

**HİDROLİK MOTOR TAKOZLARININ TİTREŞİM
SÖNÜMLEME ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

Zafer AÇAR



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROLİK MOTOR TAKOZLARININ TİTREŞİM SÖNÜMLEME
ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

Zafer AÇAR
0000-0001-7707-1315

Doç. Dr. Zeliha Kamış KOCABIÇAK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

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

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

beyan ederim.

19/06/2023

Zafer AÇAR

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

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

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

Danışman Adı-Soyadı
Tarih

Öğrencinin Adı-Soyadı
Tarih

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HİDROLİK MOTOR TAKOZLARININ TİTREŞİM SÖNÜMLEME ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Zafer AÇAR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zeliha Kamış KOCABIÇAK

Motor takozları, yoldan ve motordan gelen titreşimleri sönmülemde önemli rol oynarlar. Titreşim sönmüleme özelliğinin yanında ayrıca motorun ağırlığını da taşırlar. Motor takozları, kauçuk (konvansiyonel) takozlar, hidrolik takozlar, yarı aktif takozlar ve aktif takozlar olmak üzere 4 ana kategoriye ayrılmaktadır. Hidrolik motor takozları, yüksek sönmü kabiliyetleri ve farklı frekanslarda ayarlanabilen sönmü özellikleri sayesinde yüksek sürüş konforu sağlamaktadır. Takozda bulunan kanal içinde dolaşan akışkan aracılığı ile yüksek sönmü elde edilmektedir. Ancak eklenen akışkan yüksek frekanslı titreşimlerinde konforun bozulmasına sebep olabilir. Yüksek frekanslardaki konforu iyileştirmek için ayırıcı denilen bileşen eklenmektedir. Bu çalışmada, pasif hidrolik motor takozlarının sönmüleme özelliklerini etkileyen parametreler deneysel olarak incelemiştir. Kauçuğun kimyasal yapısı, kanal kesit alanı ve yağ hacmi gibi faktörler değiştirilerek, belirli frekanslarda dinamik direnç ve faz açısı değerleri elde edilmiştir. Parametrelerde yapılan değişikliklerin sonuçlara etkisi ve hangi parametrelerin daha etkili olduğu analiz edilmiştir. Deneysel sonuçları, istenen takoz performansını sağlayan optimum bir tasarım elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Optimizasyon sürecinde, uygun sınırlar belirlendiğinde deneysel ve optimizasyon sonuçlarının yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik motor takozları, kauçuk, sönmü, dinamik direnç, faz açısı

2023, viii + 60 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PARAMETERS AFFECTING THE VIBRATION-DAMPING PROPERTIES OF THE HYDRAULIC ENGINE MOUNTS

Zafer AÇAR

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

Supervisor: Assoc. Prof. Zeliha Kamış KOCABIÇAK

Hydraulic engine mounts play an important role in dampening vibrations from the road and the engine. In addition to their vibration-damping capability, they also support the weight of the engine. Engine mounts are classified into four main categories: conventional rubber mounts, hydraulic mounts, semi-active mounts, and active mounts. Hydraulic engine mounts provide high damping capabilities and adjustable damping properties at different frequencies, thus ensuring high driving comfort. High damping is achieved through the circulation of fluid within the channel inside the mount. However, the added fluid can lead to a degradation of comfort in high-frequency vibrations. An additional component called a decoupler is incorporated to improve comfort at high frequencies. This study experimentally investigated the parameters influencing the damping characteristics of passive hydraulic engine mounts. The effects of parameter variations on the results and the identification of the most influential parameters were analyzed. Factors such as the chemical composition of the rubber, the cross-sectional area of the inertia track, and oil volume were modified to obtain dynamic stiffness and phase angle values at specific frequencies. The experimental results were utilized to achieve an optimal design that meets the desired performance of the engine mounts. It was observed that the experimental and optimization results were close to each other when appropriate boundary conditions were defined.

Key words: Hydraulic engine mount, rubber, damping, dynamic stiffness, phase angle

2023, viii + 60 pages.

ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana destek olan ve yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Zeliha Kamış KOCABIÇAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve teknik desteğini esirgemeyen Bayrak Lastik firmasına ve tüm çalışanlarına, değerli yöneticim Halil BİLAL'e teşekkürlerimi sunarım.

Benden desteğini esirgemeyen eşime, motivasyon kaynağım olan kızım ve oğluma teşekkürlerimi sunarım.

Zafer AÇAR
19/06/2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1 Kuramsal Temeller	2
2.1.1 Motor Takozları	2
2.1.2 Kauçuk	9
2.1.3 Karakterizasyon Testleri	14
2.2 Kaynak Araştırması	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM	23
3.1 Deney Tasarımı ve Optimizasyon	23
3.1.1 Deney Tasarımı	23
3.1.2 Optimizasyon	26
3.2 Vulkanizasyon	27
3.3 Talaşlı İşleme	28
3.4 Yağ Dolum	29
3.5 Kauçuk Üretim Prosesi	29
3.6 Statik ve Dinamik Test Cihazı	30
4. BULGULAR	34
4.1 Dinamik Test Sonuçları	34
4.2 Oluşturulan Deney Tasarımı ve Cevap Yüzeyi ile Optimizasyon	41
4.3 Güncellenen Deney Tasarımı ve Cevap Yüzeyi ile Optimizasyon	46
4.3.1 Kısıt İçeren Optimizasyon	46
4.3.2 Kısıt İçermeyen Optimizasyon	47
4.4 Hidrolik Takoz Tasarım Parametrelerinin Sönümlenme Özelliklerine Etkisi	49
4.4.1 Yağ Kanalı Kesit Alanı	49
4.4.2 Yağ Hacmi	50
4.4.3 Dinamik Direngenlik/Statik Direngenlik Oranı	51
4.4.4 Ayırıcı Sertliği	52
4.5 Sönüm Parametrelerinin Etkileşimleri	53
5. SONUÇ	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

k_s	Statik Direngenlik (Rijitlik, Yay Katsayısı)
k_d	Dinamik Direngenlik (Rijitlik, Yay Katsayısı)
ΔF	Statik kuvvet
Δx	Statik kuvvete karşılık gelen yer değiştirme
$\Delta F_{\text{dinamik}}$	Dinamik kuvvet
$\Delta x_{\text{dinamik}}$	Dinamik kuvvete karşılık gelen yer değiştirme
δ	Faz açısı
a	Alan
η	Dinamik sertleşme katsayısı

Kısaltmalar

Açıklama

NR	Doğal Kauçuk
SBR	Stiren Bütadien Kauçuk
NBR	Nitril Kauçuk
EPDM	Etilen Propilen Dien Kauçuk
VMQ	Silikon Kauçuk
CR	Kloropren Kauçuk
BR	Polibütadien Kauçuk
ER	Elektro Reolojik
O	Oksijen
Si	Silisyum
CNC	Sayısal Kontrollü Bilgisayar

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Motor takozunun araç üzerindeki yerleşimi	2
Şekil 2.2. Motor takozu örneği	3
Şekil 2.3. Kauçuk takoz modeli	4
Şekil 2.4. Kauçuk takozların direngenlik eğrisi	4
Şekil 2.5. Referans alınan hidrolik motor takozunun kesiti	5
Şekil 2.6. Ayırıcılı hidrolik takozun dinamik direngenlik eğrisi	6
Şekil 2.7. Yarı aktif hidrolik takoz modeli7
Şekil 2.8. Aktif hidrolik takoz modeli	8
Şekil 2.9. Aktif hidrolik takozun dinamik direngenlik eğrisi	8
Şekil 2.10. Vulkanizasyon öncesi ve sonrasında oluşan çapraz bağ yapısı	9
Şekil 2.11. Kauçuk ağacından lateks elde edilmesi	9
Şekil 2.12. Statik test eğrisi örneği	15
Şekil 2.13. Faz açısının büyüklüğü	16
Şekil 2.14. Dinamik uyarım esnasındaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi	16
Şekil 2.15. Dinamik direngenlik Eğrisi	18
Şekil 2.16. Faz açısı eğrisi	18
Şekil 3.1. DESMA D968.400 Vulkanizasyon presi	28
Şekil 3.2. DECKEL MAHO DMU50 CNC Freze tezgahı	28
Şekil 3.3. Yağ dolum makinesi	29
Şekil 3.4. Laboratuvar tipi kauçuk karışım mikseri ve mil	30
Şekil 3.5. MTS 831.50 Elastomer test cihazı	30
Şekil 3.6. Hidrolik takoz test aparatı	31
Şekil 3.7. Disk tipi numunenin test koşulları	32
Şekil 3.8. Disk numunelerin statik test eğrisi33
Şekil 3.9. Disk numunelerin dinamik test eğrisi	33
Şekil 4.1. 1 numaralı deneye ait test sonuçları	34
Şekil 4.2. 2 numaralı deneye ait test sonuçları	35
Şekil 4.3. 3 numaralı deneye ait test sonuçları	35
Şekil 4.4. 4 numaralı deneye ait test sonuçları	35
Şekil 4.5. 5 numaralı deneye ait test sonuçları	36
Şekil 4.6. 6 numaralı deneye ait test sonuçları	36
Şekil 4.7. 7 numaralı deneye ait test sonuçları	36
Şekil 4.8. 8 numaralı deneye ait test sonuçları	37
Şekil 4.9. 9 numaralı deneye ait test sonuçları	37
Şekil 4.10. 10 numaralı deneye ait test sonuçları	37
Şekil 4.11. 11 numaralı deneye ait test sonuçları	38
Şekil 4.12. 12 numaralı deneye ait test sonuçları	38
Şekil 4.13. 13 numaralı deneye ait test sonuçları	38
Şekil 4.14. 14 numaralı deneye ait test sonuçları	39
Şekil 4.15. 15 numaralı deneye ait test sonuçları	39
Şekil 4.16. 16 numaralı deneye ait test sonuçları	39
Şekil 4.17. Optimizasyon işlem adımları	42
Şekil 4.18. Optimizasyon modelinin oluşturulması	42
Şekil 4.19. Değişkenlerin tanımlanması	42
Şekil 4.20. Deneysel verilerin deney tasarımı olarak tanımlanması	43
Şekil 4.21. Oluşturulan cevap yüzeylelerinin uyum oranları	43

Şekil 4.22. Optimizasyonda kullanılan değişkenlerin alt ve üst limitleri	43
Şekil 4.23. Amaç ve kısıtların tanımlanmasıyla oluşturulan optimizasyon problemi	44
Şekil 4.24. Optimizasyon metodunun seçimi	44
Şekil 4.25. Tasarım değişkenlerinin optimizasyon süresince (iterasyon) değişimleri44
Şekil 4.26. Kısıt içeren optimizasyondan edilen optimum değişkenler ile üretilen takoza ait test grafikleri45
Şekil 4.27. Mevcut alt bileşenlerle ulaşılabilecek maksimum faz açısına sahip takoza ait test grafikleri	48
Şekil 4.28. Yağ kanalı kesit alanı değişimi ile sönümlenme özelliklerinin karşılaştırılması	49
Şekil 4.29. Yağ hacmi değişimi ile sönümlenme özelliklerinin karşılaştırılması ..	50
Şekil 4.30. Ana kauçuk k_d/k_s oranı değişimi ile sönümlenme özelliklerinin karşılaştırılması	51
Şekil 4.31. Ayırıcı sertliği değişimi ile sönümlenme özelliklerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.32. Ana kauçuk k_d/k_s oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin faz açısı ile ilişkisi53
Şekil 4.33. Ana kauçuk k_d/k_s oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin faz açısının tepe frekansı ile ilişkisi	54
Şekil 4.34. Ana kauçuk k_d/k_s oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin yüksek genlikte dinamik dirençlilik ile ilişkisi	54
Şekil 4.35. Ana kauçuk k_d/k_s oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin yüksek genlikte dinamik dirençliliğin tepe frekansı ile ilişkisi	55
Şekil 4.36. Ana kauçuk k_d/k_s oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin düşük genlikte dinamik dirençlilik ile ilişkisi	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Hidrolik takoz sönüm özelliklerine etki eden parametreler	24
Çizelge 3.2. Deneş tasarımı matrisi	25
Çizelge 3.3. Referans takoza ait test parametreleri	31
Çizelge 3.4. Dinamik sertleşme sonuçları	33
Çizelge 4.1. Deneş parametreleri ve deneş sonuç grafiklerinden elde edilen sayısal değerler	40
Çizelge 4.2. Referans takozdan beklenen özellikler	41
Çizelge 4.3. HyperStudy programından kısıt verilerek elde edilen optimum sonuçlar ve test sonuçları	45
Çizelge 4.4. Kısıt içeren optimizasyondan elde edilen sonuçlar	47
Çizelge 4.5. Kısıt içermeyen optimizasyondan elde edilen sonuçlar	47
Çizelge 4.6. Mevcut alt bileşenler ile üretilen takoza ait cevap yüzeyi ve test sonuçları48

1. GİRİŞ

Motor takozları, güç aktarma organlarında oldukça etkili bir titreşim izolatörü olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Otomobil motoru-şasi-gövde sistemi, yol ve motor kaynaklı titreşimler nedeniyle istenmeyen titreşimlere maruz kalabilir. Yol veya motor rölantisi kaynaklı titreşimler, genellikle 30 Hz'nin altındaki frekanslarda oluşur. Rölanti sarsıntısı ve yol kaynaklı titreşimleri kontrol etmek için motor takozu sert ve yüksek sönüm özelliğine sahip olmalıdır. Ancak motor kaynaklı küçük genlikli bir titreşimde (30-250 Hz aralığındaki frekanslarda), titreşim izolasyonu ve akustik konfor için düşük sönümlü bir takoz gerekir. Bu nedenle, motor takozunun bu iki zıt kriteri karşılaması gerekmektedir. Geleneksel bir motor takozu, bu çelişkili gereksinimleri aynı anda karşılayamaz. Bu nedenle, günümüzde üreticiler, sönümlenme ve sertlik özelliklerinin istenen frekans aralığında ayarlanabildiği hidrolik motor takozlarını giderek daha fazla kullanmaktadırlar.

Tez çalışması kapsamında, bir hidrolik motor takozunun sönümlenme özelliklerine etki eden dört parametre belirlenmiştir. Bu parametreler, yağ kanalı kesit alanı, yağ hacmi, ayırıcı sertliği ve ana taşıyıcı kauçuğun dinamik direngenliğinin statik direngenliğine oranıdır. Her bir parametre için de iki farklı özellik belirlenmiştir. Belirlenen iki farklı özellikte dört parametre için numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler ile deney tasarımı yapılarak 16 farklı deney elde edilmiştir. Üretilen numuneler ile MTS 831 test cihazında deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda takozun farklı titreşim genliklerindeki dinamik direngelik, faz açısı ve maksimum noktadaki frekans değerleri elde edilmiştir.

Elde edilen deney sonuçları analiz edilerek, parametrelerin birbirleri ile olan etkileşimleri incelenmiştir. Ayrıca sonuçlar, hedef değerler ile karşılaştırılarak Hyperstudy yazılımı ile optimum tasarım değişkenleri belirlenmiştir. Optimum tasarım değişkenleri ile numune üretimi yapılmış ve test edilmiştir. Optimizasyon esnasında sınır koşulları uygun bir şekilde tanımlandığında, elde edilen test sonuçları ile hedeflenen optimizasyon sonuçlarının uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde motor takozları hakkında bilgi verilerek, doğal kauçuk ve takozlara uygulanan statik ve dinamik testler açıklanmıştır. Kaynak araştırması yapılarak bu konuda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

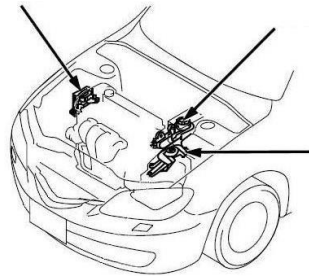
2.1 Kuramsal Temeller

2.1.1 Motor Takozları

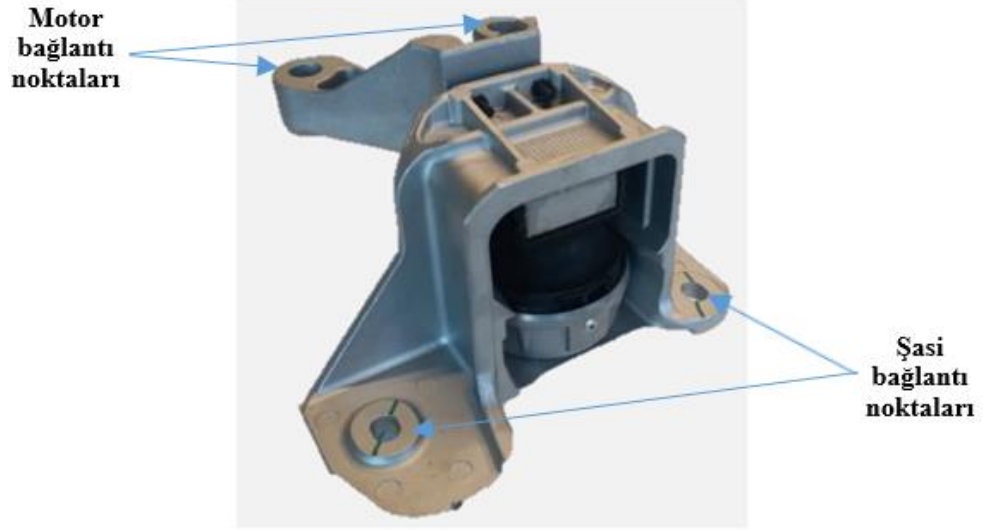
Motor takozu, bir motorun şasiye veya başka bir yapıya monte edilmesini sağlayan, motorun titreşimlerini sönümleyen bir araçtır. Motorun çalışması sırasında oluşan titreşimler, sürücü ve yolcu konforunu olumsuz etkileyebilir ve ayrıca motor ve diğer bileşenlerin hasar görmesine neden olabilir. Bu nedenle, motor takozları, titreşimleri azaltarak, motorun etrafındaki yapıları ve parçaları korur ve sürücü ve yolcu konforunu artırır. Motor takozları, genellikle kauçuk-metal birleşimi malzemelerden yapılmıştır ve farklı motor tipleri ve uygulamalar için farklı tasarımlara sahip olabilirler. Motor takozunun araç üzerindeki yerleşimi Şekil 2.1’de ve bir motor takozu örneğinin görseli Şekil 2.2’de verilmiştir.

Motor takozlarının temel olarak iki görevi vardır:

- 1) Titreşim ve gürültüyü azaltmak: Motor çalışırken oluşan titreşimi ve yoldan gelen titreşimi sönümleyerek sürüş konforunu artırırlar.
- 2) Motorun sabitlenmesini sağlamak: Motor takozları, motoru araç şasisine sabitler. Bu sayede motorun yerinden oynaması engellenir ve araçta denge sağlanır.



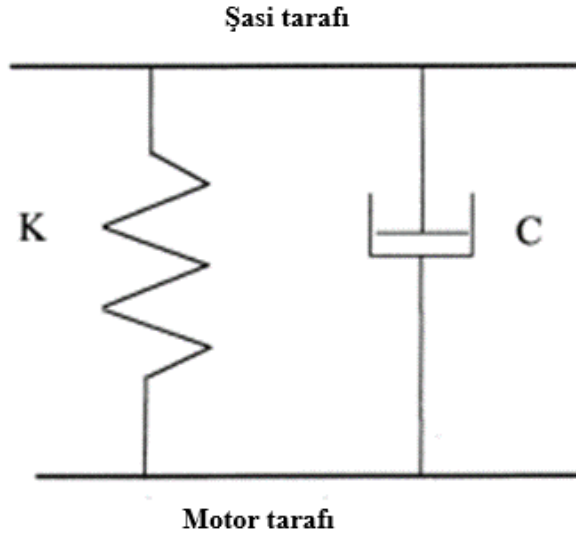
Şekil 2.1. Motor takozunun araç üzerindeki yerleşimi (Özder 2023)



Şekil 2.2. Motor takozu örneği

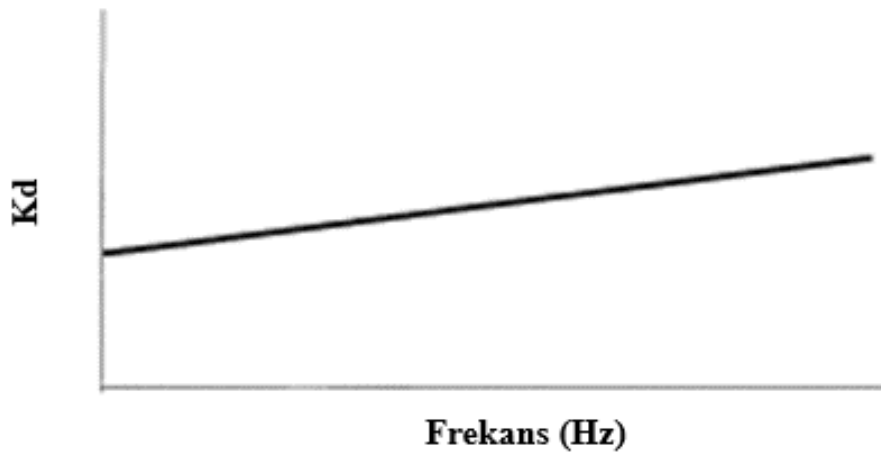
Artan müşteri istekleri, kullanım amacı ve sürüş konforuna göre motor takozları dört ana tipe ayrılır. Bunlar; kauçuk (konvansiyonel) motor takozları, hidrolik motor takozları, yarı aktif motor takozları ve aktif motor takozlarıdır. Müşteri konforu taleplerinin artması, motor takozu teknolojisi üzerinde etkili olmuş ve daha gelişmiş ve etkili motor takozu sistemleri oluşturulmuştur. Kauçuk motor takozları, en yaygın kullanılan türdür ve araç titreşimlerini emerek sürüş konforunu artırır. Ancak, hidrolik, yarı aktif ve aktif motor takozları da müşteri konforu taleplerine daha iyi cevap vermek için geliştirilmiştir ve daha fazla avantaj sunabilirler.

Kauçuk motor takozları, araçlarda 1930 yılı itibariyle kullanılmaya başlanmış ve günümüzde de kullanılmaya devam edilmektedir. Bu takozlar, basit yapısı, kolay üretimi, bakıma ihtiyaç duymaması ve uygun maliyetli olması nedeniyle tercih edilmektedirler. Kauçuk takozlar Şekil 2.3'te görüldüğü gibi yay ve sönümleyici bir elemanla temsil edilen Voigt modeli ile açıklanabilir.



Şekil 2.3. Kauçuk takoz modeli (Yu ve ark. 2001)

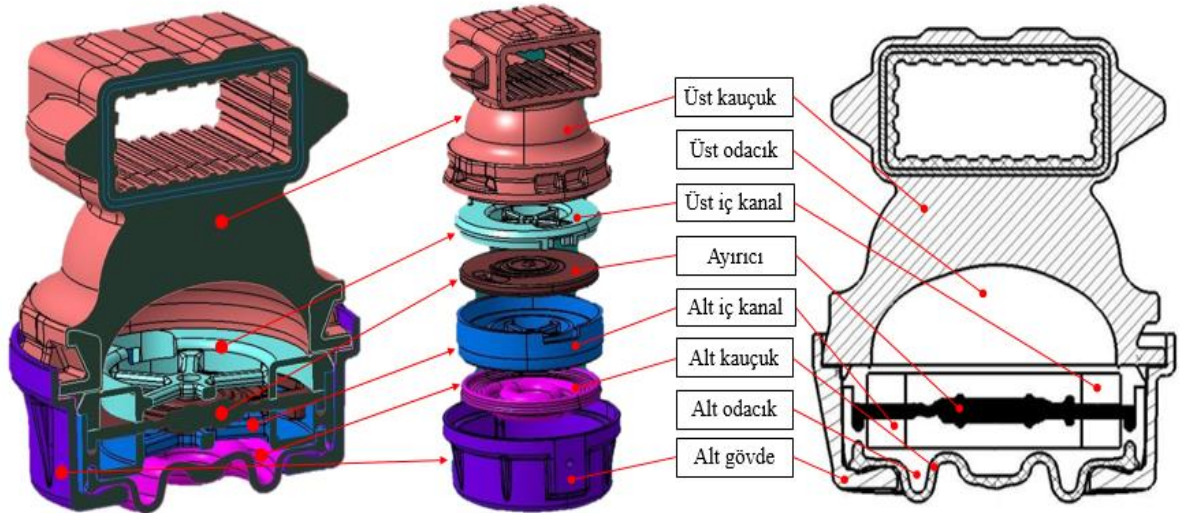
Kauçuk takozların yüksek frekanstaki dinamik direngenliği düşük frekanslardaki dinamik direngenliğinden daha yüksektir (Şekil 2.4). Bu özellik, tasarım gereksinimlerini karşılayan bir takoz sistemi tasarlamayı zorlaştırmaktadır. Yüksek direngenlik ve yüksek sönümlenmeye sahip takozlar, düşük frekanslarda düşük sarsıntı seviyesi üretebilir, ancak yüksek frekanslarda performansı kötü olacaktır. Öte yandan, düşük direngenlik ve düşük sönümlenmeye sahip takozlar ile yüksek frekanslarda düşük gürültü seviyeleri elde edilir ancak düşük frekansta yüksek sarsıntı seviyesi oluşturur (Yu ve ark. 2001).



Şekil 2.4. Kauçuk takozların direngenlik eğrisi (Yu ve ark. 2001)

Sönülmeyi arttıran ilk hidrolik motor takozlarının patentini 1962 yılında Rasmussen almıştır (Alkhatib, 2013). Hidrolik takozların popüler olmasının iki sebebi vardır. Bunlardan birincisi, düşük rölanti hızlarına sahip küçük, hafif, önden çekişli araçlar için daha gelişmiş takoz sistemlerinin gerekliliğidir. İkincisi ise, hidrolik takozların özelliklerinin ayarlanabilir olmasıdır.

Hidrolik takozların farklı tipleri mevcuttur. Bunların hepsinin çalışma prensibi benzer olsa da tasarımları farklıdır. Takozların içinde Şekil 2.5'te gösterildiği gibi alt ve üstte olmak üzere iki adet odacık vardır. Bu odacıkların içinde hidrolik sıvısı bulunur. Motor takozu uyarıldığında, hidrolik sıvı iki odacık arasında iç kanal aracılığı ile transfer edilir ve böylece sönümlenme yapılmış olur. İç kanallı hidrolik takozların dinamik direngelikleri genelde kauçuk takozlara göre daha büyüktür. Bu tür hidrolik montajlar düşük frekanslarda büyük ölçüde sönümlenme artışına neden olmasına rağmen, yüksek frekanslarda yalıtım performansını bozabilirler. Hidrolik takozların içine ayırıcı eklenecek bu problem çözülmüştür. Ayırıcı, bir yüzer eleman olarak görev yapar ve düşük genliklerde takozu genlikle ilişkilendirir, yani genlik sınırlaması sağlar.

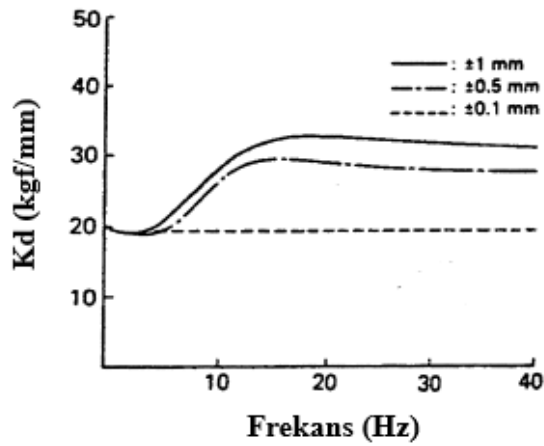


Şekil 2.5. Referans alınan hidrolik motor takozunun kesiti

Tipik bir hidrolik takoz aşağıdaki bileşenleri içermelidir:

- Yüku taşıyabilen ve sıvıyı alt odacığa pompalamak için piston olarak hareket edebilen bir kauçuk taşıyıcı takoz
- Sıvı transferi için iki ayrı odacık
- Sönümlmeyi oluşturmak için bir iç kanal
- Hidrolik sıvı
- Odacıklar ile dış ortam arasındaki sızdırmazlık
- Düşük genliklerde sönümlmeyi sağlayan bir ayırıcı

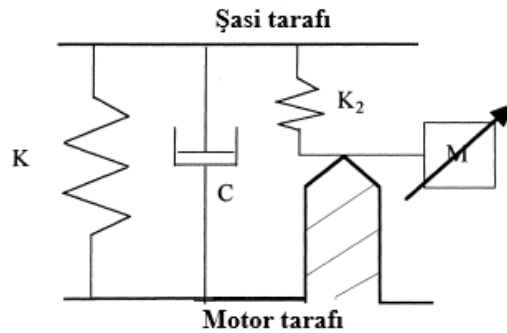
Yüksek genliklerde üst kauçuk takozun pompalama hareketi, ayırıcıyı sınırlandığı yere yapıştırarak, ayırıcı etrafındaki sıvı akışını sonlandırır ve akışı iç kanal aracılığıyla gönderir. Bu durumda, düşük frekansta, sıvı iç kanal aracılığıyla üst odadan alt odaya serbestçe geçer. Frekans arttıkça, iç kanal ile hareket eden sıvı ekstra bir sönümlme oluşturur, böylece dinamik direngenlik rezonans frekansına ulaşana kadar artar. Yüksek frekansta, hidrolik takozun dinamik direngenliği kauçuk takozu göre daha yüksektir. Düşük genliklerde, sıvı iç kanal yerine ayırıcının etrafından geçer ve takoz kauçuk takoz gibi davranır. Ayırıcılı bir hidrolik takozun dinamik karakteristiği Şekil 2.6'da verilmiştir. Şekil 2.6'dan da görüldüğü gibi dinamik direngenlik frekansa ve genliğe bağlı olarak değişmektedir (Yu ve ark. 2001).



Şekil 2.6. Ayırıcılı hidrolik takozun dinamik direngenlik eğrisi (Yu ve ark. 2001)

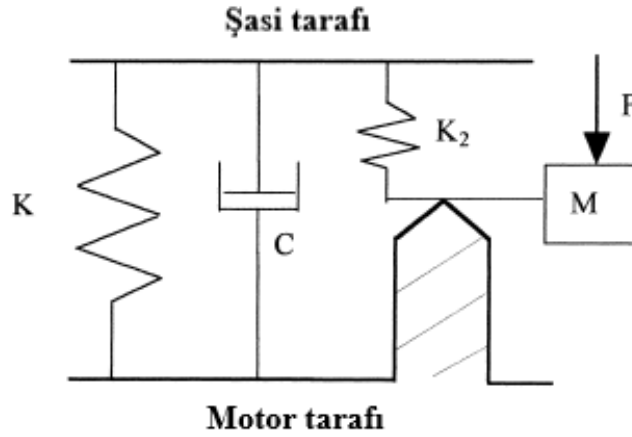
Motor süspansiyon sistemlerinde hidrolik takozlar daha sık kullanılmaktadır ve artık günümüz otomobillerinde daha iyi gürültü ve titreşim izolasyonu sağlayan takozlar gerekmektedir. Hidrolik motor takozlarında, motor sarsıntısından kaynaklanan 5-15 Hz arasındaki büyük genlikli titreşimler için iç kanal etkisi ile yüksek sönümlenme sağlanır. Öte yandan, 100-200 Hz arasındaki küçük genlikli titreşimler için ayırıcı bileşeni ile düşük dinamik direngenlik sağlanır. Ayırıcılı hidrolik takozlar, basit sinüzoidal titreşimlere maruz kaldığında kusursuz özelliklere sahiptir. Ancak, ayırıcının önemli ölçüde doğrusal olmaması nedeniyle, motor sarsıntısı ve patlama seslerinin aynı anda meydana gelmesi gibi üst üste gelen titreşimler için çok uygun değildir (Ushijima ve ark. 1988). Bu tür takozlar genellikle, hedef araçtaki belirli frekanslardaki titreşim problemini çözmek için tasarlanırlar. Araçların imalatındaki değişkenler, takozların üretim aşamasında doğası gereği meydana gelen hatalardan dolayı hidrolik takozlar istenen dinamik özellikleri sağlayamayabilirler ve takozun performansını azaltabilirler. Bu sorunları çözebilmek için yarı aktif ve aktif takozlar geliştirilmiştir (Yu ve ark. 2001). Yarı aktif takozlar, dinamik özellikleri değiştirilebilen hidrolik takozlardır ve aynı zamanda değiştirilebilir (Açık-Kapalı) takozlar olarak da adlandırılırlar. Bu takozlar esas olarak aracın rölantide çalışması sırasındaki davranışını iyileştirirler (Shangguan 2009).

Yarı aktif motor takozları genellikle hidrolik takoz ve kontrol elemanından oluşur. Bu kontrol elemanı, ER (elektro reolojik) sıvısı gibi kontrol edilebilen sıvı kullanabilir. ER sıvısının özelliği, elektrik alan uygulandığında viskozitesinin hızlı bir şekilde değiştirilebilmesidir. Bu nedenle sönüm kontrolü için uygundur (Yu ve ark. 2001). Yarı aktif bir takozun mekanik modeli Şekil 2.7'de verilmiştir.

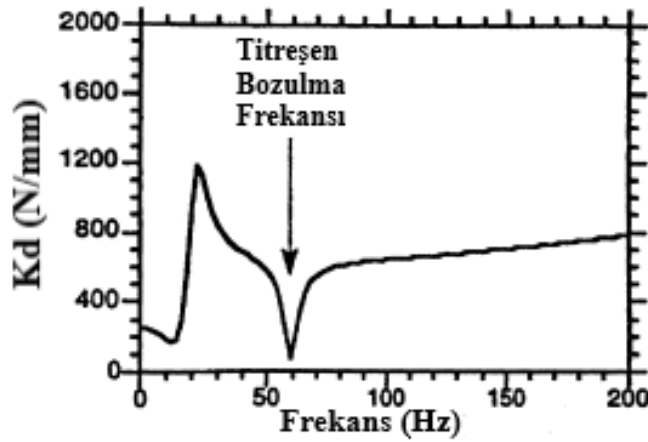


Şekil 2.7. Yarı aktif hidrolik takoz modeli (Yu ve ark. 2001)

Aktif takoz, pasif bir takoz (kauçuk veya hidrolik takoz), titreşim sensörü, elektronik kontrol ünitesi ve kuvvet üreten eyleyiciden oluşur. Aktif bir takoz, gerçek sürüş koşullarında çok kısa bir sürede yapısal titreşimi sönümleyebilmektedir. Bir sensör, istenmeyen titreşimi ölçmek için takozun şasi tarafına monte edilir. Kapalı döngü kontrol sistemi, ölçülen istenmeyen titreşime eşit genlik ve zıt fazda ikincil bir titreşim kuvveti üretmek için kullanılır ve bu kuvvet eyleyici tarafından uygulanır. İdeal olarak, ikincil kuvvet, istenmeyen birincil titreşimi ortadan kaldırır ve geçirgenliği sıfır seviyesine düşürür. Aktif bir takoz önemli ölçüde harici güç gerektirir. Aynı zamanda maliyet ve ağırlığı önemli ölçüde artırır. Bu sebeple çoğunlukla üst segment araçlarda kullanılırlar (Shangguan 2009). Şekil 2.8’de aktif bir hidrolik takozun mekanik modeli Şekil 2.9’da da dinamik direngenlik eğrisi verilmiştir.



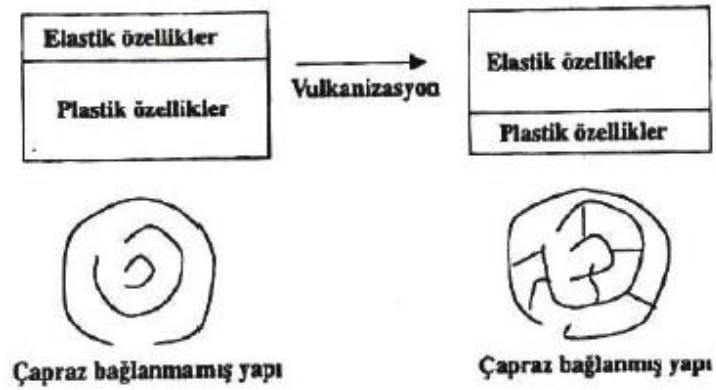
Şekil 2.8. Aktif hidrolik takoz modeli (Yu ve ark. 2001)



Şekil 2.9. Aktif hidrolik takozun dinamik direngenlik eğrisi (Yu ve ark. 2001)

2.1.2 Kauçuk

Kauçuk, çapraz bağlanmamış bir polimerdir, ancak çapraz bağlanabilme özelliğine sahiptir. Bu sayede, vulkanizasyon işlemiyle kauçuk kimyasal yapı değişikliğine uğrayarak geri dönüşümsüz elastik özellikler kazanır. Kauçuğun vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellikler gösterdiği ancak vulkanizasyon sonrası yüksek elastik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir (Şekil 2.10). Yüksek sıcaklık ve deforme edici kuvvetlerin etkisi altında, kauçuk koyu, sıvımsı akış özelliği sergiler (Dayıoğlu 2018).



Şekil 2.10. Vulkanizasyon öncesi ve sonrasında oluşan çapraz bağ yapısı (Korkmaz 2022)

Kauçuk malzemesi, ham maddesi tropikal ağaçlardan elde edilen doğal bir üründür. Özellikle Brezilya'da Kauçuk Ağacı adı verilen bu ağaç, Brezilya'nın Amazon bölgesinde yetişen önemli bir bitki türüdür. Ağaçlar 20-30 metre boyunda, yuvarlak gövdeli ve yaprakları tepesinde kümelenmiştir. Bu ağaçlar, humuslu ve bol nemli topraklarda yetişirler. Kauçuğun elde edilmesi için ilk adım, Brezilya'da atılmıştır. Şekil 2.11'de ise ağaçlardan lateks toplama işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Kauçuk ağacından lateks elde edilmesi (Dayıoğlu 2018)

Kauçuk malzemeler, ağaçlarından elde edilen doğal kauçuk ve petrol ürünlerinden sentetik olarak elde edilen kauçuklar olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal kauçuk, üstün özellikleri sayesinde halen değerini korumaktadır. Sentetik kauçuklar ise endüstriyel kullanımları nedeniyle sıkça tercih edilen malzemeler arasındadır. Laboratuvar koşullarında yapılan geliştirme çalışmaları ile sentetik kauçuklar istenilen özelliklere getirilerek hızla büyüyen bir malzeme haline gelmiştir (Dayıoğlu 2018).

Kauçuk çeşitleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Doğal Kauçuk (NR)
- Stiren Bütadien Kauçuk (SBR)
- Nitril Kauçuk (NBR)
- Etilen Propilen Dien Kauçuk (EPDM)
- Silikon Kauçuk (VMQ)
- Kloropren Kauçuk (CR)
- Polibütadien Kauçuk (BR)

Doğal kauçuklar (NR), kauçuk ağacından toplanan lateks isimli akışkan sıvıdan elde edilir. Doğal kauçuğun çalışma sıcaklığı -60°C ile 90°C arasındadır. Üstün elastikiyet, yırtılma direnci, kopma direnci, aşınma direnci ve dinamik özelliklerinin yüksek olması kullanım sebepleri arasında gösterilebilir. Dalgalanan fiyata sahip olması, düşük ozon dayanımı, düşük sıcaklık dayanımı, hava geçirgenliği, düşük kalıcı deformasyon değerleri ise doğal kauçuğun olumsuz yönleri olarak sıralanabilir. Doğal kauçuk çoğunlukla araç lastiklerinde kullanılmaktadır. Bunların dışında da konveyör kayışlarda, titreşim sönümleyici takozlarda, hortumlarda, yer döşemelerinde kullanılırlar.

Stiren Bütadien Kauçuk (SBR), Stiren ve bütadien monomerlerinin polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Üretimi en çok yapılan sentetik kauçuk türüdür. SBR kauçuğun çalışma sıcaklığı -50°C ile 100°C arasındadır. SBR, doğal kauçuğa kıyasla daha iyi aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal direnç ve yaşlanma özellikleri sunar. Doğal kauçuğa göre esnekliği daha azdır ve ozona karşı dayanımı düşüktür. Lastik

endüstrisinde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca konveyör kayışlarda, titreşim sönümleyici takozlarda, hortumlarda, yer döşemelerinde de kullanılırlar.

Nitril Kauçuk (NBR), akrilonitril ve bütadien monomerlerinin polimerizasyonu yoluyla elde edilir. Özellikle yağa ve çözücülere karşı dayanıklılığı ile bilinir. Ayrıca, sıvı yakıt, hidrokarbon ve yağ direnci, iyi sızdırmazlık özellikleri, yüksek aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımı ve kimyasal direnç gibi özelliklere sahiptir. NBR kauçuğu, özellikle yağ sızdırmazlığı gerektiren yerlerde, yüksek basınçlı uygulamalarda, hava ve su sızdırmazlığı gerektiren yerlerde, kayışlarda, conta ve diğer yalıtım malzemelerinde sıklıkla tercih edilir. NBR kauçuğunun dezavantajları arasında, düşük esneklik, yüksek sıcaklıkta çözünürlüğü, ozon direnci eksikliği ve su buharı geçirgenliği sayılabilir.

Etilen Propilen Dien Kauçuk (EPDM), etilen ve propilenin yanı sıra bir diğer monomer olan doymamış grup (dien) içeren bir bileşikle reaksiyona girmesiyle meydana gelir. EPDM kauçuğun çalışma sıcaklığı -50°C ile 150°C olup, yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi avantajları arasındadır. Yapısında yüksek dolgu ve yağ alabilmesinden dolayı düşük maliyet, ısı dayanımı, ozon dayanımı, oksijen dayanımı, yaşlanma dayanımı, elektrik yalıtımı üstün özellikleri arasındadır. EPDM kauçuğun yağ ve petrole karşı dayanımı düşüktür.

Silikon Kauçuk (VMQ), Oksijen (O) ve Silisyum (Si) elementlerinin bileşimiyle elde edilir. Çalışma sıcaklıkları -60°C ile 300°C arasında olmasından dolayı her ne kadar fiyatı yüksek olsa da geniş kullanım alanı bulmaktadır. Silikon kauçuklar iyi elektrik izolasyonu, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek ozon dayanımına sahiptir fakat yırtılma dayanımları düşük olup yüksek basınca ve yüksek gerilime dayanıklı değildir. Elektrik kablolarında, tıbbi aletlerde, sızdırmazlık elemanlarında sıklıkla kullanılır.

Kloropren Kauçuk (CR), kloropren adı verilen bir monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Bu kauçuk türü genellikle orta-yüksek sıcaklıklarda kullanılan yüksek performanslı bir malzemedir. -40°C ile 100°C arasındaki sıcaklıklarda çalışır.

CR, doğal kauçuk ve diğer sentetik kauçuk türleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek kimyasal direnç, daha iyi yanmazlık özellikleri, daha yüksek ısı dayanımı ve daha düşük

gaz geçirgenliği özelliklerine sahiptir. Ayrıca sıvıya ve neme karşı dayanıklılık gösterir. Özellikle suya, oksijene ve ozona karşı dayanıklı olduğu için sualtı uygulamalarında, deniz ekipmanlarında, su geçirmez giysilerde, bot yapımında kullanılır. Ayrıca, aşınma direnci yüksek olduğu için, araba fren balataları, vinç halatları, endüstriyel kayışlar, hortumlar ve diğer mekanik parçalar gibi yüksek aşınma direnci gerektiren uygulamalarda da kullanılır.

Polibütadien Kauçuk (BR), butadien monomerinin polimerizasyonu yoluyla elde edilir. Aşınma ve çatlama mukavemetinin çok iyi olmasından ve düşük ısılarda da iyi elastik özellikler göstermesinden dolayı, otomobil lastiklerinde kullanılmaktadırlar. Kopma mukavemeti değerleri düşük ve işlenmesi zor olduğundan genellikle NR veya SBR ile birlikte kullanılır.

Kauçuk karışımı, kauçuk polimerlerinin yanı sıra çeşitli yardımcı malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşur. Bu yardımcı malzemelerin amacı, kauçuğun özelliklerini iyileştirmek veya değiştirmek, üretim sırasında işlenmesini kolaylaştırmak ve son ürünün istenilen özelliklerini sağlamaktır.

Kauçuk karışımı aşağıdaki bileşenlerden oluşurlar:

- ✓ Polimerler
- ✓ Dolgu maddeleri
- ✓ Pişiriciler
- ✓ Hızlandırıcılar
- ✓ Aktivatörler
- ✓ Proses kolaylaştırıcılar ve Yumuşatıcılar
- ✓ Yaşlanma önleyiciler

Polimerler, kullanım alanına göre doğal kauçuk veya sentetik kauçuktan oluşabilir. Kauçuk karışımında polimerin miktarı, karışımın amaçlarına, kullanım alanına ve özelliklerine bağlı olarak %40-%50 arası değişmektedir.

Dolgu maddeleri, genellikle kauçuk karışımının mukavemetini artırmak, aşınmaya karşı direncini artırmak, sertliğini ve direngenliğini artırmak, işlenebilirliği ve işleme özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Dolgu maddeleri arasında, karbon siyahı, silika, cam elyafı gibi malzemeler yer alır. Dolgu maddelerinin özellikleri, spesifik gravitesi, tanecik büyüklüğü, yüzey alanı ve kimyasal yapısı gibi faktörlere bağlıdır.

Spesifik gravite, kauçuk karışımının işlenebilirliği, maliyeti ve mekanik özellikleri gibi faktörler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Dolgu maddesinin spesifik gravitesinin yüksek olması, yoğunluğunun yüksek olduğu anlamına gelir. Spesifik gravitesi yüksek olan bir dolgunun ağırlığı artar ve böylece maliyeti de artar fakat mekanik özellikleri de artabilir. Düşük olması durumunda ise ağırlık azalabilir ama mekanik özellikleri de azalacaktır.

Dolgu maddelerinin tanecik boyutu, kauçuk karışımındaki dolgu maddesi dağılımını ve işlenebilirliğini etkiler. Daha küçük tanecik boyutları, daha homojen bir karışım oluşturabilir ve işlenebilirliği artırabilir. Tane büyüklüğü küçüldükçe, yüzey alanı artar ve dolayısıyla kopma dayanımı, aşınma ve yorulma dayanımı artar. Bunun nedeni, daha küçük taneler daha homojen bir şekilde dağılır ve dolgu maddesi ve kauçuk polimeri arasında daha iyi bir bağ oluşturur (Dayıoğlu 2018). Tane büyüklüğü arttıkça dinamik özellikleri düşer. Dolgu miktarı arttıkça da dinamik özellikleri artar.

Pişiriciler, kauçuğun çapraz bağlanmasını sağlayan ve böylece elastik bir malzemeye dönüştürmek için kullanılan kimyasal maddelerdir. En yaygın kullanılanlar, kükürt ve peroksitlerdir.

Kauçuk karışımında yumuşatıcılar ve proses kolaylaştırıcılar, viskoziteyi düşürerek karışımın akıcılığını artırırlar ve böylece işlenebilirlikleri de artar. Yumuşatıcılar, aynı zamanda kauçuk hamurunun karışmasını kolaylaştırır ve diğer maddelerin karışım içinde homojen dağılmasını sağlar (Dayıoğlu 2018).

Hızlandırıcılar, vulkanizasyon sürecini hızlandırmak için kullanılan kimyasallardır. Hızlandırıcılar, vulkanizasyon sürecini hızlandırdıkları için üretim süresini kısaltırlar.

Ayrıca, hızlandırıcıların doğru kullanımı, vulkanize olmuş kauçuğun özelliklerini ve kalitesini artırabilir.

Aktivatörler, vulkanizasyon sürecinde hızlandırıcılar ile birlikte kullanılan kimyasallardır. Hızlandırıcıların etkinliğini artırarak vulkanizasyon sürecini hızlandırmaya yardımcı olurlar. Aktivatörler, hızlandırıcıların reaksiyon hızını artırmak için kullanılır. Hızlandırıcıların tek başına etkinliği, düşük sıcaklıklarda yavaşlayabilir veya tamamen durabilir. Bu durumda aktivatörler devreye girerek reaksiyon hızını artırır ve vulkanizasyon sürecini hızlandırır.

Yaşlanma önleyiciler, Kauçuk ürünlerin kullanım ömrünü artırmak ve çevresel faktörlerin etkilerini minimize etmek için kullanılırlar. Bu kimyasallar, kauçuğun oksidasyon ve diğer bozulmalarının önlenmesine yardımcı olur. Yaşlanma önleyiciler, oksijen, ışık, ısı ve diğer çevresel faktörlere maruz kaldığında kauçuğun bozulmasını yavaşlatarak, kauçuk ürünlerin dayanıklılığını artırır.

2.1.3 Karakterizasyon Testleri

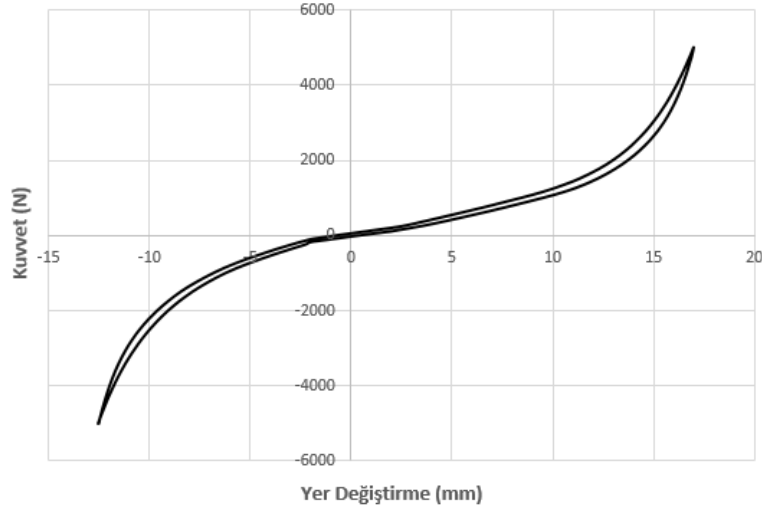
Otomotiv alanında, burçlar ve takozlar gibi titreşim sönümleyici elemanların davranışı, bir aracın genel performansını ve sürüş konforunu önemli ölçüde etkileyebilir. Bu elemanların davranışını anlamak ve karakterize etmek için genellikle statik direngenlik, dinamik direngenlik ve faz açısı ölçümleri kullanılır.

Motor takozlarının statik veya sabit yükler altında direnme yeteneğini tespit etmek için statik testler yapılmaktadır. Statik test sonucunda statik direngenlik değeri elde edilir. Statik direngenlik, bir bileşene uygulanan kuvvet ile ortaya çıkan deplasman veya deformasyon arasındaki ilişkiyi ifade eder. Genellikle birim yer değiştirme başına kuvvet olarak verilir ve birimi N/mm'dir. Statik direngenlik değerini ifade eden denklem şu şekildedir:

$$k_s = \frac{\Delta F}{\Delta x} \quad (2.1)$$

Bu formülde k_s statik direngenlik, Δx yer değiştirme ve ΔF de kuvvet değerini ifade eder.

Farklı bir deyişle kuvvet-yer değiştirme grafiğinde eğrinin eğimi, statik direngenlik değerini vermektedir (şekil 2.12).



şekil 2.12. Statik test eğrisi 6rneği

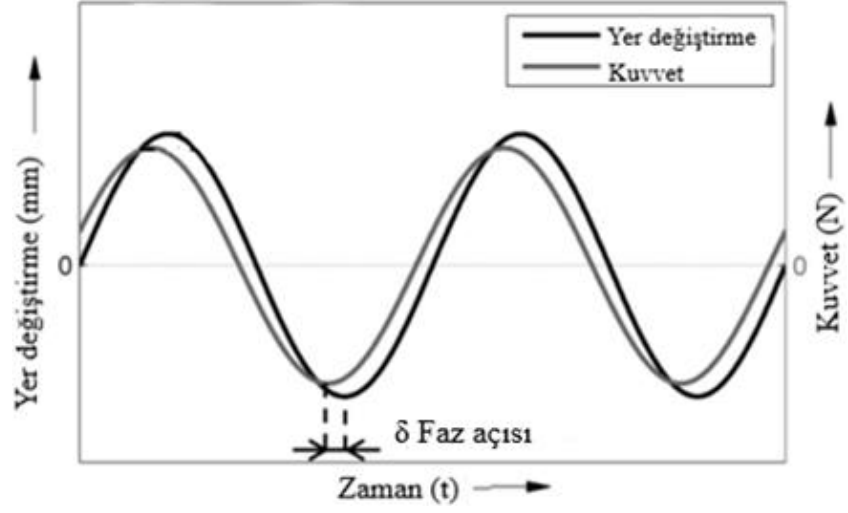
Dinamik testlerde, malzemenin veya sistemin, dinamik y6kler veya titreşimler altında deformasyona karşı direnme ve kuvvetleri iletim yeteneği 6l6mlenmektedir. Dinamik testin sonucunda dinamik direngenlik ve faz a4ışı değerleri elde edilir.

Dinamik direngenlik, takozun dinamik veya değişken frekanslı bir y6k altında diren6 gösterme yeteneğidir. Uygulanan titreşim genliği ve frekansa bağlı olarak değişir ve birimi N/mm'dir. Dinamik direngenliği belirleyen denklem aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$k_d = \frac{\Delta F_{dinamik}}{\Delta x_{dinamik}} \quad (2.2)$$

Bu form6lde k_d dinamik direngenlik, $\Delta F_{dinamik}$ takoz 6zerinden iletilen dinamik kuvvet veya titreşim, $\Delta x_{dinamik}$ uygulanan dinamik y6k veya titreşim tarafından oluşturulan yer değiştirmedir.

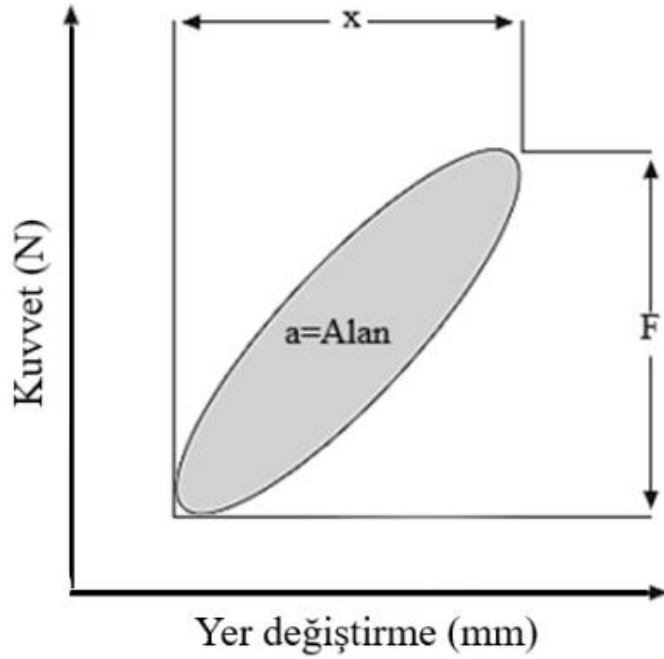
Faz a4ışı, bir malzemenin elastik olmayan davranışını ifade eder ve malzemenin enerji kaybını 6l6r. Kau6uklarda kayıp a4ışı, bir titreşim veya salınım sırasında malzemenin enerjii ne kadar iyi s6n6mlediğini veya emdiğini belirlemek i4in 6nemli bir parametredir. Kayıp a4ışı, genellikle frekansa veya salınım hızına bağlı olarak değişebilir.



Şekil 2.13. Faz açısının büyüklüğü (Koch ve ark. 2015)

Faz açısının denklemi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\delta = a \sin\left(\frac{4a}{\pi F x}\right) \quad (2.3)$$



Şekil 2.14. Dinamik uyarım esnasındaki kuvvet-yer değiştirme eğrisi

Statik direngenlik ile dinamik direngenlik arasında dinamik sertleşme olarak ifade edilen bir ilişki vardır. Dinamik sertleşme katsayı her zaman 1'den büyüktür.

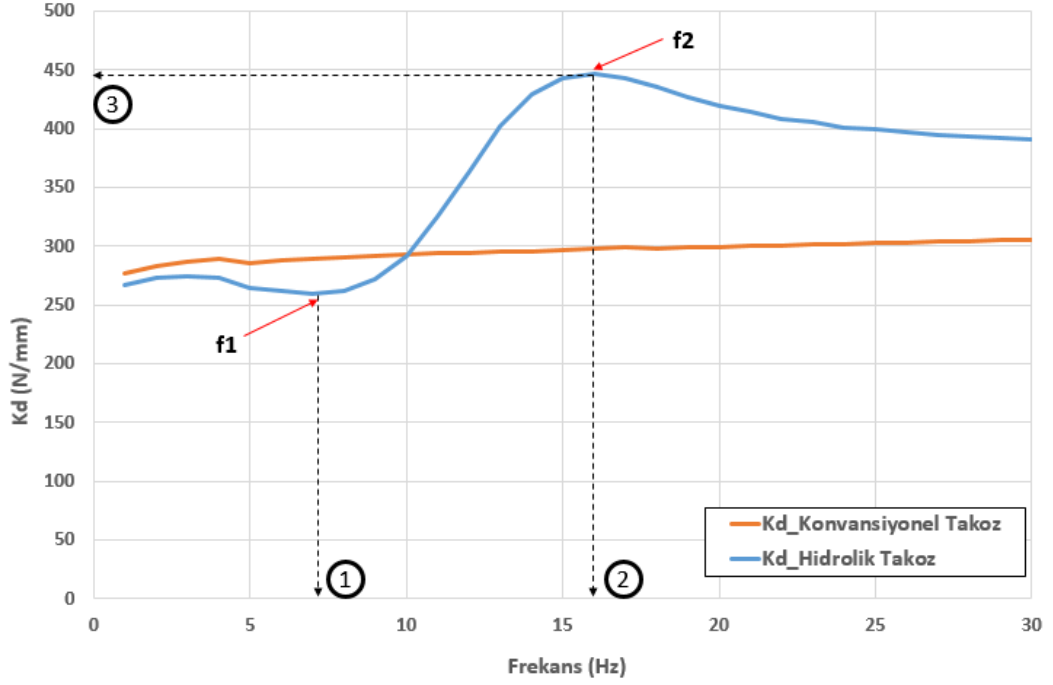
$$\eta = \frac{k_d}{k_s} \quad (2.4)$$

Kauçuğun karışımında bulunan dolgu tiplerini ve dolgu boyutlarını değiştirerek dinamik direngenlik değerini değiştirmek mümkün olmaktadır. Statik direngenlik değeri sabit kalıp, dinamik direngenlik değerinin değişmesi, ürünün tasarım fazında oldukça esneklik ve kolaylık sağlamaktadır.

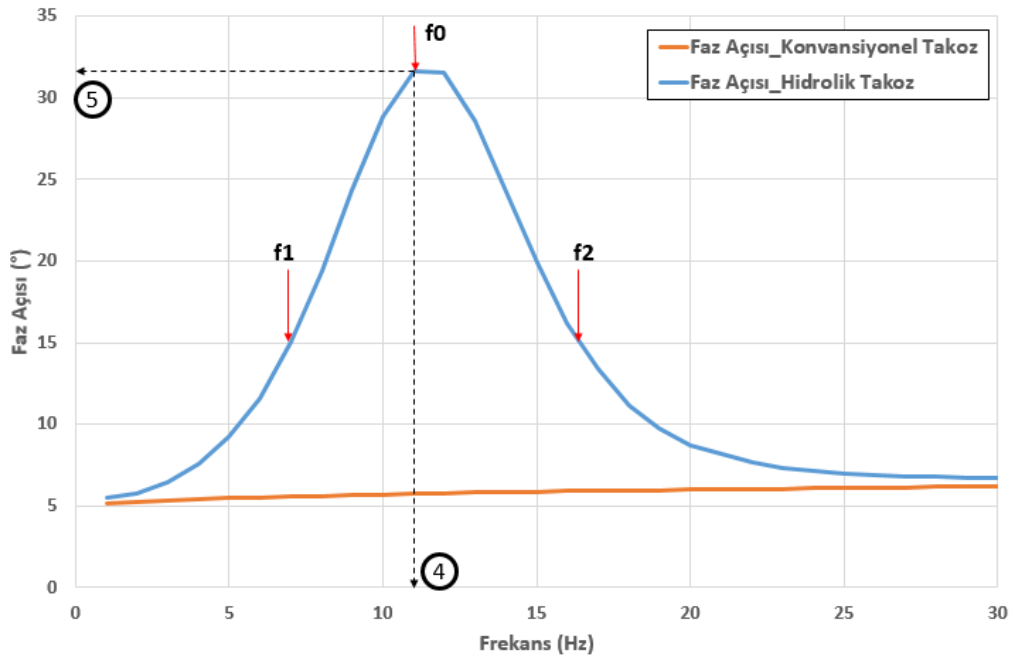
Konvansiyonel takozlar, yüksek frekanslarda daha yüksek dinamik direnç gösterme eğilimindedir. Bu durum, tasarımcıların uygun bir takoz sistemi tasarlamasını zorlaştırır, çünkü yüksek direnç ve yüksek sönümlenme özelliklerine sahip takozlar, düşük frekanslarda düşük titreşim seviyeleri üretebilirken, yüksek frekanslarda performansı kötü olabilir. Aynı şekilde, düşük direnç ve düşük sönümlenme özelliklerine sahip takozlar, yüksek frekanslarda düşük gürültü seviyeleri sağlayabilirken, düşük frekanslarda yüksek titreşim seviyelerine neden olabilir. Bu nedenle farklı frekans aralıklarında farklı sönümlenme ve direnç özelliklerine sahip olan hidrolik takozlar geliştirilmiştir. Motor rölanti frekanslarında (10-12 Hz) veya yoldan gelen titreşimlerde, hidrolik takozun sönümlenme değerinin konvansiyonel takozla göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Konvansiyonel ve hidrolik takozlar için elde edilen örnek dinamik direngenlik eğrisi Şekil 2.15'te ve faz açısı grafiği ise Şekil 2.16'da verilmiştir. Dinamik direngenlik değerinin f_1 frekansına kadar azaldığı görülmektedir. f_1 frekansına kadar takozun yer değiştirmesi ile yağ kanalının içindeki akışkan aynı fazda hareket etmektedir. Bu noktadan sonra dinamik direngenlik maksimum nokta olan f_2 frekansına kadar artarak devam etmektedir. f_1 ve f_2 aralığında takozun yer değiştirmesi ile yağ kanalındaki akışkan zıt fazda hareket etmektedir. Maksimum noktadan sonra kanalda neredeyse hiç akış olmadığından dinamik direngenlik değeri düşme eğilimindedir. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi en yüksek sönümlenme f_1 ve f_2 frekansları arasında olan f_0 frekansında oluşur.

Maksimum noktadan sonra sönümlenme değeri, kauçuk malzemenin doğal sönümlenme değerine kadar düşer.



Şekil 2.15. Dinamik dirençlik Eğrisi



Şekil 2.16. Faz açısı eğrisi

2.2 Kaynak Araştırması

Motor takozları üzerine geçmiş yıllardan itibaren çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmaların özetleri aşağıda kısaca verilmiştir.

Bernuchon (1984) hidrolik motor takozlarının ilk kez tanıtıldığı bir makale yayınlamıştır. Makale, dinamik sertlik ve faz ölçümü için uyarılma koşullarını ve tekniklerini tanıtan ilk makale olarak öne çıkıyor. 4 silindirli bir motor için ana rahatsız edici frekansların 25 ila 200 Hz aralığında olduğu ve bu frekanslarda takozların uyarılma genliğinin 0.05 ila 0.1 mm aralığında olduğu ifade edilmektedir. Motor takozlarının, düşük frekans aralığında yüksek bir dirençlik ve sönümlenme, yüksek frekans aralığında ise düşük bir dirençlik gerektirdiğini ancak bu gerekliliklerin konvansiyonel bir takoz ile sağlanamayacağını belirtmiştir. Son olarak, yazar, araç üzerinde yapılan deneysel sonuçları kullanarak hidrolik takozların geleneksel takozlara üstünlüğünü belirtmiştir.

Corcoran ve Ticks (1984) hidrolik motor takozlarını tanımlayarak, ana karakteristiklerine dair bir bakış açısı sunan bir makale yayınlamışlardır. 6 silindirli bir motora sahip otomobilin analizinde, hidrolik takozların kullanımıyla 3300 devirde sürücünün kulağındaki gürültü seviyesinde 5dB iyileşme görüldüğünü göstermişlerdir. Hidrolik takozların ayrıca yol uyarılarından kaynaklanan motor sıçramalarını azalttığını belirtmişlerdir. Son olarak, yazarlar, hidrolik takozların mevcut bir araca nasıl uygulanacağı konusunda önerilerde bulunarak makalelerini tamamlamışlardır.

G. Kim (1992) yaptığı tez çalışmasında, hidrolik motor takozlarının, kauçuk (konvansiyonel) takozlara göre üstün dinamik özelliklere sahip olduğunu belirtmiştir. Hidrolik takozların, 6-12 Hz aralığındaki rölanti frekanslarında yüksek sönümlenme katsayısı sergilerken, 30 Hz'nin üzerinde düşük sönümlenme katsayısı ve dinamik sertlik sağladığını belirtmiştir. Bu nedenle, hidrolik takozların beklenen sürüş kalitesini ve konforu sağladığını belirtmiştir.

Brach ve Haddow (1993) tarafından yapılan çalışmada, otomobillerin şasi-gövde sistemi, tekerleklerden gelen titreşimlere 30 Hz'nin altında ve motordan gelen titreşimlere ise 10-200 Hz aralığında maruz kaldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, bu titreşimleri ortadan kaldırmanın iki yöntemi olduğu ifade edilmiştir. İlk yöntem, tasarım kriterlerini sağlayacak uygun takoz pozisyonlarını belirlemeyi içerirken, ikinci yöntem ise titreşim frekanslarına ve genliklerine uygun bir izolasyon özelliği elde etmeyi hedeflemektedir. Araştırmada, bu izolasyon özelliklerinin genellikle takozun 1-30 Hz frekans aralığı için yüksek sertlik ve yüksek sönümlenme özelliklerine sahip olması gerektiği, 30 Hz'nin üzerindeki uyarım frekansları için ise düşük sertlik ve düşük sönümlenme gibi çelişkili özelliklere ihtiyaç duyulduğu vurgulanmıştır.

J. E. Colgate ve arkadaşları (1995) yaptıkları çalışmasında motor takozları için en çok ilgilenilen frekans ve genlik aralıklarını şöyle tanımlamıştır: 5–15 Hz frekans aralığı ve 0.5–5.0 mm genlik aralığındaki uyarımlar motor rezonans aralığında olup, büyük ölçüde sönümlenme gerektirirler. 25–250 Hz frekans aralığı ve 0.05–0.5 mm genlik aralığındaki uyarımlar gürültüye ve titreşime neden olabilir ve iyi bir izolasyon gerektirir.

Geisberger (2000) yaptığı tez çalışmasında, iç kanallı hidrolik takozların genellikle kauçuk takozlara göre daha yüksek dinamik direngenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu tür hidrolik takozlar, düşük frekanslarda büyük ölçüde sönümlenme artışına neden olabilirken, yüksek frekanslarda izolasyon performansını bozabileceğini belirtmiştir. Bu sorun, hidrolik takozlara bir ayırıcı eklenerek çözüldüğünü belirtmiştir.

Min Lu ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmalarında dinamik özellikleri etkileyen statik direngenlik, hacimsel direngenlik, eşdeğer piston alanı, yağ kanalı uzunluğu, yağ kanalı kesit alanı ve akışkan yoğunluğu gibi parametreler belirlemiştir. Bu parametrelerin dinamik direngenlik ve faz açısı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Statik direngenlik, hacimsel direngenlik, yağ kanalı kesit alanı, yağ kanalı uzunluğu ve akışkan yoğunluğu parametrelerinin artmasıyla dinamik direngenliğin arttığını ancak eşdeğer piston alanı arttıkça dinamik direngenliğin azaldığını göstermiştir. Faz açısı için, direngenlik, yağ kanalı kesit alanı, yağ kanalı uzunluğu ve akışkan yoğunluğu

parametrelerinin artmasıyla arttığını, statik direngenlik ve eşdeğer piston alanı arttıkça azaldığını göstermişlerdir.

Truong ve Ahn (2010) çalışmalarında motor takozlarının, şok uyarılarından kaynaklanan motor sarsılma hareketlerini sınırlamak ve motor tarafından dengesiz üretilen gürültüleri ve titreşimleri izole etmek için gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Motor sarsılma titreşimini azaltmak için yüksek bir sönümlenme ve sertlik gerektiğini; ancak gürültüleri ve dengesiz motor titreşimlerini azaltmak için düşük bir sönümlenme ve sertlik gerektiğini belirtmişlerdir. Konvansiyonel takozun sönümlenmesinin, motor sarsılmasını izole etmek için yeterli olmadığını ve bu nedenle hem düşük frekanslarda sönümlemeyi artırmak hem de dengesiz motor titreşimlerini azaltmak için atalet yolları içeren hidrolik takozların geliştirildiğini ifade etmişlerdir. Ancak hidrolik takozların, sıvı akışından kaynaklanan rezonans tepe noktalarına sahip olduğunu, bu rezonans tepe noktalarını azaltmak için hidrolik takoza bir ayırıcı yerleştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Christopherson ve arkadaşları (2012) yayınladıkları makalede hidrolik motor takozunun frekansa bağlı olarak değişen çift sönüm oranına sahip bir titreşim izolatörü olduğu belirtilmiştir. Hidrolik motor takozlarının ayırıcı ve atalet yolu adı verilen bileşenleri içerdiğini ve bu bileşenlerin uyarılma özelliklerine bağlı olarak değişken sönümlenme sağladığını vurgulamışlardır. Büyük genlikli ve düşük frekanslı uyarılmalarda, ayırıcı içinde bulunduğu pencerenin üzerine basarak sıvının atalet yolundan alt odacığa geçtiğini; düşük genlik ve yüksek frekanslarda ise ayırıcının pencerenin içinde serbestçe hareket ettiğini ve böylece sıvının ayırıcının etrafından geçmeyi tercih ettiğini belirtmişlerdir.

Koch ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmalarında titreşim sönümleyici parçaların özelliklerini elde etmek için statik ve dinamik davranışların incelendiğini belirtmişlerdir. Statik davranışın kuvvet-deplasman grafiğinden elde edilen statik direngenlik, dinamik davranışın ise frekans ve genliğe bağlı olarak elde edilen dinamik direngenlik ve faz açısı ile değerlendirildiğini vurgulamışlardır.

Picken (2018) tez çalışmasında, hidrolik takozların içinde bulunan ayırıcıların, sabit ve serbest olmak üzere ikiye ayrıldığını belirtmiştir. Sabit ayırıcılar iki odacığı ayıran bir kauçuk diyaframdan oluştuğunu ve bu diyaframın küçük genlikli salınımlara izin vererek akışkanın iç kanaldan zorlanmadan geçmesine olanak verdiğini vurgulamıştır. Serbest ayırıcıların ise, sınırlayıcı bir haznenin içinde düşük genliklerde hareket edebildiğini ve böylece düşük genliklerde akışkan ayırıcının etrafından kolayca geçerek dinamik direngenlik değeri düşürdüğünü belirtmiştir. Düşen direngenlik değeri ile birlikte konvansiyonel bir takoz gibi davrandığını açıklamıştır.

Harun ve arkadaşları (2018) yayınladıkları makalede motorda, yakıt-hava karışımının genişlemesiyle ilişkili gaz basıncı ve motordaki ileri geri hareket eden bileşenlerle ilişkili değişken atalet olmak üzere iki temel dinamik kuvvet bulunduğunu belirtmişlerdir. Gaz basıncının, düşük motor hızlarında motor hareketinin temel bozucu kuvvetini oluşturduğunu, atalet kuvvetlerinin daha yüksek motor hızlarında önemli ölçüde arttığını vurgulamışlardır.

Soltani ve arkadaşları (2021) yazdıkları makalede hidrolik motor takozlarının yüksek genlikli düşük frekanslı titreşimleri (özellikle yol etkisinden kaynaklananlar) ve düşük genlikli yüksek frekanslı titreşimleri (motor kaynaklı olanlar) izolasyon yapacak şekilde tasarlandığını açıklamışlardır. Bu takozların yüksek genlikli düşük frekanslı titreşimlere karşı yüksek direngenlik ve sönümlenme sağlamaları, düşük genlikli yüksek frekanslı titreşimlere karşı ise düşük direngenlik sağlamaları gerektiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, hidrolik takozların dinamik davranışlarının frekans ve genliğe bağımlı olması gerektiğini vurgulamışlardır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde hidrolik motor takozunun üretim proseslerinden ve bu takozları doğrulamak için yapılan testlerden bahsedilecektir.

Farklı dinamik özelliklere sahip kauçuk takozun üretimi ve farklı sertliğe sahip ayırıcı için vulkanizasyon prosesi gerçekleştirilmiştir. Farklı kesit alanına sahip yağ kanalı için talaşlı işlem uygulanmıştır. Hidrolik takozlar akışkan yağa sahip olduğundan, takozun içine yağ doldurmak için yağ doldurma işlemi yapılmıştır.

Hidrolik takozun sönümlenme özelliklerine etki eden dört farklı parametre için değişkenler belirlenmiş ve bu değişkenler ile deney tasarımı yapılmıştır. Elde edilen deney tasarımına göre numune üretimleri gerçekleştirilip testler ile doğrulanmıştır.

3.1 Deney Tasarımı ve Optimizasyon

3.1.1 Deney Tasarımı

Deney tasarımı, bir araştırmada veya deneyde kullanılacak olan değişkenlerin kontrol altında tutularak, sistematik bir şekilde veri toplamak ve sonuçları analiz etmek amacıyla yapılan planlama sürecidir.

Klasik deney tasarım yöntemleri bazen yetersiz kaldığı için istatistiksel deney tasarım yöntemleri bu eksiklikleri gidermek için kullanılır. Bu yöntemler Tam faktöriyel, Kesirli faktöriyel ve Taguchi olmak üzere üç başlığa ayrılabilir.

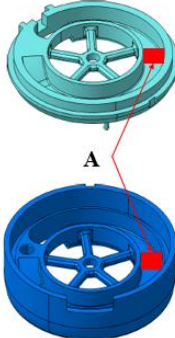

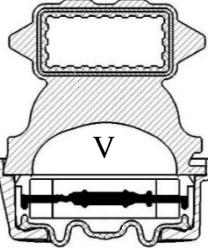
Tam faktöriyel deney tasarımı, tüm faktör seviyelerinin olası kombinasyonlarının test edildiği bir tasarımdır. Tam faktöriyel tasarımın büyük bir avantajı, birden fazla faktörün etkilerini ve etkileşimlerini kapsamlı bir şekilde analiz etme imkanı sunmasıdır. Tüm faktör seviye kombinasyonlarının test edilmesi, her faktörün yanıt değişkenini nasıl etkilediğini ve faktörlerin birbirleriyle nasıl etkileştiğinin tam anlamıyla anlaşılmasını sağlar. Bununla birlikte, faktör ve seviye sayısı arttıkça, gereken deney sayısı üstel olarak

artar, bu da kaynak ve zaman açısından maliyetli hale gelir. Bu durumlarda, en önemli etkileri ve etkileşimleri yakalayan ancak deney sayısını azaltan kesirli faktöriyel tasarımlar kullanılarak deney sayısı azaltılabilir. Taguchi yöntemi daha çok optimizasyon problemlerinin çözümü için tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında faktörlerin sonuçlara etkisini incelemek, faktörlerin birbirleriyle nasıl etkileştiğini anlamak ve optimum test sonuçlarını elde edebilmek için Tam faktöriyel deney tasarımı kullanılmıştır.

Hidrolik takozun sönüm özelliklerine etki dört farklı parametre ve her parametre için iki farklı seviye belirlenmiştir. Belirlenen seviyeler takozun geometrisi ve kauçuk karışımı için minimum ve maksimum sınır koşullarıdır. Ayrıca seviyeler belirlenirken takoz bileşenlerinin üretilebilirliği de dikkate alınmıştır. Belirlenen parametreler ve seviyeler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hidrolik takoz sönüm özelliklerine etki eden parametreler

	Dinamik Sertleşme (kd/ks oranı) -	Yağ Kanalı Kesit Alanı (mm ²)	Ayırıcı Sertliği (shA)	Yağ Hacmi (mm ³)
				
Seviye 1	1.7	37.5	50	22256
Seviye 2	2.2	66.5	58	44512

4 faktör ve 2 seviye için deney matrisi Çizelge 3.2'deki gibi elde edilmiştir. Deney sayısı, k faktör olmak üzere 2^4 adet olarak belirlenmiştir. Bu matris Minitab programında Tam Faktöriyel yöntemi ile oluşturulmuştur. Tüm deney parametreleri ile numune üretimleri gerçekleştirildikten sonra 16 adet deney gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney tasarımı matrisi

Deney No	Dinamik Sertleşme (kd/ks oranı) (-)	Yağ Kanalı Kesit Alanı (mm ²)	Ayırıcı Sertliği (shA)	Yağ Hacmi (mm ³)
1	2.2	37.5	58	22256
2	1.7	66.5	58	22256
3	2.2	37.5	58	44512
4	2.2	37.5	50	44512
5	2.2	66.5	50	44512
6	2.2	37.5	50	22256
7	2.2	66.5	58	44512
8	1.7	66.5	50	44512
9	1.7	66.5	50	22256
10	2.2	66.5	50	22256
11	1.7	37.5	50	44512
12	1.7	37.5	50	22256
13	1.7	37.5	58	22256
14	2.2	66.5	58	22256
15	1.7	37.5	58	44512
16	1.7	66.5	58	44512

3.1.2 Optimizasyon

Minitab programı kullanılarak oluşturulan deney tasarım matrisi ve yapılan testlerden elde edilen sonuçlar HyperStudy yazılımına aktarılmıştır. Bu sayede daha ileri optimizasyon yöntemlerinin kullanımı amaçlanmıştır.

HyperStudy, çeşitli karmaşık ve çok değişkenli mühendislik problemlerini analiz etmek, optimize etmek ve iyileştirmek için kullanılan bir tasarım uzayı keşfi ve parametre optimizasyon yazılımıdır. HyperStudy, doğrusal olmayan ilişkileri ve çoklu amaç fonksiyonlarına göre çeşitli tasarım değişkenlerini ve kısıtlamalarını analiz ederek optimize etmeye yardımcı olur. Bir tasarım uzayındaki parametrelerin etkisini anlamak, en iyi tasarım noktalarını belirlemek ve ürün performansını, verimliliğini veya diğer hedefleri optimize etmek için genetik algoritma ve optimizasyon tekniklerini kullanır (Altair Hyperstudy, Help Documents, User Guide, 2022).

Deney tasarımından elde edilen sonuçlar kullanılarak, öncelikle Hyperstudy programında cevap yüzeyi oluşturulur. Cevap yüzeyi, bir sistem veya sürecin hedef fonksiyonunu en iyi şekilde optimize etmek için kullanılan matematiksel bir modeli ifade eder. Bu model, girdi parametrelerinin sistem üzerindeki etkisini ve hedef fonksiyonun nasıl değiştiğini tanımlar. Oluşturulan cevap yüzeyi deney tasarımındaki girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi tarif eden bir fonksiyondur. Oluşturulan bu fonksiyonun ürettiği cevaplar ile deney tasarımından elde edilen değerler arasındaki uyum cevap yüzeyinin sistemi ne derecede tarif ettiğinin bir göstergesidir. Pratik anlamda bir cevap yüzeyi fonksiyonun kullanılabilirliği için uyumu tarif eden R^2 değerinin 0.85 'ten büyük olması istenir. R^2 değeri 0 ile 1 arasındadır. Cevap yüzeyinin R^2 değeri, bir yanıt yüzeyi modelinin verilere ne kadar iyi uyduğunu ve ne kadar iyi açıkladığını ölçen bir istatistiksel ölçüdür. Yüksek R^2 değeri, modelin verilere iyi uyum sağladığını ve doğru tahminlerde bulunduğunu gösterirken, düşük R^2 değeri modelin verilere uyum sağlamadığını ve tahminlerin düşük doğrulukla yapıldığını gösterir.

Uygun bir cevap yüzeyinin elde edilmesinin ardından optimizasyon adımına geçilir. Burada amaç fonksiyonu, kısıtlar ve değişkenlerin alt ve üst aralıklarının tanımlanması gerekir.

Bununla birlikte uygun bir optimizasyon metodu seçilir. Yapılan bu çalışmada HyperStudy 'nin içerisindeki global cevap arama metodu (Global Response Search Method) kullanılmıştır. Cevap yüzeyi tabanlı tasarım optimizasyonunda kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, çok değişkenli ve karmaşık tasarım problemlerinde en iyi çözümü bulmaya odaklanır ve yanıt yüzeyi modelini kullanarak tasarım parametrelerini optimize etmek için bir arama stratejisi uygular (Altair Hyperstudy, Help Documents, Global Response Search Method, 2021).

Oluşturulan cevap yüzeyi optimizasyon süresince elde edilen yeni sonuçlara göre sürekli güncellenir. Bu yöntemin avantajı, tam bir evrimsel veya sezgisel bir algoritma olmasa da, türev tabanlı algoritmaların en büyük kısıtı olan yerel minimumlara takılma problemine karşı oldukça güçlü olmasıdır (Bilal 2021).

3.2 Vulkanizasyon

Vulkanizasyon, doğal kauçuk ve diğer elastomerlerin kimyasal bir süreçle çapraz bağlı polimerlere dönüşmesini sağlayan bir işlemdir. Kauçuk, vulkanizasyon öncesinde yüksek plastik özelliklere sahipken, vulkanizasyon sonrasında geri dönüşümsüz bir şekilde yüksek elastik özelliklere sahip olur (Dayıoğlu 2018).

Vulkanizasyon işlemi, kauçuk malzemenin sülfür veya diğer kimyasal bileşiklerle birleştirilmesi ve yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıyla gerçekleştirilir. Bu ısıl işlem sonucunda, kauçuk molekülleri arasında bağlar oluşur ve kauçuk ağının yapısı güçlenir. Bu bağlar, kauçuğun elastik özelliklerini iyileştirir ve kauçuğun çeşitli koşullara karşı direncini artırır. Deney yapılacak olan kauçuk numunelerin üretimi Şekil 3.1'de gösterilen 400 ton kapasiteli DESMA presinde yapılmıştır.

Şekil 2.5’te gösterilen üst kauçuk ve ayırıcı parçaları vulkanizasyon prosesi ile üretilmiştir. Üst kauçukta bulunan plastik ve metal bileşenler kalıba yerleştirilmiştir. Püskürtme haznesinde eriyik halde bulunan kauçuk karışımı yolluklar aracılığı ile kalıp içine enjekte edilmiştir. Belli süre, basınç ve sıcaklık altında kalıp içinde bekleyen kauçuk karışımı vulkanizasyon prosesini tamamlamıştır.



Şekil 3.1. DESMA D968.400 Vulkanizasyon presi

3.3 Talaşlı İşleme

Talaşlı işleme sürecinde, bir kesici araç, iş parçası üzerinde dönerek veya doğrusal hareketle malzemeden talaşlar kaldırır. Bu işlem, parçanın boyutlarını, şeklini, yüzey pürüzlülüğünü ve diğer özelliklerini değiştirir.

Bu çalışmada kullanılacak olan ve Şekil 2.5’te gösterilen yağ kanalı parçası talaşlı işleme ile üretilmiştir. Malzeme olarak alüminyum kullanılmıştır. İşleme operasyonu için Şekil 3.2’de gösterilen CNC freze tezgahı kullanılmıştır.



Şekil 3.2. DECKEL MAHO DMU50 CNC Freze tezgahı

3.4 Yağ Dolum

Yüksek sönüm elde edebilmek için hidrolik takozların içine yağ doldurulur. Şekil 2.5'te gösterilen alt odacık, üst odacık ve yağ kanallarının içi tamamen yağ doldurulmalıdır. Kusursuz ve yüksek sönüm özelliği elde edebilmek için takozun içinde hava bulunmamalıdır. Bu sebeple yağ doldurulmadan önce takozu vakumlama yapılarak içindeki hava alınır. Vakumlama yapıldıktan sonra aynı dolum makinesi ile yağ doldurma işlemi yapılmıştır. Vakumlama ve yağ doldurma işlemi Şekil 3.3'te gösterilen yağ dolum makinesi ile yapılmıştır.



Şekil 3.3. Yağ dolum makinesi

3.5 Kauçuk Üretim Prosesi

Kauçuk karışımını oluşturan bileşenler reçetede belirtilen ölçülerde tartılarak hazır hale getirilir. Kauçuk ve diğer bileşenler mikser aracılığı ile yüksek sıcaklıklarda sıkıştırılarak yoğrulur. Mikserden yığın halinde alınan karışım milde soğutulup şekillendirilir. Bu çalışmada kullanılan kauçuk karışımlarını üretmek için Şekil 3.4'te gösterilen 5 litre kapasiteli Carter marka laboratuvar tipi bir mikser ve mil kullanılmıştır.



Mikser



Mil

Şekil 3.4. Laboratuvar tipi kauçuk karışım mikseri ve mil

3.6 Statik ve Dinamik Test Cihazı

Bu çalışmada kullanılan hidrolik takozun statik ve dinamik testleri Şekil 3.5'te gösterilen MTS 831.50 marka 1000 Hz frekans kapasiteli elastomer test cihazı kullanılmıştır. Bu testler sonucunda statik direngelik, dinamik direngelik ve faz açısı değerleri cihazdan elde edilmiştir.

Elastomer test cihazı, servohidrolik bir cihaz olup, yağ basıncı ile cihazın üstündeki eyleyici ile dinamik hareket verilmektedir. Üstte bulunan eyleyicinin içindeki lineer cetvel sayesinde titreşim genlikleri ölçülmektedir. Cihazın alt kısmında ise, uygulanan titreşim genliğine karşılık gelen kuvveti okuyabilmek için bir yük hücresi bulunmaktadır.



Şekil 3.5. MTS 831.50 Elastomer test cihazı

Hidrolik takoza ait dinamik testleri yapabilmek için Şekil 3.6'daki gibi bir test aparatı yapılmıştır. Testleri yapabilmek için araç gövdesine bağlantı tarafını simüle edecek şekilde bir aparat tasarlanmıştır. Hidrolik takozların montaj işlemi yapılırken bileşenler Şekil 2.5'te gösterilen alt gövdenin içine yerleştirilerek kenarlarından kıvrırma işlemi yapılır ve böylece sızdırmazlık sağlanır. Testleri yaparken alt gövde ile aynı ölçülerde ve civata ile montaj yapılabilen bir gövde imalatı yapılmıştır. Civatalı montaj sayesinde daha hızlı numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca içindeki bileşenler tekrar kullanılabilir hale gelmiştir.



Şekil 3.6. Hidrolik takoz test aparatı



Yüksek genlik ve düşük frekanslarda istenen sönüm özelliklerini simüle etmek için takoza Çizelge 3.3'te verilen 1 numaralı test koşulları uygulanmıştır. Düşük genlik ve yüksek frekanstaki sönüm özelliklerini simüle etmek için de Çizelge 3.3'te verilen 2 numaralı test koşulları uygulanmıştır.

Çizelge 3.3. Referans takoza ait test parametreleri

	Test 1	Test 2
Genlik	± 1.5 mm	± 0.1 mm
Önyük	750 N	750 N
Frekans Aralığı	1-30 Hz	1-50 Hz

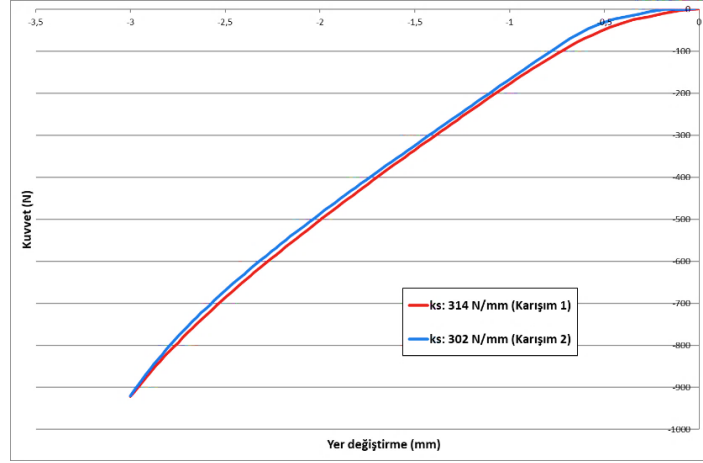
Elastomer test cihazı, hidrolik takoz testlerinin dışında, sönümlenme özelliklerine etki eden parametrelerden olan dinamik sertleşme değerini belirlemek için de kullanılmıştır. Bu test için disk tipi bir kauçuk numune kullanılmıştır. Numune boyutları Şekil 3.7’de belirtilmiştir.

Dinamik sertleşme değerini belirleyebilmek için istenen özelliklerde kauçuk karışımından disk tipi numune üretilmiş ve Şekil 3.7’de verilen koşullarda statik ve dinamik testler gerçekleştirilmiştir.

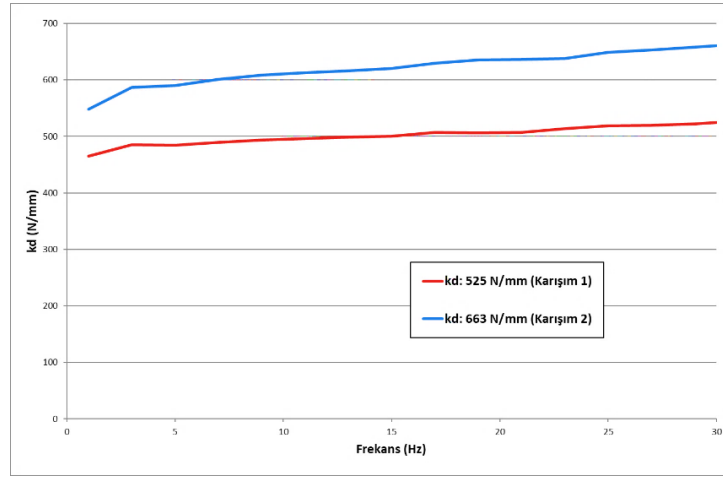
Statik Test Parametreleri		Numune Ölçüleri		
Test Yüğü	0 / 3 mm		Çap	29 mm
Test Hızı	10 mm/dk		Kalınlık	12,5 mm
Dirençlik Hesaplama Aralığı	1,8 mm / 2,2 mm	Test görseli		
Dinamik Test Parametreleri				
Genlik	±0.2 mm			
Önyük	2 mm			
Frekans Aralığı	1-30 Hz			

Şekil 3.7. Disk tipi numunenin test koşulları

Testler sonucunda Şekil 3.8’de gösterilen statik test eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen eğrinin eğiminden de statik dirençlik değeri program tarafından hesaplanmıştır. Şekil 3.9’da da dinamik testin eğrisi görülmektedir. Dinamik test eğrisinden de 30 Hz frekansa karşılık gelen dinamik dirençlik değeri referans olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.8. Disk numunelerin statik test eğrisi



Şekil 3.9. Disk numunelerin dinamik test eğrisi

Çizelge 3.4'te görülen dinamik sertleşme değerleri, dinamik direngenliğin statik direngenliğe oranı ile elde edilmiştir. Kauçuk karışımından beklenti statik direngenlik değerini sabit tutup, dinamik direngenlik değerini değiştirmektir. Böylece bu iki karışım ile hedefe ulaşılmıştır.

Çizelge 3.4. Dinamik sertleşme sonuçları

	Statik Direngenlik (k_s) [N/mm]	Dinamik Direngenlik (k_d) [N/mm]	Dinamik Sertleşme (k_d/k_s oranı) -
Karışım 1	314	525	1,7
Karışım 2	302	663	2,2

4. BULGULAR

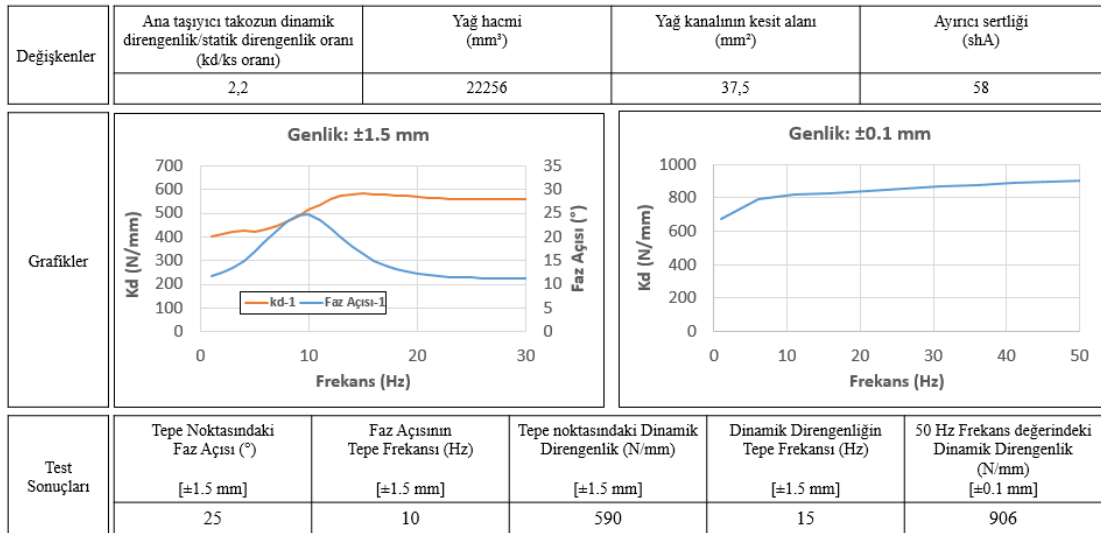
Tezin bu bölümünde Çizelge 3.2’de belirlenen testler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1 Dinamik Test Sonuçları

İki farklı genlikte yapılan dinamik testler sonucunda frekansa bağlı dinamik dirençlik ve faz açısı grafikleri elde edilmiştir. Yüksek genlikte (± 1.5 mm) ve düşük genlikte (± 0.1 mm) yapılan testlerin grafikleri ve sonuçları Şekil 4.1’den Şekil 4.16’ya kadar verilmiştir. Yüksek genlikte elde edilen test sonucundan Şekil 2.15 ve Şekil 2.16’da belirtilen aşağıdaki değerler alınmıştır.

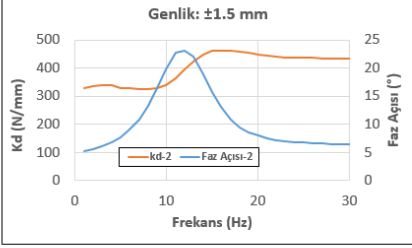
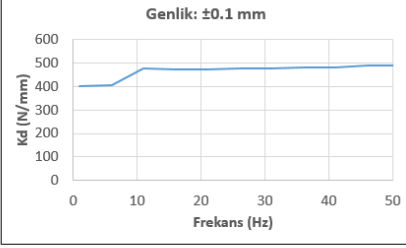
- 5 nolu nokta ile gösterilen tepe noktasındaki faz açısı
- 4 nolu nokta ile gösterilen faz açısının tepe frekansı
- 3 nolu nokta ile gösterilen tepe noktasındaki dinamik dirençlik
- 2 nolu nokta ile gösterilen dinamik dirençliğin tepe frekansı

Düşük genlikteki grafikten ise 50 Hz’e karşılık gelen dinamik dirençlik değeri alınmıştır.



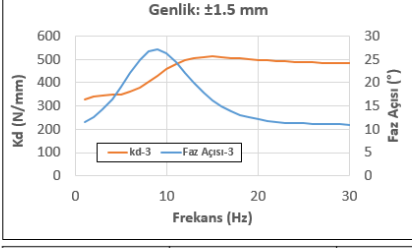
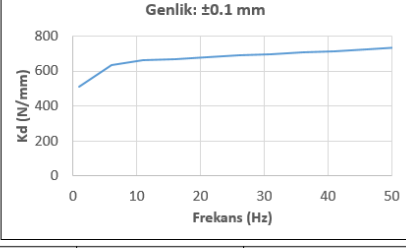
Şekil 4.1. 1 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayırıcı sertliği (shA)
		1,7	22256	66,5

Grafikler	Genlik: ±1.5 mm		Genlik: ±0.1 mm		
					
Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±0.1 mm]
	23	12	463	16	489

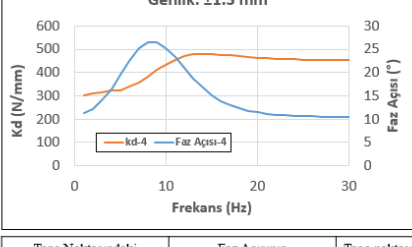
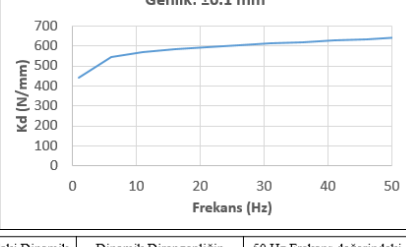
Şekil 4.2. 2 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayırıcı sertliği (shA)
		2,2	44512	37,5

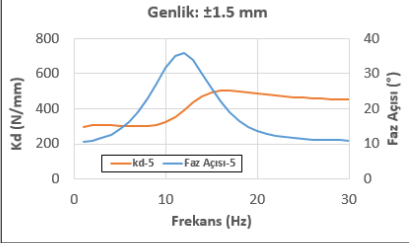
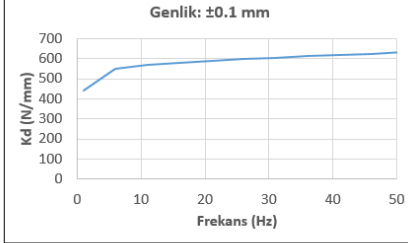
Grafikler	Genlik: ±1.5 mm		Genlik: ±0.1 mm		
					
Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±0.1 mm]
	27	9	511	15	723

Şekil 4.3. 3 numaralı deneye ait test sonuçları

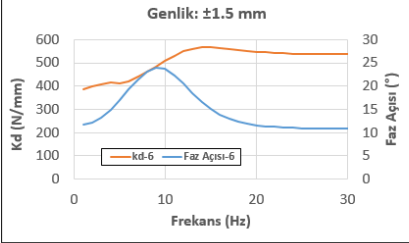
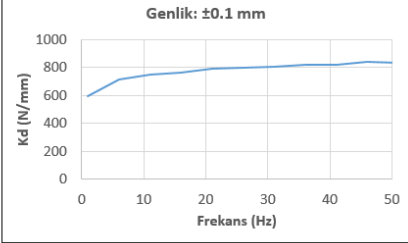
Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayırıcı sertliği (shA)
		2,2	44512	37,5

Grafikler	Genlik: ±1.5 mm		Genlik: ±0.1 mm		
					
Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±0.1 mm]
	27	9	480	15	640

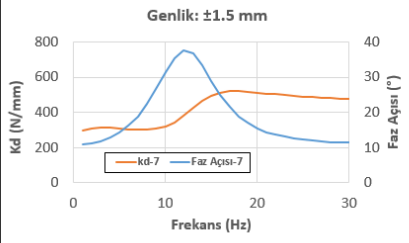
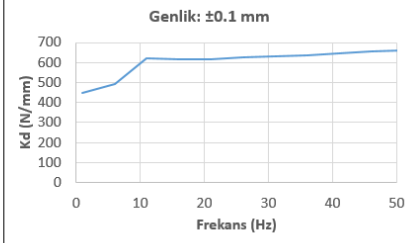
Şekil 4.4. 4 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrıcı sertliği (shA)	
	2,2	44512	66,5	50	
Grafikler	Genlik: ±1.5 mm 		Genlik: ±0.1 mm 		
	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
Test Sonuçları	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±0.1 mm]
	36	12	505	17	631

Şekil 4.5. 5 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrıcı sertliği (shA)	
	2,2	22256	37,5	50	
Grafikler	Genlik: ±1.5 mm 		Genlik: ±0.1 mm 		
	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
Test Sonuçları	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±0.1 mm]
	24	9	567	15	857

Şekil 4.6. 6 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrıcı sertliği (shA)	
	2,2	44512	66,5	58	
Grafikler	Genlik: ±1.5 mm 		Genlik: ±0.1 mm 		
	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
Test Sonuçları	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±0.1 mm]
	38	12	520	17	661

Şekil 4.7. 7 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrıcı sertliği (shA)
		1,7	44512	66,5

Grafikler	Genlik: ±1.5 mm	Genlik: ±0.1 mm

Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
		[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]
	33	11	447	16	388

Şekil 4.8. 8 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrıcı sertliği (shA)
		1,7	22256	66,5

Grafikler	Genlik: ±1.5 mm	Genlik: ±0.1 mm

Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
		[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]
	26	12	486	16	471

Şekil 4.9. 9 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrıcı sertliği (shA)
		2,2	22256	66,5

Grafikler	Genlik: ±1.5 mm	Genlik: ±0.1 mm

Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
		[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]
	31	13	604	17	873

Şekil 4.10. 10 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrırcı sertliği (shA)		
	1,7	44512	37,5	50		
Grafikler						
	Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±0.1 mm]	398
	22	8	410	13		

Şekil 4.11. 11 numaralı deneye ait test sonuçları

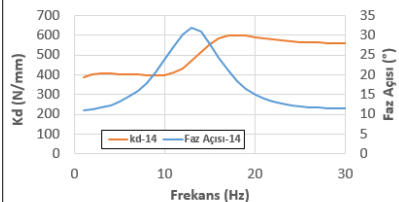
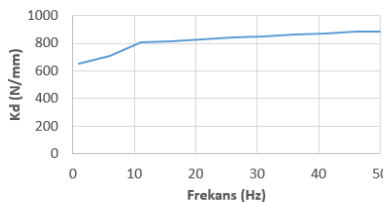
Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrırcı sertliği (shA)		
	1,7	22256	37,5	50		
Grafikler						
	Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±0.1 mm]	479
	19	9	463	14		

Şekil 4.12. 12 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrırcı sertliği (shA)		
	1,7	22256	37,5	58		
Grafikler						
	Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±0.1 mm]	484
	20	9	463	14		

Şekil 4.13. 13 numaralı deneye ait test sonuçları

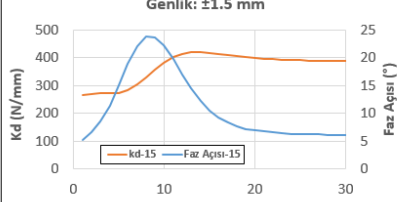
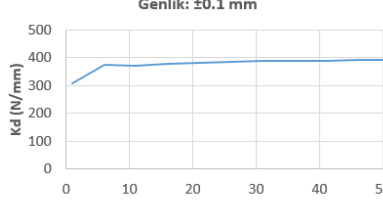
Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrırcı sertliği (shA)
		2,2	22256	66,5

Grafikler	Genlik: ±1.5 mm		Genlik: ±0.1 mm	
				

Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
		[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]
	32	13	600	18	888

Şekil 4.14. 14 numaralı deneye ait test sonuçları

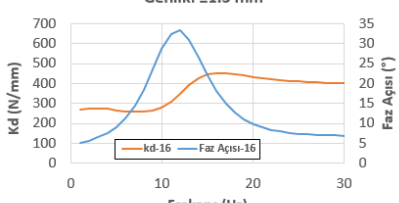
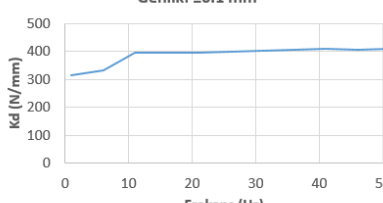
Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrırcı sertliği (shA)
		1,7	44512	37,5

Grafikler	Genlik: ±1.5 mm		Genlik: ±0.1 mm	
				

Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
		[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]
	26	8	420	14	393

Şekil 4.15. 15 numaralı deneye ait test sonuçları

Değişkenler	Ana taşıyıcı takozun dinamik dirençlik/statik dirençlik oranı (kd/ks oranı)	Yağ hacmi (mm ³)	Yağ kanalının kesit alanı (mm ²)	Ayrırcı sertliği (shA)
		1,7	44512	66,5

Grafikler	Genlik: ±1.5 mm		Genlik: ±0.1 mm	
				

Test Sonuçları	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Dirençlik (N/mm)	Dinamik Dirençliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Dirençlik (N/mm)
		[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]	[±1.5 mm]
	33	12	453	17	410

Şekil 4.16. 16 numaralı deneye ait test sonuçları

Gerçekleştirilen 16 farklı deneye ait elde edilen grafiklerden ölçülen sonuçlar Çizelge 4.1’de özet olarak verilmiştir. Elde edilen bu değerler kullanılarak hidrolik takozun optimizasyonunda kullanılacak cevap yüzeyi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1. Deney parametreleri ve deney sonuç grafiklerinden elde edilen sayısal değerler

Deney No	Değişkenler				Test Sonuçları				
	Ana kauçuk kd/ks oranı (-)	Yağ Kanalı Kesit Alanı (mm ²)	Ayırıcı Sertliği (shA)	Yağ Hacmi (mm ³)	±1.5 mm genlik				±0.1 mm genlik
					Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Direngelik (N/mm)	Dinamik Direngeliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Direngelik (N/mm)
1	2,2	37,5	58	22256	25	10	590	15	906
2	1,7	66,5	58	22256	23	12	463	16	489
3	2,2	37,5	58	44512	27	9	511	15	723
4	2,2	37,5	50	44512	27	9	480	15	640
5	2,2	66,5	50	44512	36	12	505	17	631
6	2,2	37,5	50	22256	24	9	567	15	857
7	2,2	66,5	58	44512	38	12	520	17	661
8	1,7	66,5	50	44512	33	11	447	16	388
9	1,7	66,5	50	22256	26	12	486	16	471
10	2,2	66,5	50	22256	31	13	604	17	873
11	1,7	37,5	50	44512	22	8	410	13	398
12	1,7	37,5	50	22256	19	9	463	14	479
13	1,7	37,5	58	22256	20	9	463	14	484
14	2,2	66,5	58	22256	32	13	600	18	888
15	1,7	37,5	58	44512	26	8	420	14	393
16	1,7	66,5	58	44512	33	12	453	17	410

4.2 Oluşturulan Deney Tasarımı ve Cevap Yüzeyi ile Optimizasyon

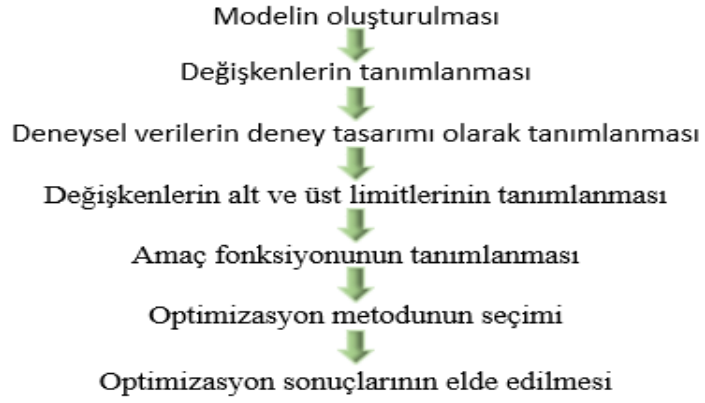
Tez çalışmasında kullanılan referans takozdan beklenen sönüm özellikleri otomobil üreticilerinin isterleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu hedef değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir. HyperStudy programı içerisinde, Çizelge 4.1’de belirtilen 16 farklı test sonucu kullanılarak bir cevap yüzeyi oluşturulmuştur. Bu cevap yüzeyi kullanılarak, Çizelge 4.2’de verilen değerleri sağlayacak, optimum tasarımın elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 4.2. Referans takozdan beklenen özellikler

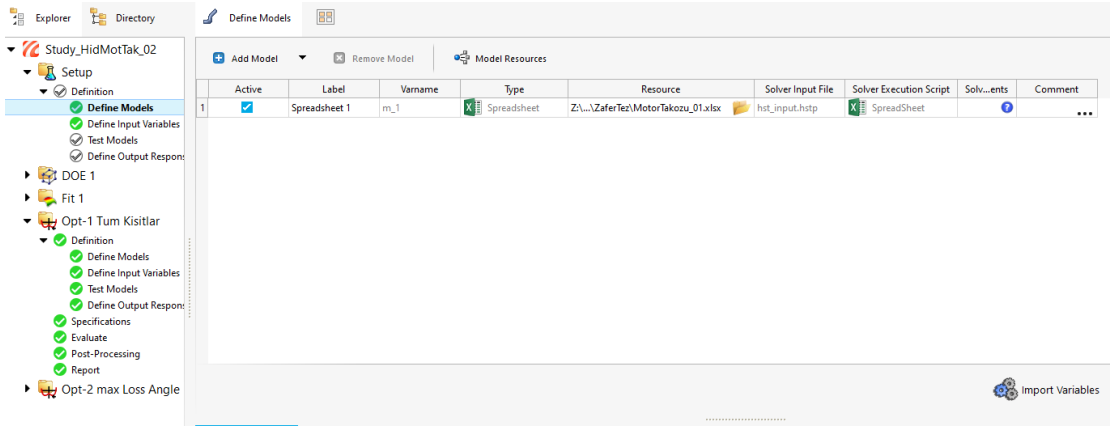
Tepe Noktasındaki Faz Açısı	Faz Açısının Tepe Frekansı	Tepe Noktasındaki Dinamik Direngenlik	Dinamik Direngenliğin Tepe Frekansı	50 Hz Frekans Değerindeki Dinamik Direngenlik
$\geq 32^\circ$	12 Hz ± 1 Hz	460 N/mm $\pm 15\%$	17 Hz ± 1 Hz	372 N/mm $\pm 15\%$

Yapılan ilk optimizasyon sonuçlarında deney tasarımında kullanılan tasarım değişkenlerinin alt ve üst limitleri arasında istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır. Bu nedenle, yağ hacmi ve yağ kanalı kesit alanı parametrelerinin üst limitleri deney tasarımında kullanılan değerlerin üzerine çıkabilecek şekilde esnetilmiştir. Yağ hacminin üst limiti 60000 mm³, yağ kanalı kesit alanı üst limiti ise 80 mm² olarak belirlenmiştir.

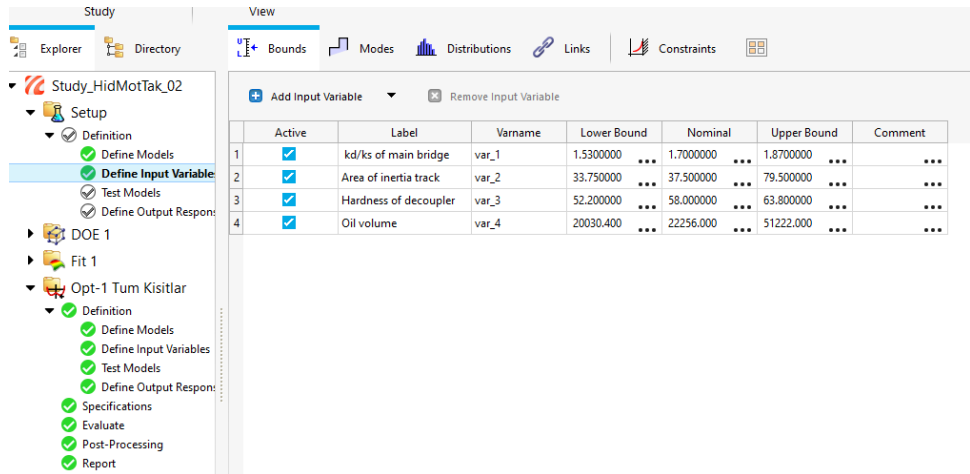
HyperStudy programı ile yapılan optimizasyonun işlem adımları Şekil 4.17’de verilmiştir. Optimizasyona ait her aşama Şekil 4.18 ile Şekil 4.25 arasında gösterilmiştir. Şekil 4.21’deki uyum oranlarının büyüklüğü, elde edilen cevap yüzeyinin çıktılar tahminindeki başarısını göstermektedir.



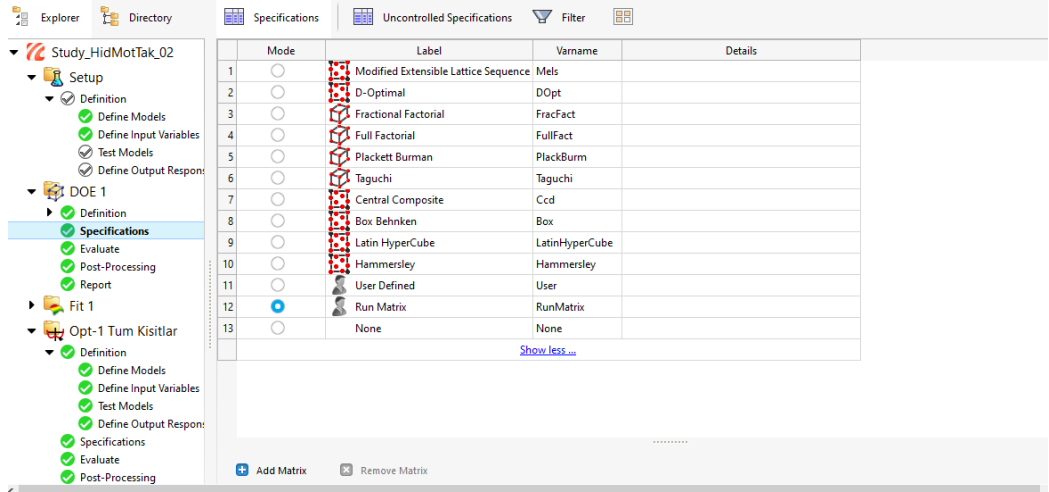
Şekil 4.17. Optimizasyon işlem adımları



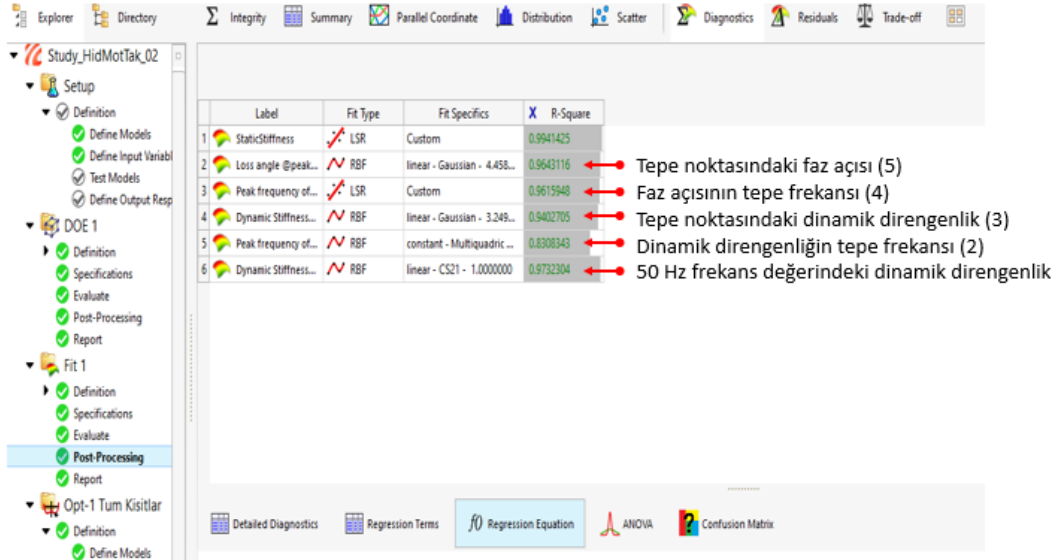
Şekil 4.18. Optimizasyon modelinin oluşturulması



Şekil 4.19. Değişkenlerin tanımlanması



Şekil 4.20. Deneysel verilerin deney tasarımı olarak tanımlanması



Şekil 4.21. Oluşturulan cevap yüzeylerinin uyum oranları

Active	Label	Varname	Lower Bound	Nominal	Upper Bound	Comment
✓	kd/ks of main ...	var_1	1.3000000	1.7000000	2.2000000	
✓	Area of inertia t...	var_2	37.5000000	37.5000000	80.0000000	
✓	Hardness of de...	var_3	50.0000000	58.0000000	58.0000000	
✓	Oil volume	var_4	22256.000	22256.000	60000.000	

Şekil 4.22. Optimizasyonda kullanılan değişkenlerin alt ve üst limitleri

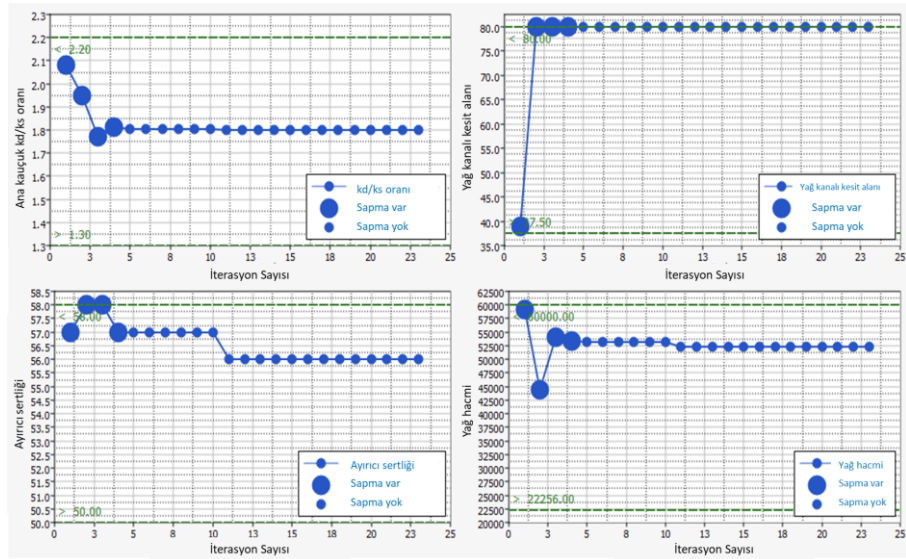
Active	Label	Varname	Apply On	Type	... 1 2 ...
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 1	goal_1	StaticStiffness (r_1)	Constraint	<=	228.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 2	goal_2	Loss angle @peak frequency	Maximize	N/A	N/A
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 3	goal_3	Peak frequency of Loss Angle (...)	Constraint	<=	13.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 4	goal_4	Dynamic Stiffness@peak frequ...	Constraint	>=	391.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 5	goal_5	Peak frequency of Dynamic Sti...	Constraint	<=	18.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 6	goal_6	Dynamic Stiffness@50 Hz	Constraint	<=	428.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Constraint 7	constraint_7	Loss angle @peak frequency	Constraint	>=	32.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 8	goal_8	Peak frequency of Loss Angle (...)	Constraint	>=	11.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 9	goal_9	Dynamic Stiffness@peak frequ...	Constraint	<=	529.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 10	goal_10	Peak frequency of Dynamic Sti...	Constraint	>=	16.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 11	goal_11	Dynamic Stiffness@50 Hz	Constraint	>=	316.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	Goal 12	goal_12	StaticStiffness (r_1)	Constraint	>=	168.00000

Şekil 4.23. Amaç ve kısıtların tanımlanmasıyla oluşturulan optimizasyon problemi

Mode	Label	Varname	Details
<input type="radio"/>	Adaptive Response Surface Method	ARSM	
<input checked="" type="radio"/>	Global Response Search Method	GRSM	
<input type="radio"/>	Sequential Quadratic Programming	SQP	Discrete and Categorical variables are not allowed
<input type="radio"/>	Method of Feasible Directions	MFD	Discrete and Categorical variables are not allowed
<input type="radio"/>	Genetic Algorithm	GA	
<input type="radio"/>	Multi - Objective Genetic Algorithm	MOGA	Only multi-objective
<input type="radio"/>	Sequential Optimization and Reliability Assessment	SORA	Discrete and Categorical variables are not allowed;Random design/parameter variables neces
<input type="radio"/>	ARSM based SORA	SORA_ARSM	Discrete and Categorical variables are not allowed;Random design/parameter variables neces
<input type="radio"/>	System Reliability Optimization	SRO	Discrete and Categorical variables are not allowed;Random design/parameter variables neces
<input type="radio"/>	Kept	USER.kept	

Active	Label	Type	Origin	Origin Settings	Number of Runs	Display
<input checked="" type="checkbox"/>	Inclusion Matrix	Inclusion	Internal	N/A	0	Edit

Şekil 4.24. Optimizasyon metodunun seçimi



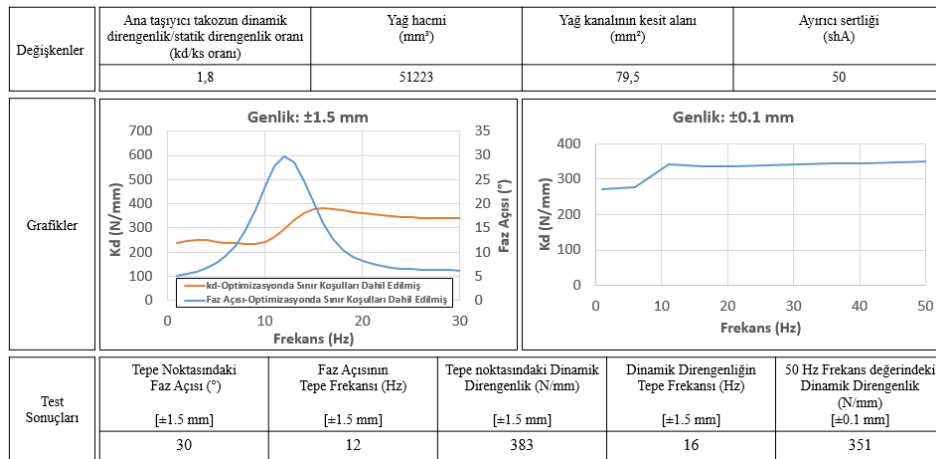
Şekil 4.25. Tasarım değişkenlerinin optimizasyon süresince (iterasyon) değişimleri

Optimum tasarım değişkenleri ile takozun üretimi tekrar gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.2’de tanımlanan tüm isterlerin kısıt olarak kullanıldığı optimizasyondan elde edilen optimum tasarıma ait tasarım değişkenleri, optimizasyon çıktıları ve bu takozu ait test sonuçları Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. HyperStudy programından kısıt verilerek elde edilen optimum sonuçlar ve test sonuçları

	Değişkenler				Sonuçlar				
	Ana kauçuk kd/ks oranı (-)	Yağ Kanalı Kesit Alanı (mm ²)	Ayrırcı Sertliği (shA)	Yağ Hacmi (mm ³)	±1.5 mm genlik				±0.1 mm genlik
					Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Direngelik (N/mm)	Dinamik Direngeliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Direngelik (N/mm)
HyperStudy	1,8	79,5	50	51223	39	12	454	17	376
Test	1,8	79,5	50	51223	30	12	383	16	351
% Sapma	-	-	-	-	%23	%0	%16	%6	%7

Sınır koşulları verilerek elde edilen optimum değişkenler ile üretilen takozu ait test grafikleri Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26. Kısıt içeren optimizasyondan edilen optimum değişkenler ile üretilen takozu ait test grafikleri

Optimum tasarıma ait parametrelere göre üretilen takozdan elde edilen test sonuçları özellikle tepe noktasındaki faz açısı değeri için, HyperStudy programından elde edilen sonuçlardan oldukça farklıdır. Bunun sebebinin optimizasyonda kullanılan yağ hacmi üst limitinin deney tasarımındaki üst limitin dışına çıkmasıdır. Bu nedenle son elde edilen test sonuçları da HyperStudy'deki deney tasarımı sonuçlarının arasına eklenerek deney tasarımı güncellenmiş ve cevap yüzeyi yeniden oluşturulmuştur.

4.3 Güncellenen Deney Tasarımı ve Cevap Yüzeyi ile Optimizasyon

Yağ hacmi üst limitinin artırıldığı deney tasarımından elde edilen yeni cevap yüzeyi ile optimizasyon tekrar edilmiştir. Bu aşamada optimizasyon 2 farklı durum için gerçekleştirilmiştir.

- 1- Kısıt içeren optimizasyon
- 2- Kısıt içermeyen optimizasyon

4.3.1 Kısıt İçeren Optimizasyon

Bu durumda Çizelge 4.2'de verilen tüm kısıtlar optimizasyona dahil edilmiştir. Çizelge 4.4'te ilk duruma ait optimizasyon çıktıları verilmiştir. Çizelge 4.4'te elde edilen parametrelerin hedeflenen değerlere en yakın parametreler olduğu görülmüştür. Tüm kısıtların dahil edildiği optimizasyon değişkenleri ile numune üretmek için kalıp üretimi ve takozla ait alt bileşenlerden bazılarının tekrar üretimi yapılması gerekmektedir. Üretim zorluklarından dolayı elde edilen optimum parametreler ile takoz üretimi yapılamamıştır.

Çizelge 4.4. Kısıt içeren optimizasyondan elde edilen sonuçlar

Değişkenler				Sonuçlar				
				±1.5 mm genlik				±0.1 mm genlik
Ana kauçuk kd/ks oranı (-)	Yağ Kanalı Kesit Alanı (mm ²)	Ayrırcı Sertliği (shA)	Yağ Hacmi (mm ³)	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Direngelik (N/mm)	Dinamik Direngeliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Direngelik (N/mm)
1,8	80	56	52264	38	13	459	18	430

4.3.2 Kısıt İçermeyen Optimizasyon

Herhangi bir kısıtın olmaması durumunda ulaşılabilecek en yüksek faz açısı değeri de bu aşamada araştırılmıştır. Ulaşılabilecek en yüksek faz açısı değerini bulabilmek için bir önceki optimizasyondaki tüm kısıtlar kaldırılmıştır. Amaç fonksiyonu olarak da faz açının maksimize edilmesi tanımlanmıştır. Böylece oluşturulan optimizasyon problemi kısıt içermeyen bir forma gelmiştir. Bu optimizasyondan elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kısıt içermeyen optimizasyondan elde edilen sonuçlar

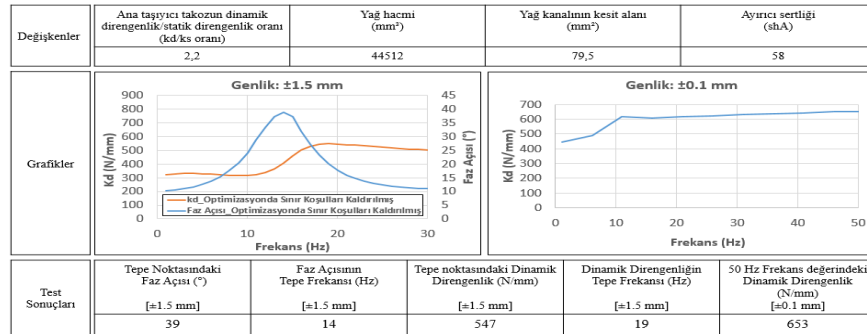
Değişkenler				Sonuçlar				
				±1.5 mm genlik				±0.1 mm genlik
Ana kauçuk kd/ks oranı (-)	Yağ Kanalı Kesit Alanı (mm ²)	Ayrırcı Sertliği (shA)	Yağ Hacmi (mm ³)	Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)	Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Direngelik (N/mm)	Dinamik Direngeliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Direngelik (N/mm)
2.1	80	56	45435	41	13	543	18	596

En yüksek faz açısı değerini verecek tasarımı da, mevcut alt bileşenler ile üretebilmek mümkün değildir. Mevcut alt bileşenlerden, bu parametre setine en yakın değerler Çizelge 4.6’da belirtilmiştir. Bu parametre seti ile cevap yüzeyinden elde edilen sonuçlar ve bu alt bileşenler ile üretilen takozdan elde edilen sonuçlar yine Çizelge 4.6’da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Test sonuçlarına bakıldığında elde edilen değerlerin optimizasyon sonuçlarına oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Mevcut alt bileşenler ile üretilen takozun cevap yüzeyi ve test sonuçları

	Değişkenler				Sonuçlar				
	Ana kauçuk kd/ks oranı (-)	Yağ Kanalı Kesit Alanı (mm ²)	Ayrırcı Sertliği (shA)	Yağ Hacmi (mm ³)	±1.5 mm genlik			±0.1 mm genlik	
Tepe Noktasındaki Faz Açısı (°)					Faz Açısının Tepe Frekansı (Hz)	Tepe noktasındaki Dinamik Direngelik (N/mm)	Dinamik Direngeliğin Tepe Frekansı (Hz)	50 Hz Frekans değerindeki Dinamik Direngelik (N/mm)	
Cevap Yüzeyi	2,2	79,5	58	44512	40	14	544	18	663
Test	2,2	79,5	58	44512	39	14	547	19	653
% Sapma	-	-	-	-	%2,5	%0	%0,6	%5,6	%1,5

Mevcut alt bileşenlerle ulaşılabilecek maksimum faz açısına sahip takozun test grafikleri Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27. Mevcut alt bileşenlerle ulaşılabilecek maksimum faz açısına sahip takozun test grafikleri

4.4 Hidrolik Takoz Tasarım Parametrelerinin Sönümlenme Özelliklerine Etkisi

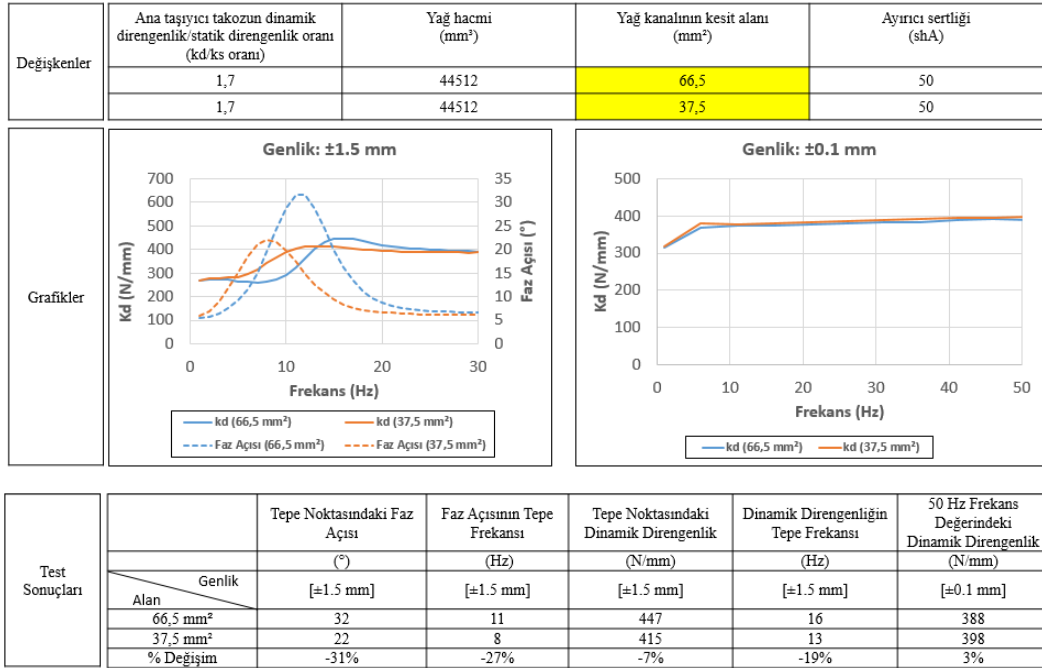
Bu bölümde her bir parametre bağımsız olarak incelenmiştir.

4.4.1 Yağ Kanalı Kesit Alanı

Şekil 4.28’de yağ kanalının kesit alanının sönümlenme özelliklerine etkisi görülmektedir. Bu şekilden görüldüğü üzere yağ kanalının kesit alanı yaklaşık olarak %45 azaldığında;

- 1 mm genlikte tepe noktasındaki kayıp açısı %31 azalmıştır. Tepe noktasındaki faz açısına karşılık gelen frekans değeri de %27 azalmıştır.
- 1 mm genlikte tepe noktasındaki dinamik direnç değeri %7 azalırken, bu değere karşılık gelen frekans değeri ise %19 azalmıştır.
- 0.05 mm genlikte dinamik direnç değerine etkisi olmamıştır.

Yağ kanalı kesit alanının azalması ile birlikte takozun düşük frekans ve yüksek genliklerde sönümlenme yeteneği azalmaktadır. Aynı zamanda takozun tasarlandığı rölanti frekansında azalma yönünde bir değişim görülmektedir.



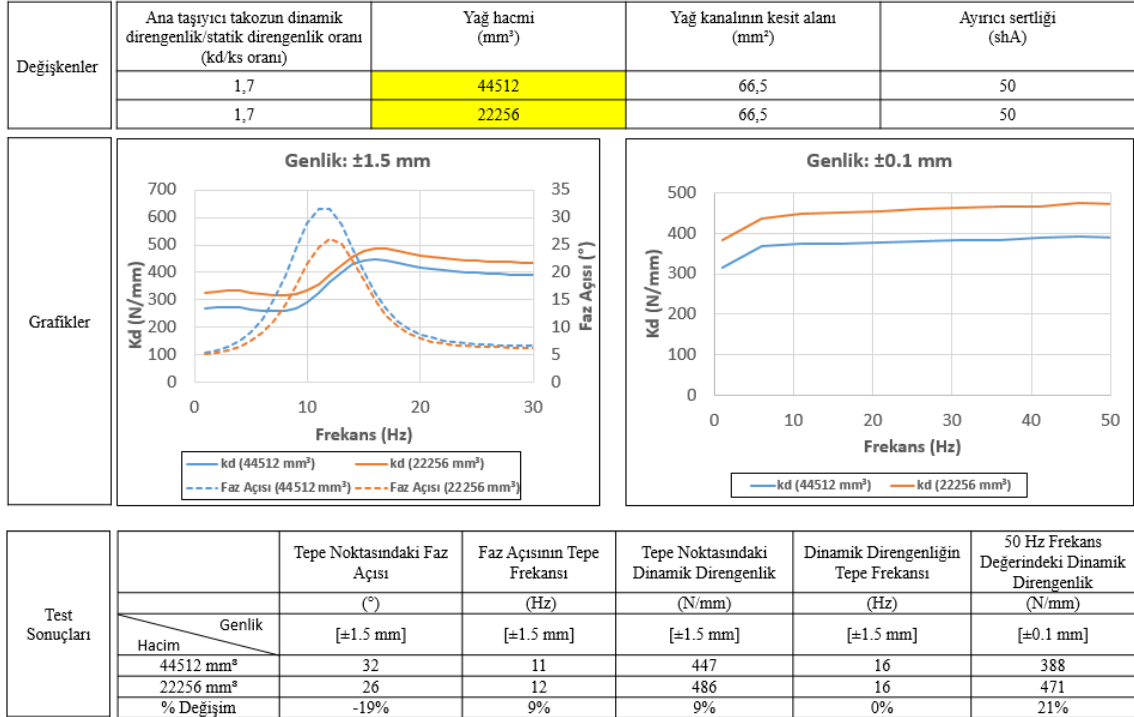
Şekil 4.28. Yağ kanalı kesit alanı değişimi ile sönümlenme özelliklerinin karşılaştırılması

4.4.2 Yağ Hacmi

Yağ hacmi değişiminin sönümlenme özelliklerine etkisi Şekil 4.29'da verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere yağ hacmi %50 azaldığında;

- 1 mm genlikte tepe noktasındaki kayıp açısı %19 azalmıştır. Tepe noktasındaki faz açısına karşılık gelen frekans değeri de %9 artmıştır.
- 1 mm genlikte tepe noktasındaki dinamik direnç değeri %9 artarken, bu değere karşılık gelen frekans değeri ise değişmemiştir.
- 0.05 mm genlikte dinamik direnç değeri ise %21 artmıştır.

Yağ hacminin azalması sonucunda yoldan gelen titreşimlerde veya motor rölanti frekansında takozun sönümlenme yeteneğinin düştüğü ve aynı zamanda yüksek frekanslı motor titreşimlerinde konforun bozulduğu görülmektedir. Her iki durum da motor takozlarından beklenmeyen bir özelliktir.



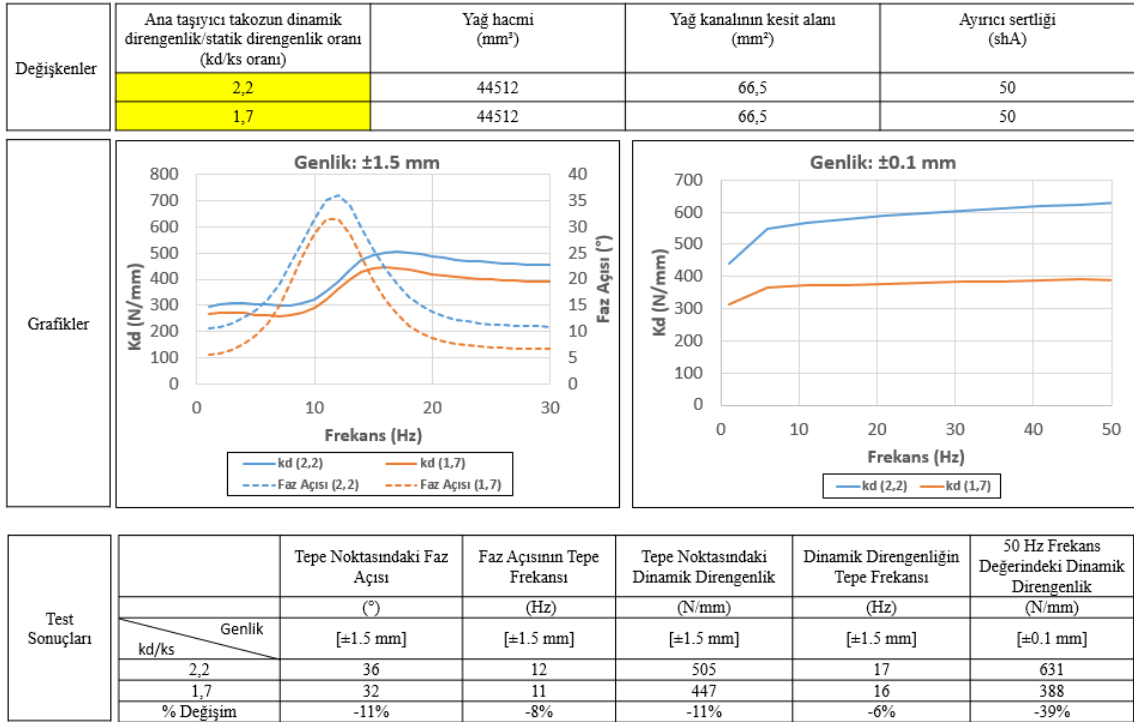
Şekil 4.29. Yağ hacmi değişimi ile sönümlenme özelliklerinin karşılaştırılması

4.4.3 Dinamik Direngelik/Statik Direngelik Oranı

Ana taşıyıcı takozun dinamik direngelik/statik direngelik oranı (k_d/k_s oranı) değişiminin sönümlenme özelliklerine etkisi Şekil 4.30'da verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere ana kauçuğun k_d/k_s oranı %23 azaldığında;

- 1 mm genlikte tepe noktasındaki kayıp açısı %11 azalmıştır. Tepe noktasındaki faz açısına karşılık gelen frekans değeri de %8 azalmıştır.
- 1 mm genlikte tepe noktasındaki dinamik direngelik değeri %11 azalırken, bu değere karşılık gelen frekans değeri ise %6 azalmıştır.
- 0.05 mm genlikte dinamik direngelik değeri ise %39 azalmıştır.

Ana kauçuğun k_d/k_s oranının azalması, yüksek genlikli ve düşük frekanslı titreşimlerde takozun sönümlenme yeteneğini etkilemezken, yüksek frekanslı motor titreşimlerinden kaynaklanan gürültüyü azaltır.



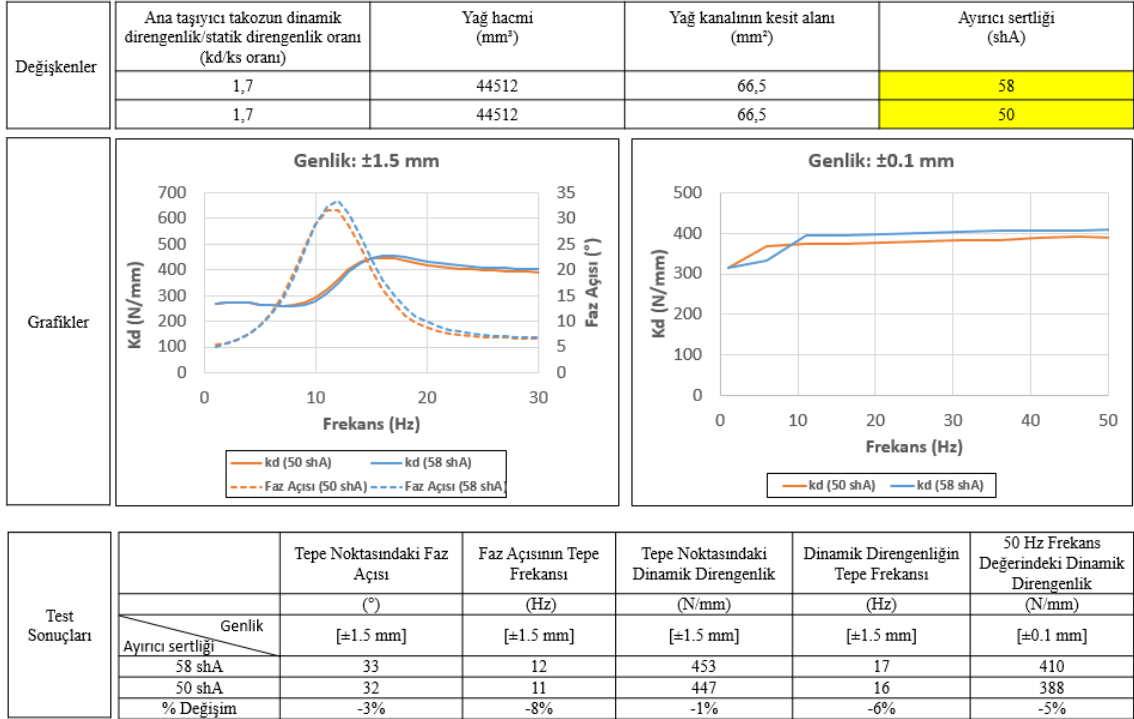
Şekil 4.30. Ana kauçuk k_d/k_s oranı değişimi ile sönümlenme özelliklerinin karşılaştırılması

4.4.4 Ayırıcı Sertliği

Ayırıcı sertliği değişiminin sönümlenme özelliklerine etkisi Şekil 4.31’de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere ayırıcı sertliği %15 azaldığında;

- 1 mm genlikte tepe noktasındaki kayıp açısı %3 azalmıştır. Tepe noktasındaki faz açısına karşılık gelen frekans değeri de %8 azalmıştır.
- 1 mm genlikte tepe noktasındaki dinamik direnç değeri değişmezken, bu değere karşılık gelen frekans değeri ise %6 azalmıştır.
- 0.05 mm genlikte dinamik direnç değeri ise %5 azalmıştır.

Bu çalışmada ayırıcı sertliğinin sönümlenme özelliklerinde etkisi olmadığı görülmüştür. Sertlik değerleri birbirine yakın olduğu için etkisinin az olduğu düşünülmektedir. Sertlik arttıkça yüksek frekanslı motor titreşimlerinde izolasyonun olumsuz etkilenebileceği düşünülmektedir.

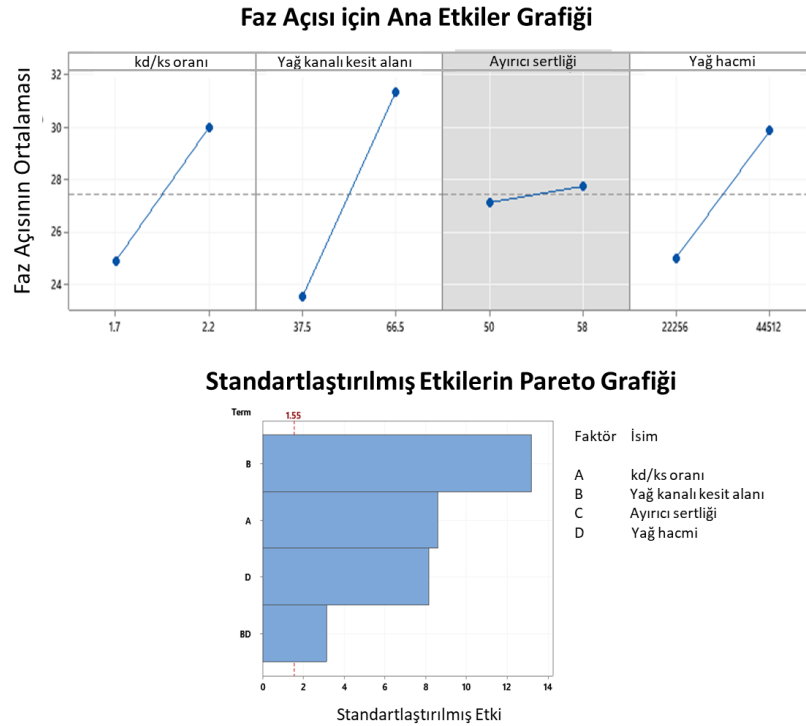


Şekil 4.31. Ayırıcı sertliği değişimi ile sönümlenme özelliklerinin karşılaştırılması

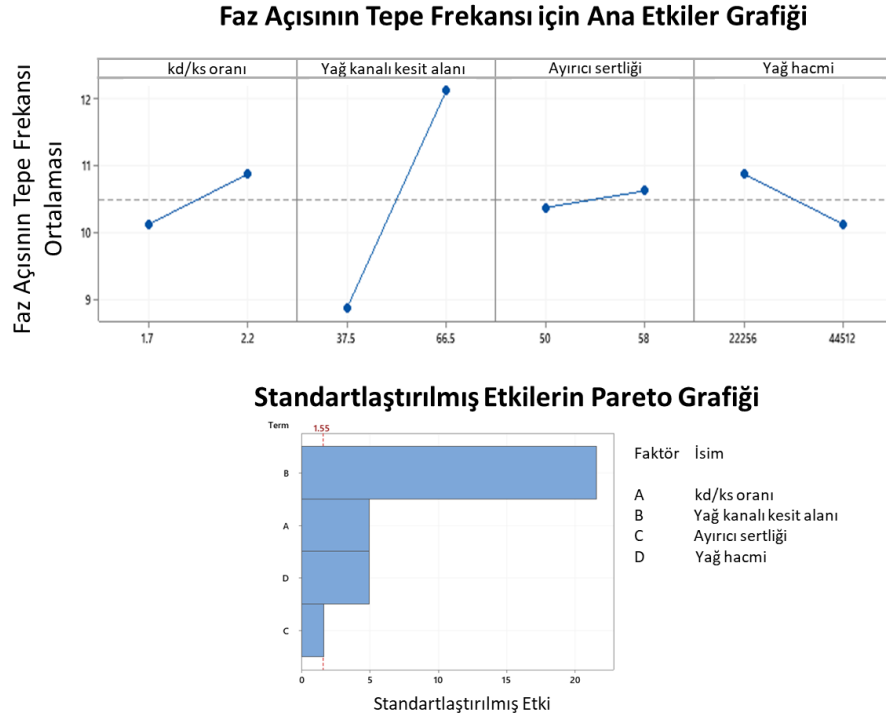
4.5 Sönüm Parametrelerinin Etkileşimleri

Sönüm parametrelerine etki eden değişkenler için ayrı ayrı pareto analizi yapılmıştır. Her bir değişkenin sönüm parametrelerine etkisi Şekil 4.32 ile Şekil 4.36 arasında verilmiştir. Pareto analizine göre;

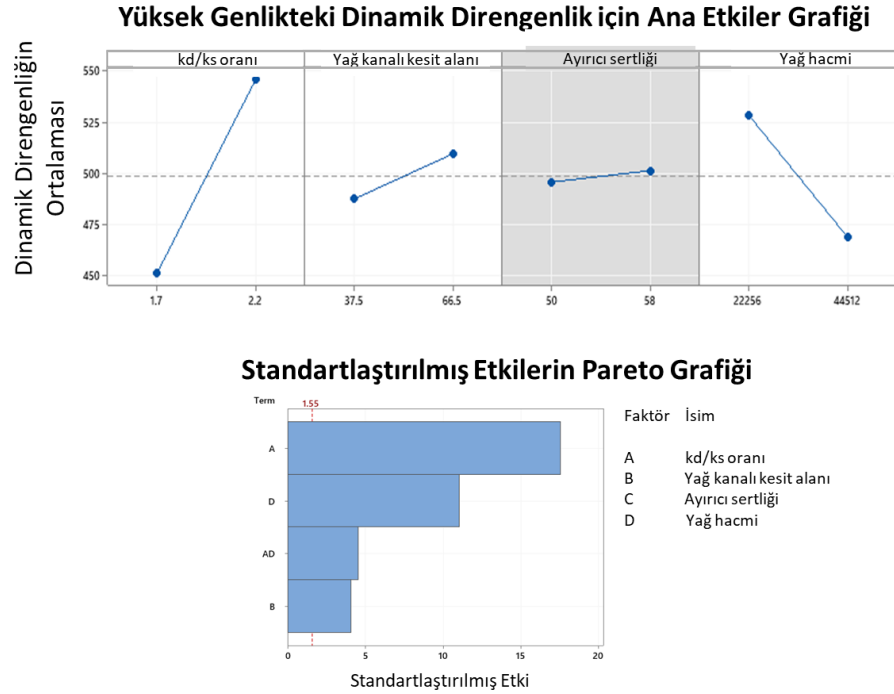
- Faz açısına en çok yağ kanalı kesit alanının etki ettiği ve ayırıcı sertliğinin etkisi olmadığı,
- Faz açısının tepe frekansı, yağ kanalı kesit alanından en çok etkilendiği ve ayırıcı sertliğinden etkilenmediği,
- Yüksek genliklerde dinamik direngenlik değerine, ana kauçuk kd/ks oranının en etkili olduğu ve ayırıcı sertliğinin etkisinin olmadığı,
- Yüksek genliklerde dinamik direngenliğin tepe frekansına, yağ kanalı kesit alanının en çok etkili olduğu ve yağ hacminin etkisinin en az olduğu,
- Düşük genliklerde dinamik direngenlik değerine, ana kauçuk kd/ks oranı etki ettiği ve yağ kanalı kesit alanının etkisinin en az olduğu görülmüştür.



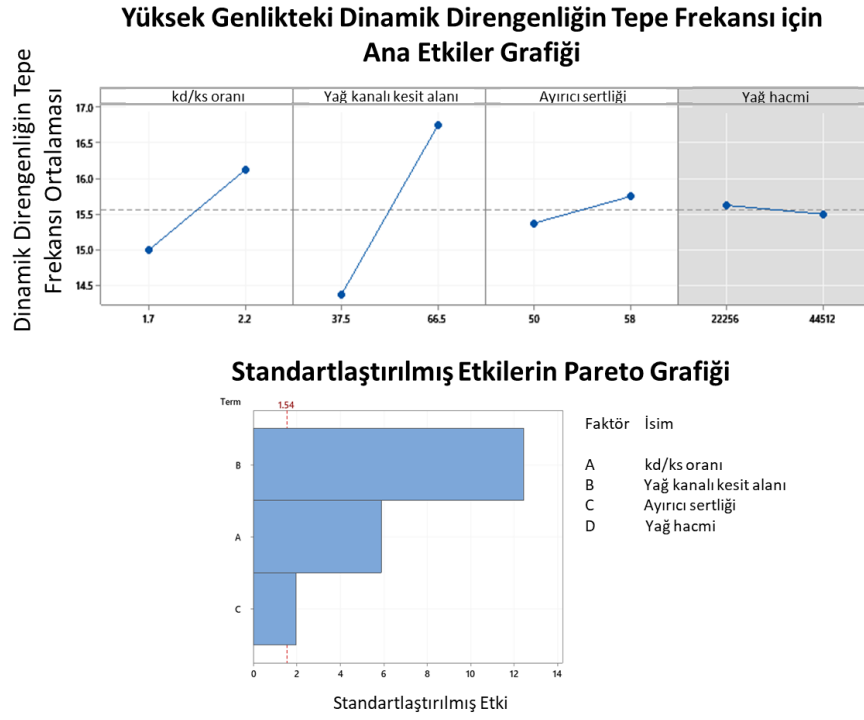
Şekil 4.32. Ana kauçuk kd/ks oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin faz açısı ile ilişkisi



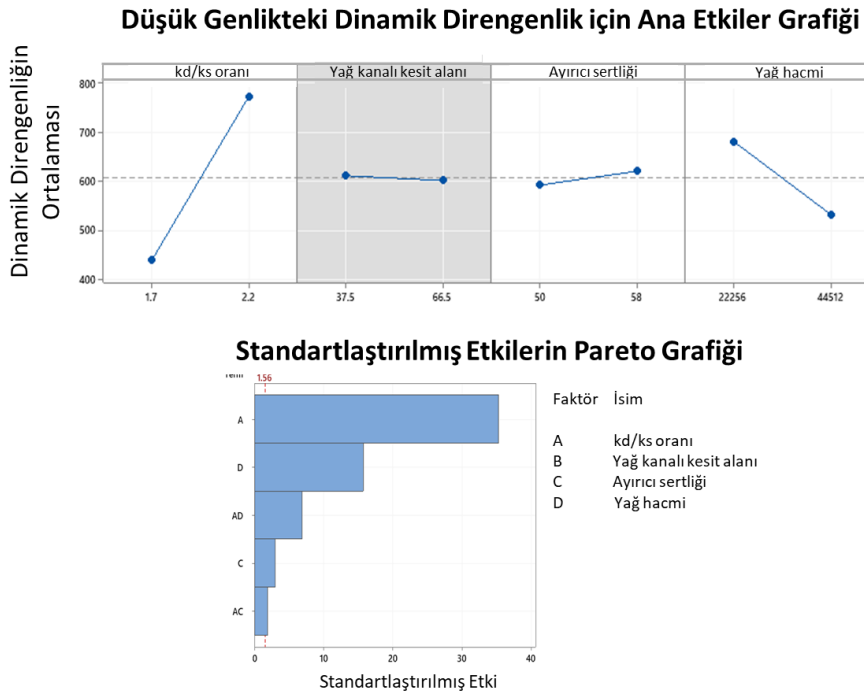
Şekil 4.33. Ana kauçuk kd/ks oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin faz açısının tepe frekansı ile ilişkisi



Şekil 4.34. Ana kauçuk kd/ks oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin yüksek genlikte dinamik direngenlik ile ilişkisi



Şekil 4.35. Ana kauçuk kd/ks oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin yüksek genlikte dinamik direngenliğin tepe frekansı ile ilişkisi



Şekil 4.36. Ana kauçuk kd/ks oranı, yağ kanalı kesit alanı, ayırıcı sertliği ve yağ hacmindeki değişimin düşük genlikte dinamik direngenlik ile ilişkisi

5. SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışmada referans alınan bir hidrolik motor takozu için sönümleme özelliklerine etki eden parametrelerden yağ kanalı kesit alanı, yağ hacmi, k_d/k_s oranı ve ayırıcı sertliği deneysel olarak incelenmiştir. Bu dört parametre için iki seviye ile Tam faktöriyel deney tasarımı uygulanmış ve sonucunda 16 farklı deney yapılmıştır. Elde edilen test sonuçları ile bu takozdan beklenen sönümleme özelliklerini karşılayabilecek bir optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon dışında her bir parametre bağımsız ve birbirleri ile ilişkili olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yüksek genliklerde faz açısı ve dinamik direnç değeri etkileyen değişkenlerin yağ kanalı kesit alanı, yağ hacmi ve ana kauçuk k_d/k_s oranı olduğu görülmüştür. Düşük genliklerde dinamik direnç değeri etkileyen en önemli değişkenin ise, yağ hacmi ve ana kauçuk k_d/k_s oranı olduğu görülmüştür. Ayırıcı sertliğinin ise sonuçlar üzerinde büyük bir etkisi olmadığı fakat alt ve üst yağ kanalı arasında duvar görevi gördüğü için yapısal olarak etkisi önemlidir.

Optimizasyon sınır koşulları tanımlanırken deney tasarımındaki sınırların dışına çıkılmaması önemlidir. Oluşturulan cevap yüzeyin davranışı, oluşturulduğu deney tasarımının sınırladığı bölge içinde geçerlidir. Bu bölge dışındaki kullanımından elde edilen sonuçların doğruluğu tartışmalıdır. Bu nedenle optimizasyon adımı tasarım değişkenlerinin, deney tasarımı ve cevap yüzeyi oluşturulurken kullanılan sınırların dışına çıkılması durumunda, üretilen sonuçlar ile fiziksel test sonuçları arasında farklılıklar oluşabilmektedir. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst limit değerleri uygun bir şekilde tanımlandığında, optimizasyondan elde edilen sonuç ile test sonuçları arasındaki fark minimuma inmektedir.

Hidrolik motor takozu için çalışmada belirtilen değişkenlerin, sönüm özelliklerine etkisini görmek için test sonuçları ortaya koyularak, tasarım esnasında karşılaşılan zorluklar belli bir oranda aşılmıştır. Otomotiv sektöründe zaman kısıtından dolayı deneme sayılarını azaltmak oldukça önemlidir. Bu sebeple sonuçları etkileyebilecek birden fazla parametre olması durumunda optimizasyon tekniklerini kullanmak gerekmektedir. Bu teknikleri kullanırken de ikiden fazla seviye belirlenir ise, parametrelerin lineer veya nonlineer davranış gösterdiğini anlamak mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Agresti, A., Finlay B. 2009. Statistical Methods for the Social Sciences, 4th edition
- Alkhatib, F. 2013. Techniques for Engine Mount Modeling and Optimization. Doktora Tezi, The University of Wisconsin-Milwaukee
- Altair Hyperstudy, 2022. Help Documents, User Guide
- Altair Hyperstudy, 2021. Help Documents, Optimization Methods, Global Response Search Method, 2021
- Bernuchon, M. 1984. A New Generation of Engine Mounts. SAE Technical Paper, 840259.
- Bilal, H. 2021. Kaotik kril sürüsü optimizasyon yönteminin geliştirilmesi ve süspansiyon parçasının optimizasyonu. *Doktora Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Brach, R., Haddow, A., 1993. On the Dynamic Response of Hydraulic Engine Mounts. SAE Technical Paper, 931321
- Christopherson, J., Mahinfalah, M., Jazar, R. 2012. Suspended Decoupler: A New Design of Hydraulic Engine Mount. *Advances in Acoustics and Vibration*. 1-11.
- Colgate, J.E., Chang, C.T., Chiou, Y.C., Liu, W.K., Keer, L.M. 1995. Modelling of a Hydraulic Engine Mount Focusing on Response to Sinusoidal and Composite Excitations. *Journal of Sound and Vibration*, 184:503-528.
- Corcoran, P.E., Ticks, G.H. 1984. Hydraulic Engine Mount Characteristics. SAE Paper, 840407.
- Dayıoğlu, A.K. 2018. Vulkanizasyon parametrelerinin doğal kauçukların çapraz bağ yoğunluğu ve malzeme ömrü üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Bursa.
- Geisberger, A. A. 2000. Hydraulic engine mount modeling, parameter identification and experimental validation. *Yüksek Lisans Tezi*, University of Waterloo, Mechanical Engineering, Ontario
- Harun, M.H., Azhari, M. A., Yunos, R., Yamin, A. K., Sariman, M. Z. 2018. Characterization of a Magnetorheological Fluid Damper Applied to Semi-Active Engine Mounting System. *Journal of Mechanical Engineering (JMEchE)*, SI 5 (3). pp. 248-259. ISSN 18235514
- Kim, G. 1992. Study of Passive and Adaptive Hydraulic Engine Mounts. *Ph.D. Thesis*, Ohio State University.

Koch, P., Angrick, C., Beitelschmidt, D., Prokop, G., & Knauer, P. 2015. Influence of Rubber Temperature on Transfer Functions of Bushings. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 8(4).

Korkmaz, F. 2022. Kauçuk takozların zaman alanında davranışının modellenmesi ve analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Lu, M., Tang, Y., Wang, E. 2010. Hydromount Parametric Study and Its Application in Trouble Shooting. *SAE Technical Paper*, 2010-01-0506

Özder, M.K. 2023. Motor takozları bağlantı elemanlarının yapısal tasarımı ve yapay sinir ağları ile analiz tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Picken, Judith Katharine 2018. Development and analysis of switchable hydromounts for engine mounting. University of Southampton, Doktora Tezi.

Shangguan, W.B. 2009. Engine mounts and powertrain mounting systems: a review, *Int. J. Veh. Design* 49(4), pp 237-258

Soltani, P., Wagg, D., Pinna, C., Wear, R. 2021. Dynamic Modelling of a Hydraulic Engine Mount Including the Effects of Elastomer Ageing. *SAE International Journal of Engines*, 14(1), 99–114.

Truong, T., Ahn, K. 2010. A new type of semi-active hydraulic engine mount using controllable area of inertia track. *Journal of Sound and Vibration*. 329. 247-260.

Ushijima, T., Takano, K., Kojima, H. 1988. High performance hydraulic mount for improving vehicle noise and vibration, *SAE Paper # 880073*.

Yu, Y., Naganathan, N. G., Dukkupati, R. V. 2001. A literature review of automotive vehicle engine mounting systems. *Mechanism and Machine Theory*, 36, 123-142.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zafer Açar
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 09.01.1989
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Süleyman Çelebi Lisesi
Lisans : Selçuk Üniversitesi/Makine Mühendisliği
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi/Otomotiv Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Bayrak Lastik Sanayi ve Ticaret A.Ş. , 2012-...

İletişim (e-posta) : zafer.acar@hotmail.com

Yayımları : Açar, Z., Kaniş Kocabıçak, Z. (2023). Konvansiyonel ve Hidrolik Motor Takozlarının Sönümlenme Özelliklerinin Karşılaştırılması. *11. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*