

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MALZEME BİLİMİ ve NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

KRANK KASNAĞINA ETKİ EDEN TİTREŞİMLERİ SÖNÜMLEMEK ÜZERE
KULLANILAN ELASTOMER YAPININ, NANO-MALZEMELER İLE
İYİLEŞTİREREK MEKANİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SONLU
ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA GİTMİŞ

HAZİRAN 2018

UŞAK

T.C.
UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ

MALZEME BİLİMİ ve NANOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

KRANK KASNAĞINA ETKİ EDEN TİTREŞİMLERİ SÖNÜMLEMEK ÜZERE
KULLANILAN ELASTOMER YAPININ, NANO-MALZEMELER İLE
İYİLEŞTİREREK MEKANİK DAVRANIŞLARININ DENEYSSEL VE SONLU
ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA GİTMİŞ

UŞAK 2018

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa GİTMİŞ tarafından hazırlanan “Krank Kasnağına Etki Eden Titreşimleri Sönümlemek Üzere Kullanılan Elastomer Yapının, Nano-Malzemeler ile İyileştirilerek Mekanik Davranışlarının Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN,
Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

(Doç.Dr., Yaser AÇIKBAŞ)**

(Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği ABD, Uşak Üniversitesi)

(Dr. Öğr. Üyesi., Özer PAMUK)***

(Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği ABD, Uşak Üniversitesi)

(Doç.Dr., Abdullah YILDIZ)

(Makine Mühendisliği ABD, Uşak Üniversitesi)

(Dr. Öğr. Üyesi, Serkan ATEŞ)

(Makine Mühendisliği ABD, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi)

(Doç.Dr., Mustafa Ali ERSÖZ)

(Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektrik Ve Enerji Bölümü Gaz Ve Tesisatı Teknolojisi Pr., Uşak Üniversitesi)

Tarih****:/...../.....

Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans / Doktora derecesini onamıştır.

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Yalçın

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mustafa GİTMİŞ

**KRANK KASNAĞINA ETKİ EDEN TİTREŞİMLERİ SÖNÜMLEMEK ÜZERE
KULLANILAN ELASTOMER YAPININ, NANO-MALZEMELER İLE İYİLEŞTİREREK
MEKANİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE
İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa GİTMİŞ

**UŞAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2018

ÖZET

Ülkemizde gelişmekte olan otomotiv ve savunma sanayisine ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi bu sektörlerde kullanılan ürünlerin mühendislik tasarımlarıyla malzeme kullanımının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada doğal kauçuk ve EPDM kauçuğa homojen karıştırma, püskürtme ve el yatırma kompozit üretim yöntemleri kullanılarak çok duvarlı karbon nano tüpü, nano parçacıklı alümina ve nano parçacıklı zeolit takviye edilmiştir. Elde edilen numuneler reolojik, termal ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Yapılan bu çalışma verileri ile krank milinin matematiksel modellenmesi çıkarılarak, modal analiz ile doğal frekansları ve mod şekilleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Krank milinde ortaya çıkan radyal ve burulma titreşimlerini absorbe etmek için bir krank kasnağı tasarlanmıştır. Krank kasnağının dayanımı deneysel verilerden elde edilen bilgiler ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hata oranı çıkarılmıştır. Krank kasnağının rezonans durumunda ki doğal frekansları FFT analizi ile bulunduktan sonra sonlu elemanlar programı kullanılarak modal analiz yöntemi ile doğrulanmaya gidilmiştir. Titreşim sönümleyen altı farklı kasnak motor simülasyon testine tabi tutulmuş ve akustik kontrollerden geçmiştir.

Bu çalışmaların sonucunda, titreşim sönümlemesi açısından en iyi homojen karıştırılmış karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuktan oluşan krank kasnağı olduğu bulunmuştur.

Bilim Kodu:

Anahtar Kelimeler: Titreşim, krank kasnağı, kauçuk, nanoteknoloji, sonlu elemanlar yöntemi.

Sayfa Adedi: 132

Tez Yöneticisi: Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN

**EXPERIMENTAL AND FINITE ELEMENT ANALYSIS OF MECHANICAL BEHAVIOR
OF NANO-MATERIALS BY IMPROVING ELASTOMER STRUCTURE USED TO
DAMPEN VIBRATIONS OF CRANKSHAFT PULLEY**

(Master Science Thesis)

Mustafa GİTMİŞ

**UŞAK UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2018

ABSTRACT

There is a growing interest in the automotive and defense industry, which is emerging in our country. The progress of the technology shows how important it is to use materials in engineering designs of the products used in these sectors. In this study, multi-walled carbon nano tube, nano-particle alumina and nano-particle zeolite were reinforced by using homogenous mixing, spraying and hand lay composite production methods for natural rubber and EPDM rubber. The obtained samples were subjected to rheological, thermal and mechanical tests. The mathematical model of the crankshaft was derived by using this study data, natural frequencies and mode shapes were found by modal analysis using the finite element method. A crankshaft is designed to absorb radial and torsional vibrations in the crankshaft. The information obtained from the experimental data of the strength of the crankshaft and the finite element method were used to derive the error rate. After finding the resonance natural frequencies of the crankshaft by means of FFT analysis, we have tried to verify it by modal analysis method using finite element program. The vibration damping six different pulleys were subjected to a motor simulation test and passed through acoustic controls.

As a result of these studies, it was found that the crankshaft of the best homogeneous mixed carbon tube reinforced EPDM rubber is the best in terms of vibration damping.

Science Code:

Key Words: Vibration, torsional vibration damper, rubber, nanotechnology, finite element analysis.

Page Number: 132

Adviser: Asist. Prof. Dr. Kadir GÜNDOĞAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın yürütülmesi sırasında desteğini esirgemeyen ve bilgilerini her daim benimle paylaşan, danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Kadir GÜNDOĞAN 'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yine çalışmalarım esnasında beni yalnız bırakmayan ve huzur veren Gülsüm YAĞCI 'ya, sabır gösterdikleri ve katlandıkları için anneme, babama ve kardeşime teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın yürütülmesi için destek olan ve harika bir çalışma ortamı sunan KENTPAR OTOMOTİV 'e, yardımlarını ve görüşlerini her zaman dile getiren Ali Yavuz KÜTÜK 'e, Alparslan KÜTÜK 'e, Kadir GİRGENÇ 'e, Alper GÜNGÖR 'e, Mahmut KESİKBAŞ 'a, Ali ATEŞ 'e Mustafa ZENGİN 'e, Servet DOĞAR 'a, İsmail YILDIRIM 'a, Eren GÜNAYDIN 'a, Mustafa ERKEK 'e, Kentpar Otomotiv Ar- Ge Merkezi personellerine, çalışmam esnasında büyük ve küçük yardımlarını esirgemeyen ve katkılarından dolayı herkese teşekkür ederim.

Çalışmamın yürütülmesi için (Proje Kodu: 2018/TP002) finans desteği sağlayan Uşak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi 'ne katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGELAR LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. Krank Kasnağı (Harmonik Dengeleyici).....	4
1.2.1. Vibrasyon Damperleri (Vibration Damper – VD).....	8
1.2.2. Burulma Vibrasyon Damperleri (Torsional Vibration Damper).....	9
1.2.3. Viskoz Yağlı Burulma Damperleri (Viscouse Torsional Vibration Damper) ..	12
1.3. Kauçuk.....	13
1.3.1. Doğal Kauçuk (NR).....	17
1.3.2. Etilen – Propilen Dien Monomeri (EPDM).....	18
1.4. Nano – Malzemeler.....	20

2. ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	28
2.1. Giriş	28
2.2. Kauçuk – Nano Malzeme Üretim Metotları	36
2.2.1.Homojen Karıştırma Yöntemi (Mixing Method)	36
2.2.2.El yatırma yöntemi (Hand Lay – Up Method).....	37
2.2.3.Püskürtme yöntemi (Spray – up Method).....	38
3. LİTERATÜRDE KAUCUĞA VE KRANK KASNAĞINA	
YAPILAN TESTLER	39
3.1. Rheometre(Rheometer).....	39
3.2. Viskozite Testi (Mooney).....	42
3.3. Termal Karakterizasyon Testleri	44
3.4. Tek Eksenli Çekme – Basma ve Kayma Testleri	47
3.5. Burulma Katılığı (Torsiyonel Stiffness).....	50
3.6. Krank Kasnağı Ömür Testi ve Hızlandırılmış Ömür Testi Prosedürü	52
3.7. Doğal Frekans (Natural Frequency) Testleri	54
3.8. Akustik Kontrol Testi	60
3.9. Sonlu Elamanlar Yöntemi (FEA)	62
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	63
4.1. Matematiksel Modelleme ve Sonlu Elemanlar Analizi	63
4.2. Krank Kasnağı Tasarım Parametreleri ve Matematiksel Modeli	68
4.3. Rheometre Test Sonuçları.....	70

4.4. Viskozite – Mooney Test Sonuçları	80
4.5. Termal Karakterizasyon Analiz Testleri.....	81
4.6. Çekme Deneyi Test Sonuçları	83
4.7. Burulma Katılığı Test Sonuçları	98
4.8. Doğal Frekans Test Sonuçları.....	103
4.9. Motor Simülasyon Test Sonuçları	109
4.10. Akustik Kontrol Test Sonuçları	116
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	120
6. REFERANSLAR.....	125
ÖZGEÇMİŞ	132

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Sönümleme tiplerinin zamana göre sönüm oranları.....	2
Şekil 2. TVD olmadan krank milinde oluşan burulma titreşim genlikleri	5
Şekil 3. Kauçuklu TVD ile krank milinde oluşan burulma titreşim genlikleri	5
Şekil 4. Viskoz TVD ile krank milinde oluşan burulma titreşim genlikleri.....	6
Şekil 5. Krankta oluşan Düğüm -1 ve Düğüm 2 burulmaları.....	6
Şekil 6. Tipik bir krank kasnağını oluşturan elemanlar.....	7
Şekil 7. Vibrasyon Damper Tipi.....	9
Şekil 8. İki modlu paralel bağlı TVD kasnağı ve matematiksel modellemesi	9
Şekil 9. İki modlu paralel bağlı TVD kasnağı ve matematiksel modellemesi	10
Şekil 10. İki modlu seri bağlı TVD kasnağın kesit görüntüsü	10
Şekil 11. İki modlu seri bağlı TVD kasnağın kesit görüntüsü	11
Şekil 12. Viskoz TVD kasnağın kesit görüntüsü.....	12
Şekil 13. (a) Çift katlı kauçuk TVD eşdeğer model,	12
Şekil 14. Doğal kauçuk (cis 1-4polisopren) kimyasal gösterimi.....	17
Şekil 15. EPDM 'nin kimyasal gösterimi.....	19
Şekil 16. OECD – 2016 raporlarına göre ülkelerin toplam nanoteknoloji	21
Şekil 17. Krank kasnağında elastomer kısmın erimesi.....	23
Şekil 18. Rezonansa giren krank kasnağında elastomer kısmın yırtılması.....	24
Şekil 19. Alümina takviyeli kauçuğun sönümleme kabiliyeti.....	25
Şekil 20. Doğal Kauçuk ve Alümina Zirkonyum ile oluşturulmuş nano kompozit malzemenin analitik ve sonlu elemanlar yöntemi ile kıyaslanması	27
Şekil 21. Doğal Kauçuğun Kükürt ile vulkanizasyonun şematik gösterimi.....	30
Şekil 22. Değişik tip hızlandırıcıların vulkanizasyona etkileri.....	30
Şekil 23. Tipik bir banbury mikserinin şematik gösterimi	31
Şekil 24. Tipik bir kauçuk üretim tesisi [36].....	32
Şekil 25. Genel kauçuk üretim süreci.....	32
Şekil 26. Kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi.....	33
Şekil 27. Çok duvarlı karbon nano tüpünün a) 6 nm b) 50 nm TEM Görüntüsü.....	34
Şekil 28. Çok duvarlı karbon nano tüpünün Raman Grafiği	34
Şekil 29. Çok duvarlı karbon nano tüpünün SEM Görüntüleri ve analiz unsurları	35

Şekil 30. El yatırma üretim metodu[38]	37
Şekil 31. Püskürtme yöntemi üretim şekli[39]	38
Şekil 32. Sıcak Pres Kalıplama Tekniği[39]	38
Şekil 33. Tipik bir EPDM kauçuğun rheometre eğrisi	40
Şekil 34. Rheometre eğrisi sonuç analizi	40
Şekil 35. EPDM kauçuğun tipik bir mooney viskozite analiz sonuçları	42
Şekil 36. ASTM D 1646 Mooney viskozitemetre'nin şematik gösterimi [41]	43
Şekil 37. Mooney test düzeneği şematik gösterimi [43]	43
Şekil 38. Atık lastiğin FTIR spektrumu[46]	45
Şekil 39. Atık lastiğin TGA ve DTG analizi [46]	45
Şekil 40. a) Karbon siyahı katılmamış (b) katılmış kauçuk numunelerin FTIR spektrumları	46
Şekil 41. Basit tek eksenli çekme deneyi genel prensibi [6]	47
Şekil 42. Tek eksenli basit çekme deney deformasyonları [55]	48
Şekil 43. Tipik bir elastomerin sıcaklığa bağlı dinamik karakteristiği[60].....	50
Şekil 44. Burulma katılığı modeli	51
Şekil 45. Kasnaklı/Kasnaksız doğal frekans ve genlik.....	54
Şekil 46. Tipik bir krank milinin mod şekilleri	57
Şekil 47. Çekiç (hammer) ile Modal Test Yöntem.....	58
Şekil 48. Çekiç (hammer) ile Modal Test Düzeneği	58
Şekil 49. Modal sarsıcı ile Modal Test Yöntemi	59
Şekil 50. Modal sarsıcı ile Modal Test Düzeneği.....	59
Şekil 51. Gürültü ölçümü	60
Şekil 52. Tipik bir motorun ön aksamında oluşan gürültü kaynakları	61
Şekil 53. Krank mili sistemi ve DOF modeli	64
Şekil 54. Krank mili eş değer DOF Modeli.....	64
Şekil 55. Krank mili modal analiz grafik sonuçları.....	66
Şekil 56. Krank Mili Frekans Fonksiyon Grafiği	67
Şekil 57. Krank milinin frekansa göre burulma katılığı	67
Şekil 58. Krank kasnağı katı modeli.....	68
Şekil 59. Krank kasnağı matematiksel (DOF) modeli.....	69

Şekil 60. Homojen karıştırılmış EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu	71
Şekil 61. Püskürtme tekniği ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu	71
Şekil 62. El yatırma yöntemi ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu	72
Şekil 63. Homojen karıştırılmış NR kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu	72
Şekil 64. Püskürtme tekniği ile NR kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu	73
Şekil 65. El yatırma yöntemi ile NR kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu	73
Şekil 66. Homojen karıştırılmış ile EPDM kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu	74
Şekil 67. Püskürtme tekniği ile EPDM kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu	74
Şekil 68. El yatırma yöntemi ile EPDM kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu	75
Şekil 69. Homojen karıştırılmış ile NR kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu	75
Şekil 70. Püskürtme tekniği ile NR kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu	76
Şekil 71. El yatırma yöntemi ile NR kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu	76
Şekil 72. Homojen karıştırılmış EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu	77
Şekil 73. Püskürtme tekniği ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu	77
Şekil 74. El yatırma yöntemi ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu	78
Şekil 75. Homojen karıştırılmış NR kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu	78

Şekil 76. Püskürtme tekniği ile NR kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu	79
Şekil 77. El yatırma yöntemi ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu	79
Şekil 78. Nano malzeme takviyeli kauçuk numunelerinin viskozite – mooney test sonucu	80
Şekil 79. Doğal kauçuk TGA ve DTA analiz sonuçları	81
Şekil 80. EPDM kauçuk TGA ve DTA analiz sonuçları	82
Şekil 81. a) Doğal kauçuk ve b) EPDM kauçuğun FT – IR test sonuç grafikleri	83
Şekil 82. ASTM D412 – C numune boyutları	84
Şekil 83. Takviyesiz NR Kauçuk Çekme Test Sonucu	84
Şekil 84. Homojen çok duvarlı karbon tüp takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu	85
Şekil 85. Püskürtme yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu	85
Şekil 86. El yatırma yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu	86
Şekil 87. Homojen olarak dağıtılmış alümina takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu.....	86
Şekil 88. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş alümina takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu	87
Şekil 89. El yatırma yöntemi ile alümina takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu.....	87
Şekil 90. Homojen olarak dağıtılmış zeolit takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu.....	88
Şekil 91. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş zeolit takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu	88
Şekil 92. El yatırma yöntemi ile zeolit takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu.....	89
Şekil 93. Takviyeli ve takviyesiz doğal kauçuk çekme test sonuçları.....	90
Şekil 94. Takviyesiz EPDM kauçuk çekme test sonucu	91
Şekil 95. Homojen çok duvarlı karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk çekme testi sonucu.....	91
Şekil 96. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş çok duvarlı karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu.....	92
Şekil 97. El yatırma yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonuçları	92

Şekil 98. Homojen olarak dağıtılmış alümina takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu ...	93
Şekil 99. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş alümina takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu	93
Şekil 100. El yatırma yöntemi ile alümina takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu	94
Şekil 101. Homojen olarak dağıtılmış zeolit takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu ...	94
Şekil 102. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş zeolit takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu	95
Şekil 103. El yatırma yöntemi ile zeolit takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu	95
Şekil 104. Takviyeli ve takviyesiz EPDM kauçuk çekme test sonuçları	96
Şekil 105. Homojen karıştırma yöntemi ile üretilmiş çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk açısı – tork grafiği	99
Şekil 106. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk açısı – tork grafiği .	100
Şekil 107. Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk açısı – tork grafiği	100
Şekil 108. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk açısı – tork grafiği..	101
Şekil 109. Homojen karıştırma yöntemi ile nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk açısı – tork grafiği.....	101
Şekil 110. Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk açısı – tork grafiği.....	102
Şekil 111. Numunelerin burulma katılığı grafiği ve değerleri.....	102
Şekil 112. Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları	103
Şekil 113. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları	104
Şekil 114. Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları	105
Şekil 115. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk açısı ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları	106
Şekil 116. Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları.....	107

Şekil 117. Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları	108
Şekil 118. Motor Simülasyon Test Düzeneği.....	109
Şekil 119. Motor simülasyon testinde kullanılan devir – zaman grafiği.....	110
Şekil 120. Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği.....	110
Şekil 121. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği.....	111
Şekil 122. Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği.....	112
Şekil 123. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği.....	112
Şekil 124. Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği.....	113
Şekil 125. Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği.....	114
Şekil 126. Numune kasnakların titreşim (mm/s) – devir (rpm) grafiği.....	115
Şekil 127. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları	116
Şekil 128. Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları.....	117
Şekil 129. Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları	118
Şekil 130. Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları	118
Şekil 131. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları	119
Şekil 132. Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları	119
Şekil 134. Krank mili kasnaksız ve numune kasnak tiplerinin doğal frekans değerleri....	123
Şekil 135. TVD ve TVD’siz krank milinin rezonans durumu.....	124

ÇİZELGELAR LİSTESİ

Çizelge 1. GTİP Bazında Kauçuk Sektörü	14
Çizelge 2. 2012 – 2017 Yılları Arası Kauçuk Mamul Üretimi	15
Çizelge 3. ASTM D 2000 Standartına Göre Tanım Aralıkları.....	16
Çizelge 4. ASTM Standartlarına Göre Kullanılan Kauçukların Kimyasal Bileşimleri [15]16	
Çizelge 5. Nano Malzeme Üretim Yöntemleri.....	22
Çizelge 6. Karbon Siyahları Tanımı	28
Çizelge 7. Sıcaklığın Karıştırma Süresine ve Karışım Homojenliğine Etkisi.....	36
Çizelge 8. Krank Mili CAD Verileri	65
Çizelge 9. Kauçuk ve Takviye Eleman Oranları	70
Çizelge 10. Numunelerin Mekanik Özellikleri Tanımlanması.....	97
Çizelge 11. Numunelerin Sh-A Cinsinden Sertlik Değerleri ve % Değişim Oranları	98
Çizelge 12. Homojen Karıştırma Yöntemiyle Nano Zeolit Takviyeli EPDM Kauçuk İle Üretilmiş Krank Kasnağ ile Referans Değerlerin Arasındaki % Basınç Değişimi ve dB (A) Farkı.....	117
Çizelge 13. Numune Karışımların Rheometre Değerleri	120
Çizelge 14. Krank Kasnağı Tasarım Sonuçları	124

SİMGELER ve KISALTMALAR

ASTM : American Society for Testing and Materials

DTA : Diferansiyel termogravimetrik analiz

DSC : Diferansiyel taramalı kalorimetre

FT-IR : Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi

OECD : Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü

SEM : Taramalı elektron mikroskop analizi

TEM : Transmisyon elektron mikroskop analizi

TGA : Termogravimetrik analizi

TVD : Torsiyonel vibration damper

PPS : Polifenilensülfid

m : kütle

a : ivme

c : sönüm sabiti

k : yay sabiti (rijitlik)

w_n : doğal frekans

λ : sönümlenme oranı

J : Burulma atalet momenti

K_t : Burulma katılığı

T : Tork

λ : Uzama miktarı

ϵ : Şekil değiştirme

E : Elastite modülü

G : Katılık modülü

ν : Poisson oranı

ML : Minimum tork

MH : Maksimum tork

dB : Desibel

1. GENEL BİLGİLER

1.1. GİRİŞ

Titreşim, cisimlerin sabit bir referans eksene veya nominal bir pozisyona (denge konumu) göre tekrarlanan hareketi olarak ifade edilir. Titreşim kullanım yerine göre zararlı olduğu gibi yerine göre de yararlı olmaktadır. Titreşim, dinamiğin bir alt kolu olup üç farklı tip sistem üzerinden adlandırılabilir.

Sönümlü ve sönümsüz titreşimler; dinamik bir sistemde enerji kaybına sebep olacak sönüm yok ise sönümsüz (undamped), eğer sistemde sönümü gerçekleştiren bir eleman var ise sönümlü (damped) olarak tanımlanır. Sönüm arttıkça genliğin azaldığı bilinmektedir.

Sönümlü serbest titreşiminin hareket Eşitliği Newton'ın 2. kanuna göre;

$$\sum F = m \cdot a \longrightarrow m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (1.1.1)$$

$$\delta = \frac{c}{2m} ; \quad w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1.1.2)$$

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + w_n^2 x = 0 \quad (1.1.3)$$

$$x(t) = Ce^{\lambda t} ; \dot{x}(t) = \lambda Ce^{\lambda t} ; \ddot{x} = \lambda^2 Ce^{\lambda t} \quad (1.1.4)$$

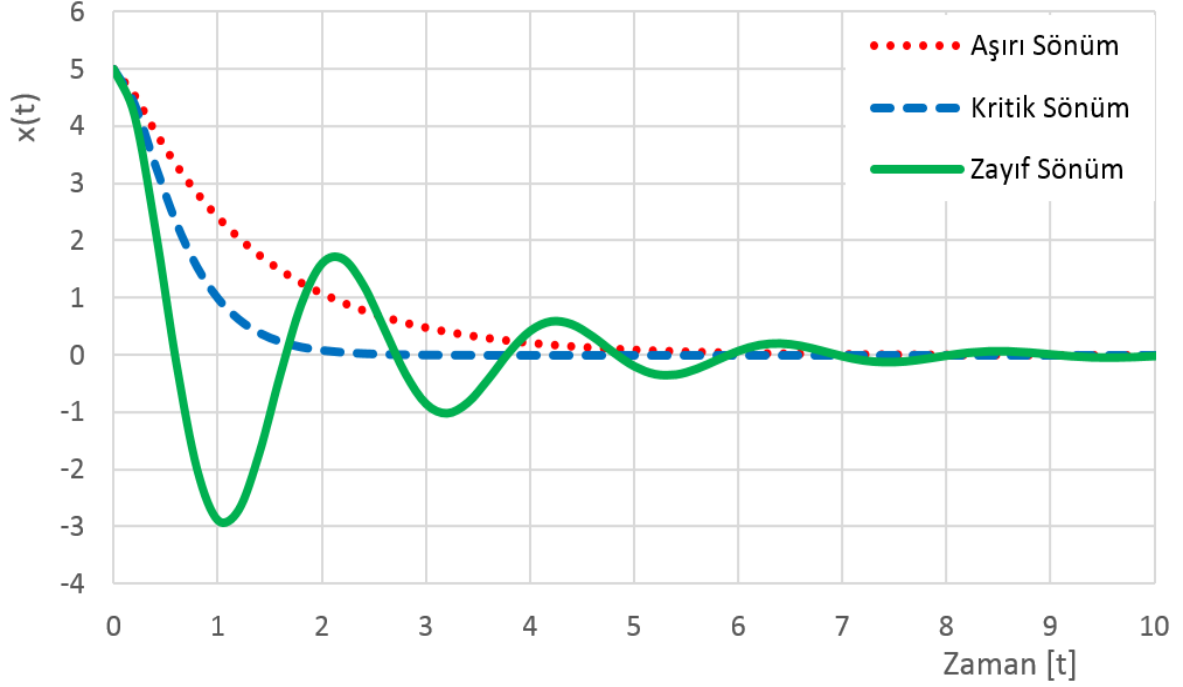
$$\lambda^2 + 2\delta\lambda + w_n^2 = 0 \quad (1.1.5)$$

$$\lambda_{1,2} = -\delta \mp \sqrt{\delta^2 - w_n^2} \quad (1.1.6)$$

Yukarıda verilen işlemlerde serbest sönümlü titreşiminin hareket Eşitliği uyarlanmıştır. Newton'ın ikinci kanuna göre kuvvet ve ivmenin deneysel metotla incelenmesidir. Bu kanundan sonra ortaya çıkan Eş. (1.1.1) formül ise hareket sisteminin diferansiyel Eşitliği olarak yer alır. Sönüm sabitinin ve doğal frekansın teorik olarak formülü ise Eş. (1.1.2) 'de verilmiştir. Eş. (1.1.1) ve Eş. (1.1.2) Eşitliklerinin bir araya gelmesiyle (3) Eşitlik ortaya çıkmıştır. Sistemin köklerinin bulunması amacıyla ise (1.1.4) eşitliğinde bulunan kabuller ortaya çıkmıştır. Eşitlik (1.1.3) ve (1.1.4)'ün tekrar düzenlenmesiyle Eş. (1.1.5) olarak düzenlenmiştir. İkinci dereceden karakteristik bir Eşitliğin kökleri ise Eş. (1.1.6) ile bulunmaktadır [1].

Bu kökler ise aşağıda verilen 3 farklı duruma göre düzenlenmiştir.

Durum 1. $\delta^2 - w_n^2 > 0$	Aşırı Sönüm
Durum 2. $\delta^2 - w_n^2 = 0$	Kritik Sönüm
Durum 2. $\delta^2 - w_n^2 < 0$	Zayıf Sönüm



Şekil 1. Sönümlenme tiplerinin zamana göre sönüm oranları

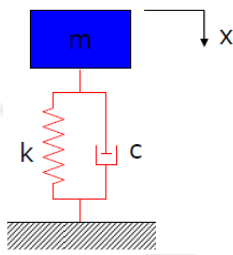
Serbest ve zorlanmış titreşimler; sisteme verilen bir hareket sonrası dışardan gelen bir zorlama yok ise serbest, dışardan bir titreşim sürekli oluşturuluyor ise zorlanmış titreşim olarak tanımlanır. Zorlanmış titreşimler iki türlü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan birincisi yön değiştiren bir kuvvet sonucu meydana gelen, ikincisi ise hareketli zeminden kaynaklanan titreşimlerdir. Dışarıdan gelen bir kuvvet sonucu meydana gelen titreşiminin diferansiyel Eşitliği ise;

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = F(t) \quad (1.1.7)$$

Eşitlik (1.1.7) 'de görülen $F(t)$ zorlayıcı kuvvet olarak tanımlanır. Bu kuvvet genliğine, frekansına, balansızlık kuvvet genliğine gibi etkenlerden oluşturulabilir. Bu durumdan dolayı sistem ilk başlarda serbest sönümlü ve zorlanmış titreşimleri beraber çalışır. Belirli bir süreden sonra sönümlü serbest titreşim sönümlemenin etkisiyle ortadan kalkmakta ve sadece zorlanmış titreşimler sistemde çalışmaktadır. Başlangıç zamanında başlayıp belirli bir süre devam eden titreşimlere geçici veya tranzient titreşim, sürekli devam eden titreşimlere ise daimi titreşim denilmektedir.

Lineer ve non – lineer titreşimler; sistemin tüm bileşenleri lineer davranış gösteriyorsa ve davranışa karşı titreşimlerde lineer titreşim adını alır. Eğer sistem elemanlarından en az biri non – lineer davranışa sahip ise oluşan titreşimler non – lineer titreşim olarak tanımlanır. Birçok yüksek genlikli titreşim sistemleri non – lineer davranış olarak karşımıza çıkmaktadır.

Doğal frekans, sistemin kendiliğinden gelen ve yok edilemeyen frekansına denir. Bir sistemin doğal frekansını, sistemin parametreleri belirler.



$$W_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

W_n : Sistemin doğal frekansı

k : Sistemin rijitlik katsayısı

m : Sistemin kütlesi

Rezonans ise zorlama frekansı ile sistemin doğal frekansının eşit olduğu durumdur. Bu durum gerçekleştiği zaman sistemin titreşim genliği matematiksel olarak sonsuza giderken gerçek hayatta sistemlerin büyük hasarlara yol açtığını görmekteyiz.

Titreşim, birçok alanda sorun olarak karşımıza çıkan bir problemdir. Titreşimin istenmemesi enerjinin boşa harcanması, aşınmalar, malzemenin yorulması, gürültü gibi nedenlerdir. Günümüzde halen bu alanda araştırmacılar radyal ve burulma titreşimleri engellemek için birçok araştırma yapmaktadırlar. Ülkemizde gelişmekte olan otomotiv sektörü içinde titreşim istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda yanma odalarında gerçekleşen işlemler sırasında, krank milinde azda olsa artmalar ve azalmalar meydana gelmektedir. Bu etkiden dolayı krank mili üzerinde düzgün bir devir artışı olmayacak dalgalanarak artacaktır. Bu duruma burulma titreşim adı verilmektedir. Dalgalanmalar titreşim genliklerini ortaya çıkararak, krank milinin doğal frekansıyla eşitlendiği zaman rezonans durumuna geçecektir. Krank milinin rezonansa girmesi ile krank milinin ve kasnağın deforme olması gibi sorunlar ortaya çıkmasına sebep olacaktır.

Burulma doğal frekanslarının hesabı, herhangi bir kritik hızlarda burulma rezonansına girmemek amacıyla yapılır. Bu durumdan dolayı burulma genliklerini seçerek

modal sönümlenme faktörlerini belirlemek hassastır. Tüm titreşim çeşitleri güç ve rezonant titreşimleri kombinasyonundan oluşur. Güç titreşimleri ise;

- ✓ İçten oluşturulan kuvvet,
- ✓ Balansın alınmaması,
- ✓ Sistemin düzensizliğinden kaynaklı uyarılmalar,
- ✓ Harici gerilmeler nedeniyle olabilir.

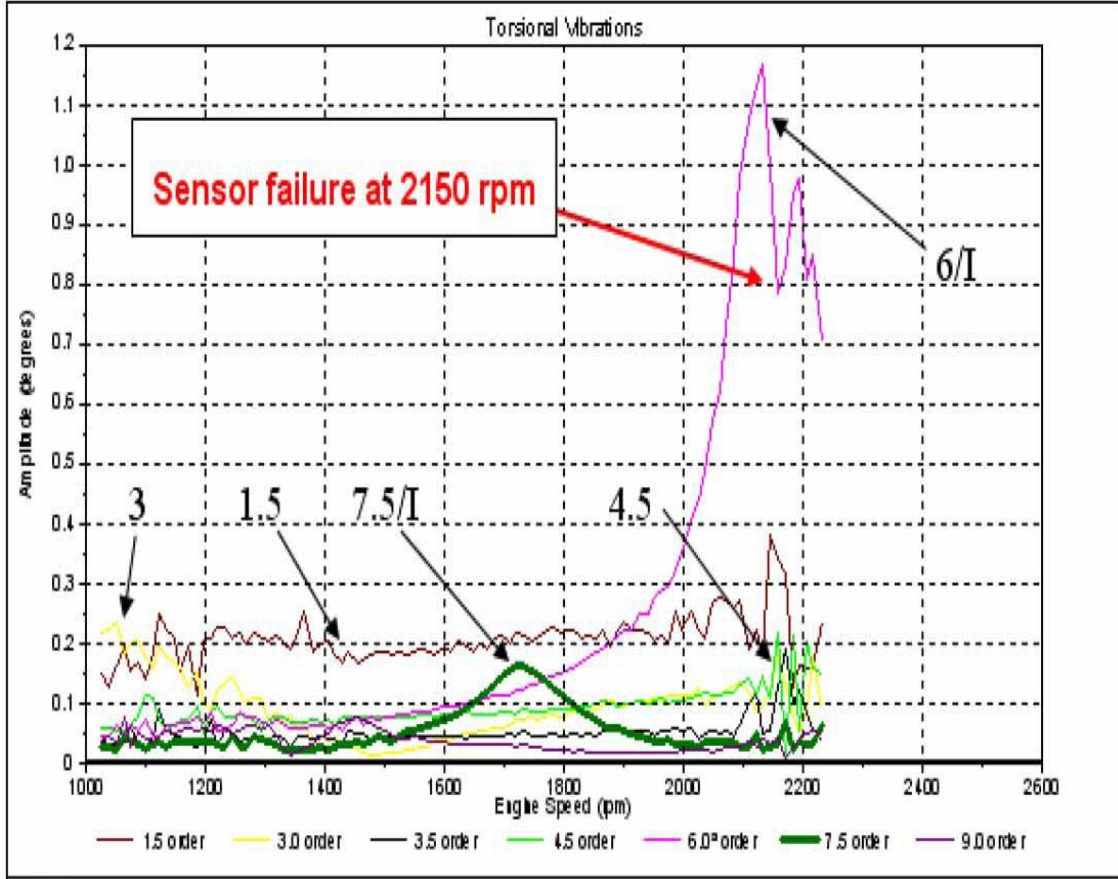
Wei Zhang ve arkadaşları tarafından yapılmış oldukları araştırmada burulma titreşim teorisindeki kütle modeli analizine göre motor ve jeneratör şaftı doğrusal olmayan burulma titreşim sistemi birden fazla serbestlik derecesinde hareket Eşitliği:

“ $J\{\ddot{\theta}\} + C\{\dot{\theta}\} + k\{\theta\} = T$ ” kullanmış ve bu Eşitlik ile diğer kurmuş olduğu analiz ve matematiksel modelleri karşılaştırarak doğrulamaya gitmiştir [2]. Bu durumda ise sistemin burulma doğal frekansı “ $w_n = \sqrt{k_t/J}$ ” olarak ortaya çıkmaktadır. Burada bulunan J eylemsizlik momenti, C sönümlenme matrisi, T sistemi tahrik eden moment, k katılık ve k_t ise torsional stiffness (burulma katılığı) olarak tanımlanmıştır.

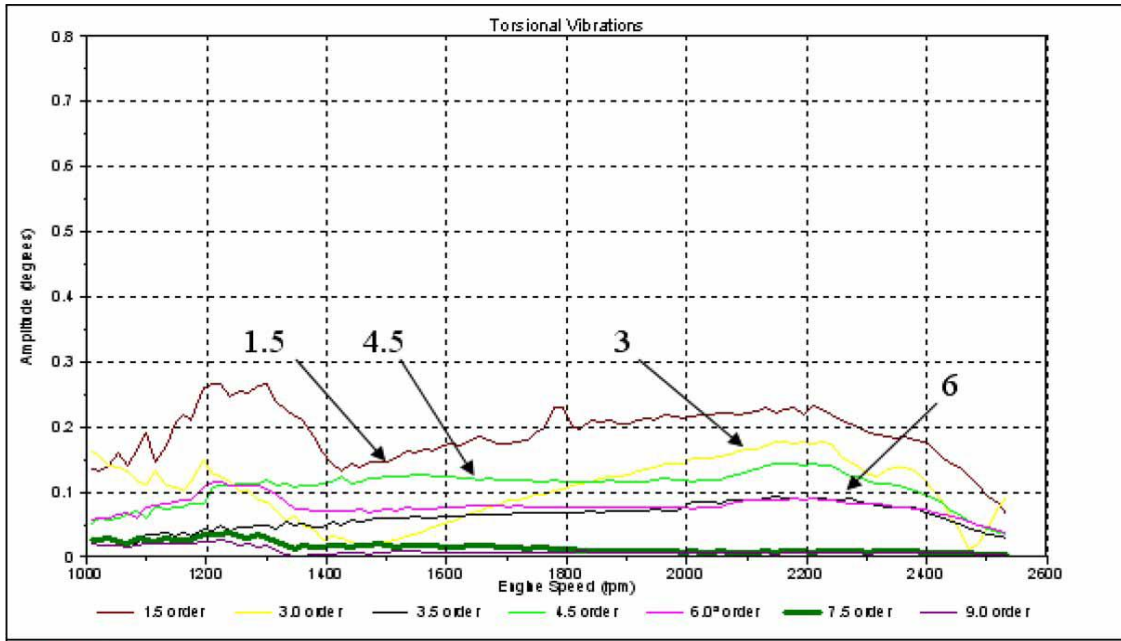
1.2. Krank Kasnağı (Harmonik Dengeleyici)

Krank kasnakları (harmonik dengeleyici) motor aksamı üzerinde bulunan, krank miline bağlı bir motor parçasıdır. Kranktan gelen hareket, v kayışı yardımıyla motor üzerinde bulunan diğer kasnaklara (alternatör, klima, su pompası, yağ pompası gibi) entegre edilerek güç aktarımını sağlamaktadır.

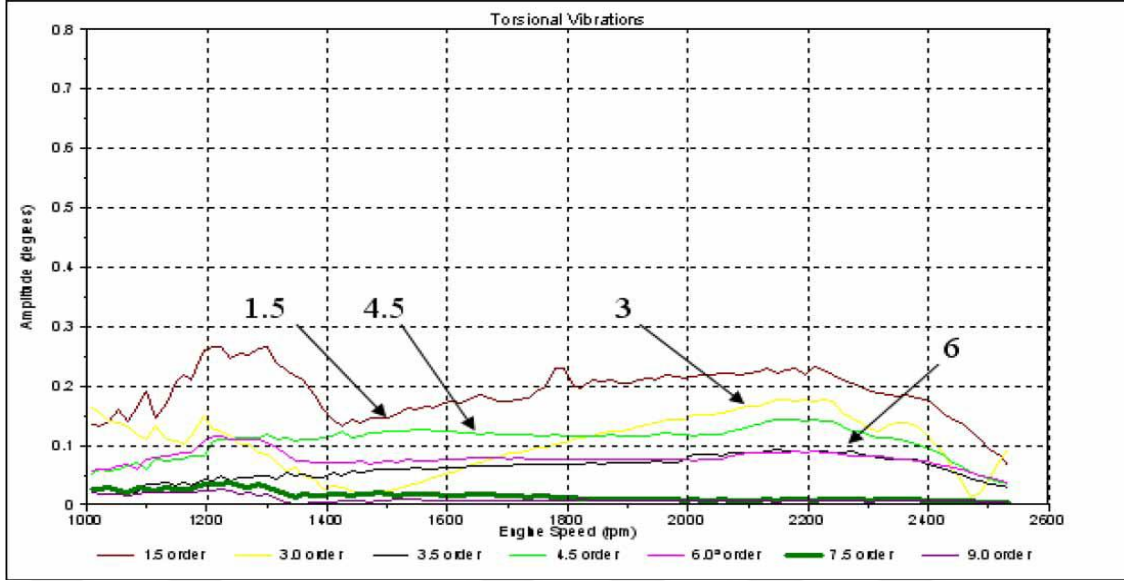
Krank milleri düzenli rejim halinde burulma titreşimlerine maruz kalır. Bu titreşimler modern hesaplama yöntemleri ile krank milinin kritik bölgelerindeki gerilme dayanımları ve yorulma dayanımlarının kesin olarak belirlenmesi gerekir. Bu nedenle, yapısal hatalardan kaçınmak gerekir. Günümüzde, teknik, ticari ve çevresel gereksinimler nedeniyle, içten yanmalı motorlar yüksek silindir basınçlarıyla çalışmalı ve bileşenler en iyi performans için optimize edilmelidir. Bu nedenle krank kasnağı önemli bir motor parçası görevini üstlenmektedir. Mendes ve arkadaşları yapılmış oldukları çalışmada dizel motorlar üzerinde krank kasnaksız, kauçuk sönümleyicili ve viskoz tabanlı vibrasyon sönümleyici elemanları arasındaki farkı Şekil 2., Şekil 3. ve Şekil 4. 'te ayrıntılı olarak incelemiştir [3].



Şekil 2. TVD olmadan krank milinde oluşan burulma titreşim genlikleri

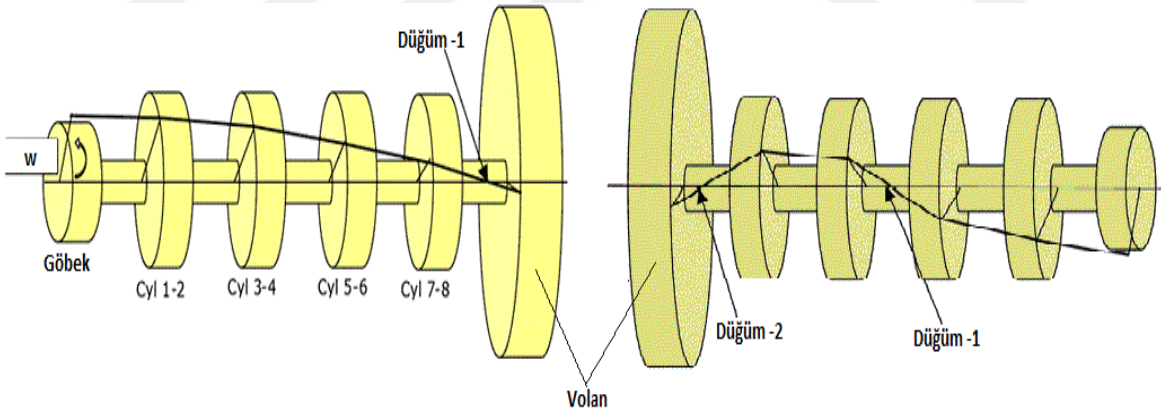


Şekil 3. Kauçuklu TVD ile krank milinde oluşan burulma titreşim genlikleri



Şekil 4. Viskoz TVD ile krank milinde oluşan burulma titreşim genlikleri

Torsiyonel titreşimler, krank milinin iki ucu arasındaki burulmadan kaynaklıdır. Genellikle yüksek frekans aralığında (200 – 500 Hz.) oluşmakta ve pistonlardan gelen iki farklı tork darbesi ile sağlanmaktadır. Bu durumdan dolayı oluşan açı farkları normalde en fazla 2° iken, rezonans halinde 6 – 8 kat artmaktadır.

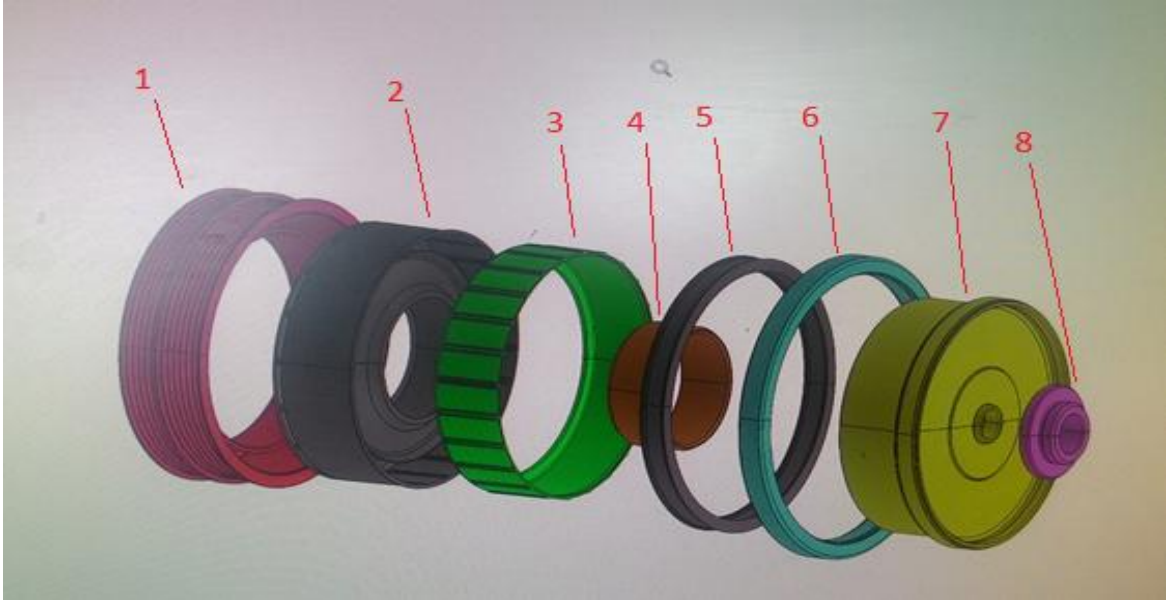


Şekil 5. Krankta oluşan Dügüm -1 ve Dügüm 2 burulmaları

Krankta oluşan Dügüm – 1 ve Dügüm – 2 anında gelen zorlayıcı titreşimleri (torsiyonel ve radyal titreşimler) rezonans durumuna girmeden sönmölemek amacıyla tasarlanmıştır. Krankta görölen Dügüm – 1, Mod – 1 sırasında görölmektedir. Mod -1 krankın ilk bükölme anı ve torsiyonel zorlamanında ilk yapıldığı yerdir. Bu bükölme hareketi saat yönünün tersine ve yön değıştirerek yapmaktadır. Dügüm – 2 ise Mod – 2

anında gerçekleşir. Mod – 2 anında hem düğüm – 1 hem de düğüm – 2 aynı anda gerçekleşebilir. Başka bir motor parçası olan Volanın atalet momentine göre bu burulma yok edilmeye çalışılır. Volanın yok edemediği durumlarda krank kasnağı diğer taraftan krank milini koruması için kendi atalet momenti ve elastomerin sönümlemesi kadar titreşim ve burulmaları stabil duruma geçirmekle görevlidir.

Krank kasnakları en az 5 farklı malzeme (sac, döküm, alüminyum, çelik, kauçuk, mühendislik ve yüksek performanslı plastikler, yüksek viskoziteli yağlar,...) 'den oluşan adaptif bir yapıya sahiptir. Bu yapıları ile her malzeme kendi içerisinde görevlerini yerine getirmektedir ve her farklı malzemenin kendine has özellikleri içermektedir. (balansızlık, atalet kütlesi, sönümleme kabiliyeti, doğal frekans gibi...)



Şekil 6. Tipik bir krank kasnağını oluşturan elemanlar

Krank kasnağını oluşturan elemanlar:

1. Kanallı (pulley)
2. Burulma Önleyici Kauçuk (Torsional Vibration Rubber)
3. PPS Burç (Bushing)
4. Göbek (Hub)
5. Titreşim Önleyici Kauçuk (Vibration Rubber)
6. Flanş (Inertia Mass)
7. Gövde (Body/Ring)
8. Alın Pulu (Washer)

Kanallı (Pulley) Kranktan aldığı hareketi Poly V kayış aracılığı ile su pompası, alternatör, klima gibi motor elemanlarını hareket ettirmekle görevlidir.. Belirlenmiş toleranslar ile kanal açıları ve yükseklikleri olmak zorundadır.

Göbek (Hub) ve Gövde (Body/Ring) krank kasnağının krank miline montajlandığı yerdir. Krank mili ile dönme momenti oluşturur. Krank mili ile göbek birleşimi arasına krank devir ve konum sensörü bağlanır. Bu sensör krank milinin açısal pozisyonunu ve anlık olarak motor devrini ECU 'ye bildirmekle görevlidir.

Flanş (Inertia Mass) krank kasnaklarında atalet özelliğini kazandırmakla görevlidir. Doğrudan doğal frekans gibi özellikleri etkilidir. Kasnakta en fazla ağırlığa sahip elemandır.

Kauçuk (Rubber) göbek ve kanallı arasına ya da flanş ile göbek arasına fiziksel ya da kimyasal yöntemlerle birleştirilir. Burulma titreşim genliklerini sönmölemekle görevlidir.

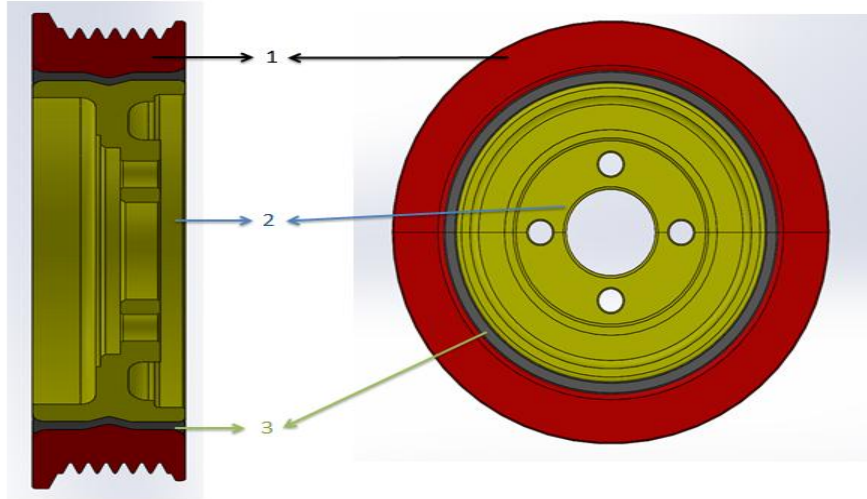
İçten yanmalı motorlara (dizel, benzinli) sahip binek otomotivlerde kullanılan krank kasnakları 3 farklı tip olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlar;

- ✓ Vibrasyon Damper (VD)
- ✓ Torsiyonel Vibrasyon Damper (TVD)
- ✓ Visko Yağlı Torsiyonel Damper (Viskoz TVD) olarak gelişme göstermektedir.

1.2.1. Vibrasyon Damperleri (Vibration Damper – VD)

Titreşim damperleri, enerjinin dağıldığı ve balansın dengelendiği kanallı bir çember, titreşimlerin sönmölendiği bir kauçuk segman ve kranka bağlanan bir göbekten meydana gelir.

Aynı zamanda, pistonlar tarafından iletilen enerjinin, krank boyunca meydana getirebileceği ve zamanla ayarlarını etkileyebileceği, 2 derece gibi yüksek sönmöleme görevinden harmonik dengeleyici olarak adlandırılmaktadır.

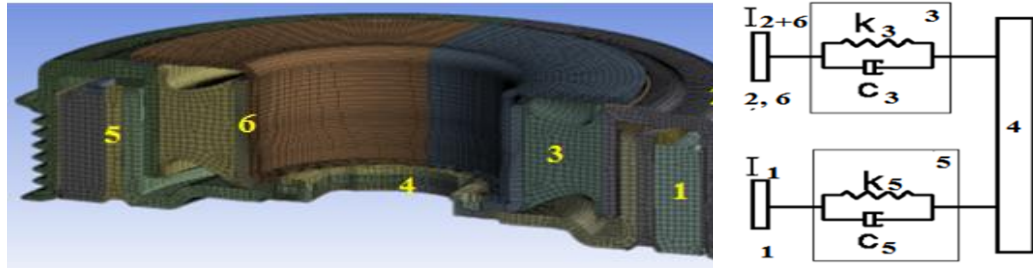


Şekil 7. Vibrasyon Damper Tipi

Yukarıda görülen Şekil 7. 'de tipik bir vibrasyon damperinin katı modeli örneklendirilmiştir. Göbek (2) kısmından krank miline montajı sağlanır. Kanallı (1) kısmı ise diğer motor parçalarına hareket vermekle görevlidir. Bu işlemi poly V kayış ile sağlamaktadır. Vibrasyon kasnaklarında kauçuk (3) göbek ve kanallı arasında belirli bir form şeklinde girerek burulma titreşimlerini sönmülmesini sağlamaktadır.

1.2.2. Burulma Vibrasyon Damperleri (Torsional Vibration Damper)

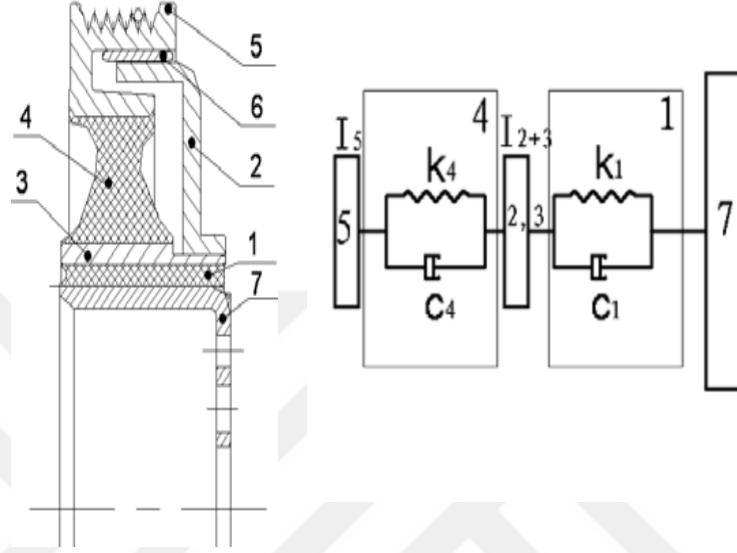
Yüksek ateşleme basıncı ve düşük devirlerde ki zorlamalar, kranka bağlı diğer elemanlara çeşitli zararlar vermektedir. Bu zararları minimize etmek ve kayış gibi krank yardımıyla çalışan diğer elemanların ömrünü uzatmak amacı ile kauçuklarla birbirine bağlanmış, titreşimleri ve burulmaları önlemek için tasarlanmıştır. Yalıtımlı olan modellerinde sürtünme ve ısı transferini engelleyen (PPS veya PTFE' den üretilen burç ve rayneller - lineer) yataklamalara sahiptir.



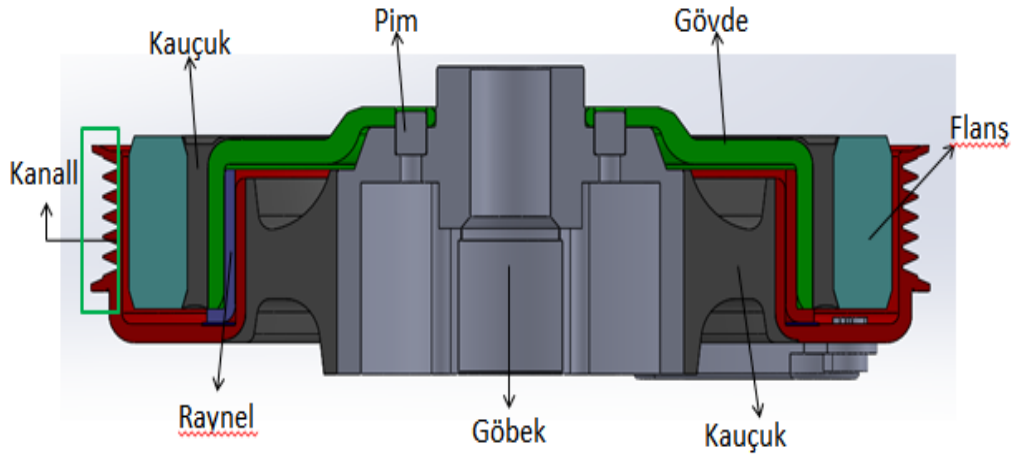
Şekil 8. İki modlu paralel bağlı TVD kasağı ve matematiksel modellemesi

Yukarıda belirtilen Şekil 8. 'de paralel bağlı iki modlu bir krank kasağının matematiksel modellemesi olarak belirtilmektedir. Burada görünen Flanş (1) göbek (4) bağlanmış ve arasında kauçuk bir segman (5) ile sıkı geçirme ile bağlanmıştır. Kanallı (2)

ise gövde (6) ile birbirine vulkanize edilmiş torsiyonel yükleri sönümleyen bir kauçuk (3) bağlanmıştır. Ayrıca bu kasnağın matematiksel modellenmesi ortaya konmuştur. İki farklı kauçuğun katılığı (k) ve sönümlenme katsayıları (c) farklı olduğundan iki modlu paralel bağlı TVD denilmektedir.

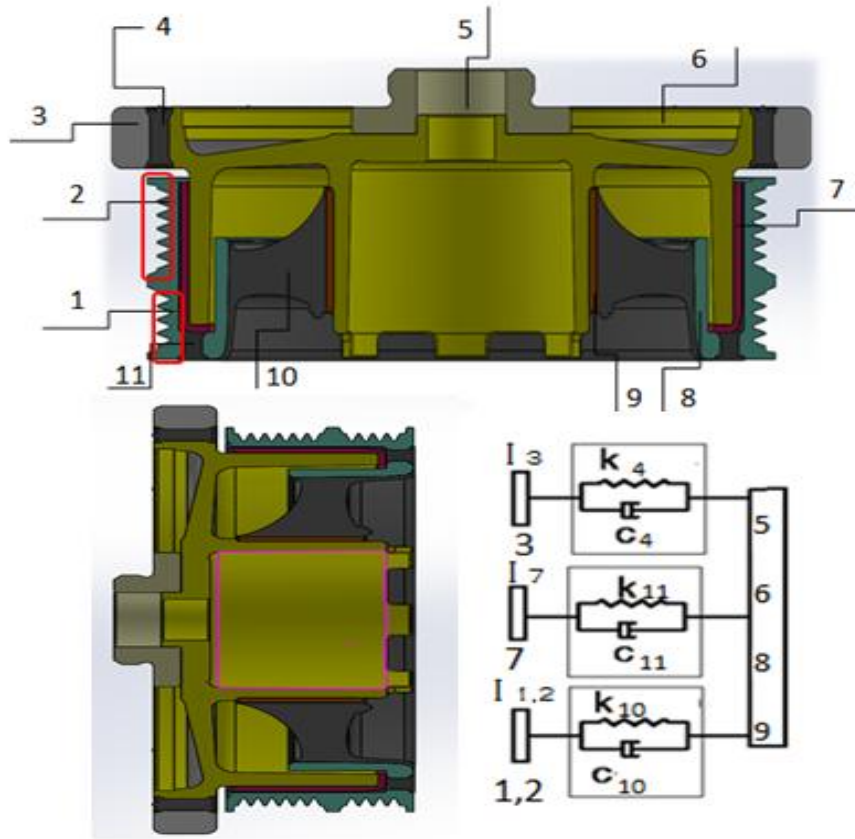


Şekil 9. İki modlu paralel bağlı TVD kasnağı ve matematiksel modellenmesi



Şekil 10. İki modlu seri bağlı TVD kasnağın kesit görüntüsü

Shangguan ve arkadaşları, 2007 yılında yapmış oldukları çalışmada iki modlu seri bağlı TVD kasnağı matematiksel olarak modellemişlerdir [4].

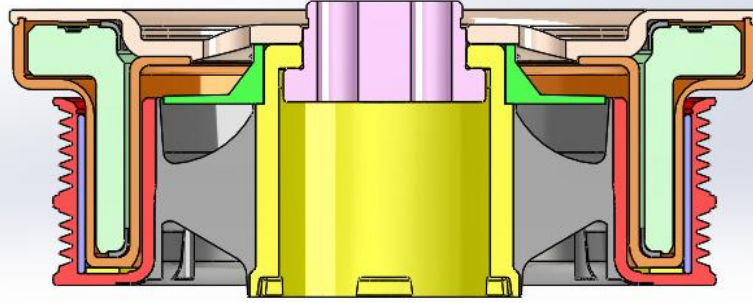


Şekil 11. İki modlu seri bağlı TVD kasağın kesit görüntüsü

Üç modlu paralel bağlı bir TVD kasağın şematik ve matematiksel modellemesi Şekil 11.'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Kanallı kısım iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. (1) 'inci kısım klima kasağına hareket verirken (2) 'nci kısım alternatör ile diğer parçalara hareket sağlamaktadır. Flanş (3) ile gövde (6) arasında vibrasyon damperi gibi görev alan bilezik şeklinde bulunan sönümleyici kauçuk (4) yer almaktadır. Gövde ile sıkı geçme bağlantısı ile montajlanmış alın pulu (5) ise krank milinin devir – konum sensörü içine girerek krank mili ile bağlantı sağlamakla görevlidir. Göbek (8) ile yataklama elemanı olarak görev yapan PTFE katkılı PES hammaddesinden mamul edilmiş plastik burç (7) arasında farklı bir kauçuk (11) bulunmaktadır. Boru göbek (9) ile göbek arasında torsiyonel damper görevi gören kauçuk (11) bulunmaktadır. Matematiksel modelde de görüldüğü üzere üç farklı k ve c sabiti olan kauçuk katmanlarının birbirine paralel bağlandığı ve bu nedenle üç modlu paralel bağlı TVD denilmektedir.(Bkz. Şekil 11.)

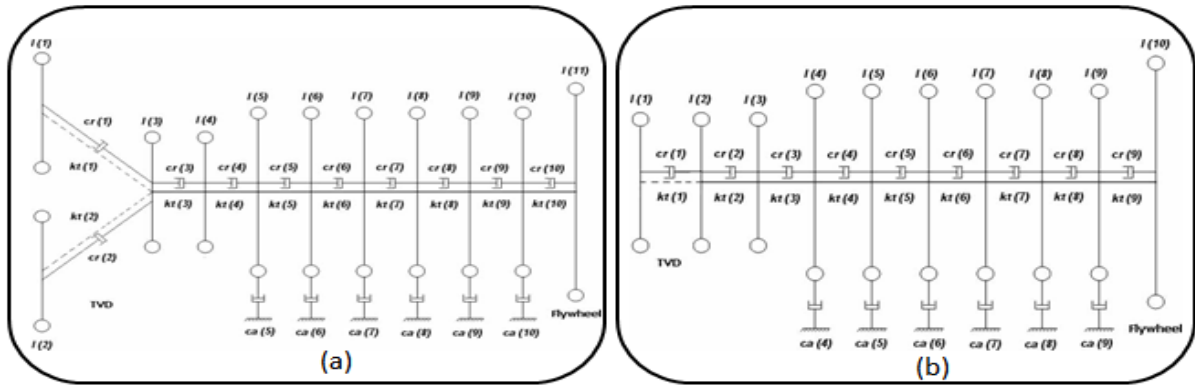
1.2.3. Viskoz Yağlı Burulma Damperleri (Viscouse Torsional Vibration Damper)

Viskoz yağlı burulma damperlerinin görevi, krank mili boyunca ilerleyen burulma titreşimlerinin etkisini azaltmak ve tolerans dâhilinde tutup, malzeme gerilmelerini önlemektir. Diğer damperlerden farklı olarak titreşimleri kauçuk elemanı ile yanı sıra ayrıca sıcaklığa duyarlı yüksek viskoziteli yağ ile sönümlemektedir.



Şekil 12. Viskoz TVD kasnağın kesit görüntüsü

Mendes ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada viskoz burulmalı bir kasnağın sönüm şeklini modellemiş ve ortaya koydukları deneysel veriler ile viskoz kasnakların TVD kasnaklara göre daha iyi sönümleme kabiliyeti olduğunu göstermişlerdir. Şekil 12’de eşdeğer modelleri verilmiş TVD ve viskoz TVD kasnakların rijitlik ve sönüm oranları verilmiştir. Eşdeğer modellerde viskoz TVD kasnağın kauçuklu TVD kasnağa oranla daha iyi sönümleme kabiliyeti olduğu görülmektedir [3].



Şekil 13. (a) Çift katlı kauçuk TVD eşdeğer model,

(b) Tek kat viskoz kütleli eşdeğer model

Yaklaşık 1 milyon viskoziteli bir yağ kullanımından kaynaklı bu tip kasnaklarda yüksek motor devirlerinde kullanımının arttığı, yağın kesme kuvvetinin ve yağın kayma yüzey pürüzlülüğünün ne kadar önemli olduğu araştırmacılar tarafından bulunmuştur.

1.3. Kauçuk

Kauçuk, günlük hayatta her alanda yer almış harika bir mühendislik malzemesidir. Kauçuk malzemeleri farkında olmadan iş, ev, oyun, spor, otomotiv, hava araçları, demir yolu ulaşımı, inşaat, ayakkabı gibi birçok alanda kullanılır. Viskoelastik yapısı, metallerin alternatifi olması, kullanım kolaylığı sağlamasından dolayı tercih edilmektedir.

Lineer polimer ile uzayağı polimer arasında bir yapıya sahip olan elastomerler ise, bükülmüş ve topak şeklinde dolanmış uzun molekül zincirinden oluşur. Kuvvet etkisiyle bu topakların açılması ve bağ dönmesi sonucu, büyük ölçüde tersinir davranış (elastik şekil değiştirme) gösterdiklerinden, bu malzemelere elastomer malzeme denir. Endüstride elastomerler, sıcaklık etkisiyle davranış yönünden “termoplastik” ve “termoset” olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [5].

Termoplastik elastomerler, lineer polimerler olup sıcaklık artınca yumuşarlar, soğutulunca sertleşirler ve yeniden ısıtıldıklarında tekrar yumuşaya başlarlar. Termoset elastomerler ise ısıtıldıklarında yumuşarlar. Bu nedenle hepsine birden plastik adı verilir. Elastomerler ile termoset plastiklerin farkı ise mekanik özelliklerinden kaynaklanır. Örneğin elastomer bir malzeme çift yönde belirli bir gerilmeye maruz kalırsa malzeme uzamaya başlar, gerilme bırakılırsa eski konumuna dönmeye çalışacaktır. Bu duruma elastikiyet denir. Termosetlerde ise belirli bir gerilmeye (akma sınırı) kadar elastikiyetini korur. Bu gerilmeden sonra ise malzeme kopar ve deformasyona uğrar. Bu durum kalıcıdır ve geriye döndürülemez. Fakat elastomerler termosetlere göre, elastik modülleri ve çekme mukavemetleri daha azdır. Bu durumdan dolayı elastomerler hemen uzamaya başlamasına rağmen termoplastikler daha fazla yük altında uzamaya başlamaya sebep olur.

Kauçuk, ASTM standartlarına göre ise uygulanan kuvvetin numune üzerinden kaldırılmasından sonra tekrar referans boyutuna geri dönebilen malzemeler olarak adlandırılmaktadır [6]. Bazı tropik bitkilerin sütümsü öz suyundan (lateks) doğal halde ya da petrol ve alkolün birleşimlerinden suni olarak elde edilen, özellikle Hevea Brasiliensis ağacının lateksi olarak bilinir.

Kauçuğun tarihsel gelişimi incelendiğinde, ilk olarak Aztekler tarafından 6. Yüzyılda kullanıldığı yapılan kazılar neticesinde anlaşılmıştır. Batı dünyası ise 1493 – 1496 yılları arasında *Cristopher Columbus* ‘un Amerika kıtasına yaptığı ikinci seferinde, Haiti adasındaki yerlilerin bir top ile oynadıklarını görmesi sonucu olmuştur.

Juan De Torquemada Meksika yerlilerinin, Ulei isimli ağacın lateksinden, su geçirmez bir malzeme ürettiklerini, 1615 yılında yayınlanan eserinde bahsetmektedir [7].

Grossart tarafından, 1791 yılında kauçuk şeritleri eterle yapıştırılarak kauçuk tüpleri imal edilmiş ve 1813 yılında Amerika da ilk patent alınmıştır [8]. Thomas Hancock tarafından, kauçuk ürünlerinde çok fazla fire kaldığını düşünerek yapmış olduğu, mastikasyon makinesi ile kauçuk endüstrisini canlandırmıştır [9].

Doğal kauçuğun (NR) deneysel formülünü C_5H_8 olduğunu 1826 yılında *Faraday* açıklamıştır.

Charles Goodyear 1839 yılında elastomer sektöründe kaza eseri yapmış olduğu vulkanizasyon işlemi ile bir devrim yarattı. Soba üzerine koymuş olduğu sülfür (S) ve kurşun monoksit (PbO) karışımı içine kauçuk atmasıyla vulkanizasyon (pişme) işlemi bulmuştur. Bu işlemle kauçuğu kükürt ile pişirerek sertlik, elastikiyet, sıcağa ve soğuya dayanımı gibi birçok mekanik özelliklerinde iyileştirme yapmıştır. 15 Haziran 1844 yılında bu konuda Amerika Patent Ofisi'nden patent almıştır [10].

Sentetik kauçuklar ise doğal kauçuğun üretilmesi için gerekli iklim koşullarının olduğu ülkelere bağımlı olduğundan dolayı doğmuştur. Gerçekte neden ise 2. Dünya Savaşı 'nda Mihver Devletler 'in Güney Doğu Asya'yı işgal etmeleri, doğal kauçuğun temininde zorluklar ile karşılaşmış ve araştırmaya zorlamıştır. Bu durumda 1947 yılında Bütil Kauçuk üretilmiştir. 1952 yılında Dupont, Hypolon üretilmeye başlanmıştır.

Ziegler ve Natta isimli bilim adamları yeni bir polimerizasyon katalizörü geliştirmiş ve EPDM kauçuğu üretmeye başarmıştır. Bu başarı neticesinde 1963 yılında bu iki bilim adamına Nobel ödülü kazandırmıştır.

Çizelge 1. GTİP Bazında Kauçuk Sektörü

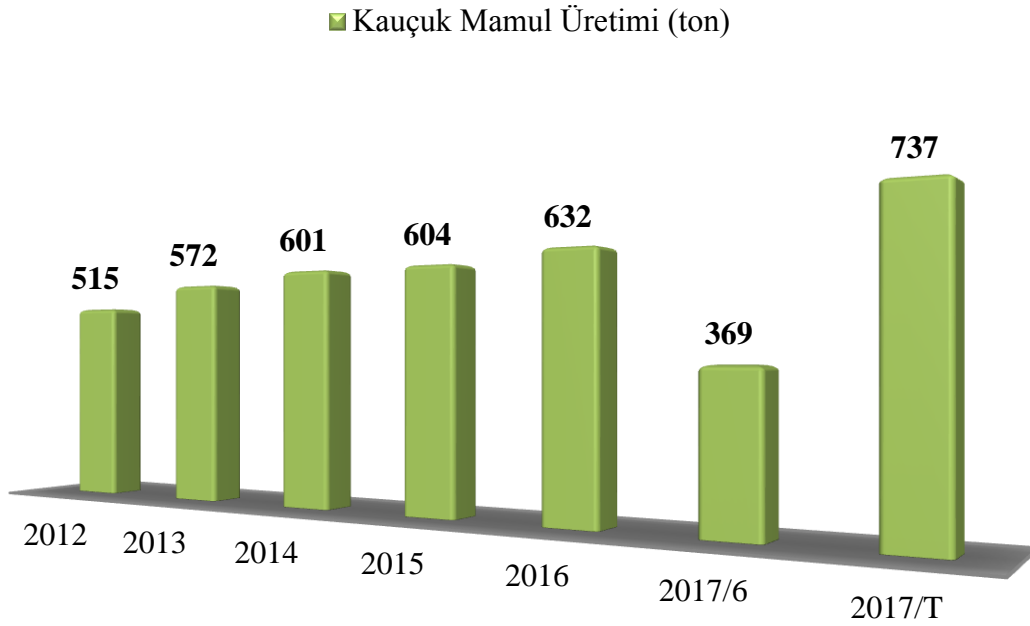
Kauçuk Ham Maddeler	Kauçuk Mamüller
40.01 - Tabii kauçuk	40.08 - Vulkanize kauçuktan levha, yaprak, şerit, çubuk ve profiller
40.02 - Sentetik kauçuk veya sıvı yağlardan türetilen taklit kauçuk (ilk şekillerde veya levha, tabaka, şerit halinde)	40.09 - Vulkanize edilmiş kauçuktan boru ve hortumlar, bağlantı elemanları ile birlikte olsun olmasın
40.03 - Rejenere kauçuk (ilk şekillerde, levha, tabaka/şerit halinde)	40.10 - Vulkanize kauçuktan taşıyıcı kolonları, transmisyon kolonları
40.04 - Kauçuğun döküntü, kırıntı ve artıkları (sertleştirilmiş kauçuk hariç) ve bunlardan elde edilen tozlar ve granüller	40.11 - Kauçuktan yeni dış lastikler
40.05 - Kauçuk bileşimi, vulkanize edilmemiş, ilkel şekillerde levha, tabaka veya şerit halinde	40.12 - Kauçuktan sırt geçirilmiş veya kullanılmış dış lastikler, dolgu lastikleri, tekerlek bandajları, sırtlar ve kolanlar
40.06 - Diğer şekillerdeki vulkanize edilmemiş kauçuk ve vulkanize edilmemiş kauçuktan eşya	40.13 - Kauçuktan iç lastikler
40.07 - Vulkanize edilmiş kauçuktan iplik ve ipler	40.15 - Vulkanize kauçuktan her türlü giyim eşyası aksesuarı (eldiven)
	40.16 - Vulkanize kauçuktan diğer eşya
	4017 - Sertleştirilmiş kauçuk vb. sertleştirilmiş kauçuktan eşya

Ülkemizde ise kauçuk başta otomotiv sektörü olmak üzere havacılık, inşaat, makine, maden, sağlık, oyuncak, giyim, ayakkabı, büro eşyaları, oyuncak gibi sektörlerde

kullanılmaktadır. Kauçuk ürünleri imalatı NACE 1 gruplamasında 251 kodu altında toplanmaktadır. “Kauçuk ve Kauçuktan Eşya” GTİP ‘e göre ise 40 ile başlayan kodu kapsamaktadır. 1 – 7 arası kauçuk hammaddelerini, 8 – 17 arası vulkanize olmuş (bitmiş) kauçuk ürünlerini göstermektedir.

Ülkemizde kauçuk tüketimi 2000 ‘li yılların başında yaklaşık 160 000 tondur. Bu miktar dünya kauçuk tüketiminin %1,1 ‘i kadardır.

Çizelge 2. 2012 – 2017 yılları arası Kauçuk Mamul Üretimi



2012 yılında kauçuk mamul üretimi 515 000 ton iken, 2017 yılının altıncı ayına kadar 369 000 ton, 2017 sonunda ise 737 000 ton gerçekleşmesi beklenmektedir. 2012 yılı ile 2017 yılı kıyaslandığı zaman %43 bir artışın olduğu gözükmektedir [11].

Elastomerler ASTM D 418 standartına göre sınıflandırılmaya tabi tutulmuştur [12]. Bu standart var olan kauçukları kimyasal bileşimine göre tanımlamakta ve sınıflandırmaktadır. Ayrıca kauçuk imalatçıların ve tasarımcıların aralarında ortak bir dil oluşturulması için hazırlanmış olan ASTM D 1566 standartı bulunmaktadır [13]. Fakat otomotiv sektörü için hazırlanmış olan ASTM D 2000 (SAE J 200 eşdeğerdir) standardı sadece otomotiv sektörü için kullanılan kauçukları amaçlasa da bütün kauçukları kapsamaktadır [14].

Çizelge 3. ASTM D 2000 standartına Göre Tanım Aralıkları

<i>Tip</i>	<i>Test Sıcaklığı (K)</i>	<i>Sınıf</i>	<i>Hacimsel Şişme (max %)</i>
A	70	A	Sınırlama Yok
B	100	B	140
C	125	C	120
D	150	D	100
E	175	E	80
F	200	F	60
G	225	G	40
H	250	H	30
J	275	J	20
		K	10

Bu nedenle diğer iki standarttan daha fazla uygulama da kullanılmaktadır. Bu sınıflandırmada Tip ve Sınıf olmak üzere (Çizelge 3.) iki grup bulunur. Tip, kauçuğun yaşlandırmaya karşı durumu iken; sınıf ise kauçuğun yağ içinde göstermiş olduğu şişmeye karşı dayanımı olarak gösterilmiştir.

Hem sentetik, hem doğal elastomerler kauçuk haline getirilir. ASTM 'ye göre bazı yaygın olarak kauçuk kompozisyonları Çizelge 4. 'de gösterilmiştir.

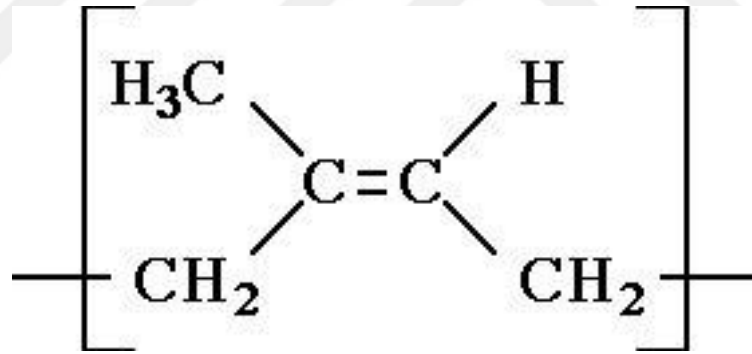
Çizelge 4. ASTM Standartlarına göre kullanılan Kauçukların Kimyasal Bileşimleri [15]

Yaygın Adı	ASTM Karşılığı	Kimyasal Bileşimi
Doğal Kauçuk	NR	<i>cis-Polyisoprene</i>
Sentetik Kauçuk	IR	<i>cis-Polyisoprene</i>
Bütadien Kauçuk	BR	<i>cis-Polybutadiene</i>
SBR Kauçuk	SBR	<i>Poly (butadiene-styrene)</i>
Klorobütil Kauçuk	CIIR	<i>Chlorinated poly (isobutylene-isoprene)</i>
Brombütil Kauçuk	BIIR	<i>Brominated poly (isobutylene-isoprene)</i>
EPDM	EPDM	<i>Poly (ethylene-propylenediene)</i>
Nitril Kauçuk	NBR	<i>Poly (butadiene-acrylonitrile)</i>
Hidrojene Nitril Kauçuk	HNBR	<i>Hydrogenated poly butadiene-acrylonitrile)</i>
Flora Elastomer	FKM	<i>Poly fluoro compounds</i>
Neopren (Kloropen)	CR	<i>Poly chloroprene</i>
ECO Kauçuk	ECO	<i>Poly (epichlorohydrin-ethyleneoxide)</i>

Her farklı tip kauçuk kendine göre kimyasal ve fiziksel özellikler taşır. Statik ve dinamik özellikleri birbirinden farklı bu kauçuklar, kullanım yerine göre (çevre şartları) seçilmelidir. Örneğin elastikiyet özelliği yüksek bir yerde kullanılmak istendiği zaman doğal kauçuk (NR), ısıya dayanımı yüksek yerlerde FKM Kauçuk, aşınma direncine göre HNBR tercih edilebilir.

1.3.1. Doğal Kauçuk (NR)

Doğal kauçuk elastomer malzemelerin ilk örneğidir. 19. Yüzyılın sonlarına doğru dünya nüfusunda hızlı artışın karşısında insanların ihtiyaç karşılama gereksinimleri de artmıştır. Bu gereksinimler her konuda olduğu gibi malzeme konusunda da önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu buluşlardan biri de doğal (tabii) kauçuk ve vulkanizasyondur. Tropik bir ağaç olan Hevea Brasiliens isimli bir bitkinin lateksinden elde edilir. Brazilya kökenli bu ağaç kabuğuna özel bıçakla çizilmesi sonucu bir kaptan toplanmasıyla elde edilir. Bıçak yardımıyla kesilen bir ağaçtan yaklaşık 4 saat lateks akar ve pıhtılaşır. Pıhtılaşan bu latekse koruyucu katılmasıyla sıvılaşması sağlanır. Ampirik formülünü 1826 yılında Faraday tarafından C_5H_8 olarak açıklamıştır. Yapısı itibariyle %99,9 cis 1-4 polisopren'dir.



Şekil 14. Doğal kauçuk (cis 1-4polisopren) kimyasal gösterimi

Doğal kauçuğun ortalama molekül ağırlığı 68.12 gr/mol olup geniş bir molekül ağırlığına sahiptir. Yapısından dolayı gerilme uygulandığında veya düşük sıcaklıklarda kristallenme özelliği gösterir. Kristallenme olayı doğal kauçuğa bazı olumlu etkilerde bulunarak kendine ait özellikleri ortaya çıkarır. Bu özelliği ile karbon atomlarının hareketi sınırlanmıştır. Bu durum doğal kauçuğun hem mekanik hem de kimyasal ayrışmasını gerektirmektedir. Yapısında aktif çift bağlar ve metil (CH₃) grubu oksijen, ozon ve ısıнын etkisiyle reaksiyona girme istekleri fazla olmaktadır. Vulkanizasyon işlemi sırasında kükürt ile etkileşime girerek yapıda iyileşmeler görülür. Bu işlemde kükürt ile yapılan

vulkanizasyonda sekiz atomla halka olan kükürt molekülü açılır. Kükürt molekülleri polisopren zincirlerin birbirine bağlayarak çapraz bağlanma gerçekleşmiş olur [16].

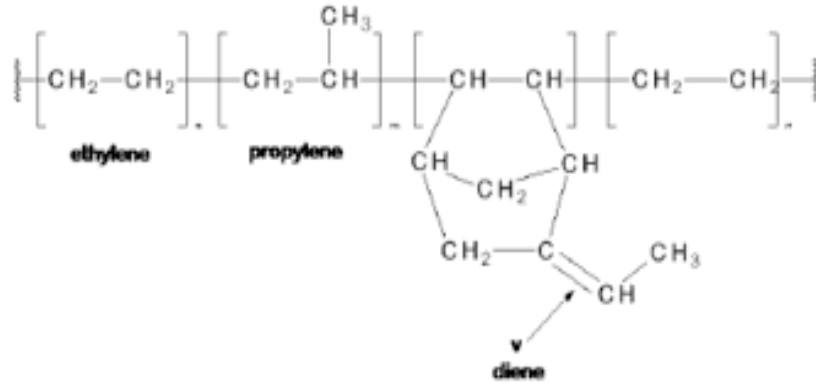
Doğal kauçuk, camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık $T_g \sim 75^\circ\text{C}$ olduğundan düşük sıcaklıklarda çalışması iyidir. Çok iyi çekme ve yırtılma dayanımına, elastite ve yorulma özelliğine sahiptir. Kolay işlenmesi, polar sıvılara karşı mukavemeti yüksek olmasına karşın; havaya, ozona, sıcaklığa ve hidrokarbonlara karşı dayanıksızdır. Dinamik açıdan yüksek özelliklere sahiptir [17].

Tabii kauçuk özellikle otomotiv sektöründe lastik karkasları, motor takozları, araç iç dekorasyonları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Konveyör bant sistemleri, hortumlar, ayakkabı, yer döşemeleri, eldiven, top, contalar gibi ürünlerin yapımında kullanılır. Doğal kauçuk (NR) krank kasnaklarında ise yüksek elastikiyet davranışı sergilemesinden ani burulmaları minimuma indirmek için kullanılır. Dinamik açıdan üstün olan kauçuk, sıcaklığa dayanımı olmadığından tasarım esnasında motor bloğuna direkt temas halinde olmaması için tasarımı yapılır.

1.3.2. Etilen – Propilen Dien Monomeri (EPDM)

Etilen-Propilen Dien Monomer, etilen ve propilen monomerlerinin kimyasal birleşimi sonucu oluşur. İki monomerin birleşimiyle amorf, yarı kristal ve kristal yapıya sahip elastomer elde edilir. Etilen ve polipropilenin kopolimerizasyonu sonucu doymuş bir yapıda olan EPM üretilir. Bu monomer ısı, ışık, ozon ve oksijene karşı mükemmel dayanıklılık göstermesine rağmen, diğer polimerlerle kimyasal bileşim yapılamaz.

EPM'den elde edilen kimyasal yapıya dien ilave edilmesi ile EPDM elde edilir. Dien monomerinin bileşiğin içerisinde katılmasıyla doymamış konumuna gelir. Bu durumda zincirde çift bağ sağlanır. Çift bağlar vulkaniz edilmesi için peroksit ve kükürt kullanıma imkânı sağlar. Ayrıca diğer polimerlerle karıştırılması mümkün hale gelir. Dien monomeri EPDM olarak üç farklı (1,4 hexadiene – 1,4 HD; Dicyclopentadiene – DCPD; Ethylidene norbornene – ENB) şekilde kullanılmaktadır [18]. Dien miktarının yüksek olması EPDM kısa sürede kür olmasını sağlar. Düşük olması halinde ise ısıya karşı fazla direnç göstermektedir.



Şekil 15. EPDM 'nin kimyasal gösterimi

Günümüzde endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılabilen bir mühendislik malzemesi haline gelmiştir. EPDM kauçuğun özellikleri sıralarsak:

- ✓ Isı ve ışığa karşı mükemmel dayanım gösterir.
- ✓ Katkı maddeleri ve yağ alabilme özelliği sayesinde düşük maliyetlerde karışımlar oluşturulabilir.
- ✓ Sulu ortamlarda özelliğini kaybetmez.
- ✓ Yoğunluğu düşük olduğundan hafif malzemeler üretilebilir.
- ✓ Yalıtkan bir malzeme özelliği gösterir.
- ✓ Ozona ve havaya karşı dayanımı iyidir.
- ✓ Esnek olmasından dolayı plastik vb. ürünlerle karıştırılarak modifikasyonlar gerçekleştirilebilir.

Ticari olarak 1963 yılında üretilmeye başlanmıştır. Etilen ve propilen monomerlerinin ucuz ve bol miktarda bulunması birçok alanda EPDM kauçuk kullanımını artırmıştır. EPDM kauçuklar profil ve boru imalatı, çatı kaplama, köprü mesnetleri elektrik kabloları ve otomotiv parçalarında kullanımı mevcuttur.

EPDM kauçuklar krank kasnaklarında ısı, hava ve ozona karşı dayanımı yüksek olduğundan ve dinamik özelliğinden dolayı motora yakın yerlerde kullanımı mevcuttur.

Bu konuda birçok araştırmacı torsiyonel burulma kasnakları üzerine çalışmış ve farklı kauçukların farklı sönümlenme (k_t) değerlerine ulaşmıştır. Arpan Nagar ve arkadaşları çalışmasında, çok silindri bir motor için dizayn edilmiş olan EPDM ve AEM gibi iki farklı kauçuğu kıyaslayarak daha iyi sönümlenme, yağ direnci, daha fazla dayanıklılık, diğer kauçuk bileşenlerine göre daha fazla ömür olduğunu tespit etmiştir. Mevcutta üretilen EPDM kauçuk önce motor test yatağında burulma titreşimleri ölçüp daha sonra AEM

karışım bileşimini de aynı testlere tabi tutarak çok silindirli dizel motorda kritik hızlarda burulma titreşimlerini %50 daha iyi sönümlediğini ortaya koymuşlardır [19].

Altı silindirli bir dizel motorun burulma titreşimleri üzerine yapılan bir çalışmada ise Honda ve Saito, TVD üzerine gelen titreşimleri kauçuğun sönümleme kabiliyeti ile azaltmaya çalışmışlardır. Ayrıca sistemin karakteristiğinde TVD 'nin absorbe etmesi önemli bir rol oynadığını görmüşlerdir [20].

Maass ve arkadaşları kauçuğu sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile modellerken dinamik stiffness (katılığını) $1,5 \leq G \leq 3,0$ ve poisson oranını ise 0,49 olarak belirlemişlerdir [21 – 22]. Fakat bu konu da halen farklı görüşler ortaya atılarak farklı metotlar kullanılarak analiz yapılmaktadır. Yakın sonuçlar bulunsa dahi kauçuğun non – lineer yapısından dolayı %100 doğruluk hiçbir zaman bulunamamıştır.

1.4. Nano – Malzemeler

Dünyada ve ülkemizde hızlı bir şekilde gelişen nanoteknoloji bilimi, 1 – 100 nanometre arasında olan atom ve molekülleri incelemektedir. Bu ölçekteki malzemelerin üretimi, tasarımı, kimyasal ve fiziksel özellikleri ve bu yapılardan oluşan parçaların montajını fonksiyonel sistemleri disiplinler ilkesine bağlı kalarak tüm faaliyetleri temsil etmektedir. Bilim dünyasının sürekli olarak tüketiciye küçültme isteğinin olmasından dolayı bu teknolojinin gelişimi hızlı olmuştur. Fakat kritik seviyelerde nano boyutta malzemelerin kullanılması klasik teoremlerle açıklanması çoğu zaman yetersiz kalmaktadır.

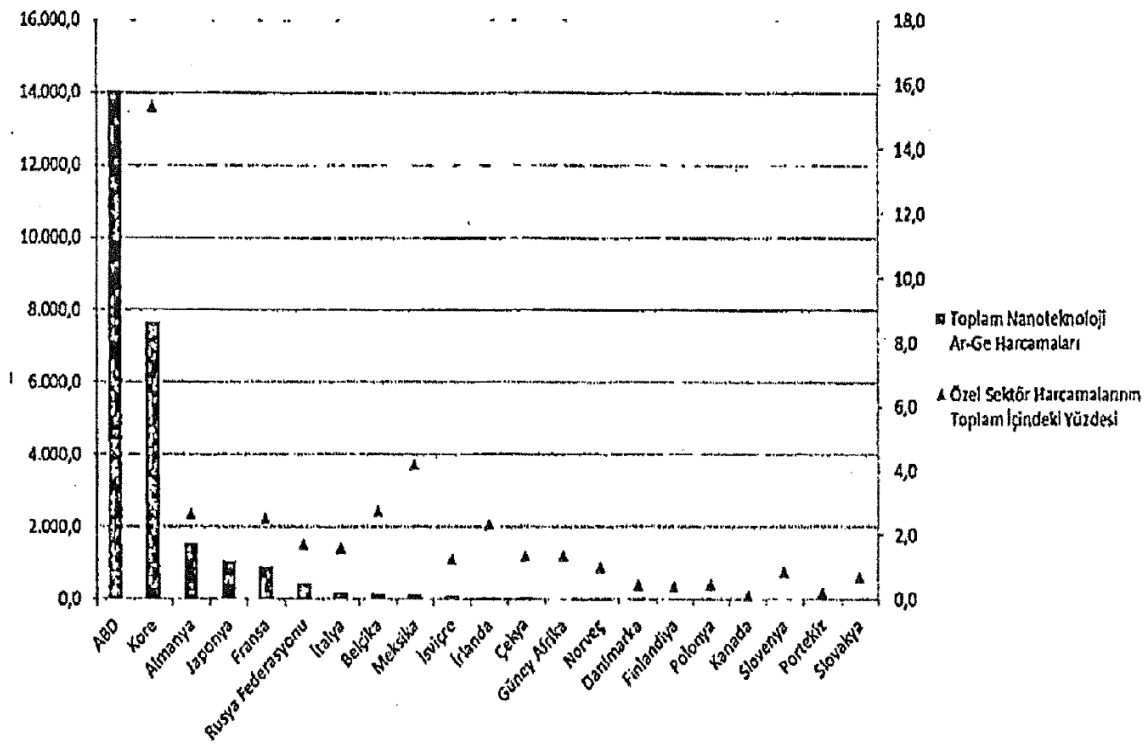
Titreşimin sönümlenmesi mekanik enerjiden ortaya çıkan ısı enerjisinin salınımlarının azalması olarak tanımlanır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ise nano malzemelerin bu ıyı düşürmek ve sönümlemenin daha iyi bir şekilde yapılması yönündedir. Ayrıca titreşimden meydana gelen akustik gürültünün de önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Nano malzemeler smart (akıllı) ürünlerin ortaya çıkmasına da olanak sağlanabilir. Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke, nanoteknoloji bilimi üzerine bütçelerinden ar-ge çalışması payı belirlemişlerdir. Özellikle üretim ve üretimden sonra mamul ürünlerde etkenleri revize edilerek hala gelişme göstermektedir.

Nanoteknoloji, ilk olarak 1974 yılında Tokyo Üniversitesi 'nden Profesör Noria Norio Taniguchi tarafından nanometre seviyesindeki malzemelerin üretimi için

kullanmıştır. Bu tarihten sonra araştırmacılar bu konulara yönelmiş ve ünlü fizikçi Richard Feynman maddenin nano boyutta işlenebileceğini birçok konuşmasında söylemiştir.

Nano teknoloji disiplinler bir bilim olduğundan, malzeme bilimi, enerji, fizik, matematik, elektronik, bilgisayar, otomotiv endüstrisi, tekstil, çevre, biyoloji, kimya, tıp ve eczacılık gibi alanlarda uygulanmaktadır. Bu durumdan dolayı çevre dostu malzemelerin üretimi, daha dayanıklı, daha hafif, daha hızlı yapıların oluşumu sağlar.

Nano – malzemeler aynı moleküllerden oluşmuş büyük parçacıklar ile boyut – özellik kıyaslaması yapıldığı zaman üstün olduğu görülmektedir. Örneğin mekanik özellikleri iyi olan bir parçanın elektrik iletkenliği düşükken, nano malzemenin hem mekanik hem de elektrik iletkenliği yüksek olabilmektedir. Bu da nano malzemelere üstün özellik veya yeni bir özellik olarak çığır açmaktadır. Bu üstünlük ve yeni özelliklerin olması da nano malzemelerin boyutsal olarak kontrol edilebilmesinden gelmektedir.



Şekil 16. OECD – 2016 raporlarına göre ülkelerin toplam nanoteknoloji Ar-Ge harcamaları ve Özel sektörün Toplam içindeki yüzdesi

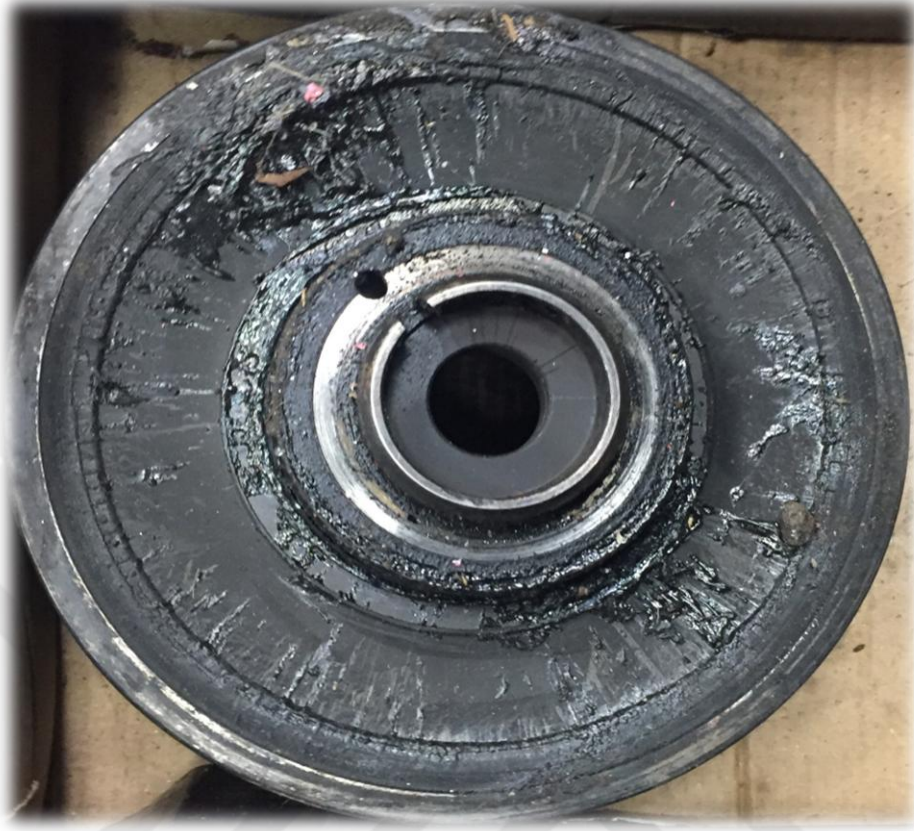
OECD tarafından 2016 yılında hazırlanan raporda toplam nanoteknoloji alanında yapılan Ar-Ge harcamalarında en fazla payın Amerika Birleşik Devletleri tarafından yapıldığı görülmektedir. ABD ‘yi sırasıyla Güney Kore, Almanya, Japonya, Fransa ve

Rusya Federasyonu takip etmektedir. Türkiye Nanoteknoloji Stratejisi ve Eylem Planı (2017 – 2018) Yüksek Planlama Kurulu tarafından hazırlanmış olan kararda Türkiye 2003 – 2011 yılları arasında nanoteknojiye 244 milyon ABD doları yatırım yapmış olduğu ve OECD ortalamasının altında olduğunu dikkat çekmiştir. Ayrıca raporda Türkiye ‘nin orta vade ve stratejik planı bulunmaktadır [23].

Çizelge 5. Nano malzeme üretim yöntemleri

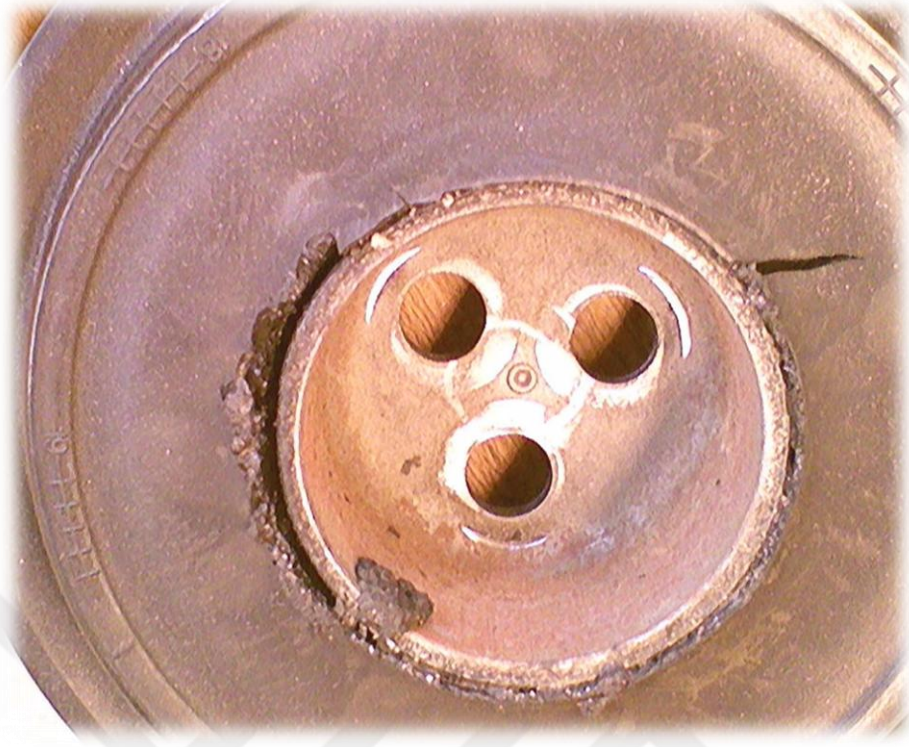


Nano malzemeler üretim yöntemleri iki farklı genel yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi olan yukarıdan – aşağıya yaklaşımı büyük boyutlu malzeme küçük boyuta getirilerek ayrılma işlemi yapılır. Bu tip yaklaşımda kimyasal veya mekanik aşındırma işlemleri ile yapılır. Aşağıdan – yukarıya yaklaşımında ise malzeme, atomların ve molekülerin kimyasal reaksiyonlarla boyutça büyümesi sonucu sentezlenerek elde edilir. Atomik ve moleküler elemanlar daha büyük sistemler, kümeler, organik örgüler, çok moleküllü yapılar ve sentezlenmiş makro-moleküller oluşturacak şekilde kontrollü olarak bir arada toplanması sağlanır [24] (Bkz. Çizelge 5.).



Şekil 17. Krank kasnağında elastomer kısmın erimesi

Nano malzemeler yüksek sıcaklıklarda mükemmel sönümlenme sağlayabilir. Bu da otomotiv sektöründe kullanılan krank kasnakları uygulamasında büyük bir potansiyel olduğunu gösterir. Çünkü rezonansa giren krank mili belirli bir süreden sonra titreşimin etkisiyle kendi içerisinde büyük bir ısıya maruz kalacaktır. Nano parçacıkların bu durumda elastomer kısmın mekanik özelliklerini iyileştirerek sönümlenme kabiliyetini artırması metodoloji olarak önemli ölçüde etkiler. Örneğin Şekil 17. 'de tipik bir krank kasnağın elastomer kısmın erimesi görülmektedir. Burulma ve motor sıcaklığından dolayı bu erime olayı nano malzeme ile daha mukavemetli bir yapıya sahip olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 18. Rezonansa giren krank kasnağında elastomer kısmın yırtılması

Yukarıda verilen Şekil 18. 'de ise krank milinin rezonansa girmesiyle sönümleme kabiliyetinin yetmemesi sonucu elastomer kısmın göbek diye tabir edilen kısımdan yırtılmasıdır. Bu elastomer kısmın nano malzemeler ile güçlendirilmesi krank kasnaklarının ömrünün artacağı düşünülmeleriyle ortaya çıkmıştır.

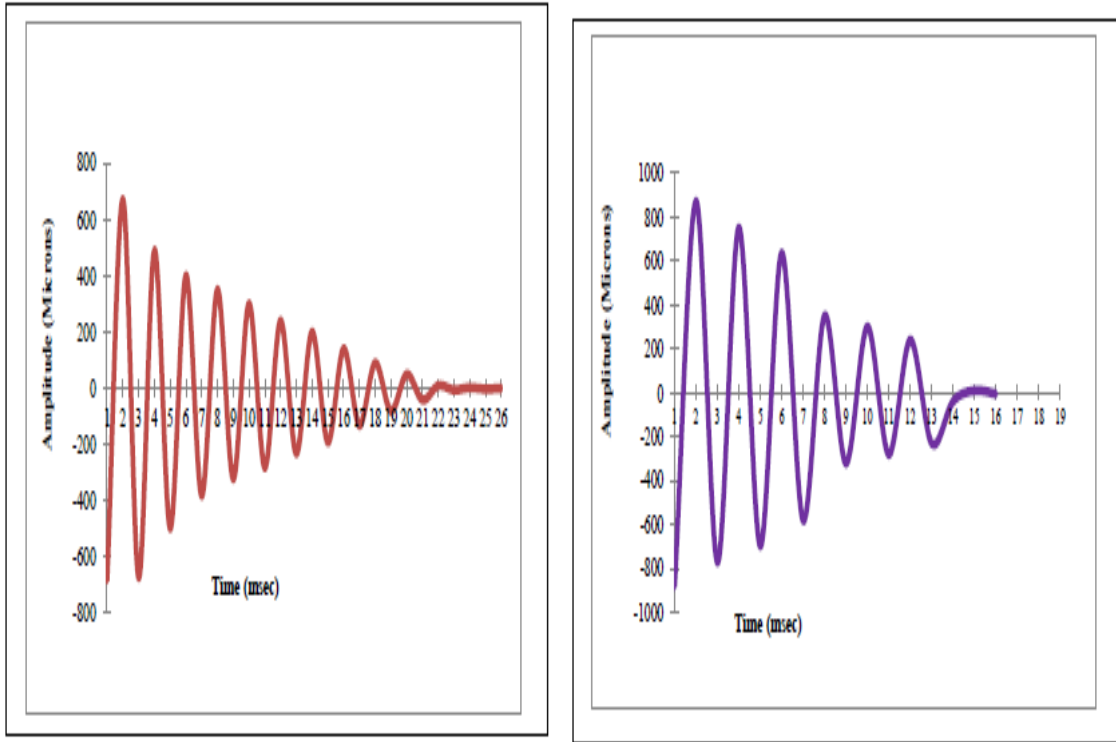
Nanoteknoloji 21. yüzyılın en önemli ve hızla gelişen teknolojisi olmakla birlikte birçok araştırmacı tarafından kilit konumunda olup, bu konuda ilgisini çekmeyi başarmıştır. Küresel rekabetin hızlı bir şekilde artması ülkeler içinde bu bilimin stratejik önem taşımaya sebebiyet vermektedir.

Kalfa ve arkadaşları 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada çok duvarlı karbon nano tüpüne (MWCNT) nano ölçekli ZrO_2 ilave etmişlerdir. Yeni oluşan bu materyalin karakterizasyonu transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve X – ışını difraksiyonu (XRD) ile elde ettiler. Daha sonra yeni oluşan bu nano malzeme ile çeşitli konsantrasyonlu matrislerden geçirerek deneysel incelemelere tabi tutmuşlardır. Yapılan çalışma standart referans olan (Silty Clay 7003) analiz edilerek doğrulanmıştır.[25]

Bozan ve arkadaşlarının yapmış oldukları nanopartikül takviyeli teflon kaplamaların üretilmesi ve karakterizasyonu konulu çalışmada, teflon kaplamanın aşınma direncini artırmak amacıyla teflon kaplama içine nano boyutta gümüş (Ag) partikülleri

ilave etmişlerdir. Nano partikül ile normal kaplama arasında yüzey pürüzlülük, SEM, XRD ve FT-IR analizlerine tabi tutmuşlardır. Aşınma testi yapıldığında ise nano partikül katkılı teflon kaplamanın aşınmaya karşı direnci partikülsüz olandan daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca kaplamanın daha iyi yapıştığı ise endüstriyel uygulamalarda sonuç olarak verilmiştir.[26]

Ramzan ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada elastomerleri nano malzemeler ile kompozit bir malzeme elde etmişlerdir. Doğal kauçuk içerisine nano partiküller atarak sönümlene kabiliyetleri araştırılmış ve sonuç olarak değişik varyasyonlar içerisinde tasarım parametreleri belirlemişlerdir. Güçlü sönüm kabiliyetleri için nano kompozitleri önermişlerdir.[27]



Şekil 19. Alümina takviyeli kauçuğun sönümlene kabiliyeti

Ramzan ve Kumar, yapmış oldukları başka bir çalışmada kauçuk içerisine nano malzeme ekleyerek sönümlene kabiliyetini ve dinamik karakteristiğini incelemek için test düzeneğini yapmışlardır. Bu çalışmada Alümina nano parçacıkları buhar biriktirme yöntemi ile formüle edilmiş ve şerit halinde nano kompozit bir yapı oluşturmuşlardır. Yapılan testin sonucunda düşük hızlarda (2.2 m/s) sönümlene kabiliyetinin düşük olduğu, yüksek hızlarda (3.1 m/s) ise nano parçacık takviyeli kauçuğun sönüm oranının daha iyi olduğu ortaya koymuşlardır (Bkz. Şekil 19.) [28] .

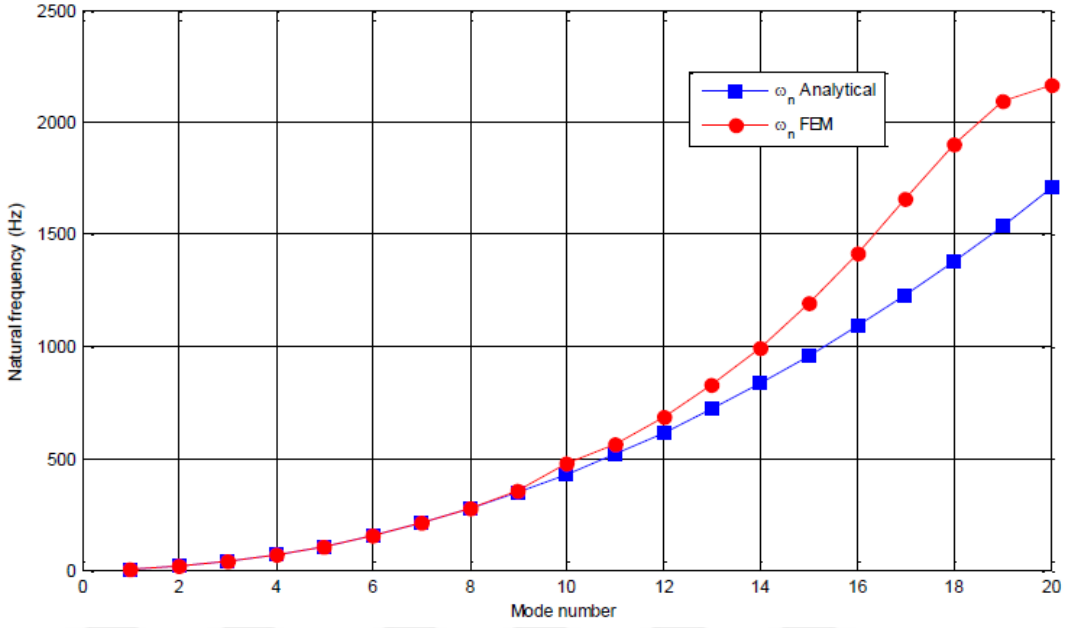
Sahar Ziraki ve arkadaşları 2016 yılında yapılmış olan yayınlarında, silikon kauçuk matrisine silika nanopartikülleri ve polipropilen lifleri eklemiştir. Yapılan bu nano parçacık takviyeli kauçuktan almış oldukları numunelerin viskoelastik davranışını ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak silika parçacıklarının kauçuk üzerinde elastik modülünün üzerinde etkisi artırdığı ve yüksek sertliklere ulaştığı kanıtlamışlardır [29].

Çin Ulusal Doğa Bilimi Vakfı ve Çin Doktora Sonrası Bilim Vakfı tarafından desteklenen bir çalışmada su altında çalışan tüplerin titreşim ve gürültüyü azaltmak için kauçuk içerisine nano parçacık ilave edilmiş ve bu çalışmada tribolojik ve mekanik özellikler incelenmiştir. Çalışma sonucunda ise nano partikül takviyeli NBR kauçuğun kritik hızlarda sürtünme katsayısının azaldığı ve bunun yanında mekanik özelliklerinden sönümlenme kabiliyetinin iyileştiği görülmüştür [30].

Chien-Yang Huang , Jia-Lin Tsai silika nanopartikülleri ve kauçuk parçacıkları içeren kompozit katmanlarının titreşim sönümlenme cevabını karakterize etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışma ile deneysel sonuçlar sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırdılar. Bu sonuçlarda özellikle [90/10] katmanların için fiber kompozitlerin bükülme sertliğinin azaltılmasının, katmanların sönümlenme özellikleri geliştirilirken azaldığını göstermiştir. Mikrometrik analiz kullanılarak elde edilen kompozit katmanların titreşim sönümlenme tepkileri, modal analiz ile birlikte deneysel verilerle uyumlu olduğu karşılaştırmışlardır [31].

Joner Oliveira Alvesa ve arkadaşları 2011 yılında yapmış oldukları çalışmada Stiren-Bütadien kauçuğu yakarak atığından nano karbon çıkartmaya çalışmışlardır. Böylece geniş yelpazesi olan SBR kauçuğun geri dönüşümünü sağlamak istemişlerdir. Çalışma sonunda yapmış oldukları yakma işlemi ile 30 µm karbon nano malzemesine ulaşmışlardır. Bu durumdan dolayı SBR 'nin karbon nano tüpü için hammadde olarak kullanılması tatmin edici niteliği taşımaktaydı. Kauçuk sektöründe SBR kauçuğun atık olarak kullanılması gelecekteki yatırımlar için iyi bir sonuç olarak gösterilmiştir [32].

Ayşe Bedeloğlu ve Yasin Altın tarafından hazırlanan ve 3. Kauçuk kongresinde sunulan Grafen/Doğal kauçuk nano kompozitlerin hazırlanması adlı çalışmada grafen ile doğal kauçuğun hangi üretim metotları ile yapıldığı sunulmuştur. Bu çalışmada mekanik karıştırma, solisyon temelli, hem solisyon tekniğinin hem de mekanik karıştırma tekniğinin bir arada kullanılması ve diğer yöntemler ile dört başlık altında sunulmuştur.[33]



Şekil 20. Doğal Kauçuk ve Alümina Zirkonyum ile oluşturulmuş nano kompozit malzemenin analitik ve sonlu elemanlar yöntemi ile kıyaslanması

Ramzan Muhammad ve arkadaşları yeni bir nano kompozit titreşim sönümleyicisi tasarlamışlardır. Test numunesi olarak doğal kauçuk (NR) ve alümina zirkonyum ($Al_2O_3-ZrO_2$) kullanmışlardır. Çalışmada SEM ve TEM analizleri yapılmıştır. Ayrıca yapmış oldukları modal analiz ile doğal frekansı Şekil 20. 'de olduğu gibi analitik ve sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırmışlar. Daha sonra ilk beş mod şeklini ortaya koymuşlardır. Titreşim genliğinin % 25 azaldığını kanıtlamışlardır [34].

Yaragalla ve arkadaşları 2015 yılında yapmış oldukları yayında grafen parçacıklarını doğal kauçuk (NR) karıştırma yöntemi ile eklemişlerdir. Çalışmada TEM, FT-IR ve Raman spektroskopisi ile morfolojik ve fiziksel özellikleri incelemişlerdir. Normal doğal kauçuk ile nano takviyeli doğal kauçuk modülüsüne göre % 282 artırdığı kanıtlanmıştır. Nano takviyeli kompozit malzemenin fiziksel özelliklerindeki bu artış Mooney Rivlin teoremi ile değerlendirildi [35].

2. ÜRETİM YÖNTEMLERİ

2.1. Giriş

Kauçuk ve nano malzemelerin üretim teknikleri gelişen teknoloji ile her geçen gün daha farklı yaklaşımlar yapılmaktadır. Bu durumdan dolayı birçok araştırmacı yeni yöntemler ile bu birbirinden farklı iki yapıyı bir araya getirmeye çalışmışlardır. Yeni bir kompozit malzemenin ortaya çıkması ile imalat yöntemlerine bakışta bu nedenle çok önemli bir noktaya varmıştır.

Üretim yöntemleri teknolojik açıdan önemli bir yapı taşıdır. Bu yapı taşı insanların ihtiyaç duydukları ya da istedikleri bir şeyi üretme dürtüsünden meydana gelir ve imal edilemeyen bir şey insanlar için kullanılamayacağından dolayı teknolojik açıdan çıkar sağlamamaktadır. Teknolojik açıdan önemli olduğu gibi üretim yöntemleri ekonomik yönden de önem teşkil etmektedir. Bu yöntemler ülkelerin Gayri Safi Milli Hasıla Payı (GSMH) 'na direkt olarak aktarılmaktadır. Bütün ülkeler bunun tarihsel faydalarını bilmektedir. Bu nedenle üreten ve katma değeri yüksek ileri teknoloji stratejileri yapmaktadırlar.

Çizelge 6. Karbon siyahları tanımı

ASTM Kodu	Üretim Şekli	Teknik Açılımı	Tane Büyüklüğü (µm)	Yüzey Alanı(m ² /g)
N 110	SAF	Super Abrasion Force (Üstün Aşınma)	11 - 19	125 - 155
N220	ISAF	Intermediate Super Abrasion (Yüksek Aşınma)	20 - 25	110 - 140
N 330	HAF	High Abrasion Force (Yüksek Aşınma)	26 - 30	70 - 90
N 440	FF	Fine Furnace (İnce Fırın Siyahı)	31 - 39	45 -69
N 550	FEF	Fast Extrusion Furnace (Hızlı ekstruzyon Siyahı)	40 - 48	36 - 52

Kauçuk içerisinde belirli bir miktar kullanılan karbon siyahı nano malzeme niteliği taşımaktadır. Karbon siyahı kauçuk içerisinde kullanıldığı zaman güçlendirme

etkisi yarattığı ortadadır. Üretim tekniğine bakıldığı zaman fırın siyahları (furnure black), kanal siyahları (channel black), termal siyahlar (thermal black) ve asetilen siyahı olarak dört farklı karbon siyahı tanımlaması yapılabilir. Kullanılan karbon siyahı tanecik büyüklüğüne göre sınıflandırma yapılır ise Çizelge 6. 'da olduğu gibidir.

Kauçuk ve nano malzemelerin birleşmesinden nano kompozit bir malzeme ortaya çıkması demektir. Yeni ve gelişen bu teknolojinin malzeme üzerindeki etkileri fiziksel ve kimyasal yönden incelenmektedir. Kompozit malzemeler genel bir ifadeyle farklı iki malzemenin en iyi özelliklerini yansıtacak şekilde üretilmesiyle meydana gelir. Bu özellikler sıralanacak olursa yüksek mukavemet, hafiflik, ısıya karşı dirençlilik, kimyasallara karşı dirençlilik olarak tanımlanabilir.

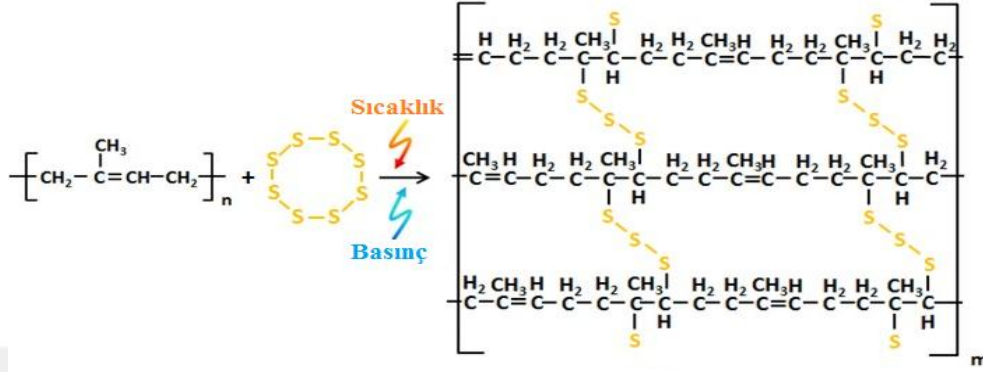
ASTM standartlarında *N* ifadesi karbon siyahını temsil etmektedir. Arkasından gelen sayı ise (110, 220 gibi) ortalama tane büyüklüğü olarak ifade edilir. Üretim şekli ve teknik açılımı ise karbon siyahının nasıl ve nerede kullanılacağına dair bilgiler vermektedir. Karbon siyahı tanecik boyutu büyüdükçe yüzey alanı azalmaktadır. Birim hacimdeki bu artış renginin koyulaşmasını sağlar. Tanecik boyutu büyüdükçe yüzey alanı düşmesi görülmektedir.

Elastomer teknik hamurunun hazırlanması için kullanılan hammaddelerden biri yumuşatıcıdır. Yumuşatıcılar, kimyasal ve fiziksel olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Karbon karasından sonra katılması ile devam eden süreçtir. Bu şekilde karbon karası ve kauçuğun birbirine karışmasını ve kauçuk ile dolgu maddelerinin arasına girer ve sürtünmeyi azaltmayı sağlar. Yumuşatıcılar karışımın viskozitesini düşürerek işleme işini kolaylaştırır. Sertlik, elastikiyet gibi fiziksel özellikleri etkilemektedir. Kauçuk tipine göre yumuşatıcı kullanılması uygundur. Örneğin doğal kauçuk parafanik, naftenik, aromatik ve tabii yağlara uygun fakat ester ve eter tipi yağlara uygun değildir. EPDM karışım ise parafanik, naftenik yağlara uygun olmasına rağmen aromatik, ester ve eter tipi ve tabii yağlara uygun değildir.

Dolgu maddeleri ise karışımın fiziksel ve mekanik özelliklerini güçlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Maliyeti düşürmek, belirli bir işlenebilirliği sağlamak, renk vermek gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Kil, kalsiyum karbonat (CaCO_3), Titanyum dioksit (TiO_2), Silisyum dioksit (silika) gibi hammaddeler örnek verilebilir.

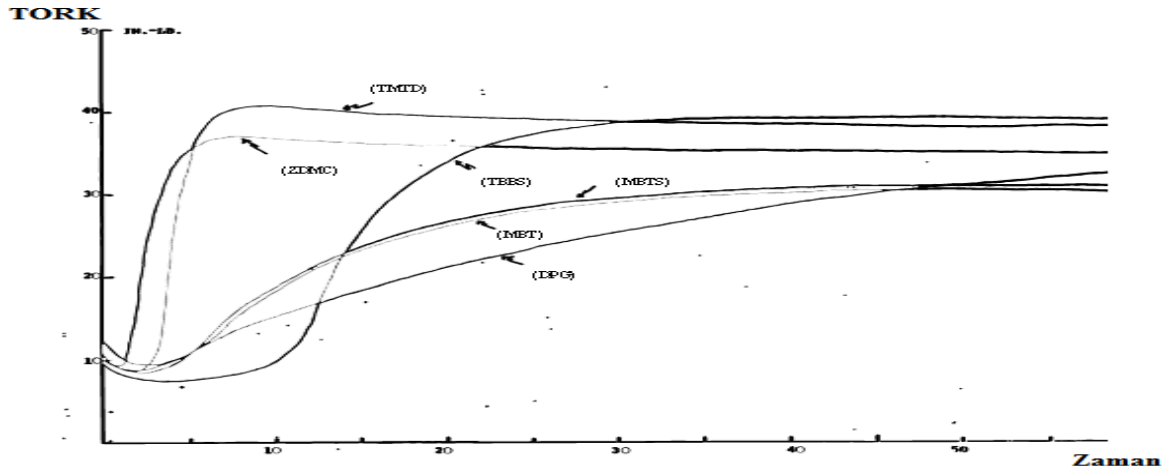
Teknik hamurun (kauçuk karışımının) vulkanizasyon süresini düşünülürken zaman karışım içerisine pişirici ilave edilmesi gerekir. Ayrıca pişiricilerin aktive edilmesi gereken

aktivatörlüğü ise uyarıcılar sağlar. Uyarıcılar iki grupta toplarsak; inorganik (Çinko oksit) ve organik (Stearik asit) maddeler olarak oluşur. Bu maddeler pişmenin başlaması için gerekli aktivasyon enerjisini düşürmektedir.



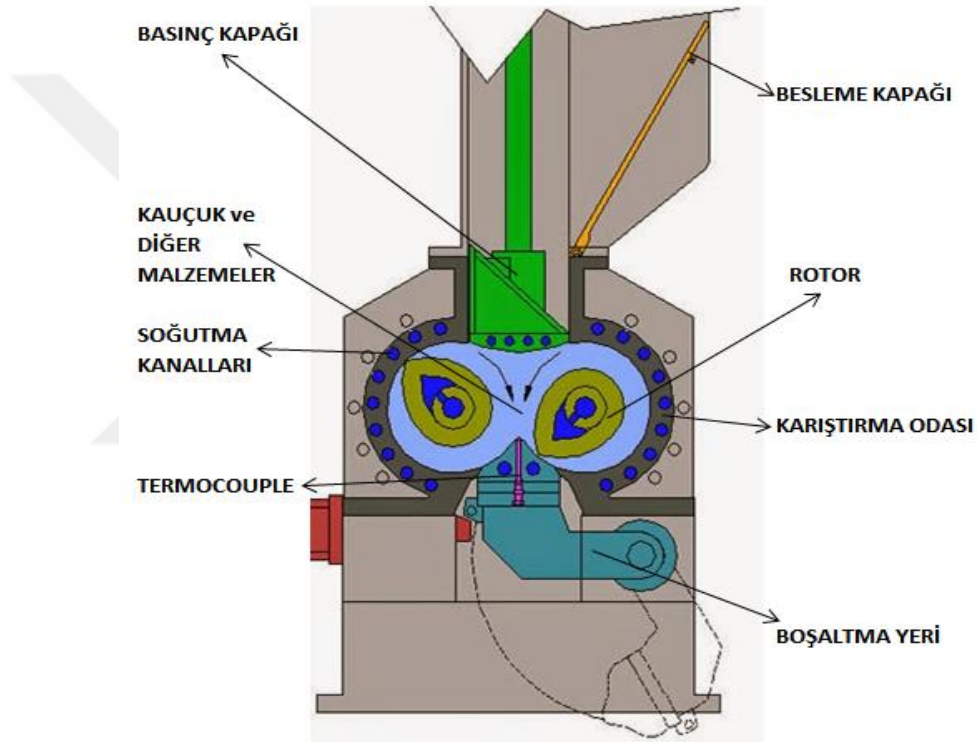
Şekil 21. Doğal Kauçuğun Kükürt ile vulkanizasyonun şematik gösterimi

Polimer zincirin sıcaklık ve pişiriciler yardımıyla birbirine üç boyutlu olarak bağlanmasıdır. (Bkz. Şekil 21.) En yaygın kullanımı kükürt ile yapılmaktadır. Peroksit kullanımı da şuan üreticiler tarafından kullanılmaktadır. Kükürt pişme için gerekli olan hammadde olsa dahi üreticiler seri üretim için pişme sürelerinin düşük olmasını istemiş ve hızlandırıcılar kullanmışlardır. Hızlandırıcılar sayesinde pişme süreleri saat biriminden dakika birimine ilerlemiştir. Şekil 22. 'de bazı hızlandırıcı tiplerin pişmeye etkileri verilmiştir. Ayrıca karışım içerisine günümüzde reçineler, bağ yapıcı kimyasallar, plastifiyanlar, geciktiriciler gibi hammaddeler atılarak kauçuğun kimyasal bileşimine katkı sağlanması hedeflenmektedir.



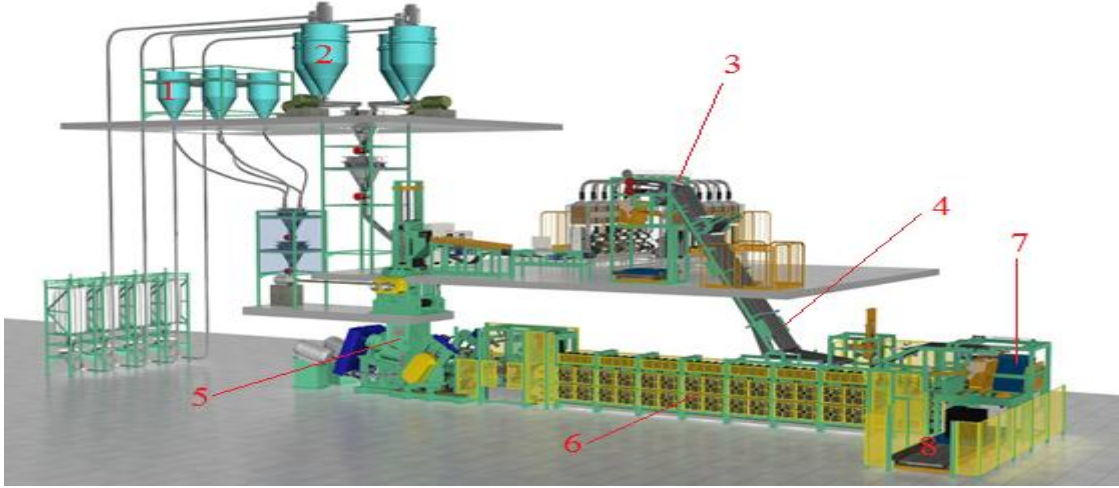
Şekil 22. Değişik tip hızlandırıcıların vulkanizasyona etkileri

Kauçuk üretimi için kullanılan makine ve teçhizat ise üretim şekline göre şekillenmektedir. Karıştırma işlemi mikserle yapılır. Mikserler açık ve kapalı olarak ikiye ayrılır. Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle her ne kadar kapalı karıştırıcılar kullanılsa da ülkemizde halen üreticiler açık mikserlerle üretim yapmaktadır. İstenilen karışımın içerisinde bulunan hammaddeleri homojen olarak karıştırmak için mikserler önemli bir yere sahiptir. Mikserler mastikasyon ve hammadde kırma işlemlerini gerçekleştirirler. 1915 yılında ise mucidinin adıyla anılan banbury mikserler ön plana çıkmıştır.



Şekil 23. Tipik bir banbury mikserinin şematik gösterimi

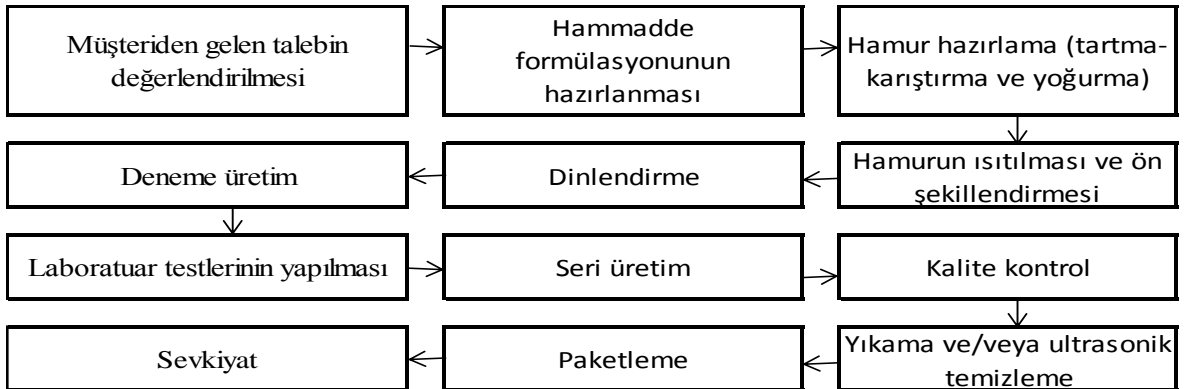
Banbury mikserinin şematik gösterimi Şekil 23. 'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Burada besleme kapağından alınan hammadde karıştırma odasına gitmektedir. Bu akışı sağlamak için basınç gerekmektedir. Rotorlar sayesinde kauçuk ve diğer hammaddeler karıştırma odasında karıştırma işlemine tabi tutulur. Karıştırma yönü banbury mikserine göre değişkenlik göstermektedir. Soğutma kanallarında bulunan su veya soğutucu sıvı ise karıştırma işlemi sırasında ortaya çıkan ısıyı istikrarlı duruma getirebilmesi için gerekmektedir. Homojen olarak karışım tamamlandıktan sonra boşaltma alanından uygun bir kalıplama sistemi ile boşaltım yapılmaktadır.



Şekil 24. Tipik bir kauçuk üretim tesisi [36]

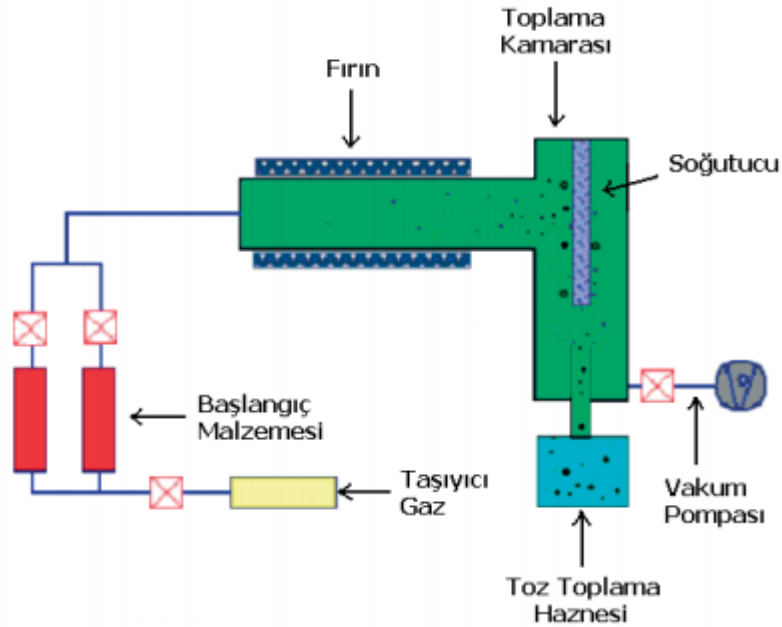
Şekil 24. 'te tipik bir üretim tesisinin şematik gösterimi verilmektedir. Bu şekilde (1) yağ silosu olarak adlandırılmaktadır. Eşanjörden aldığı enerji ile yağ deposundan aldığı yağı banbury mikserine iletir. Yağ malzemenin daha homojen karışımı olması için gereklidir. Karbon karası deposunda (2) karbon karası yer çekimi kanununa göre mikserine verilir. Kauçuk ve diğer hammaddeler ise konveyör bant (4) tarafından mikserine iletilir. Homojen karışım ise karıştırma ünitesinde (3) yapılır. Karışım boşaltma ünitesinde (5) karışım boşaltıldıktan sonra yıkama işlemi yapılır ve fan yardımıyla soğutma yapılan (6) soğutma kanalına geçer. İstenilen ölçülerde kesme işlemi için (7) elastomer malzeme verilir. Paketleme işlemi ise (8) 'de yapılır.

Kauçuk elastik yapısıyla otomotiv sektörünün vazgeçilmez bir parçasıdır. Özellikle üretim yöntemi de ilgi çekiciliğini korumuştur. Türkiye 'de bu sektörde belirli bir ihracat oranı bulunmaktadır. Hammaddeler ne kadar yurt dışı menşeli olsa dahi Türkiye karışım üretebilme gücüne sahip bir ülkedir. Üretim süreci genel olarak Şekil 25. 'te verilmiştir.



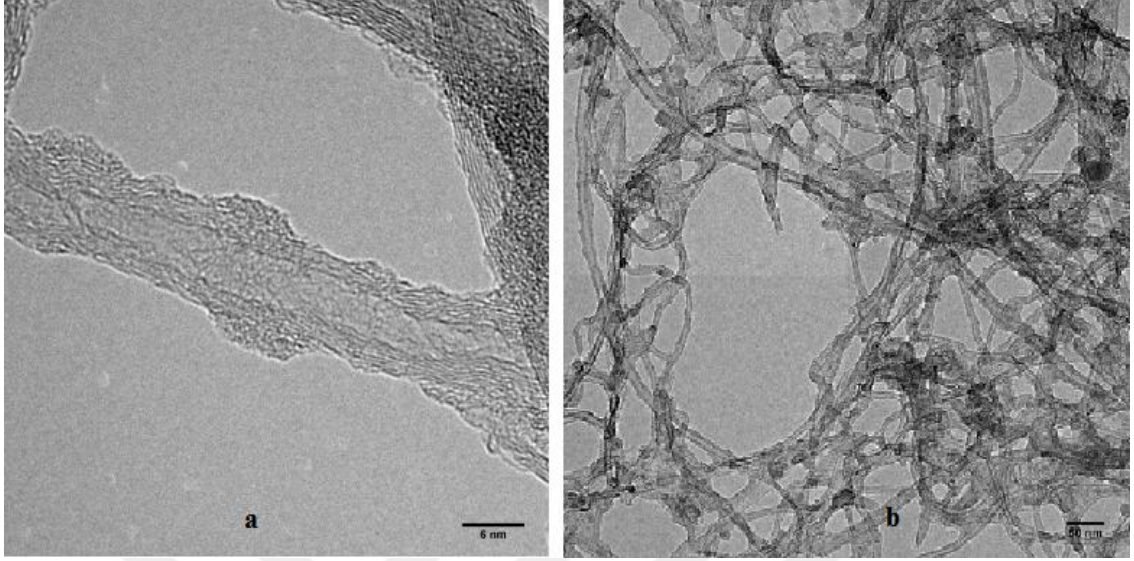
Şekil 25. Genel kauçuk üretim süreci

Nano malzeme üretim metotları aşağı – yukarı ve yukarı – aşağı olarak iki grupta incelenir. Bölüm “1.4 Nano malzemeler” konusu başlığı altında bu tip yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan nano malzemelerden çok duvarlı karbon tüpü sağlık, mekanik, elektrik – elektronik, kimya ve enerji alanlarında kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan çok duvarlı karbon tüpü, aşağıdan yukarıya üretim yöntemine göre kimyasal buhar yoğunlaştırma metodu ile üretilmiştir. Bu yöntem Almanya ‘da bulunmuş ve çok yüksek nano parçacık üretimi için ideal bir yöntemdir. Başlangıç kimyasallarının kolay bulunması bu yöntemin en büyük avantajıdır. Üretim yöntemi temel olarak gaz fazındaki malzemenin ısıl parçalanma ile partiküle dönüşümüne dayanmaktadır. İşlem sırasında gaz fazındaki başlangıç malzemesinin akış verilerek reaktör olarak adlandırılan fırın içine taşınmasıyla birlikte ısıl parçalanmanın olmasıdır. Taşıyıcı gaz olarak He, Ar veya N₂ gibi inert (atıl) gazlar kullanılmakla birlikte bileşiğin redüklenmesi için H₂, CO veya CH₄ gibi gazlar da taşıyıcı gaza ilaveten kullanılabilir. Isıl parçalanma sonucu oluşan atom kümeleri veya nanopartiküller fırın çıkışındaki farklı toz toplama yöntemleriyle toplanmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanı içerisinde sıvı azot geçen bir çubuğun kapalı bir bölme içerisinde partiküllerin çöktürülmesidir. Kimyasal buhar yoğunlaştırma yönteminin şematik gösterimi Şekil 26. ‘da verilmiştir [37].

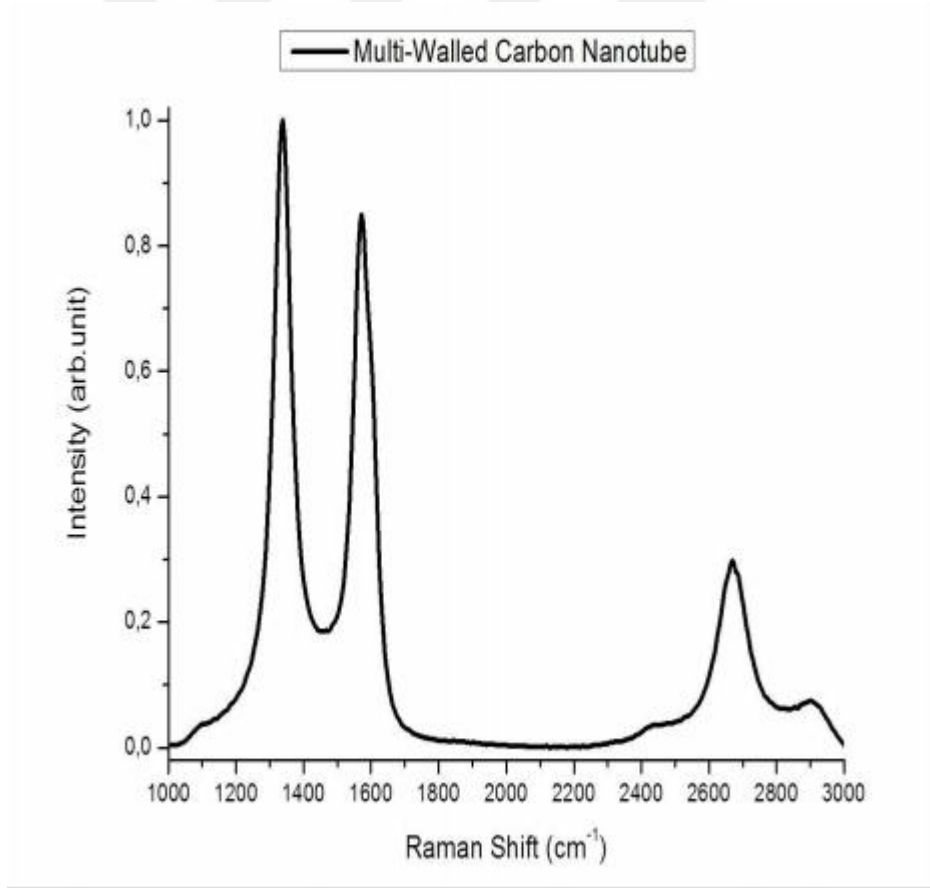


Şekil 26. Kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi

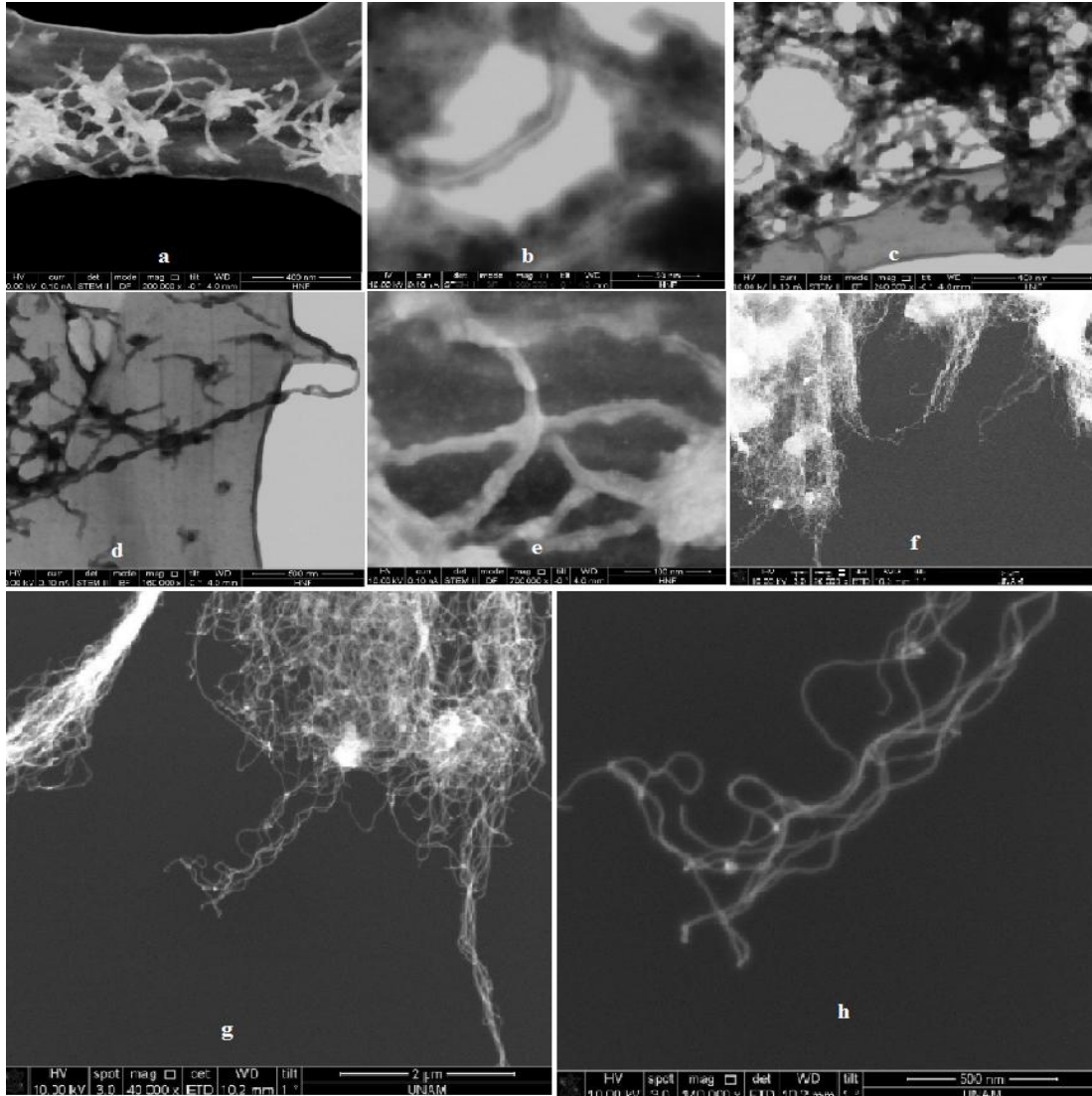
Bu yöntemle üretilen nano malzemelerin boyutu, fiziksel ve kimyasal özellikleri başlangıç malzemesinin kimyasal özelliklerine, akış hızına, işlem sıcaklığına bağlıdır.



Şekil 27. Çok duvarlı karbon nano tütünün a) 6 nm b) 50 nm TEM Görüntüsü



Şekil 28. Çok duvarlı karbon nano tütünün Raman Grafiği



	<i>HV (kV)</i>	<i>CURR (nA)</i>	<i>SPOT</i>	<i>MAG (x)</i>	<i>DET</i>	<i>MODE</i>	<i>WD (mm)</i>	<i>TİLT (°)</i>	<i>BOYUT (nm)</i>
a	10	0,1	-	200000	STEM II	DF	4	0	400
b	10	0,1	-	1000000	STEM II	BF	4	0	50
c	10	0,1	-	240000	STEM II	BF	4	0	400
d	10	0,1	-	700000	STEM II	DF	4	0	100
e	10	-	3	20000	ETD	-	10,02	1	5000
f	10	-	3	40000	ETD	-	10,02	1	2000
g	10	-	3.0	140000	ETD		10,2	1	500

Şekil 29. Çok duvarlı karbon nano tüpünün SEM Görüntüleri ve analiz unsurları

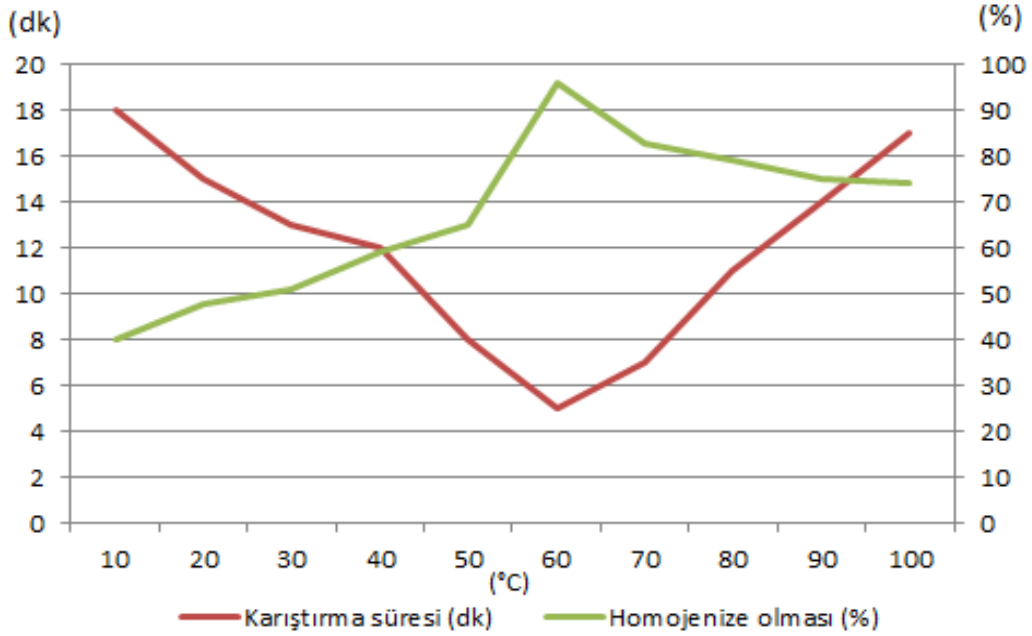
Şekil 27, Şekil 28 ve Şekil 29 'da tipik bir nanomalzeme olan çok duvarlı karbon tüpünün SEM, TEM ve Raman analiz sonuçları gösterilmektedir.

2.2. Kauçuk – Nano Malzeme Üretim Metotları

2.2.1. Homojen Karıştırma Yöntemi (Mixing Method)

Özellikle karışım üretmekte kullanılan bu üretim yöntemi temel amaç karışımın içerisinde bulunan hammaddelerin homojen olarak karışmasını amaçlamaktadır. Kauçuğun üretiminde olduğu gibi banbury mikseri içerisinde hammaddelerin bir rotor tarafından karıştırma işlemi uygulanması ile yapılır. Karışım oluşturmada önce bileşenlerin miktarları ve cinsleri tayin edilmelidir. Kauçuk ve nano malzeme kuru karıştırıcı cihazlarında karıştırmak ya da uygun sıvı – katı karıştırıcılarda karıştırmak uygundur. Rotorun yönü karışımın homojen karışması için uygun tip ve yön seçimi yapılmalıdır.

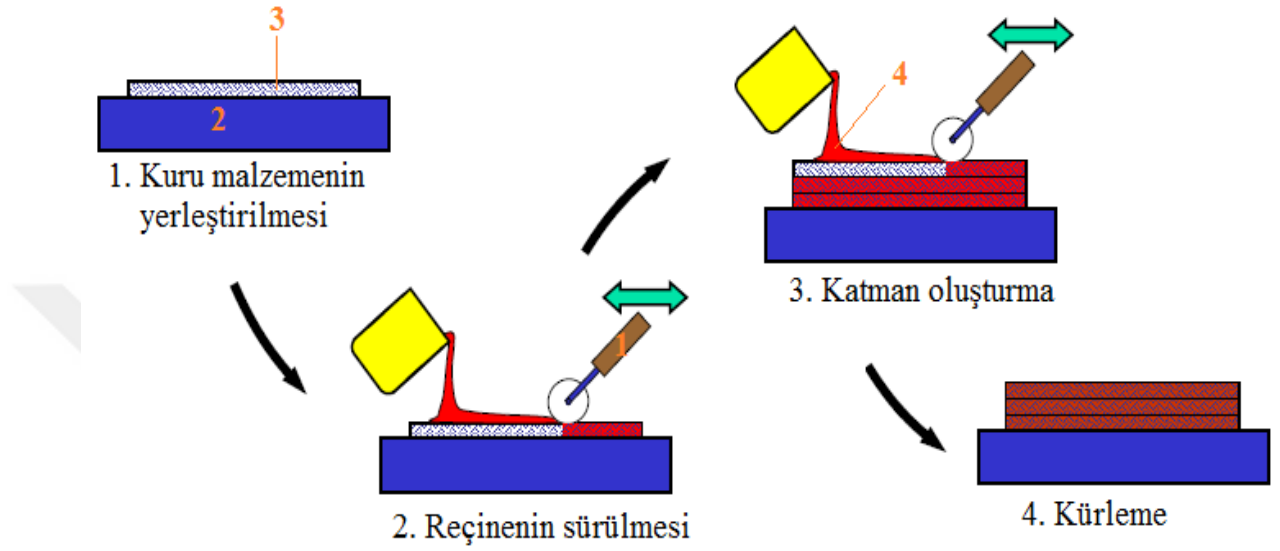
Çizelge 7. Sıcaklığın karıştırma süresine ve karışım homojenliğine etkisi



Karıştırma işleminde karıştırma sıcaklığı önemli bir değerdir. Sıcaklığın artması ile malzemelerin viskoziteleri düşer ve çözünürlüğü artmasına sebep olur. Sıcaklığın optimum olduğu durumda karıştırma işlemi süresi en ideal durumdadır. Kauçuk ve nano malzemenin homojen bir şekilde karışımı için gerekli sıcaklık – süre ilişkisi Çizelge 7. 'de gösterilmiştir. Kullanılan karışım bileşenlerinin malzeme yapısı ile farklılık göstermesi beklenir. Karıştırma işlemi için gerekli süre ile karışımın homojenliği doğru oranda artması gerekir. Fakat ürünler belirli bir sıcaklıktan sonra kimyasal yanma işlemi ile bu orantı son bulması beklenir. Karıştırma işlemindeki süre enerji, maliyet gibi kriterlere etkisi bulunmaktadır. Bu durumdan dolayı üreticiler optimum süre ve sıcaklıkta karışımı homojenize etmeye çalışırlar.

2.2.2. El yatırma yöntemi (Hand Lay – Up Method)

Kompozit üretim yöntemlerinin en basit yöntemi olarak bilinmektedir. El yatırma yöntemi her geçen gün artmıştır. Kolay üretilmesi ve maliyeti düşük olmasından dolayı tercih sebebidir. Fakat seri üretim esnasında üretimin yavaş ilerlemesinden dolayı büyük parçaların üretilmesi için kullanılmaktadır.



Şekil 30. El yatırma üretim metodu[38]

El yatırma yönteminde kalıp içerisine (2) el ile karışım teknik hamuru (3) yerleştirilir. Bir rulo (1) yardımıyla özel solisyon ile karıştırılmış nano malzeme (4) kalıp içerisinde bulunan hamur üzerine sürülür. Kalıp ile karışımın birbirine yapışmaması için kalıp ayırıcı vakslar kullanılması uygundur.

Avantajları

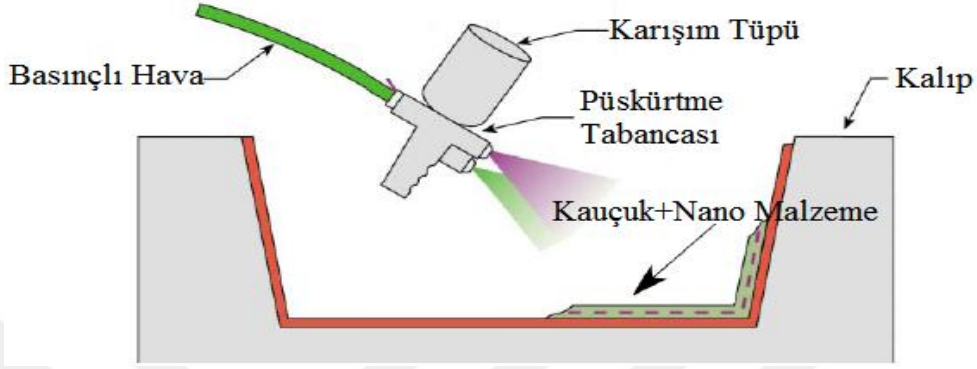
- ✓ Uygulaması basit bir yöntemdir.
- ✓ Oda sıcaklığında pişen malzemeler için çok uygundur.
- ✓ Bu metotta kullanılan malzemelerin piyasada bulunması kolaydır.
- ✓ Maliyet açısından diğer yöntemlere göre düşüktür.

Dezavantajları

- ✓ İnsana bağlı bir yöntemdir.
- ✓ Hava kalma problemi yaşanabilir.
- ✓ Bu yöntem ile yüksek fiber hacim oranına sahip ürün elde edilemez.

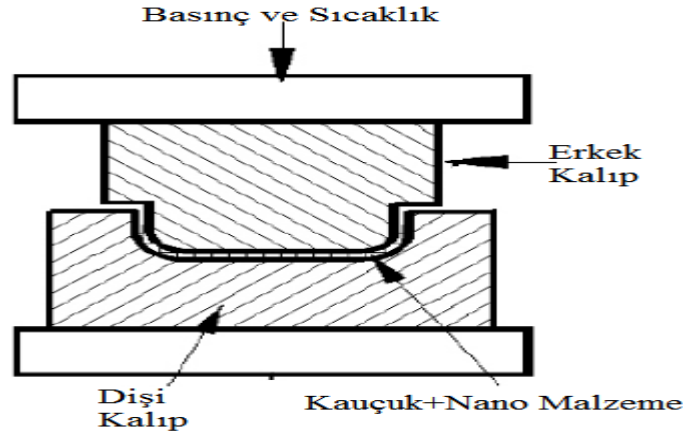
2.2.3. Püskürtme yöntemi (Spray – up Method)

Püskürtme yöntemi el yatırma işleminin otomasyon hali gibi düşünülebilir. Püskürtme yöntemi el yatırma yöntemine göre seri üretimde kullanılması için tasarlanmıştır. Uygulaması kolay, maliyeti düşük bir sistemdir.



Şekil 31. Püskürtme yöntemi üretim şekli[39]

Kauçuk ve nano malzemenin kalıplara yapışmaması için kalıp ayırıcı solisyonlar kullanılması gerekmektedir. Vulkanize olmamış kauçuk kalıp içerisine yerleştirilir. Daha sonra püskürtme tabancasının basınç etkisiyle karışım tüpünün içerisinde özel solisyon ile hazırlanmış nano malzeme kauçuk içerisine püskürtülür. Uygulaması basit, düşük maliyette seri üretim için uygun bir yöntemdir. Fakat nano malzeme kullanımı bu yöntem ile çok fazla olması ve sağlık açısından sakıncalı olması dezavantajları olarak sıralanabilir.



Şekil 32. Sıcak Pres Kalıplama Tekniği [39]

Her üç yöntemde kauçuk içerisinde nano malzemenin vulkanize olması gerekmektedir. Bu durumdan dolayı ısı transferli kalıp (Şekil 32.) ile kauçuk ve nano malzemenin vulkanize olarak güçlü yapısı ortaya çıkması sağlanması beklenir.

3. LİTERATÜRDE KAUCUĞA ve KRANK KASNAĞINA YAPILAN TESTLER

Günlük hayatımızda her alanda yoğun bir şekilde kullandığımız kauçuğun reolojik ve mekanik özelliklerini anlamak ve metodolojisini geliştirmek açısından bazı testlere tabi tutulmuştur. Krank kasnağı konusunda birçok araştırmacı dinamik titreşim sönümleyici testleri ve analizler yaparak, krank kasnağının ömrüne ve çalışma prensiplerini incelemiştir. Orijinal ürün üreticileri (OEM) krank kasnağı modellemesi yaparken en önemli etken olarak doğal frekans ve kauçuğun deformasyonu ile ilgilenmişlerdir. Ömür testleri ve çalışma prensiplerini farklı sıcaklıklarda deneyerek sonuçları incelemiştir.

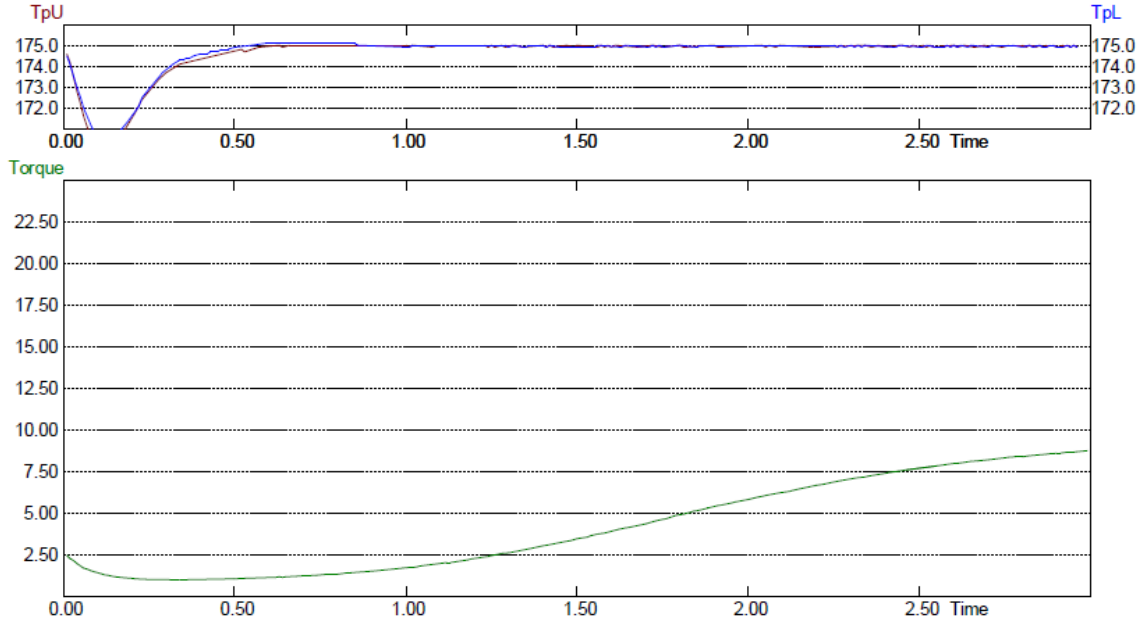
3.1. Rheometre(Rheometer)

Kauçuk içerisinde bulunan karbon karası, yağ, hızlandırıcılar, reçineler, dolgu maddeleri gibi birçok hammaddenin birleşmesiyle oluşur. Bu karışımın vulkanizasyonu öncesi rheometre test cihazlarında vulkanize etme süresi ve scorch süresi gibi sonuçları görmek için test yapılır. Scorch süresi kauçuğun erken pişmesini gösteren süre anlamı taşır. Scorch süresinden sonra kauçuk erken piştiğinden dolayı şekil verilemez. Bu durumdan dolayı kauçuk için bu süre oldukça önemlidir. Doğal kauçuk ve EPDM kauçuk farklı sıcaklıklarda içerisinde bulunan hammaddelere göre pişme eğrisi ortaya çıkar. Ayrıca eğrinin dikliği kullanılan hızlandırıcıyı bulmak için yeterli bir bilgidir [40].

Enjeksiyon ve ısı transferli kalıplar için pişirme süresi önemli olduğundan dolayı Arrhenius eşitliğine göre hesaplanması gerekir. Sıcaklık ve akışkanlık birbiri ile ters orantı şeklinde birbirini izler. Sıcaklık artışı ile kauçuğun viskozitesi düşer. Akış davranış indeksi olan n genellikle sıcaklıkla birlikte sabit kalırken, sıcaklığın kıvam katsayısı (K) üzerine etkisi Arrhenius tipi eşitlik (Eşitlik 1) ile açıklanmaktadır,

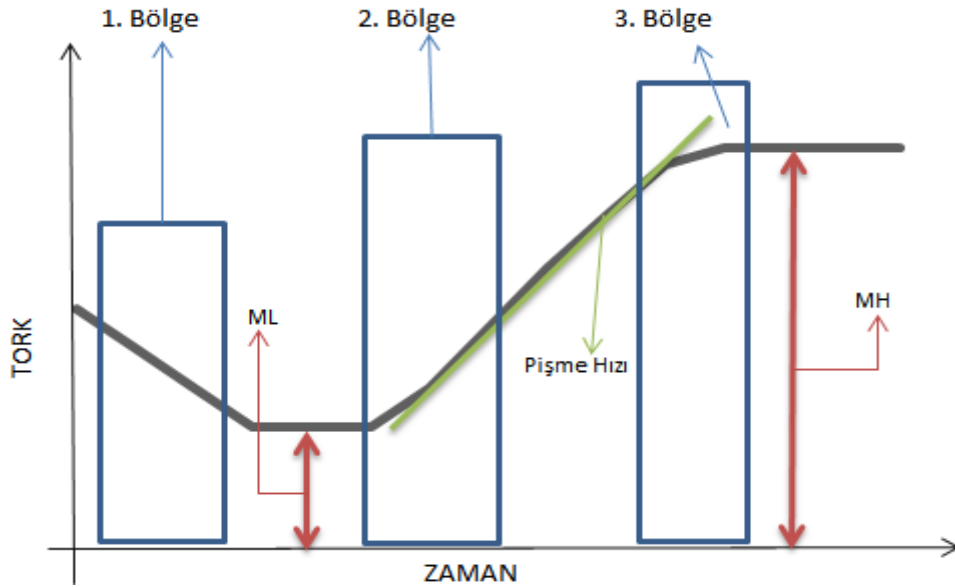
$$K = K_T e^{E_a/RT} \quad (3.1.1.)$$

KT deneysel sabitler iken, E_a aktivasyon enerjisi (J/kmol), R evrensel gaz sabiti (8314,34 J/kmol.K), T ise mutlak sıcaklıktır (K). Aktivasyon enerjisi miktarı akış gerçekleşmeden önceki enerji engeli olarak tanımlanabilir [41].



Şekil 33. Tipik bir EPDM kauçuğun rheometre eğrisi

Krank kasnaklarında flanş ile tasın birleşmesini sağlayan ve titreşim sönümleyen tipik bir EPDM kauçuğun rheometre sonuçları Şekil 33. 'de verilmiştir. Test sınırları ise 175 °C ve 3 dk. olarak belirlenmiştir. Grafikte M_L : 1,02 dNm; M_H : 8,76 dNm; t_{10} : 62 s; t_{90} : 156 s olarak sonuç alınmıştır.



Şekil 34. Rheometre eğrisi sonuç analizi

Rheometre eğrisinin altında kalan bölgelerden kauçuğun reolojik özellikleri ortaya çıkmaktadır. Şekil 34. 'de birinci bölgede kauçuk önce yumuşamaya başlar. Akışkanlığı artmasıyla birlikte minimum tork (M_L) değerine kadar iner. Birinci bölgede kalan eğrinin

uzunluğu emniyetli çalışmayı sağlar. İkinci bölgede kükürt halkasının zincirleri kırılarak içerisinde bulunan karbon atomları ve diğer dolgu hammaddeleri ile birleşmeye çalışır. Birleşme işlemi sırasında kükürt atomları çapraz bağlar yapmaya başlar. İkinci bölge grafiğin en önemli noktasıdır. Scorch süresi tayini bu bölge olur. Grafiğin eğrisi pişmenin hızını verir. Grafik ne kadar dikse pişme de doğru orantılı olarak o kadar hızlıdır. Üçüncü bölgenin başında vulkanizasyon işlemi için en ideal andır. Burada kauçuk sertleşmeye başlar. Eğer eğri aşağı yöne tekrar düşerse eski haline dönmeye (reversion) yumuşamaya başladığını gösterir. Üçüncü bölgede kauçuk vulkanizasyon işlemi ile maksimum torka (M_H) ulaşır.

Reolojik eğri üzerinde maksimum tork (M_H), minimum tork (M_L), pişmenin ilk başladığı zaman (t_{10}), pişmenin tamamlandığı zaman (t_{90}) gibi süreler önemli bir yer tutar. Bu durumdan dolayı bu konuda belirli bir formülasyon üretilmiş ve aşağıda bulunan Eşitlik (3.1.2.) ortaya çıkmıştır [40].

$$M_X = \frac{(M_H - M_L)X}{100 + M_L} \quad (3.1.2.)$$

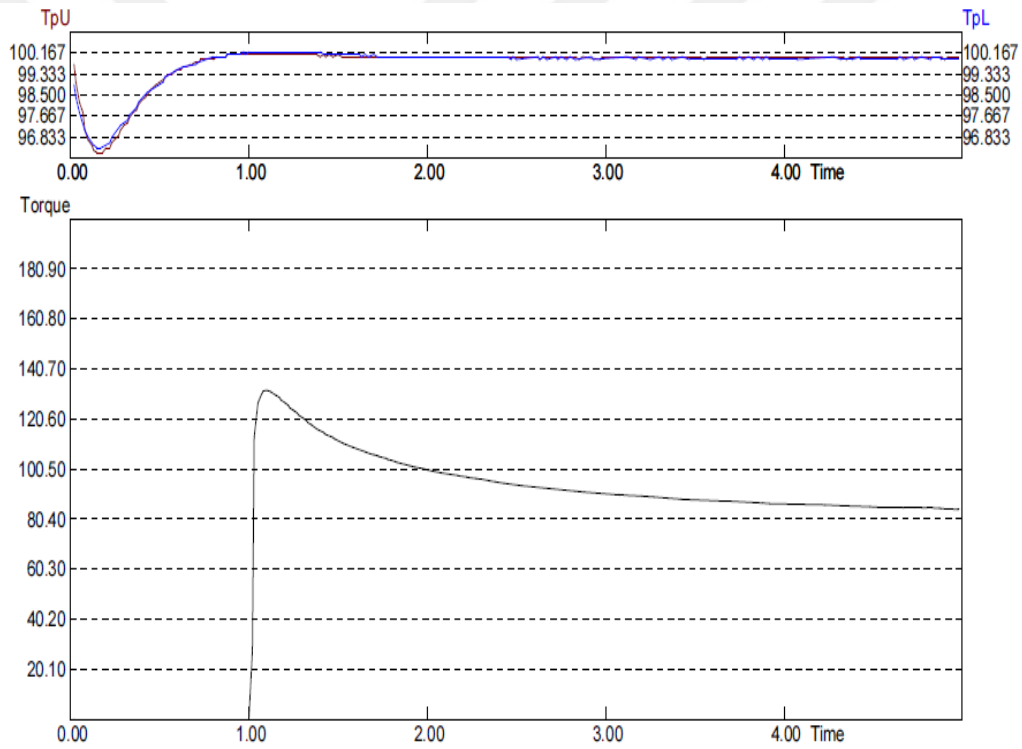
Eşitlik (1) 'e göre örneğin; M_H 'ı 55, M_L 'si 20 dS' olan bir kauçuk hamurunun %50 'si pişmesi için gereken süre ise $M_{50} = 14,58$ olur.

$$M_{50} = \frac{(55 - 20) \cdot 50}{100 + 20}$$

$$M_{50} = 14,58$$

3.2. Viskozite Testi (Mooney)

Kauçuk malzemeler için önemli bir test olan mooney viskozite testi özellikle enjeksiyon presleri ve ısı transferli preslerde ısı ve basınç ile vulkanizasyonu sırasında önemli bilgiler vermektedir. Viskozite terimi akışkanların akmaya karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanır. Fakat kauçuk hamuru katı bir malzeme olduğundan dolayı mooney test cihazlarında kontrol edilmektedir. Viskozite mooney belirli bir sıcaklık ve süre altında sonsuz hareket eden rotora gösterdiği direncin sayısal göstergesidir. Birimi mooney ‘dir. Kauçuğun viskozitesi düşük ise sonsuz dönen rotora verdiği dirençte düşük olmaktadır.

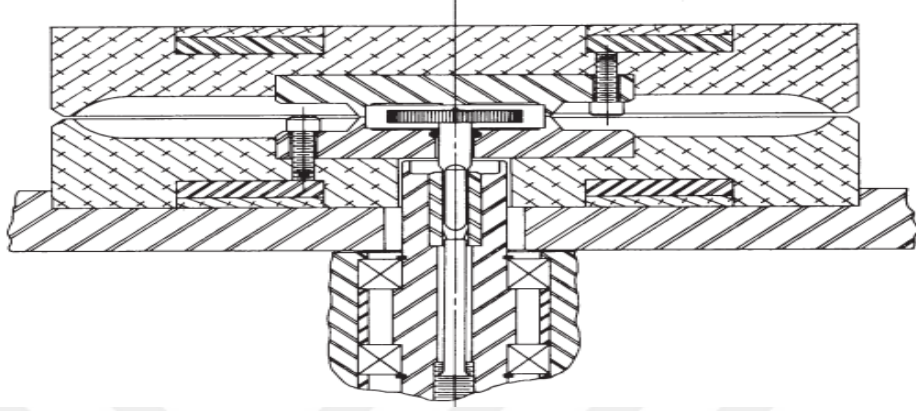


Şekil 35. EPDM kauçuğun tipik bir mooney viskozite analiz sonuçları

Mooney viskozite testi yapılmış bir EPDM kauçuğun analiz sonuçları Şekil 35. 'te verilmiştir. Test 100 °C ve 4 dk. 'da yapılmıştır. Kalıp içerisine konan kauçuk hamurunun birinci dakika sonunda 100 °C 'ye kadar çıkması beklenir. Daha sonra dördüncü dakika sonuna kadar rotor dönmesini sürdürür. Bu değere ML (1+4) olarak tanımlanır. Çıkan sonuç grafiğinde ise ML (1+4) değeri 84,5 olarak ölçülmüştür.

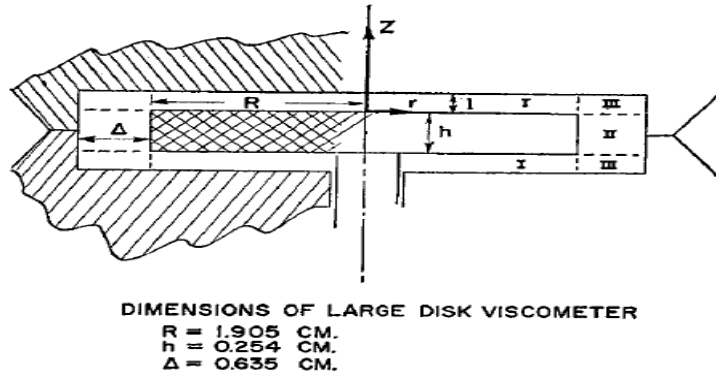
Mooney viskozite metre kauçukların viskozitesini ölçer ve ASTM D 1646 standartlarına göre yapılır. Sıcaklık ve basınç altında rotor ile hareket sağlayan bir ölçüm

teknikğine dayanmaktadır. Bu standartta göre kalıplar (1) sert takım çeliğinden olacak şekilde olmalıdır. Bu kalıpların sertliği Rockwell cinsinden 60 HRC olmalıdır. Kalıp yüzeyleri malzemenin kaymasını engellemek amacıyla V oluklu veya tırtıklı olması gerekir.



Şekil 36. ASTM D 1646 Mooney viskozitemetre'nin şematik gösterimi [41]

Kalıpların birbirine kapatılması için gereken kuvvet $11,5 \pm 0,5$ kN olacak şekilde kapanması gerekmektedir. Eğer bu tutucuların tam olarak bu yükün altında kalması sonuçların hatalı olmasına sebep olmaktadır. Rotorlar ise büyük ve küçük olarak iki farklı tip olmalıdır. Rotor sert çelikten imal edilmeli ve aşındığı durumlarda hatalı sonuç vereceğinden dolayı değişimi gerçekleştirilmelidir. Rotorların dönme hızları aksi belirtilmediği sürece 0.21 rad/s devrinde döndürülmelidir [42].



Şekil 37. Mooney test düzeneği şematik gösterimi [43]

White ve Tokita yaptıkları araştırmada Şekil 37. 'de mooney test cihazının şematik gösterimi ile kauçuğun en önemli analitik araştırma ve proses kontrol cihazlarından biri olduğunu dile getirmiştir. Kesme gerilmesinin ve malzeme kesme hızının hesaplanması için bir yöntem geliştirmişlerdir. Non – lineer malzeme olan

kauçuğun viskoelastik yapısını normal stres altında deneysel ve matematiksel modellemesini yapmışlardır [43].

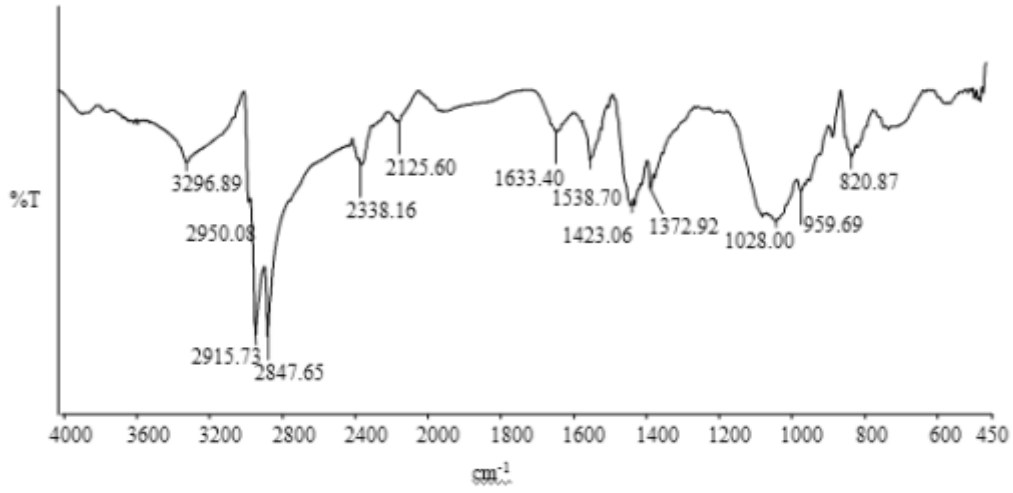
Choi ve arkadaşları karbon siyahı ve silika dolgu maddesi ile farklı phr biriminde reolojik davranışlarını ölçmüşler ve farklı oranlarda farklı davranış sergilediklerini gözlemlemişlerdir. Karbon siyahı/silika 60/20, 40/40, 20/60 phr gibi oranlarda yapmış oldukları karışımlarda 60/20 oranında normal davranış 40/40 ve 20/60 oranlarında ise viskozitenin aniden değiştiğini gözlemlemişlerdir. Silika bu nedenle güçlü bir dolgu maddesi olduğunu belirlemişlerdir [44].

Montes, ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada kauçuk bileşiğinde bulunan karbon siyahı hammaddesinin çeşitli kesme akışı durumlarını incelemişlerdir. Özellikle stres gevşemesi, sabit durum kesme akışı ve gerilme gevşemesi, sıralı kesme akışı gibi özelliklerin üzerinde durmuşlardır. Sonuç olarak düşük karbon siyahı konsantrasyonlarında reolojik özellikler elastomerlerin viskozitesini etkilediğini görmüşlerdir. Hacimce% 20'ye kadar olan karbon siyahı konsantrasyonları için, bileşikler, karbon siyahı konsantrasyonu ve azalan parçacık büyüklüğü ile artan verim değerleri sergiler. Kauçuk karbon siyahı bileşikleri, programlanmış adım kesme geçmişleri ve depolama deneylerinde reolojik özellik büyümesinde histerezis halkaları sergilediğini bulmuşlardır [45].

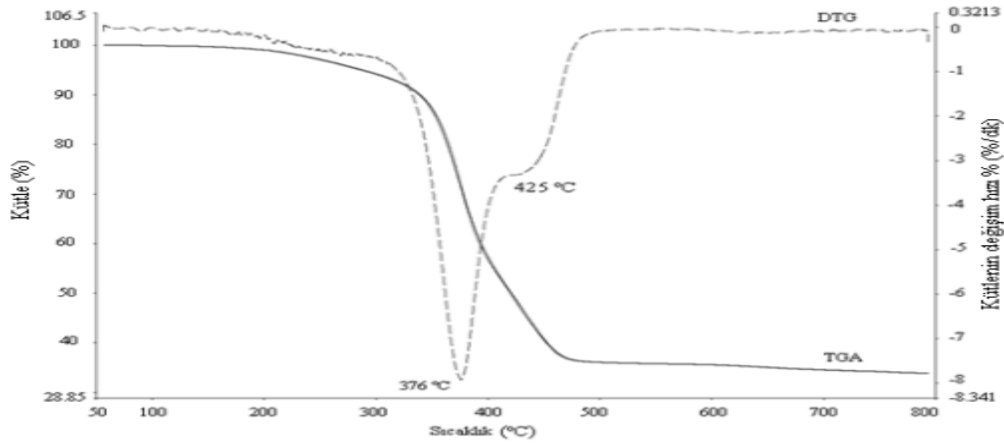
3.3. Termal Karakterizasyon Testleri

Kauçuk gibi polimerik malzemelerin, karakterizasyonu belirlemek için hızlı ve etkili yöntemlerinden biri olarak dikkat çekmektedir. Termal karakteristik yöntemleri kullanılarak nem, uçucu madde termal kompozisyon, erime sıcaklığı, camsı geçiş gibi birçok özelliği çözümlenmektedir.

Termal karakterizasyon testlerinden en önemlilerden biri olan Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (FT-IR)'dir. Bu metod ile kauçuğun, moleküllerdeki kimyasal bağların titreme, eğilme, bükülme, sallanma vb. tüm hareketleri için gerekli olan enerji infrared ışınların elektro manyetik enerjisinden absorplanır. Bu absorpsiyonlar sonucu elde edilen IR spektrumları, molekül içindeki fonksiyonel grupları gösterir. Burada ölçülen absorbanlar pikler ile ifade edilir. IR spektrumları, piklerin bulunduğu yere, yapılarına ve şekillerine göre incelenerek numunelerde malzeme cinsi tayin edilir. Pik boyu ve pik alanı ölçülerek standartlar ile karşılaştırmak suretiyle miktar tayini de yapılabilir. Bu test için ASTM D 3677 standartları kullanılmaktadır [46].



Şekil 38. Atık lastiğin FTIR spektrumu [46]

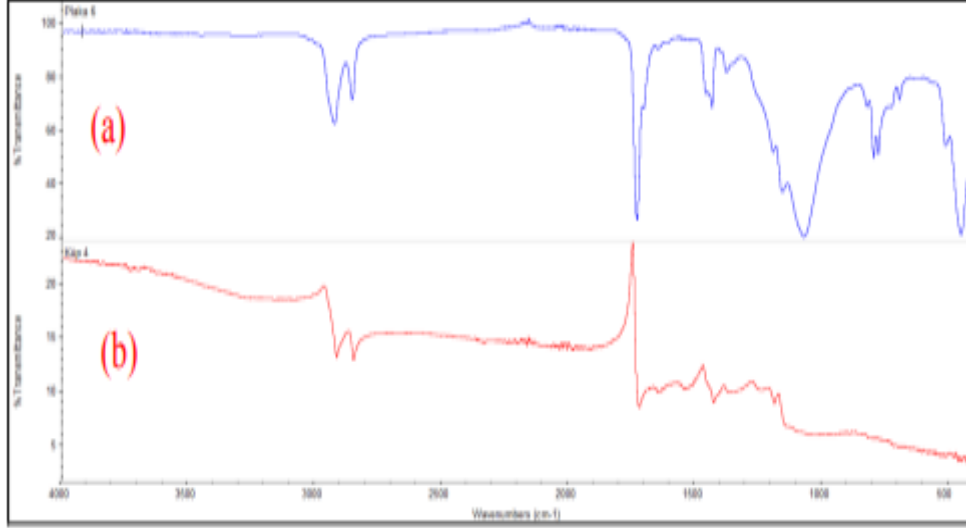


Şekil 39. Atık lastiğin TGA ve DTG analizi [46]

Fazliye Karabörk, Ahmet Akdemir tarafından atık lastik(vulkanize olmuş) kauçuğun tekrar kullanılmasına ilişkin çalışmada doğal kauçuğun içerisine katılabilecek karbon siyahı oranı için fonksiyonel grupların belirlenmesi amacıyla kullanmışlardır. Aynı çalışmada TGA analizi de incelenmiş ve Şekil 39. 'da olduğu gibi gösterilmiştir. Analiz sonucu olarak NR ve SBR kauçuk karışımlarının içerdiği ve yüksek phr aralığında karbon siyahı olduğunu ortaya koymuştur [46].

Termogravimetrik analiz ile numune kütlesindeki farklılıklara göre sıcaklık veya zaman fonksiyonlarına göre elde edilir. Numune karışım içerisindeki bileşim oranlarını termal davranışları gibi karakteristik özellikleri bulmak amacıyla termal bir ayrışma ile ölçüm yapılabilmektedir. ASTM D 1131 standartlarına göre yapılan analizde, malzeme tanımı yapılması için uygun bir yöntemdir. TGA eğrilerinin birinci türevi diferansiyel termogramivetrik analiz (DTG) olarak tanımlanır.

Yasin Altın ve arkadaşlarının, 3. Ulusal Kauçuk Kongresinde yapmış oldukları çalışmada kauçukların karakterizasyonunda termal yöntemler hakkında bilgi vermişlerdir. Çalışmalarında akrilik kauçuğa karbon siyahının katılması ile piklerin analizde doğru sonuç vermediğini Şekil 40. 'da olduğu gibi incelemişlerdir [47].



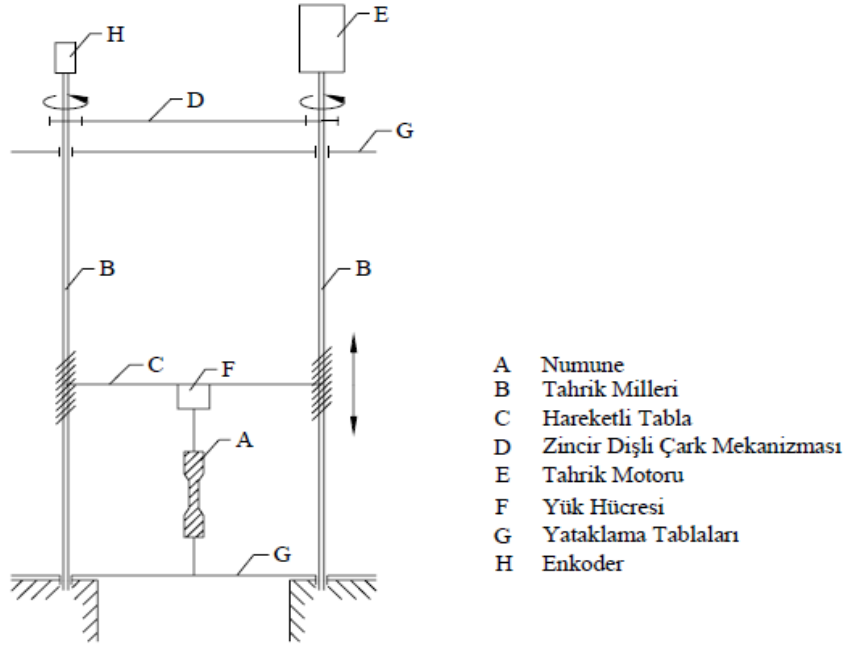
Şekil 40. a) Karbon siyahı katılmamış (b) katılmış kauçuk numunelerin FTIR spektrumları

Kauçuk gibi malzemelerin camsı geçiş sıcaklığını (T_g), erime sıcaklığı (T_m), kristalleşme oranı, kütleme sıcaklığı ve oranı gibi ısıl geçişler için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) kullanılmaktadır. Kristal yapıların erimesi, uçucuların kaybı, gerilim sönümlenmesi endotermik olaylarken; kristalin oluşumu, çapraz bağların oluşumu-kütleme ve bozunma ekzotermik olaydır. Amorf yapıdaki zayıf bağların koparak malzemenin yumuşamaya başladığı sıcaklık olan camsı geçiş sıcaklığında pik oluşmadan sadece ısı kapasitesinde düşme olur. DSC analizinde amorf yapıda olan kauçuklar için camsı geçiş sıcaklığı önemlilik göstermektedir. Kauçuk malzemelerde normal taramalı DSC metodu ile camsı geçiş sıcaklığı tespitinde güçlük çekilmekte ve sağlıklı veri alınamamaktadır. Bu nedenle step scan veya modülate tarama modu ile analizin yapılması gerekmekte ve bu modüllerde soğutucu bir fanın olması gerekmektedir [48 – 50].

3.4. Tek Eksenli Çekme – Basma ve Kayma Testleri

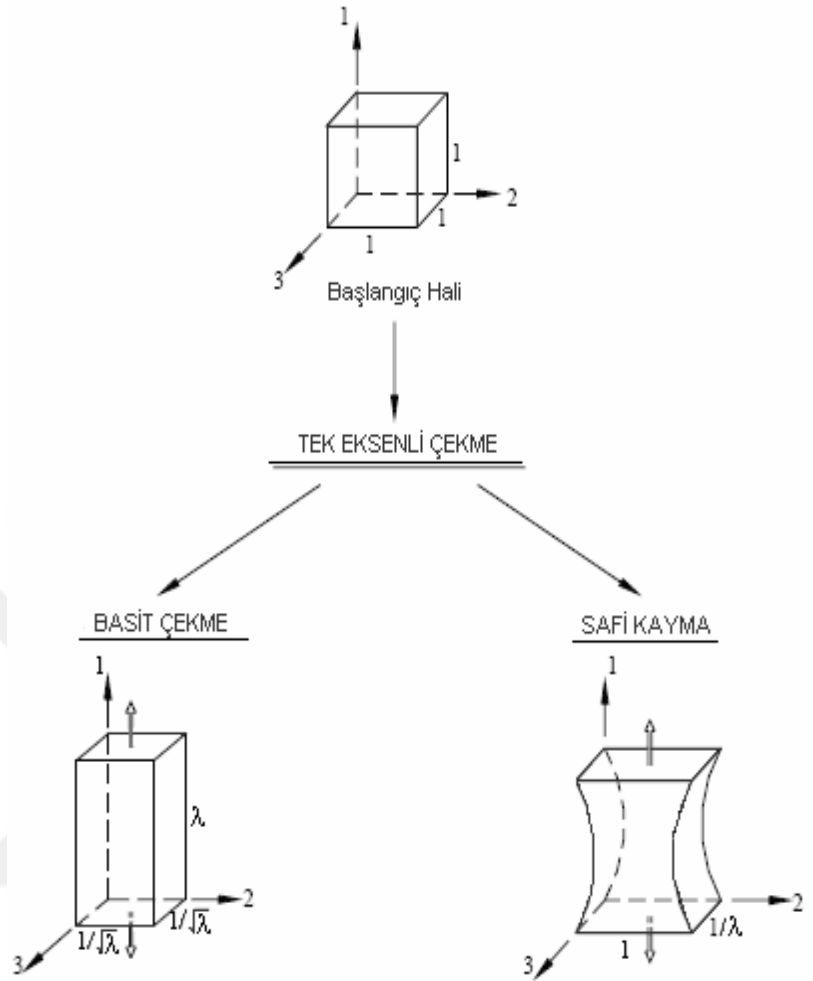
Metal ve kauçuk mekaniği üzerine yapılan çalışmalarda araştırmacılar, matematiksel bir model oluşturmak ve bu deneysel model üzerinden analiz ile doğrulama yollarına gitmişlerdir. Metallerin, elastik bölgede hem çekme hem de basma davranışları aynı özellikleri göstermektedir. Bu durumdan dolayı Hooke kanunları ile ifade edilebilir. Poisson oranı ve elastite modülü gibi özellikler rahatça bulunabilmektedir. Fakat aynı ifadeler kauçuk gibi elastik malzemeler için aynı şekilde söylemek doğru değildir.

Kauçuk numunesi homojen dağılım sağlayacak bir kuvvet tarafından deformasyona maruz kalması ölçümlerin daha kolay yapılması amaçlanmıştır. Böylece numuneye uygulanan kuvvetlerin tüm noktalarında aynı deformasyona uğraması ve aynı miktarda uzaması sebep olacağından daha basit bir yöntem olduğu bulunmuştur [51].



Şekil 41. Basit tek eksenli çekme deneyi genel prensibi [6]

Kauçuk türü malzemeler için çekme, basma ve kayma testleri homojen bir yük altında yapılmıştır. Çekme deneyleri ise tek eksenli ve birden fazla eksenli olarak iki tip çekme testi yöntemi bulunmaktadır. En yaygın yöntem ise tek eksenli çekme testidir. Kauçuk, çekme ve basma bölgelerinde farklı davranış göstermesinden dolayı sadece mekanik özellikleri belirlemede yetersiz kalmaktadır. Basma bölgesinde farklılık tek eksenli basma deneyleri ile belirlenmesi gerekirken yüzeylerdeki sürtünmeden dolayı iki eksenli çekme testlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu konuda bilgi birikiminin oluşması sebebiyle ASTM D 412, DIN 53 504 ve ISO 37 gibi standartlar ortaya çıkmıştır [52 – 54].



Şekil 42. Tek eksenli basit çekme deney deformasyonları [55]

Bu standartlar içerisinde anlatılan basit çekme deneyinde, sadece bir doğrultuda kuvvet uygulanmakta ve uygulanan doğrultuda uzama olurken (1) diğer iki doğrultuda daralma (2 – 3) olmaktadır. Tek eksenli basit bir çekme deneyinde tek eksenlen bir kuvvet uygulandığından Eşitlik 3.4.1. ' deki gibi bir Eşitlik ortaya çıkar.

$$\sigma_1 = \sigma \quad \sigma_2 = 0 ; \sigma_3 = 0 \quad (3.4.1)$$

Tek eksenlen çekme olduğundan iki eksenlen daralma olacağı düşünülürse Eşitlik (3.4.2.) 'deki Eşitlik elde edilir.

$$\lambda_1 = \lambda \quad \lambda_2 = \lambda_3 = 1/\sqrt{\lambda} \quad (3.4.2)$$

Kauçuk türü malzemelerin mekanik özellikleri malzemeye uygulanan şekil değiştirme hızıyla değiştirmektedir. Uygulamadaki deformasyon proseslerinde kauçuk türü malzemeler konvansiyonel test cihazlarında test edilen şekil değiştirme hızlarından daha yüksek hızlarda deforme edilmektedir. Bu sebeple konvansiyonel test cihazlarından elde

edilen mekanik özellikler yüksek şekil değiştirme hızları için kullanılamaz. Malzemenin deformasyonundaki şekil değiştirme hızı bilinmeli bu hızda malzemenin mekanik özellikleri belirlenmelidir. Özellikle bu durum malzemenin davranışını matematiksel olarak modelleyebilmek için önem arz etmektedir Şekil değiştirme hızı ($\dot{\epsilon}$); birim zamandaki (t) şekil değişiminin (ϵ) değişimi olarak tanımlanabilir ve birimi s^{-1} dir.

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} \quad (3.4.3)$$

Buradaki şekil değişimi mühendislik veya gerçek şekil değişimi olarak tanımlanabilir. Sabit şekil değişim hızındaki deneylerde ise, şekil değiştirme hızı; toplam şekil değişiminin toplam deney süresine oranı olarak da ifade edilebilir. Eğer, ϵ mühendislik şekil değiştirmesi ise, şekil değiştirme hızı için,

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{L_0} \frac{dL}{dt} = \frac{V}{L_0} \quad (3.4.4)$$

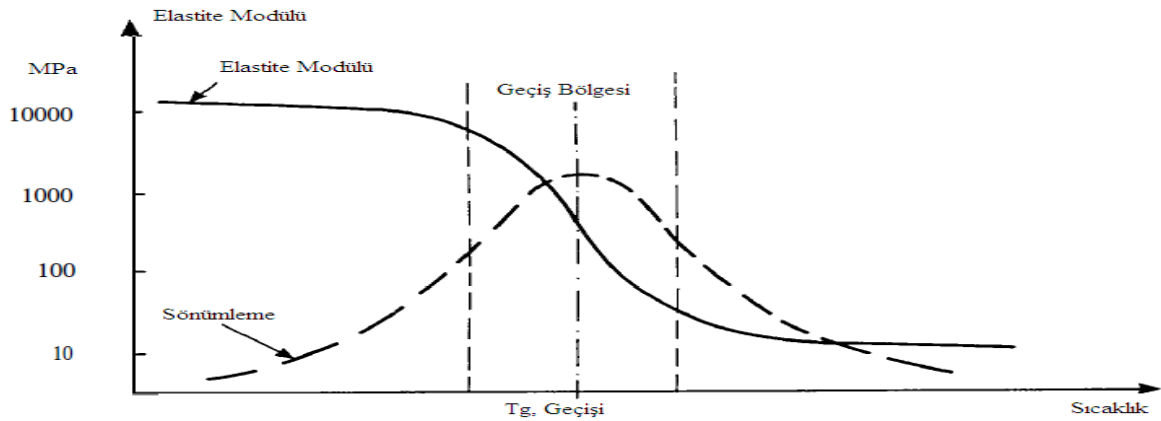
tanımlaması yapılabilir. Burada, malzemenin deforme olmuş boyu, malzemenin deforme olmamış boyu ve ise malzemenin deforme edildiği hızdır. Eş. 3.4.4.'te tanımlandığı üzere sabit deformasyon hızlı deney makinelerinde, sabit şekil değiştirme hızlarında deneyler gerçekleştirilir [56].

Seher Erkek ve Oktay Erbatur tarafından yapılmış olan çalışmada karbon siyahı ve dolgu maddesinin yağ oranlarına göre farklı vulkanizasyon sistemlerinde EPDM kauçuğun fiziko – mekaniksel özelliklerine etkisini incelemiştir. Mamül aşamasında yapılan yaşlandırma ile kauçuğun mekaniksel özelliklerinin geliştiği görülmüştür. Bu özellikler kalıcı deformasyon, kopma mukavemeti, kopma uzaması gibi özelliklerdir. Karbon siyahının en olumlu etkisinin gösterdiği numune ise EPDM karışımının kükürt ile vulkanize olanı olarak sonuçlanmıştır [57].

Brieu ve arkadaşları, kauçuk, anizotropik ve ortotropik gibi kompozit malzemelerin hiperelastik davranışlarını anlamak için gerekli olan eşdeğerlik gerginliğini sağlamak amacıyla tek eksenli çekme test cihazına iki ana eksenli çekme mekanizması geliştirmişlerdir. Hali hazırda var olan iki eksenli cihazların eksiklikleri tartışılmakta ve büyük deformasyon için önerilen iki eksenli gerilim mekanizması ile karşılaştırılmaktadır. Yeni mekanizma, hem uzatılmış yönlerde, hem de eş eksenli gerilime ve ayrıca farklı deformasyonlara sahip çift eksenli gerginlik testine izin verir. Son olarak, gerilim enerji yoğunlukları deneysel verilerin yardımıyla doğrulanmıştır. Bazı gerilim enerji yoğunluğu parametreleri tek eksenli ve daha sonra bir eş eksenli uzatma testinde hesaplanır ve daha sonra yeni mekanizmanın avantajını haklı çıkarmak için karşılaştırılır [58].

Bergström ve Boyce, kauçuğun histeriz bir yapıda mekanik özellikleri olduğunu bildiğinden dolayı, farklı zamana bağlı olarak gerilme geçmişine tabi tutulan CR elastomerinin deneysel araştırmasını yapmışlardır. Tek eksenli bir sıkıştırma yaparak deneysel verileri kurucu bir model oluşturmuşlar ve davranışların öngörülmesini sağlamışlardır [59].

Göran Spetz yapmış olduğu çalışmada, elastomerlerin düşük sıcaklıklarda göstermiş olduğu mekanik özellikler üzerinde durmuştur. Özellikle İskandinav ülkelerinde bulunan otomotiv endüstrisinin özellikleri dahil edilerek üreticilere bazı fikirler vermişlerdir.



Şekil 43. Tipik bir elastomerin sıcaklığa bağlı dinamik karakteristiği[60]

Şekil 43. 'de ise Spetz, elastomerin sıcaklığa göre dinamik karakterizasyonunu tanımlamıştır. Kauçuğun geçiş bölgesinde sönümlenme ve elastite modülü değişkenlik gösterdiğini dile getirmiştir [60].

Seda Çavdar yapmış olduğu çalışmada, EPDM kauçuğa farklı phr oranlarında karbon karası eklemiştir. Yeni oluşan karışımların reolojik ve mekanik özelliklerinin değişkenlik gösterdiğini gözlemlemiştir. Özellikle 5 phr çapraz bağ kullanılan formül tek eksenli çekme testi yapılmış olup; kopma mukavemetini, sıkışma miktarını ve sönümlenme miktarının optimum olduğunu deneysel verilerle gözlemiştir [61].

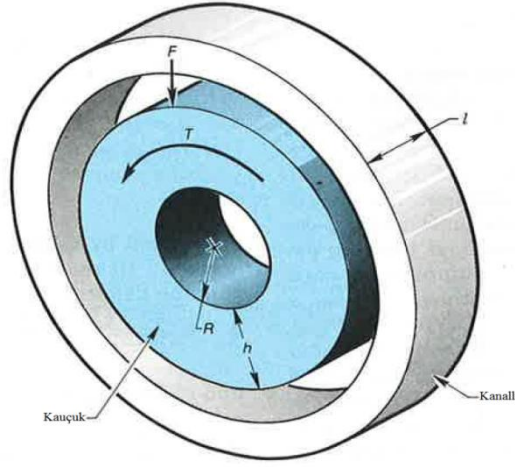
3.5. Burulma Katılığı (Torsiyonel Stiffness)

Kauçuk gibi elastomer malzemeler, metal bir yay ve viskoz bir sıvı gibi benzer karakteristik özelliklere sahiptir. Bu viskoelastik davranış deformasyon ve enerji emici olarak tanımlanmaktadır. Esneklik Hooke yasasında olduğu gibi gerilme arttıkça artar, viskozite ise Newton yasasına göre sıcaklığa bağlı olarak artacağı bilinmektedir. Kauçuk

aslında, geniş bir spektruma sahip yay sabitleri ve viskozitelere sahip modellerin sonsuz bir sayısından oluşmaktadır.

Krank kasnakları burulmaya karşı göstermiş olduğu direnç ise torsiyonel bir davranıştır. Krank kasnaklarında bulunan kauçuk yapı burulma katılığı (k_t) değeri ile bulunmaktadır. Burulma katılığı, önemli parametre olarak karşımıza çıkmasının sebebi ise krank kasnağının doğal frekansını etkilemesinden dolayıdır. Ayrıca krank kasnağının burulma katılığı ise kauçuğun sertliği ($Sh -A$) ile ilişkilendirilmesi de kavram kargaşasına yol açmaktadır.

Araştırmacılar genelde kauçuk ve metalden oluşmuş ürünlerin aksel kuvvetlerin etkisini incelemişlerdir. Fakat krank kasnağının ömrünü ve doğal frekansını belirlenmesi için burulma katılığı önemli bir etken olarak ortaya çıkar. Kolay bir mühendis matematiği ile aksel yüklerden burulma katılığını çıkarmak mümkün olmaktadır. Şekil 44. 'te kanallı ve kauçuktan oluşmuş bir krank kasnağının kayıştan gelen yük (F) ve krank milinden gelen burulma (T) olduğu düşünülürse;



Şekil 44. Burulma katılığı modeli

$$G = E/2(1 + \vartheta) \quad (3.5.1)$$

$$k_r = \pi Rl/h(E + G) \quad (3.5.2)$$

$$k_t = T \cdot \theta \quad (3.5.3)$$

$$k_t = \pi R^3 l E / h(1 + \vartheta) \quad (3.5.4)$$

$$k_t = \frac{2R^2 k_r}{3+2\vartheta} \quad (3.5.5)$$

$$k_t = 0,5R^2 k_r \quad (3.2.6)$$

Katılık modülü (G), Eş. (3.5.1) 'de verildiği üzere elastite modülü (E) ve poisson oranına (ν) bağlı bir değişkendir. Eksenlerden gelen yük (F) ve radyal yer değiştirme miktarına bağlı olarak radyal rijitlik (k_r) olarak Eş. (3.5.2) ortaya çıkmaktadır. Burulma katılığı ise Eş. (3.5.3) 'te tork (T) ve radyan cinsinden açısal değişim (θ) olarak formüle edilmiştir. Burulma yay oranı Eş. (3.5.4) 'te verilmiş ve Eş. (3.5.5) 'te ise eksenel bir katılığın burulma katılığına oranı verilmiştir. Kauçuk malzemeler için poisson oranı genelde 0,5 alındığından dolayı Eş. (3.5.5) yeniden düzenlenmiş ve ortaya Eşitlik (3.5.6) çıkmıştır.

Shangguan ve arkadaşları krank kasnaklarının doğal frekansını tahmin etmek amacıyla kasnakların burulma katılığını bulmaya çalışmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, statik ve dinamik karakteristik özellikler deneysel yöntemler ile bulunmuştur. TVD 'nin doğal frekansını tahmin etmek amacıyla Kelvin – Voight, Maxwell ve fraksiyonel türev modellerini kullanmışlardır. Bu metodolojilerin arasındaki farklar deneysel veriler ile kıyaslanmış ve TVD 'nin doğal frekansının doğru tahminini elde etmek için etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermişlerdir [62].

Mendes, krank milini sonlu elemanlar programından katı modelini alarak tüm bölümlerinin burulma katılığını, parçanın bir tarafından sabit bir tork uyguladığını ve diğer bir bölgeden ise sabit tuttuğunda büküm açısını elde etmiştir. Tork ile hesaplanan büküm açısı arasındaki ilişki, eşdeğer modelinde düşündüğü burulma katılığı olarak belirlemiştir. Bu durumdan dolayı krank miline göre krank kasnağı tasarımı yapar iken parametrelerden biri olarak burulma katılığının önemini vurgulamıştır [3].

3.6. Krank Kasnağı Ömür Testi ve Hızlandırılmış Ömür Testi Prosedürü

Krank kasnakları, ömür (fatigue) analizleri belirli bir prosedürü bulunmamaktadır. Fakat üretici firmalar kendilerinin oluşturmuş oldukları teknik bilgiler doğrultusunda bir prosedür oluşturmuşlardır. Böyle bir standartın olmamasıyla yedek parça üreticileri tarafından bilinmemektedir. Ayrıca ülkemizde krank kasnağı tasarımı tersine mühendislikten teriminden çıkarılıp tasarımcı sıfatını kullanması gerekmektedir. bu durumdan dolayı bu konuda ar-ge çalışmaları yapılmalı ve katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesi gerekmektedir.

Birçok araştırmacı bu konuda tasarım parametrelerini verseler dahi, ürünün ömrü ve ömür testlerini deneysel verileri ile ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Krank kasnağının temel görevi krank milinden gelen burulma ve titreşimleri absorbe etmek, ayrıca kranktan

aldığı hareket ile kayış yardımıyla diğer motor aksamlarına iletmektir. Bu temel görevler dikkate alındığında iki farklı test yapılması gerekmektedir. Bu testler literatürde rezonans dayanım ve radyal dayanım testleri olarak adlandırılmaktadır. Hızlandırılmış ömür testlerinde ise krank kasnağı aynı test düzenekleri üzerinde, anma hızları ve osilasyon genlikleri artırılarak gerekli çevrimden daha az bir çevrim sayısı ile yapılır. Normal prosedür ve hızlandırılmış prosedür arasında bir kolerasyon kurularak ilişkilendirilebilir.

Rezonans Dayanım Test Prosedürü:

1. Krank kasnağı, sıcaklığı ve doğal frekansı ölçülür.
2. Krank miline bağlanacak şekilde merkezden bağlantısı gerçekleştirir.
3. 80 °C – 120 °C arasında belirli bir sıcaklığı getirilir.
4. Osilasyon genliği $\pm 0,1^\circ$ ya da $\pm 0,2^\circ$ olacak şekilde ön yük olmadan ölçülen doğal frekansa ayarlanır.
5. Krank kasnağı bu şartlarda 10 milyon ya da 20 milyon çevrim olacak şekilde test edilir.
6. Çevrimin bitmesiyle ilk ölçülen sıcaklığa getirilir ve doğal frekans tekrar ölçülür.

Bu test şartları sağlandıktan sonra kasnak önce göz kontrolü ile kauçuk kısmında çatlama, kopma gibi bir deformasyon olup olmadığına bakılır. Daha sonra kasnağın ilk ve son ölçülen doğal frekans toleransı $\pm\%5$ olması gerekir.

Radyal Dayanım Test Prosedürü:

1. Rezonans dayanım testinde olduğu gibi sıcaklık ve doğal frekans ölçülür.
2. Radyal dayanım testinde kayış yükü 500 – 1500 N arasında bir yük ayrıca anma hızı 2000 – 4000 rpm olması gerekmektedir. Bu devir şartları altında $\pm 0,1^\circ$ ya da $\pm 0,2^\circ$ osilasyon genliği olması gerekir.
3. İlk ölçülen doğal frekans aralığında bir frekans verilerek 10 milyon çevrim yapılarak test bitirilmesi sağlanır. (1 çevrim = 1 genlik)
4. İlk ölçülen sıcaklığa getirilerek son kez kasnağın doğal frekansı ölçülür.

Bu test şartları sağlandıktan sonra kasnak önce göz kontrolü ile kauçuk kısmında çatlama, kopma gibi bir deformasyon olup olmadığına bakılır. Daha sonra kasnağın ilk ve son ölçülen doğal frekans toleransı $\pm\%5$ olması gerekir.

3.7. Doğal Frekans (Natural Frequency) Testleri

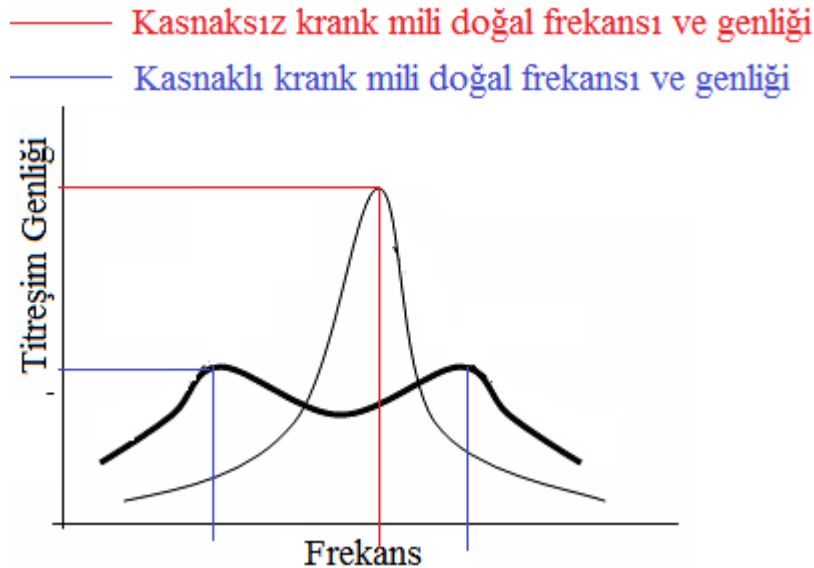
Krank kasağının temel görevlerinden biri krank milinden doğan burulma genliklerini rezonansa girmesini engellemek olarak bilinmektedir. Patlama anında oluşan burulmalar motor ve araç konforu için istenmeyen bir durumdur. Bu durumdan dolayı motor üreticileri krank kasağı ile bu burulma titreşimlerinin en aza indirilmesini istemektedir. Krank milinde oluşan bu titreşimleri engellemek amacıyla TVD kasnaklar üretilmiş ve birçok araştırmacı bu konuda araştırmalarda bulunmuştur.

$$w_{dr_{KM}} = \sqrt{\frac{k_{t_{KM}}}{J_{KM}}} \quad (3.7.1)$$

$$w_{n_{KK}} = \sqrt{\frac{k_{t_{KK}}}{J_{KK}}} \quad (3.7.2)$$

$$w_{dr_{KM}} = w_{n_{KK}} \quad (3.7.3)$$

Krank milinin zorlama frekansı olarak adlandırılan rezonans frekansı (w_{dr}) ile krank kasağının doğal frekansının (w_n) birbiri üzerine gelmesi istenir. Bu durumda krank milinin zorlama frekansı ile krank kasağının doğal frekansı birbirine eşit olur. Bu durumda Şekil 45. 'de olduğu gibi krank milinin titreşim genliğinde düşme meydana gelir ve krank mili rezonansa girmeden hasar oluşumunu önler.



Şekil 45. Kasnaklı/Kasnaksız doğal frekans ve genlik

Krank kasnakları doğal frekans ve genlik ölçümleri modal analiz yöntemi ile bulunmaktadır. Bu yöntemlerden çekiç (hammer) ve modal sarsıcı (sheaker) en yaygın kullanılan iki yöntem olarak literatüre geçmiştir.

ISUZU Motors araştırmacıları olan Takahiro Yamauchi, Yukimi Yamazaki ve Jouji Kimura çalışmalarında bir altı silindirli bir dizel motorda bulunan krank mili burulma titreşimleri ile on silindirli V tipi dizel motor titreşim sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada ilk olarak krank milinin burulma atımları sınır eleman yöntemi ile modellenmiş ve dinamik katılık ise matris yöntemi ile sönümleyici olmadan doğal frekansı hesaplanmıştır. Daha sonra TVD ve viskoz sönümleyici kullanılarak doğal frekanslar aynı yöntemler ile hesaplanmıştır. Deney sonunda burulma genlikleri ve rezonans motor devirleri deney verileri ile kıyaslanmıştır [63].

Mevcut teori olarak bilinen kauçuğun histerik sönümlemesi ile motorun giriş enerjisini dağıtması ve sistemin rezonansa girmeden hızlanması olarak bilinmektedir. Bunun nedeni krank mili tasarımında 1. Doğal frekansının rölanti devir altında bırakılmasıdır. Bu konu da Sweeney, dizel motorun ilk çalışma anında göstermiş olduğu burulma rezonansını analiz etmiştir. Kendisinin atmış olduğu teoriye göre elastomer kısmın rezonans sırasında ısınması ve açık bir şekilde enerji ortaya çıkmasına sebep vermektedir. Bu durumda enerji rezonans durağının sebebi olarak gösterilemez. Krank kasnağının rezonans hali dikkate alındığında bu genliği düşürecek bazı teoriler aşağıda verilmiştir.

1. Başlatma sırasında yanma miktarını düşürün.
2. Enerji kaybını ve motor torkunu azaltın.
3. Sistemin doğal frekansını motorun belirli bir torkuna kadar artırın.
4. Motor volanının ataletini artırın, böylece rezonans sırasında hız değişimleri azalır.
5. Kauçuk veya viskoz ile sönümleyici artırın, böylece rezonans sırasında hız değişimleri azalır.
6. Marş esnasında düşük rölantiye geçiş sırasında yakıt algoritmasını ayarlayın.

Bu teoriler ile Sweeney, krank milinin rezonansa girerek hem kranka hem de kasnağa yorulmaması için çözümler ortaya koymuştur.[64]

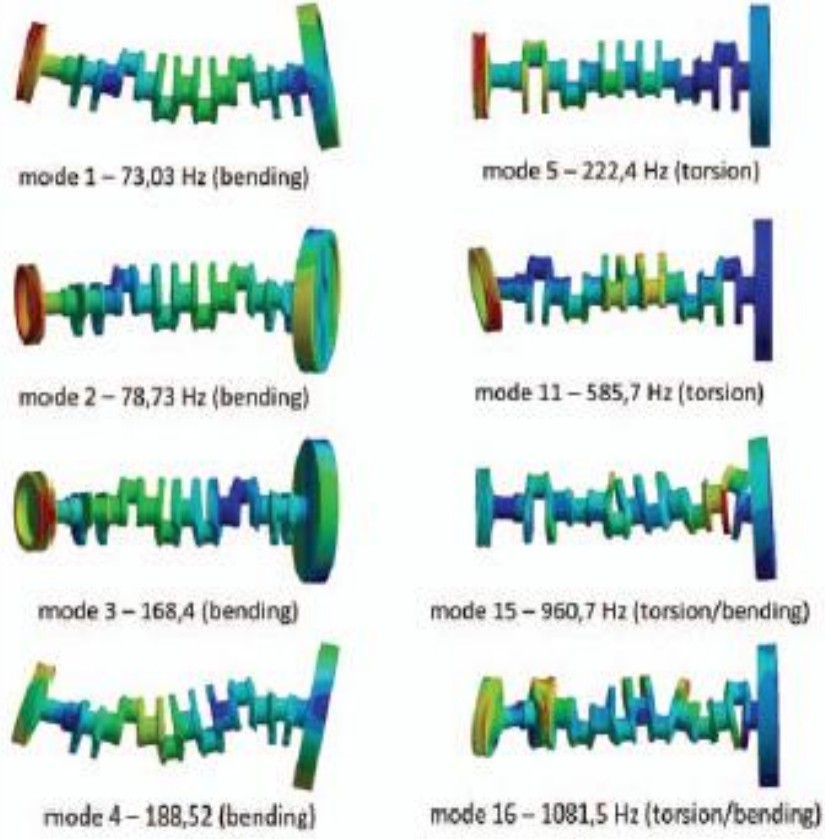
Motor krank millerinde birden çok mod şekilleri (mode sheap) bulunmaktadır. Tek modlu kauçuk sönümleyicilerin titreşim sönümlemeleri sınırlı olmaktadır. Bu durumdan dolayı araştırmacılar multi – mode (çok modlu) kauçuk sönümleyici krank

kasnakları tasarımı hakkında araştırma yapmışlardır. Tek modlu kauçuk sönümleyicilerde tek doğal frekans bulunurken, multi – mode sönümleyicilerde ise birden fazla doğal frekans bulunmaktadır. Krank kasnakları optimizasyon prosedürü kütle, frekans ve sönüm oranına göre tasarlanmaktadır [4].

TVD'yi (Burulma titreşim damperi) tasarlarken sıcaklığı ve titreşim torqlarını kontrol etmek kritik bir noktadır. Bu özelliklerin önemi kauçuğun histerik eğrisinin sıcaklık ve tork ile değişkenlik gösterdiğidir. Burulma damperi seçimi, flanş ataleti, göbek ataleti, kauçuk sertliği ve sönümlemesi, krank milinin TVD ‘süz doğal frekansları ve burulma titreşim genlikleri üzerindeki çalışma hızları, yer değiştirme açıları, ısı yayılımları gibi etkenler de bu göstergelerden biri olarak gösterilebilir [65].

Birçok araştırmacı, doğal frekans ve titreşim ölçümleri için test yöntemleri geliştirmiştir. Modern otomotiv sektöründe, doğal frekans ölçümleri modal test yöntemlerine göre yapılmaktadır. Krank kasnakları için ise torsiyonel (burulma) frekansı olarak bulunmaktadır. Dönen bileşen üzerindeki modal bir test, aynı yönde her iki atalet kütesine sabit teğetsel bir şekilde ivmeölçerlerin montaj edilmesi ile tahrik yoluyla gerçekleşir. Ve burada oluşan bir frekans fonksiyonları (FRF) oluşur. Bu FRF ‘ler fiziksel özelliklerin bulunması içinde bir kuram oluşturur [66].

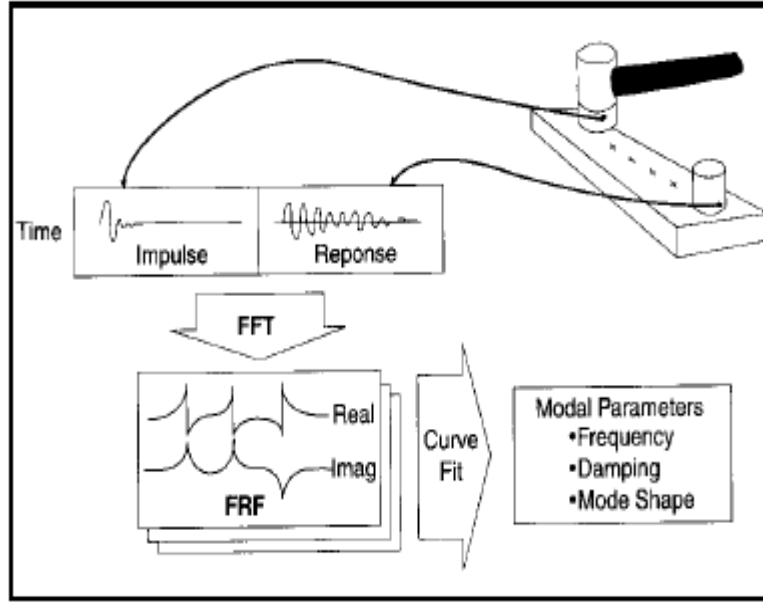
FRF’lerin ortaya çıkmasıyla birbirini tekrarlayan periyotların deformasyon şekillerinin gösterilmesi, modal shapes (mod şekilleri) anlamına gelir. Şekil 46. ‘da altı silindirli bir krank milinin (kasnak ve volan dahil) mod şekilleri görülmektedir.



Şekil 46. Tipik bir krank milinin mod şekilleri [67]

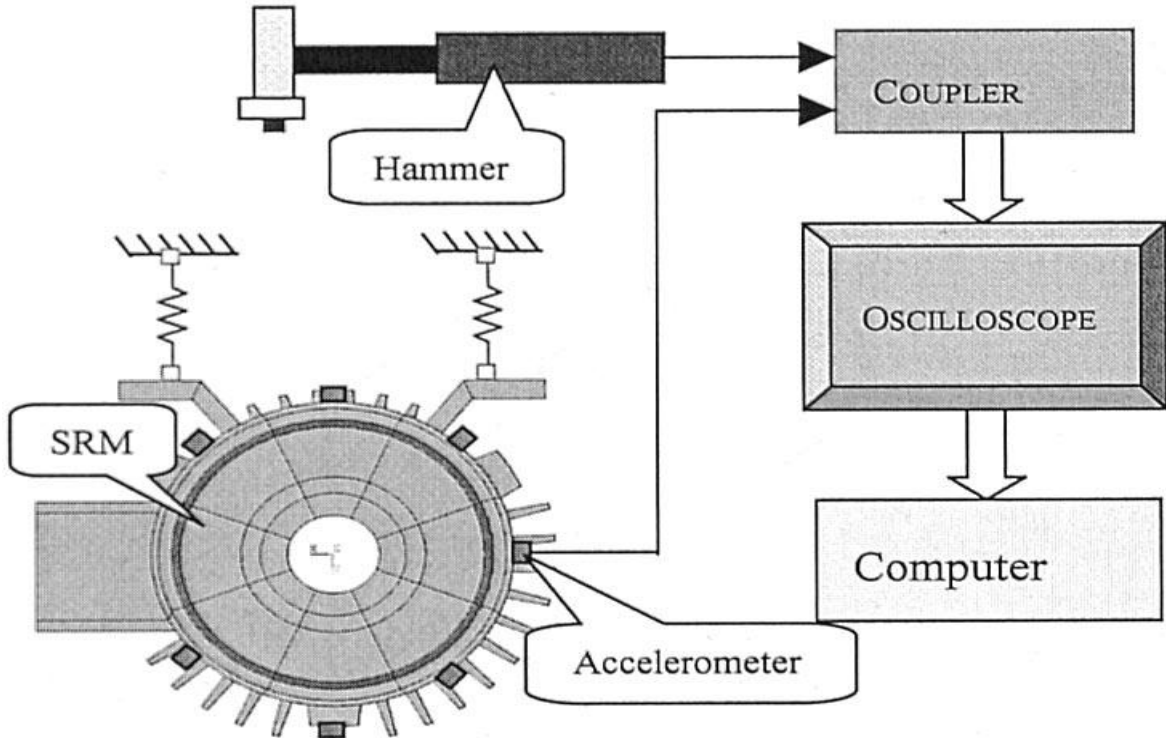
Yanma zamanına göre belirlenen genellikle mod şekilleri mode 1.5, mode 2, mode 3, mode 4.5, mode 6 ... gibi sıralanmaktadır. 6 silindirli bir motorun en fazla deforme olduğu başlangıç modu 2. Mode olarak görülmektedir. Daha sonra 4, 11, 15, 16 olarak devam etmektedir [67]. Otomotiv motorları ne kadar düşük devirde ateşleme yaparsa yanma zamanı da o kadar geç olur ve krank mili yavaşlamasına sebep olur. Devrin düşmesi titreşimin artmasına sebebiyet verir [68].

Doğal frekans ölçümleri genelde ucuz ve kolay olmasından dolayı çekiç yöntemi ile ölçülmektedir. Fakat bu yöntemin, kişiye bağlı olmasından dolayı tekrarlanmasında güçlük çekilmektedir.



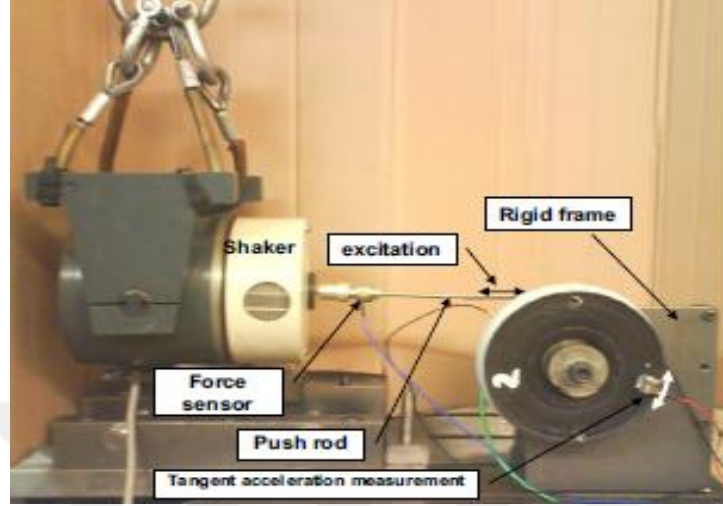
Şekil 47. Çekiç (hammer) ile Modal Test Yöntemi [69]

Çekiç ile modal test düzeneğinde yapılan testte kuvvetin titreşim frekansları dağılımı bulunur. Bu dağılımlar ile doğal frekans, sönümlenme ve moda şekilleri belirlenebilir.[69]



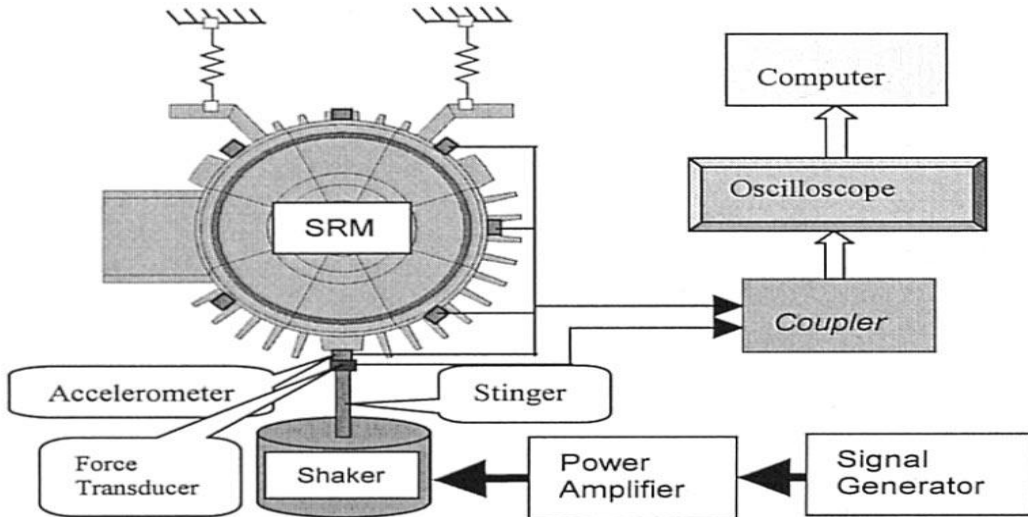
Şekil 48. Çekiç (hammer) ile Modal Test Düzeneği [71]

Manin ve arkadaşları krank kasnaklarının karakterizasyonu için doğal frekans ölçümünü çekiç (hammer) ile yapmayıp, Şekil 49. 'da olduğu gibi modal sarsıcı sheaker ile yapmıştır.



Şekil 49. Modal sarsıcı ile Modal Test Yöntemi [70]

Manin ve arkadaşları krank kasnağına göbekten bir vida yardımıyla destek ünitesine (rigid frame) bağlamıştır. Kasnak üzerine ise ivmeölçer bağlayarak FRF 'leri ölçmüşlerdir. Modal sarsıcı (shaker) ile kuvvet sensörü bağlanmış ve giriş input ölçülmüştür. 200 ila 400 Hz. Aralığında bir frekans ile çalışarak farklı sıcaklıklarda testleri deseynel metot ile yapmışlardır. Kauçuğun farklı frekanslarda ve farklı sıcaklıklarda ne gibi etkileri olduğunu gözlemlemişlerdir [70].

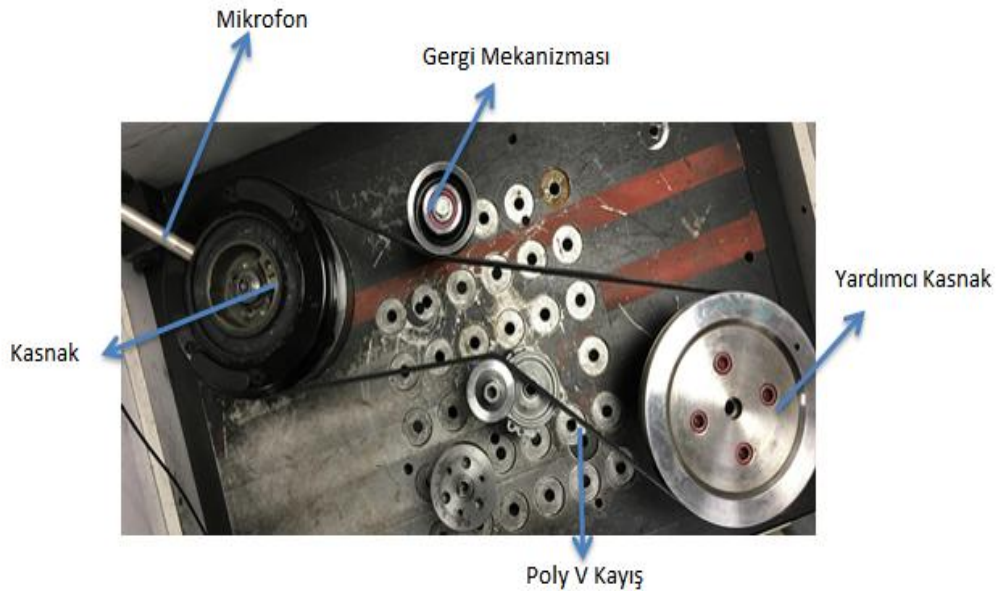


Şekil 50. Modal sarsıcı ile Modal Test Düzenegi [71]

3.8. Akustik Kontrol Testi

Ses, dalgalar halinde yayılan bir enerji tipidir. Sesin yayılımı ortamdaki parçaların titreşimi ve bu titreşimlerin yayılmasıyla oluşur. Bir sesin yüksekliği, basıncı ve frekansı ile belirlenebilir. Akustik kontrollerde, amaç gürültü kaynağını bulmak ya da belli bir noktadaki gürültü düzeyini saptamaktır.

En basit yöntemlerden biri ses basıncını bir mikrofon yardımıyla elektrik sinyallerine çeviren belirli frekanslarda harmoniklere ayrılmasıyla yapılır. Gürültü kontrolü amacıyla yapılan frekans analizi genellikle sabit yüzdeli bant genişliklerinde yapılır. Bunun nedeni insan kulağının, sabit bant genişlikli analiz cihazları gibi çalışmasıdır.

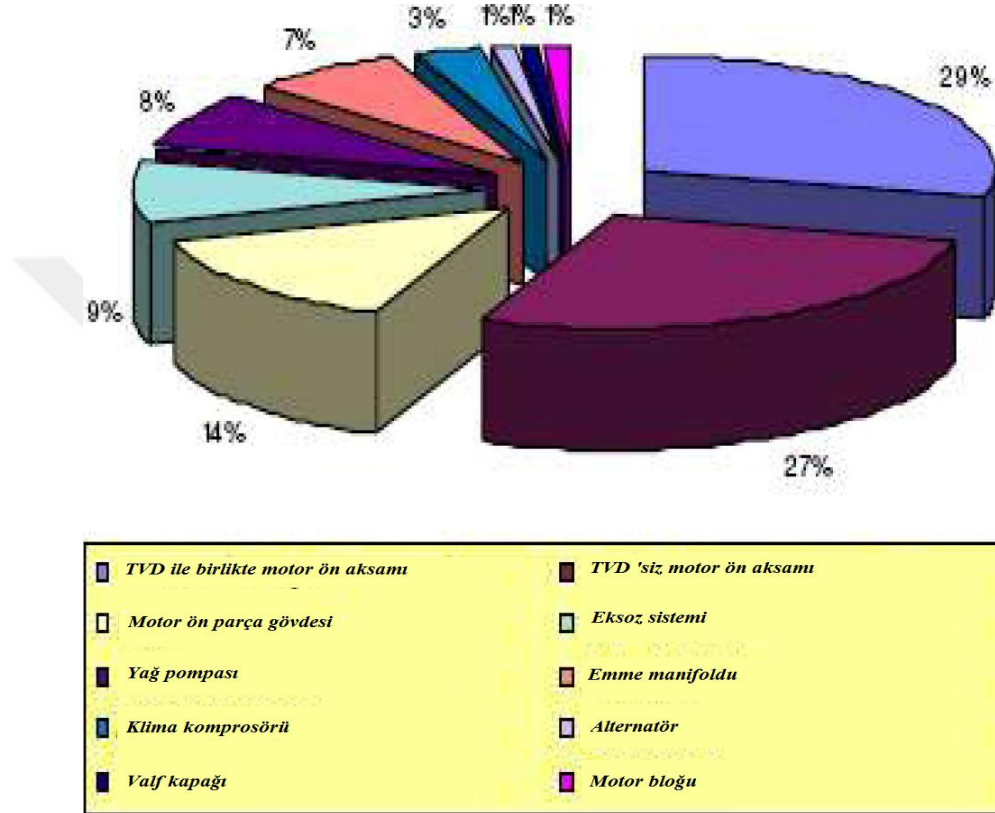


Şekil 51. Gürültü ölçümü

Otomotiv sektöründe genellikle saha test düzeneklerinde yapılmaktadır. Fakat bu testlerin zaman, iş gücü ve maliyeti yüksek olmasından dolayı araştırmacılar genelde test sistemleri kurmuşlardır. Örnek olarak Kentpar Otomotiv firmasında yapılan test düzeneği Şekil 51. 'de yer almaktadır. Bir elektrik motor ile bağlanan yardımcı kasnak hareketi diğer kasnaklara poly V kayışı ile iletmektedir. Krank kasnağı gürültü kaynağı olduğu düşünülerek, mikrofon belirli bir düzey ile kasnağın üst yüzeyine konumlandırılmıştır. Mikrofon, ses basıncı ve frekansları elektrik sinyallerine dönüştürerek bir DAQ veri kontrolcüsüne aktarmaktadır. Peek to Peek, rms, avarange, max ve min. değerler istenilen frekansta anlık sinyallerle ölçülmektedir.

Tipik bir otomotivin motor aksamında krank kasnağı, bir serpantin kayışı (V ya da poly V), bir gergi ve alternatör, klima, hidrolik direksiyon pompası vb. gibi birçok

aksesuardan oluşur. Bu bileşenlerle birlikte krank milinde burulma titreşimlerinin etkisi ve kayışın radyal kuvvetinden doğan bu titreşim ile birlikte krank kasnaklarında gürültülü çalışmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı motor ön aksamında oluşan bu gürültüyü azaltmak için araştırma yapmıştır. Bu araştırmaların gayesi müşteri beklentilerini karşılamak ve dinamik özelliklerin davranışlarıyla ilgilidir.



Şekil 52. Tipik bir motorun ön aksamında oluşan gürültü kaynakları

Nerubenko, bir motor ön aksamında oluşan gürültü kaynaklarını Şekil 52. 'de olduğu gibi vermiştir. En fazla gürültüye sebep olan %29 ile TVD ile birlikte olan motor ön aksamıdır. Diğer motor ön aksamın bileşenleri ise %27 oranında gürültü yaymaktadır. Fakat motor ön aksamı bir serpantin kayış ile birbirine bağlandığı zaman klima, alternatör yağ pompası gibi bileşenlerin toplamı %60 olacak şekildedir [72].

Hwang ve arkadaşları çalışma koşulları altında, krank mili hızındaki dalgalanmalar sistemdeki en büyük titreşim kaynağı olacağını yapmış oldukları çalışmada belirtmiştir. Bu titreşim, kayışı ve yatak ömrünü engelleyebilecek istenmeyen ses ve aşırı kaymaya yol açar. Burulma titreşimi anı, dinamik özellikler bakımından kayış ve rulman ömrünü azalttığından dolayı gürültü oluşuma sebep vermektedir. Bu, gürültü ile birlikte güç iletim verimliliğinde etkilemektedir [73].

3.9. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEA)

Bilim dünyasında her olay fizik kanunlarıyla ve matematik diliyle anlaşılmaya çalışılır. Karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın ve kullanışlı bir metottur. Her problemin karmaşasından kurtulmak amacıyla alt problemler çözülmeye gidilir. Bu alt problemlerin çözümü ile karmaşık problemin kaynağının çözüme kavuşması kolay olmaktadır. Otomotiv endüstrisinde yapılan ar-ge çalışmaları zaman, maliyet, iş gücü gibi unsurları deneme – yanılma yöntemi ile yapıldığında verimliliği düşürmektedir. Bu nedenle araştırmacılar sektörde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak problemleri hızlı, maliyeti düşük şekilde çözüme gitmeyi hedeflemiştirlerdir. Sonlu elemanlar yöntemi kesin doğruluğa gitmek yerine kabullerden dolayı yaklaşım ile çözüme gitmektedir.

Birçok araştırmacı torsional vibration damper (TVD) 'lerin ve kullanılan kauçuk malzemelerin sonlu elemanlar yöntemi ile açıklamaya çalışmışlardır. TVD 'lerde kullanılan elastomer malzemenin non – lineer olması nedeniyle farklı zaman aralıkta farklı şekil değiştirmesi bu metodun deneysel yöntemlerle %100 doğruluğuna ulaşamamıştır. Birçok araştırmacı halen bu konuda yaklaşımlar yaparak sonlu elemanlar yöntemi ile çalışmalarına devam etmektedir. Bir çok araştırmacı krank milinde oluşan burulma titreşimlerini sönümlemesi amacıyla problemi modal analiz yöntemleri kullanarak bulmaya çalışmıştır.

Singh ve arkadaşları 2005 yılında, iki farklı yaklaşım ile bir burulma sönümleyici tasarlamışlardır. TVD kasnakları, problemlili burulma modlarından kaynaklanan titreşim sorunlarını çözmek için otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. TVD 'nin tasarımı, diğer sistemlerin burulma modları üzerindeki etkisini değerlendirmek ile bulunabilir. Bu değerlendirmeleri bulmak için mühendislik çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır. İlk yaklaşımda, iki dereceli bir burulma sistemi modeli; ikinci yaklaşımda ise sistemin ayrıntılı olarak yürüyen aksamını sonlu elemanlar yöntemi ile modellemişlerdir. Her iki yaklaşımda kasnağın ataleti bir tasarım değişkeni olarak kabul edilmiştir. Burada hedef iki yaklaşımda sorunlu olarak görülen frekansta sistemin verdiği cevabı en aza indirmektir. Her iki yaklaşımda krank kasnağının sistem üzerindeki tasarım ve değerlendirme sürelerini azalttığı görülmüştür [74].

Londhe ve Yadav, dört silindirli dört stroklu bir motorun krank kasnağının tasarımı ve optimizasyonunu araştırmışlardır. Çalışmada boyut ve ağırlıkta optimum burulma titreşim sönümleyicisini tasarlayarak atalet kütlelerin titreşim sönümlemesini

çıkarmışlardır. Yapılan modal analiz sonrası ayrıca motor test düzeneğinde test edilerek; flanş atalet kütlesi, göbek ataleti ve kauçuğun sönüm oranlarını en uygun olan şekli ile tasarlamışlardır [75].

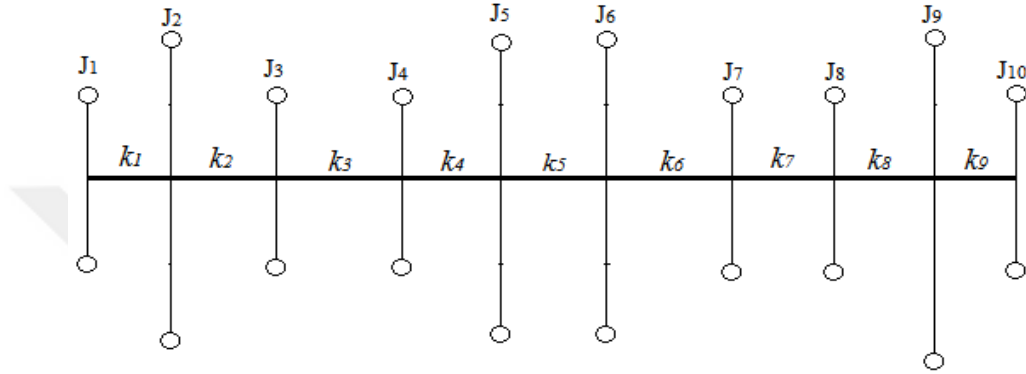
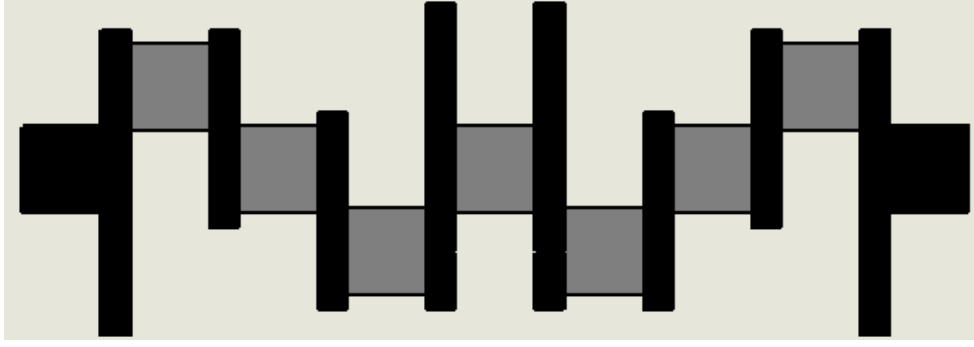
Kauçuk malzemelerin sonlu deformasyon için kurucu modellerin bir incelemesinde, sıkıştırılmayan kauçuk elastığının Flory – Erman, Arruda – Boyce ve klasik Treolar'ın klasik yöntemleri bulunmaktadır. Boyce bu konuda birçok araştırma yaparak kauçuğun sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesine yardımcı olmak için kurucu bir model oluşturmuştur [76].

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR ve BULGULAR

Bu çalışmada, krank kasnağı üzerinde kullanılan kauçuğa üç farklı nano malzeme katkısı yapılmıştır. Bu katkılar homojen karıştırma, püskürtme ve el yatırma yöntemleri ile takviyesi sağlanmıştır. Nano malzemelerin katkısı ile de krank kasnağının nonlinear malzeme girdileri güçlendirilmiş olacaktır. Bu takviyeli karışımların reolojik özelliklerinin yanı sıra mekanik özellikleri irdelenecektir. Numuneler hazırlandıktan sonra krank kasnağı tasarım parametreleri yapılmıştır. Bu tasarım parametresi içerisinde bir krank mili tasarlanacak ve krank milinin mod şekilleri çıkarılacaktır. Krank kasnağının kendine ait doğal frekansları FFT analizi ile burulma yönünde bulunacaktır. Bu sonuçlara göre krank kasnağı tasarlanacak ve krank milinin rezonansa girmesi engellenecektir. Titreşim testleri motor simülasyon testleri ve akustik kontrol testleri ile sonuçlar irdelenecektir.

4.1. Matematiksel Modelleme ve Sonlu Elemanlar Analizi

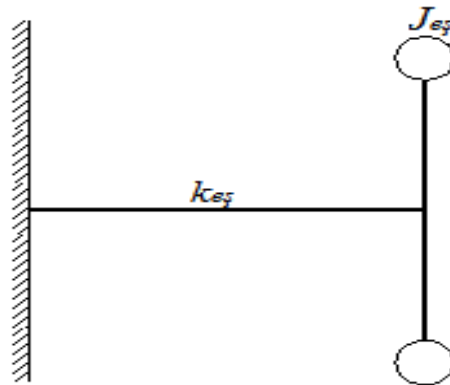
Krank kasnakları, krank milinden aldığı hareket ile bir kayış yardımıyla hareketini aktarmaktadır. Krank milleri genel yapısı itibariyle atalet kütlesine sahip sönüm (c) ve yay sabitleri (k) düşük olması nedeniyle titreşim sönümlenmeleri zayıftır. Bu nedenle özellikle burulma anlarında (mod 6'dan sonrası için) krank kasnaklarına ihtiyaç duymaktadır. Bu durumdan öncelikle krank mili ve krank kasnağının matematiksel bir modellemesi gerekmektedir. Bu iş için öncelikle krank milini tasarlanması bu tasarım itibariyle kütle atalet momentleri (J), sönüm sabitleri (c) ve yay sabitleri (k) çıkarılması gerekmektedir.



Şekil 53. Krank mili sistemi ve DOF modeli

Krank mili iki boyutlu çizimi ve DOF modeli Şekil 53. 'te verilmiştir. Krank mili on atalet kütesine sahip olduğundan dolayı on serbestlik derecesine ve dokuz adet farklı yay sabitine sahiptir.

Krank mili tasarımı için dört silindri bir motor düşünülmüş ve krank miline modal analiz yöntemi ile birinci mod şeklinden on dördüncü mod şekline kadar analiz yapılmıştır. Bu durumda Şekil 53. 'te verilen DOF modele göre eş değer kütle atalet ve eşdeğer yay sabitleri Şekil 54. 'te ki gibi olur.



Şekil 54. Krank mili eş değer DOF Modeli

Bu sistemde görülen bazı değerler CAD verilerinden (SolidWorks 2016 Premium) alınarak Çizelge 8.'de ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Çizelge 8. Krank mili CAD verileri

Özellik	Birim	Değer
Malzeme Tipi	Islah Çeliği	42CrMo4
Toplam Kütle	gram	12267,80
Toplam Hacim	mm ³	1572795,14
Toplam Yüzey Alanı	mm ²	203301,09
Toplam Atalet Momenti	gram*mm ²	227013805,91

Eşitlik (1.1.1.) dikkate alınarak eşdeğer bir atalet kütle momenti ve eşdeğer bir yay sabiti matrisleri diyagonal bir sistem olarak kabul edilir. O halde

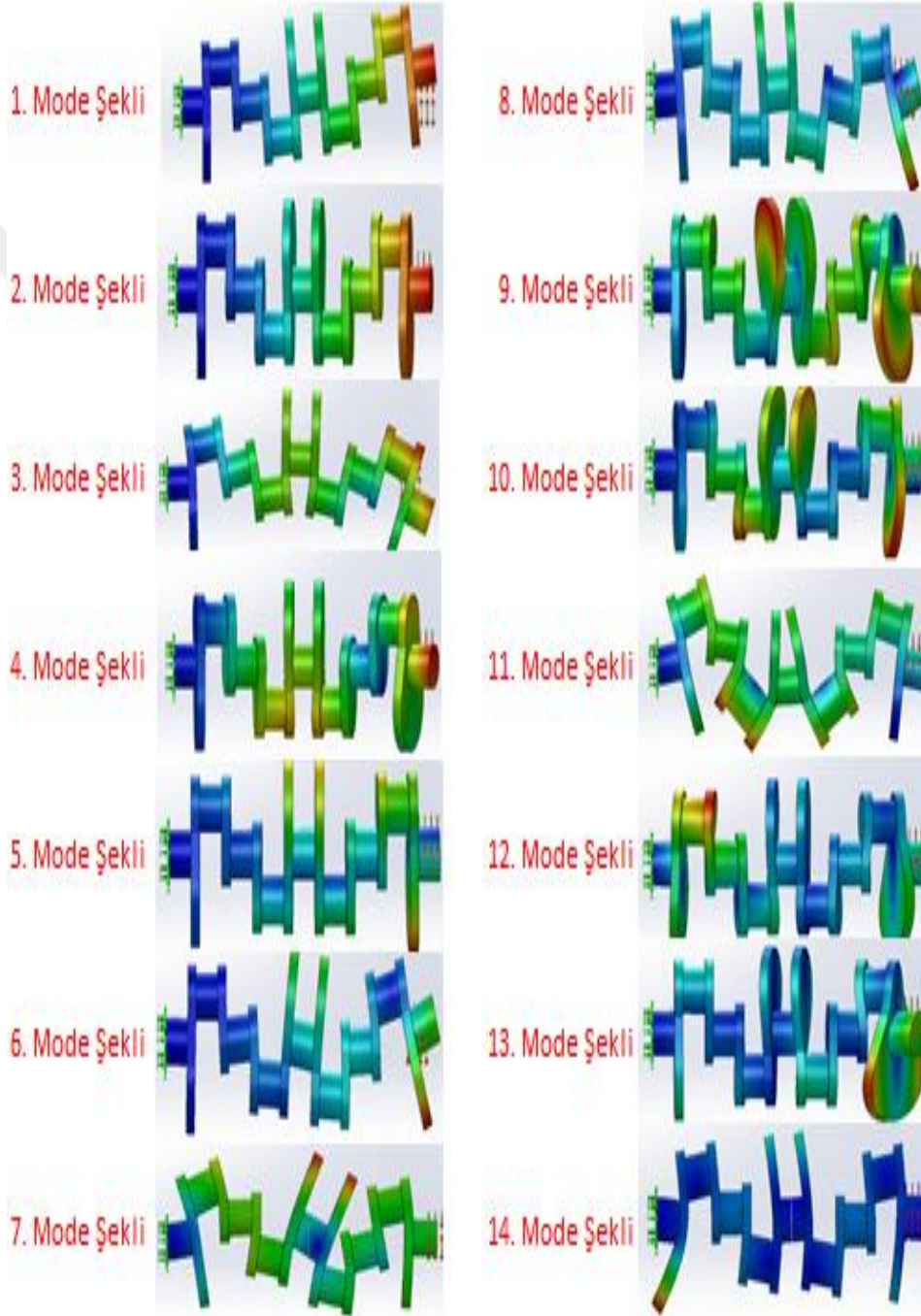
$$Meş + Ceş + keş = 0 \quad (4.1.1.)$$

kabul edilip sönümlenme ihmal edilirse kütle atalet momentleri ve yay sabiti şu şekilde olur.

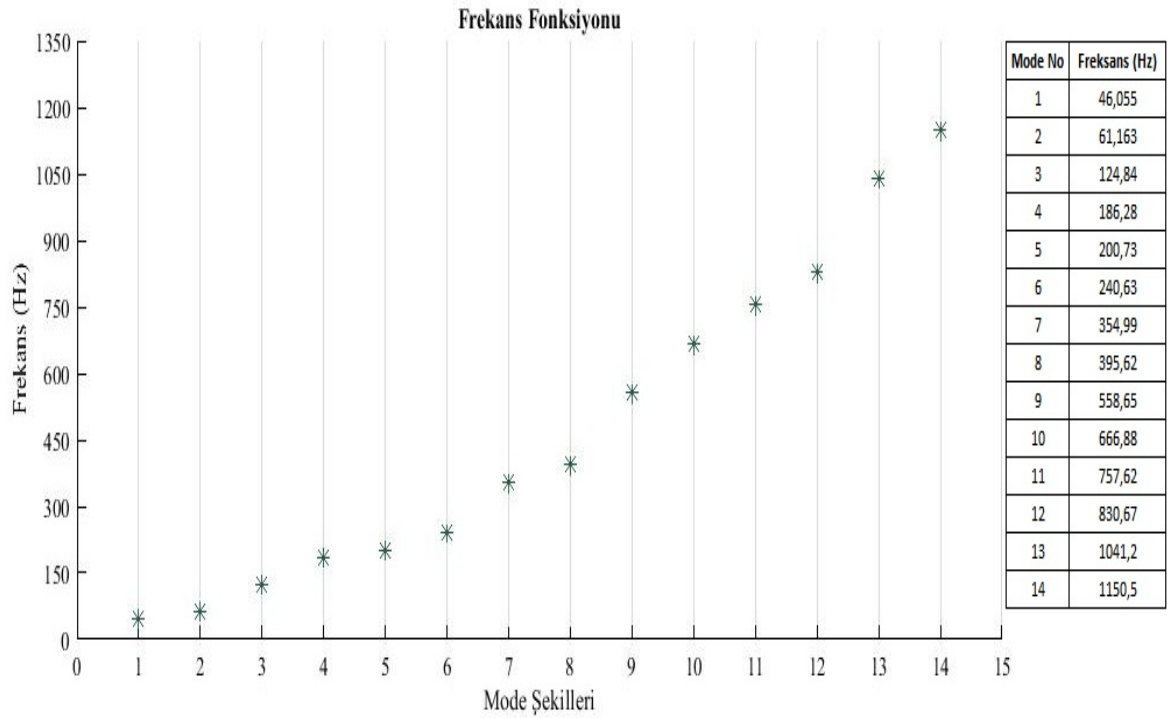
$$k_{eş} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4+k_5 & -k_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5+k_6 & -k_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_6 & k_6+k_7 & -k_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_7 & k_7+k_8 & -k_8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_8 & k_8+k_9 & -k_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_9 & k_9 & k_9 \end{bmatrix}$$

$$J_{eş} = \begin{bmatrix} J_1 & -J_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -J_1 & J_1+J_2 & -J_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -J_2 & J_2+J_3 & -J_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J_3 & J_3+J_4 & -J_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -J_4 & J_4+J_5 & -J_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -J_5 & J_5+J_6 & -J_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -J_6 & J_6+J_7 & -J_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -J_7 & J_7+J_8 & -J_8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -J_8 & J_8+J_9 & -J_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -J_9 & J_9+J_{10} & -J_{10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -J_{10} & J_{10} \end{bmatrix}$$

Matematiksel modellemesi yapılan krank mili için modal analiz yapılarak doğal frekansları ve mod şekilleri davranışlarını incelemek gerekmektedir. Bu durumdan dolayı MATLAB Simulink ile elde edilen krank mili davranışı eşdeğer atalet kütle momentleri $M_{eş}$ sabit tutulup, frekansa göre burulma katılığı (k_i) değerleri Şekil 57.'de verilmiştir.

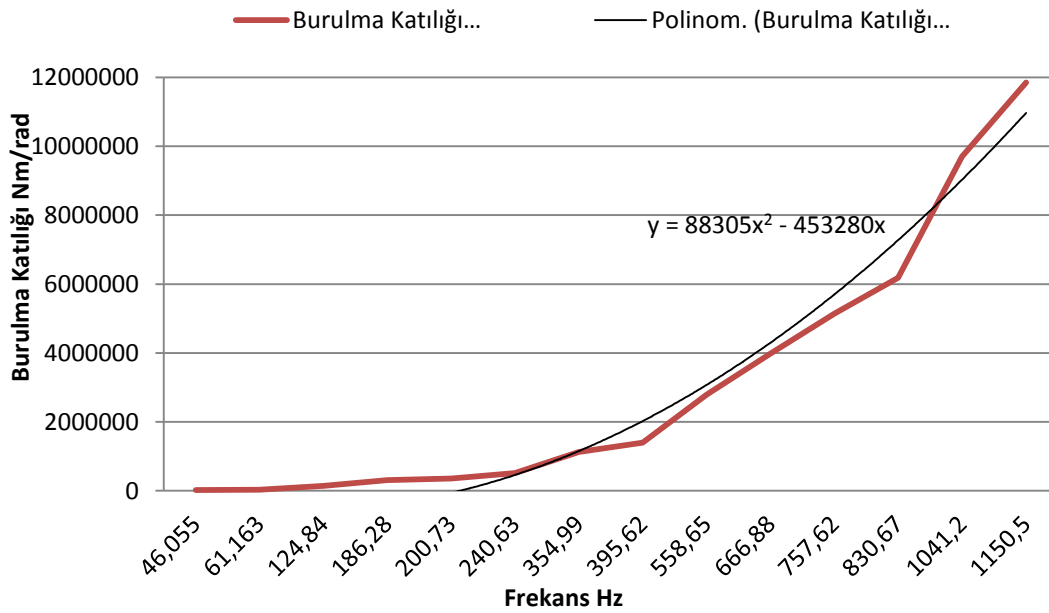


Şekil 55. Krank mili modal analiz grafik sonuçları



Şekil 56. Krank Mili Frekans Fonksiyon Grafiği

Krank miline yapılan modal analiz sonuçları Şekil 55. ve Şekil 56. 'da verilmiştir. 14 farklı mod şekline göre yapılan analizde sınır şartları volan tarafı sabit tutularak burulma torku verilmiştir. Emme ve basma subablarının krank miline uyguladığı basınçlar ihmal edilmiştir.



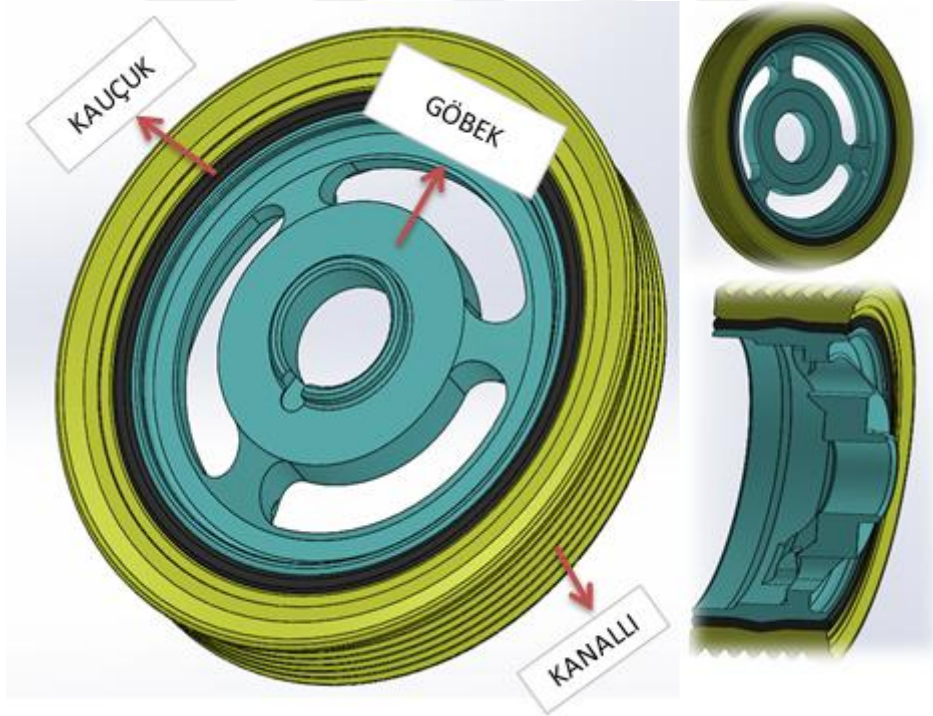
Şekil 57. Krank milinin frekansa göre burulma katılığı

4.2. Krank Kasnağı Tasarım Parametreleri ve Matematiksel Modeli

Krank kasnağı tasarımı krank milinin mod şekilleri ve krank milinde oluşan burulma doğal frekansları çıkarıldıktan sonra modelleme esasları şu şekilde yapılır.

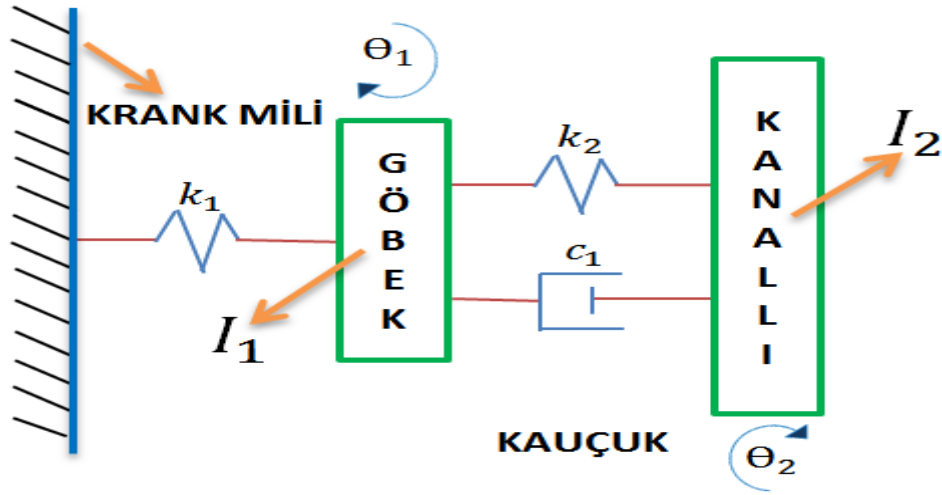
1. Krank mili ile bağlantı elemanlarının konumu,
2. Krank milinde oluşan burulma titreşimleri,
3. Krank kasnağının burulma atalet momenti,
4. Kullanılan elastomerin tipi,
5. Elastomerin sönüm kabiliyeti şeklinde sıralanmaktadır.

Bu tasarım parametreleri göz önüne alındığında, krank milinde oluşan burulma doğal frekansları Şekil 56. 'da verilmiştir. Binek araçların motor verileri göz önüne alındığında maksimum çalışma genliği 500 Hz olduğu bilinmektedir. Analiz sonuçları Şekil 55. 'te görüldüğu üzere ilk dört mod şekli eğilmeye ilişkin, 5. – 6. – 7. ve 8. mod şekilleri ise burulma olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığında, Şekil 58. 'de krank kasnağı tasarımı katı modeli verilmiştir.



Şekil 58. Krank kasnağı katı modeli

Krank kasnağı tasarımı için yapılan katı model Şekil 58. 'te verilmiş olup, kanallı ve göbekte EN – GJS 400 küresel sfero dökme demir, kauçuk için ise NR ve EPDM kauçuk tipleri kullanılmıştır. NR kauçuk için burulma atalet momenti $0,0001565 \text{ kg.m}^2$, EPDM kauçuk için $0,0001578 \text{ kg.m}^2$ 'dir.



Şekil 59. Krank kasnağı matematiksel (DOF) modeli

Şekil 59. 'da krank kasnağının DOF modeli verilmiştir. Şekilde damper sisteminde bulunan krank miline bağlı atalet kütesine ve yay sabitlerine sahip, burulma anında sistem açıları oluşturacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu durumda krank miline bağlı krank kasnağı parametreleri şu şekilde olmalıdır.

$$\text{Kütle oranı : } \mu = \frac{I_t}{I} \quad (4.2.1.)$$

$$\text{Frekans oranı : } \lambda = \sqrt{\frac{Kt}{I}} / \omega_0 \quad (4.2.2.)$$

$$\text{Sönüm oranı: } \xi = \frac{c_t}{2\sqrt{I_t K_t}} \quad (4.2.3.)$$

Eşitlik 4.2.1. 'de verilen krank kasnağı atalet kütesinin krank mili atalet kütesine oranı olarak çıkmaktadır. Krank kasnağı modellemesinde iki farklı kauçuk (NR ve EPDM öz kütlelerinin malzeme özellikleri farklı) kullanıldığından dolayı iki kütle oranı ortaya çıkmıştır. NR için 0,74; EPDM için ise 0,75 olarak bulunmuştur.

Eşitlik 4.2.2 'de ise farklı numuneler kullanıldığından burulma katılığı ve atalet kütleler farklı sonuçlar ortaya çıkaracaktır. Krank milinin doğal frekansı ise (ω_0) 300 Hz olduğu bilinmektedir.

Eşitlik 4.3.3. 'de ise sönüm oranları deneysel verilerde ortaya çıkan en iyi titreşim verisinin diğer numunelere göre oranı şeklinde olacaktır. Teknik olarak krank kasnağı krank milindeki burulma titreşimlerini sönümlemesi amacıyla üretildiği için, krank milinin doğal frekansı referans doğal frekans olması gerekmektedir. Bu nedenle sönüm kabiliyeti de buna göre şekil alacaktır.

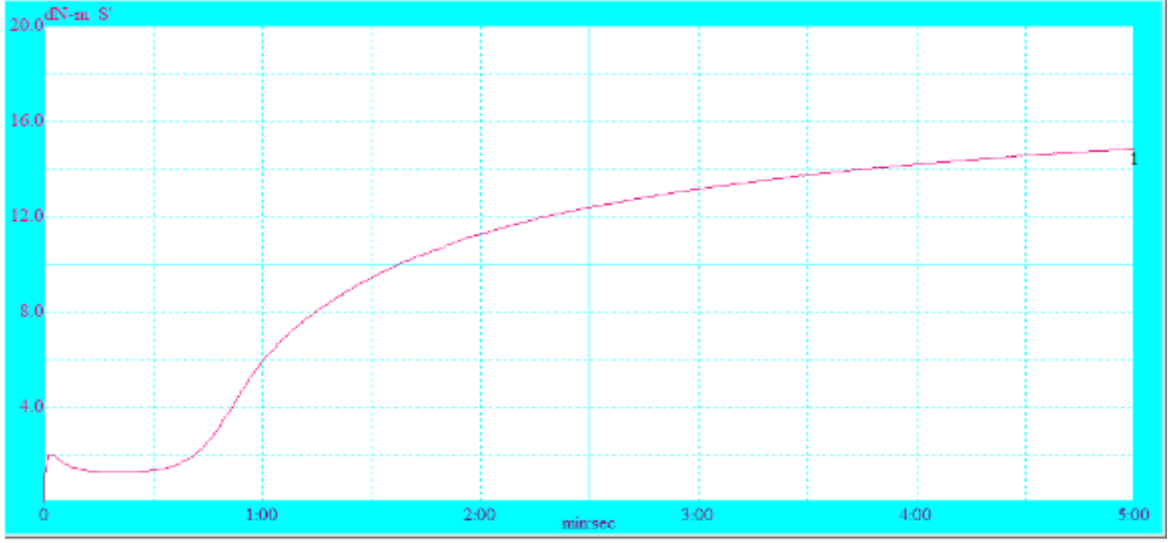
4.3. Rheometre Test Sonuçları

Krank millerinde oluşan titreşimleri dinamik olarak sönümleyici elemanı olarak kauçuk kullanılmaktadır. Kauçuğun reolojik özellikleri yapının şekillendirme verimliliğini etkilemektedir. NR ve EPDM kauçuklara, homojen karıştırma, püskürtme ve el yatırma yöntemleri kullanılarak özel bir solisyon içerisinde çok duvarlı karbon tüpü, nano parçacıklı alimüna ve nano parçacıklı zeolit Çizelge 9 'da olduğu gibi takviye edilmiştir.

Çizelge 9. Kauçuk ve Takviye Eleman Oranları

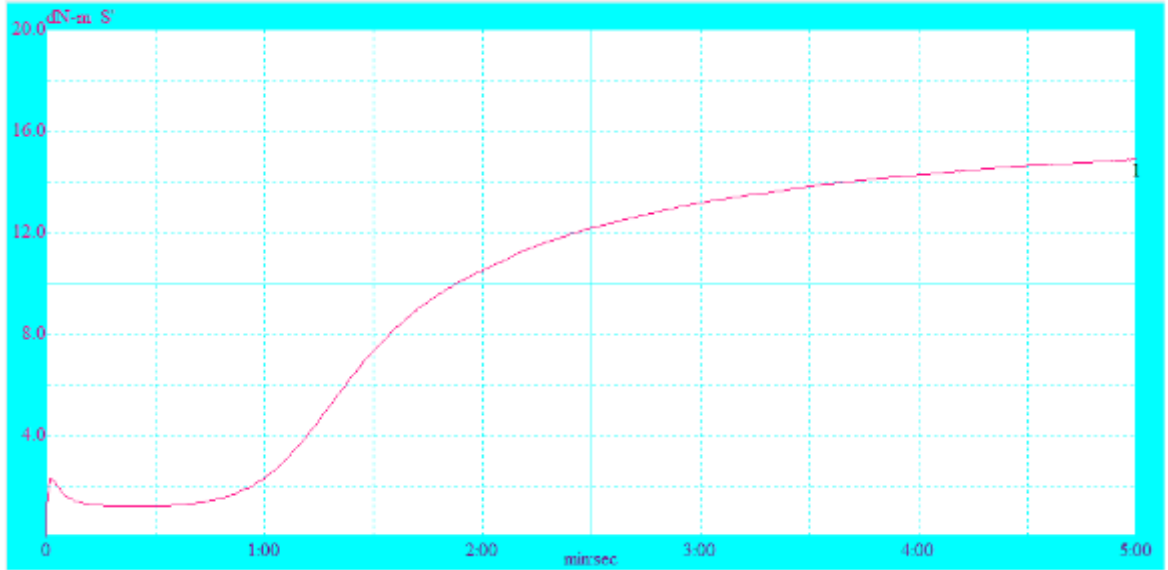
<i>Kauçuk Tipi</i>	<i>Karıştırma Yöntemi</i>	<i>Takviye Malzemesi</i>	<i>Takviye Malzeme Oranı (gr)</i>	<i>Takviye Oranı (%)</i>
NR Kauçuk (30 gr)	Homojen Karıştırma Püskürtme El yatırma	Çok Duvarlı Karbon Tüpü (MWCT)	99	3,30
	Homojen Karıştırma Püskürtme El yatırma	Nano parçacıklı Alimüna (Al ₂ O ₃)	48	1,60
	Homojen Karıştırma Püskürtme El yatırma	Nano parçacıklı Zeolit	99	3,30
EPDM Kauçuk (30 gr)	Homojen Karıştırma Püskürtme El yatırma	Çok Duvarlı Karbon Tüpü (MWCT)	99	3,30
	Homojen Karıştırma Püskürtme El yatırma	Nano parçacıklı Alimüna (Al ₂ O ₃)	48	1,60
	Homojen Karıştırma Püskürtme El yatırma	Nano parçacıklı Zeolit	99	3,30

Tasarlanmış olan krank kasnağı CAD verisinde 30 gr kütlesi olduğu bilinmektedir. Nano takviyeli kompozit malzemeler Çizelge 9. 'da verilen kauçuk tipleri, her farklı teknikte 30 gr kullanılır iken, takviye edici malzemeler ise üç farklı üretim tekniği toplamı olarak verilmiştir. Bu durumda çok duvarlı nano tüp ve nano parçacıklı zeolit % 1.10, nano parçacıklı alümina ise % 0.5 olarak takviye edici özelliği bulunmaktadır. Yapılan numune çalışmasından sonra, nano kompozit malzemelerin reolojik özelliklerini görmek amacıyla 180 °C, 5 dk. ve salınım açısı 0,5 ° olacak şekilde sınır şartları konularak rheometre testine tabi tutulmuştur. (Go Tech M 2000A – Moving Die Rheometer)



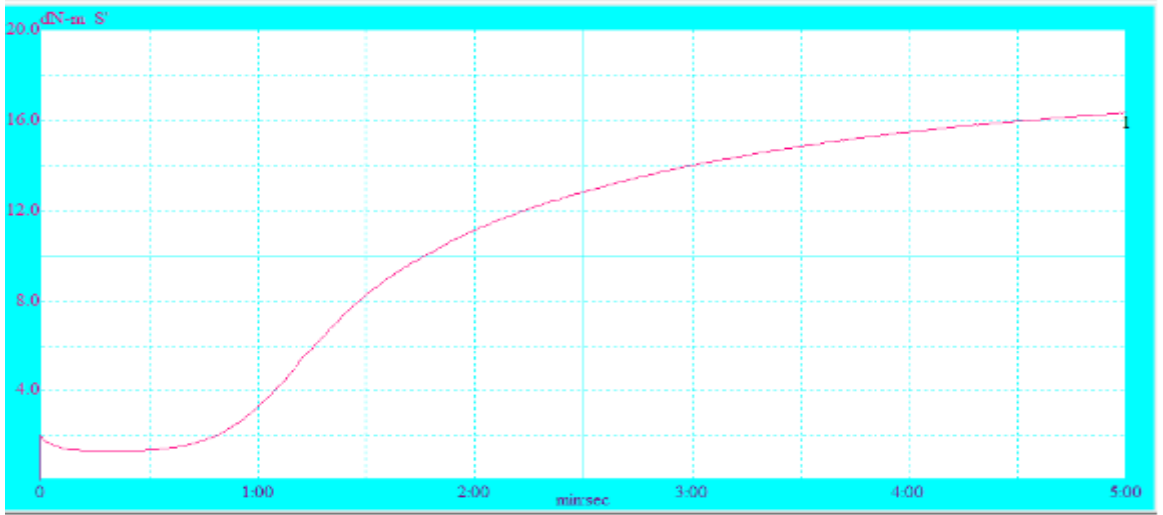
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
14,80	1,23	00:46	03:16

Şekil 60. Homojen karıştırılmış EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu



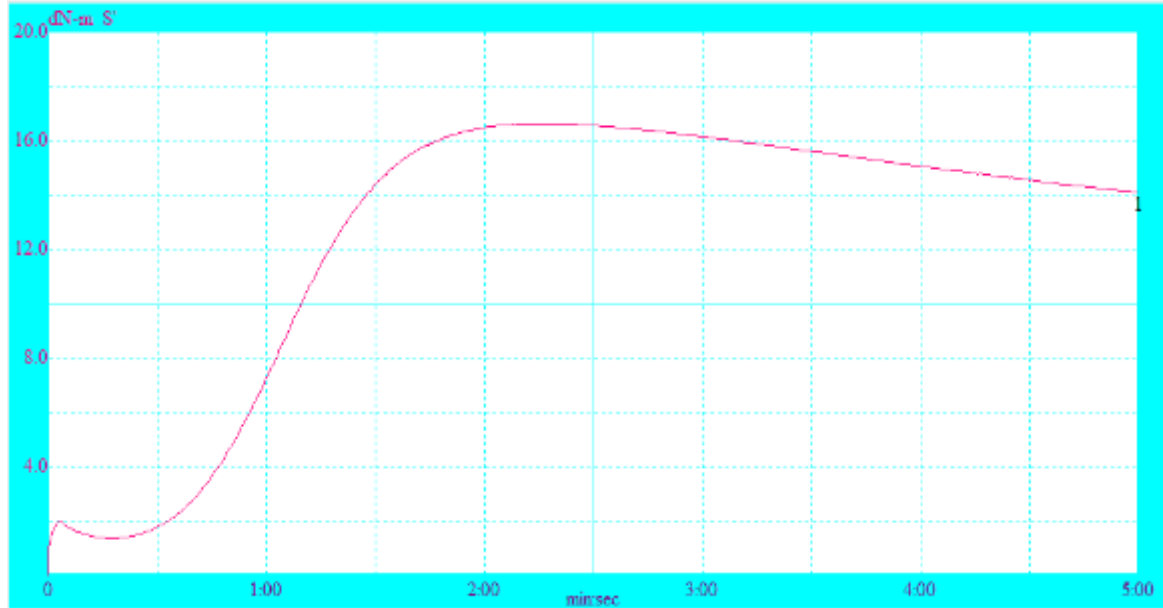
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
14,90	1,10	01:02	03:25

Şekil 61. Püskürtme tekniği ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu



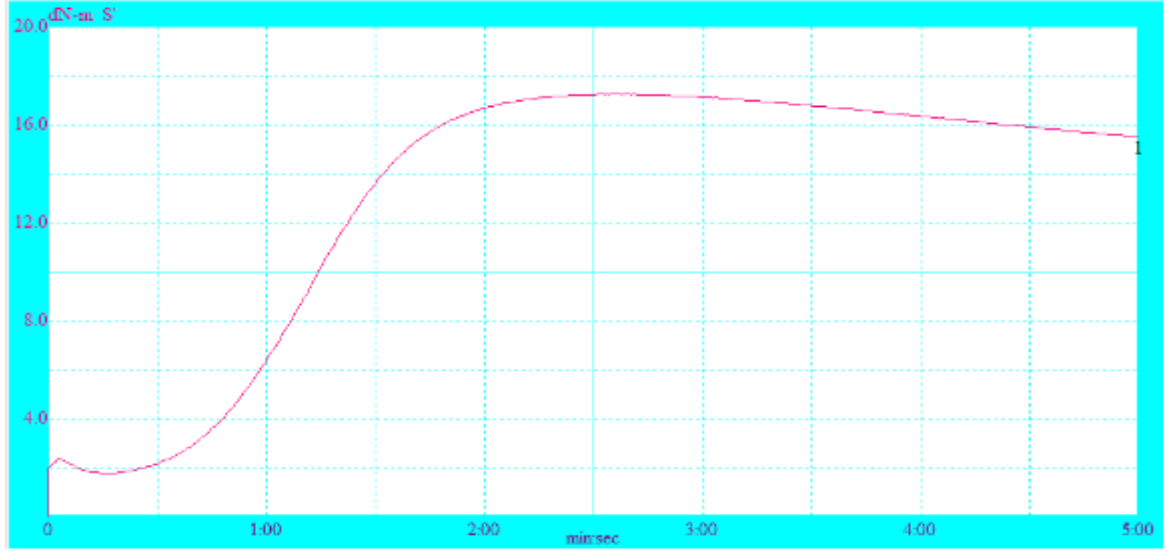
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
16,30	1,26	00:57	03:29

Şekil 62. El yatırma yöntemi ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu



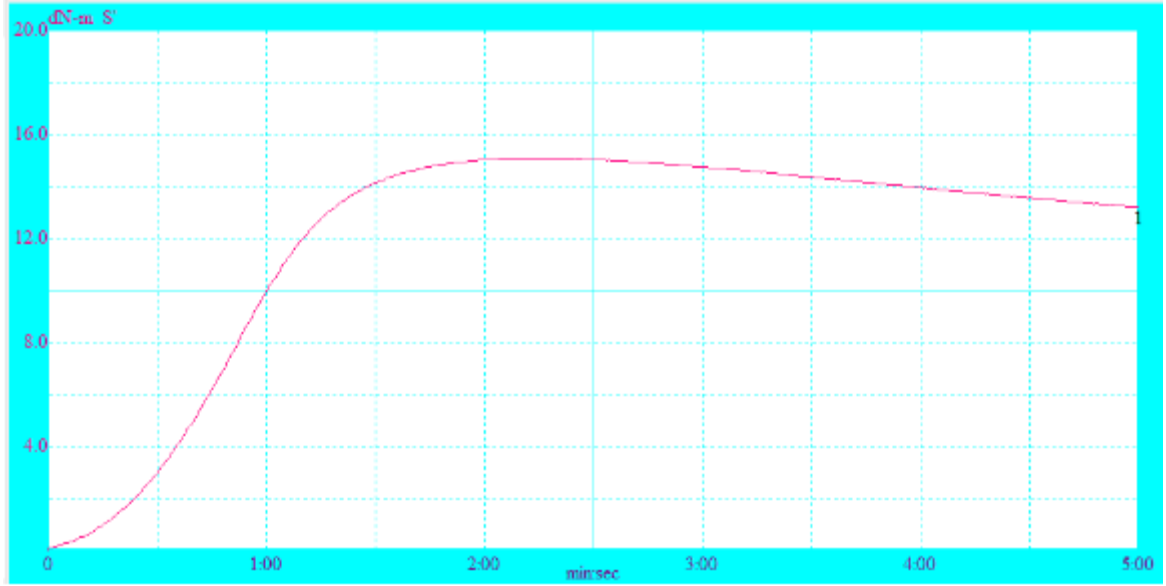
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
16,60	1,33	00:41	01:36

Şekil 63. Homojen karıştırılmış NR kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu



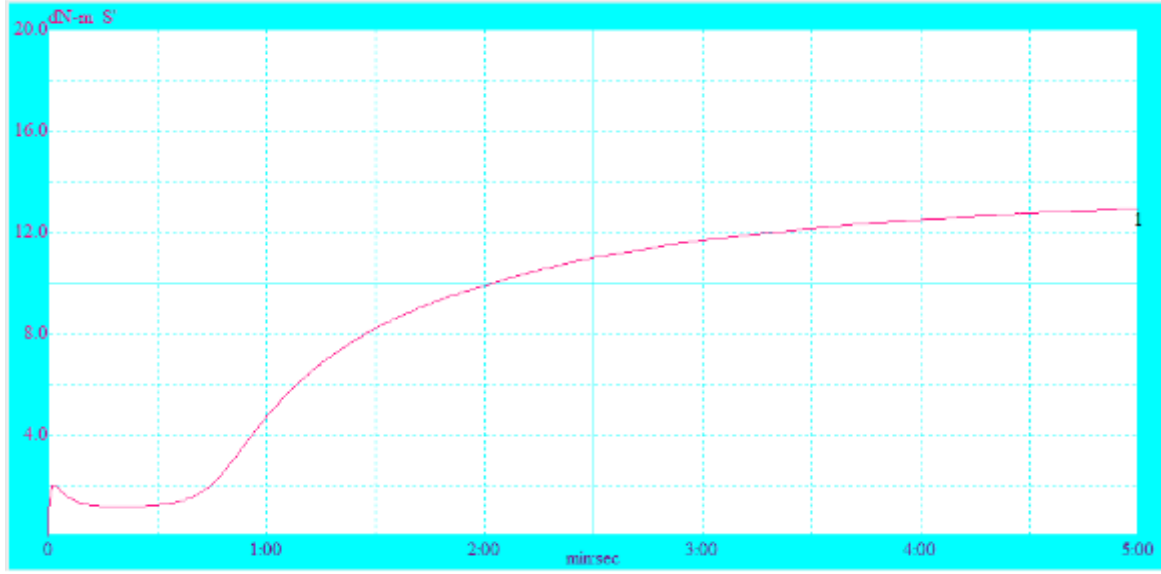
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
17,22	1,74	00:43	01:45

Şekil 64. Püskürtme tekniği ile NR kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu



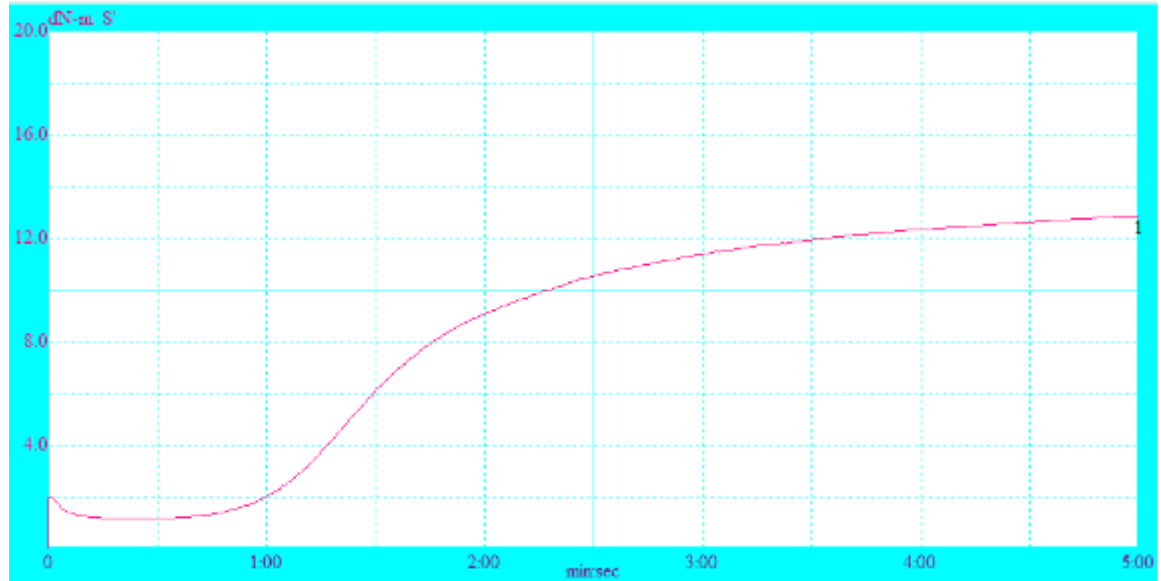
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
15,06	0,32	00:23	01:23

Şekil 65. El yatırma yöntemi ile NR kauçuğa %1,10 takviyeli çok duvarlı karbon nano tüp rheometre test sonucu



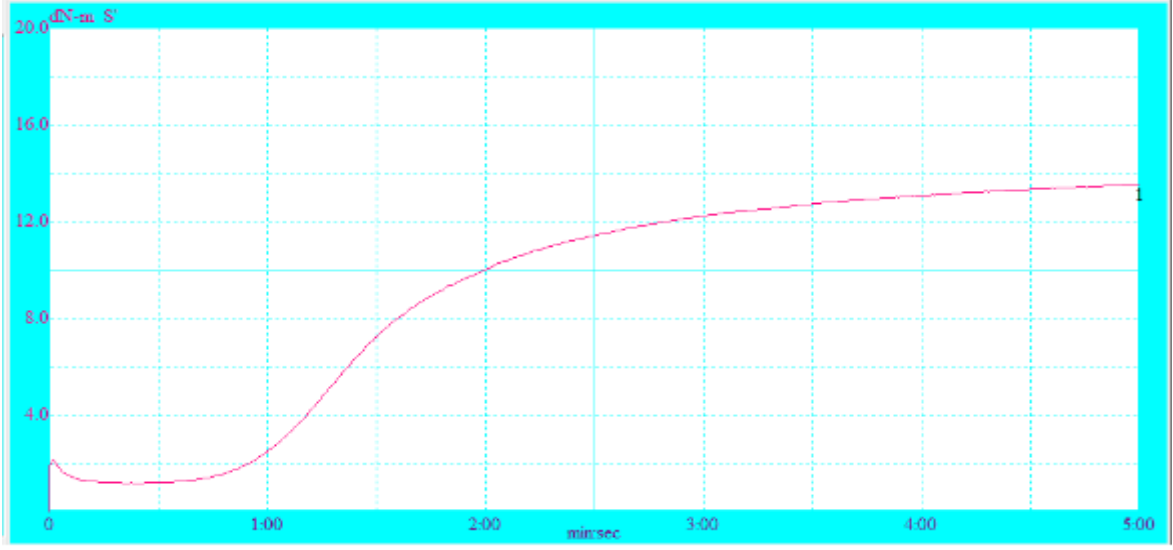
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
12,93	1,13	00:47	03:06

Şekil 66. Homojen karıştırılmış ile EPDM kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu



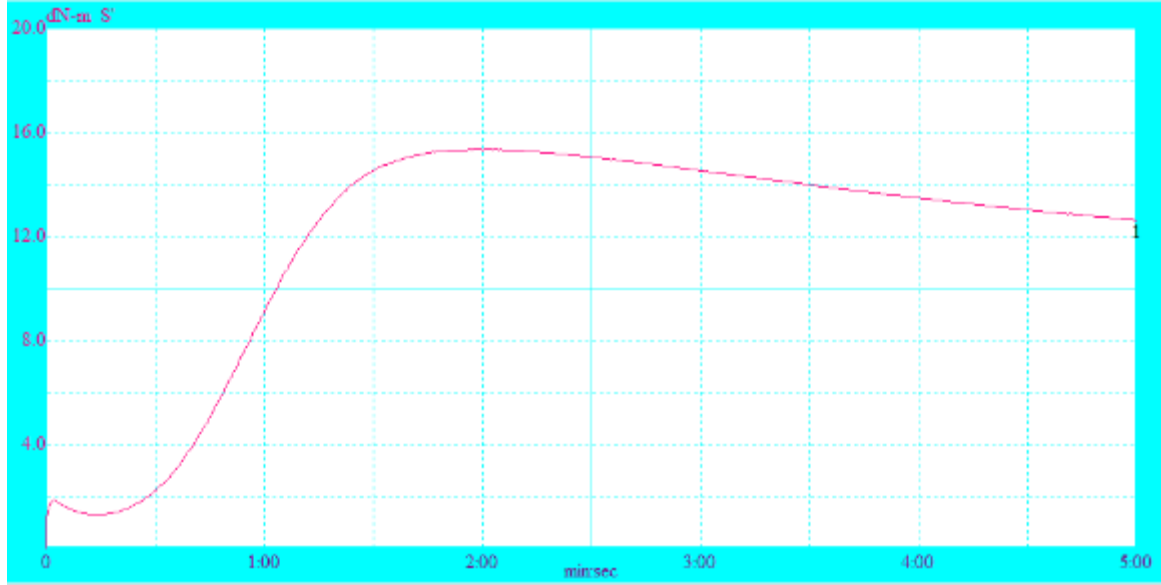
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
12,83	1,13	01:04	03:15

Şekil 67. Püskürtme tekniği ile EPDM kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu



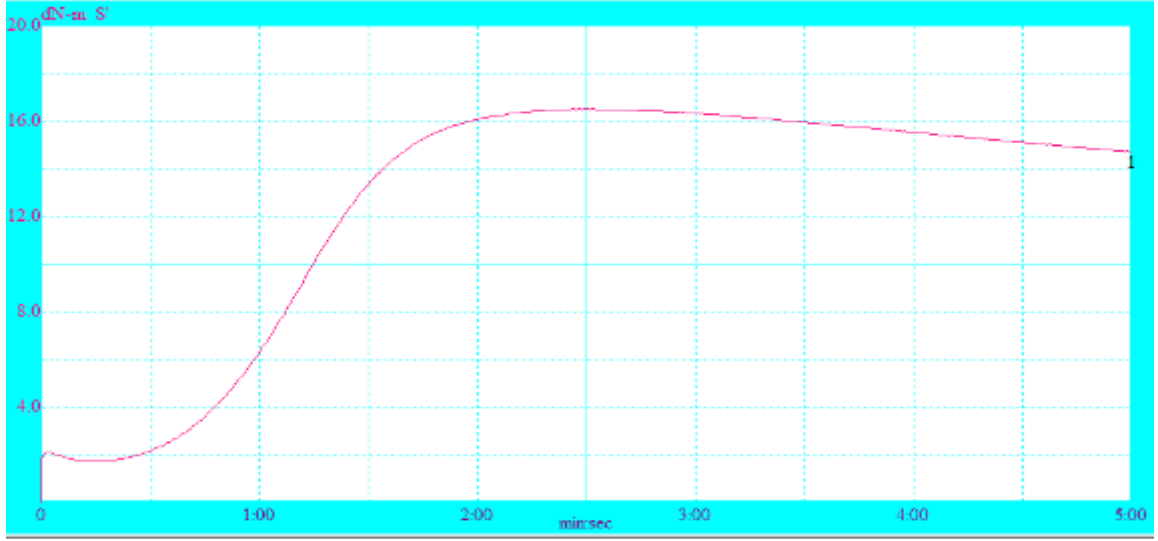
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
13,52	1,16	00:59	03:04

Şekil 68. El yatırma yöntemi ile EPDM kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu



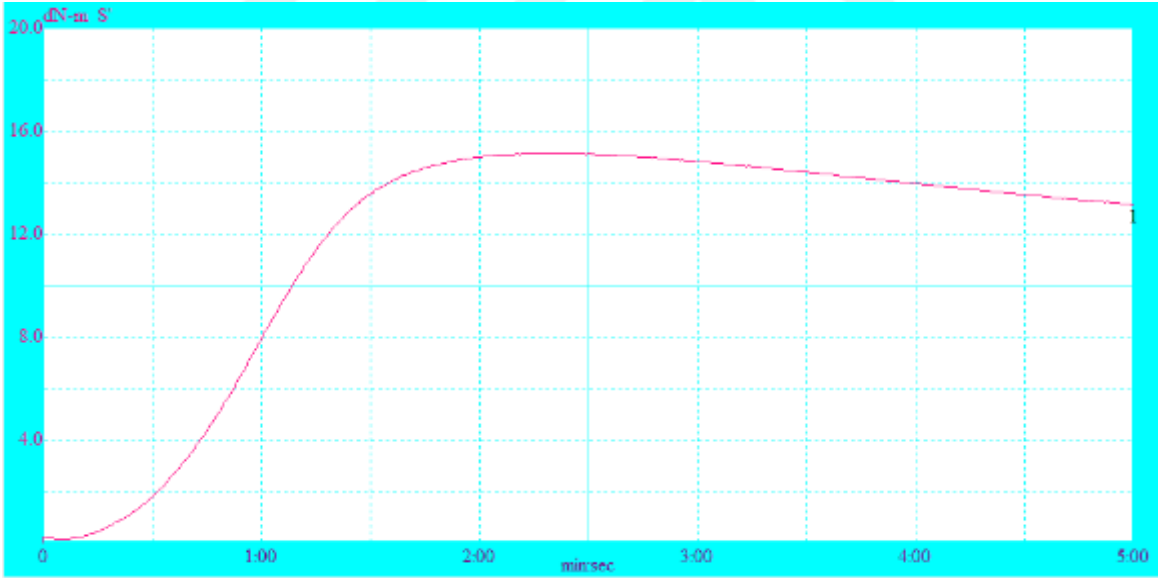
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
15,32	1,27	00:34	01:24

Şekil 69. Homojen karıştırılmış ile NR kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu



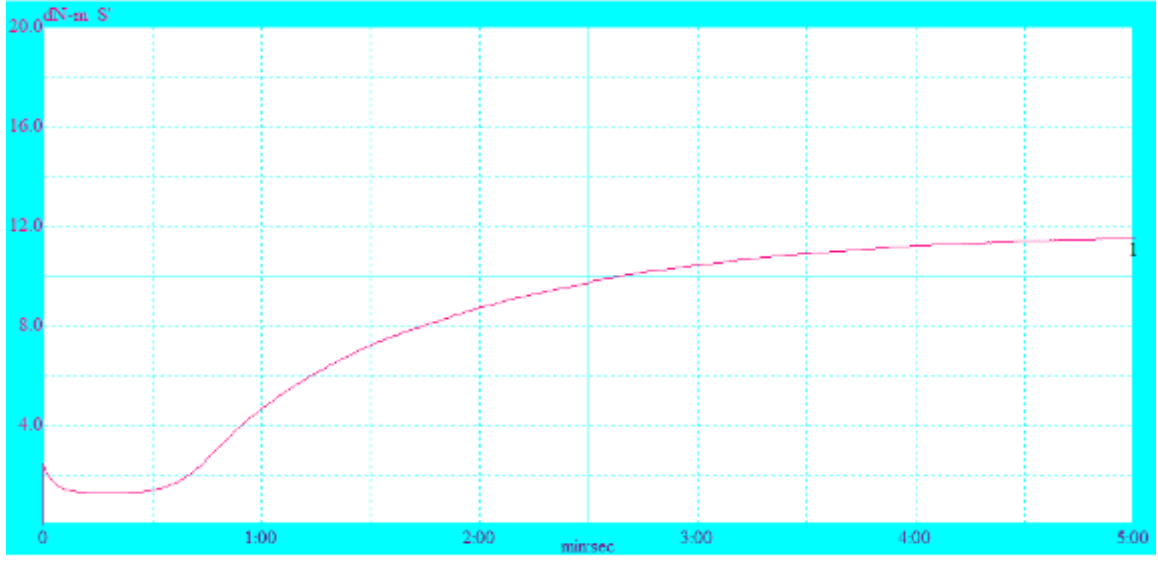
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
16,47	1,68	00:42	01:43

Şekil 70. Püskürtme tekniği ile NR kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu



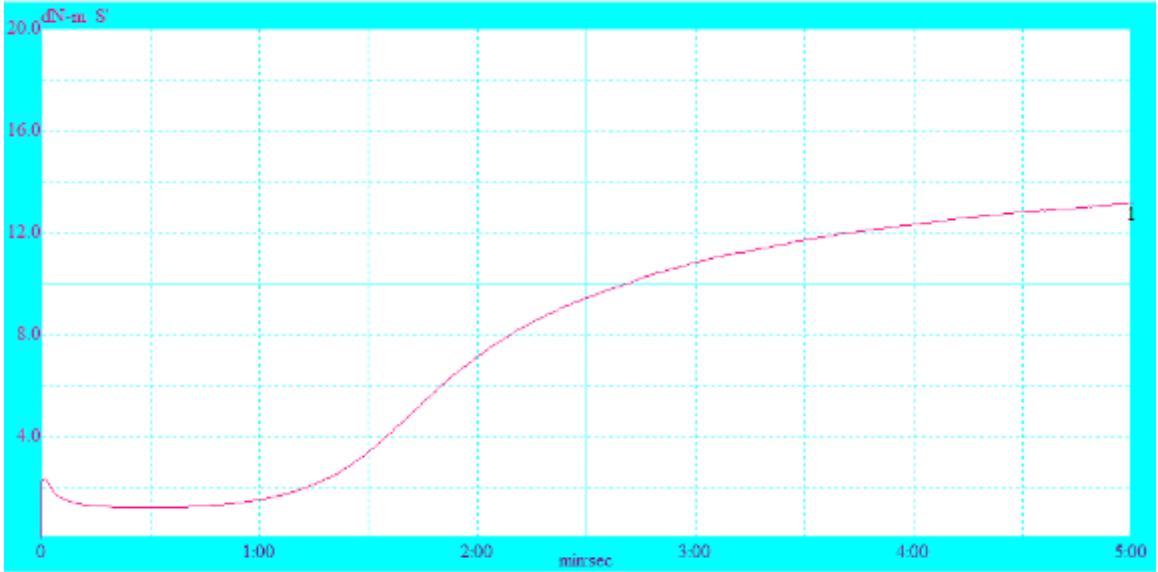
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
15,10	0,11	00:29	01:31

Şekil 71. El yatırma yöntemi ile NR kauçuğa %0,50 takviyeli nano partiküllü Alümina rheometre test sonucu



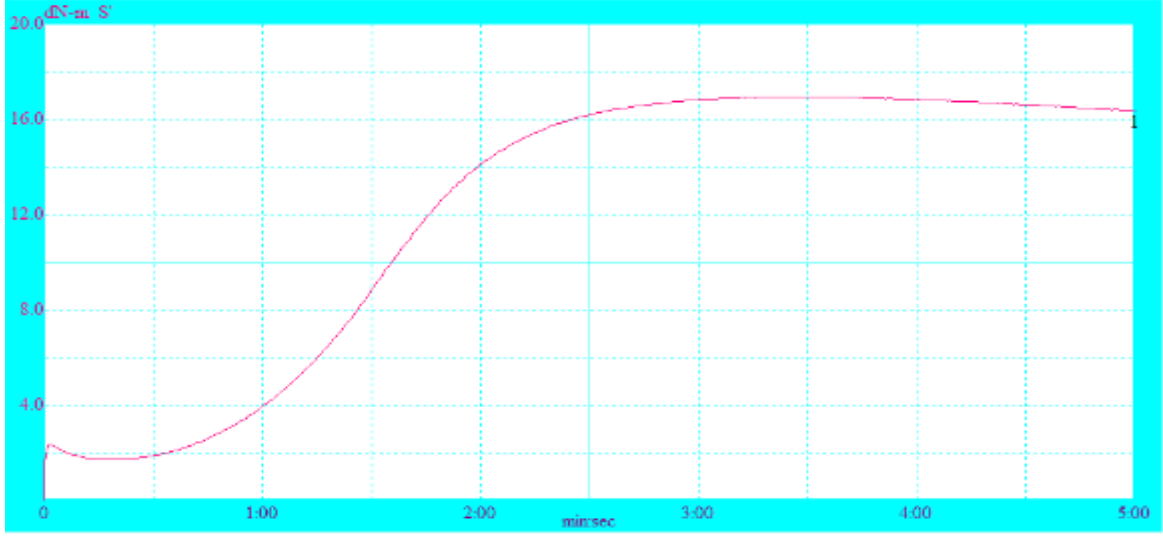
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
11,47	1,23	00:43	03:03

Şekil 72. Homojen karıştırılmış EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu



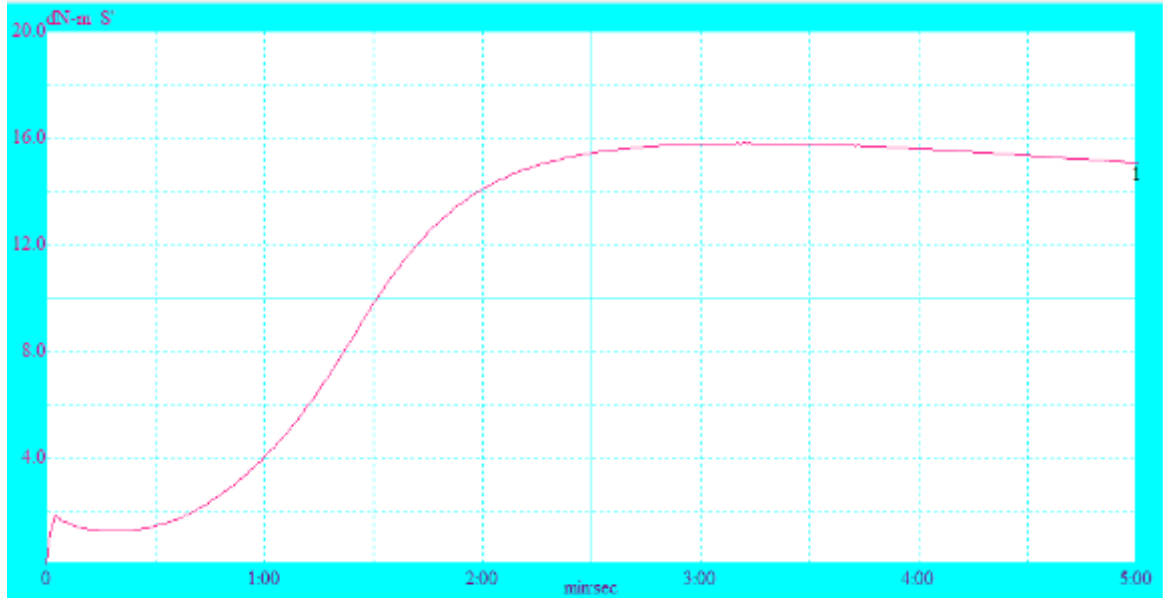
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
13,14	1,18	01:20	03:41

Şekil 73. Püskürtme tekniği ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu



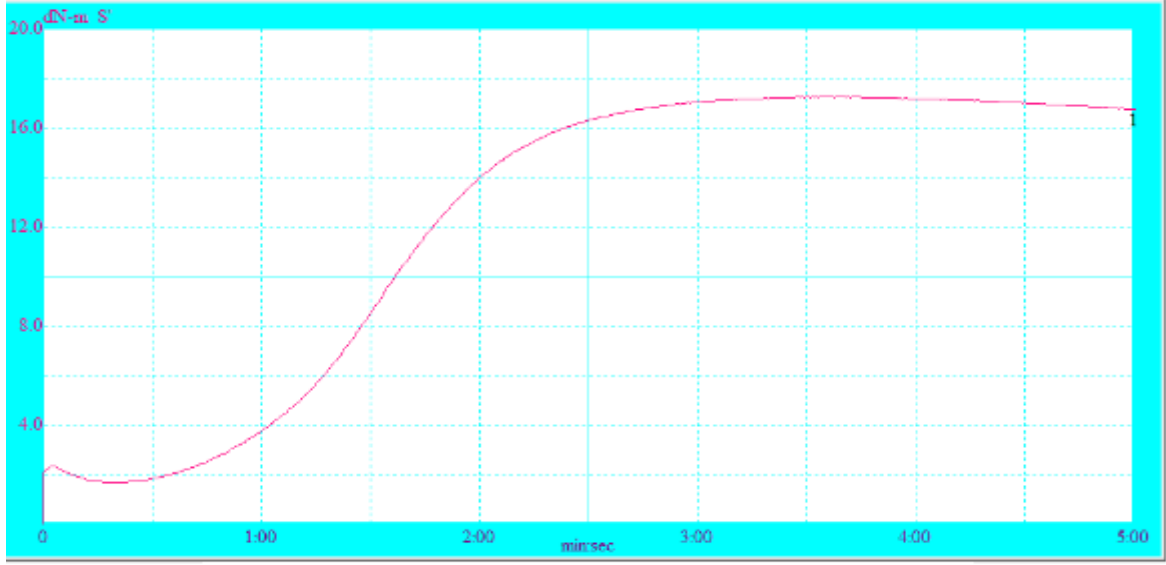
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
16,92	1,68	00:53	02:15

Şekil 74. El yatırma yöntemi ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu



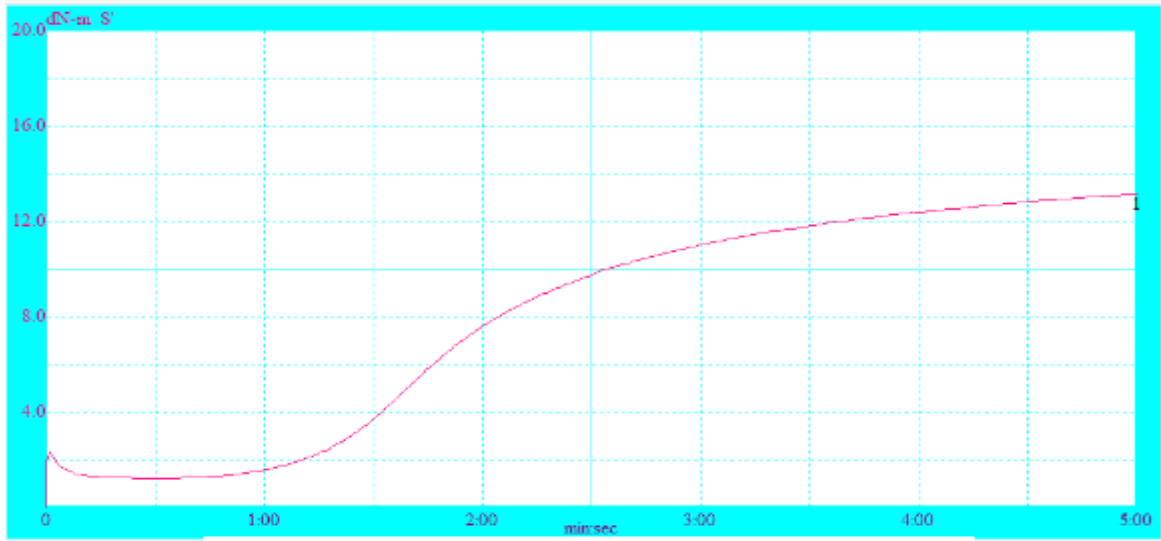
MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
15,77	1,22	00:49	02:04

Şekil 75. Homojen karıştırılmış NR kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu



MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
17,22	1,65	00:55	02:19

Şekil 76. Püskürtme tekniği ile NR kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu

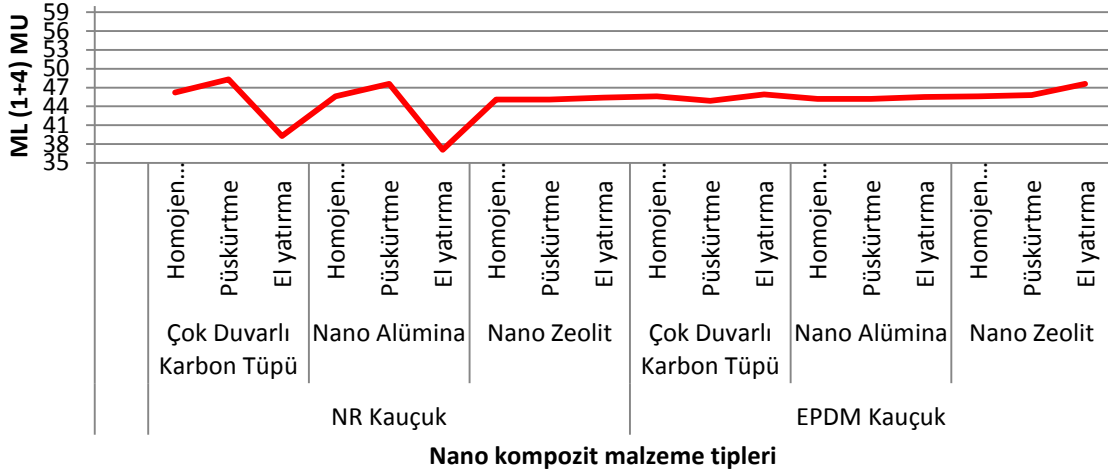


MH (dN-m)	ML (dN-m)	tc10 (dk:sn)	tc90 (dk:sn)
13,13	1,20	01:17	03:37

Şekil 77. El yatırma yöntemi ile EPDM kauçuğa %1,10 takviyeli nano partiküllü zeolit rheometre test sonucu

4.4. Viskozite – Mooney Test Sonuçları

Kauçuğun, verimli şekil alabilmesi için gerekli testlerden biride viskozite – mooney testidir. Bu test kauçuğun erken pişmesi ve şekil alabilme sonuçlarını çıkartmaktadır. Elde edilen numunelere ASTM D 1646 standartına uygun şekilde 100 °C, 30 dakika sınır şartları altında ML (1+4) değeri tespit edilmiş ve Şekil 76. 'da ayrıntılı olarak verilmiştir.



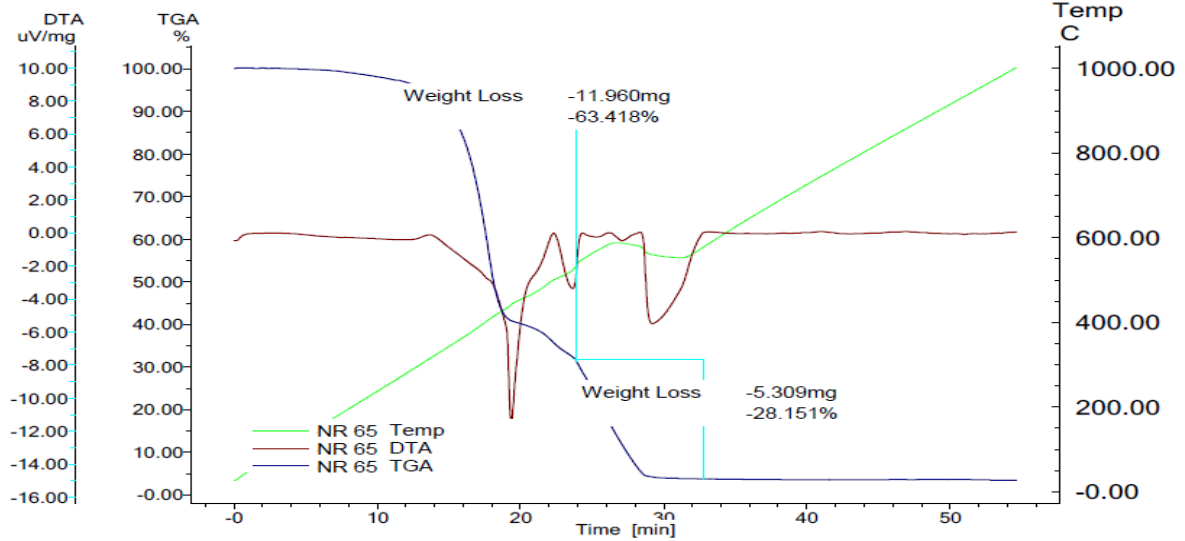
Kauçuk Tipi	Takviye Malzemesi	Karıştırma Yöntemi	ML (1+4) (MU)
NR Kauçuk	Çok Duvarlı Karbon Tüpü	Homojen Karıştırma	46,2
		Püskürtme	48,3
		El yatırma	39,3
	Nano Alümina	Homojen Karıştırma	45,6
		Püskürtme	47,6
		El yatırma	37,1
	Nano Zeolit	Homojen Karıştırma	45,1
		Püskürtme	45,1
		El yatırma	45,4
EPDM Kauçuk	Çok Duvarlı Karbon Tüpü	Homojen Karıştırma	45,6
		Püskürtme	44,9
		El yatırma	45,9
	Nano Alümina	Homojen Karıştırma	45,2
		Püskürtme	45,2
		El yatırma	45,5
	Nano Zeolit	Homojen Karıştırma	45,6
		Püskürtme	45,8
		El yatırma	47,6

Şekil 78. Nano malzeme takviyeli kauçuk numunelerinin viskozite – mooney test sonucu

4.5. Termal Karakterizasyon Analiz Testleri

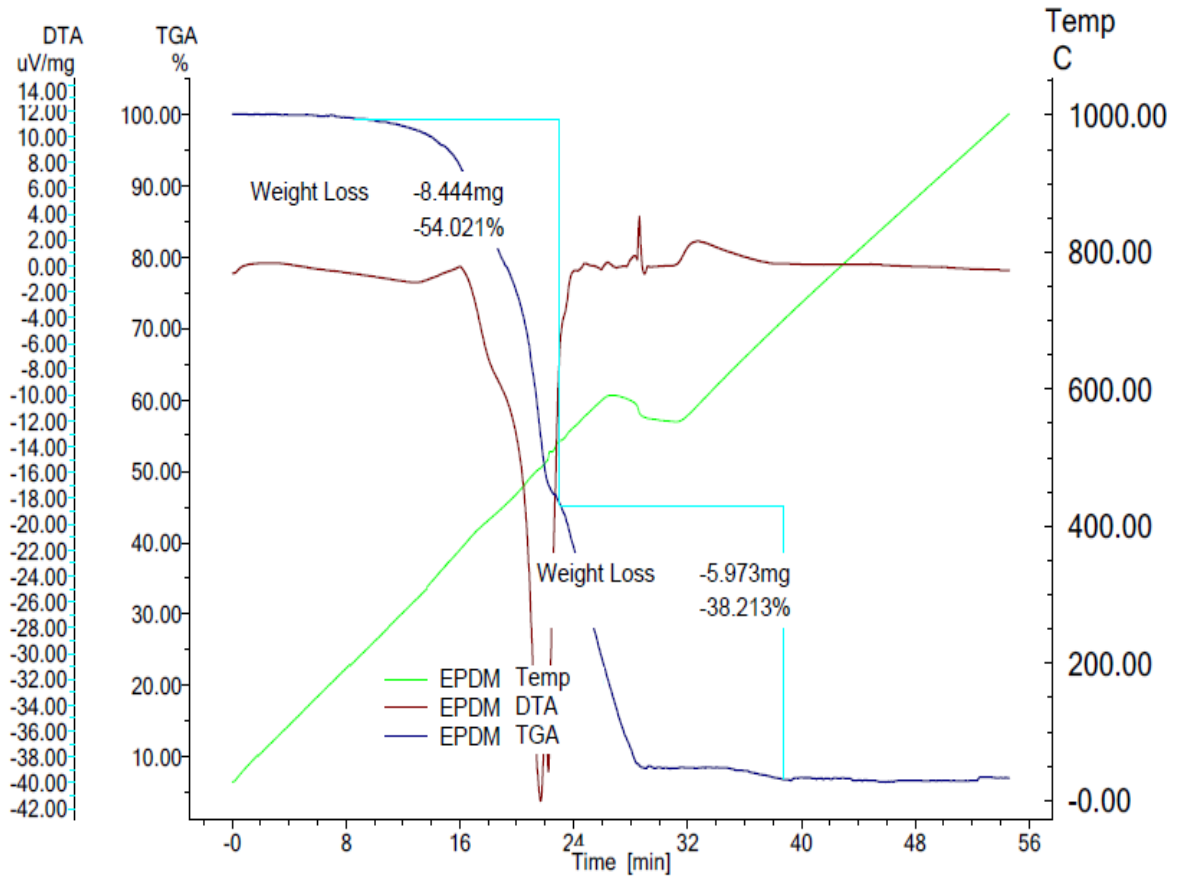
Kauçuk gibi polimerik malzemelerin, karakterizasyonu belirlemek için hızlı ve etkili yöntemlerinden biri olarak dikkat çekmektedir. Farklı hammaddelerin belirli oranda karıştırılmasıyla oluşan kauçukların içinde ne kadar oranda hammadde kullanımı olduğunu belirlemek amacıyla TGA, FT – IR, SEM gibi sonuçların gösterilmesi gerekmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda kauçukların tasarımı ve karışımlar içindeki dağılımını görmek mümkündür.

Numune karışım içerisindeki bileşim oranlarını termal davranışları gibi karakteristik özellikleri bulmak amacıyla termal bir ayırışma ile ölçüm yapılabilmektedir. Termogravimetrik analiz (TGA) ile numune kütlesindeki farklılıkları zaman fonksiyonuna göre elde edilmiştir. ASTM D 1131 standartlarına göre yapılan analizde, iki farklı kauçuğun farklı nano malzeme takviyesi yapılsa dahi sonuçlar birbirine yakın olduğu görülmüştür. TGA eğrilerinin birinci türevi diferansiyel termogramivetrik analiz (DTA) olarak tanımlanır. Termogravimetrik analiz ile nano kompozit kauçukların bileşim oranları Şekil 79.' da doğal kauçuk ve Şekil 80.'de ise EPDM kauçuk için analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 79. Doğal kauçuk TGA ve DTA analiz sonuçları

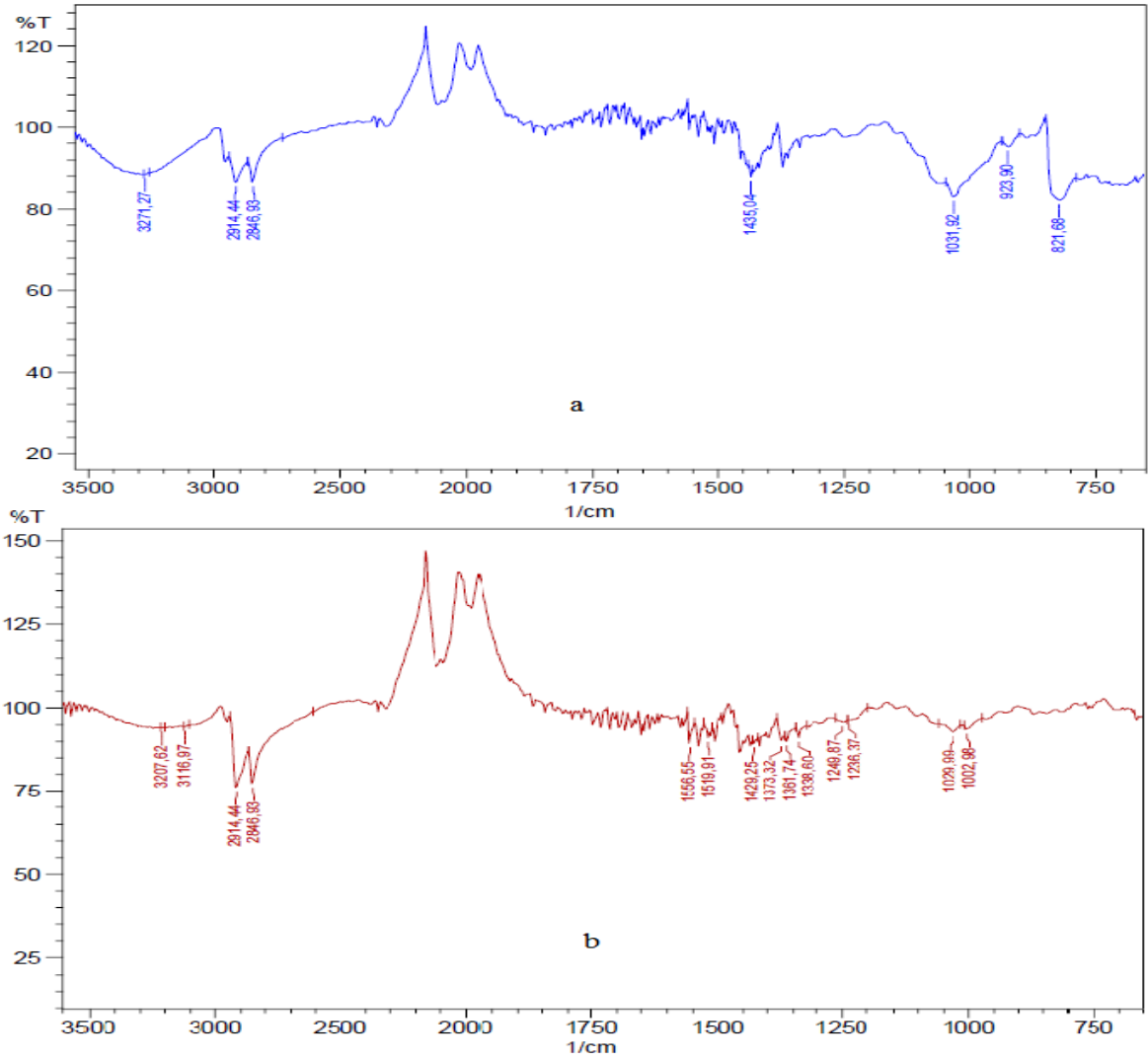
Elde edilen Şekil 77. 'ye göre % kütle – zaman fonksiyonlarına göre öncelikle uçucu madde ve yağ polimerlerinin yanmaya uğradığını (200 °C – 300 °C), daha sonra ise karışım içinde bulunan kauçuk polimerlerinin (500 °C – 575 °C) ve en son olarak ise inorganik malzemelerin (850 °C – 950 °C) yandığı ve % kütle kaybına yol açtığı görülmüştür.



Şekil 80. EPDM kauçuk TGA ve DTA analiz sonuçları

Elde edilen Şekil 80. 'e göre % kütle – zaman fonksiyonlarına göre öncelikle uçucu madde ve yağ polimerlerinin yanmaya uğradığını (200 °C – 400 °C), daha sonra ise karışım içinde bulunan kauçuk polimerlerinin (500 °C – 600 °C) ve en son olarak ise inorganik malzemelerin (800 °C – 900 °C) yandığı ve % kütle kaybına yol açtığı görülmüştür.

Termal karakterizasyon testlerinden olan Fourier Transform Infrared Spektrofotometre (FT-IR) ile kauçuğun, moleküllerdeki kimyasal bağların titreme, eğilme, bükülme, sallanma vb. tüm hareketleri için gerekli olan enerji infrared ışınların elektro manyetik enerjisinden absorplanır. Burada ölçülen absorbanslar pikler ile ifade edilir. IR spektrumları, piklerin bulunduğu yere, yapılarına ve şekillerine göre incelenerek numunelerde malzeme cinsi tayin edilir. Pik boyu ve pik alanı ölçülerek standartlar ile karşılaştırmak suretiyle miktar tayini de yapılabilir. Bu test için ASTM D 3677 standartları kullanılır.

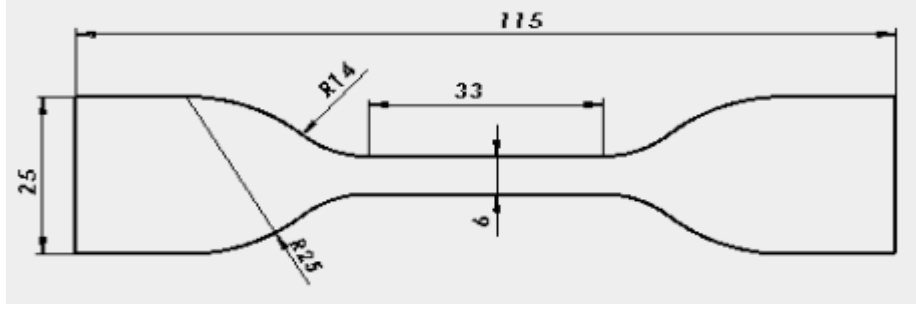


Şekil 81. a) Doğal kauçuk ve b) EPDM kauçuğun FT – IR test sonuç grafikleri

Farklı üretim metotlarıyla üretilen nano kompozit kauçuklarda nano malzemenin ve üretim tekniklerinin kauçuk tipine etki etmediği Şekil 81. 'de FT – IR (Geçirgenlik %T – Dalga sayısı cm^{-1}) analiz grafikleri verilmiştir. Grafiklerde belirtilen piklere göre malzeme kütüphanesinden NR ve EPDM kauçuk olduğu analiz sonucu olarak yorumlanmıştır.

4.6. Çekme Deneyi Test Sonuçları

Kauçuk, yapısı gereği non lineer bir malzeme olduğu bilinmektedir. Çekme testi ile malzemenin kopma dayanımı, elastite modülü, kopma uzaması gibi malzemenin mekanik davranışlarını gösteren sonuçlar elde edilebilir. Bu deneysel veriler ile matematiksel bir kavram oluşturarak modellenilebilir.

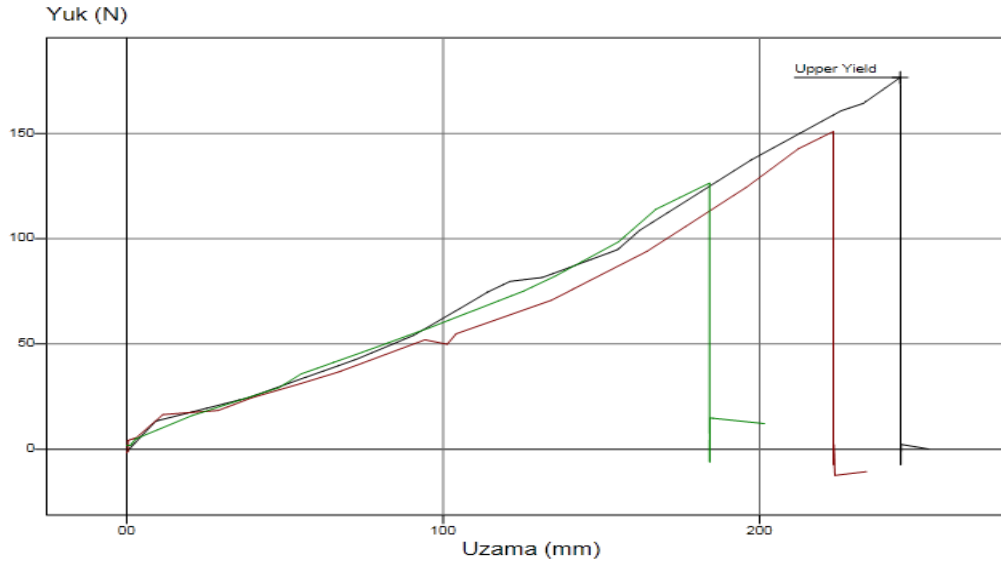


Şekil 82. ASTM D412 – C numune boyutları

Bu bölümde, NR ve EPDM kauçuklara yapılan takviyeler sonucu mekanik özelliklerinin ne kadar değiştiği sonuçları paylaşılacaktır. Elde edilecek test numuneleri ise 150 °C 'de 10 dk. ısı transferli kalıp ile vulkanize edilmiştir. Test numuneleri ASTM D412 – C şekline göre kesme aparat sistemi ile çapaksız kesilerek, testler laboratuvar sıcaklığında, 200 mm/s hızında, ön yüklemesiz, 45 kN sabit bir çene kuvvetiyle testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar NR ve EPDM kauçuğun takviyesiz ve nano malzeme takviyeli olarak sonuçlar aşağıda grafiklerde verilmiştir. Her numune çeşidinden üç adet bulunmaktadır.

4.6.1. Doğal Kauçuk Test Sonuçları

1) Takviyesiz NR Kauçuk Test Sonuçları



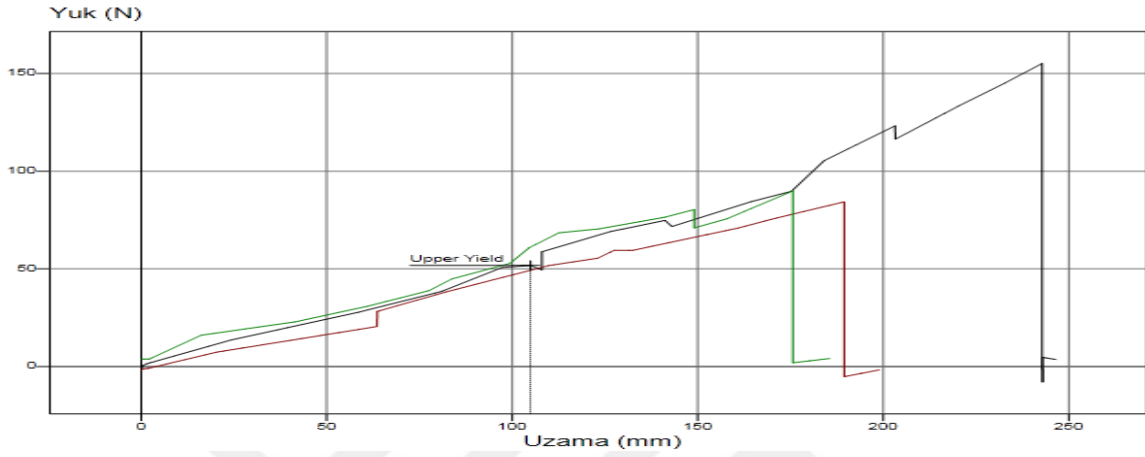
Şekil 83. Takviyesiz NR Kauçuk Çekme Test Sonucu

Nano malzeme takviyesi olmadan yapılan çekme testlerinde üç numunenin kopma dayanımı ortalaması 150 N iken, maksimum dayanım ise 151,65 N olmuştur. Ortalama uzama 217 mm olduğu ve maksimum uzamanın ise 244,40 mm olduğu sonuçlanmıştır.

2) Çok Duvarlı Karbon Tüpü Takviyeli NR Kauçuk Test Sonuçları

a) Homojen Karıştırma Yöntemi;

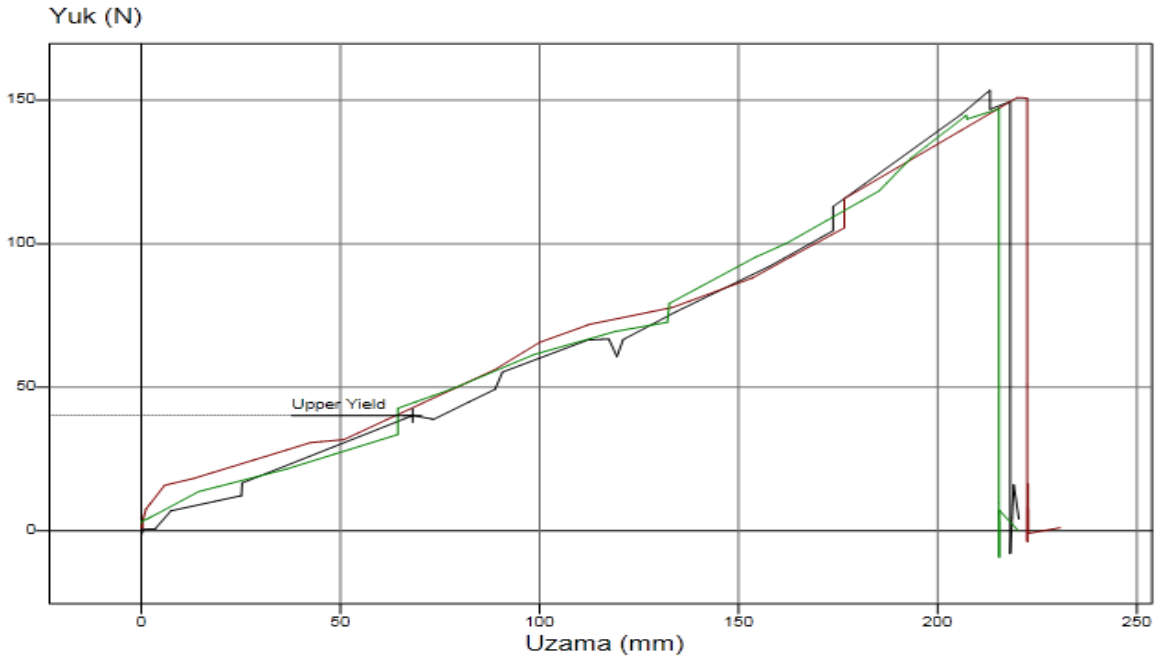
Çok duvarlı karbon tüp homojen takviyeli NR kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 109 N iken, ortalama uzama 237 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 155,17 N iken, maksimum uzama ise 242,83 mm 'dir.



Şekil 84. Homojen çok duvarlı karbon tüp takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu

b) Püskürtme Yöntemi;

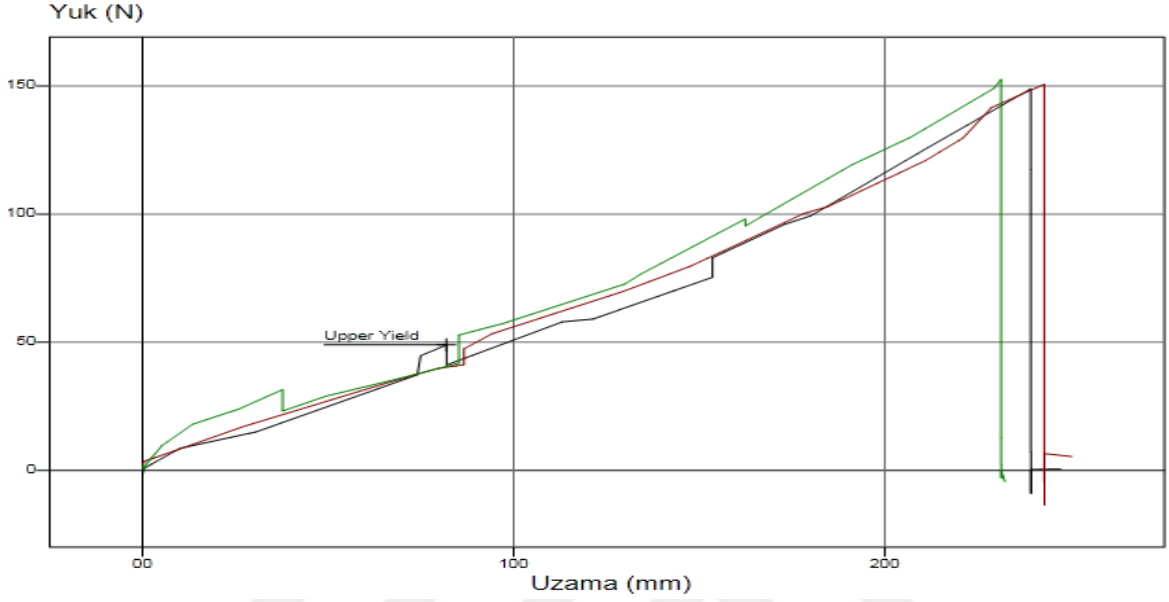
Püskürtme yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli NR kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 150 N iken, ortalama uzama 215 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 153,50 N iken, maksimum uzama ise 219,98 mm 'dir.



Şekil 85. Püskürtme yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu

c) *El yatırma Yöntemi;*

El yatırma yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli NR kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 150 N iken, ortalama uzama 202 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 152,53 N iken, maksimum uzama ise 242,90 mm 'dir.

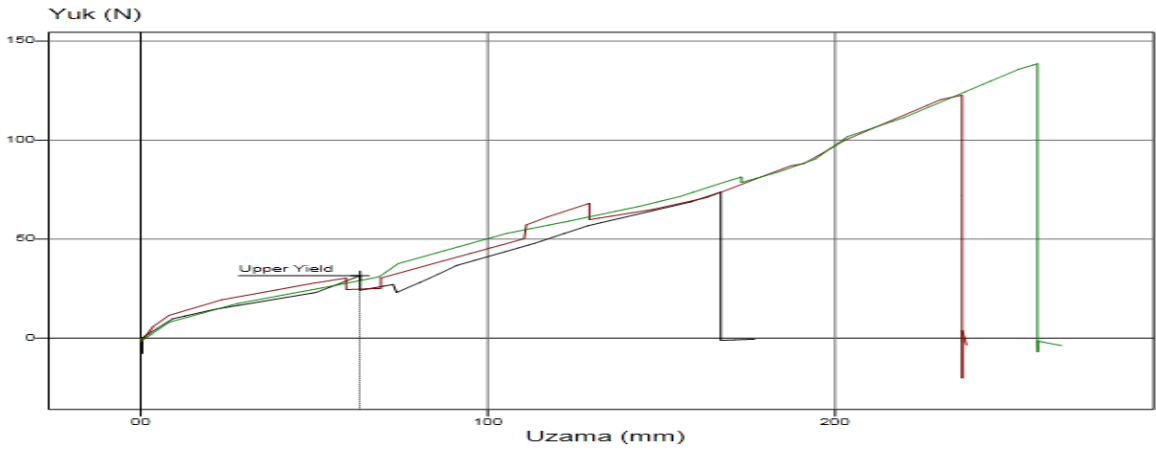


Şekil 86. El yatırma yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu

3) *Alümina Takviyeli NR Kauçuk Test Sonuçları*

a) *Homojen Karıştırma Yöntemi;*

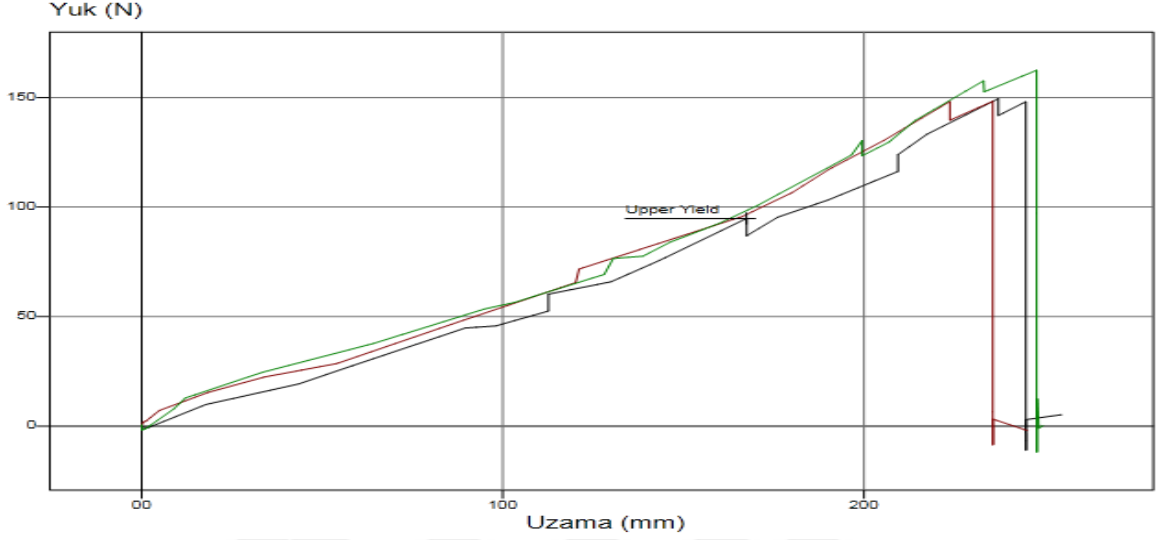
Homojen olarak dağıtılmış alümina takviyeli NR kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 111 N iken, ortalama uzama 220 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 138,64 N iken, maksimum uzama ise 258,28 mm 'dir.



Şekil 87. Homojen olarak dağıtılmış alümina takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu

b) Püskürtme Yöntemi;

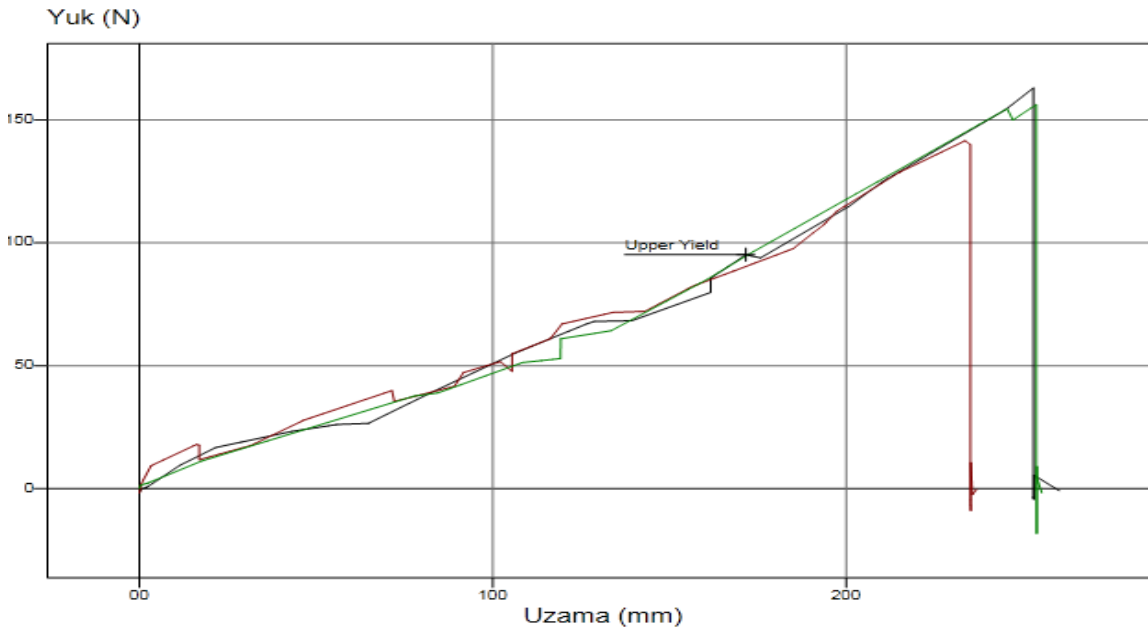
Püskürtme yöntemi ile üretilmiş alümina takviyeli NR kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 153 N iken, ortalama uzama 239 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 162,47 N iken, maksimum uzama ise 247,84 mm 'dir.



Şekil 88. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş alümina takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu

c) El yatırma Yöntemi;

El yatırma yöntemi ile alümina takviyeli NR kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 153 N iken, ortalama uzama 246 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 163,04 N iken, maksimum uzama ise 253,82 mm 'dir.

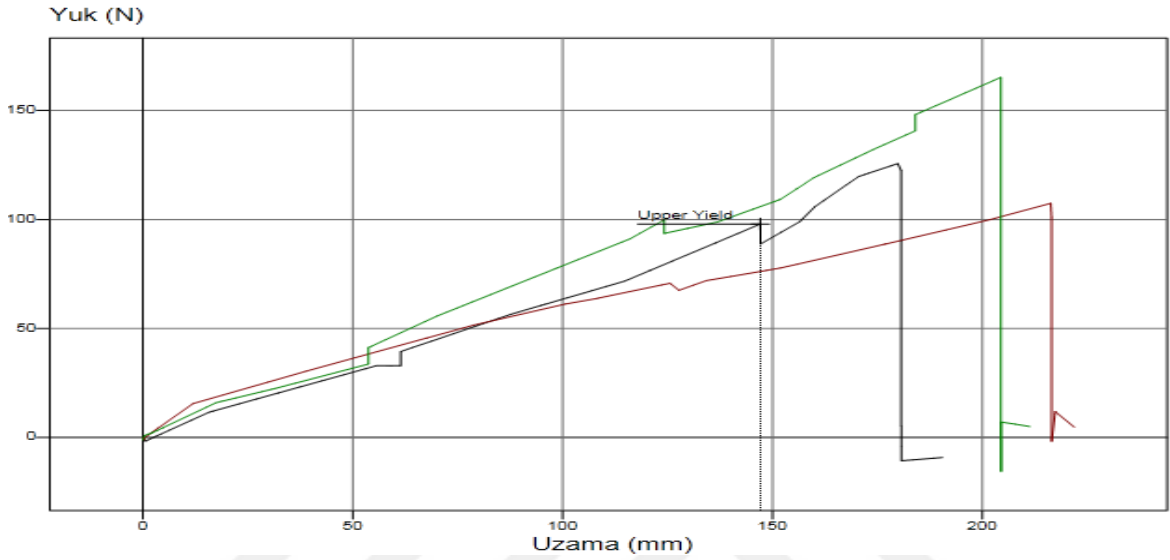


Şekil 89. El yatırma yöntemi ile alümina takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu

4) Zeolit Takviyeli NR Kauçuk Test Sonuçları

a) Homojen Karıştırma Yöntemi;

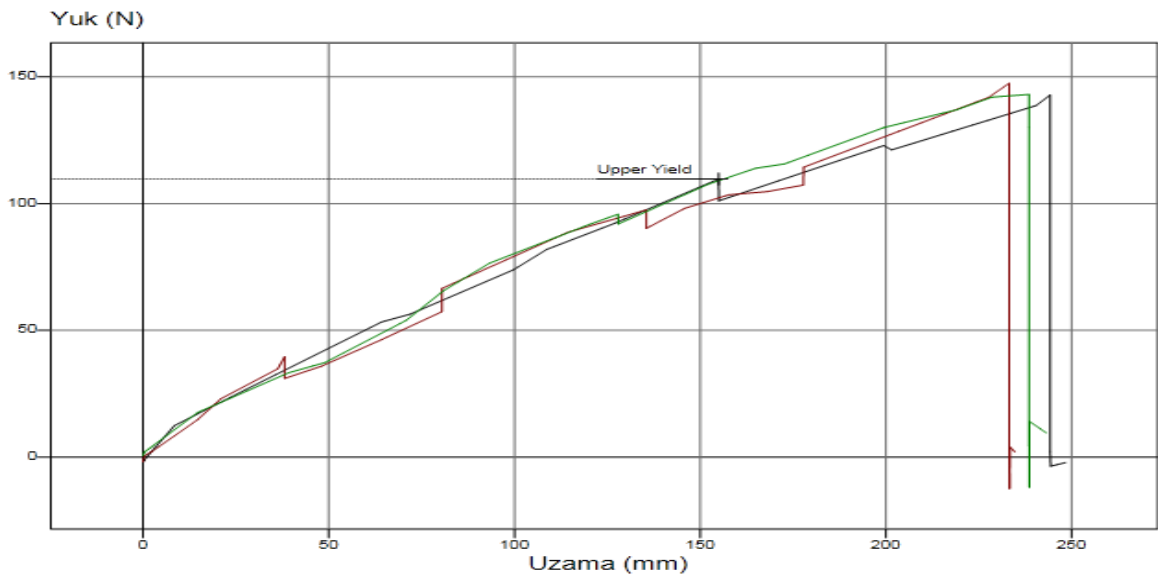
Homojen olarak dağıtılmış zeolit takviyeli NR kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 132 N iken, ortalama uzama 200 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 165,24 N iken, maksimum uzama ise 216,28 mm 'dir.



Şekil 90. Homojen olarak dağıtılmış zeolit takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu

b) Püskürtme Yöntemi;

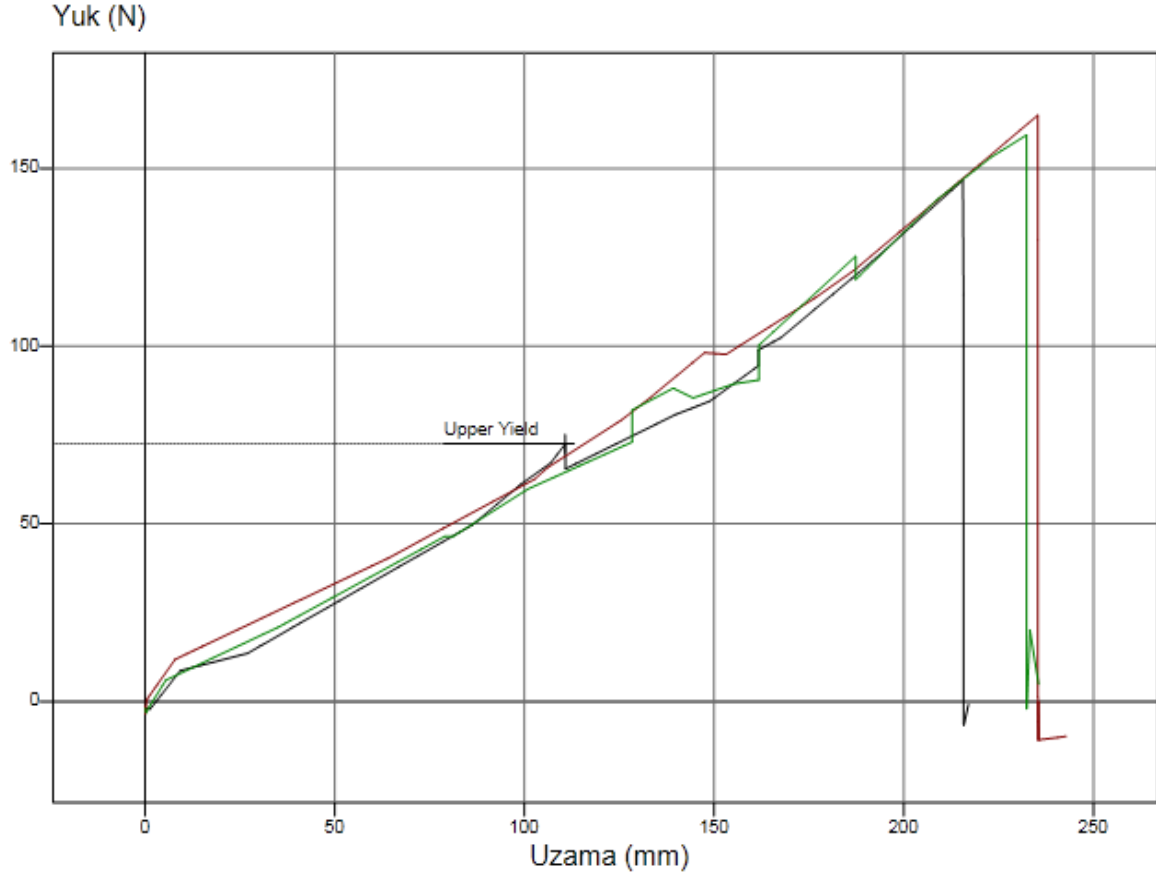
Püskürtme yöntemi ile üretilmiş zeolit takviyeli NR kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 153 N iken, ortalama uzama 238 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 144 N iken, maksimum uzama ise 244,18 mm 'dir.



Şekil 91. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş zeolit takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu

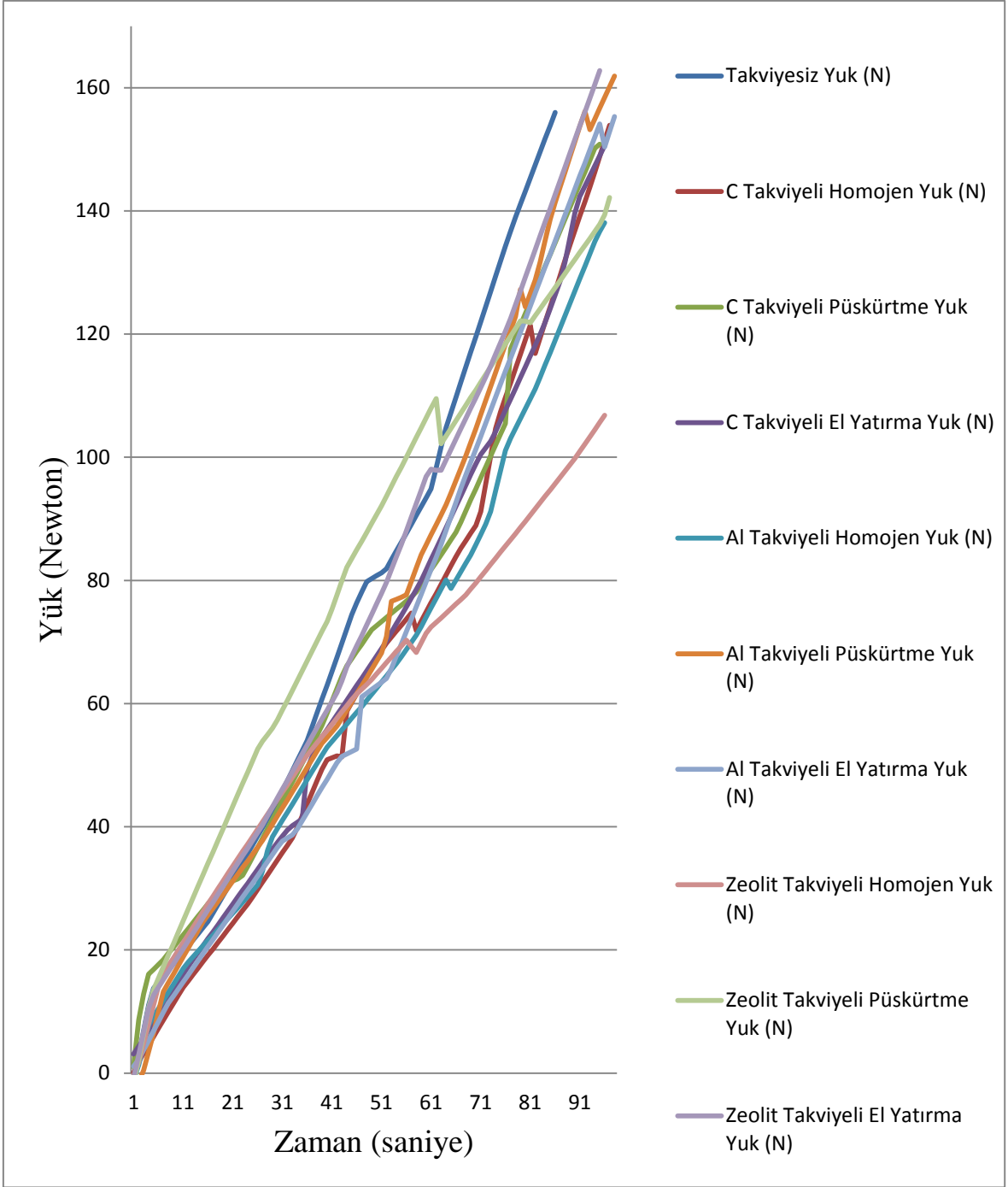
c) *El yatırma Yöntemi;*

El yatırma yöntemi ile zeolit takviyeli NR kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 156 N iken, ortalama uzama 227 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 164,97 N iken, maksimum uzama ise 235,34 mm 'dir.



Şekil 92. El yatırma yöntemi ile zeolit takviyeli NR kauçuk çekme test sonucu

Elde edilen çekme test sonuçlarına göre NR kauçuğa takviyesiz ve takviyeli karışımların karşılaştırılmalı test sonuçları Şekil 93. 'te verilmiştir.



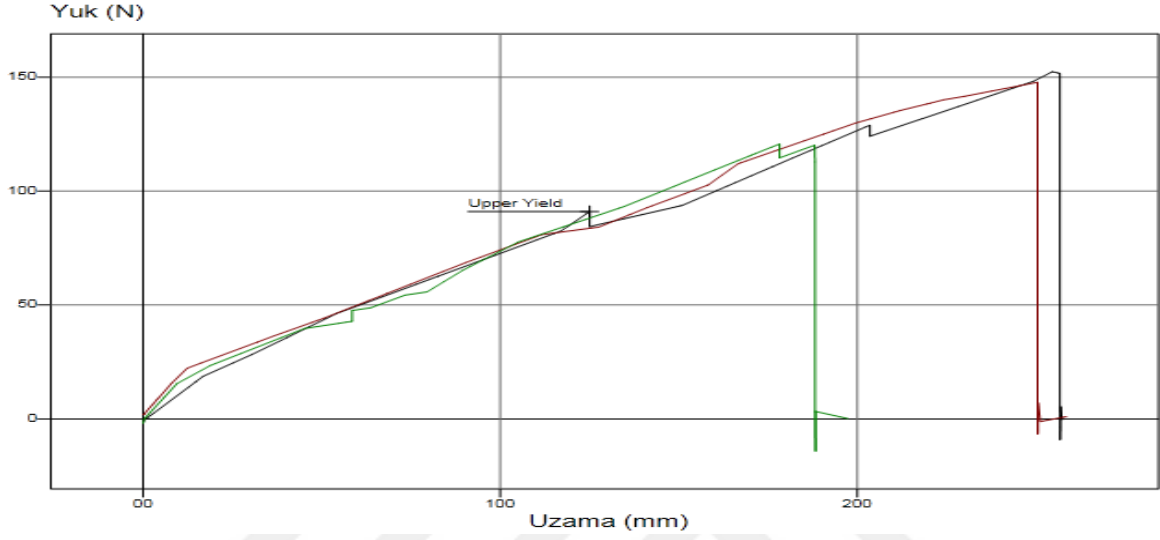
Şekil 93. Takviyeli ve takviyesiz doğal kauçuk çekme test sonuçları

Doğal kauçuğa yapılan nano malzeme takviyelerden sonra en iyi kopma dayanımı alümina püskürtme yöntemi ve zeolit el yatırma yöntemi ile olmuştur. En iyi uzama miktarı ise alümina takviyelerinde gerçekleşmiştir. Bu durumlardan dolayı doğal kauçuğun mekaniksel özelliklerine etkisi incelendiğinde krank kasmağı dayanımı için alümina takviyeleri püskürtme yöntemi ile, zeolit nano malzemesinin ise el yatırma yöntemi ile yapılması uygun olduğu deneysel veriler ile doğrulanmıştır.

4.6.2. EPDM Kauçuk Test Sonuçları

1) Takviyesiz EPDM Kauçuk Test Sonuçları

Nano malzeme takviyesi olmadan yapılan çekme testlerinde üç numunenin kopma dayanımı ortalaması 140 N iken, maksimum dayanım ise 152,40 N olmuştur. Ortalama uzama 227 mm olduğu ve maksimum uzamanın ise 254,59 mm olduğu sonuçlanmıştır.

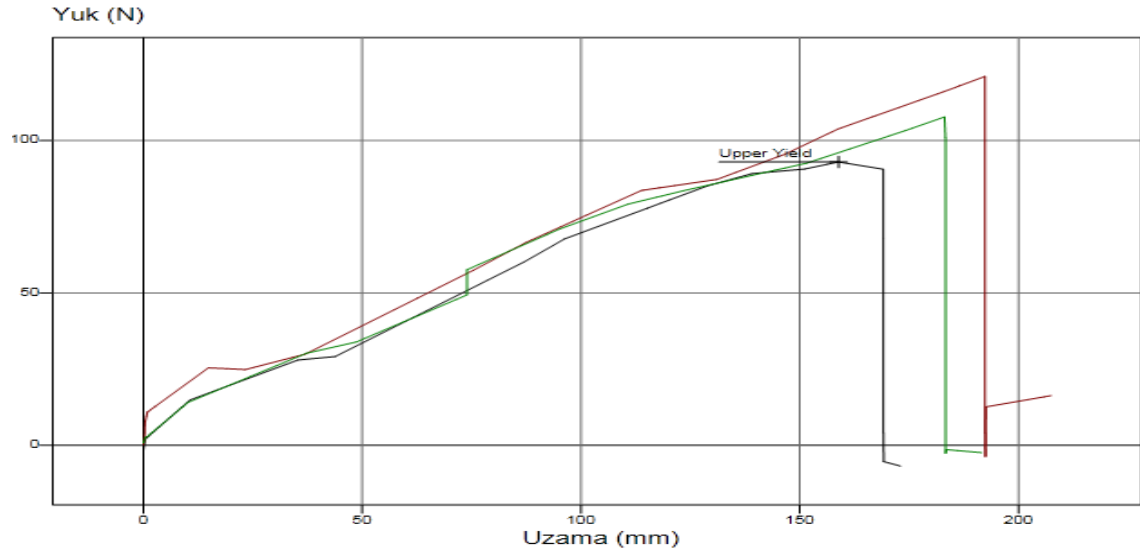


Şekil 94. Takviyesiz EPDM kauçuk çekme test sonucu

2) Çok Duvarlı Karbon Tüpü Takviyeli EPDM Kauçuk Test Sonuçları

a) Homojen karıştırma;

Çok duvarlı karbon tüp homojen takviyeli EPDM kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 107 N iken, ortalama uzama 177 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 121,12 N iken, maksimum uzama ise 192,33 mm 'dir.



Şekil 95. Homojen çok duvarlı karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk çekme testi sonucu

a) Püskürtme Yöntemi;

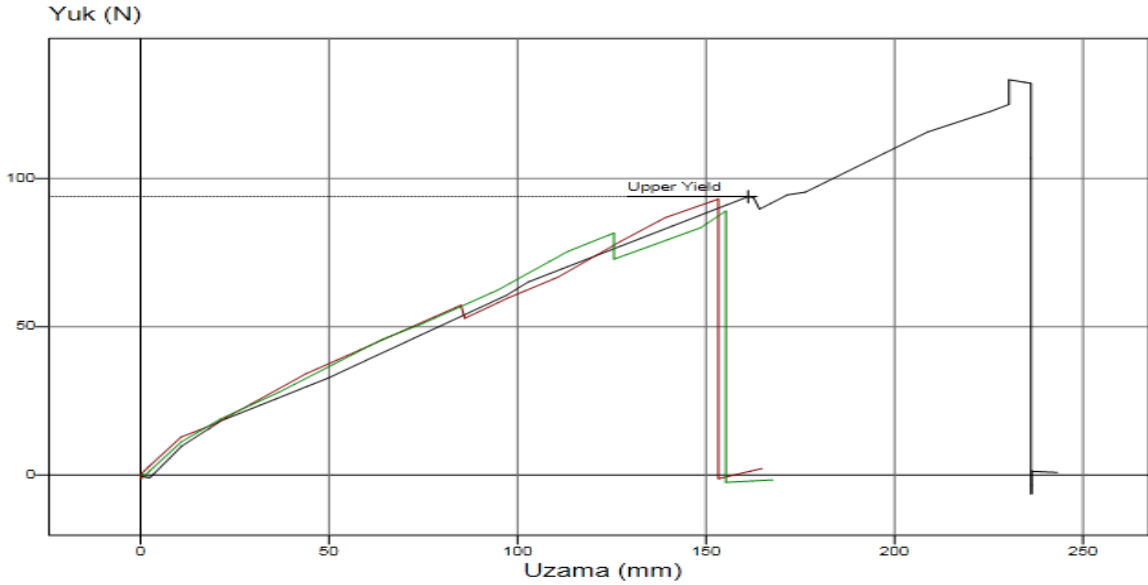
Püskürtme yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli EPDM kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 88 N iken, ortalama uzama 133 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 115,64 N iken, maksimum uzama ise 189,56 mm 'dir.



Şekil 96. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş çok duvarlı karbon tüp takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu

b) El yatırma Yöntemi;

El yatırma yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli EPDM kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 105 N iken, ortalama uzama 180 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 133,30 N iken, maksimum uzama ise 230,36 mm 'dir.

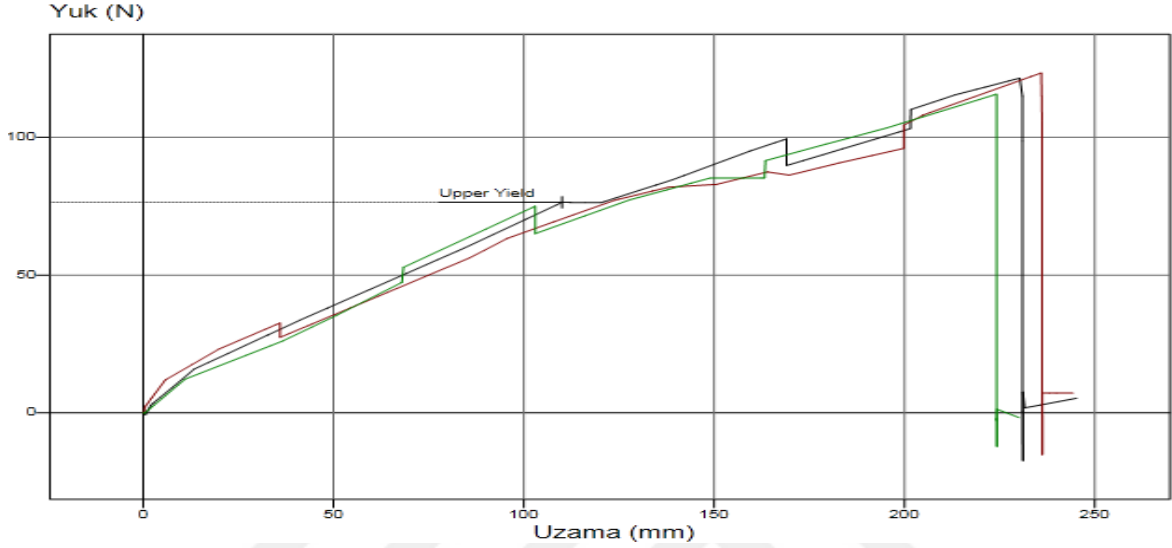


Şekil 97. El yatırma yöntemi ile çok duvarlı karbon tüp takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonuçları

3) Alümina Takviyeli EPDM Kauçuk Test Sonuçları

a) Homojen karıştırma;

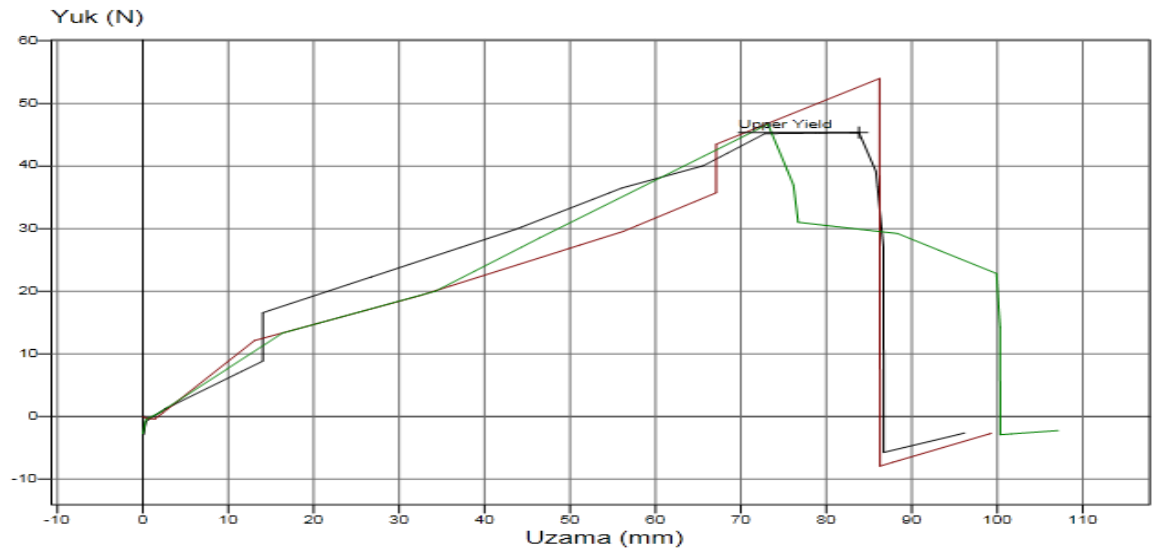
Homojen olarak dağıtılmış alümina takviyeli EPDM kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 120 N iken, ortalama uzama 229 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 123,45 N iken, maksimum uzama ise 235,92 mm 'dir.



Şekil 98. Homojen olarak dağıtılmış alümina takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu

b) Püskürtme Yöntemi;

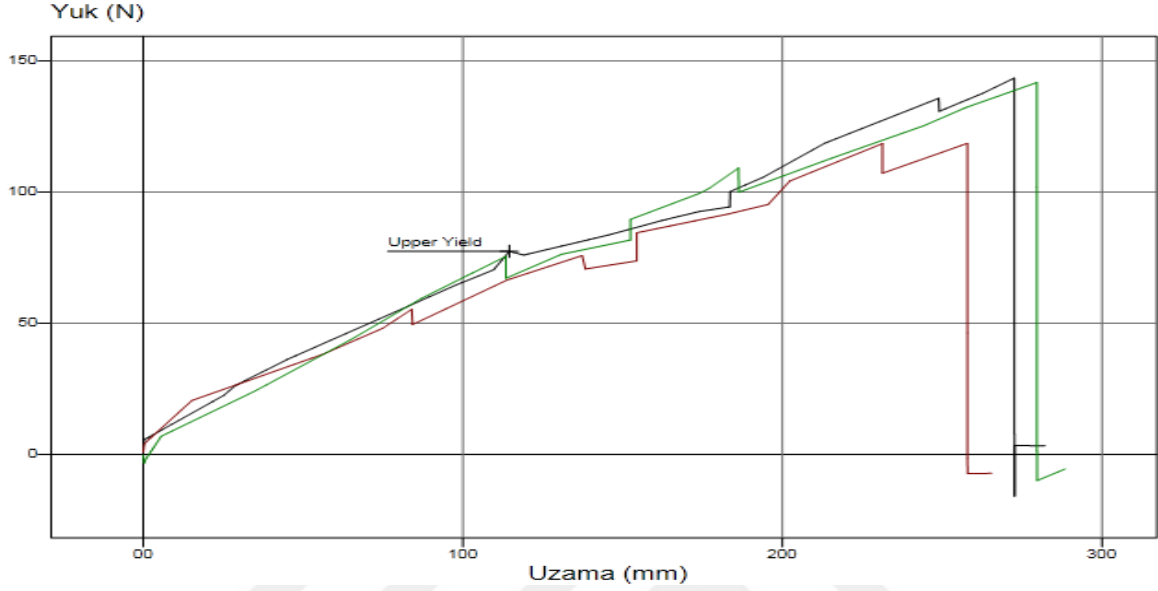
Püskürtme yöntemi ile üretilmiş alümina takviyeli EPDM kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 48 N iken, ortalama uzama 80 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 53,92 N iken, maksimum uzama ise 86,217 mm 'dir.



Şekil 99. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş alümina takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu

c) *El Yatırma Yöntemi;*

El yatırma yöntemi ile alümina takviyeli EPDM kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 134 N iken, ortalama uzama 270 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 143,48 N iken, maksimum uzama ise 279,63 mm 'dir.

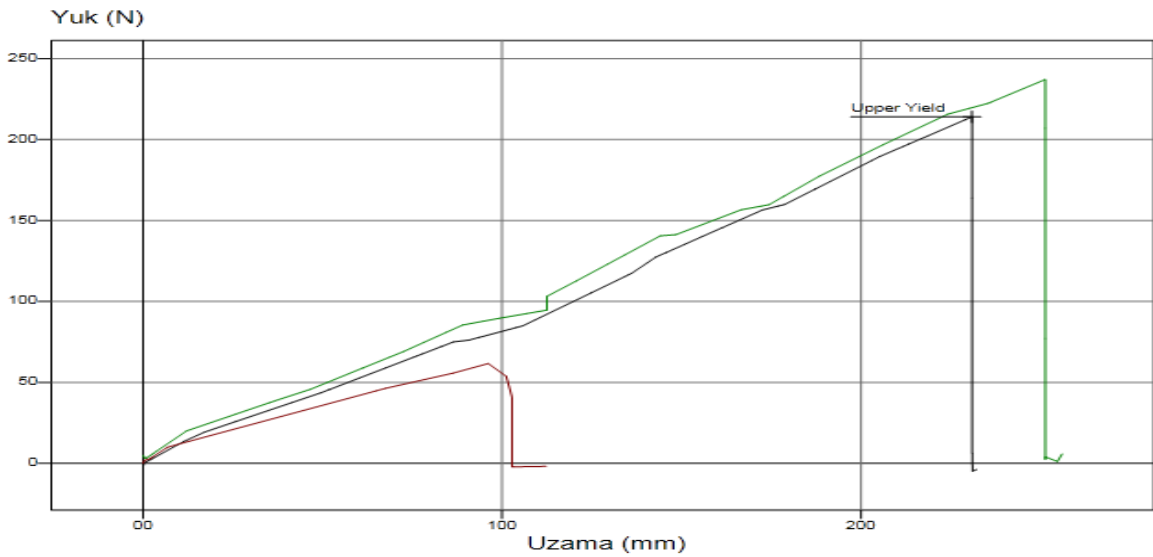


Şekil 100. El yatırma yöntemi ile alümina takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu

4) *Zeolit Takviyeli EPDM Kauçuk Test Sonuçları*

a) *Homojen karıştırma;*

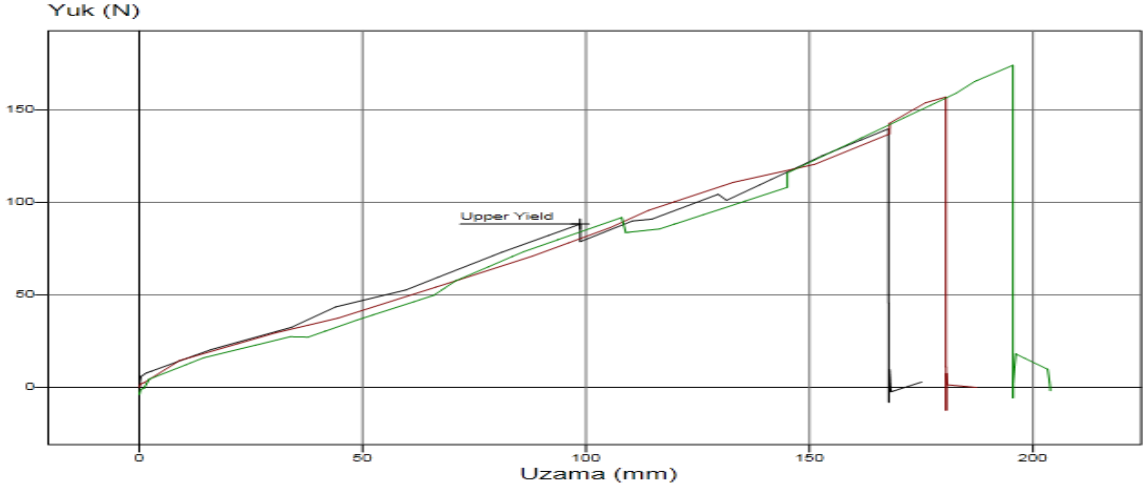
Homojen olarak dağıtılmış zeolit takviyeli EPDM kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 132 N iken, ortalama uzama 200 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 237,13 N iken, maksimum uzama ise 251,33 mm 'dir.



Şekil 101. Homojen olarak dağıtılmış zeolit takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu

b) Püskürtme Yöntemi;

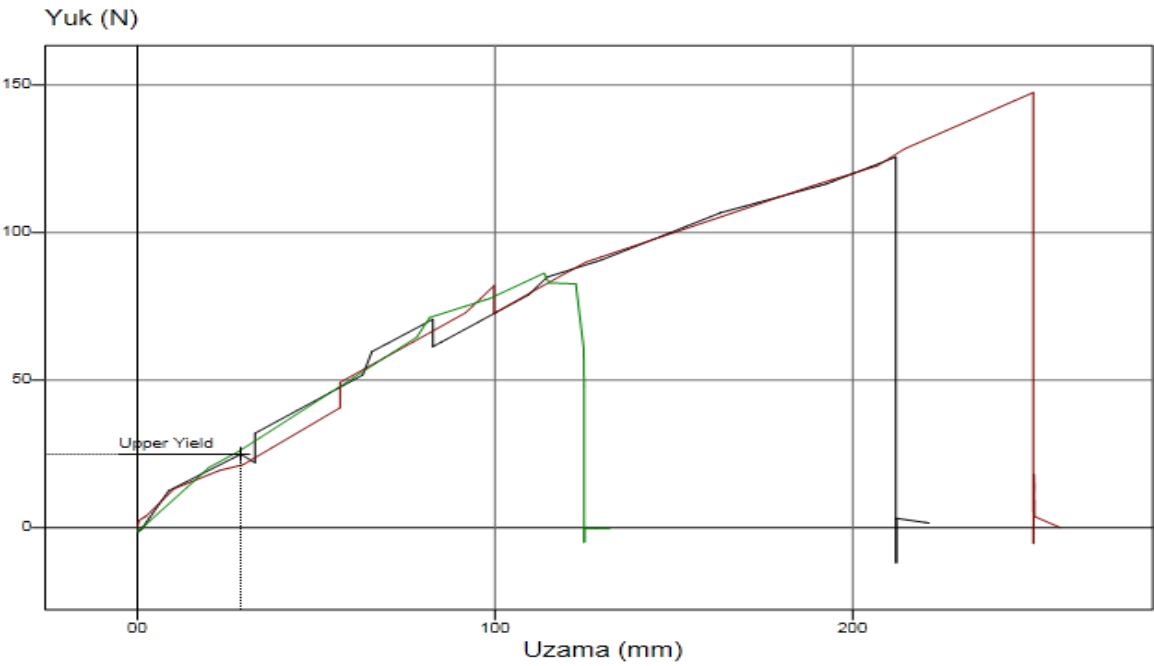
Püskürtme yöntemi ile üretilmiş zeolit takviyeli EPDM kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 157 N iken, ortalama uzama 180 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 174,22 N iken, maksimum uzama ise 195,51 mm 'dir.



Şekil 102. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş zeolit takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu

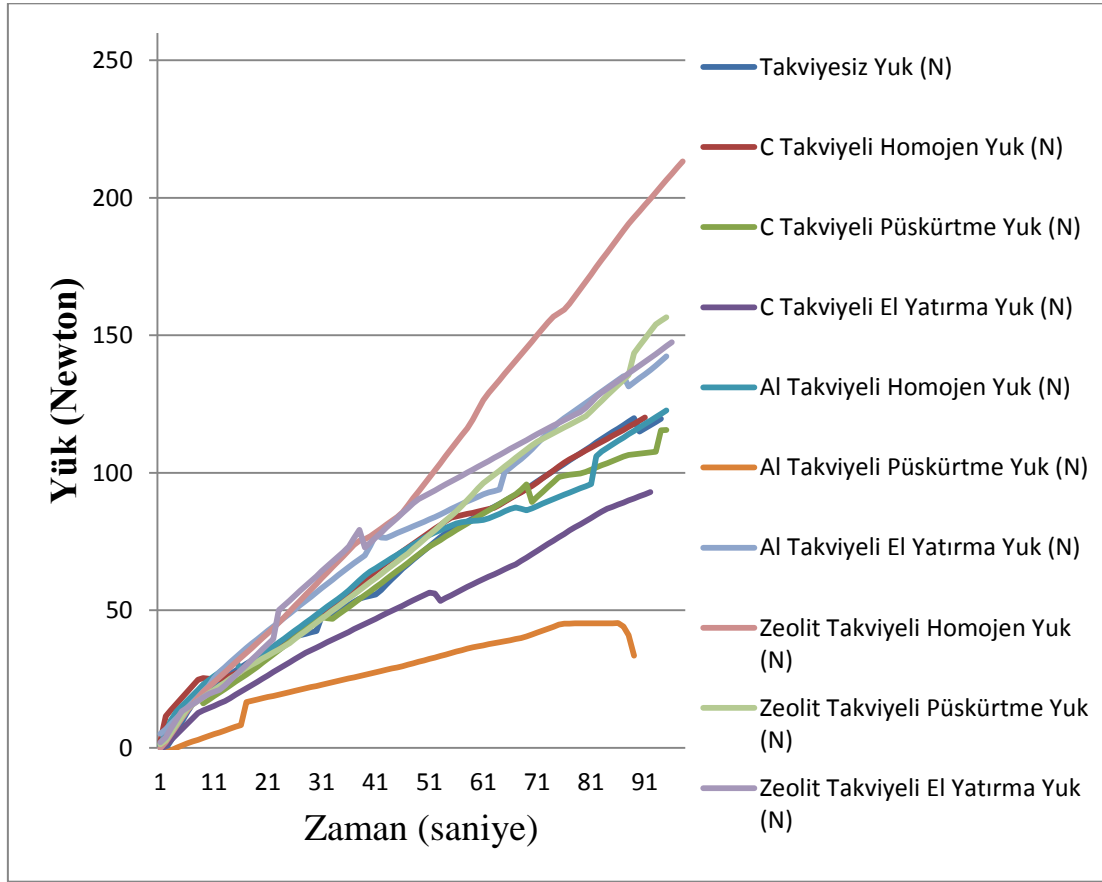
c) El Yatırma Yöntemi;

El yatırma yöntemi ile zeolit takviyeli EPDM kauçuk numunesinde ortalama kopma dayanımı 119 N iken, ortalama uzama 191 mm 'dir. Maksimum kopma dayanımı 147,48 N iken, maksimum uzama ise 250,44 mm 'dir.



Şekil 103. El yatırma yöntemi ile zeolit takviyeli EPDM kauçuk çekme test sonucu

Elde edilen çekme test sonuçlarına göre EPDM kauçuğa takviyesiz ve takviyeli karışımların karşılaştırılmalı test sonuçları Şekil 104. 'te verilmiştir.



Şekil 104. Takviyeli ve takviyesiz EPDM kauçuk çekme test sonuçları

Elde edilen deneysel veriler Şekil 104. 'de görüldüğü üzere EPDM kauçuğa homojen olarak üretilmiş zeolit takviyesi kopma dayanımı ve maksimum uzama özelliğine sahiptir. EPDM kauçuğa nano alümina takviyesi sonuçlarına bakıldığında ise EPDM kauçuğun mekanik özelliklerini düşürdüğü görülmektedir. Çok duvarlı karbon tüpünün takviyesinde ise mekanik özelliklere katkısı nano alümina takviyesine göre daha fazla olmuştur. Bütün bu özellikler incelendiğinde EPDM kauçuk için en iyi takviyesinin zeolit takviyesi olduğu görülmüştür. Bu nedenle EPDM ile üretilecek olan krank kasnağında zeolit nano malzemesini homojen karıştırma yöntemi ile üretilerek etkileri incelenecektir.

Krank kasnağında görülen problemlerden olan kauçuk kopması ve kauçuk erimesine ilişkin takviye edici numuneler deneysel veriler ile çıkmasına rağmen iki farklı tip kauçuğun burulma katılığı, doğal frekans etkileri, titreşim sönümlenme kabiliyetlerine bakılması gerekir.

Çizelge 10. Numunelerin mekanik özellikleri tanımlanması

Kauçuk Tipi	Takviye Malzemesi	Karıştırma Yöntemi	Gerilme (%)	Elastide Modülü (N/mm ²)	Poisson oranı
NR Kauçuk	Çok Duvarlı Karbon Tüpü	Homojen Karıştırma	15,00%	5000,00	0,03
		Püskürtme	13,50%	5555,56	0,05
		El yatırma	9,00%	8333,33	0,17
	Nano Alümina	Homojen Karıştırma	5,60%	13392,86	0,21
		Püskürtme	5,00%	15000,00	0,04
		El yatırma	0,30%	250000,00	1,00
	Nano Zeolit	Homojen Karıştırma	6,50%	11538,46	0,25
		Püskürtme	1,80%	41666,67	0,89
		El yatırma	20,00%	3750,00	0,05
EPDM Kauçuk	Çok Duvarlı Karbon Tüpü	Homojen Karıştırma	8,00%	9375,00	0,14
		Püskürtme	4,60%	16304,35	0,04
		El yatırma	7,50%	10000,00	0,25
	Nano Alümina	Homojen Karıştırma	2,00%	37500,00	0,85
		Püskürtme	4,20%	17857,14	0,71
		El yatırma	2,30%	32608,70	0,61
	Nano Zeolit	Homojen Karıştırma	6,50%	11538,46	0,22
		Püskürtme	5,80%	12931,03	0,43
		El yatırma	1,40%	53571,43	0,14

Numunelerin, mekanik özellikleri Çizelge 10. 'da verilmiştir. Bu değerlerden %Gerilme değeri, çekme testinde başlangıç uzunluğuna göre uzadığı miktardır ($\Delta L/L_0$). %Gerilme değeri arttıkça numunelerin uzama miktarları da artmaktadır. Bu durumda, nano zeolit takviyeli el yatırma yöntemi ile üretilmiş doğal kauçuk numunesi %20 gerilme değeri ile en yüksek değerdedir. En fazla uzamayı da bu numune de görmektedir.

Ürün tasarım parametrelerinden olan elastite modülü, zorlama kuvvetinin gerilmeye oranı olarak bilinmektedir. Elastite modülünün birimi N/mm^2 (MPa)'dir. Elastite modülünün artması, malzemenin kalıcı deformasyon değişimine uğramadan gösterdiği dirençte artmasına sebep olur. Non lineer malzeme olan kauçuk sıcaklığın etkisiyle elastite modülünde değişmesine neden olur. Numuneler arasında alümina nano malzemenin el yatırma yöntemiyle üretilmiş olan doğal kauçuk numunesi 250 GPa ile en yüksek, zeolit nano malzemesinin el yatırma yöntemi ile üretilmiş olan doğal kauçuk 3,750 GPa ile en düşük elastite modülüne sahiptir.

Poisson oranı (ν) ise, Eşitlik 4.5.1. 'de olduğu gibi malzemenin hem enine hemde boyuna uzamasındaki orandır. Kauçuk, metallere kıyaslandığı zaman hem eninde hemde boyunda uzama oranı yüksek bir malzemedir. Özellikle %100, %200 ve %300 modüllüslere sahip bir malzemedir. Kendi boyunun 4 katı ve üzerinde bir uzamaya sahiptir.

$$\nu = \frac{\text{Birim genişlikteki genişlik değişimi}}{\text{Birim uzunluktaki uzunluk değişimi}} = \frac{\Delta w}{\Delta L} \quad (4.5.1.)$$

4.7. Burulma Katılığı Test Sonuçları

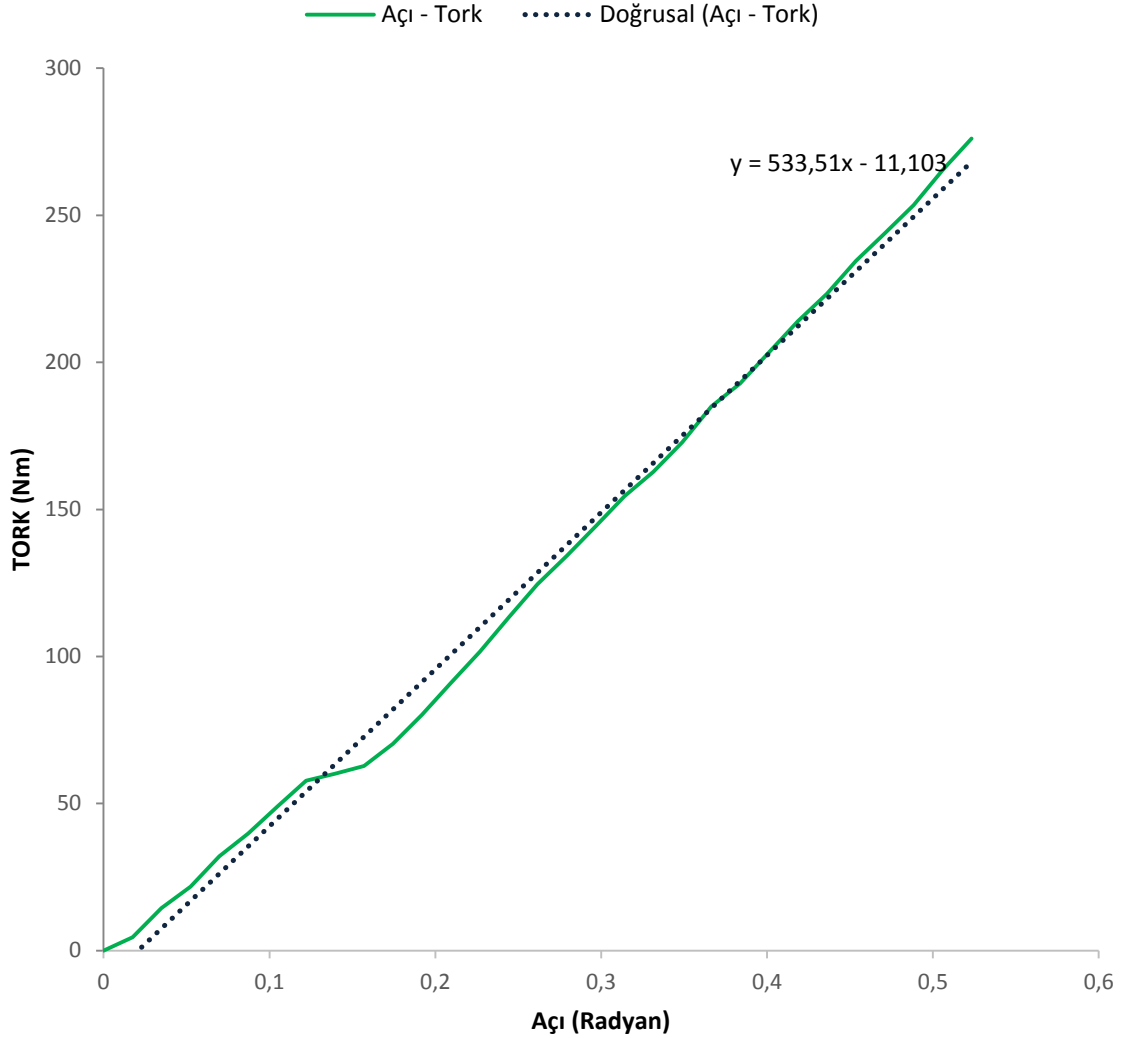
Krank kasnakları için doğal frekans önemli bir tasarım parametresidir. Bu nedenle doğal frekansı etkileyen iki önemli faktör ise burulma katılığı (Kt) ve atalet kütlesi (J) 'dir. Burulma katılığı, açı – tork grafiğinin tanjant değerine eşittir. Aynı zamanda kauçuk alanının sertlik değeri de burulma katılığına etki eden bir faktördür. Bu nedenle Çizelge 11. 'de kauçuk numunelerin Shore A (Sh A) cinsinden Huatec Lx-A manuel shoremetre ile ölçümleri verilmiştir.

Çizelge 11. Numunelerin Sh-A cinsinden sertlik değerleri ve % Değişim oranları

Kauçuk Tipi	Takviye Malzemesi	Karıştırma Yöntemi	Sertlik (Shore A)	% Değişim
NR Kauçuk	Takviyesiz		54	-
	Çok Duvarlı Karbon Tüpü	<i>Homojen Karıştırma</i>	54	0,0%
		<i>Püskürtme</i>	53	1,9%
		<i>El yatırma</i>	59	8,5%
	Nano Alümina	<i>Homojen Karıştırma</i>	51	5,6%
		<i>Püskürtme</i>	54	0,0%
		<i>El yatırma</i>	53	1,9%
	Nano Zeolit	<i>Homojen Karıştırma</i>	62	12,9%
		<i>Püskürtme</i>	65	16,9%
		<i>El yatırma</i>	57	5,3%
EPDM Kauçuk	Takviyesiz		63	-
	Çok Duvarlı Karbon Tüpü	<i>Homojen Karıştırma</i>	65	3,08%
		<i>Püskürtme</i>	66	1,52%
		<i>El yatırma</i>	61	3,17%
	Nano Alümina	<i>Homojen Karıştırma</i>	57	9,52%
		<i>Püskürtme</i>	59	6,35%
		<i>El yatırma</i>	57	9,52%
	Nano Zeolit	<i>Homojen Karıştırma</i>	60	4,76%
		<i>Püskürtme</i>	62	1,59%
		<i>El yatırma</i>	64	1,56%

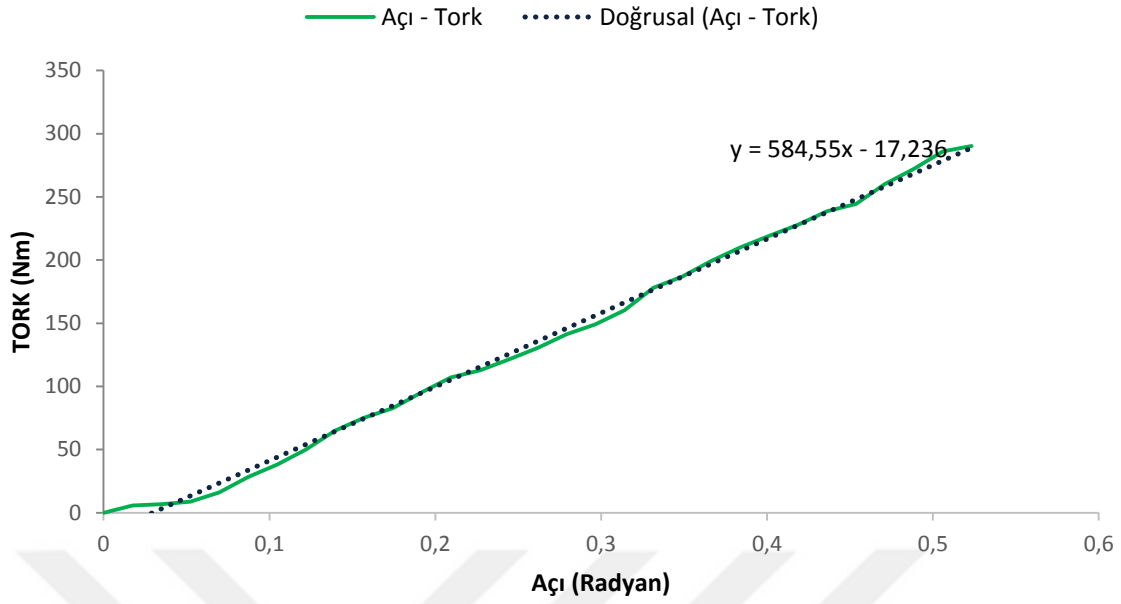
Numunelerden ürün işleme kabiliyeti yüksek homojen karıştırma yöntemi ile üretilmiş çok duvarlı karbon takviyeli NR kauçuk ve EPDM kauçuk, mekanik özellikler bakımından püskürtme yöntemi ile üretilmiş nano alümina takviyeli ve nano zeolit takviyeli NR kauçuk, nano zeolit takviyeli el yatırma yöntemi ve homojen karıştırma ile

üretilen EPDM kauçuk numuneleri açı – tork testine tabi tutulmuştur. Bu test 0° – 30° arasında DEVOTRANS Tork – Ömür test cihazında 23 °C ‘de, 1 Hz genlik ve 10 çevrim süresince ortalama değerler ile veriler toplanmıştır.

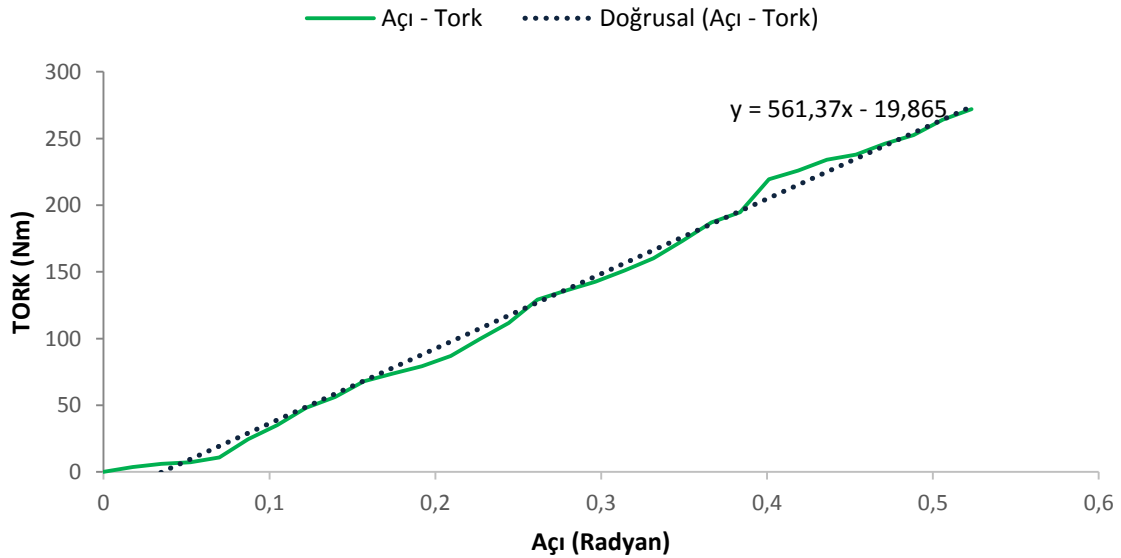


Şekil 105. Homojen karıştırma yöntemi ile üretilmiş çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk açı – tork grafiği

Burulma katılığı değeri Nm/rad cinsinden olduğundan dolayı açı değerleri radyan cinsine çevrilmiştir. Şekil 105. ‘te homojen karıştırma yöntemi ile üretilmiş çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş olan krank kasnağında 30° açıda maksimum gelen tork 276,045 Nm’dir. Burulma katılığı değeri doğrusal grafiğin eğimi olarak ortaya çıkan 533,51 Nm/rad olarak bulunmuştur.

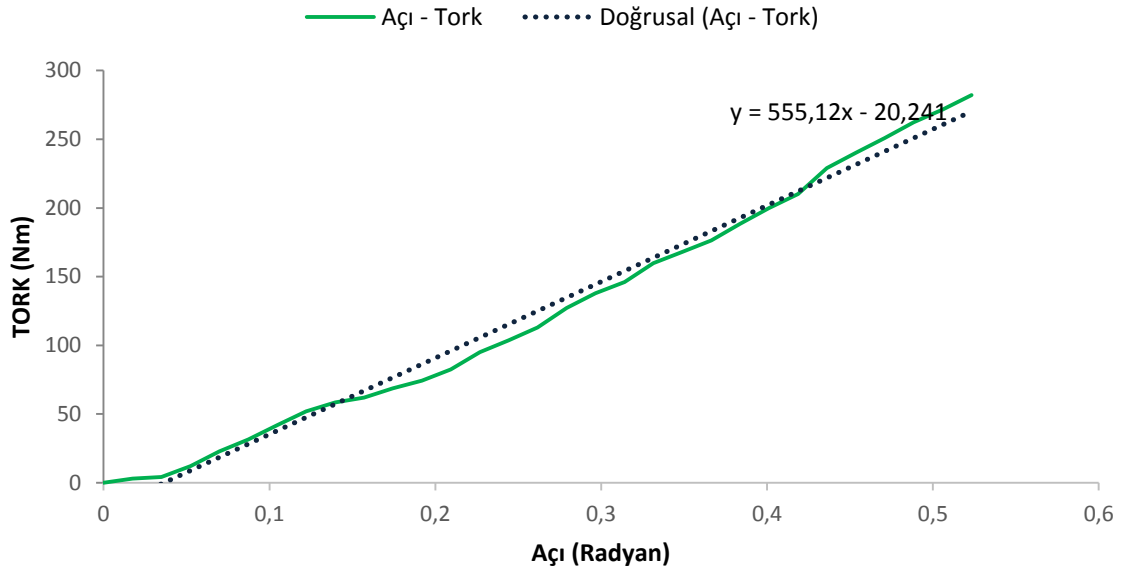


Şekil 106. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk açı – tork grafiği

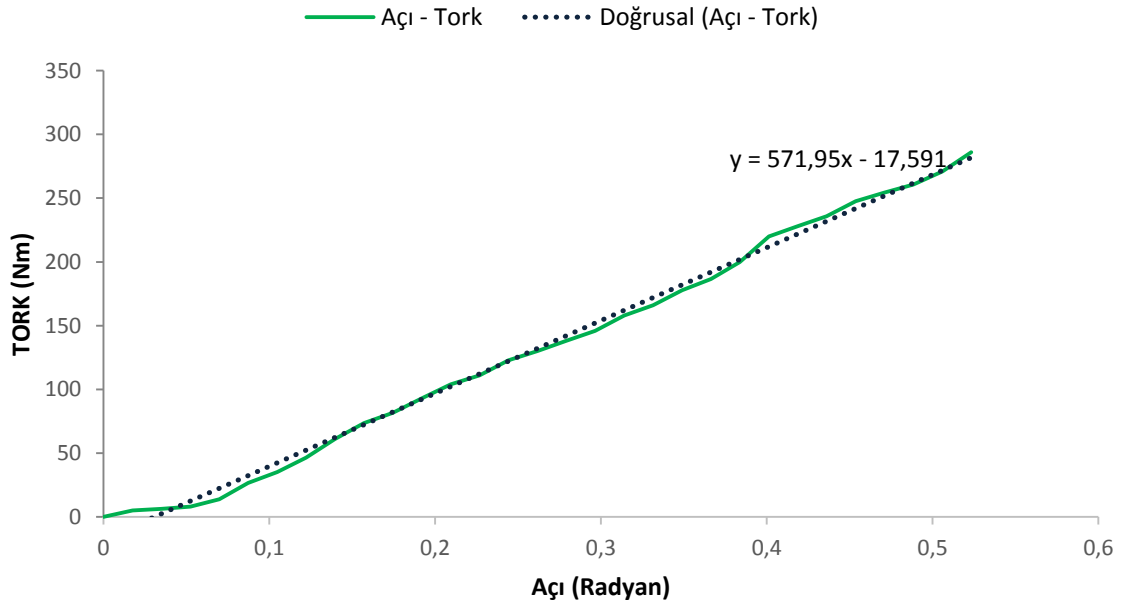


Şekil 107. Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk açı – tork grafiği

Nano alümina takviyeli püskürtme yöntemi kullanılan NR kauçuk ile üretilmiş krank kasağında 30° açıda maksimum gelen tork $290,172 \text{ Nm}$ 'dir. Burulma katılığı Şekil 106. 'de değeri doğrusal grafiğin eğimine eşit olacağından $584,55 \text{ Nm/rad}$ olarak bulunmuştur. Nano zeolit takviyeli püskürtme yöntemi kullanılan NR kauçuk ile üretilmiş krank kasağında maksimum gelen tork $272,0563 \text{ Nm/rad}$, Şekil 107. 'de verilen burulma katılığı değeri ise $561,37 \text{ Nm'rad}$ 'dır.

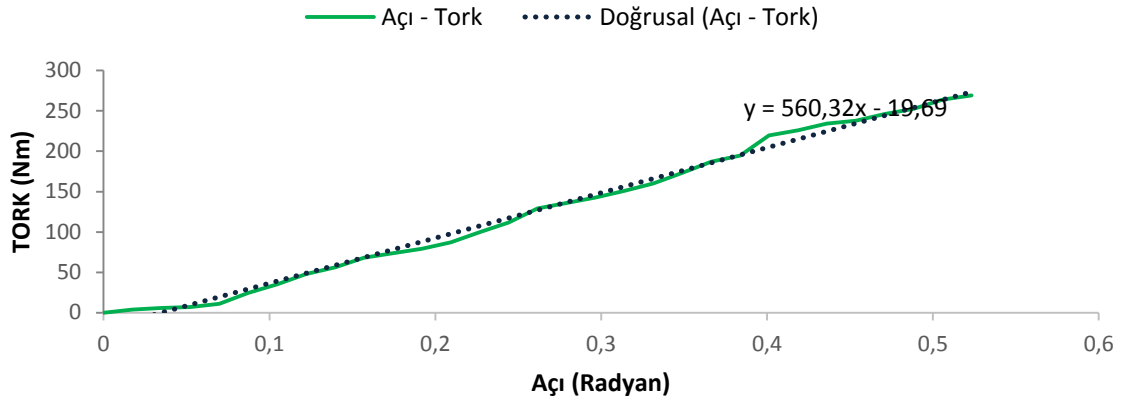


Şekil 108. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk açı – tork grafiği



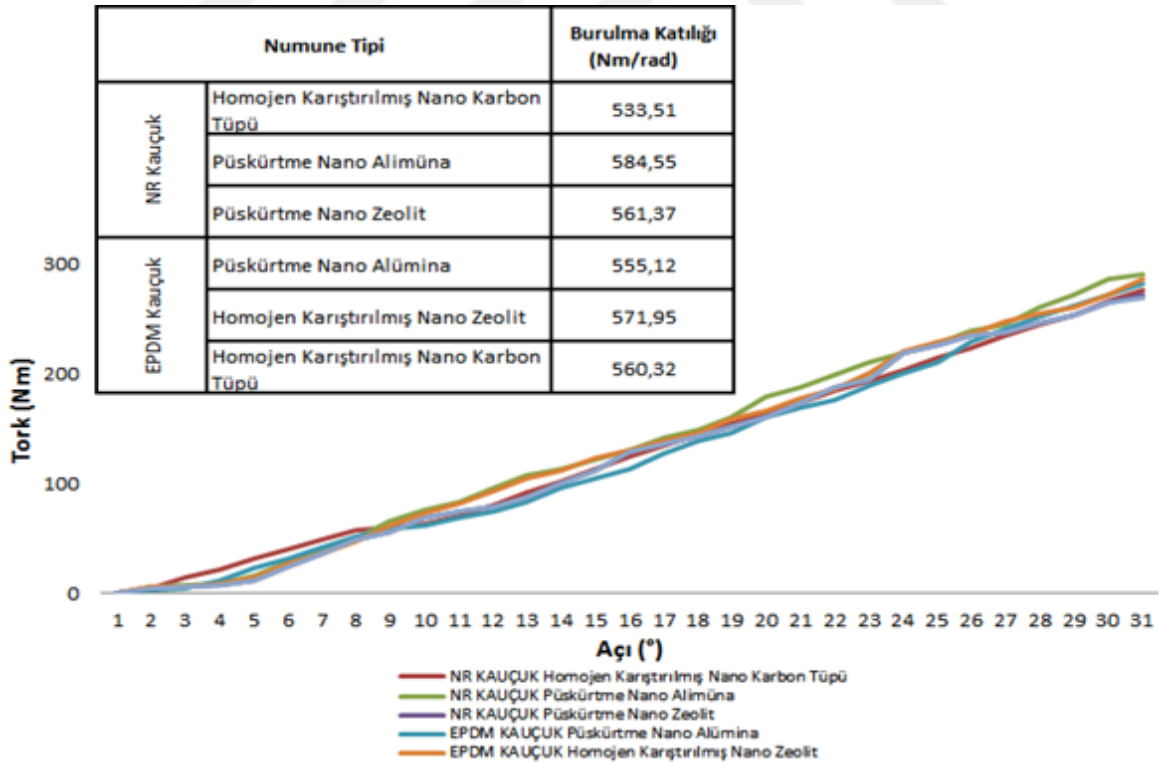
Şekil 109. Homojen karıştırma yöntemi ile nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk açı – tork grafiği

Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli ve homojen karıştırma yöntemi ile nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilen krank kasnaklarına yapılan açı – tork testinde Şekil 108. ve Şekil 109. 'da olduğu gibi sırasıyla 30° açıda maksimum tork 282,097 Nm/rad ve 286,01 Nm 'dir.



Şekil 110. Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk açı – tork grafiği

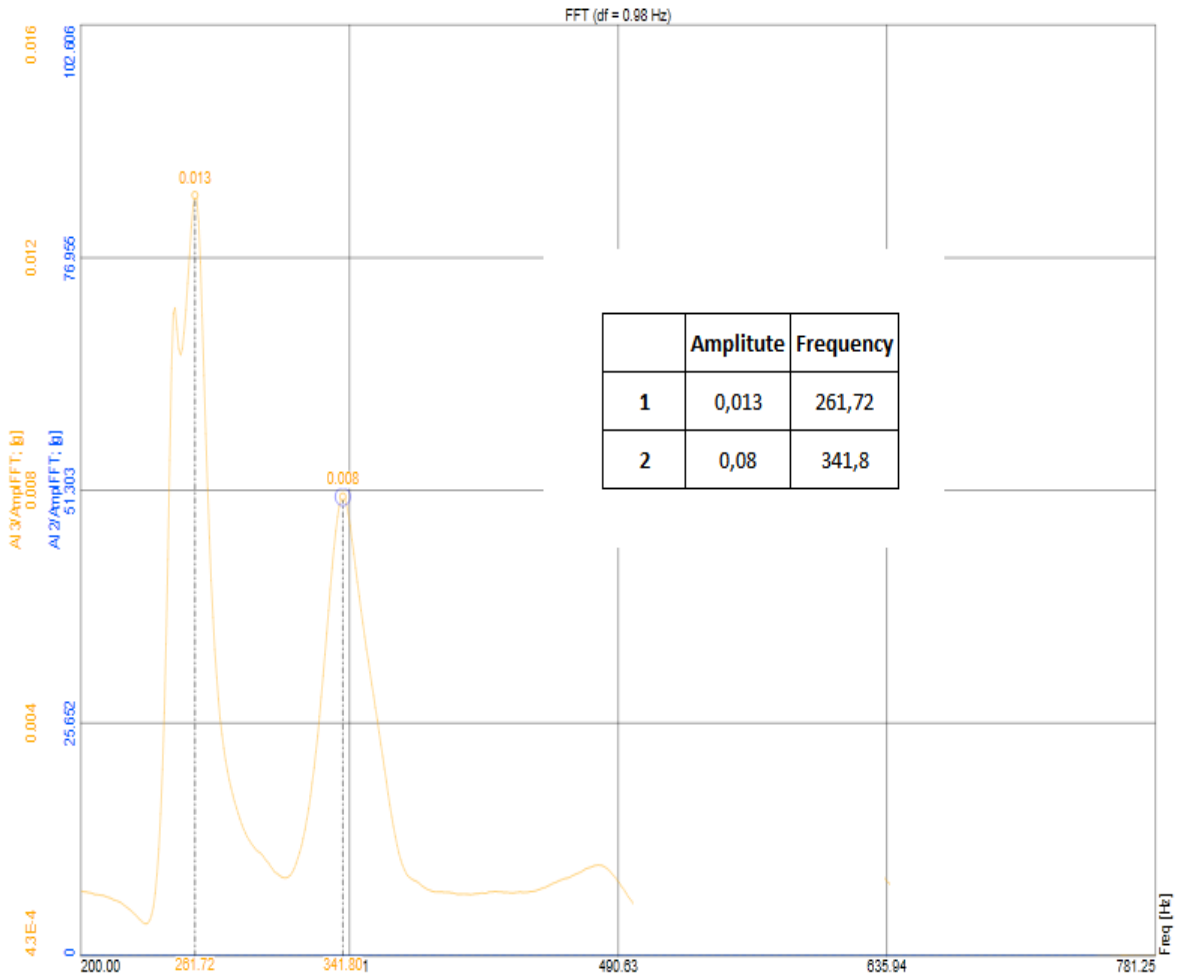
Şekil 110. 'da görüldüğü üzere homojen karıştırma yöntemi ile EPDM kauçuğa çok duvarlı nano karbon tüpü takviyesinde maksimum tork 269,06 Nm'dir. Tork – açı grafiğinden gelen eğim ise burulma katılığı (K_t) değerine eşit olduğundan 560,32 Nm/rad olarak bulunmuştur. Birbirinden farklı altı numuneye ait burulma katılığı Şekil 111.'de grafik ve değerler ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 111. Numunelerin burulma katılığı grafiği ve değerleri

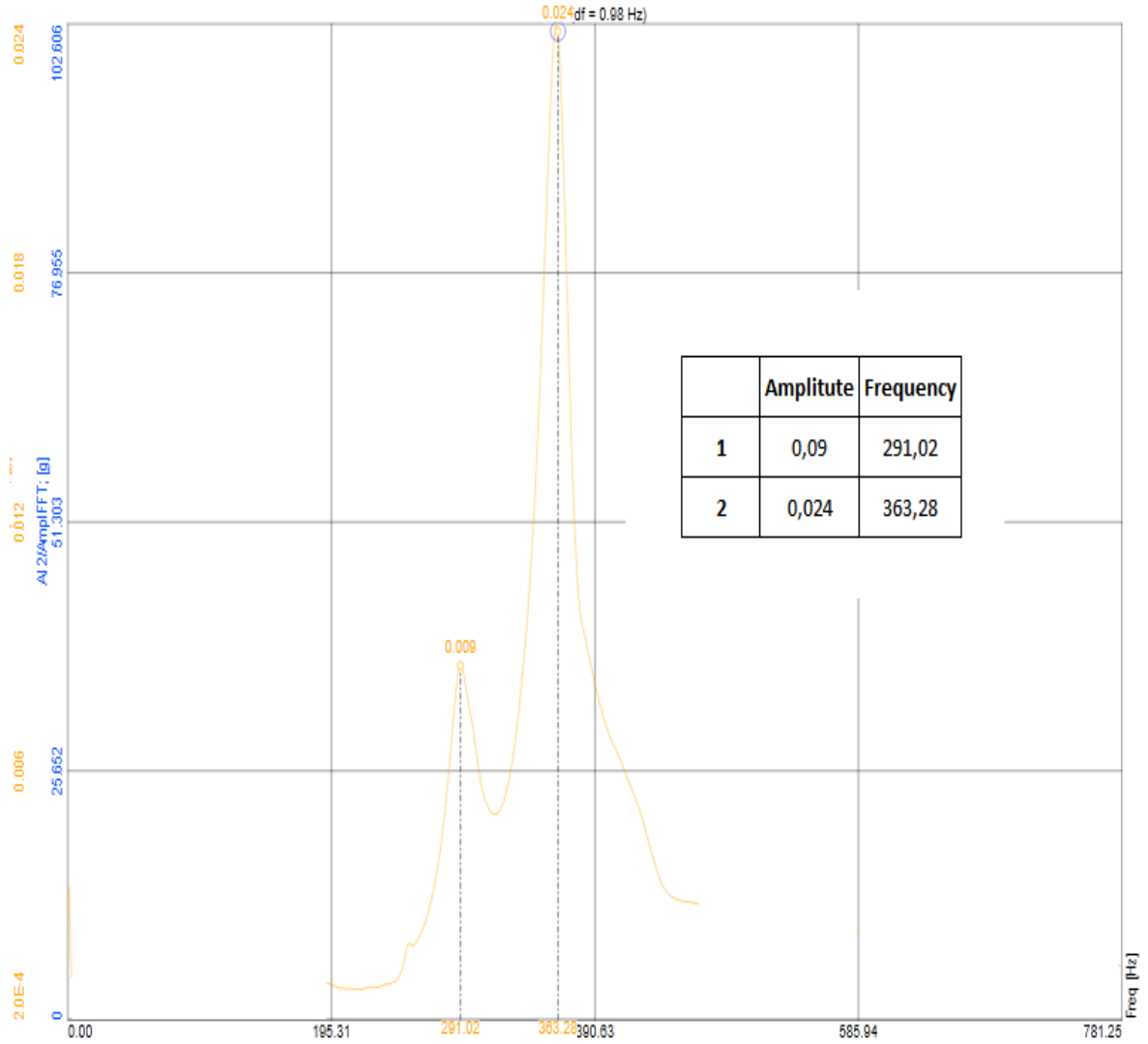
4.8. Doğal Frekans Test Sonuçları

Doğal frekans test çalışmasında altı adet farklı numune kasnakları çekiç yöntemi ile test edilmiştir. Deneylerde statik olarak asılan kasnaklara ivmeölçer bağlantısıyla kuvvet uygulanmış olup FFT (Fast Fourier Transform) analizi yapılarak genlik – frekans grafikleri elde edilmiştir. Son olarak daha önce bulunan burulma atalet momenti ve burulma katılığı ile matematiksel işlem yoluyla doğal frekans değerleri bulunmuştur. Testlerde DEWESoft programı DAQ analizatörü ise SIRIUS kullanılmıştır.



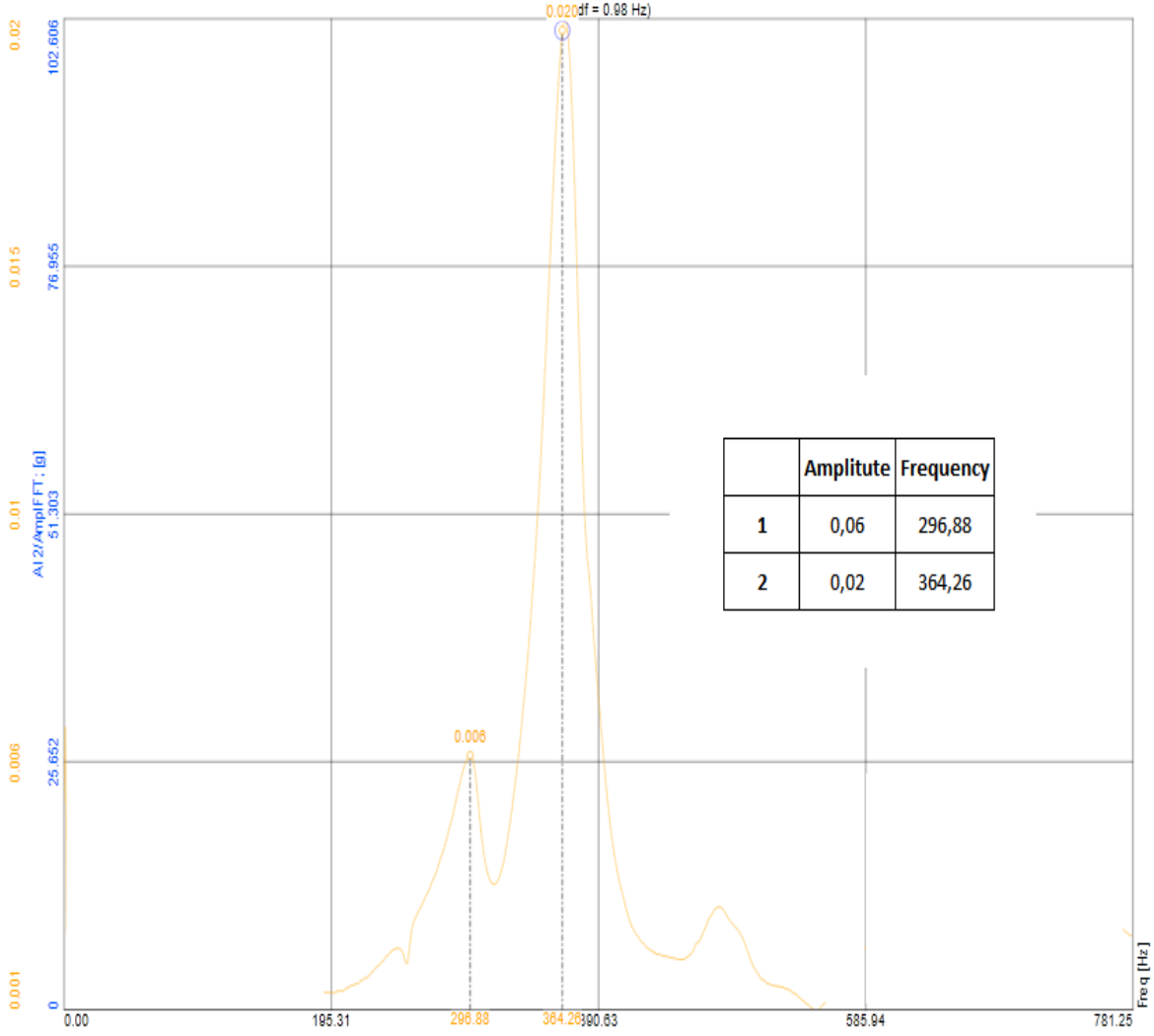
Şekil 112. Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları

Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans ve tepe noktaları Şekil 112. 'de verilmiştir. Test sonunda yapılan FFT analizi ile numunenin 2 farklı tepe noktası oluşturduğu görülmüştür. Tepe noktalarından 261,72 Hz 0,013 genlikle, 341,08 Hz olan ise 0,08 genlikle tepki göstermiştir.



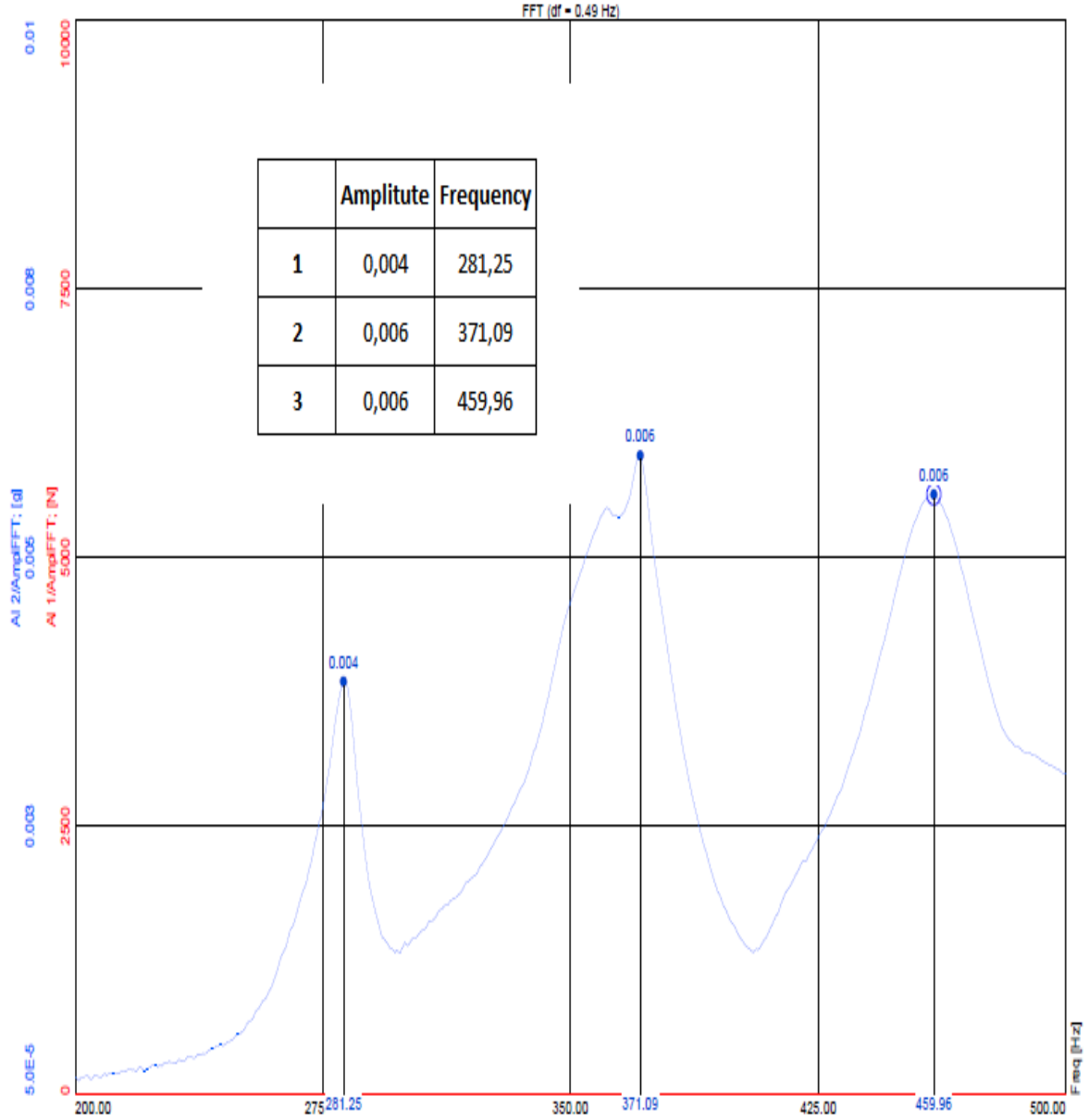
Şekil 113. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları

Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans ve tepe noktaları Şekil 113. 'de verilmiştir. Test sonunda yapılan FFT analizi ile numunenin 2 farklı tepe noktası oluşturduğu görülmüştür. Tepe noktalarından 291,02 Hz 0,09 genlikle, 363,28 Hz olan ise 0,024 genlikle tepki göstermiştir. Bu durumda çekiç ile vurulan kuvvetin, genlik değerlerinde değişiklik gösterdiği ve bu değerlerin doğal frekansları ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Yani kasnağa çekiç ile sert vurulduğu zaman genlik değerlerinin arttığı ve kasnakta bulunan farklı frekansların ortaya çıkacağı bulunmuştur.



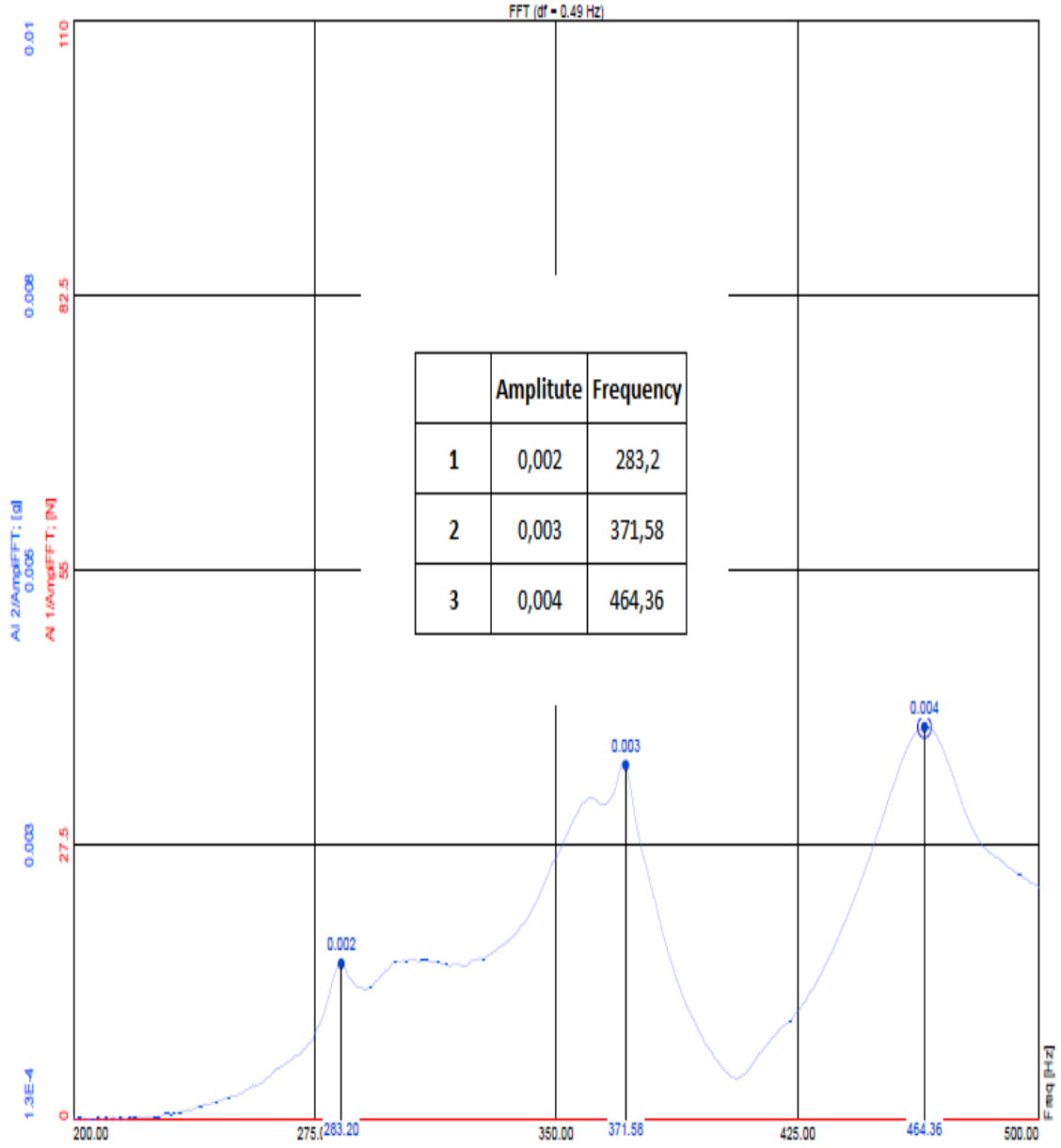
Şekil 114. Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları

Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans ve tepe noktaları Şekil 114. 'te verilmiştir. Test sonunda yapılan FFT analizi ile numunenin 2 farklı tepe noktası oluşturduğu görülmüştür. Tepe noktalarından 291,02 Hz 0,09 genlikle, 363,28 Hz olan ise 0,024 genlikle tepki göstermiştir. Doğal kauçuk numunelerinde ortaya çıkan 1. tepe noktası NR ile yapılmış tüm kasnaklarda ortaya çıktığından dolayı sistemin kendi doğal frekansı olarak yorumlanmıştır. Bu nedenle 1. tepe noktası ayrıştırdığımızda tek dereceli sönümleme kabiliyeti olarak tasarlanmış krank kasnağında sadece tek bir tepe noktası kasnağın kendisine ait doğal frekansı olarak tanımlanır.



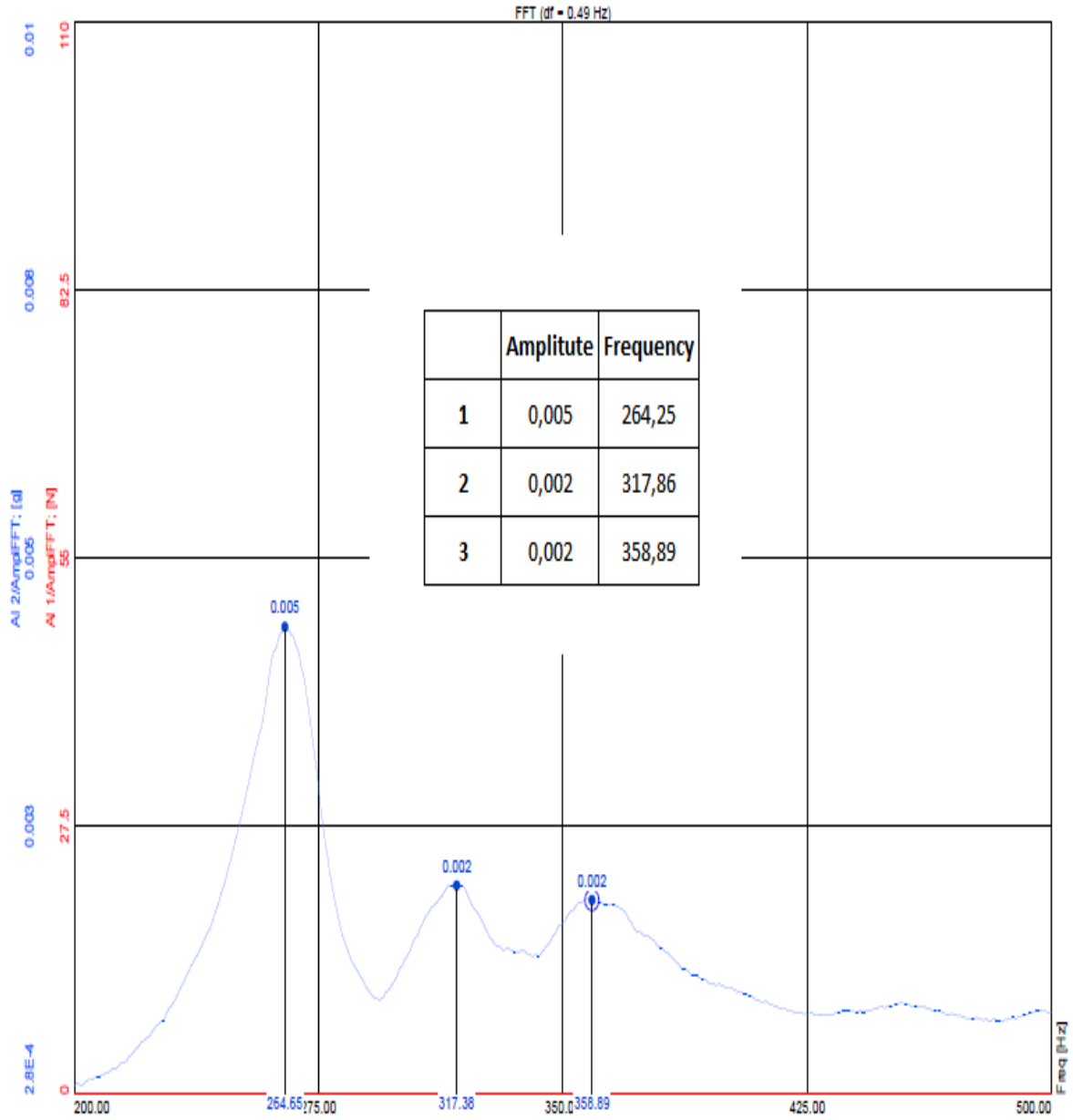
Şekil 115. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk açılı ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları

Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk açılı ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları Şekil 115. 'te verilmiştir. Test sonunda yapılan FFT analizi ile numunenin 3 farklı tepe noktası oluşturduğu görülmüştür. Tepe noktalarından 281,25 Hz 0,04 genlikle, 371,09 Hz 0,006 ve 459,96 Hz olan ise 0,006 genlikle tepki göstermiştir. Daha önce ki sonuçlar gibi 281,25 Hz sistemden gelen doğal frekans olup, EPDM kauçukta ise iki farklı tepe noktası oluşmuştur.



Şekil 116. Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları

Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları Şekil 116. 'da verilmiştir. Test sonunda yapılan FFT analizi ile numunenin 3 farklı tepe noktası oluşturduğu görülmüştür. Tepe noktalarından 283,2 Hz 0,02 genlikle, 371,58 Hz 0,003 ve 464,36 Hz olan ise 0,004 genlikle tepki göstermiştir.

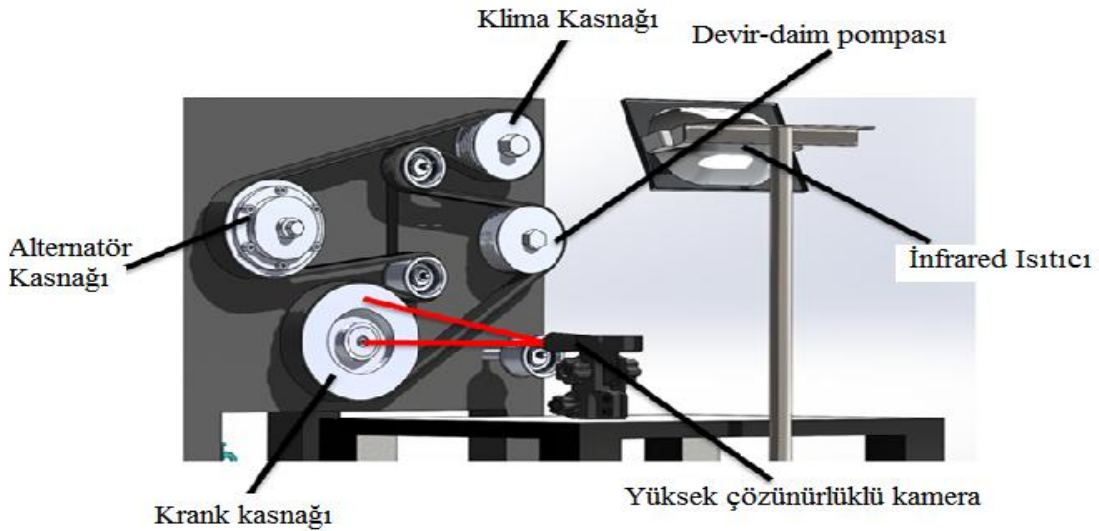


Şekil 117. Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları

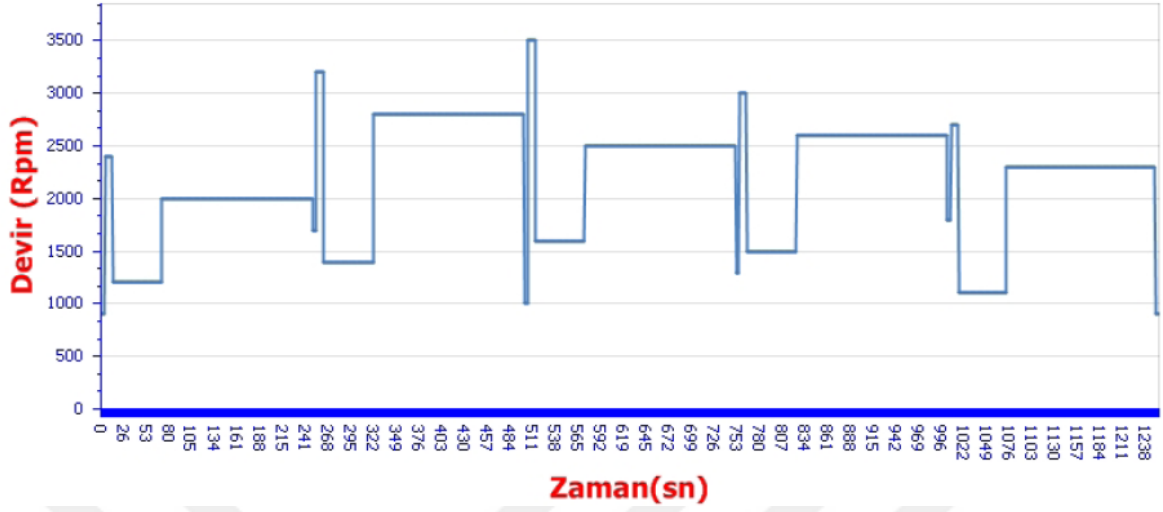
Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasağı doğal frekans grafiği ve tepe noktaları Şekil 117. 'de verilmiştir. Test sonunda yapılan FFT analizi ile numunenin 3 farklı tepe noktası oluşturduğu görülmüştür. Tepe noktalarından 264,65 Hz 0,05 genlikle, 317,38 Hz 0,002 ve 358,89 Hz olan ise 0,002 genlikle tepki göstermiştir.

4.9. Motor Simülasyon Test Sonuçları

Takviye edilen karışımlar ile üretilen 6 farklı numuneye ait test grafikleri aşağıda verilmiştir. Bu test aşamasında elektrik motoruna bağlanmış bir krank milini simüle eden düz bir mil ve klima kasnağı, alternatör gibi motor ön takımları yükleri Şekil 119.' da olduğu gibi test koşulları sağlanmıştır. Motor simülasyon testi Şekil 118. 'de verilen devir (rpm) – zaman (saniye) grafiği aynı olmak koşulu ile testler yapılmış ve numunelerin titreşim verileri mm/s cinsinden çıkarılmıştır.

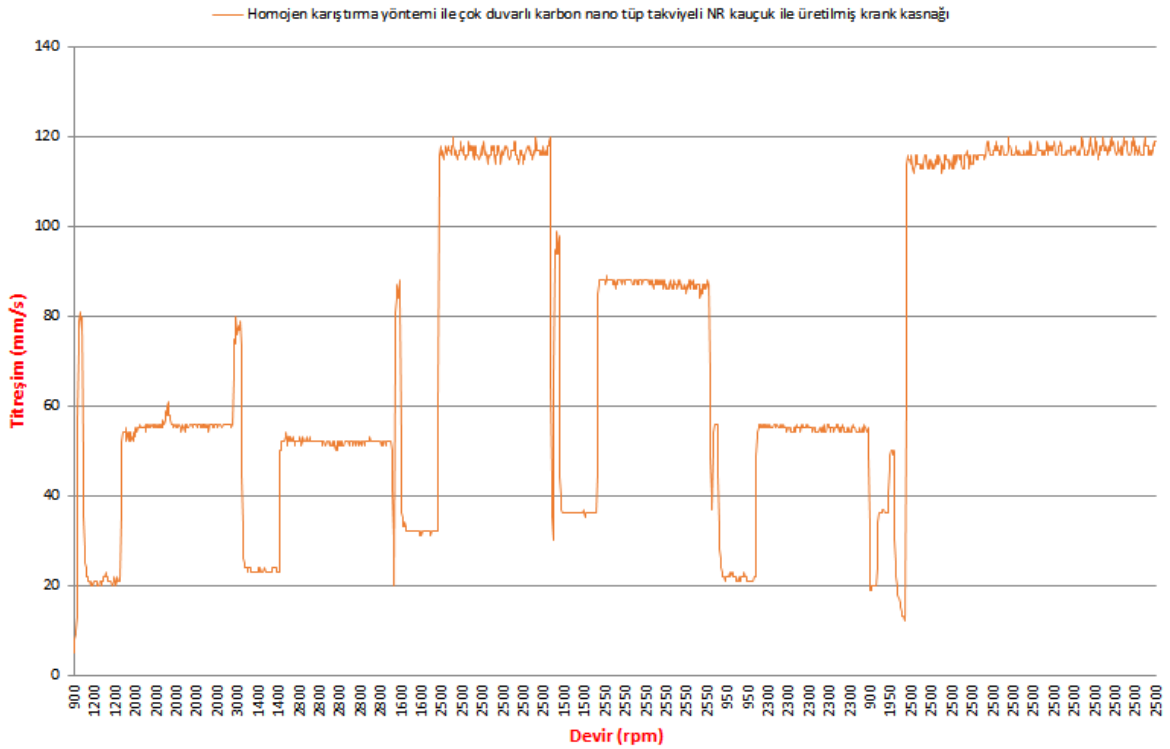


Şekil 118. Motor Simülasyon Test Düzeneği



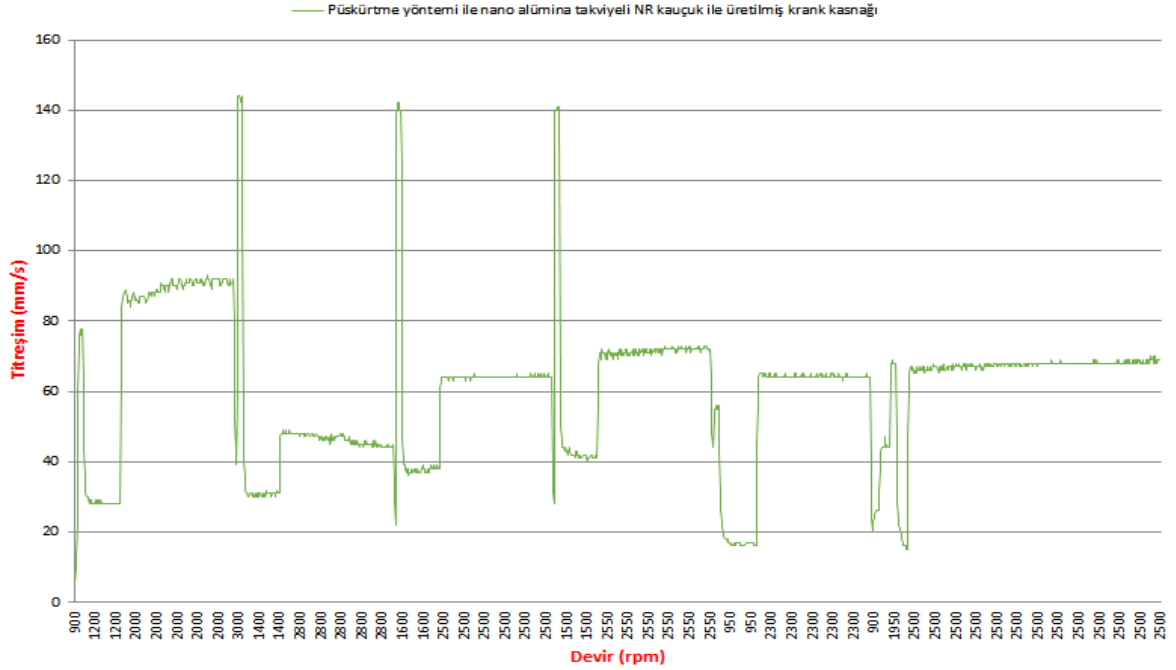
Şekil 119. Motor simülasyon testinde kullanılan devir – zaman grafiği

Burulma katılığı, doğal frekans değerleri bulunan 6 farklı numune motor simülasyon testlerine tabi tutulmuştur. Bu test ile kasağın ömür testi hızlı ömür test düzeneğine göre şekillenmiştir.



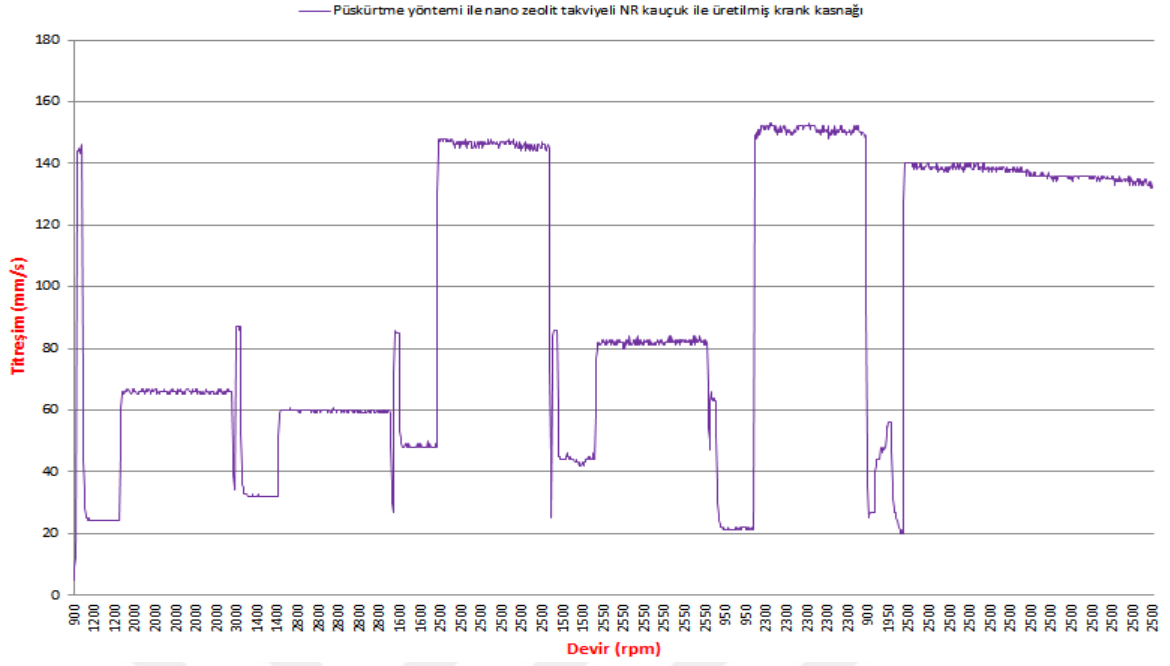
Şekil 120. Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasağı titreşim – devir grafiği

Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği Şekil 120 ‘de verilmiştir. Grafikte görülen minimum titreşim 900 rpm 5 mm/s iken, maksimum titreşim ise 3000 rpm 120 mm/s ‘dir.



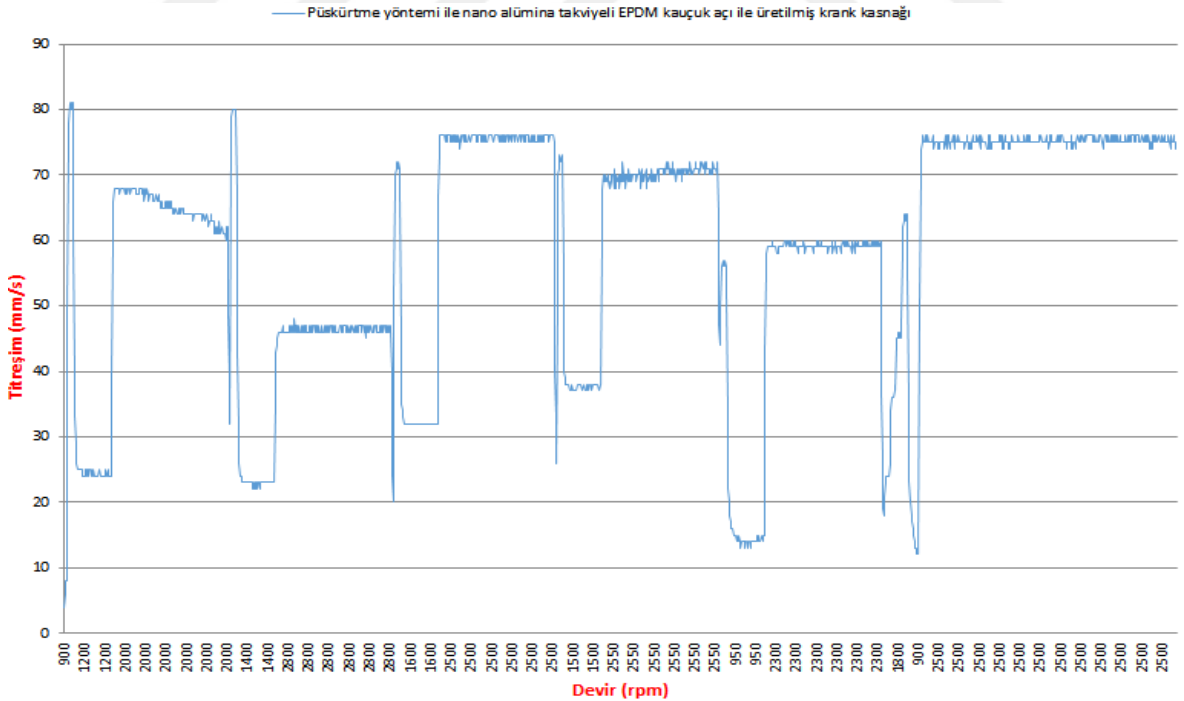
Şekil 121. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği

Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği Şekil 121. ‘de verilmiştir. Grafikte görülen minimum titreşim 900 rpm 5 mm/s iken, maksimum titreşim ise 3000 rpm ‘de 120 mm/s ‘dir.



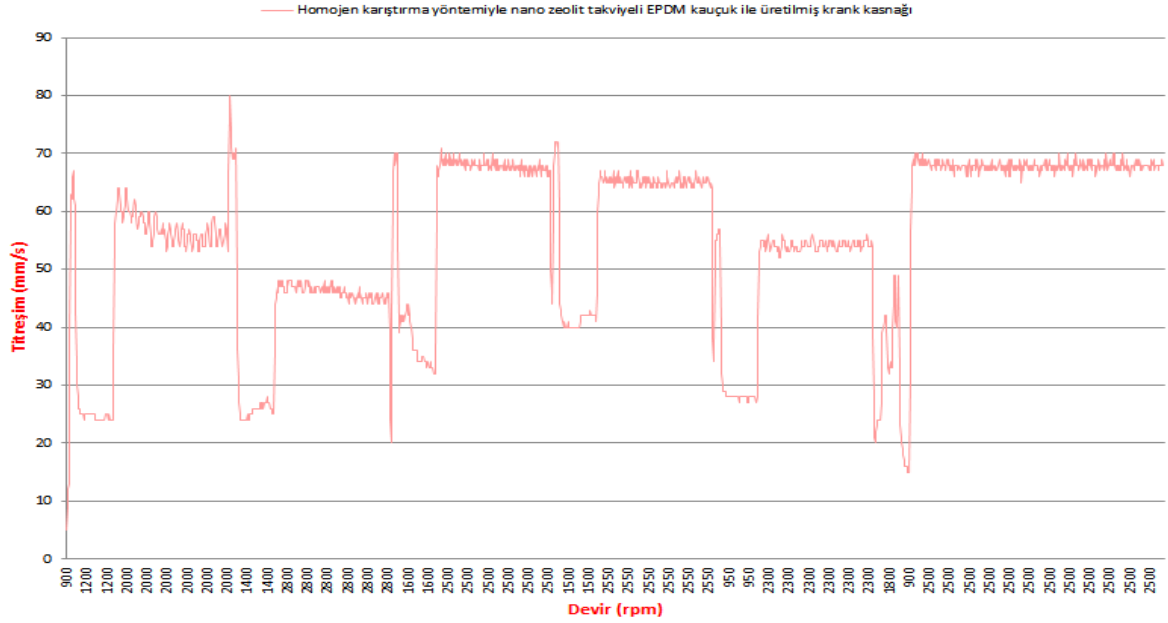
Şekil 122. Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği

Yukarıda bulunan Şekil 122. 'de minimum 6 mm/s titreşim olduğu maksimumda ise 3000 rpm 'de 144 mm/s bir titreşim olduğu test sonucu ile belirlenmiştir.

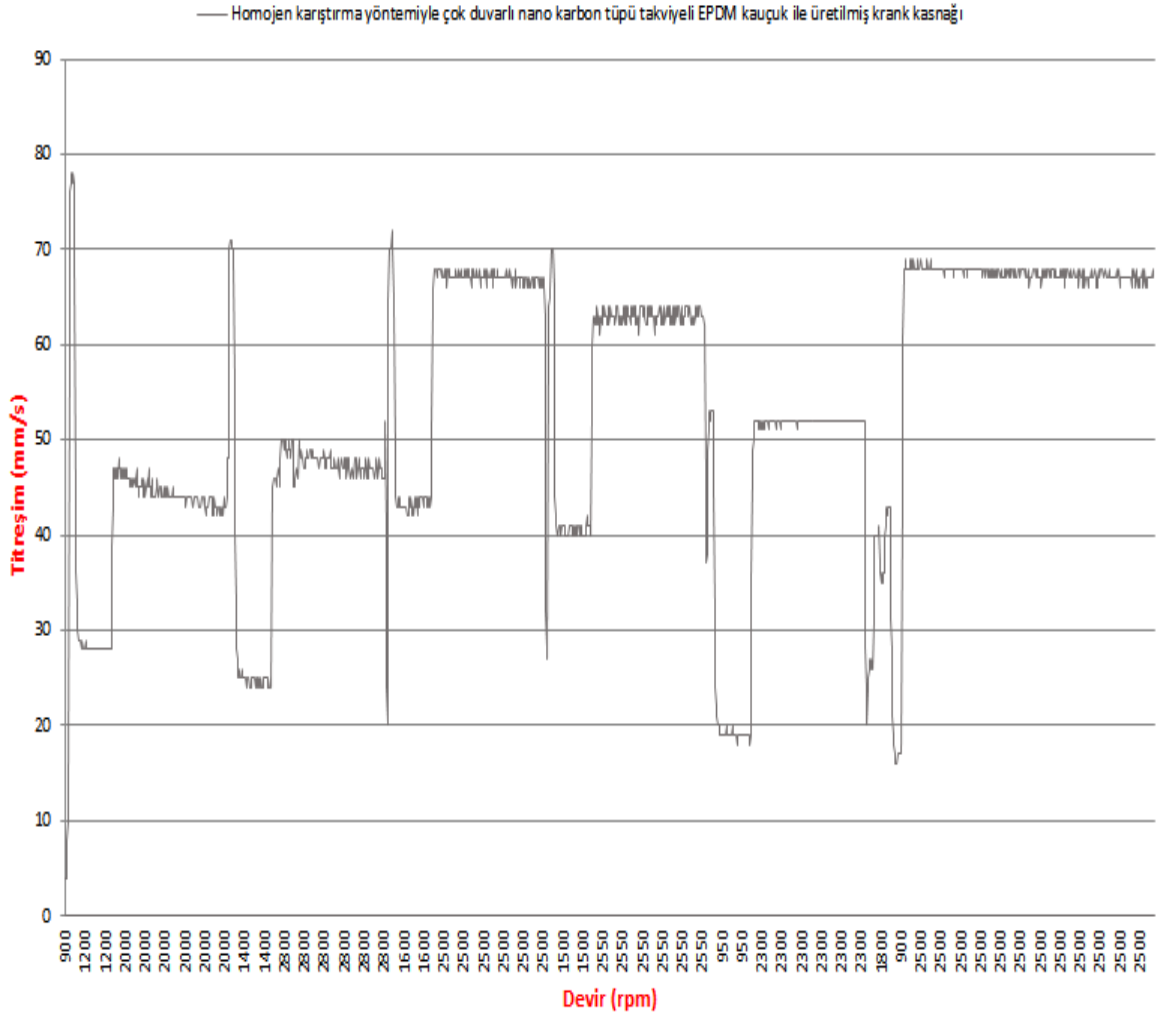


Şekil 123. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği

Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği Şekil 123. 'te verilmiştir. Grafikte görülen minimum titreşim 900 rpm 4 mm/s iken, maksimum titreşim ise 3000 rpm 'de 81 mm/s 'dir.

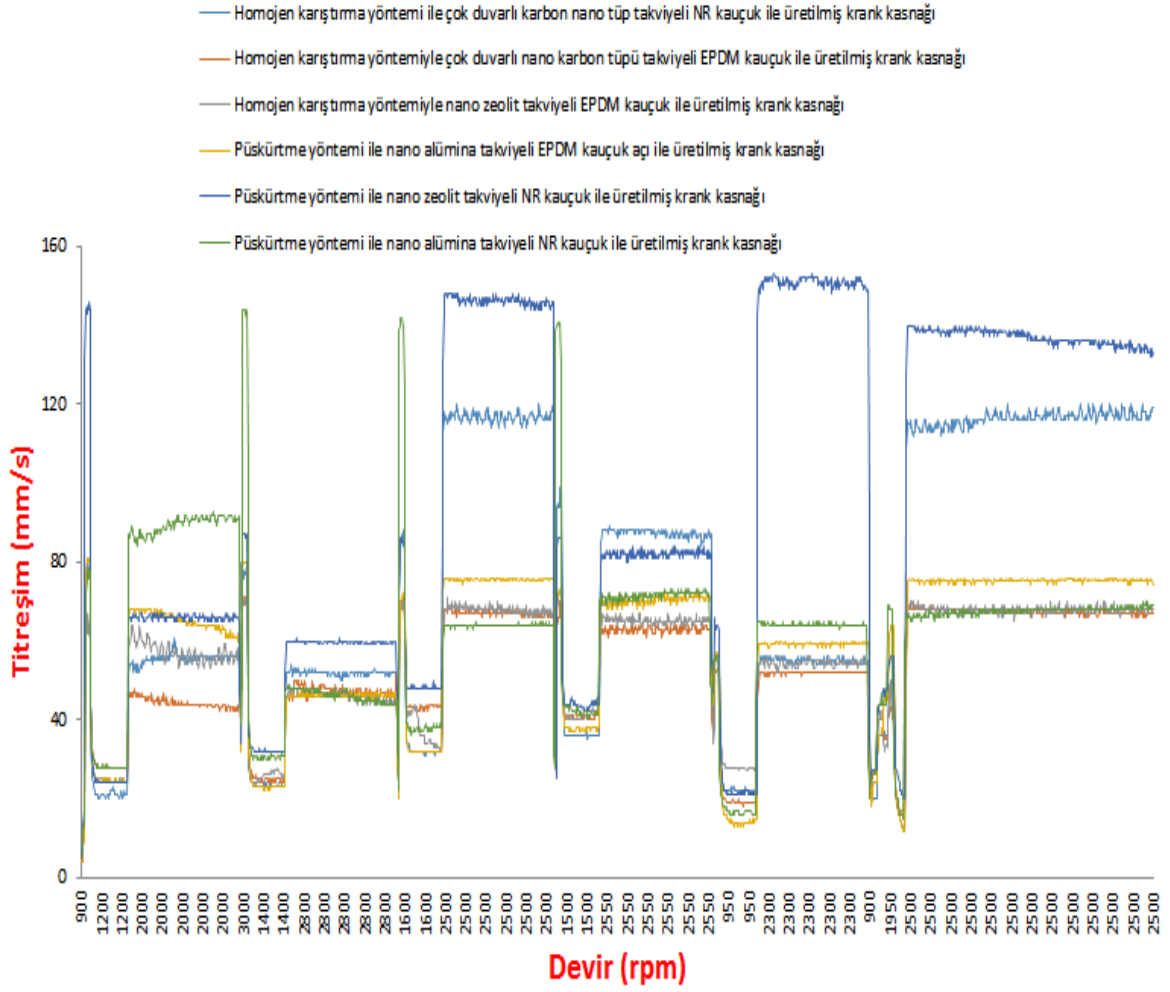


Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği Şekil 124. 'te verilmiştir. Grafikte görülen minimum titreşim 900 rpm 5 mm/s iken, maksimum titreşim ise 3000 rpm 'de 80 mm/s 'dir.



Şekil 125. Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği

Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı titreşim – devir grafiği Şekil 125. 'te verilmiştir. Grafikte görülen minimum titreşim 900 rpm 4 mm/s iken, maksimum titreşim ise 3000 rpm 'de 78 mm/s 'dir.



Şekil 126. Numune kasnakların titreşim (mm/s) – devir (rpm) grafiği

Altı farklı takviyeli kauçuk ile elde edilen krank kasnakların titreşim – devir grafiği Şekil 126. 'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu karşılaştırmada, titreşim maksimumdan minimuma doğru;

- 1.) Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı,
- 2.) Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı,
- 3.) Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı,
- 4.) Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk açığı ile üretilmiş krank kasnağı,
- 5.) Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı,
- 6.) Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı şeklinde sıralanmaktadır.

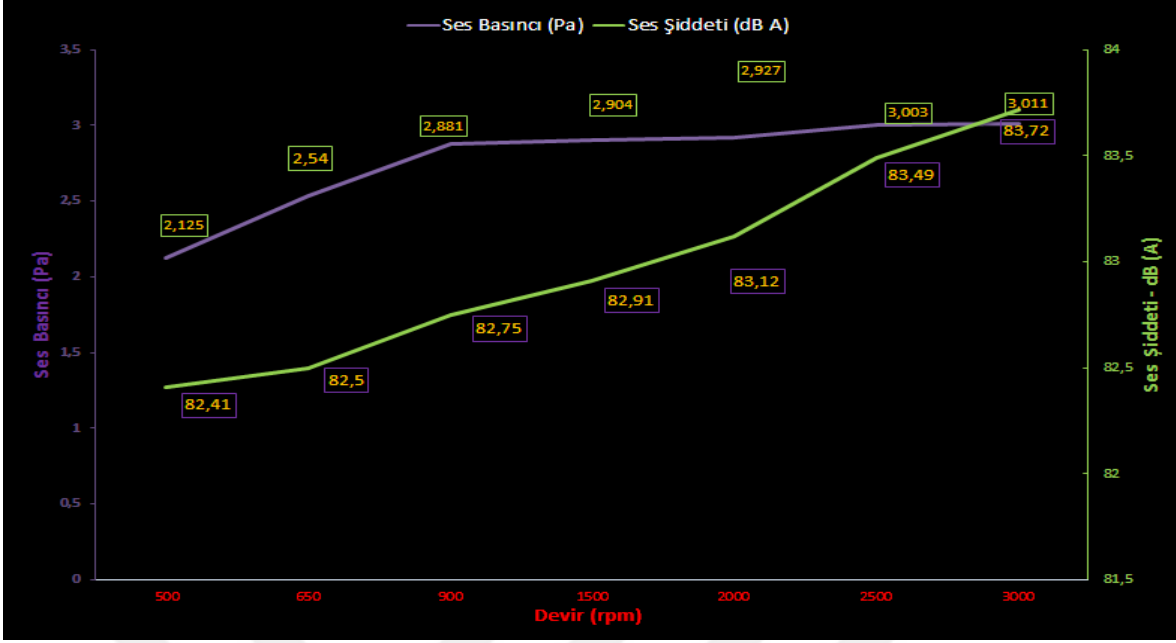
4.10. Akustik Kontrol Test Sonuçları

Krank kasnakları otomotiv motor ön kısmı üzerinde en fazla gürültüyü ortaya çıkaran aksamalardan biridir. Özellikle 900 rpm yani araç rölanti devrinde insan kulağının duyabileceği bir ses basıncı olur. Bu nedenle üretici firmalar için ürünlerinin gürültüyü azaltıcı önlemler almaktadır. Bunlardan biri de kauçuğun formu ve yapısını değiştirerek gürültüyü azaltmaya çalışmaktadır. KENTPAR Otomotiv bünyesinde bulunan elektrikli motor ile tahrik verilen ve poly V kayış yardımıyla başka bir kasnağa hareket kazandıran bir sistem ile altı farklı numune kasnak test edilmiştir. Doğal frekans ve titreşim verileri de göz önüne alınarak 900, 1500, 2000, 2500, 3000 olarak rpm değerleri belirlenmiştir. Kasnağa kayış yardımıyla 70 kg bir baskı kuvveti ile gergi mekanizması ayarlanmıştır. Gürültü analizlerini ise DEWESoft Sırıüs ile analiz edilmiştir. Kasnak olmadan test düzeneğinde ses basıncı rölanti devirde 2,003 Pa ve 67,19 dB (A) bir ses şiddeti oluşturmaktadır. Referans olarak bu değerler alınmıştır.



Şekil 127. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları

Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı ses kontrol test sonuçları Şekil 127. 'de verilmiştir. Rölanti devirde 3,256 Pa bir ses basıncı 83,79 dB (A) oluştururken, maksimum devirde ise 3,418 Pa ses basıncı ve 84,17 dB (A) bir ses şiddeti oluşturmuştur.

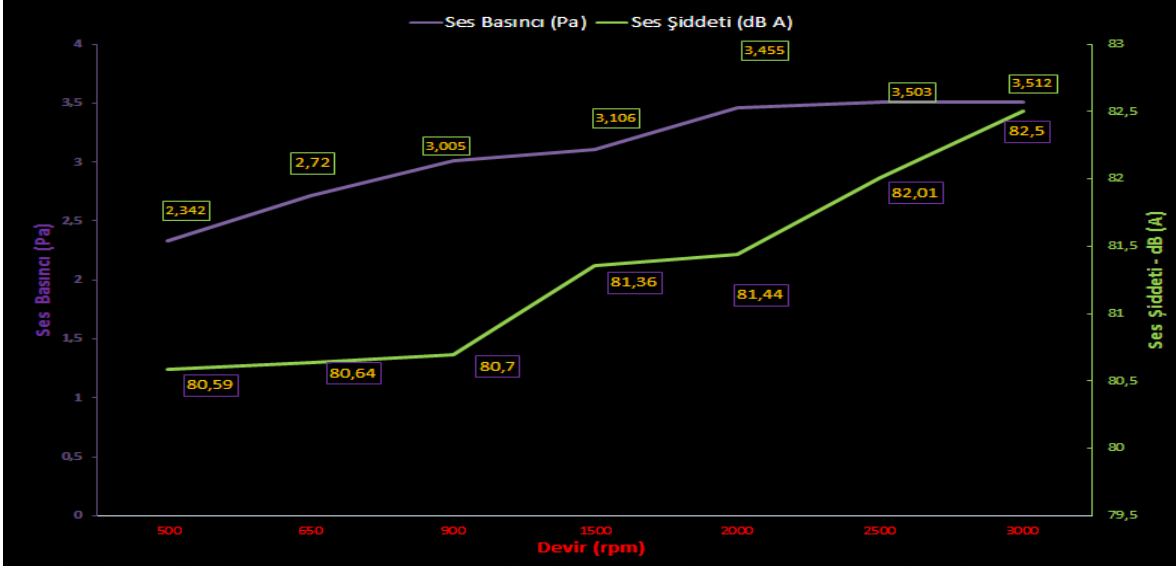


Şekil 128. Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları

Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı ses kontrol test sonuçları Şekil 128. 'de verilmiştir. Rölanti devirde 2,881 Pa bir ses basıncı 82,75 dB (A) oluştururken, maksimum devirde ise 3,011 Pa ses basıncı ve 83,72 dB (A) bir ses şiddeti oluşturmuştur. Rölanti devrin (900 rpm) referans noktası ile numune kasnağın oluşturmuş olduğu ses basıncı farkı %30,48 gibi bir değişim sergilerken, ses şiddeti farkı dB (A) cinsinden 15,56 'dır. Numuneye ait değerler Çizelge 12. 'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

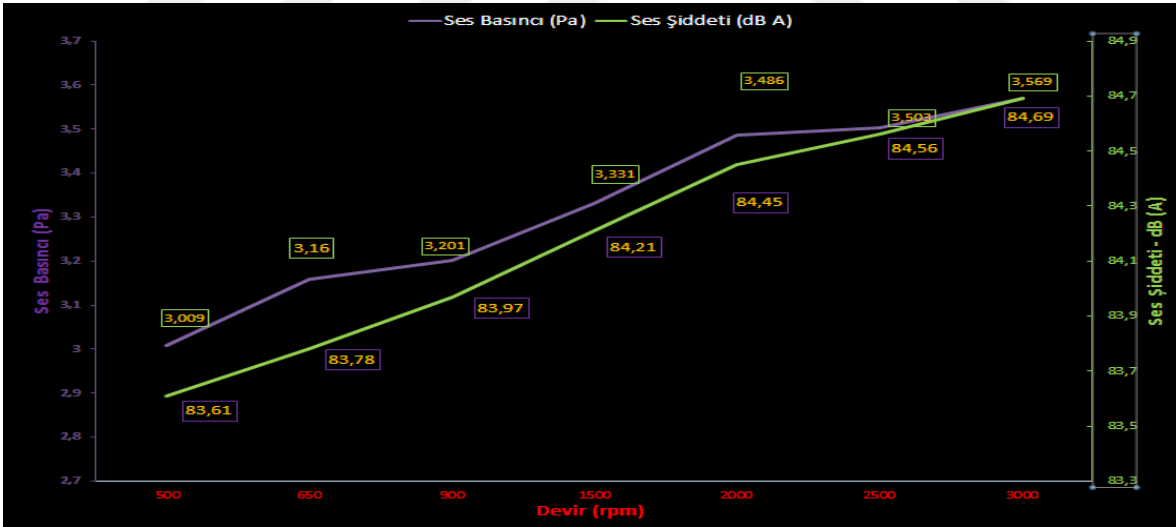
Çizelge 12. Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı ile referans değerlerin arasındaki % Basınç Değişimi ve dB (A) farkı

<i>Homojen karıştırma yöntemiyle nano zeolit takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı</i>			ΔPa	$\Delta dB(A)$
Devir (rpm)	Ses Basıncı (Pa)	Ses Şiddeti (dBA)		
500	2,125	82,41		
650	2,539	82,5		
900	2,881	82,75	30,48%	15,56
1500	2,904	82,91		
2000	2,927	83,12		
2500	3,003	83,49		
3000	3,011	83,72		



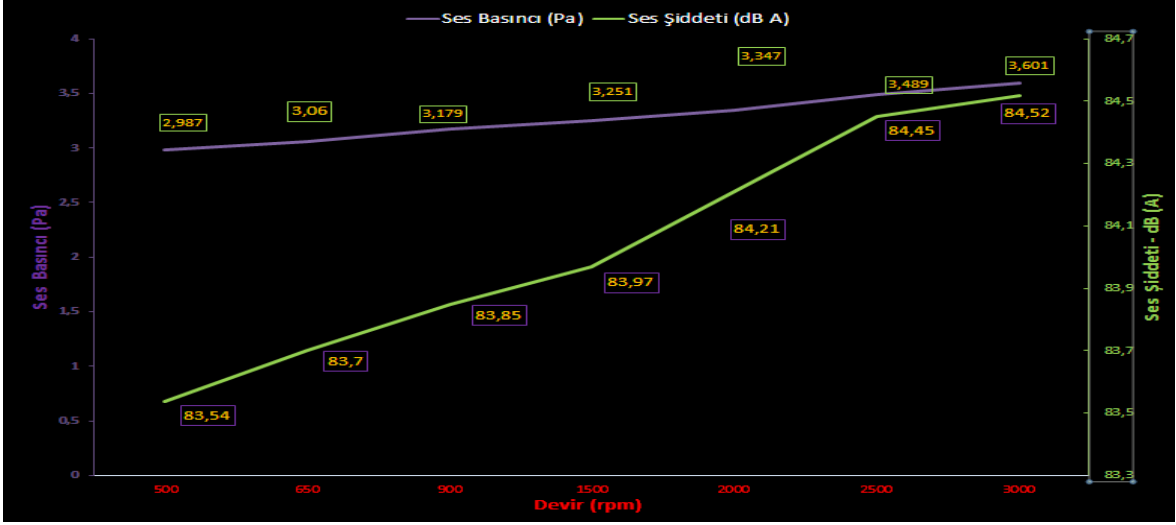
Şekil 129. Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları

Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü EPDM kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı ses kontrol test sonuçları Şekil 129. 'da verilmiştir. Rölanti devirde 3,005 Pa bir ses basıncı 80,7 dB (A) oluştururken, maksimum devirde ise 3,512 Pa ses basıncı ve 83,5 dB (A) bir ses şiddeti oluşturmuştur.



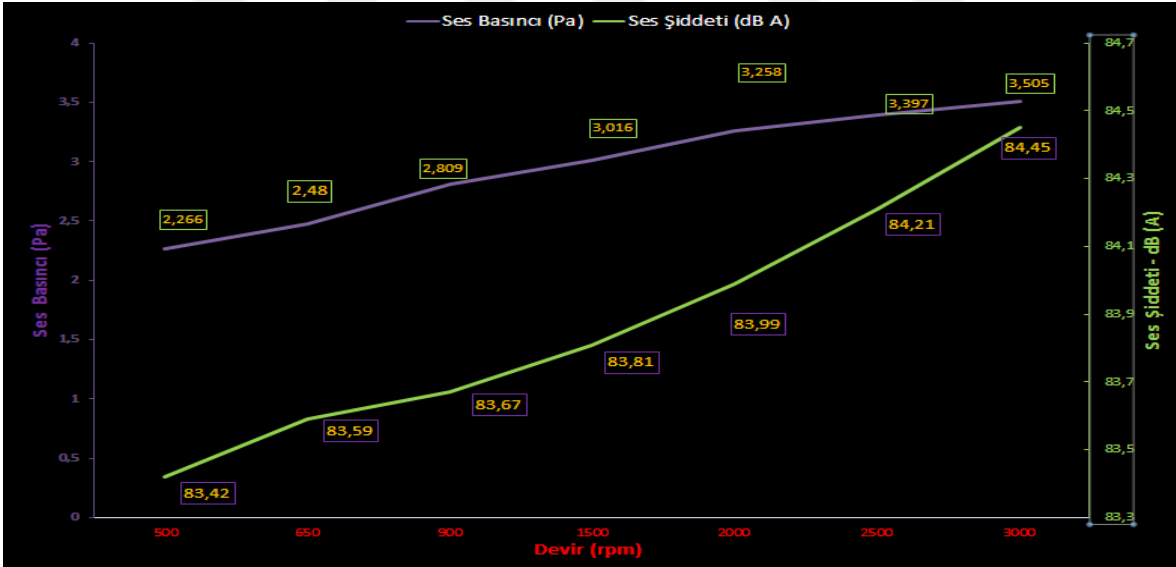
Şekil 130. Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları

Püskürtme yöntemi ile nano zeolit takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı ses kontrol test sonuçları Şekil 130. 'da verilmiştir. Rölanti devirde 3,201 Pa bir ses basıncı 83,97 dB (A) oluştururken, maksimum devirde ise 3,569 Pa ses basıncı ve 84,69 dB (A) bir ses şiddeti oluşturmuştur.



Şekil 131. Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları

Püskürtme yöntemi ile nano alümina takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı ses kontrol test sonuçları Şekil 131. 'de verilmiştir. Rölanti devirde 3,179 Pa bir ses basıncı 83,85 dB (A) oluştururken, maksimum devirde ise 3,601 Pa ses basıncı ve 84,52 dB (A) bir ses şiddeti oluşturmuştur.



Şekil 132. Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon nano tüp takviyeli NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı akustik test sonuçları

Homojen karıştırma yöntemiyle çok duvarlı nano karbon tüpü NR kauçuk ile üretilmiş krank kasnağı ses kontrol test sonuçları Şekil 132. 'de verilmiştir. Rölanti devirde 2,809 Pa bir ses basıncı 83,67 dB (A) oluştururken, maksimum devirde ise 3,505 Pa ses basıncı ve 84,45 dB (A) bir ses şiddeti oluşturmuştur.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Binek ve hafif ticari araçların motorlarında karşılaşılan titreşim problemi tasarımcı ve teorisyenler için önemli bir problem oluşturmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile hafif araçların kullanımı ve yüksek güçlü motorlara duyulan istek bu konunun öneminin artmasına sebep olmuştur. Krank milinde oluşan burulma titreşimlerini önlemek amacıyla tasarlanan krank kasnakları ileri mühendislik gerektirmektedir. Krank miline göre krank kasnağı tasarımı ise dinamik bir damper olarak geliştirilmesi gerekir. Titreşimleri sönmülmesi amacıyla dinamik sönmüleyici damperde kullanılan kauçukta karşılaşılan problemlerin en aza indirilmesi gerekmektedir. Özellikle krank milinin rezonansa girmesi durumunda kasnağın kauçuk yapısının sönmülmesine karşılık gelemediği zamanlar kauçukta görülen yırtılma ve kopma durumunun engellenmesi gerekir. Harmonik ve burulma titreşimlerinin hızlı, kalıcı ve sönmülmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada NR ve EPDM kauçuklara homojen karıştırma, püskürtme ve elle yatırma yöntemi kullanılarak çok duvarlı karbon tüpü, nano alümina ve nano zeolit malzemeleri ile nano kompozit malzemeler elde edilmiştir. Yapılan numune çalışmasında önce kauçukların işlenebilirlik verimi rheometre ve mooney değerleri ile bulunmuştur.

Çizelge 13. Numune karışımların rheometre değerleri

Kauçuk Tipi	Takviye Malzemesi	Karıştırma Yöntemi	MH	ML	tc10	t90
NR Kauçuk	Çok Duvarlı Karbon Tüpü	<i>Homojen Karıştırma</i>	16,60	1,33	00:41	01:36
	Nano Alümina	<i>Püskürtme</i>	16,47	1,68	00:42	01:43
	Nano Zeolit	<i>Püskürtme</i>	17,22	1,65	00:55	02:19
EPDM Kauçuk	Çok Duvarlı Karbon Tüpü	<i>Homojen Karıştırma</i>	14,80	1,23	00:46	03:16
	Nano Alümina	<i>Püskürtme</i>	13,52	1,16	00:59	03:04
	Nano Zeolit	<i>Homojen Karıştırma</i>	11,47	1,23	00:43	03:03

NR ve EPDM kauçuğa takviye edilen nano malzemeler ile üretilmiş nano kompozit kauçukların rheometre değerleri Çizelge 13. 'te verilmiştir. Maksimum tork (MH) zeolit takviyeli NR kauçukta dayanım görülmüştür. Viskozite değerinin (ML) en düşük değeri ise çok duvarlı karbon tüpü takviyeli NR kauçuktur. Erken pişmeye başlayan ve %90 erken pişen kauçuk ise ML değeri düşük numunedir. En geç pişen NR karışımı ise nano zeolit takviyeli karışımdır. EPDM karışımlarında ise homojen karıştırılmış çok

duvarlı karbon tüpü maksimum tork değerine ulaşmıştır. Fakat viskozitesi nano zeolit takviyesi ile aynı durumdadır. EPDM karışımlarına yapılan takviyelerde pişme başlangıç zamanı ve pişme durumu birbirine yakın değerler çıkmıştır. Grafik eğimlerinden ise (bknz. Rheometre test sonuçları) pişirici katkısının bütün numunelerde aynı olduğundan pişme hızının aynı olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ile kauçuğun vulkanizasyonu sırasında verimli çalışma zamanı ve ürün kalitesi göz önüne alındığında NR ve EPDM kauçuklar için çok duvarlı karbon tüpü katkısının oldukça iyi olduğu görülmektedir. Mooney testinde ise NR karışımların viskozite ML(1+4) değerlerinin değişkenlik gösterdiği EPDM karışımların ise birbirine çok yakın olduğu Şekil 78. 'te verilmiştir.

Termal karakterizasyon testlerinde numune nano kompozit malzemelerin TGA – DSC ve DTA sonuçları FT-IR analizi ile bakılmıştır. Termal karakterizasyonu testlerinde kauçuk yapısında hammadde bileşenleri ve polimer tipleri belirlenmiştir. Fakat takviye edilen nano malzemelerin takviye oranı çok düşük olduğundan bu testlerde bir farklılığa rastlanmamıştır.

Krank kasnaklarında kullanılacak kauçuk yapıların seçimi için nano kompozit malzemelere ASTM D412 standartlarına uygun Şekilde ekme – kopma testi gerçekleşmiştir. Bu testler takviyesiz ve takviyeli numuneler ile kıyas yapılarak gerçekleşmiştir. NR kauçuk için Şekil 93. 'te bulunan grafiğe göre en iyi kopma dayanımı püskürtme yöntemi kullanılan nano alümina takviyesine ve el yatırma yöntemi ile zeolit takviyesi gerçekleştirilen numunelere olmuştur. Numune krank kasnaklarında kullanılacak olan NR kauçuk için ilk püskürtme yöntemi ile alümina takviyesi olmuştur. EPDM kauçuk için ise Şekil 102. 'de deney verileri incelendiğinde homojen karıştırma yöntemi ile zeolit takviyesi maksimum kopma dayanımına sahiptir. Çok duvarlı karbon tüpü takviyesi ise nano zeolit takviyesine göre kopma ve uzama parametrelerine göre daha iyidir. Bu deneysel veriler incelendiğinde ise EPDM kauçuk ile üretilecek numune krank kasnaklara püskürtme yöntemi ile nano alümina ve homojen karıştırma yöntemi ile üretilen çok duvarlı karbon tüpü ve zeolit takviyeleri olması belirlenmiştir.

Kauçukların mekanik özelliklerinin tanımlanması için yapılan çekme testinde ise izelge 10. 'da bulunan gerilme, elastite modülü ve poisson oranı hesaplanmıştır. Bu durumda NR kauçuğa çok duvarlı karbon tüpü takviyesinde %gerinme en yüksek olan homojen karıştırma yöntemidir. Nano zeolit takviyesi ise poisson oranı nedeniyle iki eksende de aynı Şekilde uzadığı ve non lineer bir davranış göstermediği düşünülmüştür.

EPDM kauçukta, 1,7 GPa elastite modülüne sahip püskürtme yöntemi ile alümina takviyesi diğer yöntemlere göre düşük bir değerde kalmıştır. Çok duvarlı karbon tüpü takviyelerinde ise % gerinme oranları hem diğer üretim yöntemleri hem de takviye malzemelerine göre daha yüksektir.

Kullanılan kauçuk numunelerin sertlik değerleri Shore – A cinsinden shoremetre ile ölçülmüştür. Bu ölçümlerden sonra en sert nano kompozit malzeme NR kauçuk için püskürtme metodu ile üretilen nano zeolit takviyesi olmuştur. Homojen olarak karıştırılmış nano alümina takviyesi ise NR kauçuk için sertliği düşürücü olduğu deneysel veriler ile kanıtlanmıştır. EPDM kauçuk için ise en fazla sertliğe sahip çok duvarlı karbon tüp takviyesinin homojen olarak karıştırılmasıdır. NR kauçukta olduğu gibi EPDM kauçukta da nano alümina takviyesi karışımların sertlik değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Burulma katılığı krank kasnakların tasarımında kullanılan önemli parametrelerden biridir. Bu parametre krank kasnağın sönüm kabiliyetinin yanı sıra doğal frekansı da etkilediği bilinmektedir. Tork – açı grafiğinden gelen eğim ise burulma katılığı (K_t) değerini deneysel yöntem ile ortaya çıkarmaktadır. (Nm/rad)

Burulma katılığı, Şekil 111. 'de verilen tork – açı grafiğine göre 533, 51 Nm/rad – 584,55 Nm/rad aralığında görmeye birlikte, maksimum katılık püskürtme nano alümina takviyeli NR, minimum katılık ise homojen karıştırılmış çok duvarlı karbon tüp takviyeli NR 'dır. EPDM kauçuğun ise NR kauçuğa göre daha fazla burulma yüküne maruz kaldığı görülmektedir. Bu durumun nedeni ise burulma katılığının EPDM kauçuk için daha fazla olduğu görülmektedir.

Numune kasnakların üretilmesi ile birlikte kasnaklara motor bench testi uygulanmıştır. Bu test ile motor devrine göre titreşim verileri ortaya çıkmıştır. En fazla titreşimli kasnak püskürtme yöntemi ile üretilen nano zeolit takviyeli NR kauçuk karışımıdır. En az titreşim ise homojen karıştırma yöntemi ile üretilen çok duvarlı nano karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuk karışımıdır. Şekil 126. 'da verilen nano zeolit ve nano alümina takviyelerin kauçuk tipine göre titreşim sönümlenme kabiliyetinin değiştiği görülmektedir. Kauçuk tipinin yanı sıra üretim şekline göre de çok farklılık gösterdiği görülmektedir.

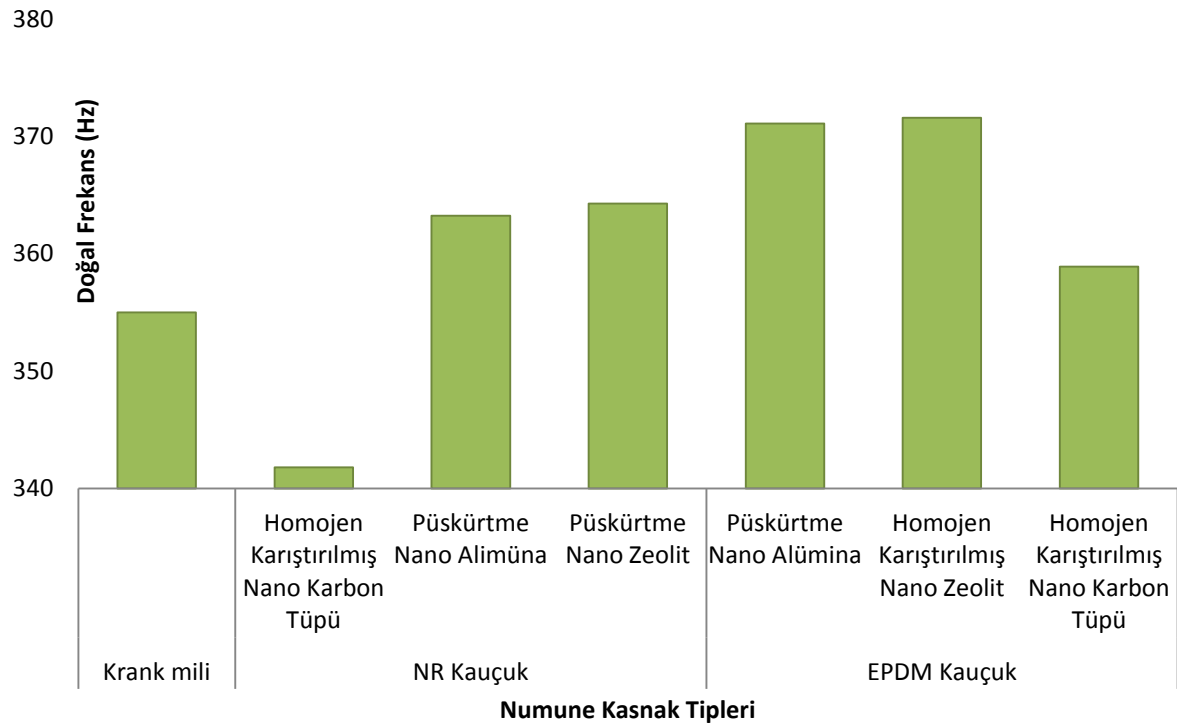
$$Frekans = mode\ sayısı \times Devir \quad (5.1.1.)$$

Yukarıda verilen Eşitlik 5.1.1 'de devir sayısından frekans değeri çıkarılacaktır. Titreşim verileri incelendiğinde en fazla titreşim 3000 devirde yaptığı görülmektedir.

Modal analiz sonuçlarında verilen 6. mode ise burulmayı göstermektedir. Bu durumdan tüm kasnaklar için 300 Hz kasnağın rezonansa girmesi olarak değerlendirilebilir.

Titreşim verileri ile kasnakların gürültü şiddetleri doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu durumda krank kasnağı titreşim – akustik teorisi aynı şekilde üretilen kasnak titreşim verisi akustik verisi ile doğru orantılı şekilde artmasına sebep olur. Bu nedenle motor simülasyonunda gerçekleşen uzun zamanlı testler yerine farklı devirlerde yapılacak olan akustik kontrol testleri ile kasnağın durumu izah edilebilir.

Doğal frekans testleri ile krank kasnaklarının frekansları Bölüm 4.8. 'de sonuçları bulunmuştur. Krank milinin burulma doğal frekansı ise Şekil 56. 'da verilmiştir. Bu sonuçlar ile krank milinin kasnaksız ve altı farklı numune kasnağın beraber kullanılması sonucu oluşan frekans – genlik cevapları Şekil 134. 'de verilmiştir.



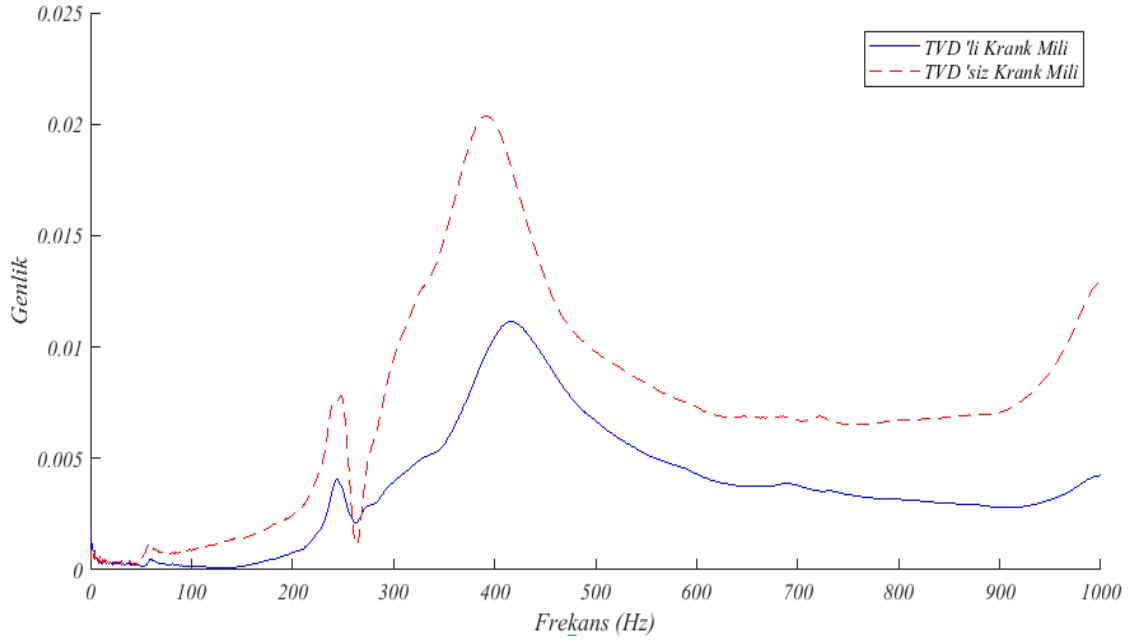
Şekil 133. Krank mili kasnaksız ve numune kasnak tiplerinin doğal frekans değerleri

Krank kasnaksız krank mili doğal frekansı 354,99 Hz iken kasnakların doğal frekans ölçümlerinde ise homojen karıştırılmış çok duvarlı karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuklu kasnak 358,89 Hz ile en yakın değerde görülmektedir. Krank mili rezonans durumuna girdiği zaman krank kasnağının %1,09 oranında yakınlığından dolayı burulma titreşimlerini üzerine çekecektir. Bu nedenle farklı numunelerden oluşan kasnakların işlevliğini en iyi kasnak olarak seçilmiştir.

Çizelge 14. Krank kasnağı tasarım sonuçları

Homojen karıştırma yöntemi ile çok duvarlı karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuklu krank kasnağı		
Kütle Oranı	Frekans Oranı	Sönüm oranı
0,75	4,62	0,014

Homojen karıştırma yöntemi ile üretilen çok duvarlı karbon tüpü takviyeli EPDM kauçuklu krank kasnağı için tasarım parametre sonuçları kütle oranı Eşitlik 4.2.1 'e göre frekans oranı 4.2.2. 'ye göre sönüm oranı ise 4.2.3. 'e göre matematiksel olarak hesaplanmıştır. Bu tasarım parametreleri krank kasnağının krank miline göre dinamik davranışları sergiler.



Şekil 134. TVD ve TVD'siz krank milinin rezonans durumu

Krank milindeki burulma titreşimleri krank kasnaklarıyla titreşim genlikleri absorbe edilebilir. Krank kasnakları bu nedenle dinamik sönümleyici olarak otomotiv parçası olarak kullanılır. Krank milinin doğal frekansları 350 – 400 Hz rezonans frekansıdır. Bu durum TVD 'siz krank milinin frekans – genlik grafiği Şekil 135. 'te verilmiştir. Krank kasnağı takıldıktan sonra krank milinin rezonans genliği %50 oranında sönümlendiği görülmüştür.

6. REFERANSLAR

1. Kelly, S.G., 2006, “Advanced Vibration Analysis”, CRC Presstaylor & Frances Group, Versiyon No: 20110720, U.S, S.8 – 87.
2. Zhang, W., Zhang, W., Zhao X., Guo, M., , 2015, “Characteristics Analysis Of Non-Linear Torsional Vibration İn Engine And Generator Shafting System” Telkommika, Vol. 13 No.1,41-54.
3. Mendes, A.S., Meirelles P.S., Zampieri D.E., 2008, “Analysis Of Torsional Vibration İn Internal Combustionengines: Modelling And Experimental Validation” Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part K: Journal Of Multi-Body Dynamics, 222: 155, S. 2-3.
4. Shangguan, W.B., Gao, W., Jiang, K.H., Zonni, D., 2007, “Multi-Mode And Rubber-Damped Torsional Vibration Absorbers For Engine Crankshaft Systems”, SAE International, 2007-01-2292, S 1 – 12.
5. Vahapoğlu, V., 2006, “Kauçuk Türü Malzemelerin İnelastik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
6. Anonim,1989, “Elastomers And Rubbers, Machine Design”, 61 (1989) 294 – 327
7. Mazlum, U., 2008, “EPDM Sentetik Kauçuğun Gerilme Gevşemesi Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
8. Vahapoğlu, V., 2007, “Kauçuk Türü Malzemeler I:Doğal Kauçuk”, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Vol. 3-1, P.57 – 70.
9. Morawetz, H., 2000, “History Of Rubber Research”, Rubber Chemistry And Technology, Vol.73,3, P.405 – 426.
10. Goodyear, C., 1844, “Improvement In India Rubber Fabrics”, US Patent No: 3,363., United States Patent Office.
11. PAGEV, 2017, “Türkiye Kauçuk Sektörü İzleme Raporu 2017”, PAGEV 14.12.2017, İstanbul, 2 – 5.
12. ASTM D 1418, “Standart Practice For Rubber And Rubber Latices-Nomenclature”, A.S.T.M., 2005.
13. ASTM 1566, “Standart Terminology Relating To Rubber”, A.S.T.M., 2005.
14. ASTM D 2000, “Standart Classification System For Rubber Parts İn Automotive Applications”, A.S.T.M., 2005.

15. R.J.,Schaefer, “Mechanical Properties Of Rubber”, Chapter 33, Sayfa 33.2.
16. Anonim, 2011, “Doğal Kauçuk Özellikleri Ve Testleri”, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Kimya Teknolojisi, Ankara, 9-10
17. Karataş, A., 2001, “Elastomer Malzemelerin Statik Ve Dinamik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, ITU Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
18. Kaya, F., 2005 “Ana Hatlarıyla Plastikler Ve Katkı Maddeleri”, Birsen Yayınevi.
19. Nagar, A., Chokkalingam, V., Umashankar, N., Shankar, S.R., 2013, “Improvement In Crank Train Torsional Vibration (TV) Performance Of Multi – Cylinder Diesel Engine” SAE International, 2013 – 01 – 2777.
20. Honda, Y., Saito, T., 1987, “Dynamic Characteristics Of Torsional Rubber Dampers And Their Optimum Tuning”, SAE Technical Paper 870580.
21. Maass, H. And Klier, H. Kräfte, 1981, “Momente Und Deren Ausgleichin Der Verbrennungskraftmaschine”, (Springer Verlag/Wien, Austria) (ISBN 3-211-81677-1).
22. Hafner, K. E. And Maass, H., 1985, “Torsionsschwingungen In Der Verbrennungskraftmaschine”, (Springer-Verlag/Wien, Berlin) (ISBN 3-211-81793-X).
23. Yüksek Planlama Kurulu, “2017/23 Türkiye Nanoteknoloji Stratejisi Ve Eylem Planı (2017 – 2018)” İle İlgili 17/07/2017 Tarihli 2017/23 Sayılı Yüksek Planlama Kurulu Raporu.
24. Ateş, H., Bahceci E., 2015, “Nano Malzemeler İçin Üretim Yöntemleri”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji GU J Sci Part:C 3(2):483-499.
25. Kalfa, O.M., Yalçınkaya, Ö., Türker, A.R., 2012, “MWCNT/Nano-Zro2 As A New Solid Phase Extractor: Its Synthesis, Characterization, And Application To Atomic Absorption Pectrometric Determination Of Lead”, TUBİTAK Türk J Chem. 36(2012), 885 – 898. Doi:10.3906/Kim-1203-1
26. Bozan, U., Altuncu E., Üstel F., 2014, “Nano Partikül Takviyeli Teflon Kaplamaların Üretilmesi ve Karakterizasyonu” SAÜ. Fen Bil. Der. 18. Cilt, 1. Sayı, S. 21-30.
27. Ramzan M., Abdurraheman A., Kumar B., 2017, “Nanocomposite Vibration Dampers Formed By Reinforcement In Viscoelastic Materials”, International Journal Of Innovative Research In Science, Engineering And Technology, Volume 6, Special Issue 1.

28. Ramzan M., Kumar B., “ Vibration Damping Of Nanoparticle Reinforced Rubber” Int. Jour. Of Innovations In Mechanical & Automobile Engineering, ISSN: 2249-2968, 2 (1), Pp 53-55.
29. Ziraki, S., Zebarjad S.M., Hadianfard, M.J., 2016, “On The Role Of Both Polypropylene Fibers And Silica Nanoparticles On The Viscoelastic Behavior Of Silicone Rubber Nanocomposites” Polymer-Plastics Technology And Engineering Volume 55, Issue 16, S. 1693-1699.
30. Dong, C., Yuan, C., Wang, L., Liu, W., Bai, X., Yan, X., 2016, “Tribological Properties Of Water-Lubricated Rubber Materials After Modification By Mos2 Nanoparticles”, Scientific Reports Volume 6, Article Number: 35023.
31. Huang, C.Y., Tsai, J.L., 2015, “Characterizing Vibration Damping Response Of Composite Laminates Containing Silica Nanoparticles And Rubber Particles”, SAGE, Volume: 49 Issue: 5, Page(S): 545-557
32. Alves, J.O., Zhuo C., Levendis, Y.A., Tenório, J.A.S., 2011, “Microstructural Analysis Of Carbon Nanomaterials Produced From Pyrolysis/Combustion Of Styrene-Butadiene-Rubber (SBR)”, Materials Research, Vol.14, N.4, P.499-504.
33. ALTIN.Y., BEDELOĞLU, A., 2016, “Grafen/Doğal Kauçuk Nanokompozitlerin Hazırlanması” 3. Ulusal Kauçuk Kongresi , Kasım 2016, TÜYAP, İstanbul.
34. Ramzan M., Kumar B., Chaskar, A., 2014, “Modal Analysis Of Nanoparticles Reinforced Natural Rubber” IOSR Journal Of Mechanical And Civil Engineering (IOSR-JMCE, Volume 11, Issue 3 Ver., PP 45-5.
35. Yaragalla, S., Meera, A.P., Kalarikkal, N., Thomas, S., 2015, “Chemistry Associated With Natural Rubber–Graphene Nanocomposites And Its Effect On Physical And Structural Properties” Industrial Crops and Products , Cilt74, S.792–802.
36. Url Adresi : <https://Rubbermachineryworld.Com/2015/03/06/Rubber-Mixing-Room/Automated-Mixing-Line/> Alınma Tarihi ve Saati: 07.04.2018, 22:15.
37. Gürmen S., Ebin B., “Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri – 1”, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi, S. 33.
38. Atas, C., “Kompozit Üretim Yöntemleri Ders Notu”, Url Adresi: [Http://Kisi.Deu.Edu.Tr/Cesim.Atas/Kompozit/4_%20Uretim%20Yontemleri.Pdf](http://Kisi.Deu.Edu.Tr/Cesim.Atas/Kompozit/4_%20Uretim%20Yontemleri.Pdf) Alınma Tarihi ve Saati: 08.04.2018, 18:48.

39. Arıcasoy, O., 2006, “Kompozit Sektör Raporu 2006”, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, Aralık 2006.
40. Anonim, “Kauçuk Malzemeler Ve Üretim Teknikleri Eğitim Notları”, İmes Eğitim LTD.ŞTİ. Www.İmesegitim.Com
41. Davulcu, B., 2012, “Haşhaş Tohumu Ezmesinin Reolojik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
42. ASTM D 1646 - 04, “Standard Test Methods For Rubber—Viscosity, Stress Relaxation, And Pre-Vulcanization Characteristics (Mooney Viscometer)”, A.S.T.M.,2004.
43. White, J.L., Tokita, N., 1965, “Rheological Analysis Of Raw Elastomers With The Multispeed Mooney Shearing Disk Viscometer”, Journal Of Applied Polymer Science, Volume9, Issue5, Pages 1929-1946.
44. Choi, S.S., Nah, C., Lee, S.G., Joo, C.W., 2003, “Effect Of Filler–Filler İnteraction On Rheological Behaviour Of Natural Rubber Compounds Filled With Both Carbon Black And Silica” Polymer International, Volume52, Issue1, Pages 23-28.
45. Montes, S., White J.W., Nakajima, N., 1988, “Rheological Behavior Of Rubber Carbon Black Compounds İn Various Shear Flow Histories”, Journal Of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Volume 28, Issue 2, Pages 183-212.
46. Karabörk, F., Akdemir, A., 2003, ” Atık Taşıt Lastiklerinin Parçalanması Ve Lastik Tozunun Karakterizasyonu”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 29(1):29-40.
47. Altın, Y., Parın, F.N., Yıldırım, K., 2016, “Kauçuk Karakterizasyonunda Termal Yöntemlerin Etkinliği” 3. Ulusal Kauçuk Kongresi, İstanbul, S.1-2.
48. Lobo, H. And Bonilla, J.V., 2003, “Handbook Of Plastics Analysis”, Marcel Dekker, Inc., USA.
49. Socrates, G., 2001, “Infrared And Raman Characteristic Group Frequencies”, John Wiley & Sons Ltd., England.
50. Yıldırım K., Aydın N., Köstem A.M., Güçer Ş., 2008, “DSC VE FT-IR İle Tekstil Sektöründe Kullanılan Termoplastik Polimerlerde Malzeme Karakterizasyonu”, II. Ulusal Polimer Bilim Ve Teknoloji Kongresi Sempozyumu Ve Sergisi, , Harran Şanlıurfa/Türkiye, 30 Nisan – 1 Mayıs.

51. Love, A.E.H., 1944, "Tretise On The Mathmatical Theory Of Elasticity", Forth Edition, Dover Publication, New York.
52. ASTM D 412, 1992 "Standart Test Method For Vulcanization Rubber And Termoplastic Rubber And Termoplastic Elastomer – Tension", ASTM, Philadelphia.
53. DIN 53 504, "Bestimmung Von Reibfestigkeit, Zugfestigkeit, Reibdehnung und Spannungswerten Im Zugversuch", D.I.N.
54. ISO 37:205, 2005 "Rubber, Vulcanized Or Thermoplastic. Determination Of Tensile Stress-Strain Properties", International Organization For Standardization, Geneva.
55. Vahapoğlu, V., 2013," Kauçuk Mekaniğinde Yapılan Deneyler", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 19, Sayı 1, Sayfalar 33-60.
56. Vahapoğlu, V., 2010, "Kauçuk Türü Malzemeler: Şekil Değişirme Hızı Etkileri", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt 16, Sayı 3, Sayfa 265-281.
57. Erkek, S., 2007, "Karbon Siyahı/Yağ Ve Karbon Siyahı/Dolgu Maddesi Oranının Farklı Vulkanizasyon Sistemlerinde EPDM Kauçuğunun Fiziko-Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
58. Brieu M., Diani J., Bhatnagar N., 2007, "A New Biaxial Tension Test Fixture For Uniaxial Testing Machine—A Validation For Hyperelastic Behavior Of Rubber-Like Materials" Journal Of Testing And Evaluation, Vol. 35, No. 4, S. 1 - 9.
59. Bergström , J.S.,Boyce, M.C., 1998, "Constitutive Modeling Of The Large Strain Time-Dependent Behavior Of Elastomers", Journal Of The Mechanics And Physics Of Solids, Volume 46, Issue 5, Pages 931-954.
60. Spetz, G., 1990, "Review' Of Test Methods For Determination Of Low- Temperature Properties Of Elastomers", National Testing Institute, Polymer Technology, Polymer Testing Volume 9, Issue 1, S. 27-37.
61. Çavdar S., 2007, "Effect Of Different Compositionson Rheological and Mechanical Properties Of EPDM Rubber", Yüksek Lisans Tezi, Middle East Technical University, Polymer Science And Technology, Ankara.
62. Shangguan, W.B., Guo, Y., Wei Y., Rakheja, S., Zhu W., 2016, "Experimental Characterizations And Estimation Of The Natural Frequency Of Nonlinear Rubber-Damped Torsional Vibration Absorbers", Journal Of Vibration And Acoustics, Volume 138, Issue 5 ,S.1-12.

63. Yamauchi, T., Yamazaki, Y., Kimura, J., 1999, "Experiment And Computation Analyses For Torsional Vibration Of Crankshaft System With Viscous Torsional Damper On Diesel Engine" SAE TECHNICAL PAPER SERIES, Noise And Vibration Conference & Exposition Traverse City, Michigan.
64. Sweeney, S.K., 2003, "Analysis And Discussion Of Diesel Engine Powertrain Torsional Resonance During Start-Up", SAE TECHNICAL PAPER SERIES, Noise & Vibration Conference And Exhibition Traverse City, Michigan.
65. Londhe, A., Yadav V.H., 2008, "Design And Optimization Of Crankshaft Torsional Vibration Damper For A 4-Cylinder 4-Stroke Engine", SAE TECHNICAL PAPER SERIES, Load Simulation And Analysis In Automotive Engineering.
66. Robinette, D., Grimmer, M., Beikmann, R., 2011, "Determining Physical Properties For Rotating Components Using A Free-Free Torsional FRF Technique", SAE International, 2011-01-1663.
67. Villalva, S.G., Bittencourt, M.L., Zampieri, P.R., 2013, "Methodology For Automotive Crankshaft Design Using Analytical And Flexible Models", SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 2013-36-0590.
68. Manin, L., Dufour, R., Schultz, S., 2013, "Pulley Torsional Vibration Damper Characterization", *Mechanics & Industry* 14, S.151–155 (2013).
69. Schwarz, B.J., Richardson, M.H., 1993, "Experimental Modal Analysis", CSI Reliability Week, Orlando, FL, S. 1-12.
70. Talebitooti, R., Morovati, M., 2014, "Study On TVD Parameters Sensitivity of a Crankshaft Using Multiple Scale And State Space Method Considering Quadratic and Cubic Non-Linearities" *Latin American Journal of Solids And Structures* 11 (2014) 2672-2695.
71. Tang, Z., Pillay, P., Omekanda, A.M., 2003, "Vibration Prediction In Switched Reluctance Motors With Transfer Function Identification From Shaker And Force Hammer Tests" *IEEE Transactions On Industry Applications*, Vol. 39(4), S.978 – 984.
72. Ye, S., Williams, K.A., 2006, "Torsional Friction Damper Optimization", Elsevier, *Journal Of Sound And Vibration* 294 (2006) 529–546.
73. Hwang, S. J., Perkins, N. C., Ulsoy, A. G., 1994, "Et Al. Rotational Response And Slip Prediction Of Serpentine Belt Drives Systems", *ASME Journal Of Vibration And Acoustics*, Vol.116, 71-78.

- 74.** Singh, V.K., Wani, N., Rastogi, N., 2005, “Designing A Tuned Torsional Damper For Automotive Applications Using FEA And Optimization” SAE TECHNICAL PAPER SERIES, SAE 2005 Noise And Vibration Conference & Exposition Traverse City, Michigan.
- 75.** Londhe, A., Yadav, V.H., 2008, “Design And Optimization Of Crankshaft Torsional Vibration Damper For A 4-Cylinder 4- Stroke Engine”, SAE TECHNICAL PAPER SERIES, Load Simulation And Analysis In Automotive Engineering.
- 76.** Boyce, M.C., Arruda, E.M., 2000, “Constitutive Models of Rubber Elasticity: A Review”, Rubber Chemistry And Technology, DOI: 10.5254/1.3547602, Vol. 73, Pp. 504 – 523.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı, Adı : GİTMİŞ, Mustafa
Doğum tarihi ve yeri : 1990, Konya
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (534) 640 1559
e – mail : mgmustafagitmis@gmail.com

EĞİTİM

<u>Derece</u>	<u>Eğitim Birimi</u>	<u>Mezuniyet Tarihi</u>
Yüksek Lisans	Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Nano Teknoloji ABD	2018
Lisans	Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü	2015
Lise	Zeki Altındağ Anadolu Lisesi Fen Bilimleri Bölümü	2009

İŞ DENEYİMİ

<u>Yıl</u>	<u>Yer</u>	<u>Görev</u>
2017 - Devam	KENTPAR OTOMOTİV	Ar - Ge Mühendisi
2016	KÖROĞLU KAUÇUK	Ür - Ge Mühendisi
2015	GÜNEŞ MOTOR SUBABLARI	Ür - Ge Mühendisi

YABANCI DİL

- İngilizce

YETKİNLİK

- SolidWorks, ANSYS, Matlab, Microsoft Office ve ERP Programları.
- ISO 9001:2018, IATF 16949, APQP, PPAP, Yalın Üretim, 5S ve Kaizen Eğitimleri.
- Uluslararası Yayın Hazırlama ve Yayınlama, Sonlu Elemanlar Yöntemi ve EUREKA Programları Eğitimleri.
- TUBİTAK 1501, TUBİTAK 1507, KOSGEB Ar-Ge İnovasyon ve BAP Projeleri Araştırmacı ve Yürütücüsü.

YAYINLAR

- Otomotiv Parçalarında Kullanılan Etilen Akrilik Elastomer ve Akronitril Bütadien Kauçuğun Metale Yapışma Mukavemetinin Belirlenmesi (ECSAC–2018)
- ASTM 1020 Çelik ve GGG-60 Döküm Malzemelerin Sıkı Geçme Bağlantılarında Malzeme Etkisinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi (ECSAC–2018)
- AISI 1040 Çeliğine, Çinko-Fosfat Ve Magnezyum-Fosfat İle Yüzey Kaplamalarının Malzeme Karakterizasyonuna Etkisi (ISLAC – 2018)
- Sıkı Geçme Bağlantısı Yapılan GGG-60 Döküm Malzeme ile S275JR ve S355JR Çeliğinin Malzeme Etkisinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi (Future Visions Journal)