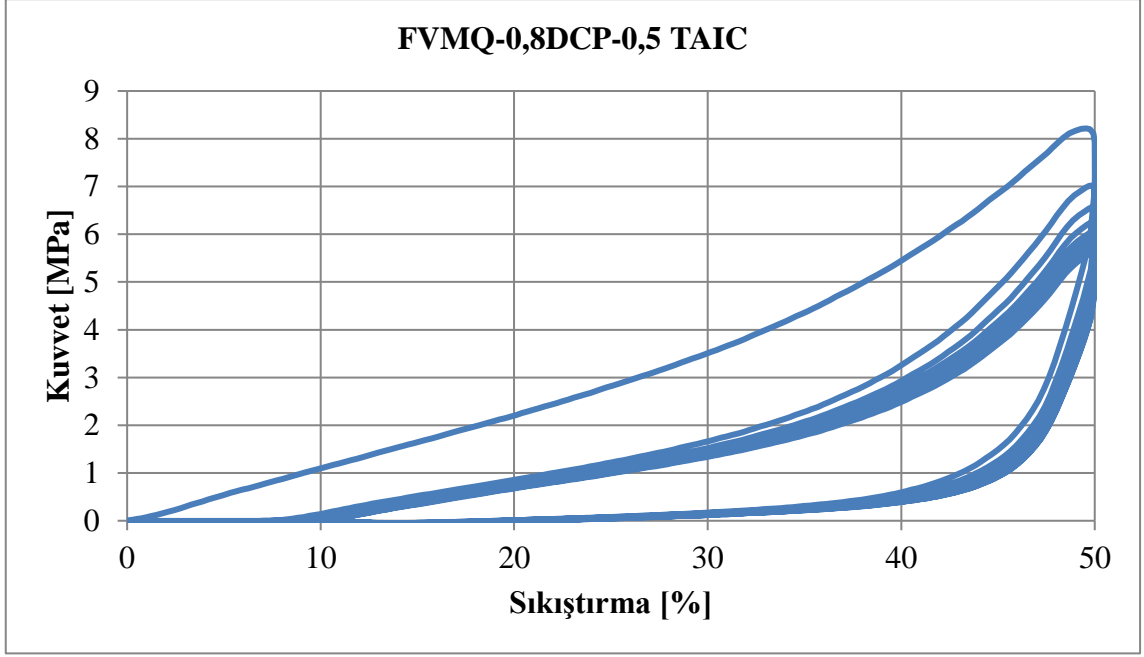
Karışım Adı	Sertlik Değeri (Shore A)	Geri Sekme Testi
FVMQ-0,5DCP-0,5 TAIC	70 ±1	22 ±1
FVMQ-0,8DCP-0,5 TAIC	70 ±1	23 ±1
FVMQ-1,2DCP-0,5 TAIC	72 ±1	24 ±1

FVMQ-DCP karışımlarına ko-ajan olarak TAIC eklendiğinde ko-ajan olmayan karışımlar ile karşılaştırma yapıldığında sertlik ve geri sekme değerlerinin arttığı görülmektedir. TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan karışımları sertlik ve geri sekme değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.54-55’de verilmiştir. Sertlik ve geri sekme değerlerindeki artışın nedeni ko-ajan eklenmesi ile elastomerin çapraz bağ yoğunluğunun artmasıdır.

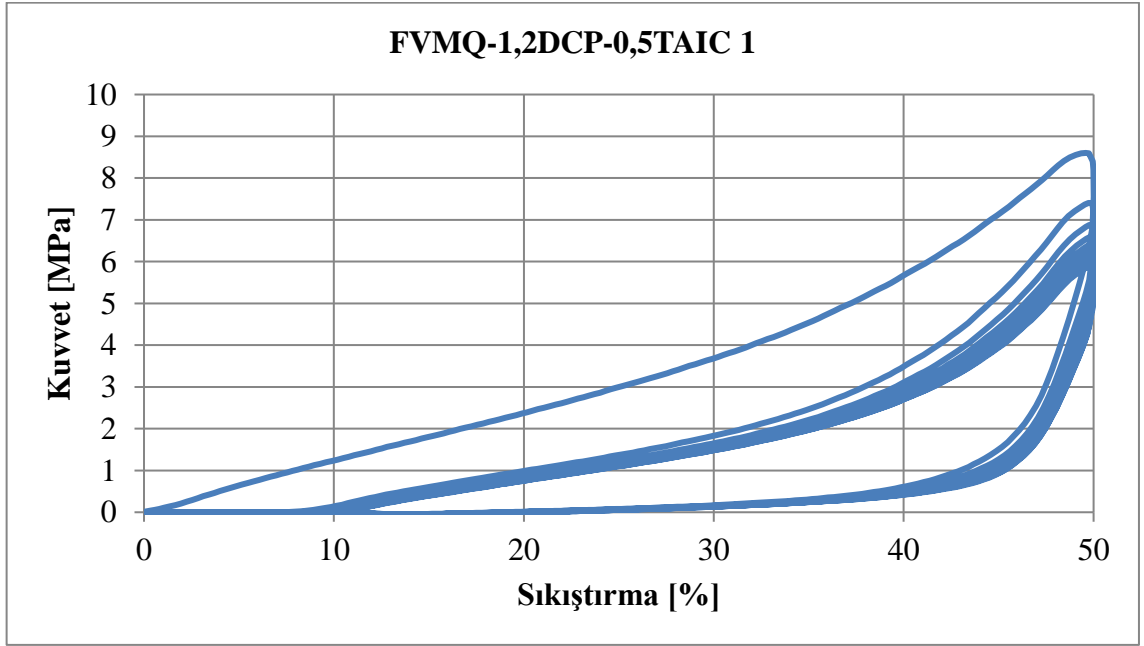
TAIC’in dolayısıyla çapraz bağlanmanın DCP ile hazırlanan FVMQ elastomerlerinin enerji sönümleme ve damping özelliklerine etkisinin incelenmesi için daha önceki sistemlerde yapıldığı gibi disk şeklindeki örnekler kullanılarak evrensel test cihazında 10 döngülü sıkıştırma testleri yapılmıştır. Döngülü sıkıştırma eğrileri Şekil 4.38-39’de verilmiştir.



Şekil 4.38. FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri



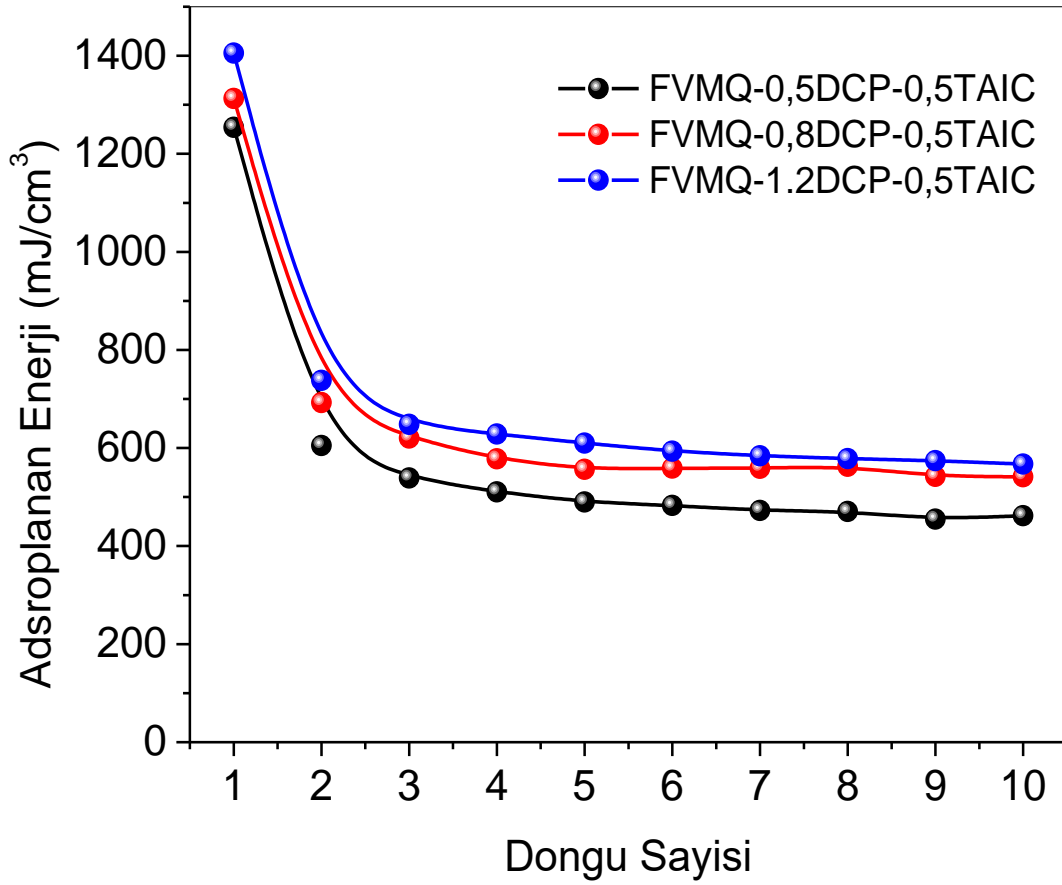
Şekil 4.39. FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri



Şekil 4.40. FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC örneklerine ait 10 döngülü %50 sıkıştırma eğrileri

FVMQ-DCP-0,5TAIC elastomerlerinin enerji emiliminin döngü sayısı ile değişimi Şekil 4.41’de verilmiştir. DCP kullanılmış sistemlerde DBPH kullanılmış sistemlerden farklı olarak TAIC içeren sistemlerde peroksit oranının artmasıyla absorplanan enerjide artış devam etmiştir. DCP miktarının artmasına bağlı olarak enerji sönümleme miktarının artış gösterdiği görülmektedir. En yüksek enerji sönümleme davranışı 1.2 phr DCP ve 0,5 phr TAIC kullanılmış sistemde gözlenmiştir.

FVMQ-DCP-0,5TAIC elastomerinin %50 oranında 10 dögümlü sıkışma sırasında enerji emiliminin dögü sayısı ile değişimi Şekil 4.41’de verilmiştir

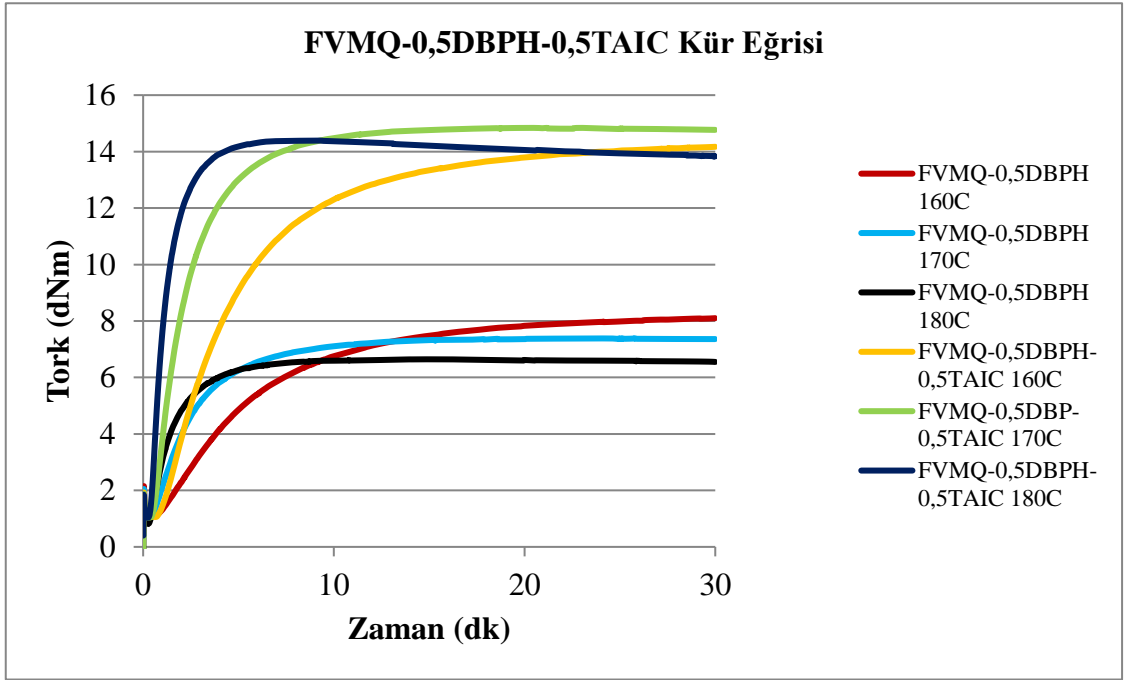


Şekil 4.41. FVMQ-XXDCP-0,5TAIC elastomerinin sıkışma sırasında enerji emiliminin dögü sayısı ile değişimi

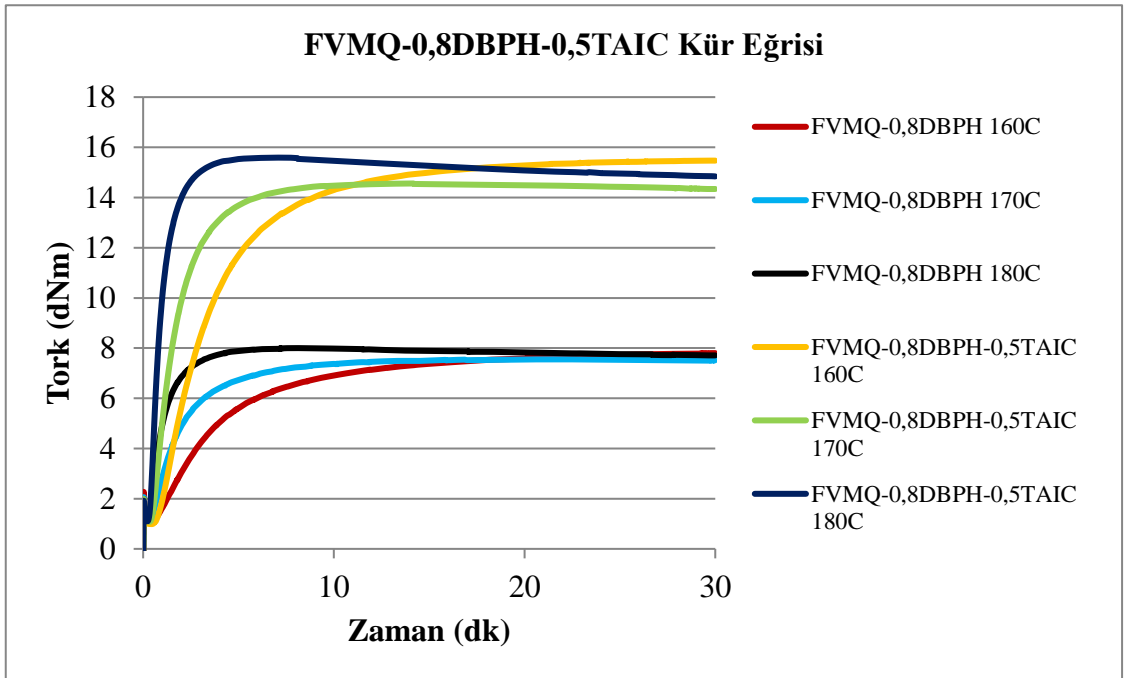
4.4. TAIC Varlığında ve Yokluğunda DBPH ve DCP Kullanılarak Hazırlanan Tüm FVMQ Elastomerlerinin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Florosilikon elastomerlerin hazırlanmasında DBPH ve DCP yanında ko-ajan TAIC’in kullanılmasının elastomerlerin özelliklerine nasıl etki ettiğini anlamak amacıyla yukarıda DBPH, DCPs ve TAIC varlığında ve yokluğunda yapılan çalışmalar bir araya getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

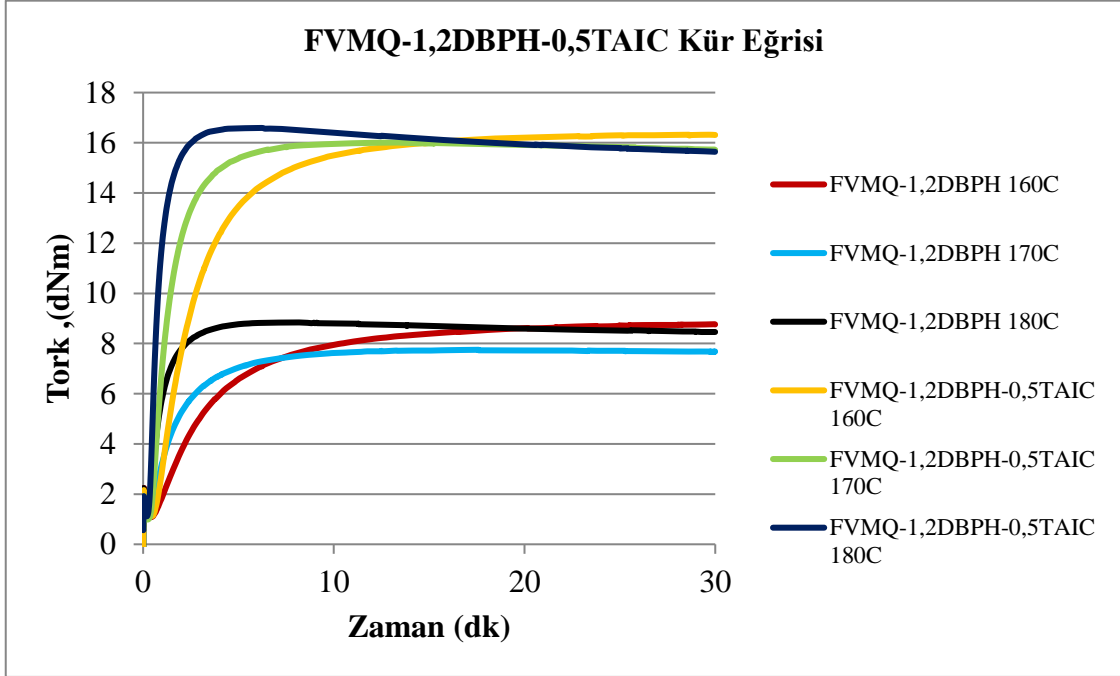
Şekil 4.42 – Şekil 4.44’den görüldüğü gibi her DBPH oranı için farklı sıcaklıklarda TAIC’in varlığından dolayı elastomerlerin delta tork (Δ Tork) değerleri ortalama olarak iki kat artış göstermiştir. Bunun sebebi daha önce de belirtildiği gibi TAIC varlığında çapraz bağlanma reaksiyonlarının artmasının bir sonucudur.



Şekil 4.42. FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



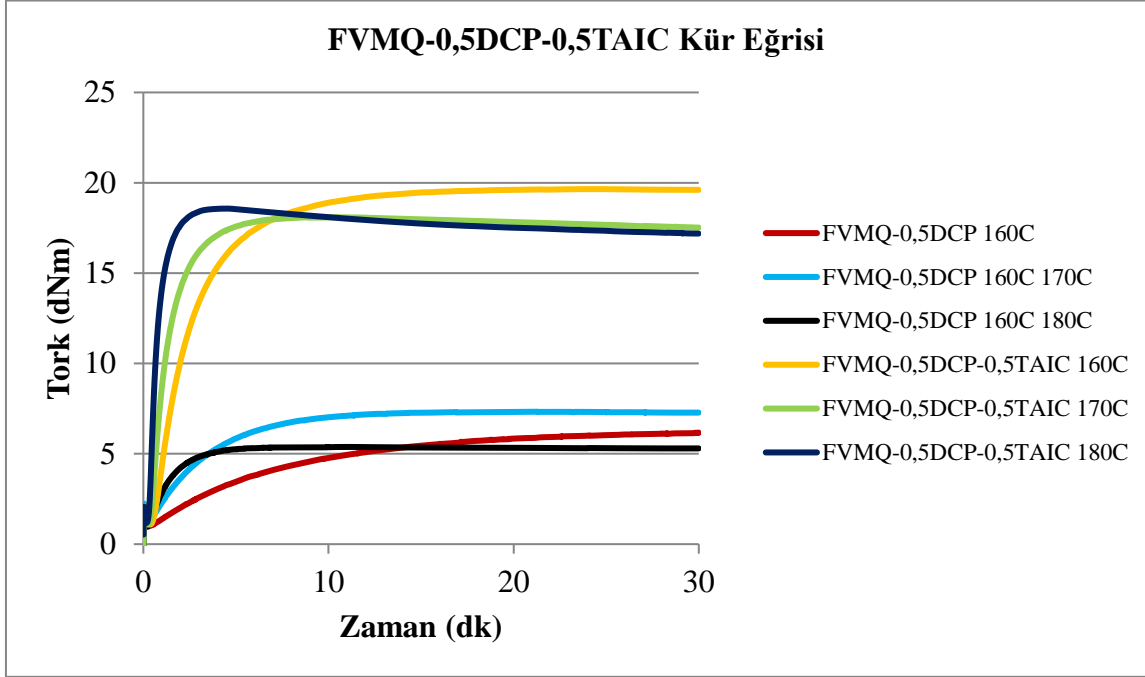
Şekil 4.43. FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



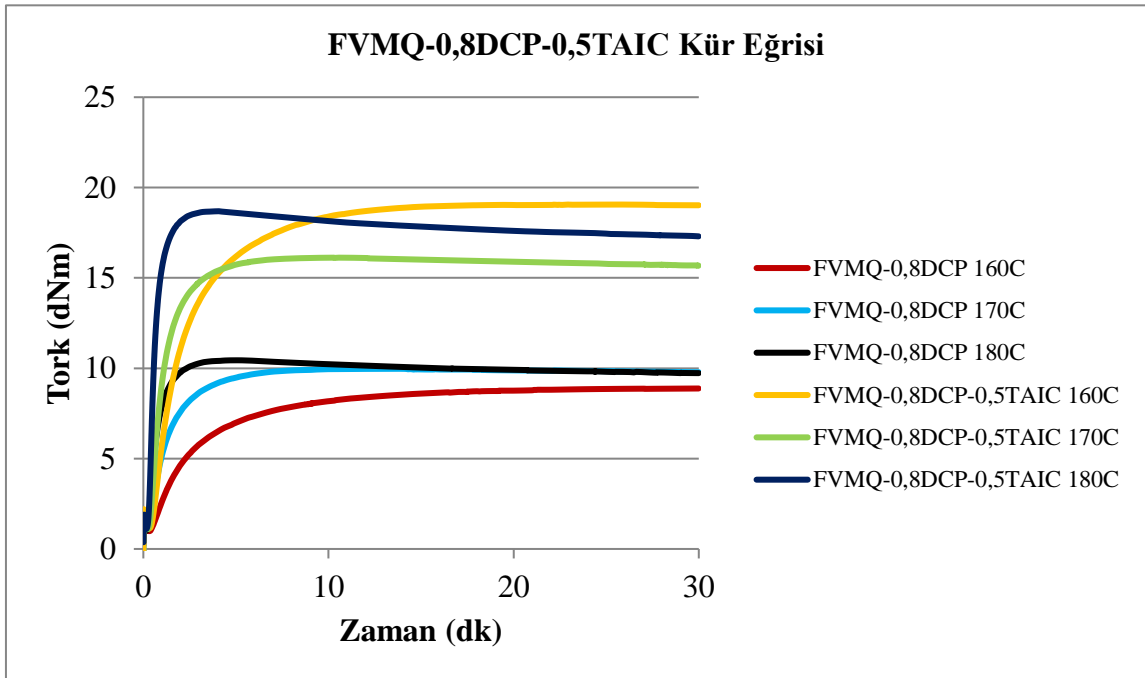
Şekil 4.44. FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri

Ön vulkanizasyon süresi (ts_2) sıcaklığın artması ve TAIC eklenmesi ile tüm karışımlarda düşüş göstermiştir. Ko-ajan olarak kullanılan TAIC'in karışımlarda beklenildiği gibi çapraz bağlayıcı ajan olarak etkisini gösterdiği görülmektedir. Optimum kürleşme süresi olarak kabul edilen (ts_{90}) değeri ise TAIC eklenmesi ile (ts_2) değeri ile aynı şekilde azalış eğilimindedir.

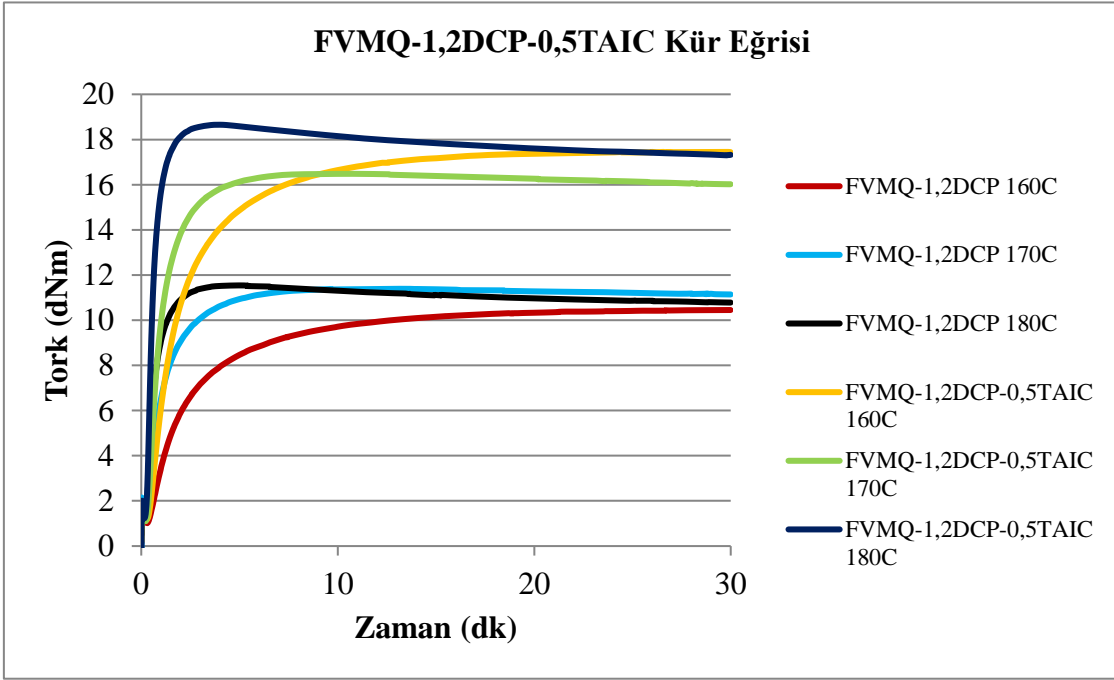
FVMQ elastomerlerinin farklı miktarlarda DCP ile 0,5 phr TAIC varlığında ve yokluğunda 160°C, 170°C ve 180°C elde edilen kür eğrileri Şekil 4.45-47'de gösterilmiştir.



Şekil 4.45. FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



Şekil 4.46. FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri



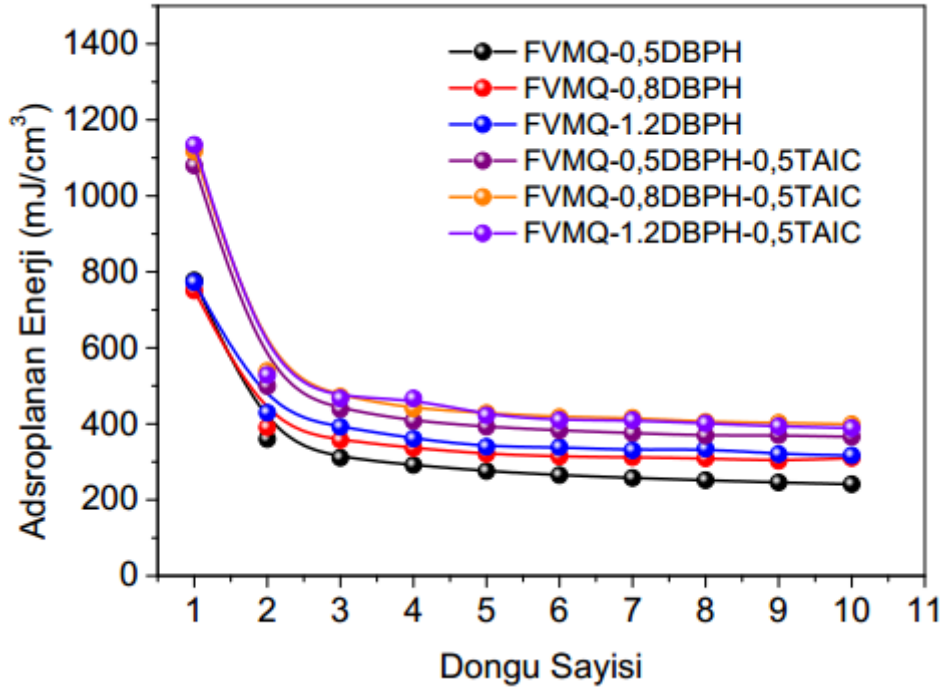
Şekil 4.47. FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC hamurunun 160°C, 170°C ve 180°C kür eğrileri

DCP ile hazırlanan FVMQ silikon elastomer karışımlarına TAIC eklenmesi ile reolojik özellikler üzerindeki etki FVMQ-DBPH karışımlarındaki gibi maksimum tork değeri (M_H) tüm karışımlarda ve sıcaklıklarda artmıştır. Ön vulkanizasyon süresi (ts_2) aynı sıcaklıkta DCP miktarı arttıkça ve TAIC eklenmesi ile düşüş göstermiştir. Kür hızı indeksi (CRI) DCP miktarı arttıkça ve TAIC eklenmesi ile artış göstermiştir.

Ko-ajan olarak kullanılan TAIC'in FVMQ—DCP karışımlarında da çapraz bağlayıcı etkisini gösterdiği görülmektedir. Karışımlarda DCP miktarı arttıkça kürleşme süresi olarak kabul edilen (t_{90}) değeri azalış göstermiştir. Benzer çalışmalarda da bu durum görülmektedir [49]. TAIC eklenmesi ile de optimum kürleşme süresi (t_{90}) değeri azalmaktadır.

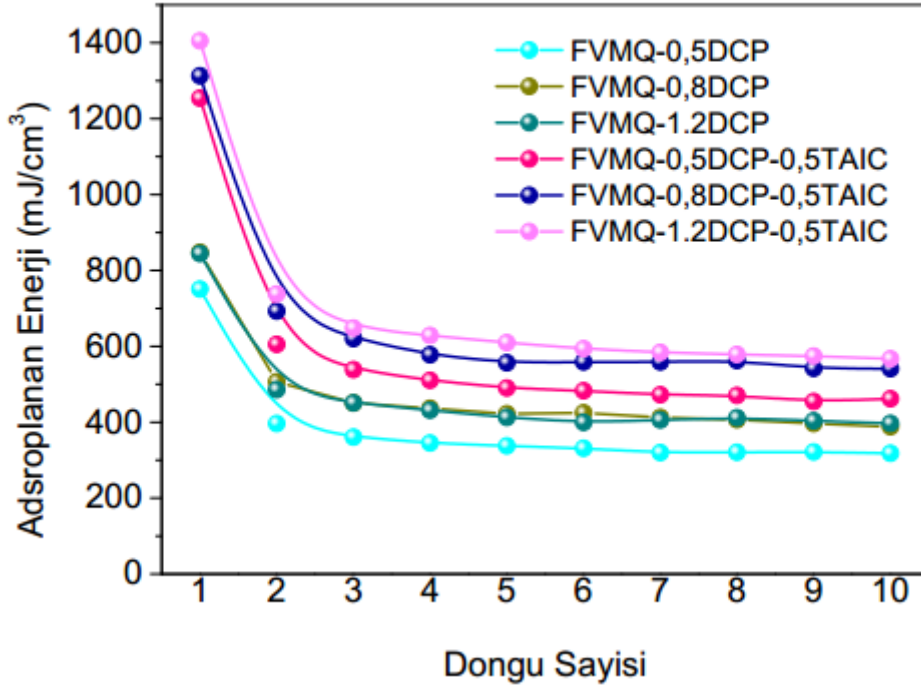
Yukarıda verilen TAIC varlığında ve yokluğunda DBPH ve DCP ile hazırlanan hamurların kür eğrileri incelendiğinde DCP ile hazırlanan karışımların delta tork (Δ Tork) değerlerinin DBPH ile hazırlanan sistemlerin delta tork (Δ Tork) değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç DCP ile daha yüksek çapraz bağ yoğunluğuna sahip FVMQ elastomerlerinin hazırlanabileceğini göstermiştir. DBPH ile daha düşük çapraz bağ yoğunluğunun elde edilmesinin aslında en büyük sebebi DBPH peroksit sisteminde etken madde miktarının %45 oranında olmasıdır [44].

DBPH kullanılarak hazırlanan FVMQ elastomerlerine TAIC eklenmesi durumunda döngülü sıkıştırma sırasında absorplanan enerjinin nasıl değiştiğini incelemek amacıyla absorplanan enerjinin döngü sayısı ile değişimi incelenmiştir. Şekil 4.48. Şekilden görüldüğü gibi sisteme TAIC eklenmesiyle absorplanan enerji değeri artmıştır. Çapraz bağ yoğunluğunun artmasıyla bir elastomerin elastikiyeti artacağı için damping özelliğinin yani enerji sönümlenme özelliğinin azalması beklenir ancak diğer taraftan fenil grubunun silikon elastomerlerin enerji sönümlenme özelliklerine çok önemli katkılar yaptığı bilinmektedir [5]. TAIC 'in kimyasal çapraz bağlanmaları arttırmasına rağmen kimyasal yapısında bulunan fenil grupları sayesinde elastomerin damping özelliğini arttırmasından dolayı TAIC içeren sistemlerin TAIC içermeyen sistemlerden daha yüksek enerji sönümlenme kapasitesine sahip olduğu düşünülmektedir.



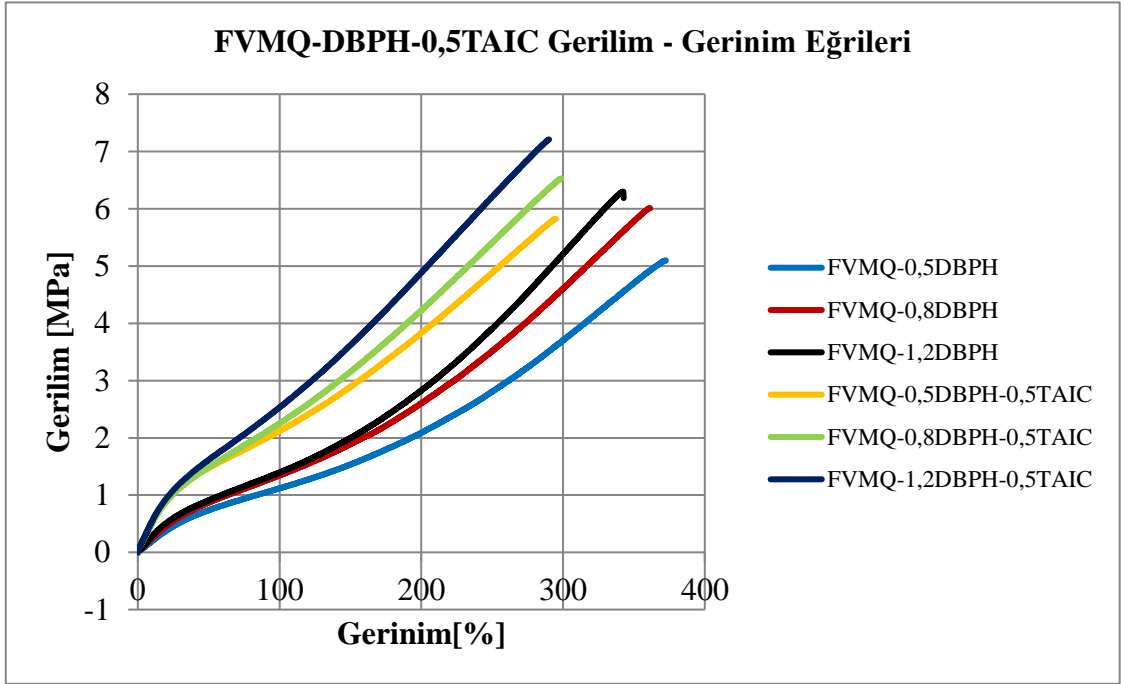
Şekil 4.48. Farklı phr'lardaki DBPH ve TAIC katkısının silikon elastomerlerinin enerji emiliminin döngü sayısı ile değişimi

TAIC'in enerji sönümlenme kapasitesi üzerindeki etkisi DCP içeren sistemlerde de gözlenmiştir. Şekil 4.49.

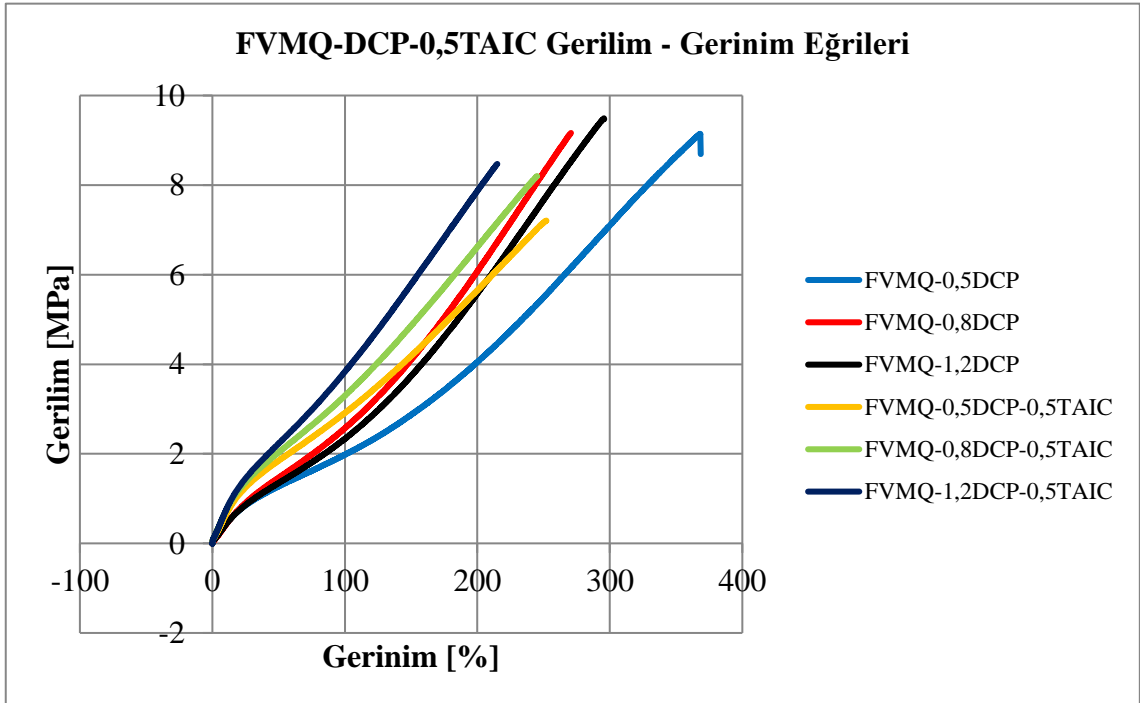


Şekil 4.49. Farklı phr'lardaki DCP ve TAIC katkısının silikon elastomerlerinin enerji emiliminin döngü sayısı ile değişimi

DBPH ve DCP kullanılarak hazırlanan FVMQ elastomerlerine TAIC eklenmesi durumunda mekanik özellikleri nasıl değiştirdiğini incelemek amacıyla gerilim-gerinim eğrileri incelenmiştir. Şekil 4.50-Şekil 4.51



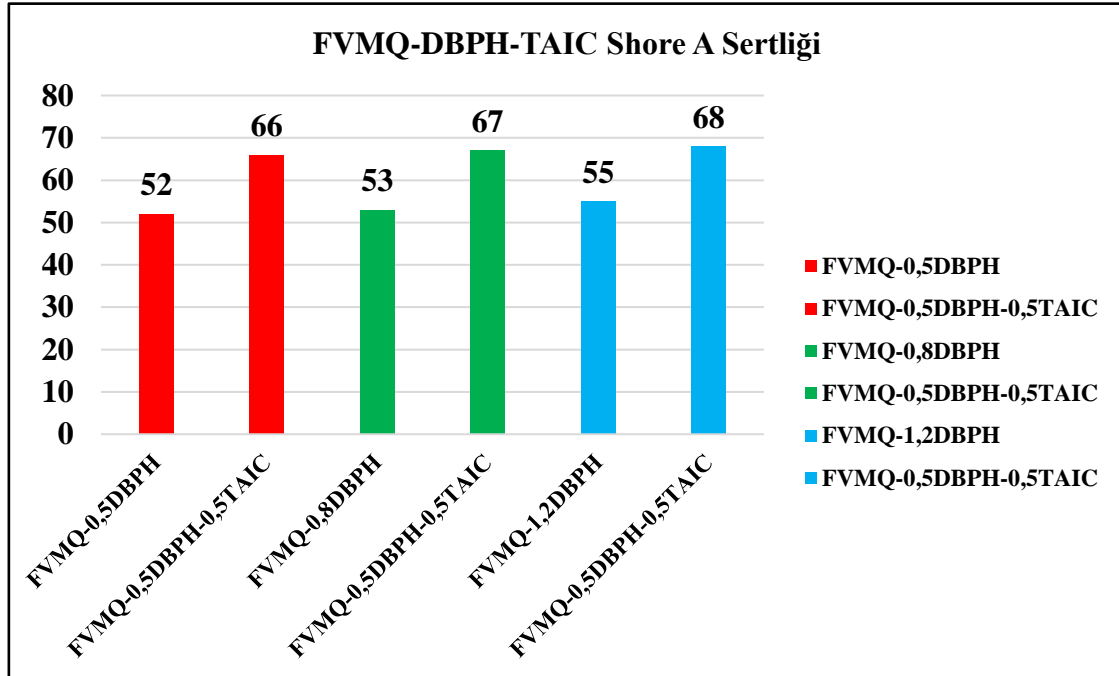
Şekil 4.50. TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan FVMQ-XXDBPH elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri



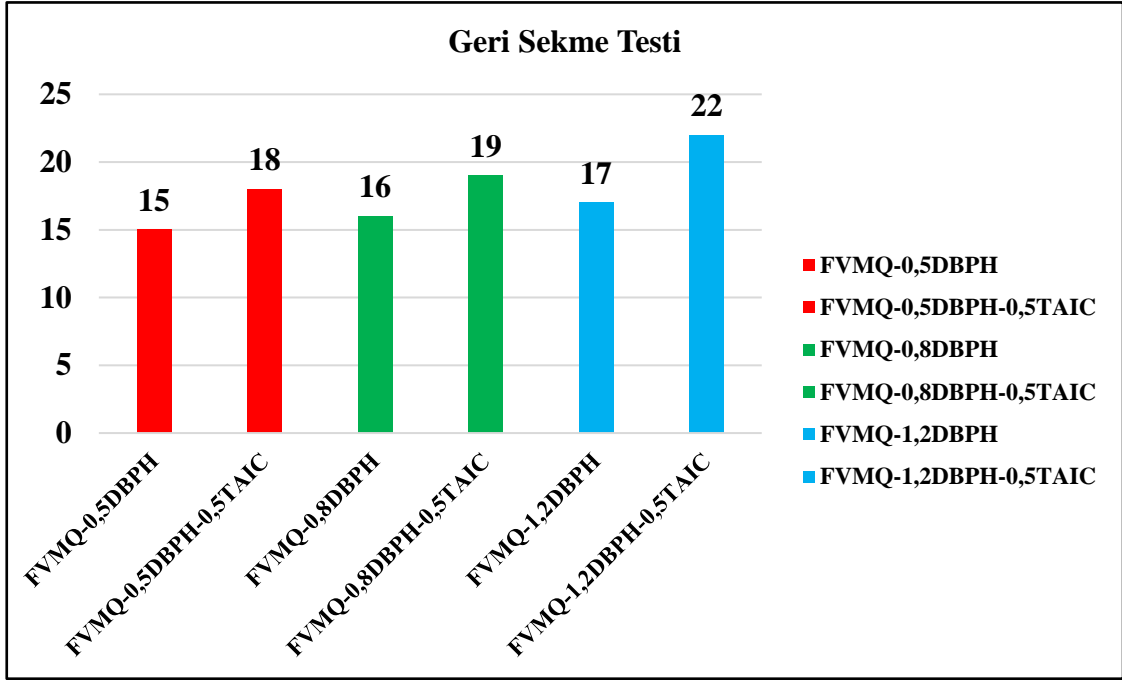
Şekil 4.51. TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan FVMQ-XXDCP elastomerlerin gerilim-gerinim eğrileri

FVMQ-DBPH karışımlarında DBPH miktarının artması ile elastik modül ve kopma dayanımı artmıştır. Ko-ajan olarak TAIC eklenmesi ile çapraz bağ yoğunluğunun artmasıyla elastik modül ve kopma dayanımı artış göstermiştir.

FVMQ-DCP karışımlarında DCP miktarının artması ile elastik modül ve kopma dayanımı az da olsa artış göstermiştir. Ko-ajan olarak TAIC eklenmesi ile elastomer sisteminin yeterince yüksek çapraz bağ yoğunluğuna ulaşmış olmasından dolayı çok sistematik bir değişim göstermemiş % uzama değerleri %200 kopma dayanımı için ortalama 8-9 MPa değerinde bir dayanım olduğu görülmüştür. Ancak DCP ile hazırlanan sistemlerin mekanik özelliklerinin DBPH ile hazırlanan sistemlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. TAIC ile çapraz bağ yoğunluğundaki artışın gerilim gerinim yanı sıra FVMQ elastomerlerinin diğer mekanik özelliklerinde de artışa yol açtığı görülmüştür. DBPH kullanılarak TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan FVMQ elastomerlerinin Shore A sertlik ve geri sekme özelliklerine etkisi sırasıyla Şekil 4.52 ve Şekil 4.53’de ve DCP kullanılarak TAIC varlığında ve yokluğunda hazırlanan FVMQ elastomerlerinin Shore A sertlik ve geri sekme özelliklerine etkisi sırasıyla Şekil 4.52-4.55’de verilmiştir.

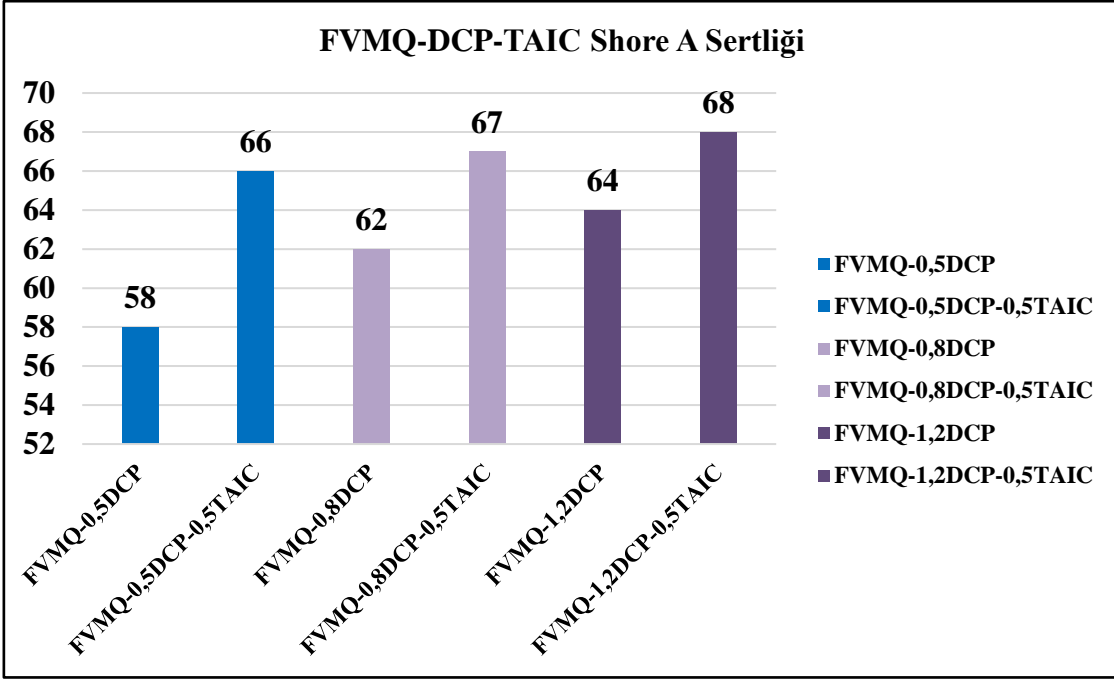


Şekil 4.52. TAIC içeren ve içermeyen FVMQ-XXDBPH elastomerlerin Shore A sertlik değerleri

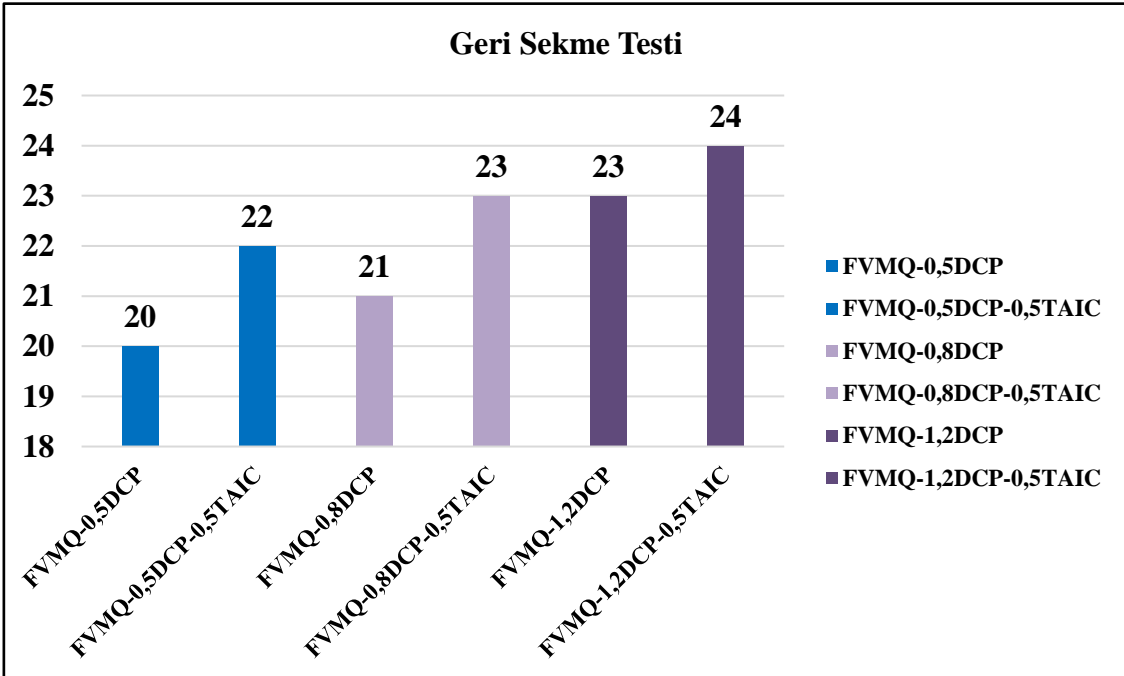


Şekil 4.53. TAIC içeren ve içermeyen FVMQ-XXDBPH elastomerlerin geri sekme değerleri

FVMQ-DBPH karışımlarında DBPH miktarı artırıldıkça Shore A sertlik ve geri sekme değerleri artış göstermiştir. Benzer şekilde ko-ajan olarak TAIC katkısı ile de Shore A sertlik değeri ve geri sekme değerinin arttığı benzer çalışmalarda da görülmektedir [50]. Shore A sertlik değerindeki en yüksek artış TAIC eklenmesi ile FVMQ-0,5DBPH ve FVMQ-0,8DBPH karışımlarında %26,41 ile olmuştur. Geri sekme testindeki en yüksek artış %29,41 FVMQ-1,2DBPH karışımında görülmektedir. Shore A sertliği ve geri sekme değeri en yüksek olan karışım FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC karışımıdır.



Şekil 4.54. TAIC iğerren ve içermeyen FVMQ-XXDCP elastomerlerin Shore A sertlik değerleri



Şekil 4.55. TAIC iğerren ve içermeyen FVMQ-XXDCP elastomerlerin geri sekme değerleri

FVMQ-DCP karışımlarında DCP miktarı arttıkça ve TAIC eklenmesi ile birlikte Shore A sertlik değeri artış göstermiştir. Geri sekme değeri DCP miktarı ve TAIC eklenmesine artmasına bağlı olarak artış göstermiştir.

Shore A sertlik değerindeki en yüksek artış TAIC eklenmesi ile FVMQ-0,5DCP %13,79 değişim ile olmuştur. Shore A sertlik değeri en yüksek olan karışım FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC karışımıdır. Geri sekme değeri en yüksek karışım ise FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC karışımıdır.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında farklı tip ve miktarda peroksit ve ko-ajan kullanılarak hazırlanan silikon elastomerlerin reolojik ve mekanik özellikleri incelenerek optimum kür koşulları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla DBPH, DCLBP ve DCP peroksitleri ve Tip II ko-ajan TAIC kullanılarak bir dizi karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların kür eğrileri, gerilim-gerinim eğrileri, basma test eğrileri, sertlik ve geri sekme değerleri analiz edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda Tip II ko-ajan olan TAIC kullanımı ile çapraz bağ yoğunluğu artmıştır. Bunun sonucunda ise FVMQ-DBPH ve FVMQ-DCP silikon elastomer karışımlarında Shore A sertlik ve geri sekme değerlerinin arttığı görülmüştür. Ko-ajanlar karışımlarda çapraz bağlanma etkinliğini artırmasının temel nedeni literatürde elastomer zincirleri arasında köprü oluşturarak ekstra çapraz bağlar oluşmasına olanak sağlaması olarak belirtilmiştir [26-29]. Maksimum tork ve delta tork değerleri kauçukların sertlik ve çapraz bağlanmasını artırmaktadır. Sertliğin yüksek olması ile kauçuk zincirindeki hareketleri engelleyecektir. Çapraz bağlanmanın yüksek olması malzemedeki sertliği de artırmaktadır [46].

Basma testi sonucunda 1. döngüden 2. döngüye geçerken tüm karışımlarda enerji emiliminde belirgin bir azalış görülmektedir. 1. döngüden sonraki diğer döngüler daha küçük değişim gözlenmiştir. Bunun nedeni malzemeler deformasyona uğradıktan sonra viskoz kısım 1.döngüde tamamen aktığı için ilk haline dönmek için 2. ve daha sonraki döngülerde daha az enerjiye ihtiyaç duymasıdır. Bu durum literatürde Mullins Etkisi olarak bilinmektedir [34].

FVMQ-DBPH-TAIC karışımında 1. döngü sonunda en fazla enerji az farkla olsa da FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC karışımında gözlenmiştir. FVMQ-DCP-TAIC karışımlarında ise en fazla enerji emilimi FVMQ-1,2DCP,0,5TAIC karışımında olmuştur.

DBPH miktarının artmasına bağlı olarak çapraz bağlanmanın göstergesi olan elastik modül artış göstermiştir. FVMQ-DBPH karışımlarında elastik modül değeri en büyük FVMQ-1,2DBPH karışımıdır. Sıralama yapıldığında ise FVMQ-1,2DBPH > FVMQ-0,8DCP > FVMQ-0,5 karışımları olarak sıralanmaktadır.

Karışımlara TAIC eklenmesi ile FVMQ-0,5DBPH karışımında elastik modül %192 FVMQ-0,8DBPH karışımında %114 FVMQ-1,2DBPH karışımında ise %120 artış göstermiştir. FVMQ-DCP karışımları incelendiğinde ise elastik modül değeri en büyük FVMQ-0,8DCP karışımıdır. Sıralama yapıldığında ise FVMQ-0,8DCP > FVMQ-1,2DCP > FVMQ-0,5DCP karışımları olarak sıralanmaktadır. Burada 0,8 ve 1,2 phr arasındaki fark çok yüksek değildir. TAIC eklenmesi ile FVMQ-0,5DCP karışımında elastik modül %80 FVMQ-0,8DCP karışımında %89, FVMQ-1,2DCP karışımında ise %96'dır. Tip II ko-ajanlar kürleşme hızını artırmak, vulkanizasyon sırasındaki sıcaklığı düşürmek ve çapraz bağ yoğunluğunu sağlamak amacıyla kullanılan kimyasal malzemelerdir [23-25].

Çapraz bağlanmanın, kauçuk malzemelerin elastomerik özelliğe sahip olması için önemli bir proses olduğu görülmüştür. Elastomerlerde deformasyona karşın direncin korunması ve malzemeye boyutsal kararlılık kazandırılması ise çapraz bağlanma işlemi ile sağlanmaktadır [56].

Kür eğrilerinden elde edilen sonuçlarda ise FVMQ-DBPH karışımında en yüksek kür hızına sahip karışım 180°C sıcaklıkta FVMQ-1,2DBPH'dir. TAIC eklenmesi ile kür hızında beklenen çapraz bağlanma etkisi gözlemlenerek kür derecesinin arttığı görülmüştür. FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC karışımında kür hızı indeksi %36 artış göstermiştir. FVMQ-DCP karışımında en yüksek kür hızına sahip karışımında ise 180°C sıcaklıkta FVMQ-1,2DCP'dir. FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC karışımında kür hızı indeksi %33 artmıştır.

FVMQ-DBPH silikon elastomer karışımların sertlik değerleri arasında sıralama yapıldığında,

FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC> FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC> FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC> FVMQ-1,2DBPH> FVMQ-0,8DBPH> FVMQ-0,5DBPH sırası elde edilmiştir.

FVMQ-DCP silikon elastomer karışımların sertlik değerleri arasında sıralama yapıldığında,

FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC> FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC> FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC> FVMQ-1,2DCP> FVMQ-0,8DCP> FVMQ-0,5DCP sıralaması gözlenmiştir.

FVMQ-DBPH silikon elastomer karışımların geri sekme değerleri arasında sıralama yapıldığında,

FVMQ-1,2DBPH-0,5TAIC> FVMQ-0,8DBPH-0,5TAIC> FVMQ-0,5DBPH-0,5TAIC> FVMQ-1,2DBPH> FVMQ-0,8DBPH> FVMQ-0,5DBPH şeklinde bir sıranın olduğu,

FVMQ-DCP silikon elastomer karışımların sertlik değerleri arasında sıralama yapıldığında,

FVMQ-1,2DCP-0,5TAIC> FVMQ-0,8DCP-0,5TAIC = FVMQ-0,8DCP> FVMQ-0,5DCP-0,5TAIC> FVMQ-0,8DCP> FVMQ-0,5DCP bir sıralamanın olduğu bulunmuştur.

Karışımların çapraz bağ yoğunluklarının yüksek olması ile sertlik ve geri sekme değerlerinin artması beklenen bir durumdur. FVMQ silikonun içerisine DCP peroksitinin eklenmesi DBPH eklenmesine göre daha iyi mekanik özellikler elde edilmesini sağlamıştır. Hem TAIC içeren hem de içermeyen sistemler için DCP kullanılan FVMQ elastomerlerin tüm mekanik özellikleri DBPH kullanılarak hazırlanan FVMQ elastomerlerinden daha yüksektir. Bu durumun temel nedeni DCP'nin saflık ve etken madde miktarının %99 oranında olmasıdır [48].

FVMQ-DCLBP karışımlarında elde edilen kür eğrilerinin tipik kür eğrilerinden farklı karakter gösterdiği tespit edilmiştir. Kürleşme çok hızlı başlamakta ve tork değeri diğer peroksitler ile elde edilen tork değerinin yaklaşık üçte birine ulaştığında bir miktar düşme göstermekte ve sonra sabit kalmaktadır. Bu durum endüstriyel uygulamalarda katalizör zehirlenmesi olarak isimlendirilmektedir. Bunun sebebinin DCLBP deki klor grupları nedeniyle florosilikondaki kür reaksiyonlarının engellenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Belirtilen nedenlerden dolayı FVMQ-DCLBP karışımlarının mekanik özellikleri incelenmemiştir.

Pişme sırasında polimer zincirleri birbirlerine bir ağ şeklinde bağlanır ve kauçuk hamuru viskoz akışkandan daha yüksek dayanım özelliğine sahip elastik bir katı malzeme haline dönüşür. Malzemenin kalıcı şekil değiştirme ve histerizis azalırken, modül değerleri, sertliği, kopma dayanımı artmaktadır. Kauçuk hamurunun özellikleri çapraz bağların yoğunluğu ile de ilişkilidir [35-39].

Tez çalışması kapsamında hazırlanan karışımlara post-kür çalışması yapılmamıştır. Post-kür çalışması ile reolojik ve mekanik özellikler üzerinde iyileştirme sağlanabileceği düşünülmektedir.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde peroksit tipi, peroksit miktarı ve ko-ajan eklenmesinin silikon elastomerlerin reolojik ve mekanik özellikleri üzerinde belirleyici bir rolü olduğu ve peroksit tipi ve TAIC oranı değiştirilerek %uzaması %200-372 aralığında ve kopma dayanımı 5-9,4 MPa aralığında olan elastomerlerin kontrollü olarak hazırlanabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] J. Walker, Elastomer Engineering Guide. Woking, England: James Walker Sealing Products and Services Ltd. **2012**.
- [2] Definitions of terms relating to the structure and processing of sols, gels, networks, and inorganic–organic hybrid materials (IUPAC Recommendations 2007)" (PDF). Pure and Applied Chemistry. 79 (10): 1801–1829. **2007**.
- [3] A.Y. Coran, Vulcanization. The Science and Technology of Rubber, 4, 337-381, **2013**.
- [4] E. Ispir and E. Serin, Polislakonlar ve kullanım alanları, KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi, **2006**, 9(2), 46-50.
- [5] D. Aksüt, Farklı Ko-Ajanlar Varlığında Kürleştirilmiş Silikon Elastomerlerin Özelliklerine İyonlaştırıcı Radyasyonun Etkisi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2020**.
- [6] K. S. Sisanth, M.H. Thomas, J. Abraham and S. Thomas, General introduction to rubbercompounding. In Progress in rubber nanocomposites (pp. 1-39). Woodhead Publishing, **2017**
- [7] P. Jerschow, Silicone Elastomers, 1st ed., Rapra Technology Limited, Shawbury, **2001**
- [8] G. Caporiccio, P.M. Cam, H.A. Spikes, Additives for fluorosilicone oils at high temperature, Imperial College of Science and Technology, Department of Mechanical Engineering, Exhibition Road, London SW7 2BX, UK, **1995**.
- [9] C. Xu, Y. Wang, B. Lin, X. Liang, Y. Chen, Thermoplastic vulcanizate based on poly(vinylidene fluoride) and methyl vinyl silicone rubber by using fluorosilicone rubber as interfacial compatibilizer China, **2015**.
- [10] M. Dawir, Sealing in the automotive industry with liquid fluoro-silicone elastomers, Seal. Technol. **2008** (7) (**2008**) 10-14.
- [11] <http://polymerdatabase.com/Elastomers/FVMQ.html> (Erişim tarihi: **6 Mayıs 2022**)
- [12] T. Metivier, P. Cassagnau, *Univ Lyon, Universite Lyon 1, Ingenierie des Materiaux Polymeres, CNRS UMR 5223, 15 Bd Lataret, 69622, Villeurbanne, France
- [13] <https://www.thomasnet.com/articles/plastics-rubber/silicone-products-industrial-applications/> (Erişim tarihi: **4 Mayıs 2022**)
- [14] <https://www.chemicalsafetyfacts.org/silicones-post/> (Erişim tarihi: **8 Mayıs 2022**).

- [15] E. Paul, Hurley History of Natural Rubber Malaysian Rubber Bureau , Washington, D.C., **2006**.
- [16] A. Bhowmick, Rubber Products Manufacturing Technology, in Rubber Prod. Manuf. Technol., MARCEL DEKKER, INC., NewYork, **1994**.
- [17] A. Basfar, M. Abdel-Aziz and S. Mofti, Influence of different curing systems on the physico-mechanical properties and stability of SBR and NR rubbers, Radiat. Phys. Chem. 63, 81, **2002**.
- [18] J. Kruželák, R. Sýkora and I. Hudec, Vulcanization of Rubber Compounds With Peroxide Curing Systems, Rubber Chem. Technol. 90, 60, **2017**.
- [19] C.A. Harper, Handbook of Plastics Technologies: The Complete Guide to Properties and Performance., McGraw-Hill Education, 2006.
- [20] L.W. McKeen, The Effect of Sterilization on Plastics And Elastomers, **2018**.
- [21] Wacker Solid and Liquid Silicone Rubber Material and Processing Guidelines
- [22] J. Zhao, G. Ghebremeskel and J. Peasely, Properties of EPDM/SBR blends cured with peroxide and sulfur coagent. Elastomers and Plastics, 5:5, 223–228, **2001**.
- [23] K. F. El-Nemr, Mater. Des. 32, 3361, **2011**.
- [24] B. Likozar and M. Krajnc, J. Appl. Polym. Sci. 110, 183, **2008**.
- [25] M. D. Stelescu, E. Manaila, and N. Zuga, Polym. J. 43, 792, **2011**.
- [26] M. Maciejewska, M. Zaborski and A. Krzywania-Kaliszewska, C.R. Chim. 15, 414, **2012**.
- [27] M. M. Alvarez Grima, “Novel Co-Agents for Improved Properties in Peroxide Cure of Saturated Elastomers,” Ph.D. Thesis, University of Twente, **2007**.
- [28] R. A. Orza, Investigation of Peroxide Cross-Linking of EPDM Rubber by Solid State NMR, Ph. D. Thesis, Eindhoven University of Technology, **2008**.
- [29] M. Pingot, T. Pingot, and M. Zaborski, Prog. Colloid Polym. Sci. 138, 147, **2011**.
- [30] García-Quesada, J. C. and Gilbert, M. 2000. Peroxide crosslinking of unplasticized poly (vinyl chloride). Journal of Applied Polymer Science, 77: 12, 2657–2666.
- [31] S.K. Henning and R. Costin, Fundamentals of Curing Elastomers with Peroxides and Coagents. Rubber World, 233: 5, 28–36, **2006**.
- [32] <https://www.rubber-testing.com/products/moving-die-rheometer/mdr-3000-professional> (Erişim tarihi: **23 Mayıs 2022**).
- [33] A. Ciesielski, An Introduction to Rubber Technology, 1st ed., Smithers Rapra Publications, Shawbury, **1999**.

- [34] ASTM D 5289–95, Standard Test Method for Rubber Property - Vulcanization Using Rotorless Cure Meters, ASTM International, New York, **2001**.
- [35] Davis J. R., Tensile Testing, 2nd ed., ASM International, USA, 1-12, **2004**.
- [36] Brostow W., Encyclopedia of Polymer Science and Technology, John Wiley and Sons Inc., New York, 334-369, **2005**.
- [37] Thomas S., Stephen R., Rubber Nanocomposites: Preparation, Properties and Applications, John Wiley & Sons, Singapur, **2010**.
- [38] J.T. Bauman, Fatigue, stress, and strain of rubber components: guide for design engineers. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. **2012**.
- [39] P.M. Visakh, S. Thomas, A.K. Chandra, and A.P. Mathew, (Eds.). Advances in elastomers I: blends and interpenetrating networks. Springer Science & Business Media, **2013**.
- [40] Uzun, H. (2012). Mühendisler için Malzeme Biliminin Temel İlkeleri. İstanbul: Değişim Yayınları. **2012**.
- [41] Momentive Performance Materials FSE 7570-D1 Fluorosilicone Rubber Technical Data Sheet. **2015**.
- [42] ASTM, Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers–tension (D412-06), West Conshohocken, PA: ASTM International, **2006**..
- [43] Crosslinking elastomers and thermoplastics Organic Peroxides and Auxiliaries. **2010**.
- [44] Comprehensive VAROX Peroxide Accelerator Product Guide. **2014**.
- [45] Meyers and Chawla: "Mechanical Behavior of Materials", 98-103. **1999**.
- [46] R. Suntako, The rubber damper reinforced by modified silica fume (mSF) as an alternative reinforcing filler in rubber industry. Journal of Polymer Research, 24(8), 131, **2017**.
- [47] P. Sae-oui, C. Sirisinha, U. Thepsuwan and K. Hatthapanit, Dependence of mechanical and aging properties of chloroprene rubber on silica and ethylene thiourea loadings. European Polymer Journal, 43(1), 185-193. **2007**.
- [48] <https://www.sigmaaldrich.com/TR/en/product/aldrich/329541>
(Erişim tarihi: **24 Mayıs 2022**).
- [49] M. Parlak, Silikon Elastomerlerin Durulma Özelliklerini Kontrol Eden Parametrelerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2018**.
- [50] E. Kaymazlar, Silikon Elastomerlerin Durulma Özelliklerine Hızlandırıcı Tipinin ve Oranının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, **2018**.

- [51] Blackley D. C., *Polymer Latices: Science and Technology*, 2nd ed., Chapman & Hall, London, **2012**.
- [52] Hoon T. C., Epoxidized Natural Rubber (ENR-50) Stabilized Gold and Platinum Organosols, Master Thesis, University of Sains Malaysia, Faculty of Science, Malaysia, **2006**.
- [53] Baum J. T., *Fatigue, Stress, and Strain of Rubber Components*, 1st ed., Carl Hanser Verlag, München, Germany, **2008**.
- [54] Semsarzadeh M. A., Bakhshandeh G. R., Ghasemzadeh-Barvarz M., Effect of Carbon Black on Rate Constant and Activation Energy of Vulcanization in EPDM/BR and EPDM/NR Blends, *Iranian Polymer Journal*, **2005**.
- [55] Choi S. S., Kim J. C., Influence of the Cure Systems on Long Time Thermal Aging Behaviors of NR Composites, *Macromolecular Research*, **2008**.
- [56] Carracher, C. E., *Polymer Chemistry*, CRC Press, Florida, **2007**.

