

**HİDROLİK BURCUN GEOMETRİK
PARAMETRELERİNİN SÖNÜM KABİLİYETİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Yunus Emre EŞİYOK



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROLİK BURCUN GEOMETRİK PARAMETRELERİNİN SÖNÜM
KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Yunus Emre EŞİYOK
0000-0002-7995-2439

Dr. Öğr. Üyesi Sevda TELLİ ÇETİN
0000-0002-3281-9112
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

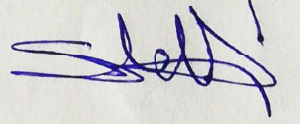
TEZ ONAYI

Yunus Emre EŞİYOK tarafından hazırlanan “Hidrolik Burcun Geometrik Parametrelerinin Sönüm Kabiliyetine Etkisinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Sevda TELLİ ÇETİN

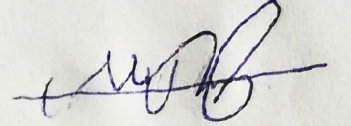
Başkan : Dr.Öğr. Üyesi Sevda TELLİ ÇETİN
0000-0002-3281-9112
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

İmza



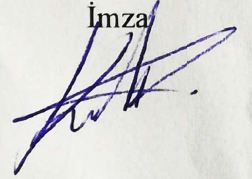
Üye : Doç.Dr. Ali DURMUŞ
0000-0003-2487-7344
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

İmza



Üye : Dr.Öğr. Üyesi Selçuk Karagöz
0000-0002-1987-5750
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.....

Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

beyan ederim.

20/09/2019

Yunus Emre EŞİYOK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİDROLİK BURCUN GEOMETRİK PARAMETRELERİNİN SÖNÜM KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yunus Emre EŞİYOK

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Sevda TELLİ ÇETİN

Kauçuklar elastik yapıları sayesinde titreşim sönümleme problemlerinde oldukça geniş kullanım alanı bulmaktadırlar. Süspansiyon sisteminin vazgeçilmez parçalarından olan burçlar genel anlamda 3 ana kategoriye ayrılmaktadır. Konvansiyonel burçlar, borulu ve borusuz kauçuklar olarak kullanılmaktayken; hidroburçlar içlerinde bir akışkan vasıtasıyla sönüm sağlamaktadır. Aktif titreşim takozları ise daha çok bir amortisör tasarımına benzemektedir ve dışarıdan bir sinyalle tahrik edildiğinde farklı karakterizasyon gösterebilmektedir.

Hidroburçlar, kauçuğun tek başına yüksek sönüm özelliği gösteremediği durumlarda akışkanların özelliklerinden yararlanarak titreşim problemlerine çözüm üretir. Hidroburçların tasarımı incelendiğinde kauçuk reçetesinin öneminin yanında geometrisindeki kriterlerin test sonuçlarına oldukça etkisi olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada hidroburçların mekanik özellikleri ve bu özelliklere etki eden parametreler incelenmiştir. Öncelikle kauçuk reçetesi statik test sonuçları üzerinden sabitlenmiştir. Diğer parametreler değiştirilerek hidroburçlardan elde edilen sonuçlar incelenmiş ve tasarım optimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidroburç, kauçuk, titreşim, sönüm, hidrolik burç

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HYDROBUSHES' GEOMETRIC PARAMETERS ON DAMPING PERFORMANCE

Yunus Emre EŞİYOK

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Sevda TELLİ ÇETİN

Due to their elastic structure, rubbers have a wide usage area in vibration damping problems. The bushings, which are part of the abandonment of the suspension system, are divided into 3 main categories. While conventional bushes are used as tubular and non-tubular rubbers, the hydraubushes provide damping by means of a fluid therein. Active vibration mounts are more like a shock absorber design and can show different characterization when driven by an external signal.

Hydrobushes provide solutions to vibration problems by taking advantage of the properties of fluids when rubber alone cannot show high damping properties. When the design of the hydrobushes is examined, it is known that besides the importance of the rubber formula, the geometry criteria have a significant effect on the test results.

In this study, the mechanical properties of the hydrobushes and the parameters affecting these properties were investigated. First of all, the rubber formula is fixed according to static test results. Other parameters were changed and the results were examined from the hydrobushes and the design was optimized.

Key words: Hyrobush, rubber, vibration, damping, hydraulic bushing

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim sürecinde bana sabır gösteren ve yönlendirmeleriyle bana destek olan Sayın Dr. Öğretim Üyesi Sevdâ TELLİ ÇETİN 'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu alandaki gayretleriyle bana sürekli destek olan çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında yanımda olan, her anlamda bana inanarak güç veren annem, babam ve abime teşekkürlerimi borç bilirim.

Benden desteğini esirgemeyen eşime ve hayatıma farklı anlam katan oğluma teşekkürlerimi sunarım.

Yunus Emre EŞİYOK
20/09/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1 Tabii Kauçuk.....	3
2.2 Sentetik Kauçuk	5
2.3 Kauçuk Reçetesi.....	6
2.3.1 Reçete içerisindeki kimyasallar	6
2.4 Kauçuk Kalıp Yöntemleri	9
2.4.1 Kompresyon kalıplama	10
2.4.2 Transfer kalıplama	10
2.4.3 Enjeksiyon kalıplama	11
2.5 Vulkanizasyon.....	11
2.6 Süspansiyon Sistemleri	12
2.7 Burçlar	14
2.7.1 Konvansiyonel burçlar	15
2.7.2 Hidroburçlar	16
2.7.3 Aktif titreşim burçları.....	20
2.8 Karakterizasyon Testleri	20
2.8.1 Histeresis	20
2.8.2 Statik testler.....	21
2.8.3 Dinamik testler	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1 Reometre	24
3.2 Sertlik Ölçüm	25
3.3 Yoğunluk Ölçüm.....	25
3.4 Kopma Uzama.....	26
3.5 Dispersiyon	26
3.6 Statik Test Cihazı	26
3.7 Dinamik Test Cihazı	27
3.8 Yağ Dolum	28
3.9 Komponentler.....	29
3.10 Kalıplar	30
3.11 Kauçuklara Yapılan Testler.....	32
3.11.1 Dispersiyon Testleri	32
3.12 Vulkanizasyon Parametrelerinin Optimizasyonu.....	33
3.13 Hidroburca Yapılan Testler.....	33
3.13.1 Statik testler.....	33
3.13.2 Dinamik testler	35
3.14 Hidroburçların Mekanik Özelliklerine Etki Eden Parametreler.....	37

4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	39
4.1 Reometrik Özellikler ve Fizikomekanik Test Sonuçları.....	39
4.2 Dispersiyon Test Sonuçları	40
4.3 Statik Test Sonuçları	41
4.4 Dinamik Test Sonuçları.....	46
5. SONUÇ	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	58

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
NR	Tabii Kauçuk
SBR	Stiren Bütadien Kauçuk
CR	Neopren Kauçuk
EPDM	Etilen Propilen Kauçuk
NBR	Nitril Kauçuk
IR	Izopren Kauçuk
ASTM	Test ve Malzemeler için Amerikan Topluluğu
SI	Silikon
BR	Bütadien Kauçuk
ZnO	Çinko Oksit
TiO ₂	Titanyum Dioksit
mL	Minimum Vizkozite
mH	Maksimum Vizkozite
ts2	Skorç Zamanı
t90	Pişmenin %90 ının Tamamlandığı Zaman

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Tabii Kauçuk	4
Şekil 2.2 Yumuşatıcılar.....	8
Şekil 2.3 Kompresyon Kalıplama	10
Şekil 2.4 Transfer Kalıplama	11
Şekil 2.5 Enjeksiyon Kalıplama.....	11
Şekil 2.6 Süspansiyon Sistemleri Tarihçesi	13
Şekil 2.7 Burç Tipleri.....	15
Şekil 2.8 Hidroburç Çalışma Prensibi.....	16
Şekil 2.9 Konvansiyonel ve Hidroburç Karşılaştırması.....	17
Şekil 2.10 Konvansiyonel ve Hidroburç Kayıp İş Karşılaştırması	18
Şekil 2.11 İnsan Vücudundaki Organların Frekans Aralıkları.....	18
Şekil 2.12 Hidroburç Tasarım Parametreleri	19
Şekil 2.13 Histeresis	20
Şekil 2.14 Yay Sabiti Hesaplama	22
Şekil 2.15 Mullins Etkisi	22
Şekil 2.16 Frekans Bandında Dinamik Yay Sabiti	23
Şekil 2.17 Kayıp Açısı.....	23
Şekil 3.1 RPA 2000	24
Şekil 3.2 Shoremetre.....	25
Şekil 3.3 Yoğunluk Ölçüm Kiti	25
Şekil 3.4 Kopma Uzama Testi	26
Şekil 3.5 Statik Test Cihazı	27
Şekil 3.6 Dinamik Test Cihazı	27
Şekil 3.7 Dinamik Test Aparatı	28
Şekil 3.8 Hidroburç.....	28
Şekil 3.9 Yağ Dolum Tankı	29
Şekil 3.10 Hidroburç Tasarımı.....	29
Şekil 3.11 Hidroburç Detay Parçaları	30
Şekil 3.12 Alüminyum Enjeksiyon Kalıbı	31
Şekil 3.13 Montaj Kalıbı.....	31
Şekil 3.14 Vulkanizasyon Kalıbı	31
Şekil 3.15 Braket Montaj Kalıbı	32
Şekil 3.16 Test Yönleri	34
Şekil 3.17 Test Fikstürü ve Yönleri	34
Şekil 3.18 Farklı Yönlerden Parça Görünümleri	35
Şekil 3.19 Dinamik Test Koşulları.....	35
Şekil 3.20 Hidroburç Tasarım Parametreleri	36
Şekil 3.21 Hidroburç İçindeki Akışkanın Normal Yüklerdeki Rotası.....	36
Şekil 3.22 Hidroburç İçindeki Akışkanın Anlık Yüklerdeki Rotası.....	37
Şekil 4.1 Hidroburçta Kullanılan Kauçuk Karışım Oranına Ait Dispersiyon Görselleri.....	40
Şekil 4.2 Hidroburç 3 Yöndeki Test Sonuçları.....	42
Şekil 4.3 Kauçuk Formülü 1 ve 2 ye ait Histeresis Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	42
Şekil 4.4 Kauçuk Formülü 3 ve 4 e ait Histeresis Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	43
Şekil 4.5 Kauçuk Formülü 1 ve 2 ye ait Ömür Test Sonuçlarının Karşılaştırılması	43
Şekil 4.6 Kauçuk Formülü 3 ve 4 e ait Ömür Test Sonuçlarının Karşılaştırılması	44
Şekil 4.7 Kauçuk Formülü 1 ve 2 ye ait Dinamik Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	44

Şekil 4.8	Kauçuk Formülü 3 ve 4 e ait Dinamik Test Sonuçlarının Karşılaştırılması....	45
Şekil 4.9	Rev0 Dinamik Yay Sabiti, Kayıp İş, Faz Açısı ve Tepe Frekansı Sonuçları ..	46
Şekil 4.10	Rev1 Dinamik Yay Sabiti, Kayıp İş, Faz Açısı ve Tepe Frekansı Sonuçları	46
Şekil 4.11	Rev2 Dinamik Yay Sabiti, Kayıp İş, Faz Açısı ve Tepe Frekansı Sonuçları	47
Şekil 4.12	Rev3 Dinamik Yay Sabiti, Kayıp İş, Faz Açısı ve Tepe Frekansı Sonuçları	47
Şekil 4.13	Rev4 Dinamik Yay Sabiti, Kayıp İş, Faz Açısı ve Tepe Frekansı Sonuçları	48
Şekil 4.14	Rev5 Dinamik Yay Sabiti, Kayıp İş, Faz Açısı ve Tepe Frekansı Sonuçları	48
Şekil 4.15	Rev6 Dinamik Yay Sabiti, Kayıp İş, Faz Açısı ve Tepe Frekansı Sonuçları	49
Şekil 4.16	Rev7 Dinamik Yay Sabiti, Kayıp İş, Faz Açısı ve Tepe Frekansı Sonuçları	49
Şekil 4.17	Rev8 Dinamik Yay Sabiti, Kayıp İş, Faz Açısı ve Tepe Frekansı Sonuçları	48
Şekil 4.18	Yağ Kanalı Uzunluğu, Yağ Kanalı Kesiti, Valf Ve Yağ Cebi Hacmindeki Değişikliklerin Dinamik Yay Sabiti İle İlişkisi.....	52
Şekil 4.19	Yağ Kanalı Uzunluğu, Yağ Kanalı Kesiti, Valf Ve Yağ Cebi Hacmindeki Değişikliklerin Maksimum Kayıp İş İle İlişkisi.....	52
Şekil 4.20	Yağ Kanalı Uzunluğu, Yağ Kanalı Kesiti, Valf Ve Yağ Cebi Hacmindeki Değişikliklerin Faz Açısı İle İlişkisi	52
Şekil 4.21	Yağ Kanalı Uzunluğu, Yağ Kanalı Kesiti, Valf Ve Yağ Cebi Hacmindeki Değişikliklerin Kayı İş Tepe Frekansı İle İlişkisi	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Kauçuk reçetesi içindeki kimyasallar	7
Çizelge 2.2. Dolgu Tipleri ve Özellikleri.....	7
Çizelge 2.3. Konvansiyonel Burç ile Hidroburç Özelliklerinin Karşılaştırılması	17
Çizelge 2.4. Hidroburçlara Yapılan Testler	19
Çizelge 3.1. Geliştirme Yapılacak Paraçanın Vulkanizasyon Ayar Parametreleri.....	33
Çizelge 3.2. Karşılaştırma Yapacak Ürüne ait Tasarım Bilgileri	38
Çizelge 4.1. Referans parçadan beklenen özellikler	39
Çizelge 4.2. Kauçuk formülü içindeki temel bileşenler ve kauçuk değerleri	39
Çizelge 4.3. Kauçuk dispersiyon sonuçları.....	41
Çizelge 4.4. Kauçuk formülleri ve bu formüllere ait histeresis sonuçlarının karşılaştırılması	45
Çizelge 4.5. Referans alınan burçta yapılan değişiklikleri dinamik test sonuçlarına etkisi	50
Çizelge 4.6. Çoklu cevap öngörü sonuçları	53
Çizelge 4.7. Çoklu cevap öngörü sonuçları ile gerçek parça test sonuçlarının karşılaştırılması	54
Çizelge 4.8. Rev9 ile referans değerlerin karşılaştırılması	54

1. GİRİŞ

Gelişen dünyada beklentilerin artmasıyla beraber içine pek çok kimyasalın da katılmasıyla reçete halini alan kauçuk; titreşim sönümleme, izolasyon, sızdırmazlık gibi görevleri yerine getirmek amacıyla farklı yerlerde kendine kullanım alanı bulmuştur. Kauçuğun kükürtle girdiği reaksiyon sonrasında elastik yapıya dönmesiyle mühendislik malzemeleri arasında kendine yer bulan elastomer, özellikle titreşim sönümleme kabiliyetleri sayesinde süspansiyon sistemlerinin vazgeçilmez parçaları olmuşlardır.

Otomotiv süspansiyon sistemlerinde bulunan burçlar titreşim izolasyonu görevinin yanında hareketli eklem görevini de sağlarlar. Burçların ana gereksinimlerinden bir tanesi kendisinden beklenen sönüm kabiliyetini zamanla yitirmemesidir. Genel olarak borulu veya borusuz olarak üretilen konvansiyonel burçlar en yaygın kullanılan tiplerdir. Bunun yanında günümüz otomotiv endüstrisinde konfor beklentisinin ön planda olduğu durumlarda içlerine bir sıvı enjekte edilen ve bu sıvının özelliklerinden yararlanarak yüksek sönüm yapabilen hidrolik burçlar ve aktif süspansiyon burçları da kullanılmaktadır. (Hidrolik burç yerine hidroburç yaygın olarak kullanılmaktadır ve tezin ilerleyen kısımlarında bu isimle anılacaktır.)

Ülkemiz konvansiyonel burç üretimi ve geliştirmesi anlamında oldukça tecrübeli ve dünyada söz sahibidir. Hidroburç üretimi konusunda belirli kriterler dahilinde üretim yapılabilmekte fakat geliştirme konusunda dünyaya kıyasla oldukça geriden gelmektedir. Aktif süspansiyon burçlarında ise henüz gelişim aşaması şekillenmemiş ve elektrik araçların sokaklarda yerini almasıyla beraber burada da faaliyetler gerçekleşecektir.

Hidroburçlar temel olarak kapalı bir alan içerisinde hapsedilen sıvıyı kullanarak konvansiyonel burçlara göre daha yüksek sönüm yapabilen burç tipleridir. Bu çalışmada hidroburçların kayıp işe ait tepe frekansına, faz açısına, maksimum kayıp işe ve dinamik yay sabiti değerine etki eden parametreler incelenecektir. Bu inceleme için tez içerik olarak kimya ve mekanik adı altında iki ana bölüme ayrılmıştır.

Kimya bölümünde ilk olarak kauçuk tarihi ve yapısı ile ilgili temel değerlerden bahsedilerek genel bilgilendirme yapılmıştır. Sonrasında hidroburcun histeresis eğrisi altındaki alanı ve ısı iç sürtünmeleri azaltacak reçete tasarlanmış ve parça üzerinde testler ile doğrulaması yapılmıştır. Bu süreçte reçete tasarımı, elastomer oranları vb. gibi temel özellikler belirlenerek karışım yapılacak ve bunlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Böylece statik koşullar altında elde edilen mekanik özelliklerin parçanın ömrü boyunca aynı değerlerini koruması hedeflenmiştir.

Tezin mekanik bölümünde ise burçların görevleri ve onlardan beklenen özellikler sıralanmış ve özel olarak hidroburç tanımı yapılmıştır. Hidroburçların kullanım amacı, konvansiyonel burçlarla karşılaştırılması, çalışma presipleri gibi temel konular anlatılmış; özellikle frekans bandındaki karakterizasyonuna etkiyen parametreler incelenerek deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylece hangi tasarım değerinin hangi parametreyi ne kadar etkilediğine dair çalışma yapılarak sonuçlar incelenecektir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Christopher Columbus'un Amerika'yı keşfi sırasında yöre halkının ağaçtan elde edilen bir sıvıdan yapılmış topla oynadıklarını görmesiyle kauçuk ile ilgili detaylı araştırmaların başladığı düşünülmektedir. Avrupada, 16. yüzyılda keşfedilip dünyaya tanıtılmaya başlanan kauçuk, ancak 19. yüzyılın ortalarına doğru Charles Macintosh, Thomas Hancock ve Charles Goodyear gibi araştırmacı ve girişimcilerin özel gayret ve keşifleriyle günlük yaşamın ayrılmaz bir mühendislik malzemesi olmuştur. 1888 yılındaki otomobil tekerleklerinin icadı ise kauçuğun artık vazgeçilmez bir mühendislik malzemesi olduğunu ispatlamıştır (Vahapoğlu 2007).

Günlük hayatımızın her alanında karşımıza çıkan kauçuk malzemeler geniş kullanım alanına sahiptir. Titreşim, gürültü ve şok emici olarak otomotiv sektöründe tamponda, amortisörlerde, motor ve makine takozlarında, burçlarda, konveyör bantlarda kullanılmaktadır. Yıllık toplam kauçuğun %54 ü fazlası araç lastik üretimine aittir (Türkiye Kauçuk Sektör İzleme Raporu 2012).

Kauçuklar tabii kauçuk (NR), stiren bütadien kauçuk (SBR), neopren kauçuk (CR), Etilen propilen kauçuk (EPDM), nitril kauçuk (NBR), izopren kauçuk (IR) gibi çeşitlere ayrılırlar. Kullanım alanına, maliyetine ve kauçuktan olan beklentilere göre tip seçimi yapılmaktadır.

2.1 Tabii Kauçuk

Titreşim sönümlleme ile ilgili hemen hemen bütün faaliyet alanlarında kullanılan en yaygın kauçuk tipi tabii kauçuktur. Bileşiminde % 36-%40 arasında toplam katı madde içermektedir. Bunun dışındakiler proteinli, reçineli, şekerli maddeler ve kül 'den ibarettir (Elastomer Teknolojisi 1 Kauçuk Derneği). Yapısında yüksek oranda su bulunan lateks asitle pıhtılaştırıp kurutularak tabii kauçuk elde edilmektedir (Simpson 2002).

Tabii kauçuk ASTM standartlarıncı, uygulanan kuvvetin serbest bırakılmasıyla tekrar eski konumuna geri dönebilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Rosen 1993). Tabii kauçuklar yapısında hemen hemen hiç çapraz bağ içermediğinden ısıtıldığında yapışkanlaşmakta, soğutulduğunda ise sertleşmektedir. Bugün kauçuk dünyada;

Malezya, Endonezya, Vietnam, Tayland ve Sri Lanka plantasyonlarında üretilmektedir. Tabii kauçuğun ülkelere göre üretim oranları yaklaşık olarak Malezya %40, Endonezya %25, Tayland %15, Hindistan ve Çin %4.3, diğer kıtalarda ise %10 civarındadır (Castano 2001).



Şekil 2.1 Tabii Kauçuk

Tabii kauçuk ampirik olarak ilk defa Michael Faraday (1791-1867) tarafından C_5H_8 olarak tanımlanmıştır. 1860 yılında ise İngiliz kimyacı Charles Hanson Greville Williams (1829-1910) kauçuğu damıtmış ve elde ettiği bu malzemeyi ‘isopren’ olarak adlandırmış ve böylece kauçuk malzemesinin isopren moleküllerinin birleşmesinden meydana geldiğini belirtmiştir (Gent 1992).

Tabii kauçuğun özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Mükemmel gerilme dayanımı ve yırtılma direnci gibi mekanik özellikler gösterir
- 35 den 90 Shore A 'ya geniş sertlik aralığında çalışır
- Yüksek elastikiyet, mükemmel dinamik özellikler ve düşük kompresyon set özellikleri vardır
- Ozona hassastır. Atmosferik şartlara dayanımı vakslarla kombine edilmiş antiozonant ilavesi ile geliştirilebilir
- $-40^{\circ}C$ ile $80^{\circ}C$ sıcaklık aralığında çalışabilir
- Kolay işlenebilme özelliği vardır.

2.2 Sentetik Kauçuk

Tabii kauçuğun kullanım alanlarının artmasıyla beraber üretimin aynı hızda ilerleyememesinden dolayı temin problemleri yaşanmaya başlanmıştır. Bu süreçte başka ülkelere olan bağımlılık sentetik kauçuk üretimini gündeme getirmiştir. Özellikle I. ve II. Dünya savaşları sırasında uygulanan ambargolar, sentetik kauçuk çalışmalarına tamamen ağırlık verilmesine sebep olmuştur. Bu sayede günümüzde kullandığımız birçok sentetik kauçuk malzemeleri savaş yıllarındaki ihtiyaca karşılamak amacı ile elde edilmiştir (Vahapoğlu 2006).

Kauçuk konusunda dışa bağımlı olmama isteği sonucunda polimerizasyon ve vulkanizasyon teknikleri kullanılarak çeşitli sentetik kauçuklar üretilmiştir. Bu kauçukların bazıları stiren bütadien kauçuk (SBR), poli bütadien kauçuk (BR), neopren kauçuk (CR), Etilen propilen kauçuk (EPDM), nitril kauçuk (NBR), silikon (SI) olarak sıralanabilir (Durmuş 2005).

Sentetik kauçuklardan en yaygın kullanılan tür stiren bütadien kauçuktur (SBR). Stiren bütadien türü kauçuklar stiren ve bütadien kopolimeri ile üretilebilen genel amaçlı elastomerlerdir (Hamed 1986). Ağırlık olarak yaklaşık 3: 1 oranında stiren ve bütadienden oluşur. Katkı maddeleriyle beraber iyi aşınma dayanımı ve iyi yaşlanma stabilitesi vardır. Doğal kauçuklarla karışımları özellikle otomobil lastiklerinde de yaygın kullanılmasını sağlar. SBR kauçuklar, doğal kauçuktan farklı olarak daha iyi işlenebilirlik, ısıl yaşlanma ve aşınma direncine sahiptir. Bunun yanında daha düşük uzama, sıcak yırtılma mukavemeti, histeresis, esneklik ve gerilme mukavemetine sahiptir (Brentin 2009). SBR kauçuklar özellikle yüksek aşındırma özelliği, termal bozulma dayanımı ve çatlaklara karşı gösterdiği direnç gibi özellikler sayesinde, bu özelliklerin beklendiği alanlarda NR ve BR türü kauçuklardan daha fazla kullanılmaktadır. Vulkanize edilemeyen bileşikler ise NR bileşikler kadar dayanıklılığa sahiptir (Rubber Chemistry 2007).

2.3 Kauçuk Reçetesi

Kauçuk malzemelerin farklı kimyasallarla beraber karıştırılması kauçuk endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Özellikle tek tür kauçuk kullanımında üründen istenilen performans elde edilemediği durumlarda farklı tür kauçuk kombinasyonları ile üstün özelliklere sahip ürün elde edilebilmektedir. Bu şekilde hazırlanan kauçuk karışımları ile kullanıcıya proses, maliyet ve performans olarak alternatif çözümler sunulmaktadır (Datta 2013). Yüksek mekanik özellik ve iyi aşınma direnci istenen uygulamalarda doğal kauçuk genellikle stiren bütadien kauçuk türü ile karıştırılmaktadır (Nik Yahya 2014).

Elastomerler, çok düşük sıcaklıklarda cam gibi sert olan, çok yüksek sıcaklıklarda dahi koyu sıvımsı akışkan özellikler göstermeyen, oda sıcaklığından parçalanma sıcaklığına kadar geniş bir alan içerisinde elastik özellik gösteren, seyrek çapraz bağlanmış polimerik malzemelerdir (Smith 1993). Kauçuk olarak tanımladığımız elastomerler polimerlerin seyrek çapraz bağlanması ile oluşan ağ yapısı halidir. Bir polimerin elastomer olması için; yüksek molekül ağırlığına, gelişigüzel zincir yapısına ve çapraz bağlanabilme özelliğine sahip olması gerekmektedir. Kauçuklar çapraz bağlanmamış ancak çapraz bağlanabilme özelliğine sahip yani vulkanize edilebilen polimerlerdir (Dalgakıran 2010).

2.3.1 Reçete içerisindeki kimyasallar

Kauçuk ürünlerin günlük hayatımızın hemen her alanında önemli yerleri vardır. Bu ürünlerin başarıları ise doğru polimerlerin, kauçuk kimyasallarının ve dolgu maddelerinin uygun oranlarda karışmalarına bağlıdır (Loyd 1976). Kauçuk malzemeler üretilmeden önce üründen istenen özelliklere ve çalışma koşullarına göre reçetelendirilerek vulkanizasyona hazır hale getirilir. Kauçuk malzeme reçete içerisinde tek başına kullanılabileceği gibi birden fazla kauçuk kombinasyonu da yaygın olarak kullanılmaktadır. Kauçuk karışımı; istenilen özelliklere göre ayarlanmış, kauçuk ve diğer hammaddeler ile (karbon siyahı, yağ, aktivatörler) vulkanize edilebilen karışımlardır. Kauçuk kauçuk reçeteleri içerisinde Çizelge 2.1 de görülebileceği gibi genelde dolgu maddeleri, yumuşatıcılar, proses kolaylaştırıcılar, yaşlanmayı önleyiciler, aktivatörler, hızlandırıcılar, pişiriciler (vulkanizasyon sistemi), geciktiriciler (karbon siyahı), boyalar, koku kimyasalları, şişiricilerden meydana gelmektedir (Ozturk 2008).

Çizelge 2.1. Kauçuk reçetesi içindeki kimyasallar

Kauçuk	Aktivatörler
Dolgular	Koruyucular
Yumuşatıcılar	Renk vericiler
Proses kolaylaştırıcılar	Geciktiriciler
Hızlandırıcılar	Sertleştiriciler

Dolgular; kauçuklara kuru toz halinde katılan çok küçük tane boyutlu maddeler, ya güçlendirici (reinforcing agent) ya da dolgu maddeleri (filler) olarak tanımlanır. Dolgular kauçuğun kuvvetlendirilmesi, işlenebilme özelliklerinin geliştirilmesi, ekonomik karışımlar oluşturması ve renklendirilebilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Çizelge 2.2 de dolgu tipleri ve özellikleri verilmiştir. Dünyada üretilen karbon siyahının %95'i kauçuk sanayinde tüketilmektedir. Güçlendirici türde olan karbon siyahları kauçuklarda en yaygın ve en fazla kullanılan dolgu maddesidir.

Çizelge 2.2 Dolgu tipleri ve özellikleri

ASTM Sınıfı	İsmi	Özelliği	Tane büyüklüğü, (nm)	Yüzey alanı, (m ² /g)
N 110	SAF	Super Abrasion Furnace (Üstün aşınma)	11-19	125- 155
N 220	ISAF	Intermediate Super Abrasion Furnace (Orta aşınma)	20 -25	110-140
N 330	HAF	High Abrasion Furnace (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
N 660	GPF	General Purpose Furnace (Genel amaçlı siyahlar)	49-60	26-42
N 762	SRF	Semi Reinforcing Furnace (Yarı kuvvetlendirici siyahlar)	40-48	36-52

Yumuşatıcılar; kauçuk sanayinde dolgu maddeleri ile birlikte, bir karışımın iskeletini oluşturur. Kauçuk hamurunun hazırlanmasında kullanılan en önemli ham maddelerden biri yumuşatıcılardır. Karbon karası katıldıktan hemen sonra yağlar karışıma katılır. Bu şekilde karbon karası ile kauçuğun daha iyi karışmasını sağlar.



Şekil 2.2 Yumuşatıcılar

Kauçuk malzeme üretimi, hammaddenin depolama anından, mamulün oluşumuna kadar, bir seri işlemi kapsamaktadır. Her üretim kademesinde değişik zorluklar çıkabilmektedir. Bu zorlukları gidermek amacı ile proses kolaylaştırıcılar ya da diğer bir ifade ile proses yardımcı maddeleri geliştirilmiştir. Proses yardımcı maddelerinin işlevleri, yumuşatıcılara benzediği halde, karışıma düşük oranda katılmaları ve fiziksel özelliklere çok az tesir etmeleri nedeniyle farklılıklar göstermektedir.

Hızlandırıcılar; vulkanizasyon işleminde çinko oksit ile birlikte vulkanizasyonu hızlandıran kimyasallardır. Hızlandırıcının görevi, kükürdün daha çabuk ve etkin bir biçimde devreye girmesini sağlamak; çinko oksidin görevi, hızlandırıcının etkisini aktive etmek; yağ asidinin görevi ise, çinko oksidi aktive etmektir.

Vulkanizasyon işleminde hızlandırıcıların aktivasyonunu sağlayan maddelere aktivatör denir. Aktivatör olarak kullanılan en önemli madde çinko oksittir. Çinko oksit ilk aktive edici olarak kullanılan kimyasaldır.

Elastomerlerin zaman içerisinde özelliklerinin değişime uğramasına yaşlanma denir. Değişimler sertleşme, bozulma, yumuşama, yorulma, gibi birçok şekilde görülebilir. Elastomerleri yaşlanma faktörlerinden korumak için, karışımlarına koruyucu kimyasallar ilave edilir. Koruyucular yapılarına göre, yukarıdaki faktörlerden biri veya bir kaç tanesine karşı koruma sağlayabilirler.

Renk vericiler; renkli kauçuk mamüllerin üretiminde kullanılmaktadır. Bunlardan TiO_2 çok iyi bir pigment olarak bilinmektedir. Fakat pahalıdır. ZnO diğer bir renk vericidir. Genellikle boyalar stiren monomeri içinde çözülür ve daha sonra reçine ile karıştırılır.

Kauçuk karışımlarını dengelemek ve vulkanizasyonu kontrol altına almak amacıyla belli maddeler ilave etmek gerekmektedir. Bu amaçla Retarder (geciktirici)lar, kompleks organik yapılarıyla bu fonksiyonu yerine getirir.

Organik sertleştiriciler ise plastiklerin dayanımının düşük olduğu hallerde kullanılmaktadır ve karışıma çok az ilave edilmektedir.

Bir kauçuk karışımından beklenen özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Karışımın hazırlanacağı metot ve makinelere uygun olması,
- Bitmiş mamulün çalışacağı ortama uygun özelliklerin yaratılması,
- Karışımın uygulanacağı proses metot ve makinelere uygun olması,
- Rekabetçi olabilmek için maliyet özellikleri.

2.4 Kauçuk Kalıp Yöntemleri

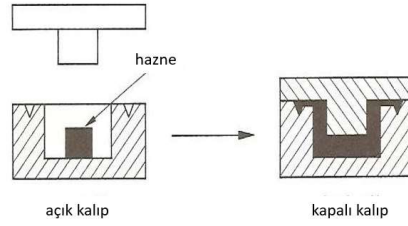
Kauçuk parçalar sıcaklık ve basınç etkisi altında; parça geometrisi, ağırlığı ve kauçuk malzemesine göre farklı tonajlardaki preslerde vulkanize edilir. Vulkanizasyon tamamlandıktan sonra parça kalıptan çıkarılarak, üretim tekrar edilir. Temel olarak vulkanizasyon işleminin esas kalıp tasarımıdır. Kalıp içerisinde; kauçuk kauçuk akışı, kalıbın sızdırmazlığı, parçanın kalıptan ayrılması ve parçayı deforme etmeden çıkartılması çok önemlidir.

Prete vulkanizasyon işlemi özellikle parça geometrisi ve malzemesi esas alınarak, 3 farklı kalıplama tekniği ile gerçekleşir.

- Kompresyon kalıplama
- Transfer kalıplama
- Enjeksiyon kalıplama

2.4.1 Kompresyon kalıplama

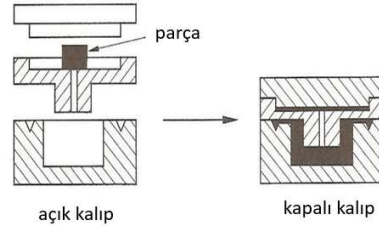
Kompresyon kalıplama tekniğinde kalıp göz sayısı, parça üretim adetleri ve geometrisine göre tekli veya çoklu olarak tasarlanır. Her bir kalıp gözü, şekillenmiş fakat vulkanize olmamış kauçuk malzeme ile doldurulur. Kauçuk malzeme belirli sıcaklık ve basınç altında çapraz bağlanma tamamlanana kadar kalıp içerisinde kalır ve süre tamamlandığında kalıp açılarak pişmiş kauçuk parçalar alınır. Bu süre zarfında; kauçuk malzeme akışkan hale gelerek, kalıp gözlerini doldurur ve çapraz bağlanma tamamlanana kadar Şekil 2.3 de görünen kalıbın formunu alarak nihai hale gelir (Callister ve Rethwisch 2012).



Şekil 2.3 Kompresyon Kalıplama

2.4.2 Transfer kalıplama

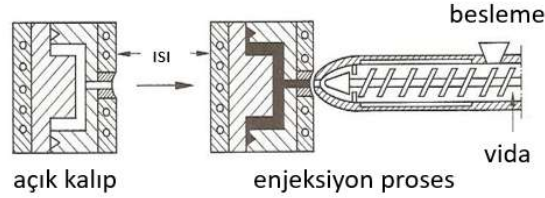
Transfer kalıplama, basınç-sıkıştırma ile aynı proses olup tek farkı Şekil 2.4 de de görülebileceği gibi kauçuk hamurunun kalıp boşluğuna bir delikten geçerek transfer edilmesidir (Callister ve Rethwisch 2012). Transfer kalıplama; piston, silindir ve kalıp boşluğu olarak üç ana kısımdan oluşur. Vulkanize olmamış kauçuk parçası silindirin içine yerleştirilir, hidrolik basınç altında, kauçuk küçük delikten boşluğa itilir ve kalıba doğru akar. Çapraz bağlanma tamamlanana kadar kalıp açılmaz. Piston yukarı kalkar ve kalan transfer kauçuk piştikten sonra kalıp dışarı alınır ve silindir içerisinde pişmiş kauçuk alınarak atılır ve parçalar kalıptan çıkarılır.



Şekil 2.4 Transfer Kalıplama

2.4.3 Enjeksiyon kalıplama

Enjeksiyon kalıplamada kauçuk hamuru, enjeksiyon presine şerit halinde beslenir. Kovan içerisinde ön ısıtmaya maruz kalan kauçuk yumuşar, daha sonra Şekil 2.5 de görünen vidalı besleme sistemi yardımıyla kalıba enjekte edilir ve çapraz bağlanma kalıp içerisinde gerçekleşir. Vidalı besleyici, istenen parça sayısını oluşturmak için gereken malzemenin tam miktarını alır (Callister ve Rethwisch 2012). Vulkanizasyon işlemi tamamlanınca kalıp açılır ve parçalar alınır. Enjeksiyon kalıplama ile transfer kalıplama arasındaki temel fark kauçuğun enjeksiyon kalıplamada ön ısıtmaya maruz bırakılmasıdır. Böylece kauçuk kalıp içerisine daha rahat enjekte edilir ve çapraz bağlanma süresi kısaltılmış olur. Özellikle yüksek üretim adetlerinde oldukça verimli bir kalıplama tekniğidir.



Şekil 2.5 Enjeksiyon Kalıplama

2.5 Vulkanizasyon

Vulkanizasyon prosesi, doğal kauçuk ve diğer elastomerleri çapraz bağlı polimerlere dönüştüren kimyasal bir süreçtir. Vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellikler sergileyen kauçuk, vulkanizasyon sonrası yerini geri dönüşümsüz olarak, yüksek elastik özelliklere bırakır.

Çapraz bağlanmanın malzeme özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Camsı geçiş sıcaklığı; polimer zincirlerinin hareketliliğindeki azalma ve çapraz bağlama sırasında sonsuz bir değere yaklaşan artan molar kütle nedeniyle artar. Malzeme mukavemeti yükselir. Molar kütledeki artış nedeniyle, makromoleküllerin çözünürlüğü azalır. Çapraz bağlama tamamlandığında, malzeme tamamen çözünmez hele gelir (Nuyken 2017).

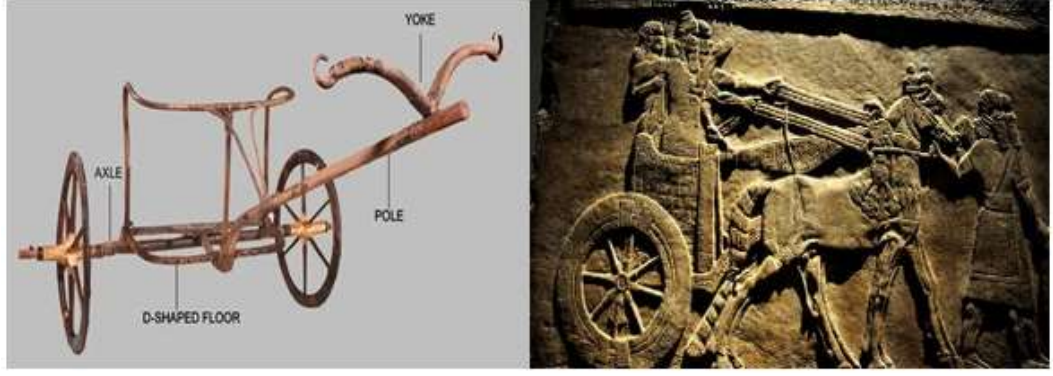
Vulkanizasyon prosesi, sabit basınç altında, belirli bir sıcaklık ve sürede gerçekleşen kimyasal bir süreçtir. Vulkanizasyon sırasında çapraz bağlanma; ısı, katalist veya hem ısı hem de katalist ile aktive ile sağlanan kürlenme işlemi sonucunda oluşur. Kauçuklarda çapraz bağlanma ile aşağıdaki özelliklerinde iyileşmeler olur (Hashim ve Akiba 1997).

- Kalıcı deformasyon
- Baskı altında kalıcı deformasyon
- Isı stabilitesi
- Sertlik
- Kopma, aşınma ve yorulma dayanımı
- Yüksek mekanik dayanım
- Kimyasallara karşı direnç
- Esneklik

Vulkanizasyon sonrasında kauçuk parçalar kazandığı bu özellikler sayesinde süspansiyon sistemlerinin kilit parçaları konumundadır. Özellikle elastik ve esnek yapıları sayesinde bağlantı noktalarında oldukça yaygın kullanılmaktadır.

2.6 Süspansiyon Sistemleri

Bilinen ilk yaylı süspansiyon sistemi, Şekil 2.6 da görünen Mısır Firavunu Tutankamon'un arabasında kullanılmıştır. Kalın deriden şeritler halinde kesilen parçaların üst üste sarılmasıyla oluşan bu sistem, arabanın altına çakılmış ve sarsıntıyı belirli bir ölçüye kadar kesebilmiştir.



Şekil 2.6 Süspansiyon sistemleri tarihçesi

Araç performansını etkileyen en önemli sistemlerden biri olan süspansiyon sistemi, aracın gövdesini tekerleklere bağlar ve lastiğin hareketine müdahaleyi mümkün hale getirir. Süspansiyon sisteminin görevleri aşağıda belirtilmiştir.

- Zorlu yol koşullarında ve geniş virajlarda da sürüş konforu sağlamak
- Araç lastikleri ile yol arasındaki sürtünmeyi optimum seviyeye taşımak
- Beklenmedik anlarda çıkan tümsek, çukur ya da virajların sebep olduğu sarsıntıları en aza indirerek yol tutuşunu arttırmak
- Hem aracın hem de sürüşün sabit hale getirilmesine olanak sağlamak

Araç süspansiyon sisteminin bir parçası olan salıncak kolları, ön süspansiyon sistemlerinde aks taşıyıcısı, direksiyon sistemi elemanları, denge çubuğu, yay ve amortisörlerle bir bütün oluştururlar. Salıncaklar, tekerlekleri düzgün konumda tutarak çeşitli yönlerden gelen kuvvetlere karşı hareketlerini sınırlayıp ancak yukarı ve aşağı yöndeki hareketlere izin verirler, bir diğer ifade ile aracın maruz kaldığı yanal kuvvetleri karşılarlar.

Bir araç üzerinde titreşimin temel olarak iki ana kaynağı vardır. Bunlardan ilki tekerlekler vasıtasıyla yoldan gelen titreşimlerin araca iletilmesi, diğeri ise motor ve aktarma organlarının çalışması esnasında ortaya çıkan titreşimdir. Her iki kaynaktan gelen titreşimler aynı zamanda gürültü problemi de yaratmaktadır. Araç üzerindeki bu titreşim ve gürültüyü kontrol altında tutabilmek için titreşim sönümleyiciler önemli rol oynarlar. Kauçuk malzemeden yapılan taşıt elemanları, titreşim sönümleyici olarak taşıtların birçok bağlantı bölgesinde kullanılmaktadır. Kullanım yerlerinden bazıları; motor takozları,

süspansiyon bağlantıları, gövde bağlantıları, radyatör bağlantıları, egzoz destek parçası olarak sayılabilir.

Salıncak kolları, burçlar vasıtasıyla süspansiyon çatısına ve rotıl vasıtasıyla da aks taşıyıcısına tutturulmuştur. Kontrol kolunda ise salıncak kolundaki üçlü bağlantıdan farklı olarak bir burç ve bir rotilden oluşan iki noktalı bir bağlantı söz konusudur. Salıncak kolları şaseye bağlantı pozisyonlarına göre alt ve üst; tekerleğin yönüne göre ise sağ ve sol salıncak kolları olarak adlandırılırlar.

Denge çubukları ise araçların keskin dönüşler esnasında aracın savrulmasını ve devrilmesini engellemek amacıyla kullanılan süspansiyon sistemi elemanlarıdır. Torsiyon yayları gibi dönme etkisine direnç göstererek, dönüşler sırasında aracın ağırlığının bir yandan diğer yana doğru kayması sonucu aracın süspansiyon sisteminin bir tarafta aşırı sıkışmasını diğer tarafta ise esnemesini ve dolayısıyla devrilmesini engellerler. Bu sayede, dönüşler sırasında kontrolü arttırarak sürüş emniyetini sağlarlar. Araç ağırlığını azaltmak için son teknoloji yüksek mukavemetli alüminyum veya çelik malzemelerden üretilmektedirler.

2.7 Burçlar

Araçlarda kullanılan titreşim burçları genellikle kauçuk veya kauçuk-metal titreşim sönümleyici eleman olarak tanımlanırlar. Bu burçlara araca iletilen enerjiyi sönümlemek için iki parça arasında görev yapan bir arayüz de denilebilir. Burçların yapısı ve süspansiyon parçalarına izin verdiği hareket ile araca yoldan gelen gürültü ve titreşimler en aza indirilmiş olur ve burçlar aynı zamanda süspansiyon parçalarının serbest hareket etmesine olanak sağlar. Burçlar genel olarak 3 ana kategoriye ayrılır. Şekil 2.7 de burç tipleri gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Burç tipleri

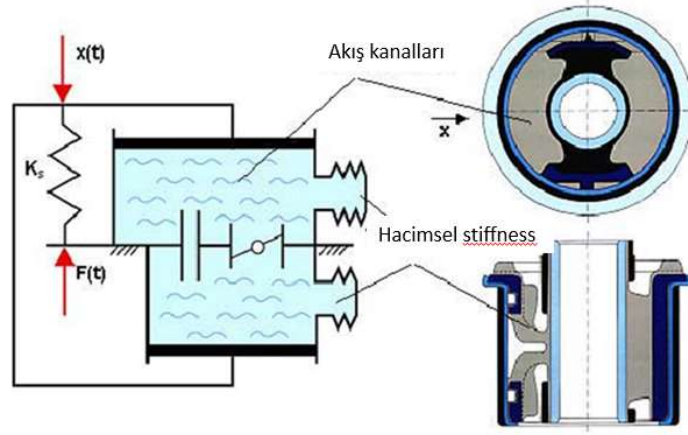
2.7.1 Konvansiyonel burçlar

Titreşim burçları süspansiyon sistemine veya kullanıldıkları yere göre farklı geometrilerde ve yapılarda olabilirler. Araçlarda kullanılan burç tipleri genel olarak 3 ana sınıfta kategorize edilirler. Bunlardan en yaygın kullanımı konvansiyonel burçlardır. Bazen sadece kauçuk, bazen bir boru ve kauçuk bazense iki boru arasında kalan kauçuklu tipleriyle istenilen titreşimi absorbe etmekte kullanılan geleneksel parçalardır. Boru malzemeleri genel olarak çelik, alüminyum ve plastiktir.

Araçlar farklı yükleme koşullarına ve buna bağlı olarak farklı frekanslarda titreşimlere maruz kalmaktadırlar. Konvansiyonel burçlar kauçuk-metal bir yapıdan oluşurlar ve farklı frekanslardaki titreşimlerde konvansiyonel burçlar yetersiz kalmakta, istenilen anlık yüksek sönüm özelliği gösterememektedir. Bu nedenle rezonans frekanslarda yüksek sönümleme kabiliyeti sağlayabilecek burç tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır.

2.7.2 Hidroburçlar

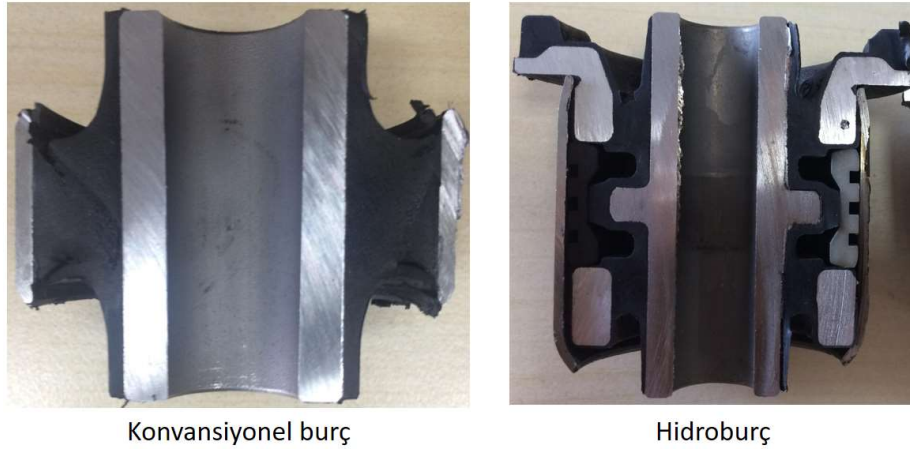
Hidroburçlar (yağlı burçlar), yüksek konfor beklentisinin olduğu üst segment araçlarda konvansiyonel burçların yerine kullanılan titreşim sönümlleme elemanlarıdır. Araçlarda yoldan gelen titreşimlerin burcun kendi doğal frekans değerleriyle çakıştığında rezonans oluşur. Bu durumlarda meydana gelen dengesiz davranış karakteristiğinin tolere edilmesinde hidroburçlar kullanılmaktadır. Genel olarak belirli bir frekans bandında çalışmaya endekslenen hidroburçlarda, rezonans frekansı sırasında gösterdiği davranış kadar önemli olan bir diğer konu da tekrarlı yüklerde performansını devam ettirebilmesidir. Şekil 2.8 de hidroburçlara ait akış kanalları ve yağ cepleri görünmektedir.



Şekil 2.8 Hidroburç çalışma prensibi

Hali hazırda ülkemizde üretilmekte olan hidroburçlar istenilen sönümlleme frekanslarını yakalayamamaktadır. Bu da ülkemizin bu alanda önemli bir know-how eksiği olarak karşımızda durmaktadır. Yurt dışında bazı firmalarda hidroburç tasarımları yapabilmekteyken hidroburçların üretimini sağlayan yerli tedarikçiler bu konuda yetersiz kalmaktadır. Ayrıca hidroburçların detaylı olarak 15-20 Hz arasında girilen rezonans frekanslarında kullanılmaktayken bunların neden ve sonuç ilişkisi henüz ülkemizde tam olarak bilinmemektedir. Literatür incelemelerine baktığımızda ise hidrolik takozlarla ilgili pek çok sayıda araştırma olmasına rağmen (Christopherson 2006) çok az sayıda araştırmacı hidroburç konusuna yönelmiştir (Chai 2013).

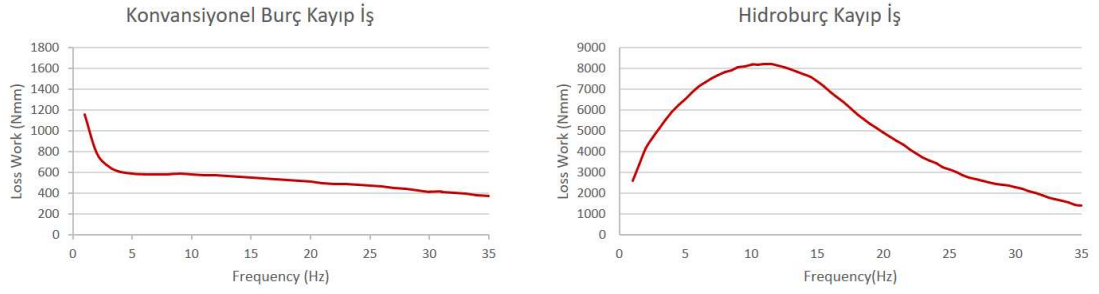
Hidroburçlar sıvıların sıkıştırılamazlık prensibi ile çalışmaktadır. İçinde bulunan sıvı ve bu sıvının hareket etmesine olanak sağlayan valf/kanal tasarımı sayesinde yoldan gelen kuvvetler baz alındığında hidroburçlar düşük frekansta yüksek sönümlere yapabilmektedir (Chai 2013). Tekrarlı yükler altında yüksek sönüm karakterine sahip olan hidroburçlarda bulunan sıvı, hareket enerjisini ısı enerjisine çevirmesiyle çalışma sıcaklığının artarak ömür performansının düşmesine sebep olmaktadır. Bu yüksek sönüm karakterini sağlayabilmek için karmaşık tasarımın yanı sıra yüksek yatırım maliyeti ve çok komponentli ürüne ihtiyaç vardır. Buna nazaran istenilen statik performansı stabil halde tutmak yağın ısı dayanımından dolayı mümkün olmamaktadır. Bu nedenle müşteriler tarafından beklenen statik performansın istenilen ömür boyunca hedeflenen limitler altında tutabilmek için araçlarda konvansiyonel burçlar yaşam alanı bulmaktadır. Şekil 2.9 da konvansiyonel burç ile hidroburcun kesit görünümü verilmiş ve Çizelge 2.3 de özellik karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 2.9 Konvansiyonel ve hidroburç karşılaştırması

Çizelge 2.3. Konvansiyonel burç ile hidroburç özelliklerinin karşılaştırılması

	KONVANSİYONEL BURÇLAR	HİDROBURÇLAR
GEOMETRİ	BASİT	KARMAŞIK
PROSES KOLAYLIĞI	KOLAY	ZOR
STATİK ÖZELLİKLER	İYİ	İYİ
DİNAMİK ÖZELLİKLER	ORTA	İYİ
SÖNÜM KABİLİYETİ	ZAYIF	İYİ
YATIRIM MALİYETİ	DÜŞÜK	YÜKSEK
PARÇA MALİYETİ	DÜŞÜK	YÜKSEK



Şekil 2.10 Konvansiyonel ve hidroburç kayıp iş karşılaştırması

Hidroburçlarla konvansiyonel burçların frekans bandındaki kayıp iş karşılaştırmaları Şekil 2.10 da verilmiştir. Düşük frekanslı titreşim, kısa vadede yorulma ve dikkat kaybına; uzun vadede ise, önemli sağlık risklerine sebep olmaktadır. Şekil 2.11 de bir insanın basitleştirilmiş mekanik sistem modeli ve insan vücudunun sahip olduğu doğal frekans değerleri verilmiştir.



Şekil 2.11 İnsan vücudundaki organların frekans aralıkları

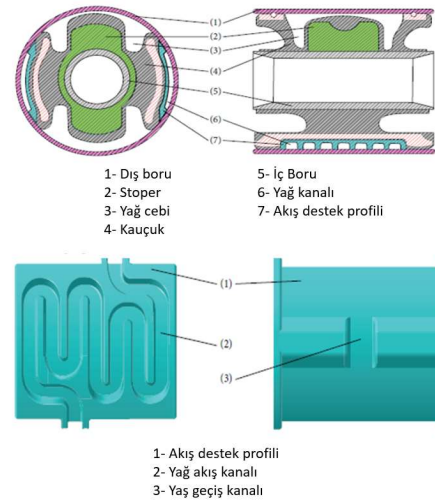
Hidroburçların sonuçlarını değerlendirmek için genel olarak 3 ana kategoride inceleme yapılır. Bunlar statik koşullar, dinamik koşullar ve performans koşulları olarak kategorize edilir. Statik değerlerde hidroburç ile konvansiyonel burçların ölçüm şekli aynıdır. Aynı test metotlarıyla aynı değerler üzerinde inceleme yapılır. Dinamik testlerde sönüm oranı, faz açısı, tepe frekans değeri ve dinamik yay sabiti bir hidroburcun çalışma koşullarını belirlemek adına en önemli değerlerdir. Bunun dışında hidroburçtan beklenen bazı spesifik test değerleri vardır ve sızdırmazlık da bunlardan bir tanesidir. Hidroburçlara ait bu değerleri görebilmek için yapılan testler Çizelge 2.4 de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Hidroburçlara yapılan testler

Statik Testler	• Kuvvet Deplasman (Stiffness) • Histeresis • Montaj - Çıkma • Yapışma
Dinamik Testler	• Dinamik Stiffness • Faz Açısı • Kayıp İş • Ömür
Performans Testleri	• Sızdırmazlık • Dayanıklılık

Yukarıdan belirtilen bu değerleri etkileyen pek çok parametre vardır. Hidroburçların performansına etki eden en önemli tasarım ve proses parametreleri aşağıda verilmiştir ve Şekil 2.12 de de görsel olarak gösterilmiştir.

- Yağ cepleri
- Yağ kanalları
- Valfler
- Destek profilleri
- Yağ tipi ve karışımı
- Kauçuk hammadde reçetesi
- Kauçuk sertliği



Şekil 2.12 Hidroburç tasarım parametreleri

2.7.3 Aktif titreşim burçları

Burç kategorilerinde en son sırayı alan aktif titreşim burçları, her ne kadar yüksek maliyetleri nedeniyle çok yaygın olmasa da gelecekte düşünülen otonom araç konsepti göz önünde bulundurulduğunda yaygınlığının artacağına şüphe yoktur. Genel olarak aracın ECU su ile etkileşimde olarak çalışırlar ve üzerlerindeki sensörler sayesinde titreşim seviyesine göre aktifleşerek titreşimi by-pass ederler.

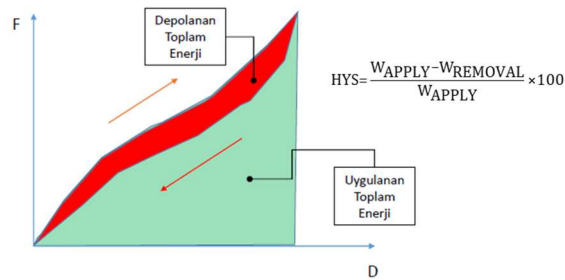
2.8 Karakterizasyon Testleri

Bir süspansiyon burcuna ait mekanik değerleri tanımlamak için aşağıdaki testler yapılmaktadır.

1. Histeresis
2. Statik testler
3. Dinamik testler

2.8.1 Histeresis

Histeresis, bir yapının şekli bozulduğunda (üzerine bir kuvvet uygulandığında) yapının kendi içerisinde depoladığı enerjinin, uygulanan toplam enerji miktarına oranıdır. Herhangi bir parçaya ait yük-deplasman grafiğinde, parçaya kuvvet uygulandığında oluşan deplasmanı eğrisi ile yük kaldırıldığında parçanın ilk konumuna dönüşünü gösteren eğri arasında kalan alan "Histeresis kaybı" olarak adlandırılır. Ürünün viskoelastik, sönüm ve gevşeme özellikleri için iyi bir göstergedir. Tek bir çevrimlik yük uygulandığında elde edilen yük şekil değiştirme eğrisi Şekil 2.13 de gösterilmiştir. Çevrim sayısı arttıkça, histeresisin azaldığı görülmektedir. Bu özellik, kauçuk parça üzerinde ölçüm yapılırken dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.13 Histeresis

Kauçuk viskoelastik bir malzeme olduğu için; dinamik yük altında hem elastik, hem de viskoz özellik gösterir. İdeal elastik malzemelerde şekil değişimi için uygulanan kuvvet kalktığında enerji kaybı olmamaktadır. Fakat viskoz eleman, moleküler sürtünmeden dolayı şekil değişimini geciktirir ve enerji kaybı olur. Bu kayıp enerji ısı şeklinde yayılır ve kauçuğun sıcaklığı artar (heat build-up). Bu kayıp enerjinin çevrime oranının etkisi histeresis adını alır. Benzer şekilde elastisite de şekil değiştirme sonrası geri dönen enerjinin verilen enerjiye oranıdır (Harris 1996).

Parçanın çalışma ömrü ile direk ilişkilendirilebilen bir parametre olan histeresis, mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Böylece ısıya dönüşen enerji azaltılmış ve parça mekanik özelliklerinin daha uzun süre aynı kalması sağlanmış olur.

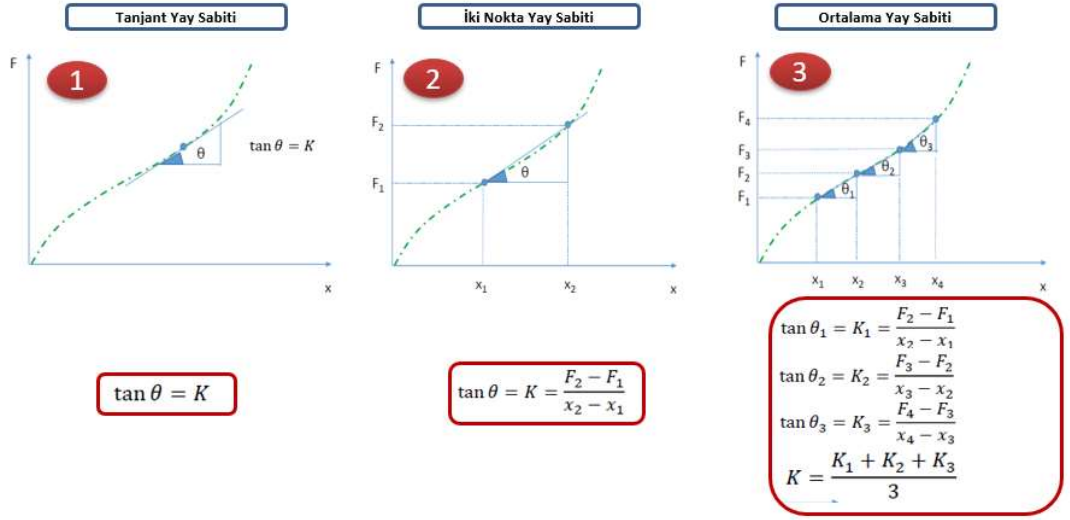
2.8.2 Statik testler

Hareket hızı genellikle 200-250 mm/dk'nın altında olan tekrar sayısı 20'yi geçmeyen testlere "Statik karakterizasyon testi" denir. Bu testler aslında tam olarak statik değil "sanki-statik" (Quasi-static) testler olarak adlandırılırlar.

Yay sabiti bir nesnenin deformasyonuna olan direncini tanımlar. Aynı zamanda sertliğe de atıfta bulunabilir. Yay sabiti malzemenin ve yapının bir fonksiyonu olarak değişir. Kauçuk burçlarda, yay sabiti deplasmana göre değişen kuvvet değerini ifade eder ve genellikle şöyle ifade edilir:

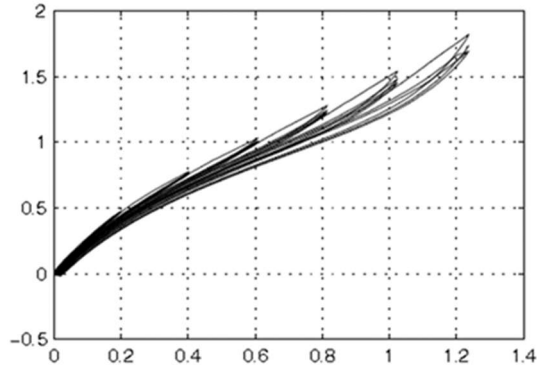
$$k_s = \frac{\Delta F}{\Delta x}$$

Bu formülde k yay sabiti, x deplasmandaki değişim ve F de kuvvet değerini ifade eder. Mantıklı sayılacak bir aralıkta kompleks bir sistemi doğrusallaştırmak için mekanik bir sistemdeki yay sabitlerinin çoğu kuvvetin deformasyonla doğrusal orantılı olarak modellenebilir. Buradaki değerler bir grafiğe döküldüğünde ortaya çıkan eğrinin tanjantı yay sabiti olarak adlandırılır. Şekil 2.4 de, bir ve birden fazla noktadan alınan değerlerle hesaplanan yay sabiti değerleri görülmektedir.



Şekil 2.14 Yay sabiti hesaplama

Kauçuk malzemelerin statik olarak test edilmeleri sırasında, her çevrimde birbirine yakında olsalar farklı histeresis eğrileri gösterdikleri tespit edilmiştir. Çevrim tekrarı artırıldığında, Şekil 2.15 de görüldüğü gibi eğriler arasındaki fark çok küçülür ve aynı kaldığı kabul edilir. Bu etkiye "Mullins Etkisi" denir.

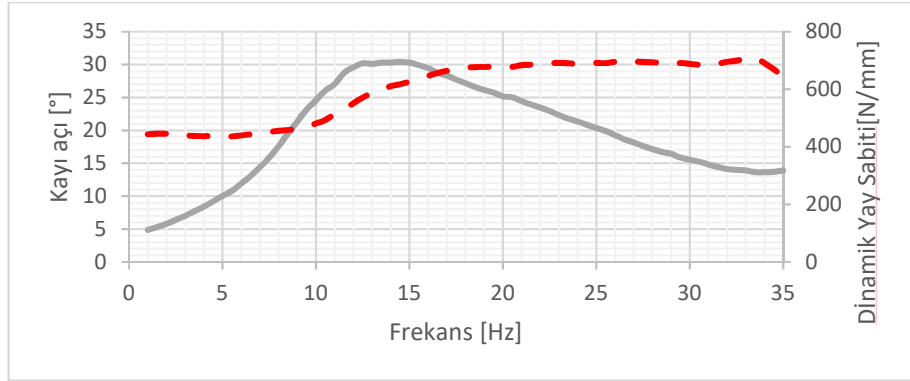


Şekil 2.15 Mullins etkisi

2.8.3 Dinamik testler

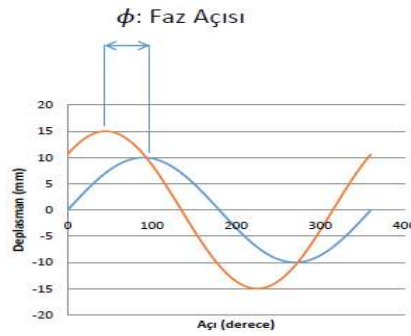
Tekrarlı yükler altında düşük frekanslardan yüksek frekanslara kadar ürünlerin elastik, viskoelastik ve sönüm özelliklerinin ortaya konulduğu testlere "Dinamik karakterizasyon testi" denir. Dinamik testler parçanın çalışma koşulları altındaki davranışlarını belirlemek için yapılır, statik testlerin tekrarlı yükler altında olması gibi de düşünülebilir.

Dinamik yükler altında çalışan bir parçada herhangi bir yönde birim şekil değişikliği yaratabilmek için gerekli olan kuvvet dinamik yay sabiti değerini vermektedir. Birimi genellikle "N/mm" 'dir ve "Kd" olarak gösterilir. Dinamik yay sabiti için Şekil 2.16 da da gösterildiği gibi genel olarak frekans bandındaki değişim incelenir, bazen de belirli bir frekanstaki değer özellikle istenir.



Şekil 2.16 Frekans bandında dinamik yay sabiti

Dinamik testlerde iki titreşen gövde için her iki gövdenin tepe noktaları arasında açısal bir kayma var ise bu kaymaya "Faz açısı" ya da "Kayıp açısı" denir. Şekil 2.17 de gösterilen kayıp açısı, hidroburçlarda bulunan viskoelastik ve akışkan malzemeler arasındaki gecikmeleri görmek adına önemli bir veridir.



Şekil 2.17 Kayıp açısı

Dinamik karakterizasyonun özelleştirilmiş halleri bulunmaktadır. Bir ya da birden fazla serbestlik derecesinde (yönde) farklı dinamik yükleme koşullarında yüklere tabi tutularak ürünün fiziksel ve mekanik değişimlerinin izlenmesine "Dayanım" ve/veya "Ömür" testi denir ve bu test parçanın yaşam koşullarında maruz kalacağı yüklere karşı göstereceği reaksiyonu simüle eder.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde öncelikle kauçuk formülün hazırlanması ve laboratuvar ortamında yapılan testler ele alınacaktır. Kauçuğa ait yoğunluk, sertlik, karışım homojenliği, kopma uzaması vb. gibi değerler ölçüm yoluyla belirlenecek, ayrıca testlerde kullanılan ekipman ve test metotları detaylı bir şekilde izah edilecektir.

Yapılan tez çalışmasında belirlenen her bir kauçuk formülü için hidrolik burç numuneleri hazırlanmış ve bunlar üzerinde statik testler yapılmıştır. Statik testlerden elde edilen histeresis değerlerine göre en uygun kauçuk formülü belirlenmiş ve bu formülle üretilen numune üzerinde tasarım parametreleri değiştirilerek her bir parametrenin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Numune ürünlerin hazırlanması için gerekli olan kalıplar, yağ dolumu işlemleri ve testlerde kullanılan cihazlara ait detaylı bilgiler tezin bu bölümünde verilmiştir.

3.1 Reometre

Reometre cihazı, kauçuk bileşiğinin proses esnasında pişirme parametrelerinin (sıcaklık, pişirme süresi gibi) belirlenmesinde kullanılır. Şekil 3.1de gösterilen cihaz ASTM D5289 a göre 185°C ve 3dk'da karışımın vulkanizasyon özelliklerini ölçerek reometre eğrisini kaydeder. Eğriden elde edilen mL(minimum tork), ts2(pişme başlangıç zamanı), t90(maksimum pişmeye ulaştığı zaman), mH(maksimum tork) değerleri kauçuk proses parametreleri ile ilgili yorum yapma imkanı sağlar. Şöyle ki;

- ML değeri karıştırma koşulları hakkında bilgi verir
- ts2 değeri proses güvenliğini belirlemede yardımcıdır
- t90 değeri üretim esnasında pres süresini belirlemede yardımcıdır
- MH değeri ise gerilme ve kopma dayanımı gibi özellikler hakkında bilgi verir



Şekil 3.1 RPA 2000

3.2 Sertlik Ölçüm

Elastomerlerin sertliklerini shore A skalasına göre ölçen test yöntemidir. Şekil 3.2 de görüldüğü gibi shoremetre ile yapılan test, test iğnesinin malzeme üzerine kuvvet uygulanmasıyla gerçekleştirilir.



Şekil 3.2 Shoremetre

3.3 Yoğunluk Ölçüm

Yoğunluk, malzemenin birim hacimdeki madde miktarıdır. Hacmi bilinen malzemeler için bu hesaplama kolaydır. Fakat hacmi belli olmayan malzemeler için bu işlem biraz farklıdır. Hacmi belli olmayan malzemeler için kullanılan yöntemlerden bir tanesi ISO 2781 standardına göre daldırma yöntemidir. Şekil 3.3 de görüldüğü gibi özel aparatları olan yoğunluk terazisi kullanılmaktadır. Buradaki temel prensip malzemenin havadaki ağırlığı, yoğunluğu ve sıcaklığı bilinen sıvı içerisindeki numune ağırlığını kullanarak hesaplama yapmaktır.



Şekil 3.3 Yoğunluk ölçüm kiti

3.4 Kopma Uzama

Malzemenin kopma anındaki uzama miktarının % olarak belirlendiği testtir. Şekil 3.4 de görüldüğü gibi ASTM D412 standardına göre Zwick/Roell 5kN test cihazında ekstensometre ile daha hassas kontrol edilerek, statik yük altında termoplastik elastomerlerin elastik ve plastik davranışları tespit edilmektedir



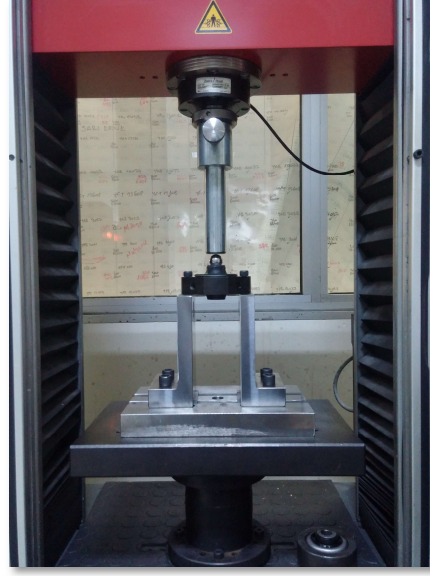
Şekil 3.4 Kopma uzama testi

3.5 Dispersiyon

Dispersiyon testi ile kauçuk içerisindeki dolgu dağılımı görülmektedir. Karbon siyahı veya pigment parçacıklarının polimer ve nihai mamul içinde doğru bir şekilde dağılması, fiziksel, mekanik ve yüzey koruma özelliklerinin sürdürülmesini sağlamak adına önemlidir.

3.6 Statik Test Cihazı

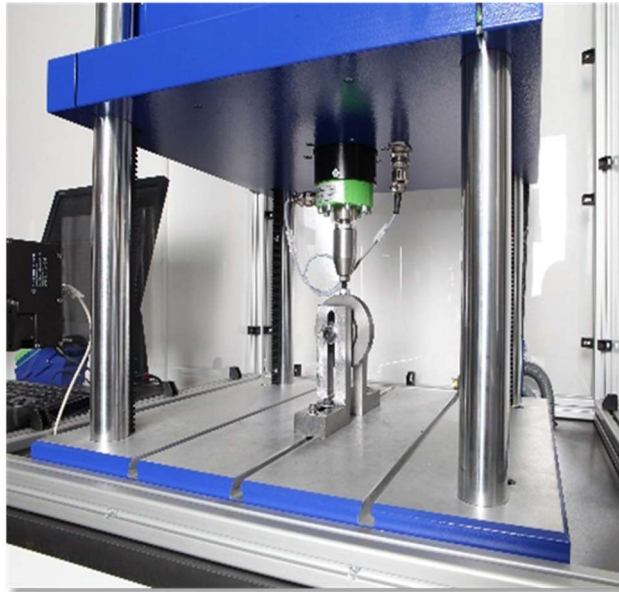
Kauçuk karakteristiklerinin belirlenmesinden sonra burçlar için de belirlenen testler uygulanmıştır. Burçların karakteristiklerini belirten en önemli değer yay sabiti değeridir. Uygulanan yüke karşılık kauçuğun hareketini ifade eden yay sabiti hesabı için genellikle Şekil 3.5 de görünen universal test cihazları kullanılmaktadır. Bu çalışma için kullanılan test cihazı 50kN kapasiteye sahip Zwick/Roell test cihazıdır.



Şekil 3.5 Statik test cihazı

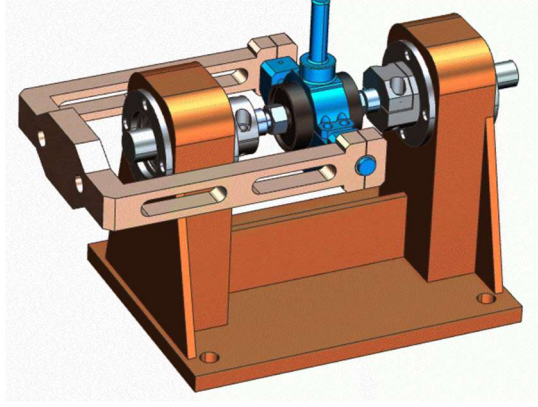
3.7 Dinamik Test Cihazı

Konvansiyonel burçlarda sönüm karakteristiği her ne kadar önem arz etmese de, hidroburçların en önemli değeri kayıp iş değeridir. Bunu belirleyebilmek için frekans bandında dinamik karakterlerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu çalışma için Şekil 3.6 da görünen Dynamess marka 10kN ve 35Hz kapasiteli dinamik test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Dinamik test cihazı

Statik ve dinamik testleri yapabilmek için kullanım yerini simule edebilecek Şekil 3.7 deki gibi test aparatları gerekmektedir. Bu çalışma için kullanılacak test aparatlarının tamamına ait tasarımlar UG NX programında çizilmiş ve sonrasında imal edilmiştir.



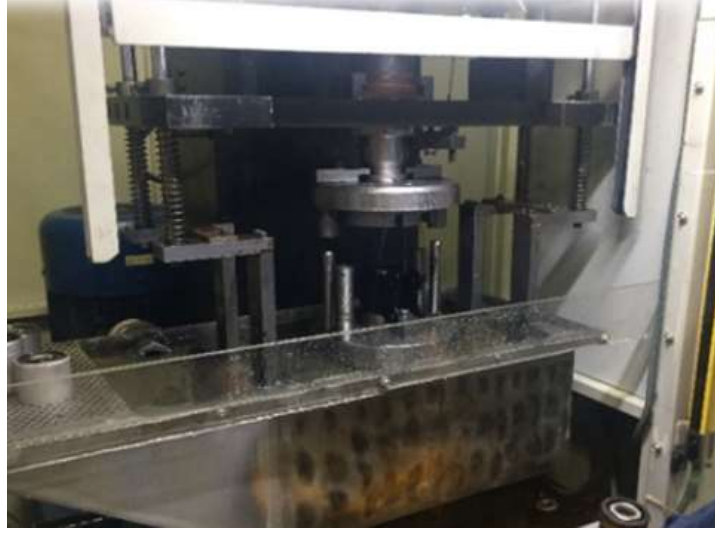
Şekil 3.7 Dinamik test aparatı

3.8 Yağ Dolum

Hidroburçlar katı sıvı etkileşimli burç tipidir ve Şekil 3.8 de mavi renkle görüldüğü gibi kapalı hacim içerisinde yağ mevcuttur. Hidroburç performansını etkileyen en önemli etmenlerden bir tanesi de yağ dolumunun kusursuz olmasıdır. İçeride olabilecek en küçük hava dinamik test sonuçlarına etki etmektedir. Bu çalışmadaki hidroburçların yağ doldurulması için Şekil 3.9 da görünen sistem kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Hidroburç



Şekil 3.9 Yağ dolum tankı

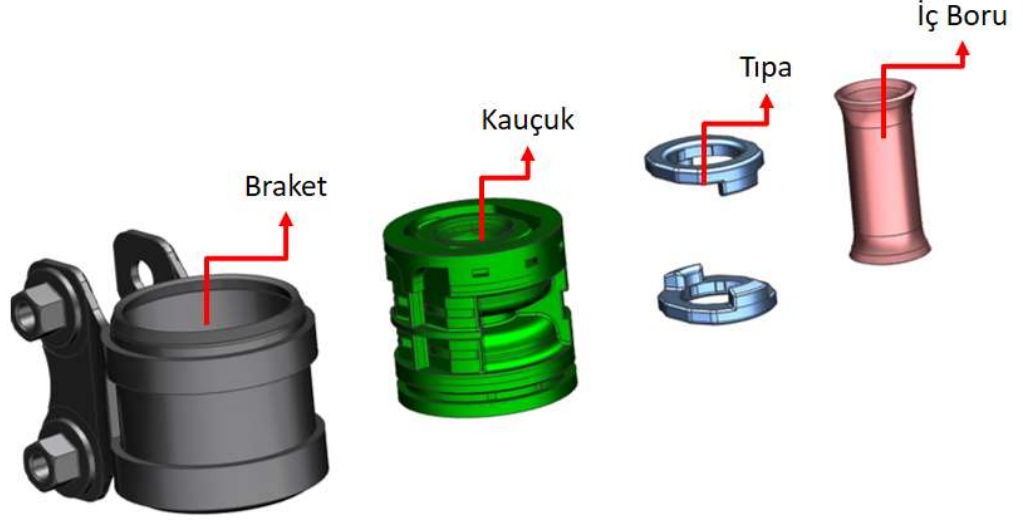
3.9 Komponentler

Hidroburçlar genel olarak iç boru, iskelet, dış boru, tıpa, kauçuk ve yağ dan oluşur. Bu tez çalışmasında referans ürün olarak Şekil 3.10’da gösterilen hidrolik burç alınmıştır.



Şekil 3.10 Hidroburç tasarımı

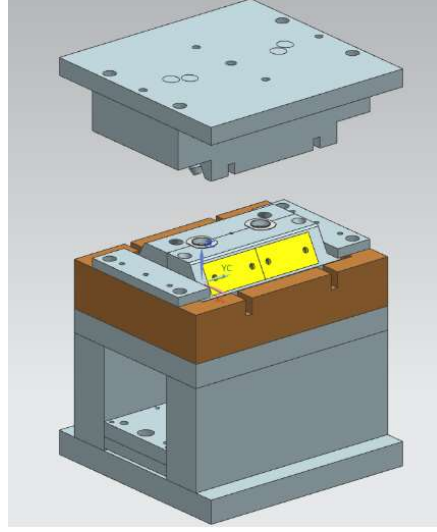
Bu burç Şekil 3.11 de görüldüğü gibi bir iç boru, 2 adet tıpa, üzerinde yağların rotasını da barındıran kauçuk ve dış boru vazifesi de gören bir braketten meydana gelmektedir.



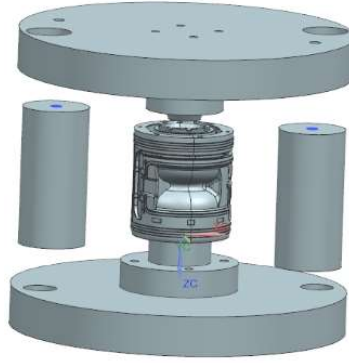
Şekil 3.11 Hidroburç detay parçaları

3.10 Kalıplar

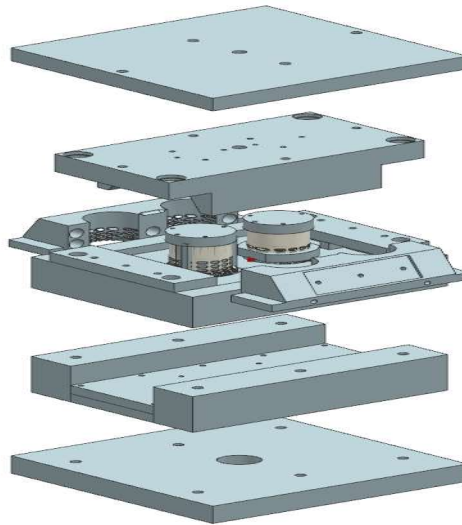
Hidroburç komponentlerinin her biri için ayrı kalıp gerekmektedir. İç boru çeliktir ve tek çekim yapılarak boya getirilmiştir. Kauçuk parça için tek gözlü prototip vulkanizasyon kalıbı yapılmıştır. Dış iskelet sabit tutulmuş, her bir revizyon parçası için iç lokmalara işlenmiştir. Yine radyal yöndeki hareketi limitlendirmek için tıpa parçaları kullanılmıştır. Bu tıplar alüminyum enjeksiyon malzemedan yapılmış ve bunun için 2 gözlü prototip kalıp yapılmıştır. Dış boru ile araca bağlantı yapan braket parçası kaynakla birleştirilmiştir. Braket için sac şekillendirme kalıpları yapılmıştır. Bu kalıplara ait görseller Şekil 3.12, 3.13, 3.14 ve 3.15’de gösterilmiştir.



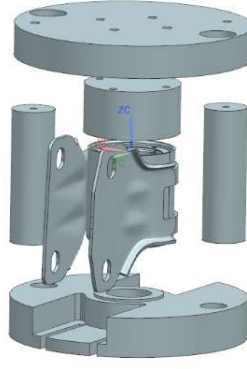
Şekil 3.12 Alüminyum enjeksiyon kalıbı



Şekil 3.13 Montaj kalıbı



Şekil 3.14 Vulkanizasyon kalıbı



Şekil 3.15 Braket montaj kalıbı

3.11 Kauçuklara Yapılan Testler

Elastomerler diğer mühendislik malzemelerinden oldukça farklılık gösteren kompleks malzemelerdir. Diğer katı malzemelere uygulanan testlerin çok azı elastomerlere direkt uygulanabilir. Elastomerlerin fiziksel özellikleri sıcaklığa, test parçası kalınlığına, deformasyon hızına ve şekline çok bağlıdır. Bu bağlamda malzeme üzerine yapılan testler tek başlarına yeterli olmayıp diğer testlerle birlikte değerlendirilmeleri daha doğru olur.

Hazırlanan kauçuk reçetelerinde tabii kauçuk (NR) ve stiren bütadien kauçuk (SBR) hammaddeleri kullanılmıştır. NR/SBR oranı farklı kauçuklarda kauçuk reçetesine elastomerlerin fiziko-mekaniksel özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla reometre testleri yapılmış, aynı zamanda sertlik, yoğunluk, çekme dayanımı ve kopma uzaması gibi değerler de incelenmiştir.

3.11.1 Dispersiyon Testleri

Dispersiyon testleri ile kauçuk karışımı içerisindeki karbon siyahı veya pigment parçacıklarının nihai mamul içindeki dağılımını belirlemek için yapılmıştır. Farklı kombinasyonlardaki NR/SBR karışımlarının kalitesini belirlemek için her bir reçetede 5 farklı noktadan dispersiyon ölçümü alınarak bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Dispersiyon testleri Alpha cihazında ISO 11345 standardına göre yapılmıştır (ISO 11345)

3.12 Vulkanizasyon Parametrelerinin Optimizasyonu

Farklı miktarlardaki NR/SBR karışımı 4 referans reçetenin vulkanizasyon işlemi (kükürt vulkanizasyonu) 3 farklı sıcaklıkta ve 3 farklı sürede basınç sabit tutularak yapılmıştır. Vulkanizasyon basıncı 200 bar olacak şekilde sabit tutulmuş, vulkanizasyon sıcaklıkları 170°C, 180°C ve 190°C, vulkanizasyon süreleri ise 480-540-600 sn de farklı parametrelerde basılmıştır. Vulkanizasyon değişkenlerini kontrol altında tutabilmek, karışıma özgü vulkanizasyon şartlarını belirleyebilmek açısından reometrik veriler dikkate alınmıştır. Farklı vulkanizasyon parametreleri ile deneme yapılan anti vibrasyon burçlarının ölçüsel ve görsel kontrolleri yapıldıktan sonra statik testler uygulanmıştır. Her bir deneme için yapılan çalışmalara ve bu çalışmaların test sonuçlarından alınan verilere göre, Çizelge 3.1'deki gibi her formülasyona ait vulkanizasyon parametreleri sabitlenmiştir.

Çizelge 3.1. Geliştirme yapılacak parçanın vulkanizasyonu ayar parametreleri

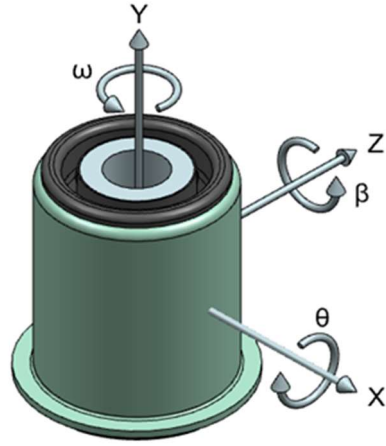
REÇETE NO	NRSBR70	NRSBR50	NRSBR30	NRSBR10
Sıcaklık (°C)	190	170	170	170
Süre (sn)	600	480	420	420
Basınç (bar)	200	200	200	200

3.13 Hidroburca Yapılan Testler

Hidroburçlara yapılan testler temel olarak konvansiyonel burçlara yapılan testlerle aynıdır. Aradaki en önemli fark hidroburçların dinamik testlerde verdiği reaksiyondur. Hidroburçlar özellikle belirli frekanslarda yüksek sönüm özelliği gösterirler

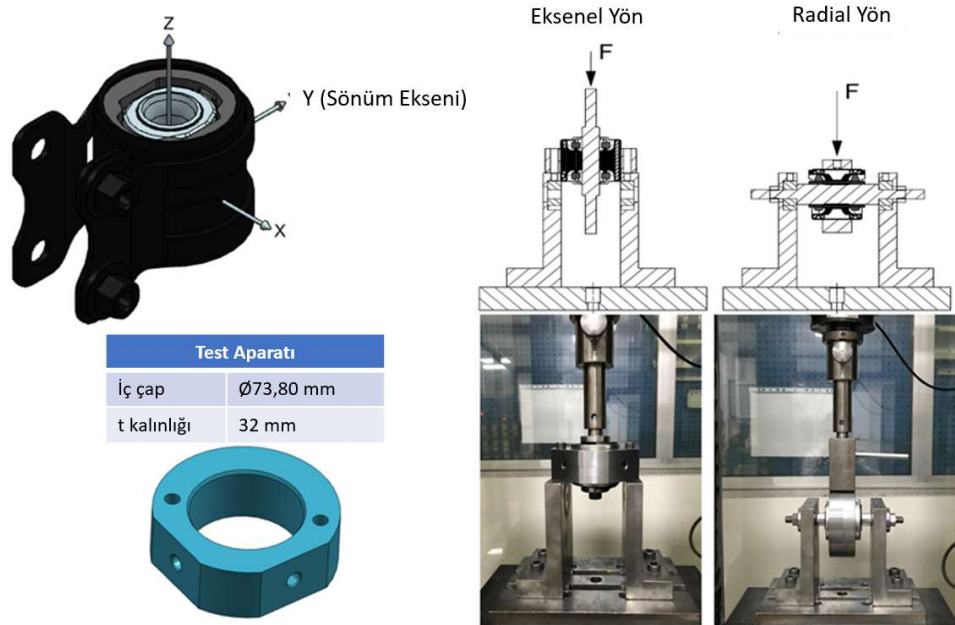
3.13.1 Statik testler

Bir burcun karakteristiğini tanımlamak için öncelikle statik yay sabiti değerine bakılır. Bunun için burçta bulunan yönler referans alınarak testler gerçekleştirilir. Bu çalışmada açılma testleri yapılmamış, statik testler için lineer eksenler üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

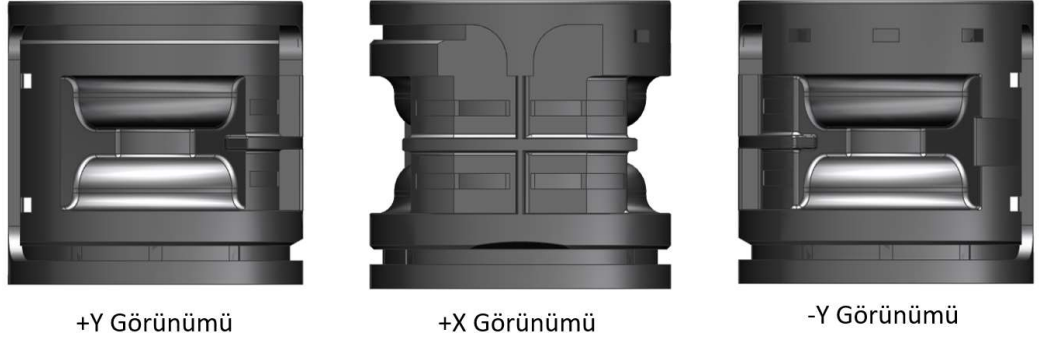


Şekil 3.16 Test yönleri

Şekil 3.16 da görüldüğü gibi bir burç için 6 farklı yön vardır ve bunların her biri için statik yay sabiti değeri farklıdır. Eğer model XY veya YZ eksenine göre simetrik ise her iki yön için de statik olarak aynı sonuç görülecektir. Bu çalışmada ele alınan burca ait yön bilgileri ve test detayları Şekil 3.17 ve 3.18’de gösterilmiştir.



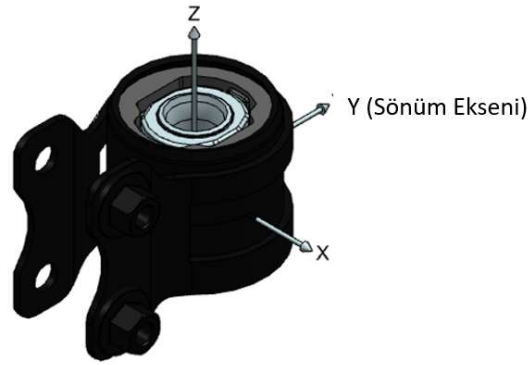
Şekil 3.17 Test fikstürü ve yönleri



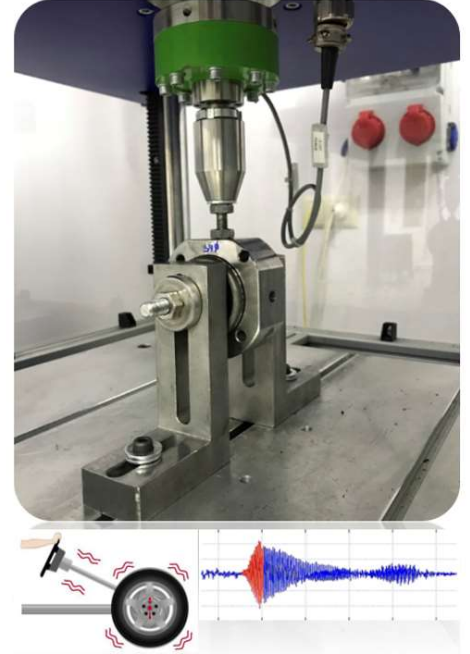
Şekil 3.18 Farklı yönlerden parça görünümleri

3.13.2 Dinamik testler

Statik koşullar sabitlendikten sonra aracın aerodinamiğine göre dinamik değerler incelenir. Dinamik yay sabiti değeri her ne kadar en belirgin değer olarak öne çıksa da bir hidroburcun en önemli parametrelerinden bir tanesi de sönüm kabiliyetidir. Bunun için kayıp iş oranı incelenir. Bütün bu değerleri görebilmek için frekans bandında farklı genliklerde tarama yapılarak eğrinin karakteristiği incelenir. Bu çalışmadaki hidroburç için uygulanacak dinamik test prosedür bilgileri Şekil 3.19’da verilmiştir.

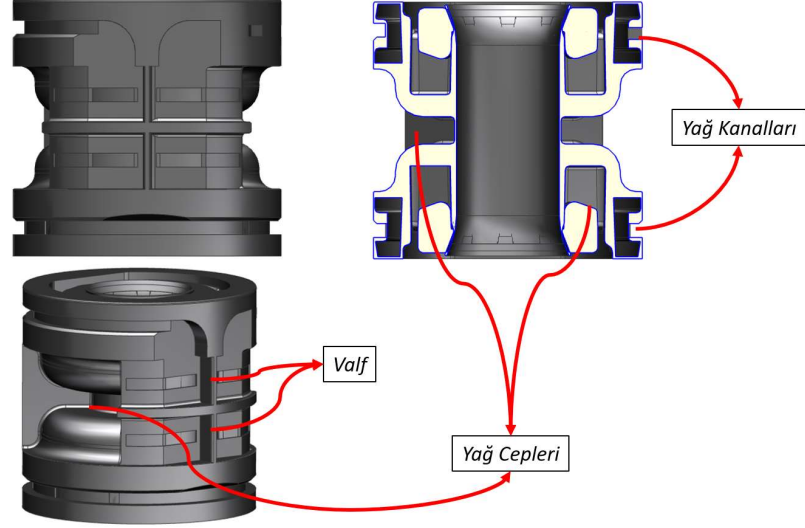


Dinamik Test Koşulları	
Test yönü	$\pm Y$
Ön yük	0 N
Frekans	0-35 Hz
Frekans artış	1 Hz
Genlik	$\pm 2\text{mm}$



Şekil 3.19 Dinamik test koşulları

Hidroburç test sonuçlarına etki eden en önemli parametreler Şekil 3.20’de gösterildiği gibi kauçuk tipi, yağ cepleri, valfler ve yağ kanallarıdır.



Şekil 3.20 Hidroburç tasarım parametreleri

Hidroburcun normal yükler karşısında izlediği rota, kauçuk üzerinde bulunan yağ kanallarıdır (bazı burçlarda yağ kanalları plastik üzerine işlenir). Bu çalışmada ele alınan hidroburca ait normal yüklerdeki yağın hareketi Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Yağ düzenli yükler karşısında bir taraftan diğer tarafa ilgili rotayı takip ederek geçmektedir.



Şekil 3.21 Hidroburç içindeki akışkanın normal yüklerdeki rotası

Düzenli olmayan şok yükler karşısında ise hidroyağ valflerin üzerine baskı kurarak by-pass ile diğer odacığa geçmeye çalışır. Düzenli olmayan yüklere örnek olarak ani ivme-ani fren, çukur, tümsek viraj vb yükler verilebilir. Bu durumda etki olarak gelen yüke, sıvı olan yağ tepki vererek aynı seviyede karşı yük oluşturur ve Şekil 3.22’de görüldüğü gibi akışkan valfin üzerinden hareket eder. Hidroburcun bu özelliği sayesinde konfor seviyesi artarak ilgili titreşim elimine edilir.



Şekil 3.22 Hidroburç içindeki akışkanın anlık darbelerdeki rotası

3.14 Hidroburçların Mekanik Özelliklerine Etki Eden Parametreler

Yukarıda bahsedilen parametrelerin etkilerini incelemek ve belirtilen referans değerlerini elde edebilmek için 9 farklı model oluşturulmuş ve her bir modelde farklı oranlarda değişiklikler yapılmıştır. Çizelge 3.2 de değişiklik yapılan parametreler ve oranları belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Karşılaştırma yapılacak ürüne ait tasarım bilgileri

Ürün Kodu	Açıklama	Valf	Hacimsel Değişim	Kanal Kesit Alanındaki Değişim	Kanal Boyundaki Değişim	Kanal Kesit Alanı	Yağ Hacmi	Yağ Ağırlığı	Referans Haline Göre Ağırlık Değişimi
			%	%	%	mm ²	mm ³	gram	gram
Rev0	Reference Parça	✓	0%	0%	0%	10,5	32656	34,74435	0
Rev1	Valf yok	N/A	0%	0%	0%	10,5	34916	37,14888	2,4
Rev2	Hacimsel az	✓	-20%	0%	0%	10,5	26623	28,32554	-8,8
Rev3	Hacimsel fazla	✓	20%	0%	0%	10,5	39187	41,69322	-8,8
Rev4	Kesit alanı az	✓	0%	20%	0%	12,6	33055	35,16841	0
Rev5	Kesit alanı fazla	✓	0%	40%	0%	14,7	32893	34,99691	0
Rev6	Kanal uzunluğu fazla	✓	0%	0%	35%	10,5	34337	36,53273	2
Rev7	Düz valf tasarımı	o	0%	0%	0%	10,5	33320	35,45053	1
Rev8	Rev5/Rev6	o	0%	40%	0%	14,7	34337	34,99691	1

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Tezin bu bölümünde Çizelge 3.2’de belirtilen prototip parçalar için, metot bölümünde belirtilen testler uygulanmış ve sonuçlar listelenmiştir. Farklı elastomer oranlarıyla hazırlanan 4 farklı kauçuk formülasyonuna ait kauçuk karışımları hazırlandıktan sonra kauçuk malzemelere tahribatlı ve tahribatsız testler uygulanmıştır. NR/SBR kauçuk kombinasyonlarına ait reometre test sonuçları ile fizikomekanik test sonuçları çizelge 4.2 de gösterilmiştir. Formülasyonlara ait reometrik değerler incelendiğinde ML ve MH değerleri NR oranına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Fakat ts2 ve t90 değerleri ters orantılı olarak azalmaktadır.

Bu tez çalışmasında referans alınan ürüne ait özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Referans parçadan beklenen özellikler

REV No	Kayıp İş Tepe F rekansı		Faz Açısı		Max. Kayıp İş		Dinamik Yay Sa biti	
	Min	Max	Hz	%	Nmm	%	N/mm	%
REF	10	15	20	±%20	4500	±%20	1500	±%20

4.1 Reometrik Özellikler ve Fizikomekanik Test Sonuçları

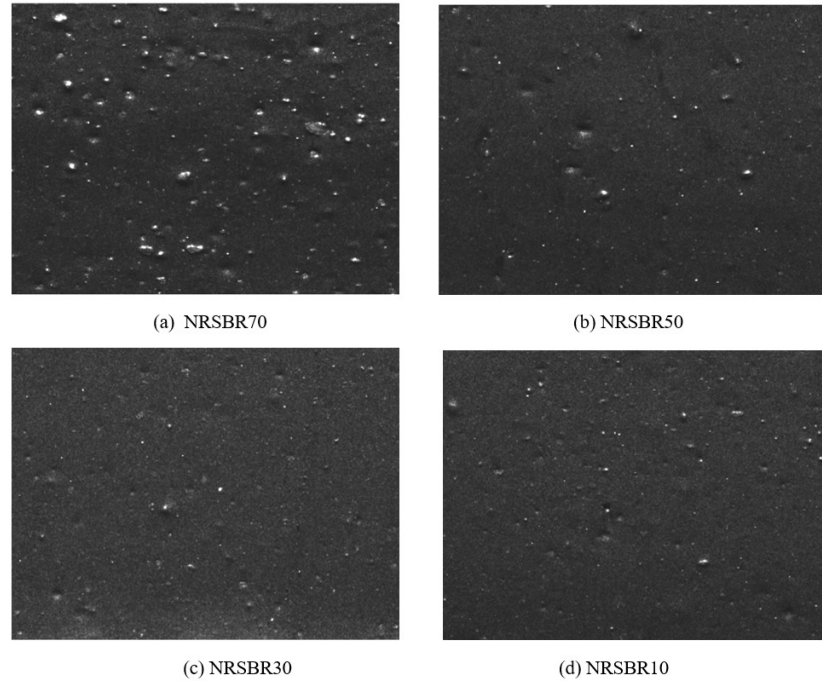
Çizelge 4.2. Kauçuk formülü içindeki temel bileşenler ve kauçuk değerleri

REÇETE NO	NRSBR70	NRSBR50	NRSBR30	NRSBR10
BİLEŞENLER	Miktar (phr)	Miktar (phr)	Miktar (phr)	Miktar (phr)
NR (SVR 10)	30	50	70	90
SBR (SBR 1502)	70	50	30	10
Reometrik Özellikler 185°C 3dk				
ML (dNm)	1,4	1,46	1,96	2,18
MH (dNm)	9,58	13,38	18,06	18,76
TS2 (mm:ss)	01:10	00:42	00:35	00:32
T90 (mm:ss)	02:02	01:26	01:15	01:04
Fizikomekanik Özellikler				
Sertlik (Shore A)	61	65	70	70
Yoğunluk (g/cm³)	1,138	1,148	1,175	1,177
Çekme Dayanımı (Mpa)	15,2	17,1	18,2	17,3
Kopma Uzaması (%)	490	400	378	342

Yine çizelge 4.2 deki fizikomekanik özellikler incelendiğinde NRSBR70, NRSBR50 ve NRSBR30 formülasyonlarında artan NR oranına bağlı olarak kauçuk sertlik değerlerinde artış görülmüş, NRSBR10 formülasyonunda ise sertlik aynı kalmıştır. Çekme mukavemeti değerlerine bakıldığında NRSBR70, NRSBR50 ve NRSBR30 formülasyonlarında artan doğal kauçuk oranıyla beraber bu mekanik değerlerde de artış görülmektedir fakat NR oranının en fazla olduğu NRSBR10 formülasyonunda bu değer tersinir bir etki göstermeye başlamıştır. Kopma uzama değerleri de çekme mukavemetlerine oranla NR oranı arttıkça ters orantılı bir şekilde azalmaktadır.

4.2 Dispersiyon Test Sonuçları

Yine aynı kauçuk formülleri kauçuk üretiminin kalitesini ve homojenliğini inceleyebilmek adına dispersiyon testine tabi tutulmuş ve Şekil 4.1’de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.3’de verilen dispersiyon test sonuçları incelendiğinde NRSBR70 formülasyonuna ait kauçukların dispersite oranı %90 bandında iken ve SBR oranının 50 phr’a düşmesi dispersitede %7’lik bir homojen karışım için iyileşme sağlamakta ve SBR oranının daha fazla azaltılmasının dispersiyonu değiştirmediği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.1 Hidroburçta kullanılan kauçuk karışım oranına ait dispersiyon görselleri

Çizelge 4.3. Kauçuk dispersiyon sonuçları

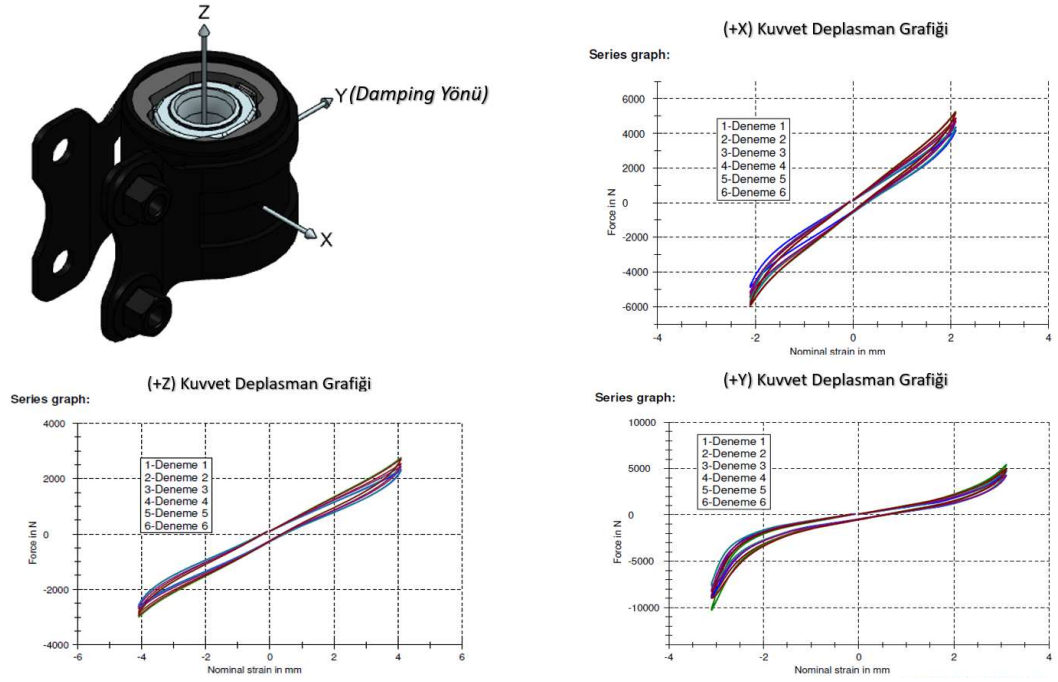
	X	Y	Z	Beyaz alan [%]	Dispersiyon [%]	Ortalama tane büyüklüğü [um]
NRSBR70	5.8	9.1	84.4	5.5	90.4	8.7
NRSBR50	7.6	9.8	90.1	3.5	97.7	7.5
NRSBR30	7.9	9.8	90.3	3.4	97.7	7.2
NRSBR10	7.6	9.7	89.5	3.7	97.2	7.4

Çizelge 4.2 de verilen test sonuçları ile birlikte yine formülasyonlara ait dispersiyon analiz görüntüleri incelendiğinde NRSBR70 formülasyonunun diğer formülasyonlara oranla daha az disperse oranına sahip olduğu görülmektedir.

4.3 Statik Test Sonuçları

Ürün testleri için öncelikler her bir parça statik olarak her 3 yönde de test edilmiştir. Özellikle farklı kauçuk formüllerinin ürün statik değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonrasında kauçuk reçetelerinin histeresis üzerine etkisi incelenmiş ve oluşturulan kauçuk formülleri birbirleriyle kıyaslanmıştır.

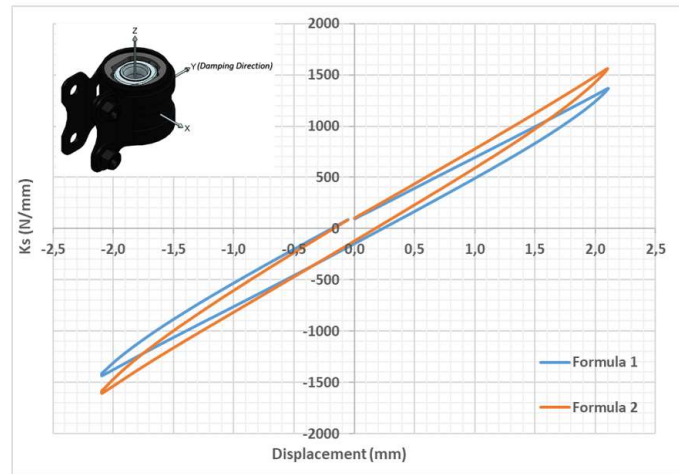
Sonrasında parçalara ait dinamik değerler incelenmiş ve bütün reçetelere ait parçalar 1.000.000 çevrim dayanıklılık testine tabi tutulmuştur. Bu testin amacı oluşturulan kauçuk reçetesinin geometriden bağımsız olarak parça ömrüne etkisini incelemektir. Elde edilen sonuçlar da dayanıklılık öncesi ve sonrası karşılaştırmalara tabi tutulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8’de yapılan testlerin görselleri, test parametreleri, grafikler ve sonuçlar görülmektedir.



Şekil 4.2 Hidroburç 3 yöndeki statik test sonuçları



Ön Yük	100 N
Kondisyon Hızı	50 mm/min
Kondisyon Yüğü	±2 mm
Çevrim	3
Bekleme	10 sn.
Test Hızı	10 mm/dk
Test Yüğü	±2 mm
Sıcaklık	24°C

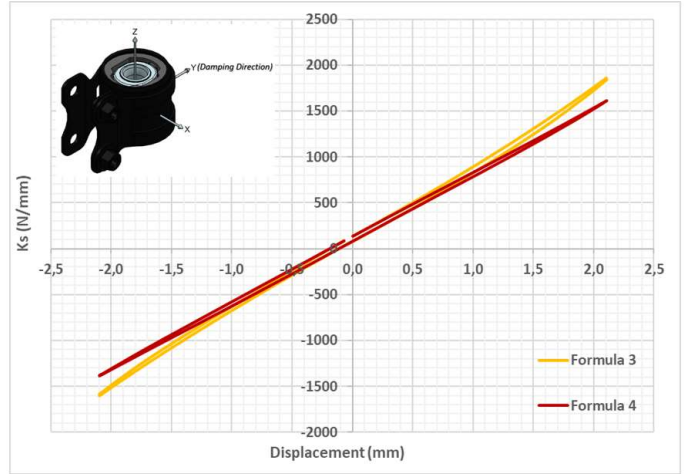


	Ks (N/mm)	Wapp. (Nmm)	Wrem. (Nmm)	W (Nmm)	HYS (%)
Formula 1	670	13670	9950	3720	27%
Formula 2	690	14890	11420	3470	23%

Şekil 4.3 Kauçuk formülü 1 ve 2 ye ait histeresis sonuçlarının karşılaştırılması

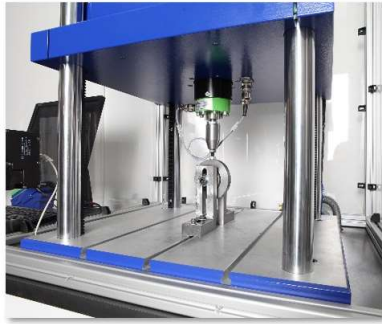


Ön Yük	100 N
Kondisyon Hızı	50 mm/min
Kondisyon Yüğü	± 2 mm
Çevrim	3
Bekleme	10 sn.
Test Hızı	10 mm/dk
Test Yüğü	± 2 mm
Sıcaklık	24°C



	Ks (N/mm)	Wapp. (Nmm)	Wrem. (Nmm)	W (Nmm)	HYS (%)
Formula 3	720	15163	14053	1110	7%
Formula 4	700	13090	12310	780	6%

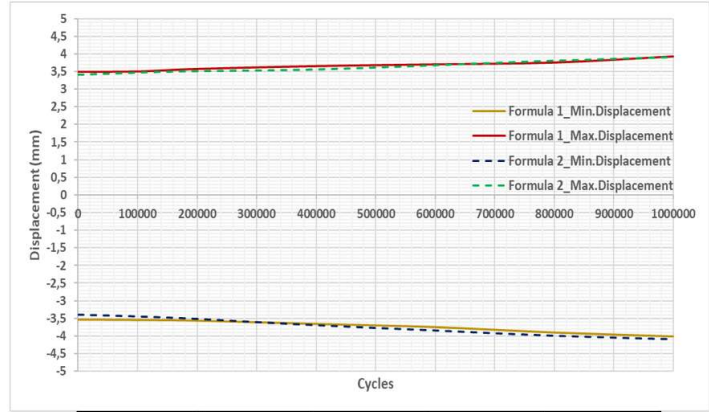
Şekil 4.4 Kauçuk formülü 3 ve 4 e ait histeresis sonuçlarının karşılaştırılması



Dynamesse Tek Eksen Test Cihazı

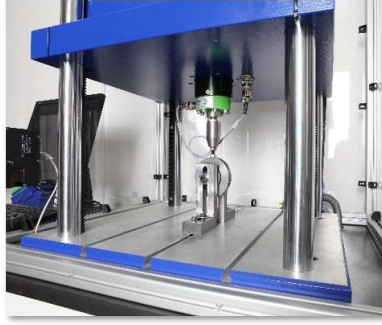
Eksen	$\pm X$ veya $\pm Z$
Kuvvet	± 3 kN
Frekans	4 Hz
Çevrim	1.000.000

Dayanıklılık Test Koşulları



Formula No	Önce	Sonra	Sapma (mm)	Sapma (%)
Formula 1	+3,49	+3,92	0,43	%12,3
	-3,54	-4,01	0,47	%13,3
Formula 2	+3,4	+3,89	0,49	%14,4
	-3,4	-4,01	0,61	%17,9

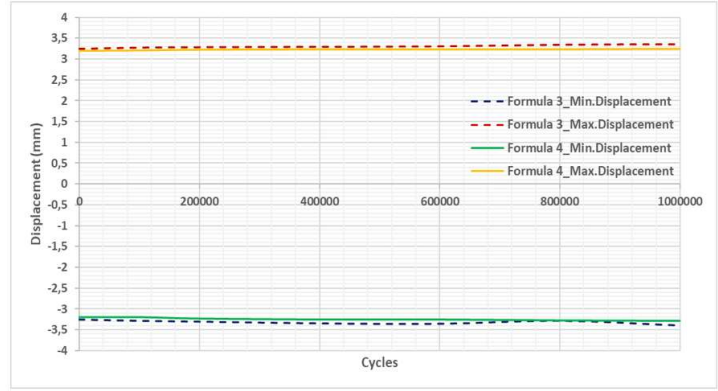
Şekil 4.5 Kauçuk formülü 1 ve 2 ye ait ömür test sonuçlarının karşılaştırılması



Dynamesse Tek Eksen Test Cihazı

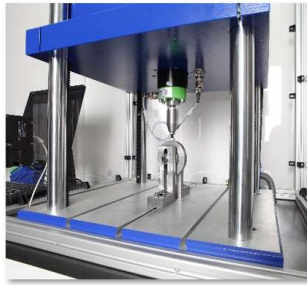
Eksen	$\pm X$ veya $\pm Z$
Kuvvet	± 3 kN
Frekans	4 Hz
Çevrim	1.000.000

Dayanıklılık Test Koşulları



Formula No	Önce	Sonra	Sapma (mm)	Sapma (%)
Formula 3	+3,25	+3,36	0,11	%3,4
	-3,25	-3,39	0,14	%4,3
Formula 4	+3,2	+3,25	0,05	%1,6
	-3,2	-3,28	0,08	%2,5

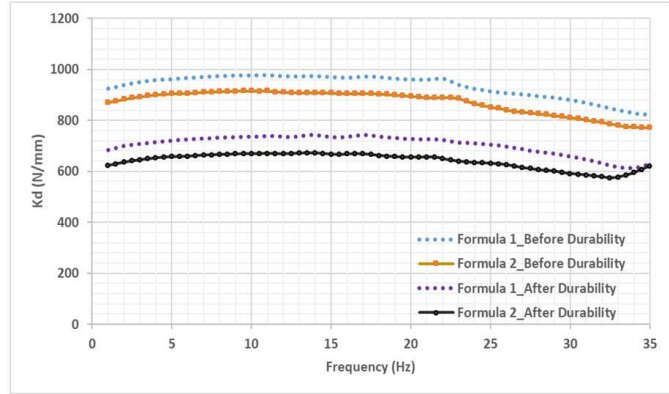
Şekil 4.6 Kauçuk formülü 3 ve 4 e ait ömür test sonuçlarının karşılaştırılması



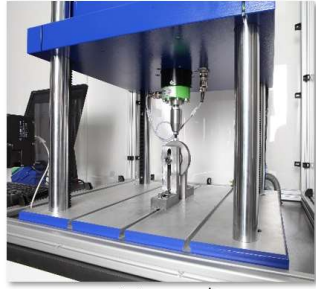
Dynamesse Tek Eksen Test Cihazı

Eksen	$\pm X$ or $\pm Z$
Kuvvet	± 2 mm
Frekans	1 - 35 Hz
Çevrim	0,5 Hz

Dayanıklılık Test Koşulları



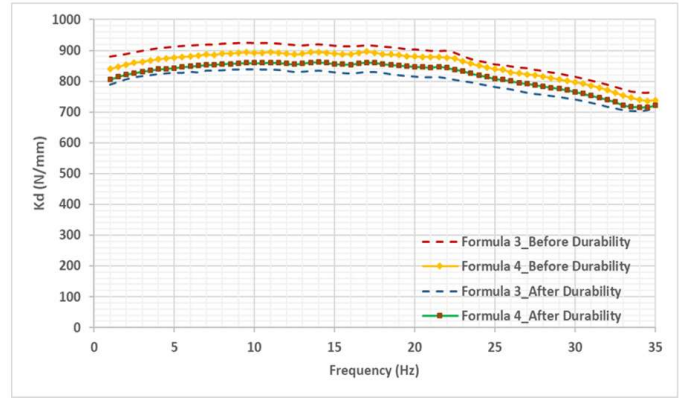
Şekil 4.7 Kauçuk formülü 1 ve 2 ye ait dinamik test sonuçlarının karşılaştırılması



Dynamess Tek Eksen Test Cihazı

Eksen	$\pm X$ or $\pm Z$
Kuvvet	± 2 mm
Frekans	1 - 35 Hz
Çevrim	0,5 Hz

Dayanıklılık Test Koşulları



Şekil 4.8 Kauçuk formülü 3 ve 4 e ait dinamik test sonuçlarının karşılaştırılması

Elde edilen veriler Çizelge 4.4’de toplu olarak özetlenmiştir. Buna göre histeresis anlamında en iyi sonuç 4 nolu formülde elde edilmiştir. Bu reçete bize hem daha stabil kauçuk değerlerine sahip olmamızın yanında diğer parametrelerin etkisini de daha rahat inceleme imkânı sağlayacaktır.

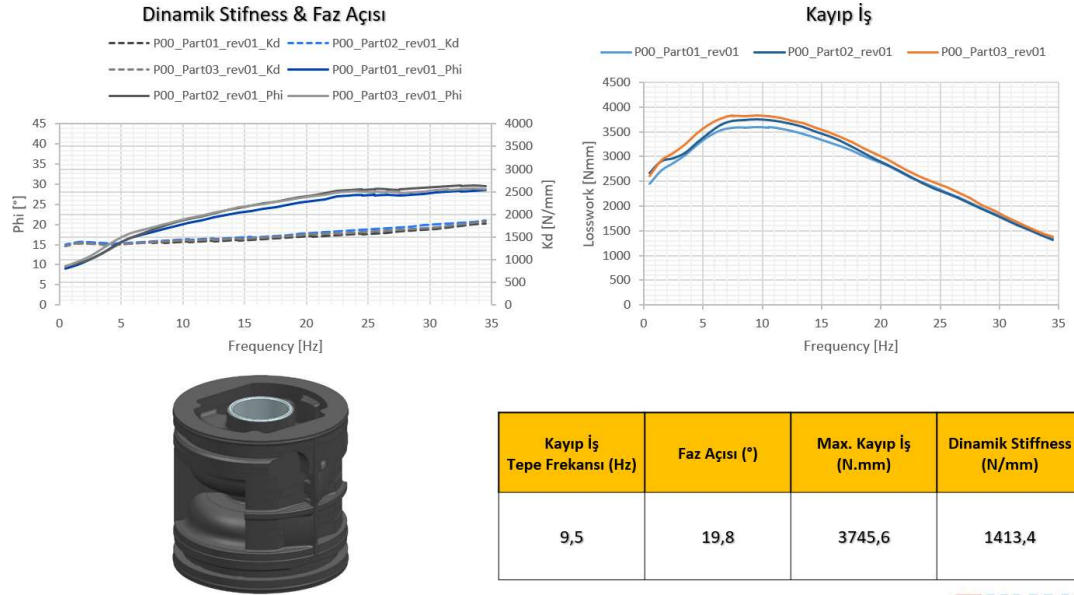
Çizelge 4.4. Kauçuk formülleri ve bu formüllere ait histeresis sonuçlarının karşılaştırılması

	Ks (N/mm)	Wapp. (Nmm)	Wrem. (Nmm)	W (Nmm)	HYS (%)	NR	SBR	FEF (N550)	HAF (N330)
Formula 1	670	13670	9950	3720	27%	50	50	20	20
Formula 2	690	14890	11420	3470	23%	50	50	40	-
Formula 3	720	15163	14053	1110	7%	80	20	20	20
Formula 4	700	13090	12310	780	6%	80	20	40	-

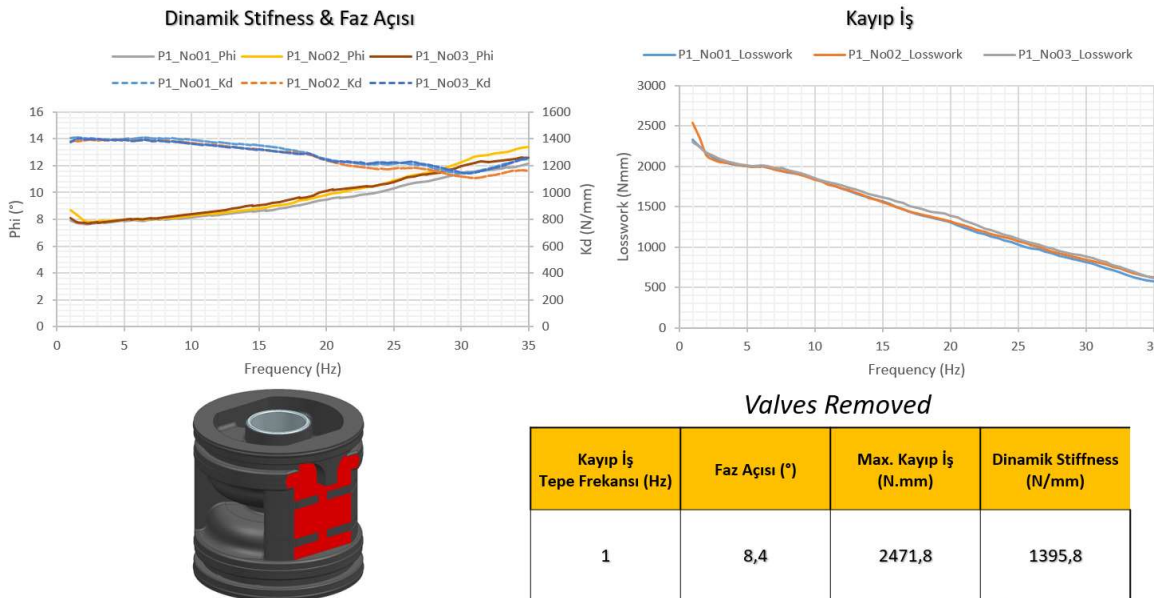
Statik değerlerin incelenmesi ve kauçuk formülünün netleşmesinin ardından dinamik testler yapılmış ve 8 farklı geometri üzerinden dinamik yay sabiti, faz açısı, kayıp iş ve tepe frekans değerleri incelenmiştir. Her bir parça damping yönünde ± 2 mm genlikte 35Hz e kadar test edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.4 Dinamik Test Sonuçları

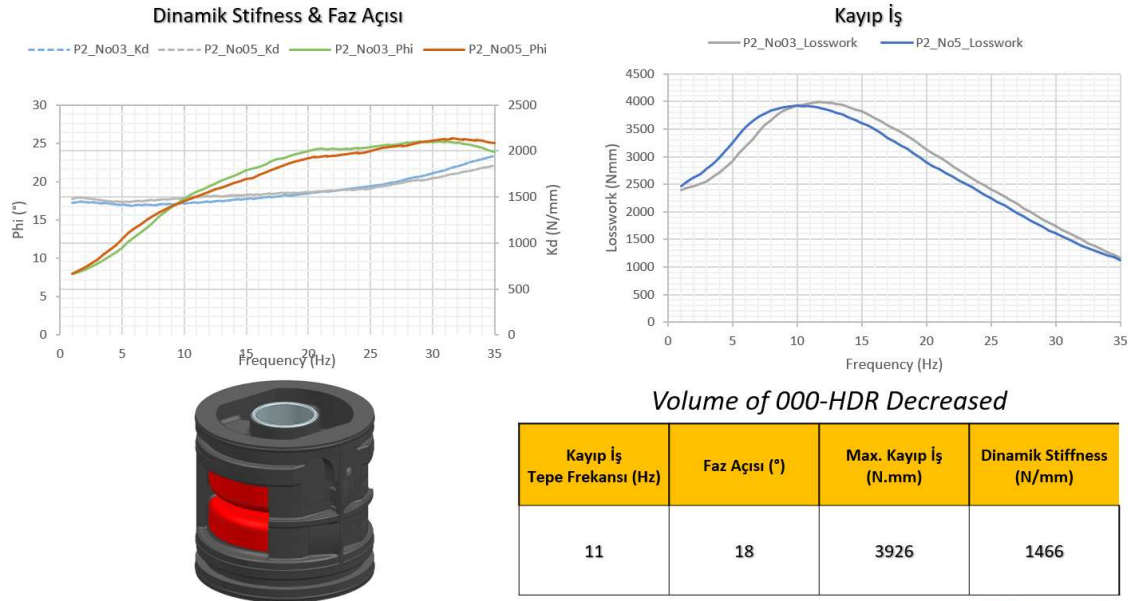
Statik testlerin tamamlanmasından sonra bütün parçalara dinamik testler uygulanmıştır. Sabit bir yük altında frekans bandında taramalar yapılmış ve Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17’de görünen kayıp işe ait tepe frekansı, faz açısı, maksimum kayıp iş ve dinamik stiffness değerleri gösterilmiştir.



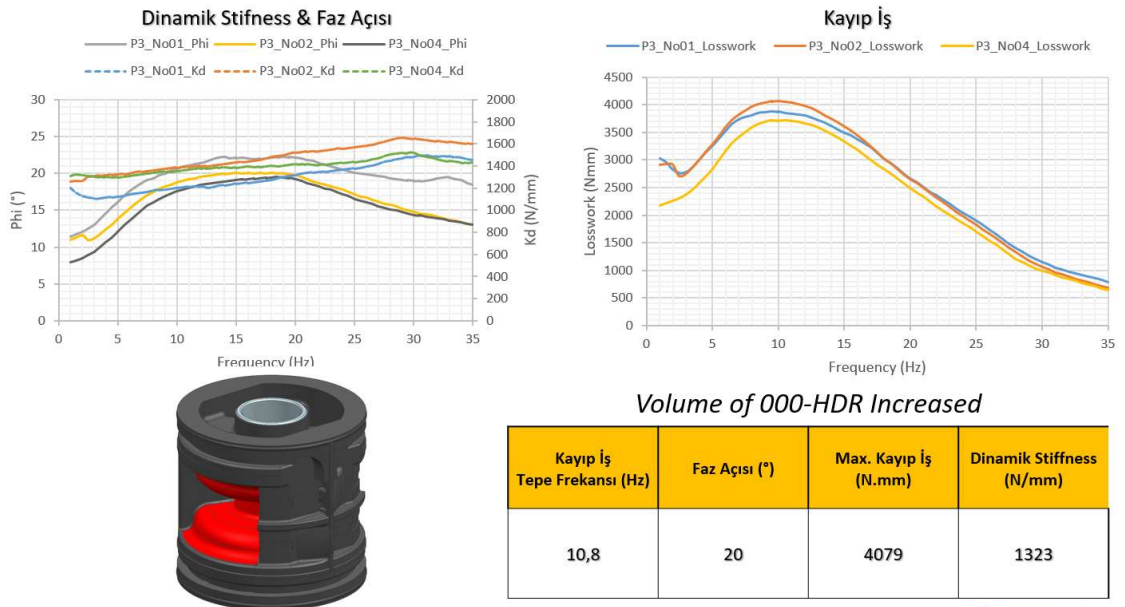
Şekil 4.9 Rev0 dinamik yay sabiti, kayıp iş, faz açısı ve tepe frekansı sonuçları



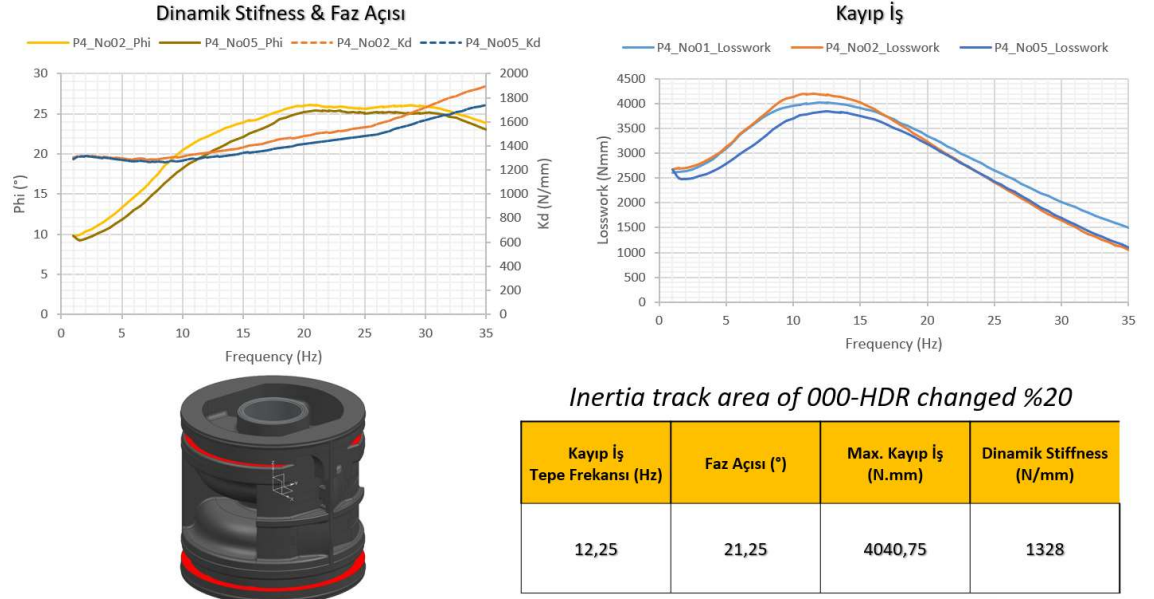
Şekil 4.10 Rev1 dinamik yay sabiti, kayıp iş, faz açısı ve tepe frekansı sonuçları



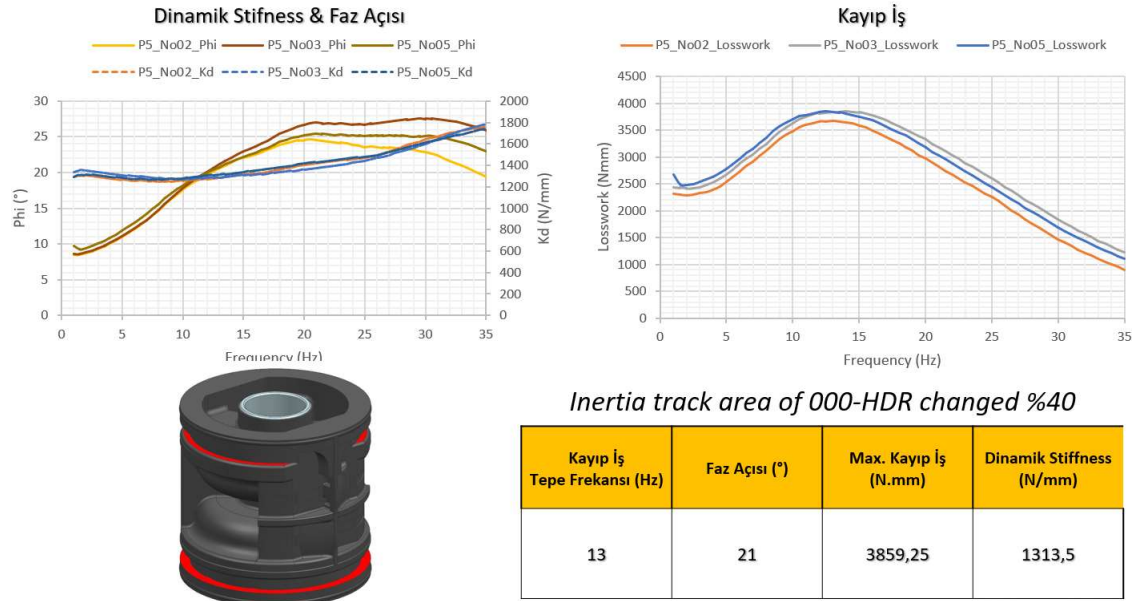
Şekil 4.11 Rev2 dinamik yay sabiti, kayıp iş, faz açısı ve tepe frekansı sonuçları



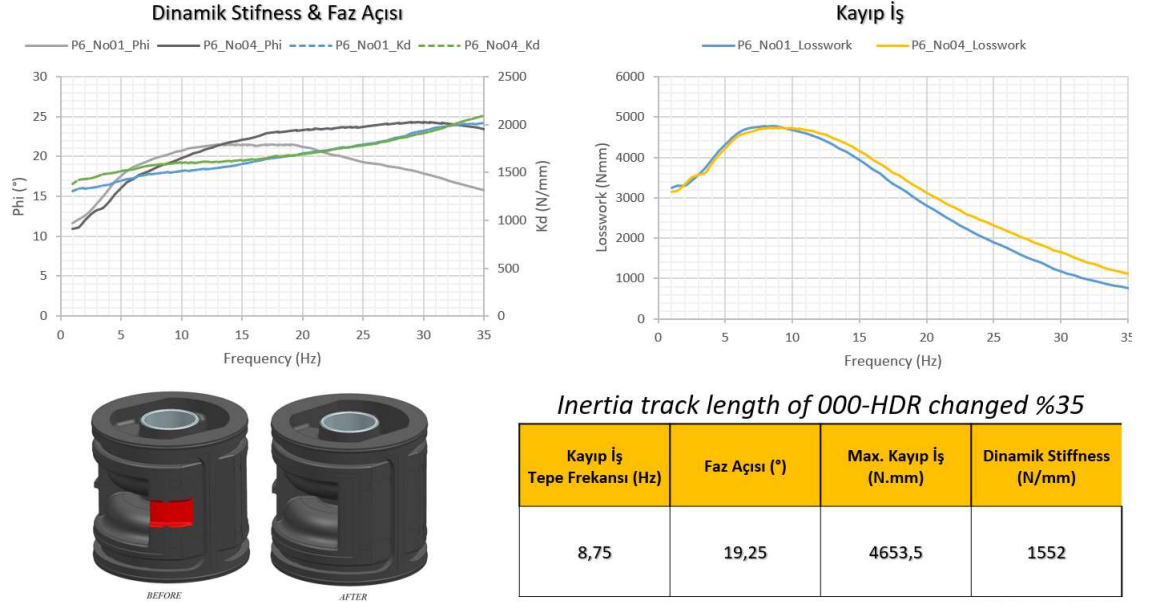
Şekil 4.12 Rev3 dinamik yay sabiti, kayıp iş, faz açısı ve tepe frekansı sonuçları



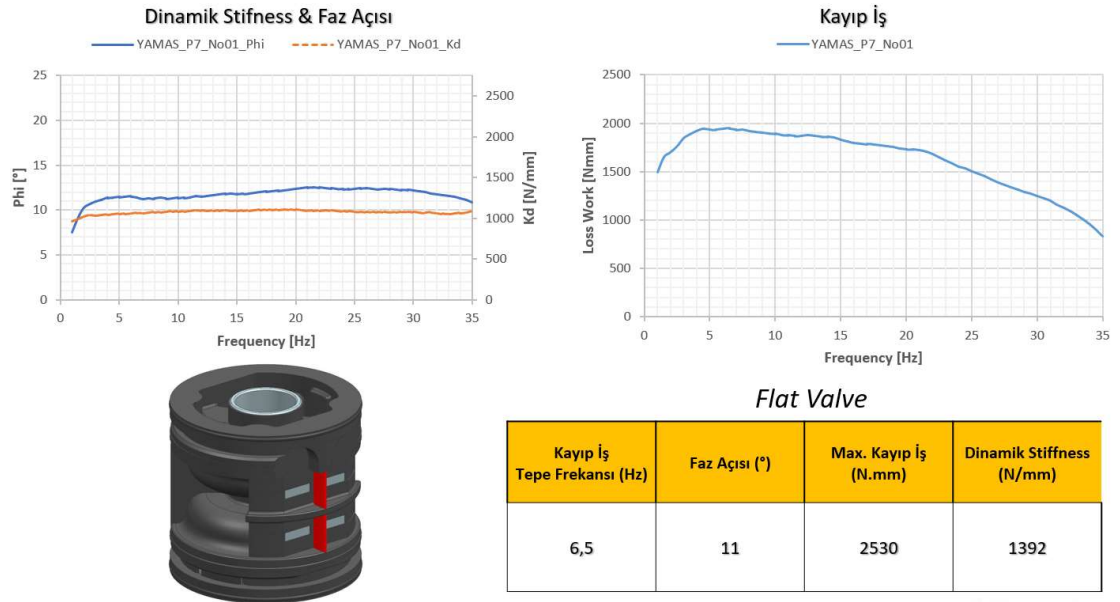
Şekil 4.13 Rev4 dinamik yay sabiti, kayıp iş, faz açısı ve tepe frekansı sonuçları



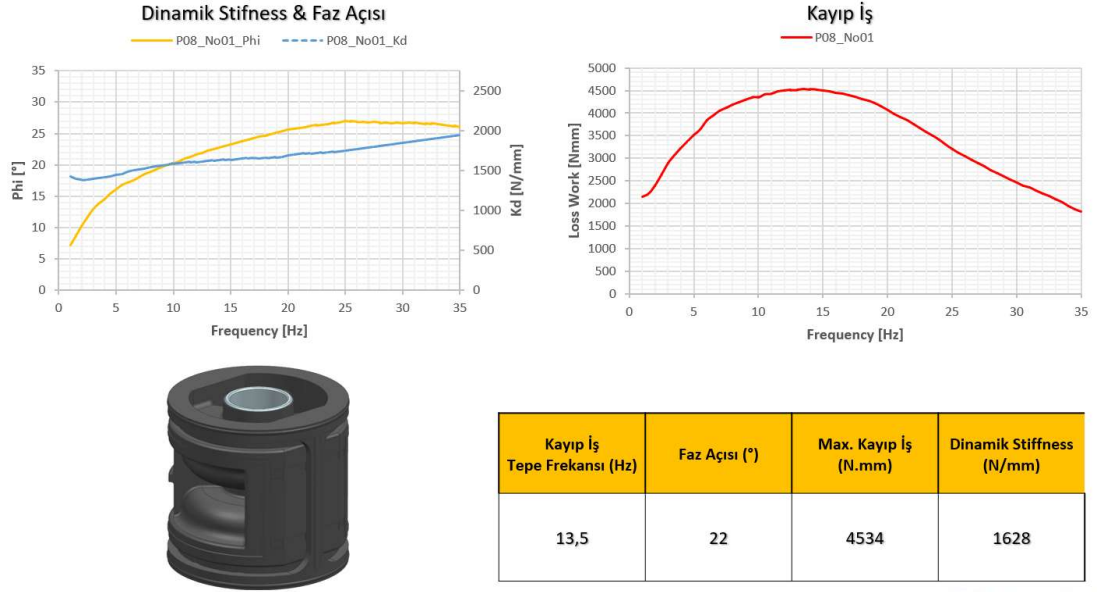
Şekil 4.14 Rev5 dinamik yay sabiti, kayıp iş, faz açısı ve tepe frekansı sonuçları



Şekil 4.15 Rev6 dinamik yay sabiti, kayıp iş, faz açısı ve tepe frekansı sonuçları



Şekil 4.16 Rev7 dinamik yay sabiti, kayıp iş, faz açısı ve tepe frekansı sonuçları



Şekil 4.17 Rev8 dinamik yay sabiti, kayıp iş, faz açısı ve tepe frekansı sonuçları

Yapılan testler bir tablo üzerinde toplandığında hangi parametrenin hangi sonuca etki ettiğine dair daha rahat bir yorum yapılabilir. Çizelge 4.5’de referans alınan Ford Kuga burcu üzerinde yapılan yağ kanalı uzunluğu, yağ kanalı kesiti, valf ve yağ cebi hacmindeki değişikliklerin ürün üzerinde kayıp iş tepe frekansına, faz açısına, maksimum kayıp işe ve dinamik yay sabiti değerlerine etkisi görülmektedir.

Çizelge 4.5. Referans alınan burçta yapılan değişiklikleri dinamik test sonuçlarına etkisi

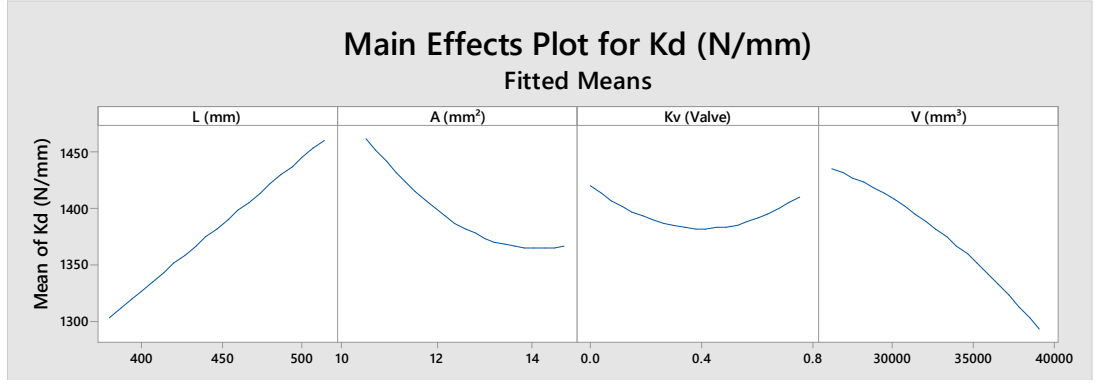
REV No	Kayıp İş Tepe Frekansı		Faz Açısı		Max. Kayıp İş		Dinamik Yay Sabiti	
	Hz	%	°	%	Nmm	%	N/mm	%
Rev0	9,50	0%	19,80	0%	3745,60	0%	1413,40	0%
Rev1	1	-89%	8,40	-58%	2471,80	-34%	1395,80	-1%
Rev2	11	16%	18,00	-9%	3926,00	5%	1466,00	4%
Rev3	10,8	14%	20,00	1%	4079,00	9%	1323,00	-6%
Rev4	12,2	29%	21,25	7%	4040,75	8%	1328,00	-6%
Rev5	13	37%	21,00	6%	3859,25	3%	1313,50	-7%
Rev6	8,7	-8%	19,25	-3%	4653,50	24%	1552,00	10%
Rev7	6,5	-32%	11,00	-44%	2530,00	-32%	1392,00	-2%
Rev8	10	5%	20,2	2%	3100,50	-17%	1340,40	-5%

Kauçukla ilgili testlerin tamamlanmasından sonra ürün üzerindeki testler incelendiğinde ise statik yay sabiti değerlerinin %5 lik bir band içinde olmasına rağmen verilen ve alınan kayıp iş faktörlerindeki değişim %20 leri bulmaktadır. Bu da ürün tasarımının statik isterleri yakalayabilmek adına geometrik olarak dondurulmuş olsa bile dinamik karakterizasyon ve ömür dayanımlarında reçete tasarımının önemini göstermektedir.

Statik verilerin yanı sıra asıl amaç olan hidroburca ait değerlerin hangi parametrelerden nasıl etkilendiğinin sonuçları da Çizelge 4.5’de verilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Valf olmadığı durumda hidroburcun herhangi bir sönüm karakteristiği göstermediği gözlenmiş ancak dinamik yay sabitinin aynı mertebelerde kaldığı görülmüştür.
- Yağ hacminin (V) artırılıp azaltıldığı durumlarda tepe frekans değerlerinin %15 civarlarında arttığı görülmüş, diğer çıktılarda ise göz ardı edilebilecek değişiklikler bulunmaktadır.
- Kanal uzunluğundaki (L) %35’lik artış sönümü %24 arttırmaktadır. Diğer parametrelerde ise minör değişiklere sebebiyet vermektedir.
- Kanal alanındaki (A) %40’lık artış sönüm tepe frekansında %37’lik artış sağlamaktadır. Diğer parametrelerde ise minör değişiklere sebebiyet vermektedir.

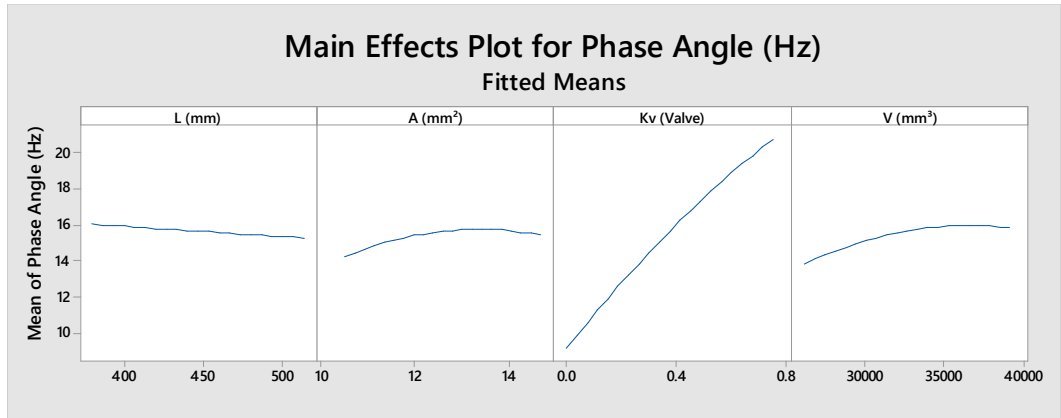
Dinamik test sonuçlarına etki eden parametreler için ayrı ayrı pareto analizi yapılmış ve hangi değerlerin hangi değişikliklerle nasıl etkilendiği Şekil 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



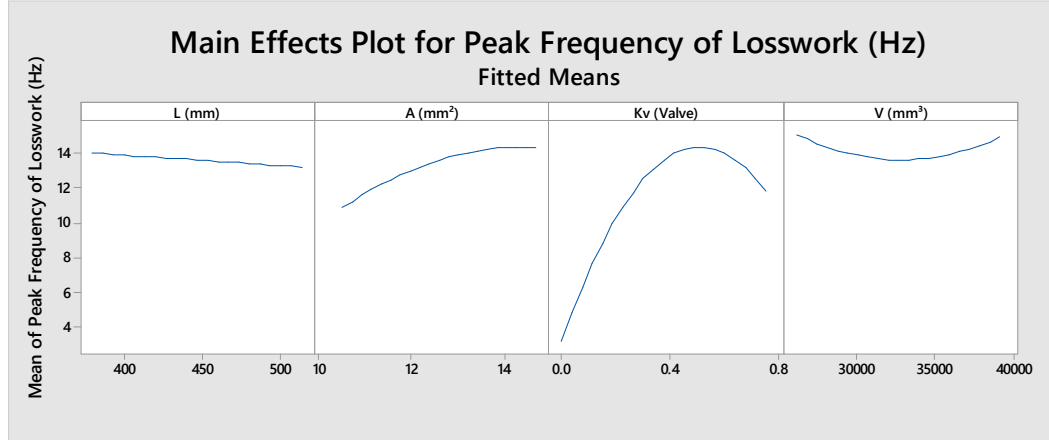
Şekil 4.18 Yağ kanalı uzunluğu, yağ kanalı kesiti, valf ve yağ cebi hacmindeki değişikliklerin dinamik yay sabiti ile ilişkisi



Şekil 4.19 Yağ kanalı uzunluğu, yağ kanalı kesiti, valf ve yağ cebi hacmindeki değişikliklerin maksimum kayıp iş ile ilişkisi



Şekil 4.20 Yağ kanalı uzunluğu, yağ kanalı kesiti, valf ve yağ cebi hacmindeki değişikliklerin faz açısı ile ilişkisi



Şekil 4.21 Yağ kanalı uzunluğu, yağ kanalı kesiti, valf ve yağ cebi hacmindeki değişikliklerin kayıp iş tepe frekansı ile ilişkisi

Yanıt yüzey model analizi sonuçları incelenerek çoklu cevap öngörüsü yapılmış ve Çizelge 4.6’da elde edilecek veriler belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Çoklu cevap öngörü sonuçları

REV No	Kayıp İş Tepe Frekansı		Faz Açısı		Max. Kayıp İş		Dinamik Yay Sabiti	
	Hz	Hz	Hz	%	Nmm	%	N/mm	%
REQ.	10	15	20	±%20	4500	±%20	1500	±%20
Rev9-	12,251	0%	20,41	2%	4764	6%	1454,7	-3%

Yapılan deneysel çalışmalara ve pareto analizlerine göre Rev5 ve Rev6 nolu parçaların değerlerinde kanal uzunluğunun arttırılması kayıp işi, kanal alanının arttırılması ise kayıp işin frekansını istenen seviyeye getirmektedir. Bu değerlerden hareketle Rev5 ve Rev6 nolu parçalarda yapılan değişiklikler ortaklaştırılıp Rev9 nolu parça tasarlanmıştır. Daha sonra Rev9 nolu parça için üretim yapılmış ve statik-dinamik testler tekrarlanarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 4.7’de öngörü sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.7. Çoklu cevap öngörü sonuçları ile gerçek parça test sonuçlarının karşılaştırılması

REV No	Kayıp İş Tepe Frekansı		Faz Açısı		Max. Kayıp İş		Dinamik Yay Sabiti	
	Hz	%	Hz	%	Nmm	%	N/mm	%
Rev9 Öngörü	12,25 1	-	20,41	-	4764	-	1454, 7	-
Rev9 Gerçek	13,5	10%	22	8%	4534	-5%	1628	12%

Rev9 nolu parçanın referans değerle olan ilişkisi ise Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Rev9 ile referans değerlerin karşılaştırılması

REV No	Kayıp İş Tepe Frekansı		Faz Açısı		Max. Kayıp İş		Dinamik Yay Sabiti	
	Hz	Hz	Hz	%	Nmm	%	N/m m	%
Ref.	10	15	20	±%20	4500	±%20	1500	±%20
Rev9 Gerçek	13,5	0,08	22	0,1	4534	0,007 6	1628	0,085 3

5. SONUÇ

Yapılan çalışmalar incelendiğinde Şekil 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21 de görüldüğü gibi kanal uzunluğu ve yağ cebinin sönüm frekansı ve sönüm miktarına etki eden en önemli parametreler olduğu görülmüştür. Yağ kanal kesitinin yapı üzerinde majör etkisi olmamakla birlikte, akışın şeklini etkilemesi bakımından tasarımı önemlidir.

Belirlenen tasarım değişkenleri üzerinde yapılan optimizasyonlar ile frekans bandı ve sönüm miktarı üzerinde istenen değişiklikler yapılabilmektedir. Buna rağmen faz açısı ve dinamik yay sabiti değerlerinin büyük oranda aynı kaldığı, bu parametrelerin benchmark çalışmaları ile birlikte değerlendirildiğinde ürünün geometrik tasarımıyla ilişkili olduğu görülmüştür.

Bir valfin yokluğunda hidroburcun sönüm özelliğini kaybettiği fakat dinamik sertliğinden herhangi bir şey kaybetmediği gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM D2240 – 05 2010.** Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness
- ASTM D412-16 2016.** Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers-Tension
- ASTM D5289 – 12 2012.** Standard Test Method for Rubber Property - Vulcanization Using Rotorless Cure Meters
- Babapour, A. 2013.** Doğal Kauçuk/Bütadien Kauçuk Esaslı Silecek Lastiği Malzemelerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı, Ankara
- Brentin, R., Sarnacke, P. 2009.** Rubber Compounds, A Market Opportunity Study, pp.21
- Chai, T., Singh, R., Dreyer, J.T. 2013.** Dynamic yay sabiti of hydraulic bushing with multiple internal configurations. SAE International Journal of Passenger Cars – Mechanical Systems 6
- Chai, T., Singh, R., Dreyer, J.T. 2015.** Frequency domain properties of hydraulic bushing with long and short passages: system identification using theory and experiment. Mechanical Systems and Signal Processing 56 92-108.
- Christopherson, J., Jazar, R. N. 2006.** Dynamic behavior comparison of passive hydraulic engine mounts. Part 1: mathematical analysis. Journal of Sound and Vibration 290(3)
- Ciullo, P.A., Hewitt, N. 1954.** The Rubber Formulary, Elsevier Science, USA
- Dalgakıran, E. 2010.** Continuous Compounding of Silica Filled Rubber in a Twin Screw Extruder, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 5 s.
- Datta, S. 2013.** Elastomer Blends, The Science and Technology of Rubber, USA, pp.547
- Durmuş, A., Ülkü, S., Güden, M., Otnar, Ö.F. 2005.** Kauçuk/Metal Yapışma Mukavemetinin Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 1
- Elastomer Teknolojisi 1 2001.** Kauçuk Derneği Yayınları, 158 s.
- Gent, A.N. 1992.** Engineering with rubber, Rubber division of the Am Chem Soc. New York, 184 s.

- Hamed, G.R. 1986.** Materials and compounds. Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components (New York, 1992), pp.13-14.
- ISO 11345 2006.** Rubber - Assessment of carbon black and carbon black/silica dispersion - Rapid comparative methods
- ISO 2781 2015.** Rubber, vulcanized - Determination of density
- Leonarda da Vinci, (2007)** Rubber Chemistry ©Matador Rubber s.r.o
- Loyd, D.G. 1976.** Rubber chemicals as a means of making polymers work, *Plastics and Rubber*, s., 26-28
- Nik Yahya, N. Z., Noimam, N. Z., Ismail, H., Salleh, M. 2013.** Natural Rubber/Styrene Butadiene Rubber/Recycled Nitrile Glove (NR/SBR/rNBRg) Ternary Blend: Curing Characteristics and Swelling Test, *Key Engineering Materials*, (2014), pp. 634-638.
- Ok, J., Yoo, W., Sohn, J. 2008.** New nonlinear bushing model for general excitations using bouc-wen hysteretic model, *International Journal of Automotive Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 183–190
- Rosen, S.L. 1993.** Fundamental Principles of Polymeric Materials, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York
- Smith, L.P. 1993.** The Language of Rubber, Butterworth Heinemann, London.
- Spencer, B.Jr., Dyke, S., Sain, M, Carlson, J. 1996.** Phenomenological model of a magnetorheological damper, *ASCE Journal of Engineering Mechanics*
- Türkiye Kauçuk Sektör İzleme Raporu 2012.** Plastik Sanayicileri Federasyonu, 13 s.
- Vahapoğlu, V. 2006.** Kauçuk Türü Malzemeler II. Sentetik Kauçuk, 9(1), 44-54 s.
- Vahapoğlu, V. 2007.** Kauçuk Türü Malzemeler I. Doğal Kauçuk, 3(1), 57-70 s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yunus Emre EŞİYOK
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya / 30.07.1985
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi (1999-2003)
Lisans : Uludağ Üniversitesi (2003-2007)
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi (2011-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : DTA Mühendislik (2007-2008)
Angst&Pfister Gelişmiş Teknik Çözümler (2008-2010)
Magnet Marelli (2011-2016)
YAMAS (2016-)

İletişim (e-posta) : yunusemre@esiyok.com

Yayınları

:

Bingül, E. Darı, M.E. Zambak, B.K, Eşiyok, Y.E. 2019, Investigation of the Effects of Parameters Affecting Damping Frequency of Hydrobushings on Dynamic Results, ISASTECH 2019

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Yunus Emre EŞİYOK
Tez Adı	HİDROLİK BURCUN GEOMETRİK PARAMETRELERİNİN SÖNÜM KABİLİYETİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ
Enstitü	FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Anabilim Dalı	MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Türü	
Tez Danışman(lar)ı	Dr. Öğretim Üyesi Sevda TELLİ ÇETİN
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	☐ Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum ☐ Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum ☒ Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	☒ Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin Veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 21.11.2019

İmza : 