

**HİBRİT ARAÇLARDA KULLANILAN TORK
LİMİTLEYİCİ DAMPER SİSTEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN
TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMER MATRİSLİ
KOMPOZİT YAYLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE SİSTEMİN SAYISAL
MODELLENMESİ**

Cihat GÜL



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİBRİT ARAÇLARDA KULLANILAN TORK LİMİTLEYİCİ DAMPER
SİSTEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMER
MATRİSLİ KOMPOZİT YAYLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ VE SİSTEMİN SAYISAL MODELLENMESİ**

Cihat GÜL
0000-0002-6860-1633

Prof. Dr. Ali DURMUŞ
(Danışman)
Doç. Dr. Nevin Gamze KARSLI YILMAZ (Kocaeli Üniversitesi)
(İkinci Danışman)

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Cihat GÜL tarafından hazırlanan “HİBRİT ARAÇLARDA KULLANILAN TORK LİMİTLEYİCİ DAMPER SİSTEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMER MATRİSLİ KOMPOZİT YAYLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE SİSTEMİN SAYISAL MODELLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ali DURMUŞ

İkinci Danışman : Doç. Dr. Nevin Gamze KARSLI YILMAZ (Kocaeli Üniversitesi)

- | | | |
|-----------------|---|------|
| Başkan : | Prof. Dr. Ali DURMUŞ
0000-0003-2487-7344
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye : | Prof. Dr. Murat YAZICI
0000-0002-8720-7594
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye : | Doç. Dr. Murat REİS
0000-0001-5853-488X
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye : | Dr. Öğr. Üyesi Mümin TUTAR
0000-0002-7286-3433
Milli Savunma Üniversitesi,
Hava Astsubay Meslek Yüksek Okulu,
Teknoloji Bilimleri Bölümü | İmza |
| Üye : | Dr. Öğr. Üyesi Nurettin Gökhan ADAR
0000-0001-6888-5755
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Mekatronik Mühendisliği Bölümü | İmza |

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması 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.

.../.../.....

Cihat GÜL

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.

Prof. Dr. Ali DURMUŞ
Tarih

Cihat GÜL
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

Doktora Tezi

HİBRİT ARAÇLARDA KULLANILAN TORK LİMİTLEYİCİ DAMPER SİSTEMİ
İÇİN GELİŞTİRİLEN TERMOPLASTİK POLİESTER ELASTOMER MATRİSLİ
KOMPOZİT YAYLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ VE
SİSTEMİN SAYISAL MODELLENMESİ

Cihat GÜL

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali DURMUŞ

İkinci Danışman: Doç. Dr. Nevin Gamze KARSLI YILMAZ (Kocaeli Üniversitesi)

CO₂ salınım oranlarında yönetmelikler ile belirlenen kısıtlardan dolayı son zamanlarda hibrit araçların daha popüler hale geldiği görülmektedir. Bu sebepten dolayı hibrit araçlar ve onların güç aktarma organları üzerine yapılan araştırmalar son zamanlarda artmaktadır. Hibrit araçlarda çeşitli güç aktarma organı yapıları bulunmaktadır. Bunlardan en bilineni “güç bölünmeli - power split” tipi hibrit güç aktarma yapısıdır. Bu çalışma “power split” tipi hibrit araçlarda kullanılan tork limitleyici sistem için tasarlanmış bir termoplastik elastomer yay üzerine çalışmaları içermektedir. Bu termoplastik elastomer yay, tork limitleyici damperi içindeki metalik komponentlerin tork limitleme fonksiyonu sırasında metalik ve istenmeyen temastan kaynaklı gürültüyü sönmülemesi için tasarlanmıştır. Tamamlanan malzeme geliştirme çalışmaları neticesinde elde edilen malzemeler ile prototip seviyesinde numuneler üretilmiş ve bu numuneler ile bası, bası çevrimi ve dinamik ömür deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak boy kaybı performansı ve bası testi performansı bakımından benzer sonucu verebilen, aşınmaya karşı daha iyi performans sağlayan reçeteler elde edilmiştir. Geometrik olarak farklı tiplerde tasarlanan termoplastik elastomer yayların performansları deneysel tasarım yöntemi ile analiz edilmiş ve bunların sonucu olarak bir termoplastik elastomer yay için tasarım kuralları ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve tasarım kuralları ile geometrik olarak daha az boy kaybına uğrayan ancak aynı veya daha iyi bası testi sonucu verebilen geometrik modeller elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda termoplastik elastomer yayın aşınma, boy kaybı ve bası çevrimleri altındaki performansları, deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termoplastik elastomer yay, hibrit araçlar, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi, tork limitleyici, deneysel tasarım yöntemi
2022, viii + 69 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF THERMOPLASTIC POLYESTER ELASTOMER MATRIX COMPOSITE SPRINGS DEVELOPED FOR THE TORQUE LIMITER DAMPING SYSTEM OF HYBRID VEHICLES AND NUMERICAL SIMULATION DAMPING SYSTEM

Cihat GÜL

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

Supervisor: Prof. Dr. Ali DURMUŞ

Second Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Nevin Gamze KARSLI YILMAZ (Kocaeli University)

Due to the CO₂ emission ratio restrictions, hybrid vehicles become more popular nowadays. Because of that reason research studies on hybrid vehicles and their powertrain systems have been increased recently. There are several type of hybrid vehicle powertrain structures in use by car manufacturers, it depends on drive modes and design of conventional and electrical engine layout design. Most known of these structures is power split hybrid structure. In this study a thermoplastic elastomer spring was mechanically investigated, which has been designed for torque limiter of a power split type hybrid powertrain. The function of that elastomer spring is to damp the abnormal contact between damper inner metallic components during limiting function of torque limiter. Thesis study is also including material improvement studies for a thermoplastic elastomer spring. Materials developed were tested under compression test and cycling test to compare permanent deformation performance and also at the endurance test to compare wear performance. At the end of study several type thermoplastic elastomer spring geometries were studied with design of experiments methods and design rules which can be used as a design guide for thermoplastic elastomer spring design were created. Numerical and experimental studies are completed to analyze wear performance, permanent deformation level and loss of length property under cycling tests of a thermoplastic elastomer spring. Results gained at the end of finite element analysis studies and experiments were compared.

Key words: Thermoplastic elastomer spring, hybrid vehicles, nonlinear FEA analysis, torque limiter, design of experiments

2022, viii + 69 pages.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Hızla değişen bir sektör olan otomotiv endüstrisinde, gelişen teknolojileri yakından takip etmek, yeniliklere açık olmak ve bu doğrultuda bir çalışma tamamlamak amacımı bu tez ile bir parça da olsa gerçekleştirebilmek yalnız bana ait bir süreç olmadı. Bu çalışmada uzaktan veya yakından beraber zorlukları atlattığımız birçok destekçim ve çalışma arkadaşlarım oldu, bu vesile ile sırasıyla onlara teşekkür etmek isterim.

Bu çalışma ile hibrit araçlarda kullanılan bir tork limitleyici için termoplastik elastomer geliştirme aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. çatısı altında bulunan tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimimin başında tanıştığım ve beraber uzun ve zorlu bir süreci tamamladığımız hocam Prof. Dr. Ali Durmuş'a, özellikle malzeme geliştirme çalışmaları ve zorlu proje süreci içerisinde birlikte çalıştığımız Prof. Dr. Taner Yılmaz'a, Doç. Dr. Nevin Gamze Karslı Yılmaz'a ve Dr. Okan Gül'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin içerisindeki malzeme geliştirme çalışmaları 5160067 kodlu TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında gerçekleşmiştir. Bu sebeple desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a, projede yürütücü kuruluş olarak yer alan Kocaeli Üniversitesi'ne ve projede müşteri kuruluş olarak yer alan Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş.'ne teşekkür ederim.

Doktora çalışmam süresince harcadığım vakitlerde bana desteklerini esirgemeyen eşime, ve çalışmam boyunca bana sürekli motivasyon kaynağı olan çocuklarıma ve beni yetiştiren anne ve babama teşekkürlerimi sunarım.

Cihat GÜL
18/06/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Hibrit Güç Aktarma Sistemleri.....	7
3.1.1. Tork Limitleyici Çalışma Prensipleri.....	8
3.1.2. Sönümlenme Sisteminin Sayısal Modellemesi.....	19
3.1.3. Termoplastik Elastomer Yayların Fonksiyonu.....	20
3.1.4. Termoplastik Elastomer Yay Malzemeleri Özellikleri.....	21
3.2. Termoplastik Elastomer Yay Malzeme Geliştirme Çalışmaları.....	21
3.2.1. Prototip Üretim Aşamaları.....	27
3.2.2. Termoplastik Elastomer Yay Fonksiyonel Ölçümleri.....	27
3.2.3. Termoplastik Elastomer Yay Bası Çevrimi Testi.....	29
3.2.4. Termoplastik Elastomer Yay Ömür Testi.....	30
3.3. Termoplastik Elastomer Yay Geometrik İyileştirme Çalışmaları.....	33
3.3.1. Sonlu Elemanlar Malzeme Modeli ve Korelasyon Çalışmaları.....	33
3.3.2. Deneysel Tasarım Çalışmaları.....	38
3.3.3. Tasarım Kuralları Oluşturma Çalışmaları.....	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
4.1. Malzeme Geliştirme Çalışmaları Sonuçları.....	43
4.1.1. Statik Bası Testi Ölçüm Sonuçları.....	43
4.1.2. Bası Çevrimi Testi Sonuçları.....	44
4.1.3. Ömür Testi Uygulamaları ve Sonuçları.....	46
4.2. Sonlu Elemanlar Analizleri ve Geometrik İyileştirme Çalışmaları Sonuçları.....	48
4.2.1. Deneysel Tasarım Çalışmaları Sonuçları.....	52
4.2.2. Tasarım Kuralları.....	58
5. SONUÇ.....	64
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
BA	Borik Asit
BF	Bazalt elyaf
CF	Karbon elyaf
CO ₂	Karbondioksit
E	Elastisite modülü
ϵ_e	Katalog – Mühendislik birim şekil değıştirme değeri
ϵ_t	Gerçek birim şekil değıştirme değeri
ϵ_p	Plastik birim şekil değıştirme değeri
GF	Cam elyaf
HBN	Hegzegonal Bor Nitrür
k _{es}	Termoplastik elastomer yay rijitlik değeri [N/mm]
L	Belleville yay tarafından elde edilen yük değeri [N]
n	Sürtünme yüzeyi sayısı
n _t	Termoplastik elastomer yay sayısı
P	Pomza
r	Tork limitleyici balataların sürtünme bölüm dairesi yarıçapı [m]
r _{yay}	Yay penceresinin merkeze göre yarıçapı [mm]
S ₁	Ana amortisör yayların rijitlik değeri [Nm/°]
S ₂	Termoplastik elastomer yay ve amortisör yayların rijitlik değeri [Nm/°]
T	Tork limitleyici kaçırma torku [Nm]
μ	Sürtünme katsayısı
σ_e	Mühendislik gerilme değeri
σ_t	Gerçek gerilme (True stress) değeri
σ_p	Plastik gerilme değeri
Kısaltmalar	Açıklama
CAFE	NHTSA Ortalama Yakıt Ekonomisi raporu “Corporate Average Fuel Economy Report”
DOE	DeneySEL tasarım (Design of Experiments)
FEA	Sonlu elemanlar analizi (Finite Elements Analysis)
NHTSA	Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı
PHEV	Plug-in Hibrit Araç
TPE	Hytrel 7246 adlı termoplastik elastomer malzeme

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Güç aktarım sistemi çeşidine göre kategorize edilmiş araç tipleri....	4
Şekil 3.1. Hibrit güç aktarma organları şematik dizilimi	7
Şekil 3.2. Güç aktarım sistemi için düzensiz yol koşulu örnekleri.....	9
Şekil 3.3. Bir tork limitleyiciye ait şematik kesit görünüm.....	10
Şekil 3.4. Kapak.....	11
Şekil 3.5. Belleville tipi yay.....	11
Şekil 3.6. Plaka.....	12
Şekil 3.7. Balata.....	12
Şekil 3.8. Mesafe perçini.....	13
Şekil 3.9. Metalik disk.....	13
Şekil 3.10. Kılavuz rondelalar.....	14
Şekil 3.11. Kanat rondelası.....	14
Şekil 3.12. Göbek.....	15
Şekil 3.13. Yaylar.....	15
Şekil 3.14. Sürtünme rondelaları.....	16
Şekil 3.15. Yay pabuçları.....	16
Şekil 3.16. Montaj perçinleri.....	17
Şekil 3.17. Dengeleme perçinleri.....	17
Şekil 3.18. Kanat – mesafe perçini temasının şematik görünümü.....	18
Şekil 3.19. Bir tork limitleyiciye ait fonksiyonel eğri.....	19
Şekil 3.20. Baz olarak kullanılan termoplastik elastomer yay modeli.....	20
Şekil 3.21. DSM Xplore marka enjeksiyon makinası.....	26
Şekil 3.22. Prototip numune üretimlerinde kullanılan prototip enjeksiyon kalıp örneği.....	26
Şekil 3.23. Deneylerde kullanılan termoplastik elastomer yayların görünümü....	27
Şekil 3.24. Üniwersal çekme-basma test cihazı.....	28
Şekil 3.25. Üniwersal çekme-basma test düzeneği.....	28
Şekil 3.26. Bası çevrimi testi düzeneği ve uygulaması.....	29
Şekil 3.27. Araç testinden çıkan aşınmış termoplastik elastomer yaylar.....	30
Şekil 3.28. Hızlandırılmış test ile elde edilmiş termoplastik elastomer yay üzerindeki aşınmalar.....	31
Şekil 3.29. Ömür testi test makinası.....	31
Şekil 3.30. Disk kompleksi ve pencerelerin içerisinde bulunan termoplastik elastomer numuneler.....	32
Şekil 3.31. Form tarama ölçüm cihazı ve aşınma ölçümü.....	33
Şekil 3.32. Hytrel 7246 malzeme katalog özellikleri.....	34
Şekil 3.33. Hytrel 7246 malzeme Cauchy – Henky gerilim – birim şekil değiştirme grafiği.....	35
Şekil 3.34. Hytrel 7246 malzemesi plastik şekil değiştirme bölgesi için gerçek gerilme – birim şekil değiştirme grafiği.....	36
Şekil 3.35. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan temas özellikleri.....	37
Şekil 3.36. Sonlu elemanlar analizleri sınır şartları.....	38
Şekil 3.37. Temel geometri ile tamamlanan DOE çalışmalarında kullanılan parametrik değişkenler.....	39
Şekil 3.38. Yer fıstığı şekli analizlerinde kullanılan parametrik değişkenler.....	39

Şekil 3.39	Yatay kanalları bulunan geometrinin analizlerinde kullanılan parametrik değişkenler.....	40
Şekil 3.40	Dikey kanalları bulunan geometrinin analizlerinde kullanılan parametrik değişkenler.....	41
Şekil 3.41	Yatay kanalları bulunan geometrinin ilave analizlerinde kullanılan parametrik değişkenler.....	42
Şekil 4.1.	Farklı malzemeler ile elde edilen termoplastik elastomer yayların statik bası testi sonuçları.....	43
Şekil 4.2.	Farklı malzemelerden termoplastik elastomer yaylara ait bası çevrimi testi sırasında oluşan boy değişimi sonuçlarının grafik gösterimi.....	45
Şekil 4.3.	Farklı malzemelerden üretilen termoplastik elastomer yaylara ait bası çevrimi testi sırasında oluşan boy değişimi sonuçlarının grafik gösterimi [mm] – ilk 5 çevrim.....	45
Şekil 4.4.	Farklı malzemelerden üretilen termoplastik elastomer yaylara ait bası çevrimi testi sırasında oluşan boy değişimi sonuçlarının grafik gösterimi [%] – ilk 5 çevrim.....	46
Şekil 4.5.	Yüksek hızlı aşınma testi sonrası numune fotoğrafları.....	47
Şekil 4.6.	Sonlu elemanlar analizleri sonucu ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.7.	Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan temel kanalsız geometri (a) ve statik bası testine ait görsel (b).....	49
Şekil 4.8.	R parametresinin kalıcı boy kaybı üzerine etkisininin sonlu elemanlar analizi ve gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.9.	R parametresinin kuvvet üzerine etkisininin sonlu elemanlar analizi ve gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.10.	Temel kanalsız geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları.	53
Şekil 4.11.	Yer fıstığı şekli geometrisine ait deneysel tasarım çalışması sonuçları.....	54
Şekil 4.12.	1 adet yatay kanalı bulunan geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları.....	55
Şekil 4.13.	2 adet yatay kanalı bulunan geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları.....	55
Şekil 4.14.	2 adet dikey kanalı bulunan geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları.....	56
Şekil 4.15.	3 adet dikey kanalı bulunan geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları.....	56
Şekil 4.16.	Tüm geometrilere ait boy kaybı / yük sonuçlarının grafiği.....	57
Şekil 4.17.	Boy değeri değişkenine göre olması gereken yarıçap değerinin limitlerini belirleyen kuralı gösteren analiz sonuçları.....	59
Şekil 4.18.	Sıkışma miktarına göre en az boy kaybı için olması gereken toplam kanal genişliği.....	60
Şekil 4.19.	Sıkışma miktarına göre en az boy kaybı için olması gereken toplam kanal iç çapı.....	61
Şekil 4.20.	Tek kademeli yük karakteristiği veren termoplastik elastomer yay...	62
Şekil 4.21.	Çift kademeli yük karakteristiği veren termoplastik elastomer yay...	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	CAFE raporuna göre öngörülen CO ₂ hedefleri (gram/mil).....	3
Çizelge 3.1.	Malzeme geliştirme çalışmalarında kullanılan termoplastik elastomer yay malzemeleri.....	22
Çizelge 3.2.	Malzeme geliştirme çalışmalarında alternatif olarak çalışılan malzemelere ait ağırlıkça bileşim oranları.....	23
Çizelge 3.3	Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan termoplastik elastomer yay geometrileri.....	34
Çizelge 3.4	Temel kanalsız geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler.....	39
Çizelge 3.5	Yer fıstığı şekli geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler.....	40
Çizelge 3.6	Yatay kanalları bulunan geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler.....	40
Çizelge 3.7	Dikey kanalları bulunan geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler.....	41
Çizelge 3.8	Yatay kanallı geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik ilave değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler.....	42
Çizelge 4.1.	Farklı malzemelerden üretilen termoplastik elastomer yaylara ait bası çevrimi testi sırasında oluşan boy değişimi sonuçları....	44
Çizelge 4.2.	Ömür testi sonrası ölçülen termoplastik elastomer yayların dış yüzeylerindeki aşınma miktarları.....	47
Çizelge 4.3.	Farklı hızlarda termoplastik elastomer yay üzerinde oluşan kalıcı boy kaybı miktarları.....	50

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir temiz bir çevre hedefinin günümüzde teknolojinin gelişimini yönlendirdiği bir gerçektir. Bunun en önemli hissedildiği endüstriyel alanlardan bir tanesi de otomotiv sanayiidir. Bu amaçla bilim insanları ve otomobil üreticileri bu karara uyabilecek yeni motor veya güç aktarma organlarını tasarlayarak ve simulasyonlar yaparak yeni araçlar ve güç aktarma sistemleri geliştirmeye çalışmaktadırlar. Günümüzde birçok şehirde oluşan yüksek hava kirliliğini azaltmak için binek ve ticari araçların şehir merkezlerine girişlerine kısıtlar uygulanmaktadır. Özellikle ticari araçlar ile karşımıza çıkan bu durum, benzer şekilde binek araçlarda da ortaya çıkmaya başlamıştır ve her geçen gün daha sıkı şekilde devreye yeni kurallar alınmaktadır. Aynı amaç doğrultusunda araç üreticileri çalışmalarını daha az yakıt tüketimi ve daha az CO₂ salınımını verebilecek motor – güç aktarma organları üzerine yoğunlaştırmıştır.

Bu tez çalışması, Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. tarafından yürütülmüş olan bir çalışmaya ait hibrit araç güç aktarma sisteminin parçası olan bir tork limitleyici içerisinde bulunan termoplastik elastomer yaylarda karşılaşılan bir geliştirme probleminin iyileştirilmesi fikri ile ortaya çıkmıştır. Hibrit araçların kullanımı yukarıda bahsedilen sebeplerden ötürü günden güne artmaktadır. Hibrit güç aktarma sistemlerinin bir parçası da tork limitleyici sistemlerdir. Tork limitleyici hibrit araçlarda içten yanmalı motor ile birlikte sürekli devir halinde çalışmakta ve motor-şanzıman grubunun çalışma ortamında konumlanmaktadır. İlave olarak sistemin çeşitli durumlarda ortaya çıkan düzensizliklerinde bir koruyucu görev üstlenirken aynı zamanda sürücüyü rahatsız etmeyecek şekilde sönümlene yapmaya da devam etmektedir. Bu sönümlene fonksiyonunun bir parçası olan termoplastik elastomer yaylar Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. bünyesinde geliştirilmekte olan bir tork limitleyici sistem içerisinde bulunmaktadır. Çalışmalarda gerek geometrik gerek de malzeme kaynaklı sebeplerden dolayı araç üzerinde yapılan ömür testlerinde yüksek aşınmaya uğradığı görülmüştür.

Aşınma oluşumu istenmeyen bir durum olup, kullanılan termoplastik elastomer yayların fonksiyonel olarak gerekli özelliğini kaybetmesine neden olmaktadır. Tez çalışmasında, oluşan bu durumun iyileştirilmesi maksadıyla hem geometrik olarak bir iyileştirme süreci

tamamlanmış, hem de malzeme olarak yeni reçeteler üzerine çalışmalar yapılarak alternatif ve/veya aynı fonksiyonel özelliği verebilecek malzemeler üzerine çalışmalar tamamlanmıştır.

Geometrik iyileştirme çalışmaları neticesinde termoplastik elastomer yayların fonksiyonel kaybına sebep olan ve çalışma performansını etkileyen kalıcı boy kaybının iyileştirilmesi sağlanmış ve en az boy kaybını verebilecek bir tasarım üzerine hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda tamamlanan sonlu elemanlar analizleri ve deneysel tasarım çalışmaları sonucunda ideal bir termoplastik elastomer yay tasarımı için belirleyici olan tasarım kuralları çıkarılmıştır.

Ayrıca bu çalışma ile birlikte tork limitleyici damper sisteminde kullanılan termoplastik poliester elastomer matrisli kompozit yayların çeşitli kompozit reçetelere göre mekanik özelliklerinin değişimi, farklı tasarımların fonksiyonel ve dayanıklılık üzerine etkileri incelenmiş, deneysel ve teorik çalışmalar tamamlanmıştır. Çalışmaların sonucunda geliştirilmiş malzeme reçeteleri ve bunların iyileştirdiği özellikler ortaya çıkarılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dünya üzerinde farkedilir biçimde değişen iklim koşulları dolayısıyla karbondioksit ve azot gazlarının atmosfere salınımı, ülkeler arası anlaşmalar ile azaltılmaya çalışılmaktadır. Avrupa Birliği CO₂ salınımlarını 2050 yılına kadar ticari araçlarda %60 oranında azaltma kararı almıştır (Fontaras ve ark. 2016).

Avrupa yeşil enerji raporuna göre mevcut araçlarda CO₂ emisyon değerinin %55 azaltılması ve yeni satılan araçlar için de bu oranın %0 olarak hedeflenmesi kararı alınmıştır. (Avrupa Yeşil Enerji Raporu – URL-1 , URL-2)

2022 Mayıs ayında Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı'nın (NHTSA) yayınladığı "CAFE" raporunda hafif ticari araç kategorisinde petrol türevli yakıt tüketiminin 2025 yılından 2055 yılına geçildiğinde %40 civarında azalacağı, buna karşılık ise elektrik kullanımının yaklaşık 5 kat artacağı belirtilmiştir. (NHTSA raporu, 2022) Aynı raporda 2024 yılından 2029 yılına kadar hedeflenen CO₂ salınım miktarları da Çizelge 2.1'deki gibi raporlanmaktadır.

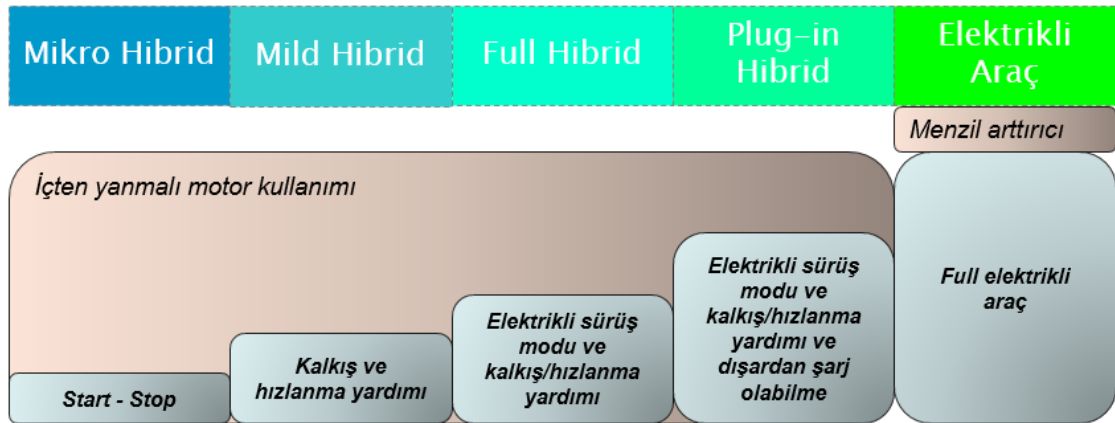
Çizelge 2.1. CAFE raporuna göre öngörülen CO₂ hedefleri (gram/mil) (NHTSA raporu, 2022)

	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Binek Araç	162	153	146	144	142	142
Hafif ticari araç	241	234	218	215	213	211
Tüm kategoriler	204	196	184	181	179	178

Bu amaç doğrultusunda yararları olduğu düşünülen ve son yıllarda birçok otomobil üreticisi firmanın çalışmalarını yoğunlaştırdığı otonom (sürücüsüz) araçların da yakıt tüketimini %3'e kadar azalttığı ve bunun yakıt tüketimine odaklı kontrol ile %10'a kadar arttırılabileceği görülmüştür (Mersky ve ark. 2016).

Ancak yalnızca otonom araç sürüşü ile çevresel kısıtlamalar ile belirlenmiş hedefleri yakalamak mümkün değildir. Bu amaç doğrultusunda en önemli gelişme hibrit veya tam elektrikli otomobiller ile yakalanabilmektedir. Tam elektrikli araçlar, hibrit araçlara göre daha az karmaşık yapılar olmasına rağmen hibrit araçlar gerek elektrik motoru teknolojilerindeki yeterlilik ve gerekse pil kapasitelerinin yeterli olmaması sebebiyle günümüzde daha yaygındır. Ancak yapılan çalışmalar elektrikli araçların da gelecekte gelişen motor ve pil teknolojileri ile önemli bir rol alacaklarını göstermektedirler (Riba ve ark. 2016).

Sektördeki bu gelişmeler birçok çeşit yeni araç güç aktarma sisteminin geliştirilmesinde rol oynamaktadır. Otomobil üreticisi firmalar müşteri beklentileri (konfor ve ekonomik beklentiler) ve yasal mevzuata uyumlu olabilmek adına çeşitli konseptlerde araçlar üretmektedirler. Şekil 2.1’de son yıllarda karşımıza çıkan otomobil çeşitliliğinin bir özeti verilmiştir.



Şekil 2.1. Güç aktarım sistemi çeşidine göre kategorize edilmiş araç tipleri

Şekil 2.1’de verilmiş araç tiplerine ait özet bilgiler aşağıdaki gibidir:

Mikro Hibrit: Bünyesinde stop-start fonksiyonu bulunan araçlardır. Aracın şanzımanının boştaki olması durumunda (bazı araçlarda tam duruş halinde, bazı araçlarda ise düşük hızlarda) devreye giren bir dur - kalk (stop – start) sistemi vardır. Böylece tekerleklere motor üzerinden bir güç aktarımı olmadığı durumlarda motor kapatılarak zehirli gazların emisyonu durdurulmuş olur.

Mild Hibrit: Mikro hibrit sistemlere ek olarak bu araçlarda bulunan düşük kapasiteli batarya ve elektrik motoru grubu aracın kalkış esnasında ve ani hızlanmalarda devreye girerek tüm gücün içten yanmalı motordan alınmasını engeller ve karbon emisyonunu azaltır. Araçlarda en fazla CO₂ salınımı kalkış ve ani hızlanma durumlarında gerçekleştiğinden bu kategorideki araçlar az maliyet ve düşük CO₂ salınımı için ideal bir hedef olmaktadır.

Full Hibrit: Bu tip araçlarda tam kapasiteli bir elektrik motoru ve batarya grubu vardır. Araç tek başına elektrik motoru ve batarya sistemi ile kalkış yapabilmektedir. Sürüş modları arasında içten yanmalı motorun batarya için bir jeneratör gibi çalıştığı durumlar da bulunmakta ve frenleme gibi motorun geri beslendiği durumlarda batarya grubu şarj edilmektedir.

Plug-in Hibrit: Full hibrit araçlara ek olarak bu araçlar dışarıdan şarj edilebilme özelliğine sahiptirler ancak bu özellik için ilave olarak donanım gerektiğinden maliyetleri daha yüksektir.

Full elektrikli araçlar: Güç aktarma sistemleri tamamen elektrik motoru ve batarya grubundan oluşan otomobillerdir. İçten yanmalı motor bulunmamaktadır. Bazı modellerde menzil arttırma hedefi ile batarya grubunu şarj eden bir jeneratör görevi gören içten yanmalı motor bulunan tipler de vardır.

Hibrit bir araç, optimize edilmiş enerji yönetimi stratejisi ile %30 ile %40 arasında yakıt tüketiminde iyileştirme gerçekleştirebilir (Emadi, 2005). Bu amaçla hibrit araçlarda enerji yönetim stratejileri ile ilgili birçok çalışma tamamlanmıştır (Aghaei ve ark. 2016, Ibrahim ve ark. 2016, Zulkefli ve ark. 2014). Bu çalışmalarda hibrit güç aktarma sistem yönetim sistemi optimizasyonu ile yakıt tüketiminin azaltılabileceği sonucu çıkarılmıştır. García ve ark. (2021) ise çalışmalarında, minimize yakıt yönetim oryantasyonlu bir yakıt yönetim sistemi ile %17,5'e kadar bir yakıt tüketimi düşürülebileceği sonucunu çıkarmışlardır.

Hibrit araçlar genellikle iki sınıfa ayrılır: 1.Hibrit araçlar 2.Plug-in Hibrit araçlar. Bu iki sınıf arasındaki fark Plug-in Hibrit araçlarda ek şarj ünitesinin bulunmasıdır. Güç aktarma organları bakımından ise hibrit araçlar üç ayrı kategoride sınıflanırlar: Seri, Paralel, Seri-paralel (güç ayrımı opsiyon olarak yapılabilen). Bu sınıfların enerji yönetim stratejilerine faydaları ve etkileri, konu ile alakalı literatürde yapılan çalışmalar ile ortaya koyulmuştur. (Sabri ve ark., 2016)

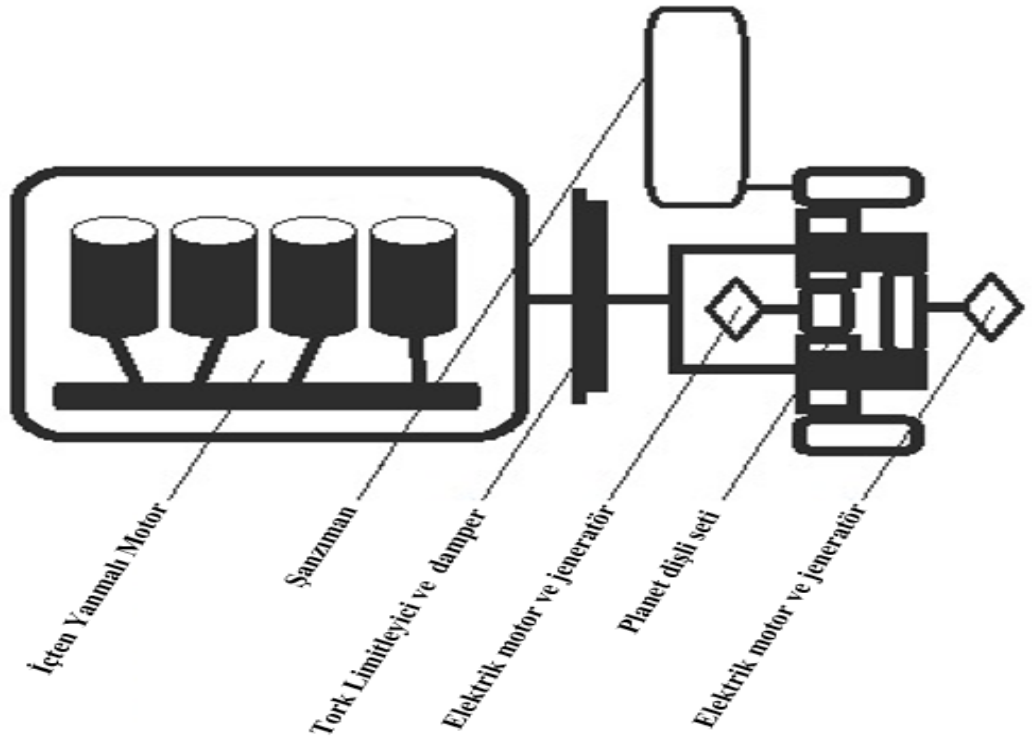
Genellikle iki elektrik motoru bulunan hibrit araçların bu sebepten dolayı oluşan yüksek maliyetleri onları piyasa şartlarında dezavantajlı kılar. Bu durumu iyileştirmek için araştırmacılar, limitli esneklik ile çalışan sürüş modları olan ve tek elektrik motoru bulunan hibrit güç aktarma sistemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapmaktadırlar (Yang ve ark. 2016). Ancak yapılan çalışmalar çift elektrik motorlu hibrit güç aktarma sistemlerinin daha doğru bir seçim olduğunu ortaya koymakta (Chenve ark. 2019) ve geleceğin en çok tercih edilecek güç aktarma sistemi olacağını göstermektedir (Yang ark. 2016).

İlk çift elektrik motorlu (güç bölmeli - power split) hibrit otomobil Toyota tarafından 1997 yılında geliştirilen Prius modelidir. Ohshima ve ark. (1999) çalışmalarında güç aktarma sistemine dahil olan bir tork limitleyicinin motordan gelen titreşimleri sönümleme işini yaptığını ve buna ek olarak yüksek titreşimlerde oluşan ani torkların motor – şanzıman arasında geçişini durdurduğunu belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Hibrit Araçlarda Güç Aktarma Sistemleri

Hibrit araçlarda güç aktarma organları arasında çift elektrik motorlu (power split) güç aktarma yapısı en çok bilinen yapıdır. Bu yapının beş temel alt gurubu Şekil 3.1’de verilen elemanlardan oluşur; içten yanmalı motor (benzinli veya dizel), tork limitleyici ve damper, planet dişli seti, elektrik motoru ve jeneratör, şanzıman.



Şekil 3.1. Hibrit güç aktarma organları şematik dizilimi

Yukarıdaki altgrupların görevleri kısaca aşağıdaki gibidir:

İçten yanmalı motor: Hibrit yani plug-in hibrit olmayan araçlarda tekil güç kaynağıdır. Sürüş moduna bağlı olarak çalışır veya durur. Plug-in hibrit sistemlerde ana güç kaynağı içten yanmalı motordur, bu sistemlerde şarj edilebilen piller ikincil güç kaynağı görevindedirler.

Tork limitleyici ve damper: İki temel görevi vardır. Bunların ilki içten yanmalı motordan gelen düzensizlikleri sönümlmek ve şanzımana geçebilecek titreşimleri sönümlmektir. Diğeri ise motor ile güç aktarma organları arasında oluşabilecek aşırı yüksek tork aktarımını limitlemektir.

Planet dişli seti: Güç aktarma sisteminin iletim oranının ve yönünün sürüş moduna göre ayarlanmasını sağlar. Motordan tekerleklere tork iletimini veya tekerleklerden şarj motoruna tork iletimini sağlar.

Elektrik motoru ve şarj motoru: Çalışan sürüş moduna göre planet dişli seti aracılığıyla tekerleklere iletilecek torku üretir veya tekerleklerden gelen güç ile pili şarj etme görevini gerçekleştirir.

Şanzıman : Planet dişli seti üzerinden gelen torkun tekerleklere iletimini sağlar veya ters olarak tekerleklerden frenleme sırasında üretilen enerjinin şarj motoruna geçişini sağlar.

3.1.1 Tork Limitleyici Çalışma Prensipleri

Tork limitleyicinin hibrit güç aktarma sistemi içerisinde iki temel fonksiyonu vardır. Bunlar, normal kullanım koşullarında motordan gelen düzensiz titreşimleri sönümlmesi ve bu titreşimlerin planet dişli setine ve şanzımana aktarılmasını engellemektir. Ancak hibrit araçların değişken sürüş modları arasında (stop - start) dur-kalk sistemi de devreye girer, bu modlar arası geçişte motor ve şanzıman grubu arasında doğal frekansların çakıştığı (rezonans) istenmeyen durumlar ortaya çıkabilmektedir. Buna ilave olarak bazı yol şartları ve kullanım koşulları güç aktarma sisteminin düzensizliğini tetiklemekte ve rezonans durumunun oluşmasına neden olabilmektedir. Şekil 3.2’de düzensiz yol şartlarına örnek resimler verilmiştir.



Şekil 3.2. Güç aktarma sistemi için düzensiz yol koşulu örnekleri

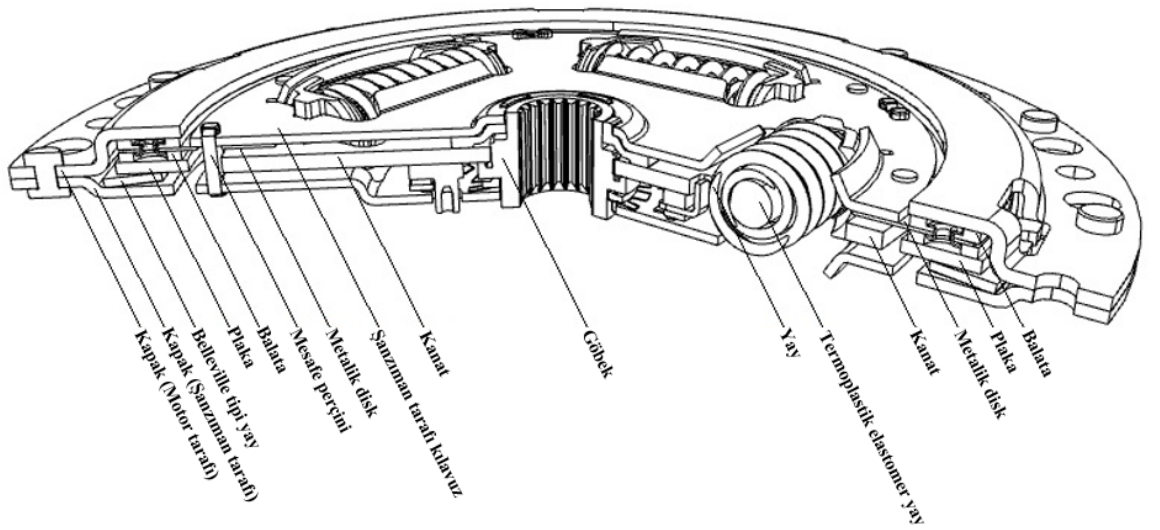
Bu rezonans durumunda motor tarafından şanzımana istenmeyen büyüklükte tork aktarımı gerçekleşebilir. Bu tork değerleri planet dişli seti veya tahrik mili gibi komponentlerin zaman içinde yorulma dayanımına ulaşmasına veya ani tork ile hasar görmesine sebep olur. İşte tork limitleyicinin ikinci temel görevi de bu gibi durumlarda oluşabilecek ani yüksek torkların motor tarafından güç aktarma organlarına iletimini önlemektir (Ohshima ve ark. 1999).

Tork limitleyici gerçekleştirdiği limitleme görevini, üzerinde bulunan ve sürekli olarak bir kapak ve bir baskı plakası arasında sabit ve belli bir yük değeri ile sıkışmış durumda olan konvensiyonel bir balata grubu ile gerçekleştirir. Bu balata grubu üzerinde bulunan sabit yük değerine göre belirlenen tork değerine ulaşılan kadar kaçırma gerçekleşmez. Bu sabit kavrama yükü baskı plakası üzerine monte edilmiş olan bir belleville tipi çember bir yay ile sağlanmaktadır. Balata grubunun kaçırma başlaması bu yük değerine göre iletilebilecek tork değeri aşıldığında başlar, kaçırma değerinin hesabı aşağıdaki formül ile belirlenir. Bu formül istenen kaçırma değerine göre gerekli olan yükün bulunması ve belleville tipi çember yayın tasarımının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

$$T_{\text{kaçırma}} = n \times \mu_{\text{balata}} \times r_{\text{balata bölüm dairesi}} \times L_{\text{belleville yay}} \quad (1.1)$$

Bu formüldeki T kaçırma torkunu, n sürtünme yüzeyi sayısını, μ sürtünme katsayısını, r kullanılan balataların sürtünme bölüm dairesi yarıçapını, L ise belleville tipi yay ile elde edilen yük değerini temsil etmektedir.

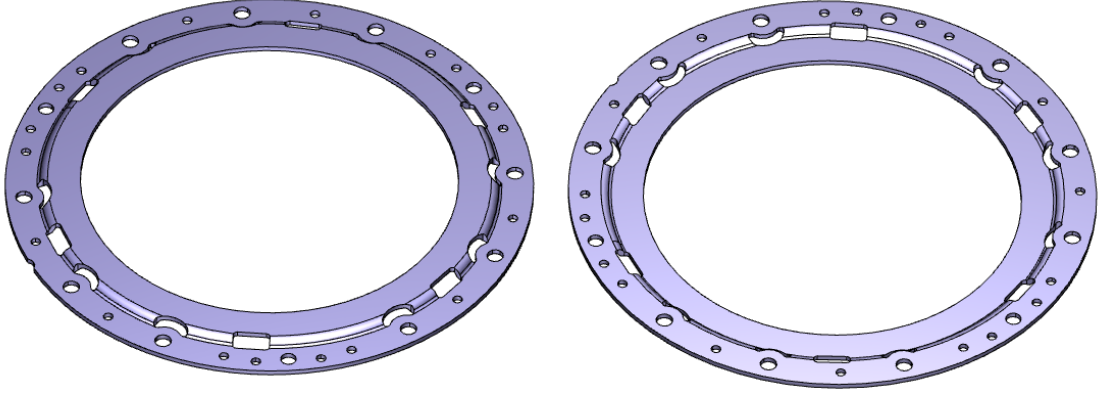
Motor tarafından üretilen tork, balatalar üzerindeki kaçırma limitine kadar ulaşılmadığı sürece tork limitleyici burulma sönümleyici grubuna iletilir. Balata grubu bir metalik disk ile bu burulma sönümleyici grubuna bağlıdır. Bu metalik component vasıtasıyla iletilecek tork, yaylar üzerinden şanzıman grubu tahrik miline geçer. İletilen tork değerinin büyüklüğüne göre burulma sönümleyici grupta bulunan yaylar sıkışır ve sönümleme işlevini sağlarlar. Yaylar bu mekanizmada torku, kılavuz adı verilen çift tarafta bulunan metalik parçalar üzerinden alırlar ve kanat adı verilen ortadaki metal komponente iletirler. Kılavuz adı verilen component hem tork iletimi hem de yüksek devir altında önem arz eden yayların sabit bir pencere içerisinde istenen şekilde çalışmasını sağlar. Kanat adı verilen komponente aktarılan tork, üzerinde dişler bulunan göbek adı verilen komponente aktarılır ve buradan şanzıman tahrik miline iletilir. Bahsi geçen tork değeri yayların en fazla sıkışabileceği limite ulaştığında kanat isimli component, kılavuzların birbirine montajını da sağlayan durdurucu perçine temas eder. Burulma sönümleyici sistemin şematik gösterimi Şekil 3.3'teki gibidir:



Şekil 3.3. Bir tork limitleyiciye ait şematik kesit görünüm

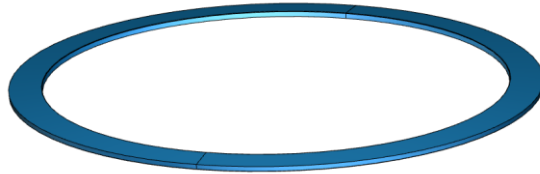
Bu komponentlerin tanımları ve kısaca görevleri şöyledir:

Kapak (motor tarafı ve şanzıman tarafı): Motor ve şanzıman tarafında olmak üzere iki adet kapak perçinler ile birbirine monte edilir ve aralarında kalan plaka belleville tipi yay ve balata-metalik disk grubu ile tork limitleyici fonksiyonun oluşmasını sağlayan bir paketi oluştururlar.



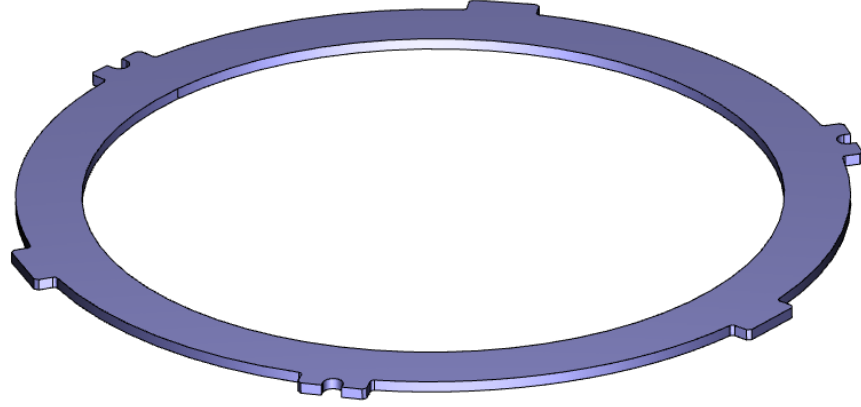
Şekil 3.4. Kapak

Belleville tipi yay: İki kapak arasında bulunan komponentlerdendir. $51Cr_5V_4$ yay malzemesinden üretilen bu komponent plaka üzerine bir yük vererek, plaka-balata ve balata-kapak arasında oluşan sürtünme kuvveti ile belirli tork değerine kadar tork iletimi yapması, yüksek tork değerlerinde ise kaçırma yaparak sistemin korumasını sağlayan mekanizmanın kuvvetini veren komponenttir.



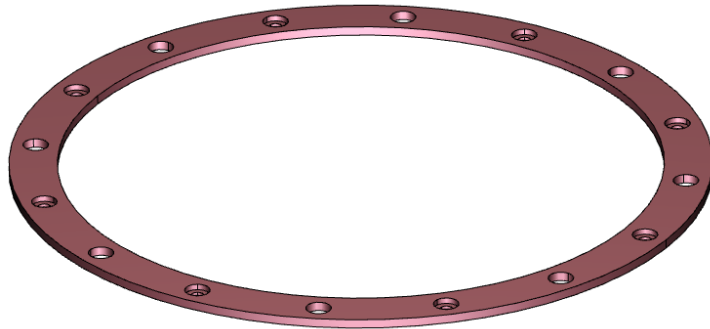
Şekil 3.5. Belleville tipi yay

Plaka: Belleville tipi yaydan aldığı bası kuvvetini balatalara aktaran ve balata ile temas halinde olan yüzeyinde sürekli olarak sürtünme kuvveti kaynaklı bir tork iletimi bulunan bir komponenttir. Üzerindeki kulaklar ile kapaklara geometrik olarak bağlıdır.



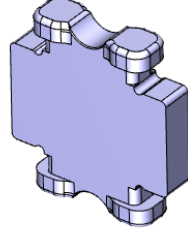
Şekil 3.6. Plaka

Balata: Yüksek tork iletimi durumunda oluşan kaçırma mekanizmasının en önemli bileşenidir. Yapısındaki organik içerik ile sürekli ve sabit bir sürtünme katsayısı oluşumuna sebep olur. Üzerindeki yuvalardan perçinler ile metalik diske bağlıdır.



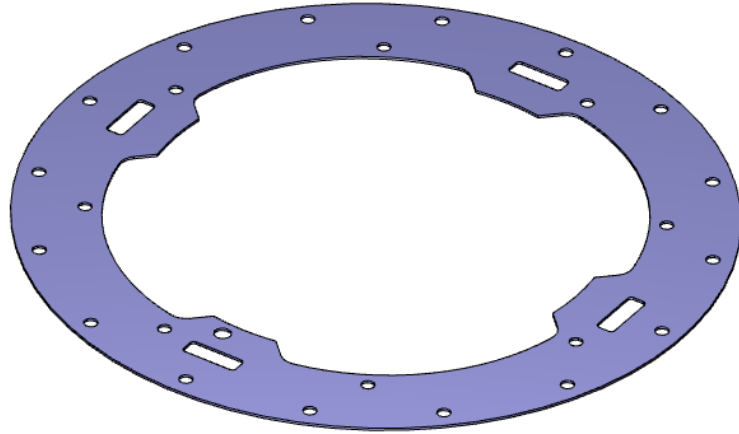
Şekil 3.7. Balata

Mesafe perçini: Bu perçin damper olarak adlandırılan ve orta kesimde yay ve sürtünme komponentlerinin bir paket halinde bulunmasını sağlayan komponenttir. Ayrıca yayların sıkışması tamamlandıktan sonra bağlı olduğu kılavuz rondelalarının dönüşü ile kanada temas ederek yayların tam sıkışması sonrası tork aktarımını sağlar.



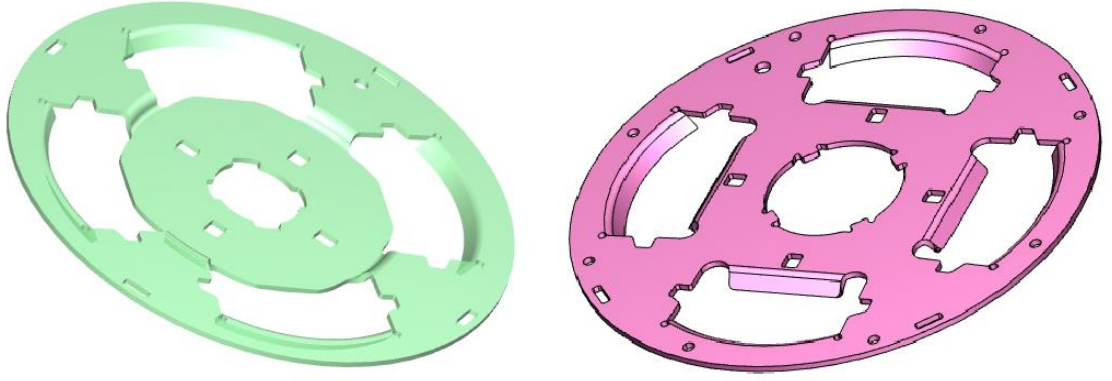
Şekil 3.8. Mesafe perçini

Metalik disk: Bir tarafta balatalar diğer tarafta ise kılavuz rondelaya bağlı olup balata ve kılavuz rondela arası tork aktarımını sağlar.



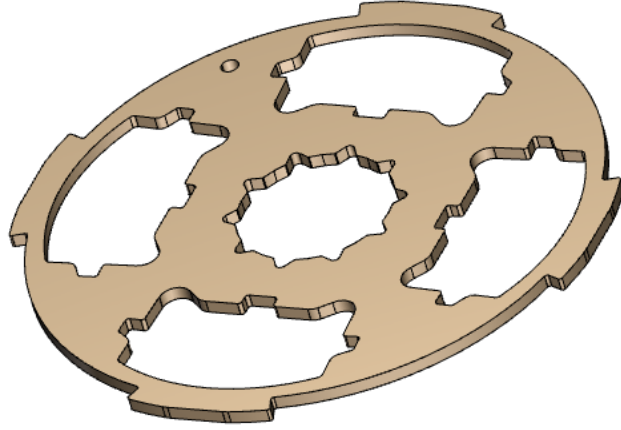
Şekil 3.9. Metalik disk

Kılavuz rondelalar: Mesafe perçini ile birbirlerine bağlıdır. Metalik disk üzerinden aktarılan torku yaylara aktarırlar. Ayrıca yaylara kılavuz/yatak görevi görürler.



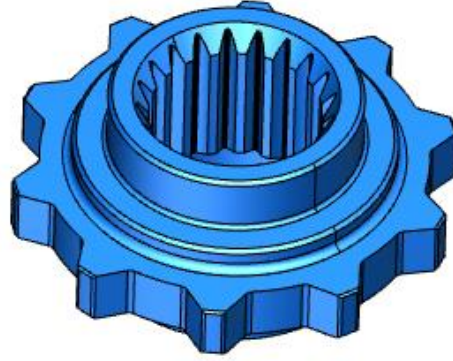
Şekil 3.10. Kılavuz rondelalar

Kanat rondelası: Yaylar üzerinden gelen torku göbeğe aktarır.



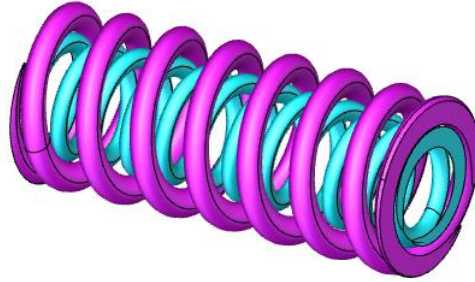
Şekil 3.11. Kanat rondelası

Göbek: Kanat üzerinde iletilen torku alır ve şanzıman priz direk miline iletir.



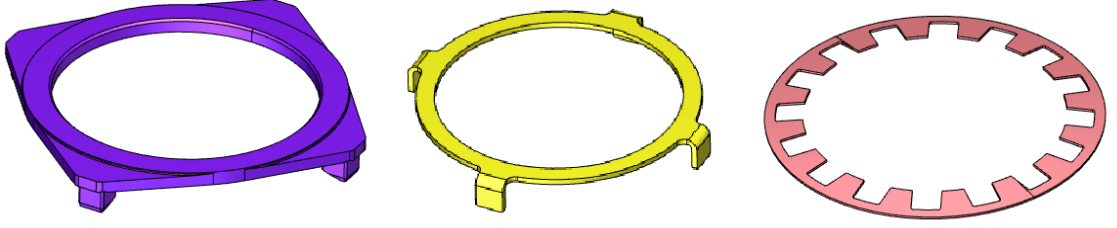
Şekil 3.12. Göbek

Yaylar: Kılavuz rondelalar üzerinden içten yanmalı motor tarafından oluşturulan torku alırlar ve bunu kanada aktarırlar. Bu aktarım sırasında motor tarafından oluşturulan titreşimlerin bir kısmını sönümleyerek şanzımana aktarılmasına engel olurlar.



Şekil 3.13. Yaylar

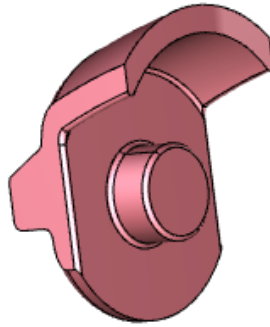
Sürtünme rondelaları: Motor tarafından oluşturulan titreşimlerin sönümlenmesinde yaylar ile birlikte görev alırlar, histeresis adı verilen kontrollü sürtünme mekanizmasını oluştururlar.



Şekil 3.14. Sürtünme rondelaları

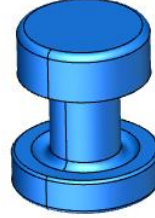
Termoplastik elastomer yay: Tez konusunun parçası olan bu komponent, damper sistemi üzerinde normal koşullardaki tork iletimi sırasında bir görevi yoktur, ancak sistem üzerinde oluşabilecek düzensizliklerden kaynaklı aktarılacak tork değeri, damperin kapasitesinin üzerine çıkıp tork limitleyicinin aktive etmesinden hemen önce kanat ve mesafe perçini birbirine temas ederler. Bu temas sırasında istenmeyen ve sürücüyü rahatsız edebilecek bir metalik ses ortaya çıkar. Bu sesin ortaya çıkmasını önleyici sönümleme işlevi, helisel yayların içerisine yerleştirilmiş termoplastik elastomer yaylar ile sağlanır.

Yay pabuçları: Bir tarafta kılavuz – kanat rondelaları diğer tarafta ise yaylar ile temas halindedir. Yaylara kılavuz rondela pencereleri üzerinde yataklık görevi görür, ayrıca orta kısmındaki çıkıntı ile iç yayları hem merkezler, hem de termoplastik elastomer yayın çalışmasında görev alır.



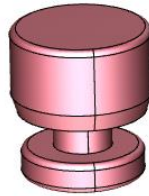
Şekil 3.15. Yay pabuçları

Montaj perçinleri: Tork limitleyici kapakların birbirine montajını sağlarlar, bir kesme kuvveti altında çalışmaktadır, bu kuvvet değerine göre adetleri ve kesit alanları belirlenir.



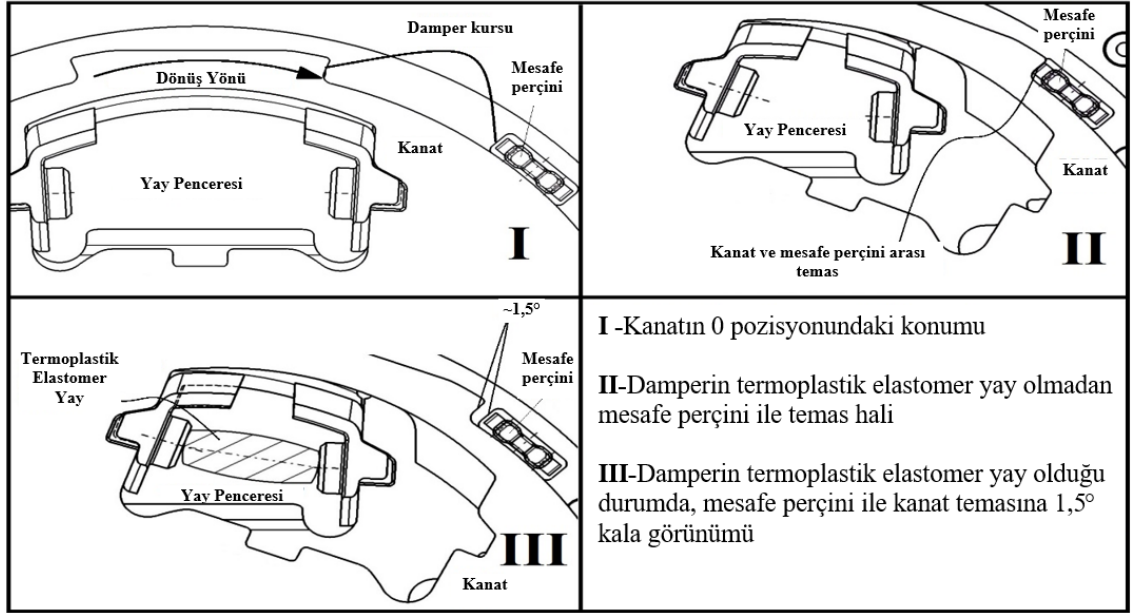
Şekil 3.16. Montaj perçinleri

Dengeleme perçinleri: Montajı tamamlanmış tork limitleyicinin komponentlerinin üzerindeki üretim kaynaklı düzensizlikler, istenen balans değerinin üzerinde ürünlerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple montajı tamamlanmış tork limitleyicilerin balans ölçümü yapılmakta ve yüksek balansızlık var ise gerekli yerlere gerekli olduğu ağırlıkta balans perçinleri monte edilerek ürünün dengelemesi yapılır.



Şekil 3.17. Dengeleme perçinleri

Tork iletimi sırasında kılavuzlardan aldığı tork ile sıkışan veya gevşeyen yaylar bu şekilde motordan gelen titreşimlerin sönümlenmesini sağlarlar. Ancak yukarıda belirtildiği gibi belirli bir tork değerine ulaşıldığında yayların sıkışması sonlanır ve blokaj durumu gerçekleşmeden önce kanat adlı komponent durdurucu perçin ile temas ederek yayların fazla sıkışmasını önler. Bu nokta burulma sönümleyici diskin açısız olarak ulaşabileceği limittir. Şematik olarak bu gösterim Şekil 3.18’de verilmiştir.

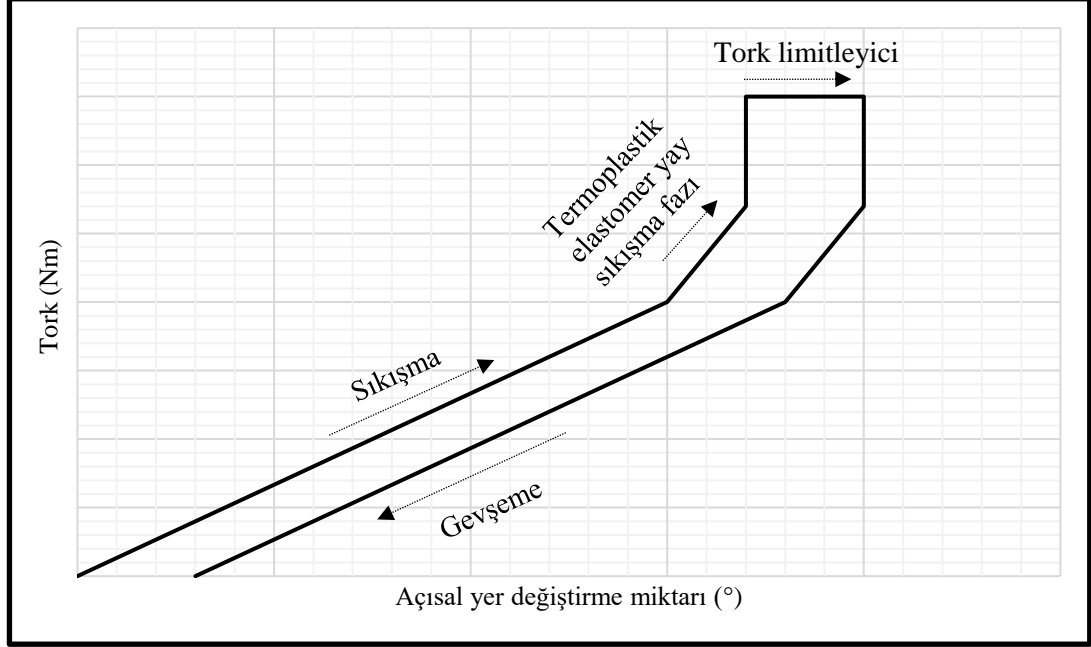


Şekil 3.18. Kanat – mesafe perçini temasının şematik görünümü

Limit durumunda kanat ve durdurucu perçin arasında gerçekleşen bu temas metalik bir temastır ve sürücüyü rahatsız edecek metalik bir gürültü ortaya çıkarır. Bu yüzden engellenmesi veya sönümlenmesi gereklidir. Bu sebepten dolayı, kanat ve durdurucu pim arasında gerçekleşecek bu temastan önce metalik yaylara göre daha yüksek bir yay sabitine sahip ara bir geçiş ihtiyacı vardır. Bu ara geçiş fazına ait yüksek yay sabiti veren yay özelliği, helisel metal yayların içerisine yerleştirilmiş termoplastik elastomer yaylar ile sağlanır. Şekil 3.18’de gösterildiği gibi metalik temasın gerçekleşeceği açısız strok değerinden $\sim 1^\circ$ ile 2° derece önce metalik yayların içinde bulunan termoplastik elastomer yaylar sıkışmaya başlar ve bu ara geçişi sağlarlar.

Normal çalışma koşullarında metalik yaylardaki sıkışma, motordan gelen en büyük tork değerine dahi karşı koyabilecek büyüklükte olacak şekilde tasarlanır. Termoplastik elastomer yaylar normal çalışma koşullarında herhangi bir sıkışmaya maruz kalmazlar. Ancak daha önce bahsedildiği gibi eğer sistem üzerinde sürüş modları arası oluşabilecek bir rezonans gerçekleşir ise oluşabilecek ani tork artışları sırasında termoplastik elastomer yaylar sıkışır ve sonrasında tork limitleyicinin kaçırma görevi gerçekleşir. Burulma

sönümleyici diske ait bir fonksiyonel eğri ve tork limitleyicinin eğri üzerinde devreye girişinin gösterimi Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19. Bir tork limitleyiciye ait fonksiyonel eğri

3.1.2 Sönümlenme Sisteminin Sayısal Modellenmesi

Burulma sönümlenme mekanizmalarında termoplastik elastomer yaylar, ana amortisör yayları olan çelik helisel yayların içerisinde çalışır. Bu sebepten dolayı termoplastik elastomer yayların geometrileri çelik helisel yay geometrisine bağlıdır. Bu bağımlılık kısıtı ile birlikte sistem için gerekli olan rijitlik katsayısını da sağlamalıdır. Bu çalışmada bası durumundaki termoplastik elastomer yayların rijitlik değeri (S_2) $70\text{Nm}/^\circ$ olarak hedeflenmiştir. Bu değer için gerekli rijitlik değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır:

$$S_2 = S_1 + \frac{k_{es} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{yay}}{360} \cdot r \cdot n_t \quad (2.1)$$

S_1 =ana amortisör yaylarının rijitlik değeri (Nm/°)

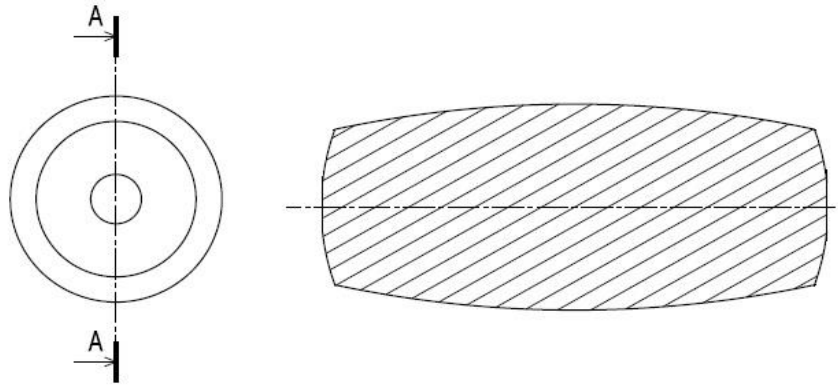
S_2 =termoplastik elastomer yay ve ana amortisör yaylarının toplam rijitlik değeri(Nm/°)

k_{es} =termoplastik elastomer yay rijitlik değeri(N/mm)

r_{yay} =yay penceresinin merkeze göre yarıçapı

n_t =termoplastik elastomer yay sayısı

Bu rijitlik değeri hedefini yakalamak için Şekil 3.20’de gösterilen baz geometri seçilmiş ve çalışmalar bu geometrinin optimizasyonunu sağlamak üzere gerçekleştirilmiştir:



Şekil 3.20. Baz olarak kullanılan termoplastik elastomer yay modeli

3.1.3 Termoplastik Elastomer Yayların Fonksiyonu

Termoplastik elastomer yaylar çelik helisel yayların içerisinde çalışmaktadır. Bu sebepten dolayı geometrileri çelik yayların iç çap geometrisi ile sınırlanmıştır. Sonuç olarak termoplastik elastomer yayın dış çapının büyüklüğü ilk kısıt olarak çelik yayların iç çapına göre belirlenmektedir. Bu termoplastik elastomer yayın fonksiyonel özelliği üzerindeki ilk etkili kısıttır.

İkinci olarak, toplam termoplastik elastomer yay boyunun diğer belirleyici unsurları helisel yayların boyu ve kullanılan yay tamponlarının geometrisidir. İstenen termoplastik elastomer yayın bası deplasmanı ile birlikte içerisinde çalışılan çelik helisel yayların ve yay tamponlarının geometrileri termoplastik elastomer yayın boyunun tayin edilmesinde

kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında termoplastik elastomer yayın 1,5° sıkışma hedefine göre tasarım iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3.1.4 Termoplastik Elastomer Yay Malzemeleri Özellikleri

Termoplastik elastomer yaylar tork limitleyici damper içerisinde sönümleme elemanı olarak görev almaktadırlar. Bu görevin gereği olarak istenen rijitlik değerini sağlamaları gereklidir. Ayrıca bu fonksiyon sürekli olmalıdır, bir başka deyişle uygulanacak çevrimler sonunda herhangi bir fonksiyon kaybı olmamalı veya minimum seviyede gerçekleşmelidir. Bu malzemenin plastik deformasyon özelliğinin vereceği yük değerine göre daha fazla bir yük değeri sonrası başlaması gerekliliğini ortaya çıkarır. Buna ilave olarak termoplastik elastomer yayların çalıştığı tork limitleyici damperin çalışma koşullarına da dayanıklı olması beklenmektedir. Bu koşullar yüksek devir ve sıcaklık değişimlerini içermektedir. Bu koşullar altında termoplastik elastomer yaylar bütünlüğünü korumalıdır ve yüzeylerinde fonksiyon kaybı oluşabilecek aşınmaların ortaya çıkmaması gereklidir. Bu tezin çalışılmaya başlamasındaki fikir de aslında bu fonksiyonel iyileşmenin gerekliliği ile birlikte doğmuştur. Geçmişte yapılan geliştirme çalışmaları sonrasında tork limitleyici damper içerisinde çalışılan termoplastik elastomer yayların devir ve sıcaklık çevrimleri altında hızla aşındıkları ve bütünlüklerini koruyamadıkları görülmüştür.

3.2 Termoplastik Elastomer Yay Malzeme Geliştirme Çalışmaları

Termoplastik elastomer yay malzemesi geliştirme çalışmaları Kocaeli Üniversitesi, Bursa Uludağ Üniversitesi ve Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. ve işbirliği ile yürütülen 5160067 kodlu TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında tamamlanmıştır. Proje sonunda malzeme geliştirme çalışmaları tamamlanmış ve prototip seviyesinde numune üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen malzemeler kullanılarak üretilen prototip numuneler ile malzemelere ait testler ve sonrasında ise Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi Test Laboratuvarında üretilen numunelere ait bası testi, bası çevrimi testi ve dinamik ömür

testleri gerçekleştirilmiş olup malzeme geliştirme süreci tamamlanmıştır. 5160067 kodlu TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında geliştirilen 65 adet aday malzeme reçetesi içinden 12 adet termoplastik elastomer yay malzemesi olabilecek malzeme reçetesi belirlenmiştir. Belirlenen malzeme reçeteleri Çizelge 3.1'deki gibidir:

Çizelge 3.1. Malzeme geliştirme çalışmalarında kullanılan termoplastik elastomer yay malzemeleri

	Malzeme adı
1	TPE (Hytrel 7246)
2	TPE 1BA (Borik Asit)
3	TPE 1P (Pomza)
4	TPE 1HBN (Hegzegonal Bor Nitrür)
5	TPE 5HBN (Hegzegonal Bor Nitrür)
6	TPE 10HBN (Hegzegonal Bor Nitrür)
7	TPE GF si1P (Cam Elyaf-Silanlanmış Pomza)
8	TPE BF 1BA (Bazalt Elyaf – Borik Asit)
9	TPE BF si1HBN (Bazalt Elyaf – Hegzegonal Bor Nitrür)
10	TPE siBF (silanlanmış Bazalt Elyaf)
11	TPE siBF si10HBN (silanlanmış Bazalt Elyaf - Hegzegonal Bor Nitrür)
12	TPE CF si10HBN (Karbon elyaf - Hegzegonal Bor Nitrür)

Malzeme geliştirme çalışmaları 5160067 nolu “Debriyaj Disklerinde Kullanılmak Üzere Termoplastik Poliester Elastomer Matrisli Kompozit Yay Malzemesi Geliştirilmesi” başlıklı TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. Çözülme istenen problem ve iyileşme beklenen termoplastik elastomer yay özellikleri göz önüne alınarak, aşınmaya karşı dayanıklılığı yüksek malzeme reçeteleri oluşturma çalışmaları ile denemeler başlamıştır. Bu ön çalışmalar sonucunda 65 adet aday malzeme reçetesi üzerinde çalışılmıştır (Gül, 2020). Çizelge 3.2’de bu proje kapsamında çalışılan malzemelere ait liste verilmiştir.

Çizelge 3.2. Malzeme geliştirme çalışmalarında alternatif olarak çalışılan malzemelere ait ağırlıkça bileşim oranları (Gül, 2020)

	Malzeme Adı	Hytrel 7246 malzeme ağırlıkça oranı %	Bazalt Elyaf (BF) ağırlıkça oranı %	Cam Elyaf (GF) ağırlıkça oranı %	Karbon Elyaf (CF) ağırlıkça oranı %	Borik asit (BA) ağırlıkça oranı %	Bor Nitrür (HBN) ağırlıkça oranı %
1	TPE	100	0	0	0	0	0
2	TPE_0,25 BA	99,75	0	0	0	0,25	0
3	TPE_0,5 BA	99,5	0	0	0	0,5	0
4	TPE_1 BA	99	0	0	0	1	0
5	TPE_si 0,25BA	99,75	0	0	0	0,25	0
6	TPE_si 0,5BA	99,5	0	0	0	0,5	0
7	TPE_si 1BA	99	0	0	0	1	0
8	TPE_1HBN	99	0	0	0	0	1
9	TPE_5HBN	95	0	0	0	0	5
10	TPE_10HBN	90	0	0	0	0	10
11	TPE_si1HBN	99	0	0	0	0	1
12	TPE_si5HBN	95	0	0	0	0	5
13	TPE_si10HBN	90	0	0	0	0	10
14	TPE_BF	90	10	0	0	0	0
15	TPE_siBF	90	10	0	0	0	0
16	TPE_BF_0,25BA	89,75	10	0	0	0,25	0
17	TPE_BF_0,5BA	89,5	10	0	0	0,5	0
18	TPE_BF_1BA	89	10	0	0	1	0
19	TPE_BF_si0,25BA	89,75	10	0	0	0,25	0
20	TPE_BF_si0,5BA	89,5	10	0	0	0,5	0
21	TPE_BF_si1BA	89	10	0	0	1	0
22	TPE_siBF_si0,25BA	89,75	10	0	0	0,25	0
23	TPE_siBF_si0,5BA	89,5	10	0	0	0,5	0
24	TPE_siBF_si1BA	89	10	0	0	1	0
25	TPE_siBF_0,25BA	89,75	10	0	0	0,25	0
26	TPE_siBF_0,5BA	89,5	10	0	0	0,5	0
27	TPE_siBF_1BA	89	10	0	0	1	0
28	TPE_BF_1HBN	89	10	0	0	0	1
29	TPE_BF_5HBN	85	10	0	0	0	5
30	TPE_BF_10HBN	80	10	0	0	0	10
31	TPE_BF_si1HBN	89	10	0	0	0	1
32	TPE_BF_si5HBN	85	10	0	0	0	5
33	TPE_BF_si10HBN	80	10	0	0	0	10
34	TPE_siBF_1HBN	89	10	0	0	0	1
35	TPE_siBF_5HBN	85	10	0	0	0	5
36	TPE_siBF_10HBN	80	10	0	0	0	10
37	TPE_siBF_si1HBN	89	10	0	0	0	1
38	TPE_siBF_si5HBN	85	10	0	0	0	5
39	TPE_siBF_si10HBN	80	10	0	0	0	10
40	TPE_GF	90	0	10	0	0	0
41	TPE_GF_0,25BA	89,75	0	10	0	0,25	0
42	TPE_GF_0,5BA	89,5	0	10	0	0,5	0
43	TPE_GF_1BA	89	0	10	0	1	0
44	TPE_GF_si0,25BA	89,75	0	10	0	0,25	0
45	TPE_GF_si0,5BA	89,5	0	10	0	0,5	0
46	TPE_GF_si1BA	89	0	10	0	1	0
47	TPE_GF_1HBN	89	0	10	0	0	1

Çizelge 3.2. Malzeme geliştirme çalışmalarında kullanılan malzemelerin ağırlıkça bileşim oranları (devam) (Gül, 2020)

	Malzeme Adı	Hytrel 7246 malzeme ağırlıkça oranı %	Bazalt Elyaf (BF) ağırlıkça oranı %	Cam Elyaf (GF) ağırlıkça oranı %	Karbon Elyaf (CF) ağırlıkça oranı %	Borik asit (BA) ağırlıkça oranı %	Bor Nitrür (HBN) ağırlıkça oranı %
48	TPE_GF_5HBN	85	0	10	0	0	5
49	TPE_GF_10HBN	80	0	10	0	0	10
50	TPE_GF_si1HBN	89	0	10	0	0	1
51	TPE_GF_si5HBN	85	0	10	0	0	5
52	TPE_GF_si10HBN	80	0	10	0	0	10
53	TPE_CF	90	0	0	10	0	0
54	TPE_CF_0,25BA	89,75	0	0	10	0,25	0
55	TPE_CF_0,5BA	89,5	0	0	10	0,5	0
56	TPE_CF_1BA	89	0	0	10	1	0
57	TPE_CF_si0,25BA	89,75	0	0	10	0,25	0
58	TPE_CF_si0,5BA	89,5	0	0	10	0,5	0
59	TPE_CF_si1BA	89	0	0	10	1	0
60	TPE_CF_1HBN	89	0	0	10	0	1
61	TPE_GF_5HBN	85	0	0	10	0	5
62	TPE_CF_10HBN	80	0	0	10	0	10
63	TPE_CF_si1HBN	89	0	0	10	0	1
64	TPE_CF_si5HBN	85	0	0	10	0	5
65	TPE_CF_si10HBN	80	0	0	10	0	10

Bu proje kapsamında 65 adet malzemenin aşınmaya karşı ortaya koyduğu direnç ve mekanik özelliklerinin çıkarılması amacıyla aşağıda belirtilen analizler yapılmıştır.

1-Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR): Mir Arge (İstanbul) firmasındaki Thermo Fisher marka cihaz kullanılmıştır.

2-Aşınma testi: Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstruksiyon Anabilim Dalı Konstruksiyon Laboratuvarında bulunan Nanovea marka tribometre cihazı kullanılmıştır.

3-Çekme testi: Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarında bulunan Shimadzu AG-X universal çekme-basma cihazı kullanılmıştır.

4- Üç nokta eğme testi: Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstruksiyon Anabilim Dalı Konstruksiyon Laboratuvarında bulunan Instron 4411 çekme-basma cihazı kullanılmıştır.

5-Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) analizi: Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstruksiyon Anabilim Dalı Konstruksiyon Laboratuvarında bulunan Jeol JCM-6000 masaüstü taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

6-Isıl iletkenlik katsayısı analizi: Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezinde (DÜBİT) bulunan C-Therm ısı iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu analizlerin sonucunda borik asit takviyesinin ısı iletkenlik katsayısını azalttığı görülmüş, hegzagonal bor nitrür takviyesinin ise ısı iletkenlik katsayısını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu artışın kütlece %10 hegzagonal bor nitrür içeren malzemede önemli bir miktarda meydana geldiği ancak kütlece %1 ve %5 hegzagonal bor nitrür içeren malzemede düşük miktarda bir artış sağladığı görülmüştür (Gül, 2020).

7-Dinamik mekanik analiz (DMA): Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarında bulunan TA Instruments Q800 DMA cihazı kullanılmıştır.

8-Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi: Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarında bulunan TA Instruments Q200 DSC cihazı kullanılmıştır.

9-Termogravimetrik analiz (TGA): Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü İ.D.E.A.L. İleri Malzeme Teknolojileri Laboratuvarında bulunan TA Instruments Q500 TGA cihazı kullanılmıştır.

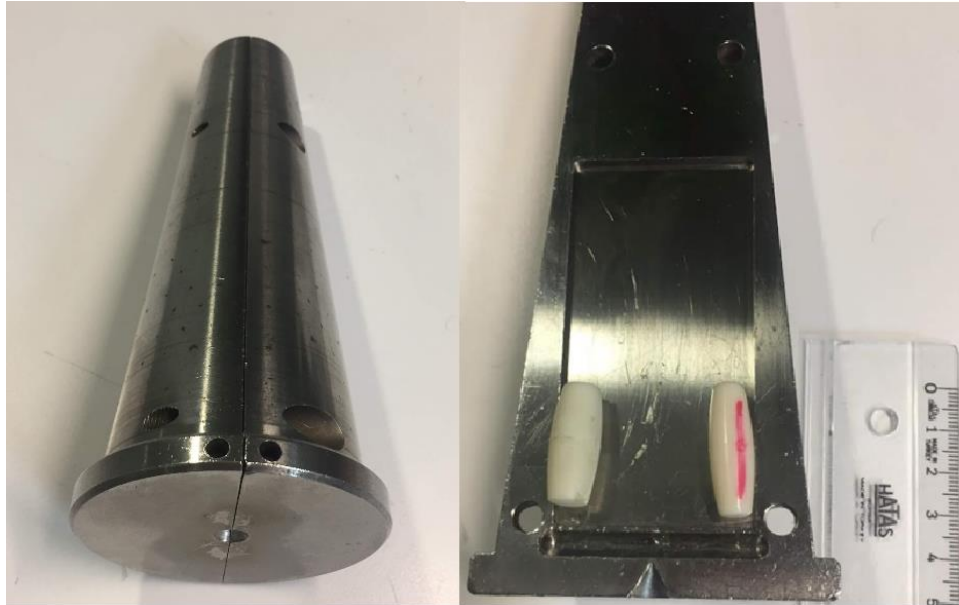
Belirtilen testler ve analizler sonucunda, 65 adet malzemenin karşılaştırmaları yapılmış olup mekanik, ısı ve aşınma performansına göre 12 adet malzeme ile prototip seviyede termoplastik elastomer yay üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Prototip parça üretim çalışmaları TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında Kocaeli Üniversitesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Üretimde Şekil 3.21'de görülen DSM Xplore marka laboratuvar tipi bir enjeksiyon makinası kullanılmış ve basit bir enjeksiyon

kalıbı ile prototiplerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon makinasının kapasitesi gözönüne alınarak her operasyonda aynı anda iki parça alınacak şekilde kalıp tasarımı Şekil 3.22'deki gibi tasarlanmış ve numune üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.21. DSM Xplore marka enjeksiyon makinası



Şekil 3.22. Prototip numune üretimlerinde kullanılan prototip enjeksiyon kalıp örneği

Üretimi gerçekleştirilen prototiplere ait geometrik kontroller gerçekleştirilmiş ve uygunluğu doğrulanan parçaların testleri tamamlanmıştır.

3.2.1 Prototip Üretim Aşamaları

İlgili TUBITAK 1505 projesi dahilinde geliştirilen malzemeler kullanılarak laboratuvar ortamında prototip kalıp ile prototip termoplastik yay üretimleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler 2 gözlü bir prototip kalıp ile üretilmiş ve soğuma işlemi sonrası yolluk ve besleyici temizlemeleri tamamlanmıştır. Toplamda her numuneden 6 adet üretilmiş ve gerekli geometrik ve görsel kontrollerin sonrasında testlerde kullanılmak üzere kategorize edilerek paketlenmiştir.

Numunelere ait görseller Şekil 3.23'te verilmektedir.



Şekil 3.23. Deneysel olarak kullanılan termoplastik elastomer yayların görünümü

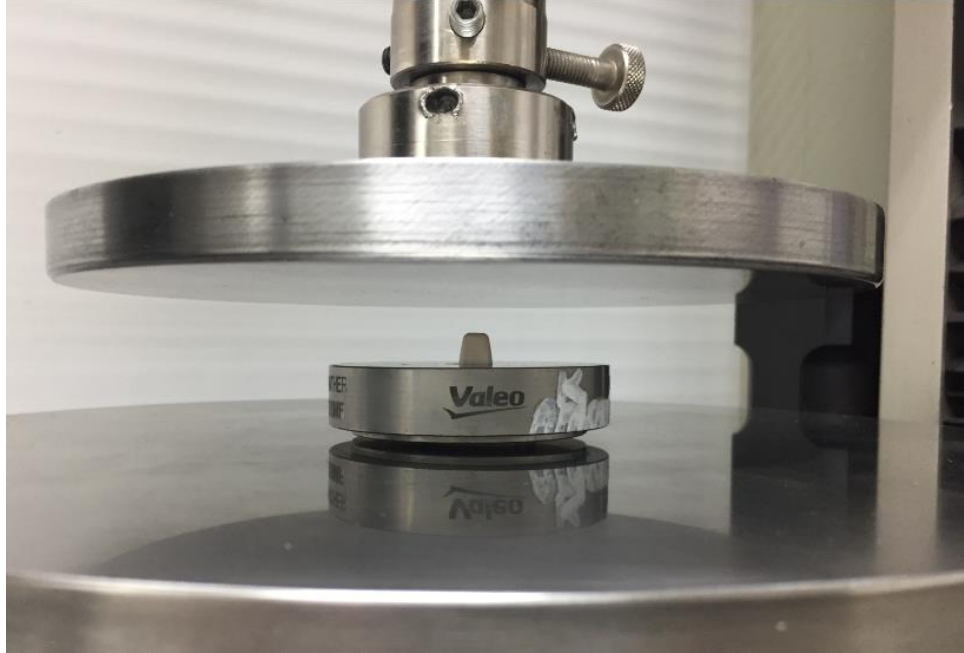
3.2.2 Termoplastik Elastomer Yay Fonksiyonel Ölçümleri

Üretimi gerçekleştirilen parçaların geometrik kontrolleri tamamlanmıştır. Sonrasında bası testi Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi Laboratuvarında bulunan 5kN yük kapasiteli Şekil 3.24'te görülen Zwick Roell marka universal çekme-basma test cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.24. Üniversal çekme-basma test cihazı

Bası testindeki çene hızı 5 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Ölçüm düzeneği Şekil 3.25'teki gibidir.

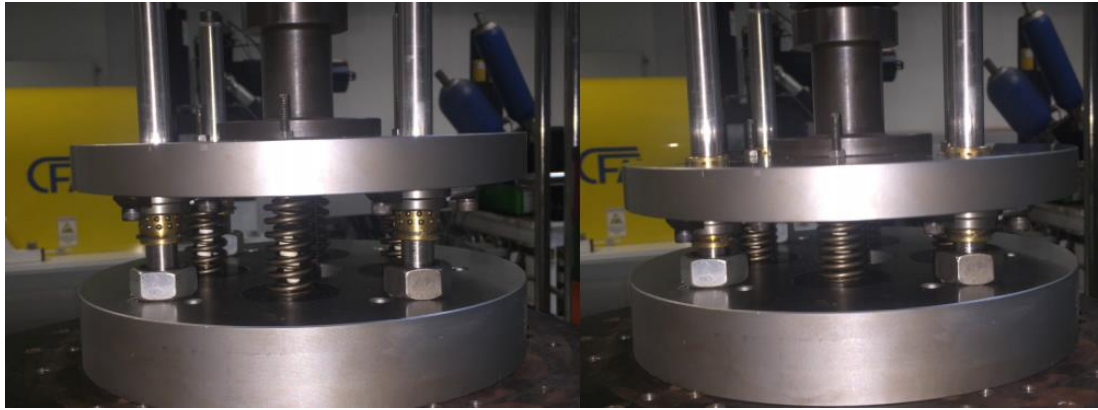


Şekil 3.25. Üniversal çekme-basma test cihazı kullanılarak bası testi uygulaması

Numune parçalarına yukarıdaki resimde görüldüğü gibi iki düz plaka arasında bası testi yapılmıştır. Test/ölçüm sırasında tüm parçalara 1,5 mm bası uygulanmış ve yük/deplasman kaydı alınmıştır.

3.2.3 Termoplastik Elastomer Yay Bası Çevrimi Testi

Bası testinden sonra numunelere bası çevrimi testleri uygulanmıştır. Test için yeni numuneler kullanılmıştır. Bu testin amacı tekrarlanan bası çevrimi ile en az kalıcı boy kaybına (plastik deformasyon) uğrayan malzemenin belirlenip bir sonraki aşama olan yüksek hız altında aşınma testine girecek numuneleri belirlemektir. Test düzeneği Şekil 3.26'daki gibi kurulmuştur.



Şekil 3.26. Bası çevrimi testi düzeneği ve uygulaması (Sol tarafta sıkışmamış durumdaki yay ve termoplastik elastomer gözükmemektedir; sağ tarafta sıkışmış durumdaki yay ve termoplastik elastomer gözükmemektedir. Helisel yaylar test düzeneğinde termoplastik elastomerlere yataklık görevi görmektedir)

Test makinası hidrolik beslemeli bir üniteden güç almakta olup, 8 Hz frekans değerine ve 15 mm deplasman değerine kadar aksel hareket yapabilme kabiliyetine sahiptir. Yük kapasitesi 15kN'dur.

Test sırasında aynı anda 4 adet termoplastik elastomer yay test edilmiştir. Test sırasında tüm yaylara 1,5 mm deplasmanlı bası çevrimi uygulanmıştır. Saniyede 4 bası çevrimi oluşturacak şekilde test makinası test frekansı 4Hz olarak ayarlanmıştır. Test öncesinde

tüm termoplastik elastomer yaylara ait toplam boy miktarları ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır.

Test sırasında 1, 2, 5, 10, 100, 1000, 10000, 30000, 50000, 100000, 200000 çevrimleri sonrası parçaların boyları ölçülmüş ve gerçekleşen boy değişimleri kayıt altına alınmıştır.

3.2.4 Termoplastik Elastomer Yay Ömür Testi

Ömür testine ait test koşulları daha önce Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş.'ye ait bir projede çalışılan ve bu projeye ait araç testlerinde oluşan yüksek aşınmaları tekrarlayan koşulları verecek şekilde belirlenmiştir.

Ömür testi, tez konusunun belirlenmesine neden olan araç üzerinde çalışan termoplastik elastomer yayların üzerinde görülen aşınmaların hızlandırılmış bir test yöntemi ile test makinası üzerinde tekrarlayabilme çalışmaları ile başlamıştır. Bu çalışmalar sonucunda araç üzerinde test edilen termoplastik elastomer yaylar birebir aynı geometri ve malzeme ile test edilmişler ve araçta yüksek kilometre kullanımı sonrası oluşan aşınma durumu kısa sürede tekrarlanabilmiştir. Şekil 3.27'de araçta ortaya çıkan aşınmış termoplastik elastomer yaylara ait görüntü verilmektedir.



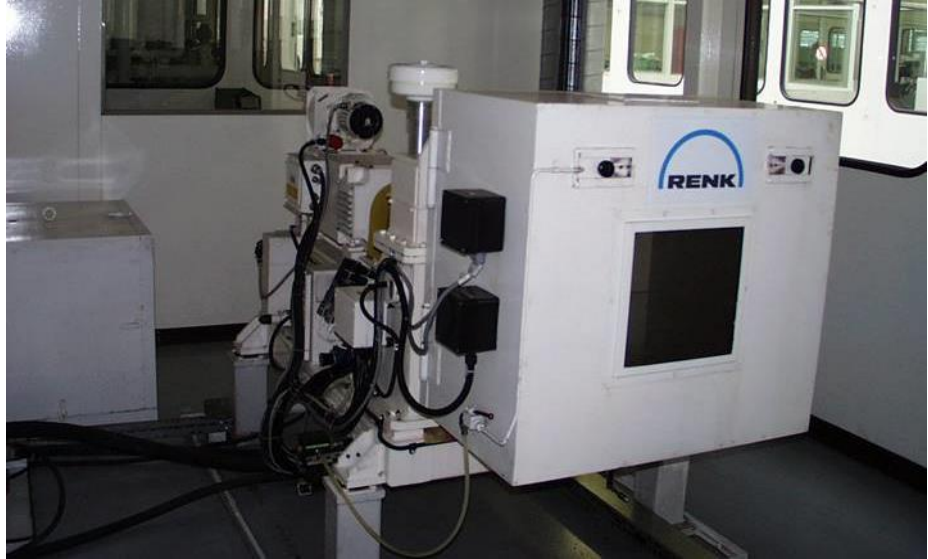
Şekil. 3.27. Araç testinden çıkan aşınmış termoplastik elastomer yaylar

Şekil 3.28’de ömür testi şartları ile test edilmiş termoplastik elastomer yayların test sonrası görünüşleri verilmektedir. Böylelikle test ile araçta görülen aşınma durumu tekrarlanabilmiştir.



Şekil. 3.28. Hızlandırılmış test ile elde edilmiş termoplastik elastomer yay üzerindeki aşınmalar

Bu çalışmalar sırasında Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. test laboratuvarındaki dinamik test makinası kullanılmıştır. Makinanın maksimum hız kapasitesi 7500 devir/dak’dır. $\pm 100^\circ$ olan bir dönüş açısına sahiptir. Toplam ± 1250 Nm tork değerinde çalışabilmektedir. İlgili test makinasının görünümü Şekil 3.29’daki gibidir.



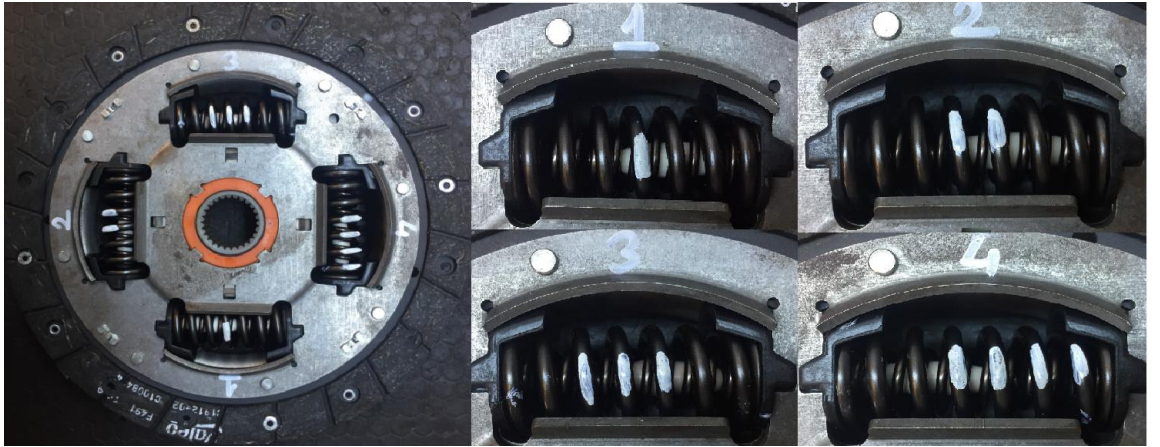
Şekil. 3.29. Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. bünyesinde bulunan ömür testi test makinası

Yapılan hızlandırılmış test koşulları oluşturma çalışmaları sonucunda uygulanacak ömür testine ait koşullar aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Test sırasında uygulanacak motor torku : 410 Nm
- Ortam sıcaklığı : 60°C
- Toplam çevrim sayısı : 30
- 1 çevrim içeriği (toplam 5 saat 15 dakika):
 - 1 saat 1800 alt çevrim : + 1 x motor torku / - 0,5 x motor torku (frekans 0,5 Hz, dönme hızı 2000 rpm)
 - 4 saat 15 dakika 107100 alt çevrim: + 1x motor torku +30Nm / + 1 x motor torku -30 Nm (frekans 7 Hz, dönme hızı 5000 rpm)

Yukarıdaki koşullarda toplam otuz çevrimden oluşan test, bir adet tork limitleyici ile tamamlanmış ve tork limitleyici içinde her yay penceresi içine ayrı malzemelerde termoplastik elastomer yaylar yerleştirilmiştir. Böylelikle aynı test için dört ayrı malzeme aynı anda test edilmiş, koşulları eşitlenmiş ve süreden tasarruf sağlanmıştır.

Herhangi bir teste tabi tutulmamış yeni numuneler ile bir tork limitleyici disk kompleksi toplanmış ve ömür testine hazırlanmıştır. Tork limitleyici disk kompleksi görünümü Şekil 3.30'da verilmiştir.



Şekil 3.30. Disk kompleksi ve pencerelerin içerisinde bulunan termoplastik elastomer numuneler

Test sonrasında parçaların aşınma derinliği ölçümleri Mahr marka form tarama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm cihazı aşağıdaki gibidir ve ölçümler Şekil 3.31'deki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.31. Form tarama ölçüm cihazı ve aşınma ölçümü

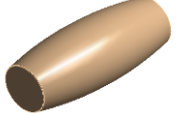
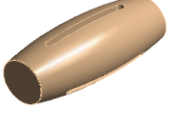

3.3 Termoplastik Elastomer Yay Geometrik İyileştirme Çalışmaları

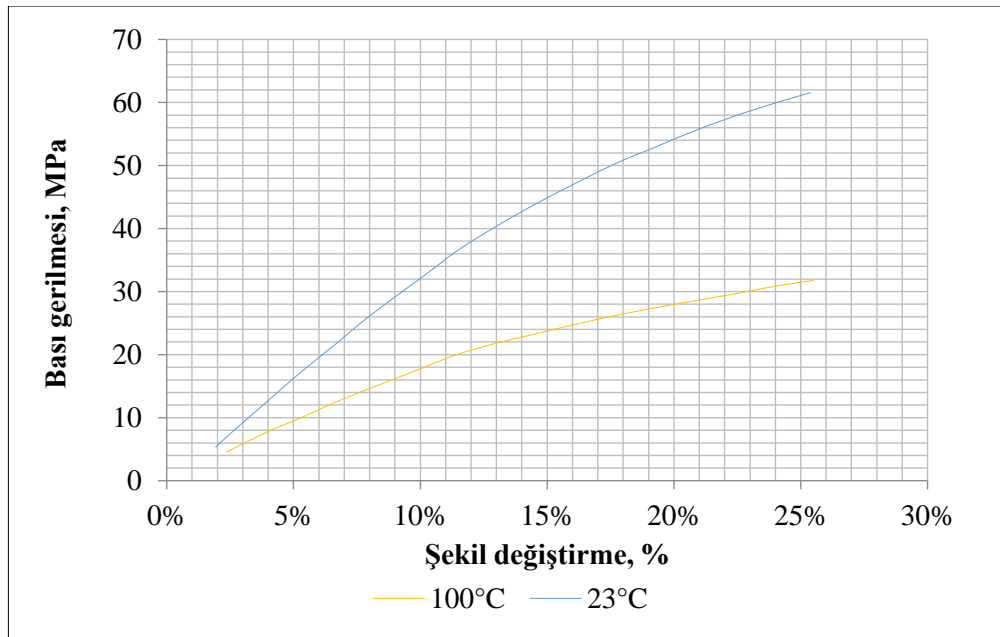
3.3.1 Sonlu Elemanlar Malzeme Modeli ve Korelasyon Çalışmaları

Farklı termoplastik elastomer yay geometrileri, sonlu elemanlar analizleri ile karşılaştırmalı olarak incelenerek, gerek yük karakteristiği gerekse boy kaybı performansı bakımından en iyileştirilmiş ve kullanılabilir geometri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bunun için yeni ve mevcut geometriler üzerine geometrik kısıtlar belirlenerek hesaplamalar tamamlanmıştır. Çalışmaların tamamlandığı geometriler Çizelge 3.3'te verilmektedir.

Sonlu elemanlar analizi çalışmalarında Dupont firmasına ait bir termoplastik elastomer malzeme (Hytrel 7246) kullanılmıştır. Malzemeye ait katalogta verilen bası gerilmesi altında şekil değiştirme grafiği Şekil 3.32'de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan termoplastik elastomer yay geometrileri

Kanalsız temel geometri	
Dikey kanallı geometri	
Yatay kanallı geometri	
Yerfıstığı şekli	



Şekil 3.32. Hytel 7246 malzeme katalog özellikleri

Şekil 3.32’de verilen malzemeye ait katalog özelliklerini sonlu elemanlar analizlerinde kullanmak için, gerçek gerilme – birim şekil değiştirme (true stress-strain) dönüşümünün

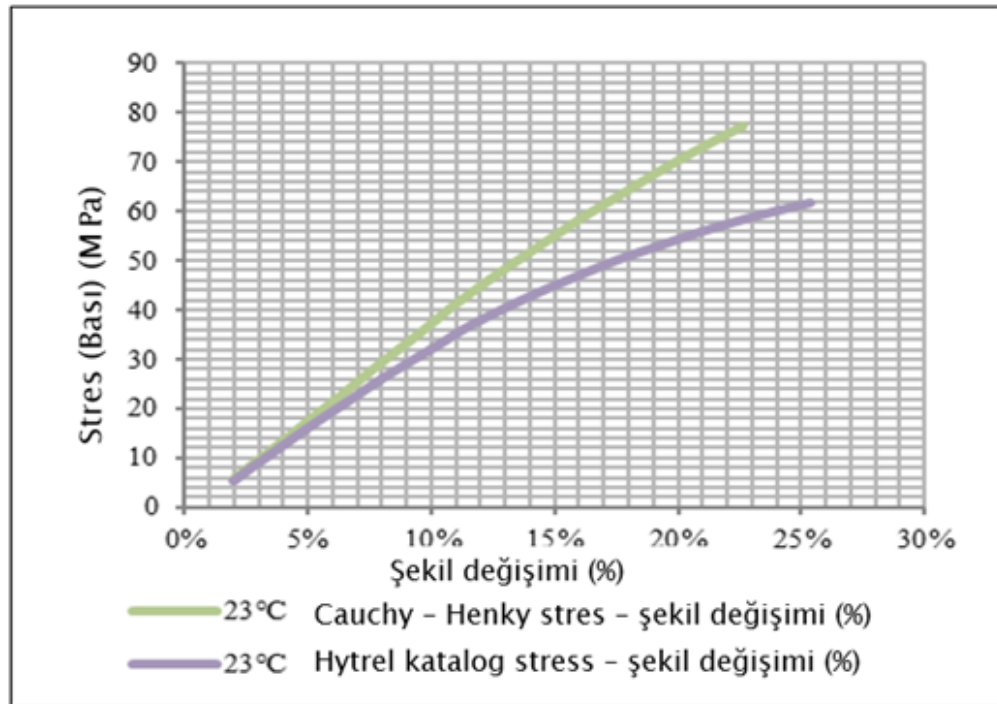
yapılması gerekmektedir (Dean ve ark. 2004). Bu dönüşüm için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$\sigma_t = \sigma_e(1 + \varepsilon_e) \quad (3.2)$$

σ_t yukarıdaki denklemde Cauchy gerilme değerini göstermektedir. Henky şekil değiştirme-true strain değeri “ ε_t ” ise aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_e) \quad (3.3)$$

Sonlu elemanlar analizlerinde, malzeme verisi olarak kullanmak için bu dönüşümler yapılmış olup aşağıdaki grafikte sonuçlar görülebilir.



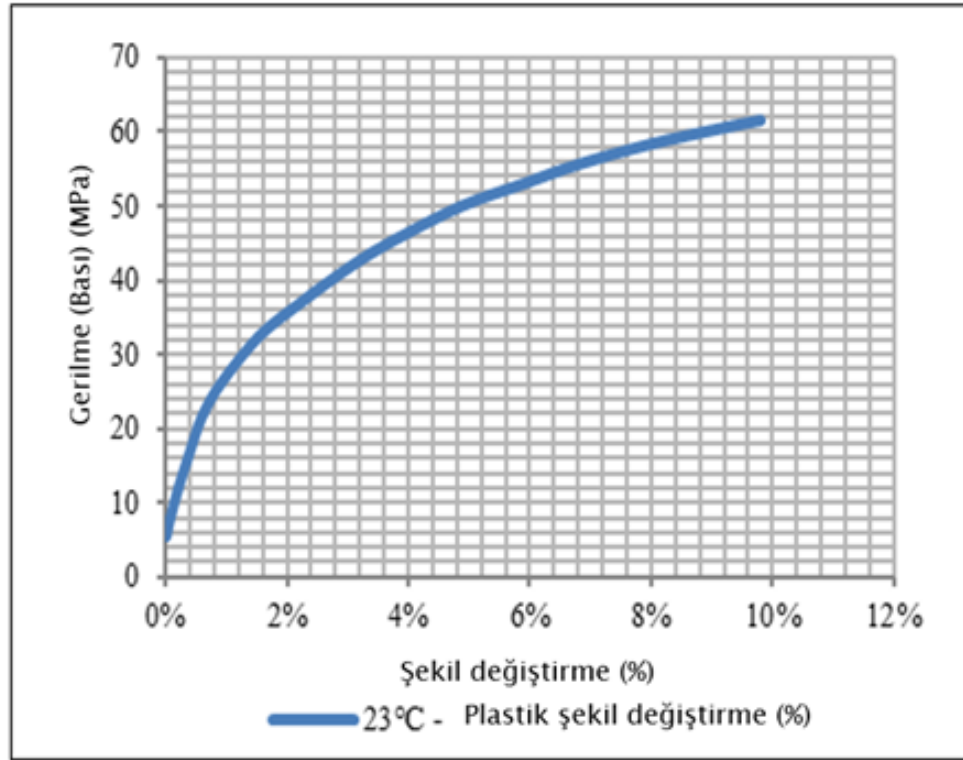
Şekil 3.33. Hytrel 7246 malzeme Cauchy – Henky gerçek gerilme – birim şekil değiştirme grafiği katalog özellikleri

Hesaplanan gerçek gerilme – birim şekil değiştirme değerleri ile malzemenin elastisite modülü 395 MPa olarak hesaplanmış olup, bu değer malzeme katalog değeri ile uyumludur. Hesaplarda 0,4 Poisson oranı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizlerinde

multilinear isotropic elastisite malzeme modeli kullanılmıştır. Bu malzeme modelini kullanmak için Ansys workbench yazılımına plastik birim şekil değıştirme değęerlerini girmek gereklidir. Bu özellik aşağıdaki denklem ile elde edilmiştir (Dean ve ark. 2004).

$$\varepsilon_p = \varepsilon_e - \left(\frac{\sigma_e}{E}\right) \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklem ile hesaplanan plastik şekil değıştirme bölgesi birim şekil değıştirme grafiği şekil 3.34'te verilmektedir.



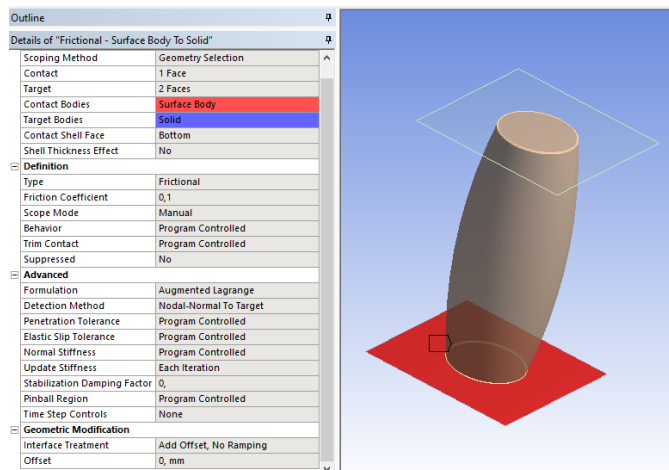
şekil 3.34 Hytel 7246 malzemesi plastik şekil değıştirme bölgesi için gerçek gerilme – birim şekil değıştirme grafiği

Elde edilen malzeme özellikleri ile birlikte Ansys workbench yazılımında “Isotropic Elasticity” malzeme modeli kullanılmış ve “ Multilinear Isotropic Hardening” özelliği eklenmiştir.

Sonlu elemanlar hesaplamaları analiz modelinde “Quadrilateral mesh” elemanları kullanılmıştır. Ayrıca “Face sizing” fonksiyonu ile kullanılacak geometrilere bulunan dar bölgelerde mesh yoğunluğu artırılmıştır. Kullanılan mesh elemanlarının büyüklük değeri 0,5 mm olarak belirlenmiştir. Yapılan korelasyon çalışmalarında ideal büyüklük ve hesap zamanı çalışmasına göre bu değer belirlenmiştir.

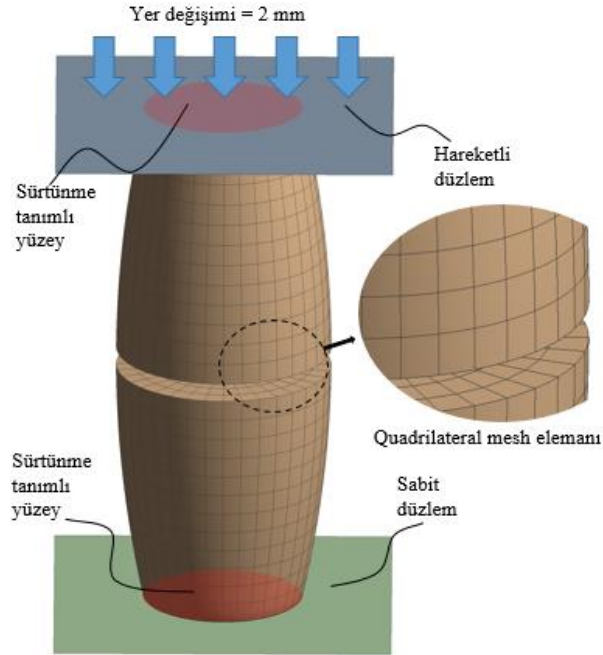
Termoplastik elastomer yay ile temas halinde olan alt ve üst tablalar ile sürtünme tanımlı yüzey tanımlanmış ve sürtünme katsayısı olarak 0,1 değeri kullanılmıştır. Yapılan korelasyon çalışmaları sonucunda 0,1 sürtünme katsayısı değeri ile hesap sonuçlarının, gerçek ölçüm sonuçlarına göre en yakın sonucu verdiği tespit edilmiştir. Bası testinin sonlu elemanlar analizi ile simülasyonu üzerine bir çalışma Woo ve Kim (2006) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada elastomer bir malzemeye ait bası testi sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve çalışma sonucunda 0,1 ve 0,05 sürtünme katsayısı değerlerinin gerçek durum ile şekil değişimi açısından en yakın değeri vermekte olduğunu bulmuşlardır. Aynı çalışmada ideal sürtünmesiz ortamın, yüzeyler arasında bir yağlayıcı olduğunda dahi yakalanamayacağını ve sonlu elemanlar analizlerinde düşük de olsa 0,1 bir sürtünme katsayısı kullanılması gerektiğini açıklamışlardır.

Temas girişlerinde formülasyon Augmented-Lagrange formülasyonu olarak seçilmiş ve “detection method” olarak “Nodal-Normal to Target” olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.35. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan temas özellikleri

Yapılan sonlu elemanlar analizlerinde sınır şartları Şekil 3.36'daki gibi belirlenmiştir.

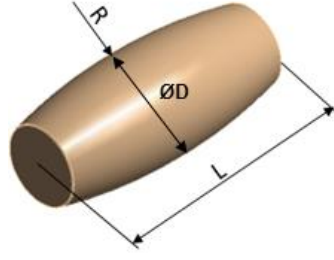


Şekil 3.36. Sonlu elemanlar analizleri sınır şartları

3.3.2 Deneysel Tasarım Çalışmaları

Deneysel tasarım çalışmalarında deney noktaları için parametrelere ait minimum ve maksimum çalışma aralıkları belirlenmiş ve bu aralıklara göre “Optimal Space-Filling Design” methodu ile deney noktaları örnekleme yapılmıştır.

Deneysel tasarım çalışmalarında kullanılan parametreler aşağıdaki şekilde verilmektedir. Malzeme modeli ve hesaplarda kullanılan geometrinin parameterik geometrik değişkenleri Şekil 3.37'deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 3.37. Temel geometri ile tamamlanan DOE çalışmalarında kullanılan parametrik değişkenler

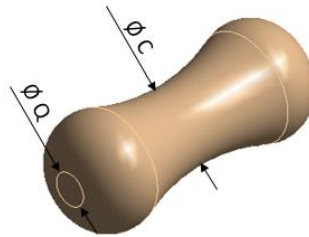
Bu tasarım parametrelerinin hesaplarda kullanılan minimum ve maksimum değer aralıkları ise Çizelge 3.4'te verilmektedir.

Çizelge 3.4. Temel kanalsız geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler

Parametre	Minimum	Maksimum
L - Boy [mm]	22,3	28,3
R- Dış yarıçap [mm]	48	70

Çizelge 3.4'teki değişkenler ile tamamlanan DOE çalışmalarının sonuçları aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Yukarıdaki şekilde ØD en büyük çap sabit tutulup dış yüzey formunun dairesellik çapı değiştirilerek bunun yük ve toplam boy kaybına etkisi incelenmiştir.

Daha sonraki çalışmalar aynı metodoloji ile boy kaybı üzerine etkili parametrelerin diğer geometriler üzerine etkisini incelemek üzere yapılmıştır.



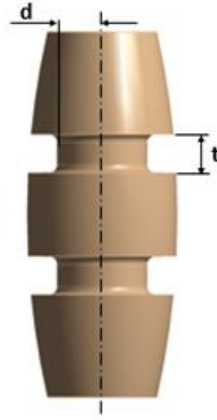
Şekil 3.38. Yer fıstığı şeklindeki geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan parametrik değişkenler

Yer fıstığı geometrisinin analizlerinde kullanılan parametrik değişkenler Şekil 3.38’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Yer fıstığı şekli geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler

Parametre	Minimum	Maksimum
ØC İnce kesit çapı [mm]	3	4
ØQ Taban dairesi çapı [mm]	0,1	2,5

Yatay kanalları bulunan geometrinin analizlerinde kullanılan parametrik değişkenlerin gösterimi Şekil 3.39’da, matematiksel aralıkları ise Çizelge 3.6’da verilmiştir.

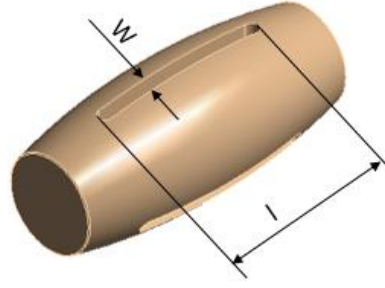


Şekil 3.39. Yatay kanalları bulunan geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan parametrik değişkenler

Çizelge 3.6. Yatay kanalları bulunan geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler

Parametre	Minimum	Maksimum
d kanal dibi yarıçapı [mm]	1	2,5
t kanal genişliği [mm]	0,8	2,2
Kanal adeti	1	2

Dikey kanalları bulunan geometrinin analizlerinde kullanılan parametrik değişkenler Şekil 3.40’taki gibidir.



Şekil 3.40. Dikey kanalları bulunan geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan parametrik değişkenler

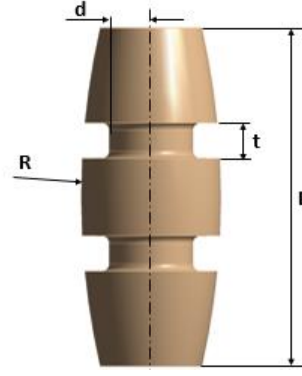
Belirlenen bu parametrelerin deneysel tasarım çalışmalarında kullanılan minimum ve maksimum aralıkları Çizelge 3.7’de verilmektedir. Deneysel tasarım çalışmaları bu değerlerin arasındaki kalıcı boy kaybı değerinin çıkarılmasıyla tamamlanmıştır.

Çizelge 3.7. Dikey kanalları bulunan geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler

Parametre	Minimum	Maksimum
w kanal genişliği [mm]	1	2,5
l kanal uzunluğu [mm]	10	16
Kanal adeti	2	3

3.3.3 Tasarım Kuralları Oluşturma Çalışmaları

Son adım olarak en iyi boy kaybı performansını veren yatay kanallı geometriye ilave parametrik değişkenler verilerek, tasarım kurallarını verecek DOE çalışmaları tamamlanmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan parametrik değişkenler Şekil 3.41’deki gibidir.



Şekil 3.41. Yatay kanallı geometrinin ilave sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan parametrik değişkenleri

Yukarıdaki şekilde gösterilen parametreler ile yapılan sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan minimum ve maksimum değerler Çizelge 3.8’de tablo halinde verilmektedir.

Çizelge 3.8. Yatay kanallı geometrinin sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan geometrik ilave değişkenlerine ait minimum – maksimum değerler

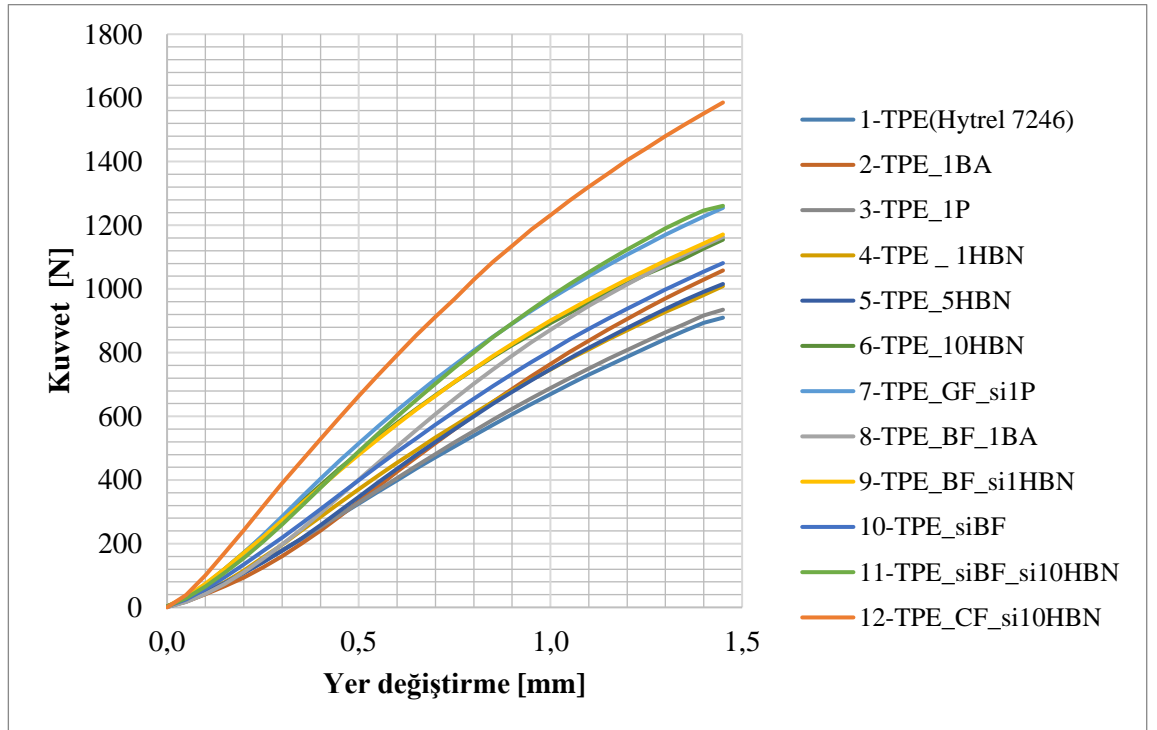
Parametre	Minimum	Maksimum
d kanal dibi yarıçapı [mm]	0,5	3
t kanal genişliği [mm]	0,5	3
L yay boyu [mm]	24	30
R dış çap [mm]	48	70
Kanal adeti	1	3

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Malzeme Geliştirme Çalışmaları Sonuçları

4.1.1 Statik Bası Testi Ölçüm Sonuçları

1,5 mm sıkışma ile gerçekleştirilen basın testi sonuçları tüm malzemeler için ayrı ayrı kaydedilmiştir. Şekil 4.1’de grafikte bu teste ait elde edilen yer değiştirme - kuvvet sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.1. Farklı malzemelerden üretilen termoplastik elastomer yayların statik basın testi sonuçları

Bu test sonucunda yapısında karbon elyaf ihtiva eden malzeme en fazla yük değerine ulaşmıştır. En az yük değerini saf TPE Hytrel 7246 nolu malzemedan üretilen termoplastik elastomer yay vermiş, TPE_1P ve TPE_1HBN bu değere yakın yükler veren diğer malzemeler olmuşlardır.

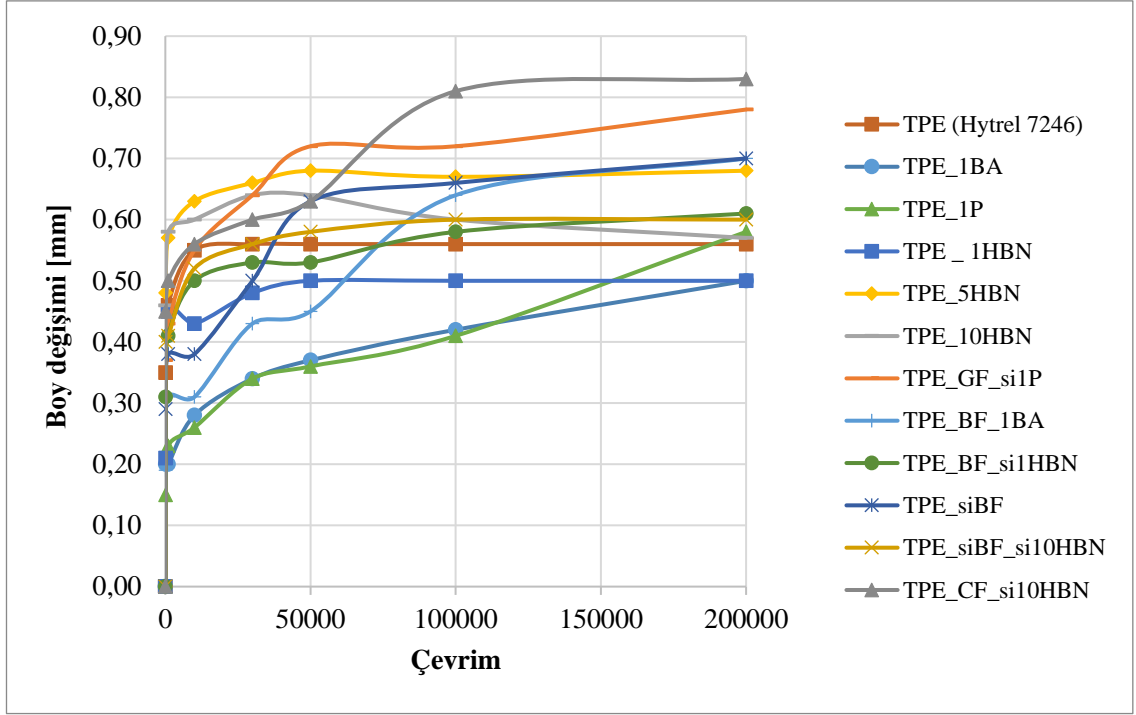
4.1.2 Bası Çevrimi Testi Sonuçları

Bası çevrimi testleri Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi'nde bulunan hidrolik ünite beslemeli aksenal yorulma test makinasında gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda termoplastik elastomer yay boylarındaki değişimler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

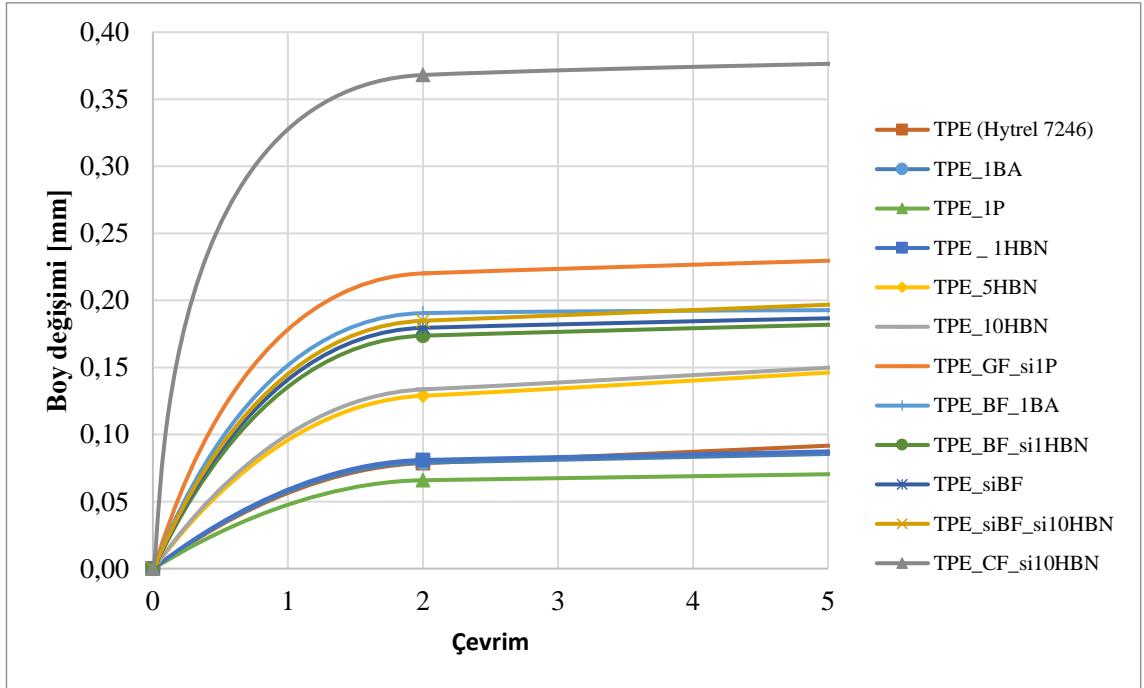
Çizelge 4.1. Farklı malzemelerden üretilen termoplastik elastomer yaylara ait bası çevrimi testi sırasında oluşan boy değişimi sonuçları

Malzeme	Çevrim sayısı / Boy ölçüm değerleri [mm]							
	0	100	1000	10000	30000	50000	100000	200000
TPE (Hytrel 7246)	26,21	25,86	25,75	25,66	25,65	25,65	25,65	25,65
TPE_1BA	26,35	26,15	26,15	26,07	26,01	25,98	25,93	25,85
TPE_1P	26,36	26,21	26,13	26,10	26,02	26,00	25,95	25,78
TPE_1HBN	26,13	25,92	25,68	25,70	25,65	25,63	25,63	25,63
TPE_5HBN	26,30	25,82	25,73	25,67	25,64	25,62	25,63	25,62
TPE_10HBN	26,20	25,74	25,62	25,60	25,56	25,56	25,60	25,63
TPE_GF_si1P	26,52	26,15	26,09	25,97	25,88	25,80	25,80	25,74
TPE_BF_1BA	26,46	26,27	26,15	26,15	26,03	26,01	25,82	25,76
TPE_BF_si1HBN	26,31	26,00	25,90	25,81	25,78	25,78	25,73	25,70
TPE_siBF	26,40	26,11	26,02	26,02	25,90	25,77	25,74	25,70
TPE_siBF_si10HBN	26,40	26,00	25,99	25,88	25,84	25,82	25,80	25,80
TPE_CF_si10HBN	26,48	26,03	25,98	25,92	25,88	25,85	25,67	25,65

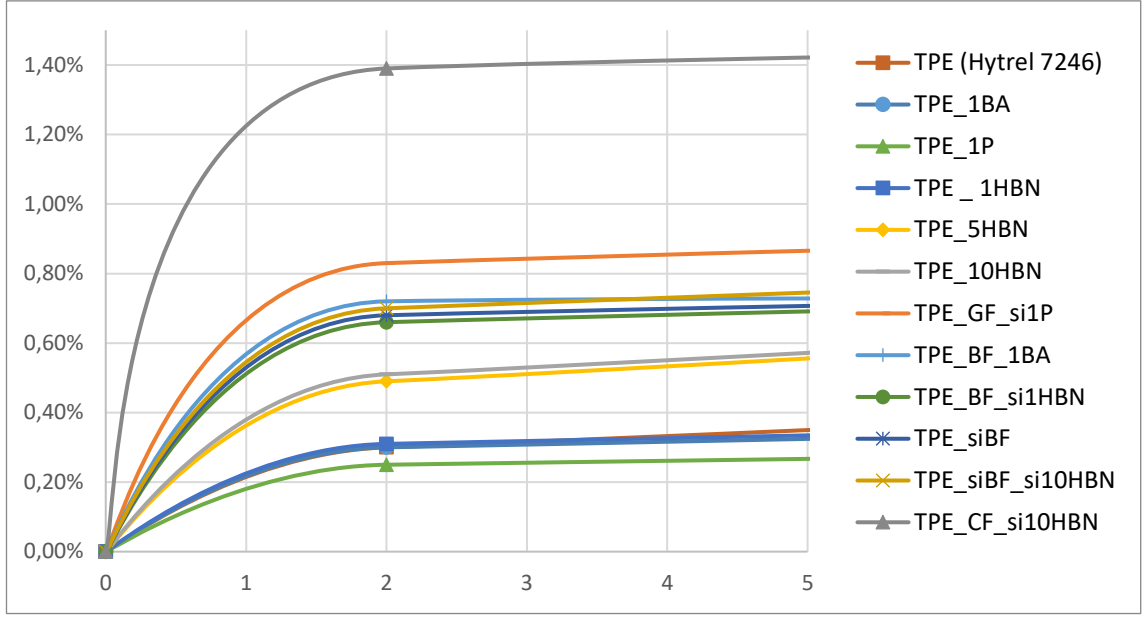
Şekil 4.2'de ise mutlak fark olarak gerçekleşen boy kaybı miktarları verilmektedir. Test sonuçları incelendiğinde en fazla boy kaybının başlangıç çevrimlerinde olduğu görülmektedir. İlk 2 çevrim içinde kalıcı boy kaybının tüm malzemeler için en fazla olduğu tespit edilmiştir. İlk 5 çevrime ait boy kaybının grafiği mm değerinde Şekil 4.3'te, yüzdelik değer olarak ise Şekil 4.4'te verilmektedir.



Şekil 4.2. Farklı malzemelerden üretilen termoplastik elastomer yaylara ait bası çevrimi testi sırasında oluşan boy değişimi sonuçlarının grafik gösterimi



Şekil 4.3. Farklı malzemelerden üretilen termoplastik elastomer yaylara ait bası çevrimi testi sırasında oluşan boy değişimi sonuçlarının grafik gösterimi [mm] – ilk 5 çevrim



Şekil 4.4. Farklı malzemelerden üretilen termoplastik elastomer yaylara ait bası çevrimi testi sırasında oluşan boy değışimi sonuçlarının grafik gösterimi [%] – ilk 5 çevrim

Bu test sonuçlarına göre boy kaybı performansı bakımından en iyi performansı ağırlıkça %1 pomza ihtiva eden malzeme vermiştir. Daha sonra sırasıyla ağırlıkça %1 borik asit içeren TPE_1BA ve ağırlıkça %1 hegzagonal bor nitrür içeren TPE_1HBN en iyi boy kaybı performansını vermişlerdir. Bu malzemelerden sonraki en iyi performansı ise saf TPE Hytre 7246 vermektedir.

Yukarıdaki test sonuçlarına göre en iyi performans vermekte olan 4 malzeme ile yüksek hız altında aşınma testine girecek reçeteler belirlenmiştir. Aday numuneler boy kaybının bası çevriminde en az gerçekleştiği numunelerdir. Minimize edilmiş boy kaybı, üründen çalışma ömrü süresince beklenen ve iyileştirilmesi hedeflenen diğer özelliktir. Aday numuneler; TPE 1BA, TPE 1P, TPE 1HBN şeklindedir ve karşılaştırma yapabilmek için temel malzeme olan saf TPE (Hytre 7246) de kullanılmıştır.

4.1.3 Ömür Testi Uygulaması ve Sonuçları

Ömür testi Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş. bünyesinde bulunan test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Test sonrasında tork limitleyici disk kompleksi sökülmüş ve numunelerin dış yüzeylerindeki aşınmalar ölçülmüş ve görsel olarak karşılaştırılmıştır.

Görseller Şekil 4.5'teki gibidir. Numuneler test sonrası fotoğraflanmıştır. Temizleme işlemi uygulamadan önce fotoğraflar çekilmiştir. Böylelikle numuneler üzerinde test sırasında oluşan sürtünme kaynaklı metal tozları ve aşınma izleri görülmektedir.



Şekil 4.5. Yüksek hız aşınma testi sonrası numune fotoğrafları

Test sonucunda aşınma miktarları kütsel olarak değerlendirilmiş ancak oluşan fark termoplastik elastomer yay ağırlığının çok küçük olmasından dolayı yeterli hassasiyette sağlanamamıştır, bundan dolayı karşılaştırma ayrıca derinlik ölçümü olarak da yapılmıştır. Aşınma derinliği ölçümleri parçaların üzerinde form tarama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin sonucunda oluşan aşınmalara ait özet ölçüm tablosu Çizelge 4.2 ile verilmektedir.

Çizelge 4.2. Ömür testi sonrası ölçülen termoplastik elastomer yayların dış yüzeylerindeki aşınma miktarları

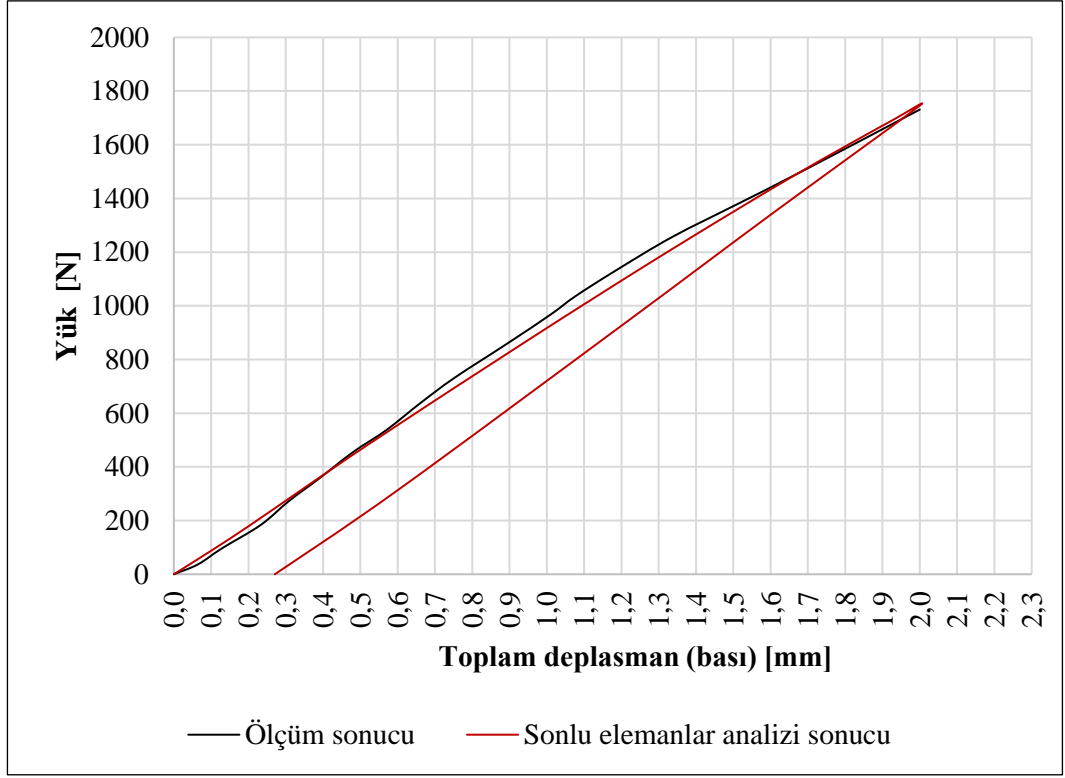
No	Malzeme	Aşınma derinliği [mm]		Aşınma kütlesi [g]		
		minimum	maksimum	Test öncesi	Test sonrası	Aşınma miktarı
1	TPE (Hytrel 7246)	0,028	0,076	1,691	1,690	0,001
2	TPE_1BA	0,016	0,085	1,701	1,700	0,001
3	TPE_1P	0,049	0,071	1,681	1,680	0,001
4	TPE_1HBN	0,025	0,039	1,681	1,680	0,001

Bu sonuçlara göre TPE_1HBN malzemesinin aşınma miktarı bakımından en az miktarda aşınma gerçekleşen malzeme olduğu gözlemlenmiştir. Hegzegonal bor nitür takviyesi ile ısı iletkenlik katsayısında artış olduğu malzeme geliştirme çalışmaları sonucunda elde edilmişti (Gül, 2020). Ömür testinde hegzegonal bor nitür ile elde edilen bu sonuç, ısı iletkenlik katsayısındaki artışın aşınma oluşumuna azaltıcı yönde etki ettiğini göstermektedir.

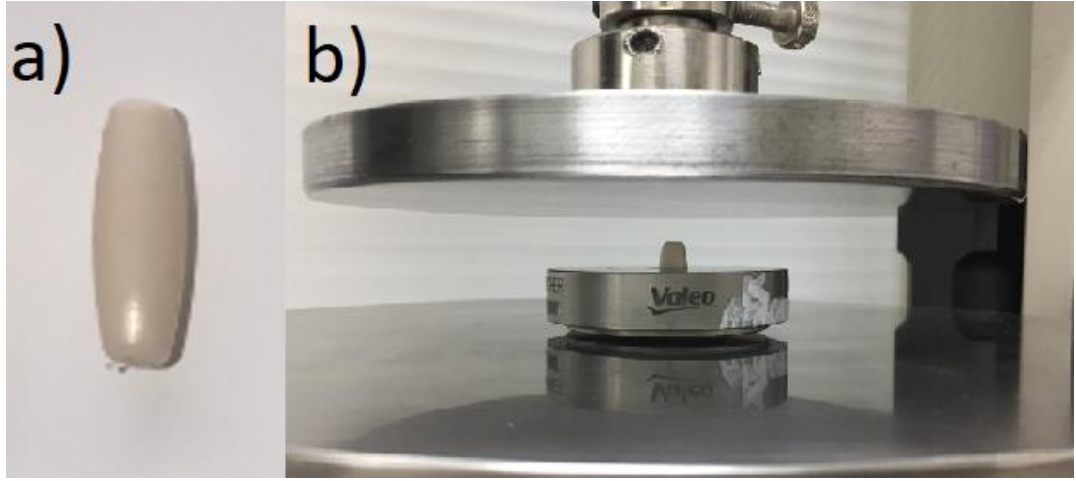
4.2 Sonlu Elemanlar Analizleri ve Geometrik İyileştirme Çalışmalar Sonuçları

Geometrik iyileştirme çalışmaları Ansys Workbench yazılımı ile yapılan sonlu elemanlar analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Başlangıç olarak gerçek parça üzerinde elde edilen statik bası testi sonuçlarının sonlu elemanlar analizi ile korelasyon çalışması yapılarak, deneysel tasarım çalışmaları başlatılmıştır. Bu analiz çalışmalarında kanalsız temel geometri kullanılmıştır. Üretilen Hytrel 7246 malzemeli ve kanalsız temel geometriye sahip termoplastik elastomerin sonlu elemanlar analizleri ile açıklanan malzeme modeli ve sınır şartlarda hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.6'da görülebilir. Grafik üzerindeki siyah eğri bası testi sonucunda elde edilen yük – deplasman eğrisidir. Sadece basma durumuna ait veri alınabildiği için serbest bırakma durumundaki dönüş eğrisi bulunmamaktadır. Kırmızı ile verilen eğri ise sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen eğridir, serbest bırakma durumu sonlu elemanlar analizlerinde elde edilmiştir. Eğrideki başlangıç ve bitiş noktalarının aynı olmayışı parçadaki plastik deformasyon sonucu oluşan kalıcı boy kaybını göstermektedir. Bu değer eğri üzerinde 0,27 mm olarak gerçekleştiği görülebilir.

Çekme-basma test cihazı ile elde edilen sonuçlar, sonlu elemanlar analizlerinde bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbiriyle örtüştüğü görülmüştür.



Şekil 4.6. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile statik bası testi sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.7. Sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan temel kanalsız geometri (a) ve statik bası testine ait görsel (b)

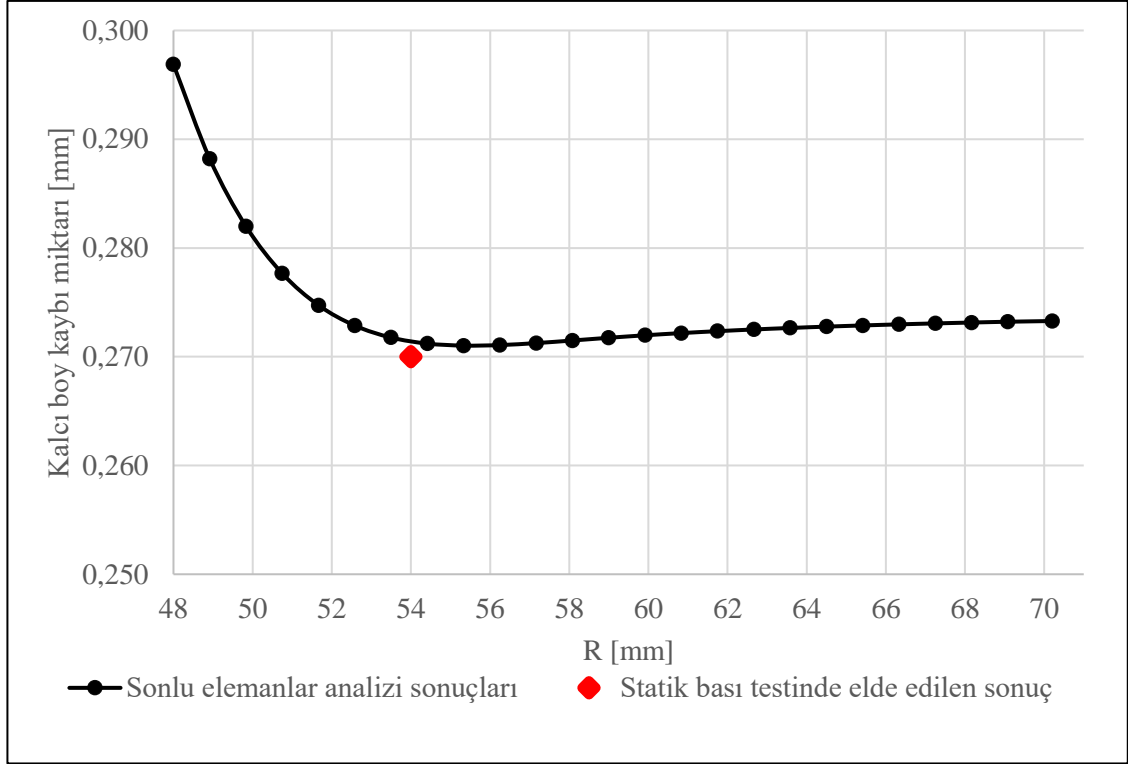
İlgili çalışmanın bir diğer çıktısı da statik bası testi sonucu termoplastik elastomer yay üzerinden görülen kalıcı boy kaybı miktarıdır. Çalışmanın bir parçası olarak öncelikle statik bası testinde uygulanan basma hızının oluşan sonuçlara etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 10 mm/dakika, 20 mm/dakika olan hızlarda 3'er numune ile ölçümler yapılmış ve

oluşan kalıcı boy kaybı değerleri kaydedilmiştir. Sonuçlara göre basma hızı değerinin kalıcı boy kaybı miktarına bir etkisi yoktur. Çizelge 4.3'te sonuçlar verilmektedir.

Çizelge 4.3. Farklı bası testi hızlarında termoplastik elastomer yay üzerinde oluşan kalıcı boy kaybı miktarları

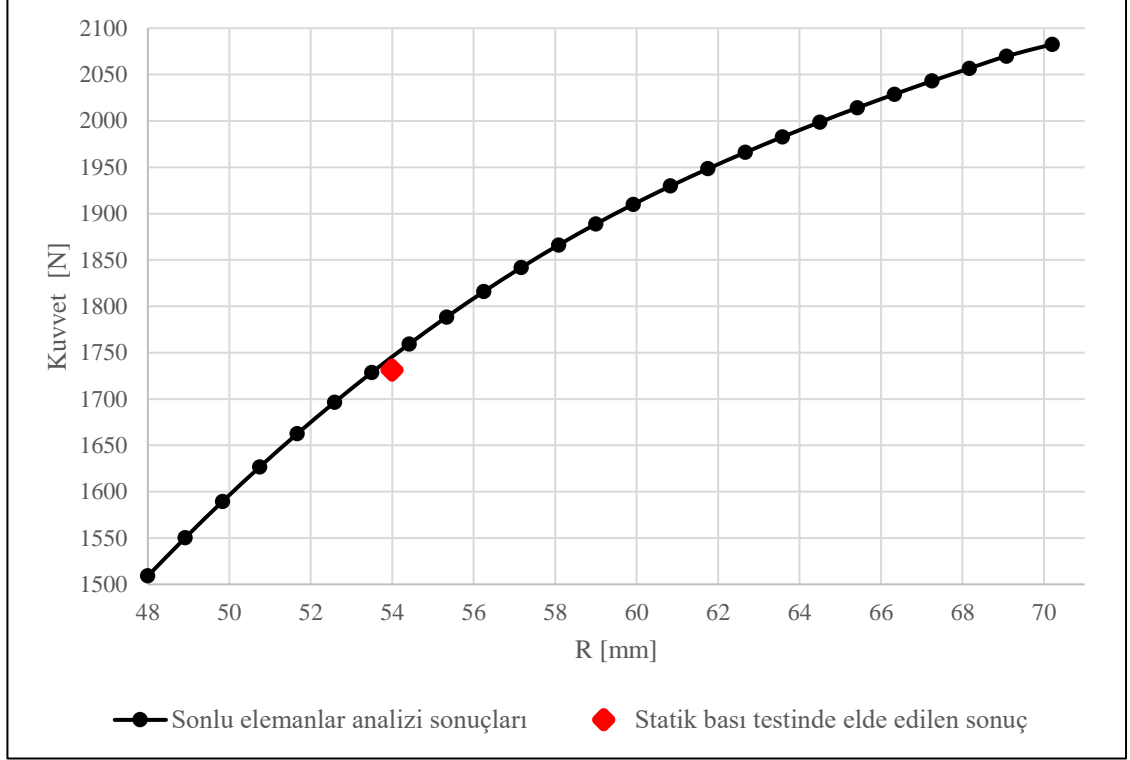
Test hızı	Numune	Kalıcı boy kaybı miktarı (mm)
10 mm/dakika	1	0,27
	2	0,28
	3	0,26
20 mm/dakika	1	0,27
	2	0,26
	3	0,26
Ortalama değer		0,267

Test hızının kalıcı boy kaybı üzerindeki etkisinin önemsenmeyecek kadar az olduğunun tespiti sonrası, geometrik değişkenlerin boy kaybı ve elde edilen yük değeri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu değerlerin sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen sonuçları ve gerçek parça sonuçlarının karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu doğrultuda termoplastik elastomer yayın dış küresel yüzeyinin yarıçapı değeri (R parametresi) değişimi ile boy kaybı değişimi incelenmiştir. Şekil 4.8'de boy kaybı değerinin sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen değişim sonuçları ve gerçek parçada ölçülen değerlerin bu sonuçlara göre karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 4.8. R parametresinin kalıcı boy kaybı üzerine etkisininin sonlu elemanlar analizi ve gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması

R parametresinin aynı şekilde statik bası çevriminde elde edilen yük değeri üzerindeki değişimi de benzer şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aynı şekilde sonlu elemanlar analizleri sonucu ve gerçek ölçüm sonucu karşılaştırması olarak Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. R parametresinin kuvvet üzerine etkisinin sonlu elemanlar analizi ve gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması

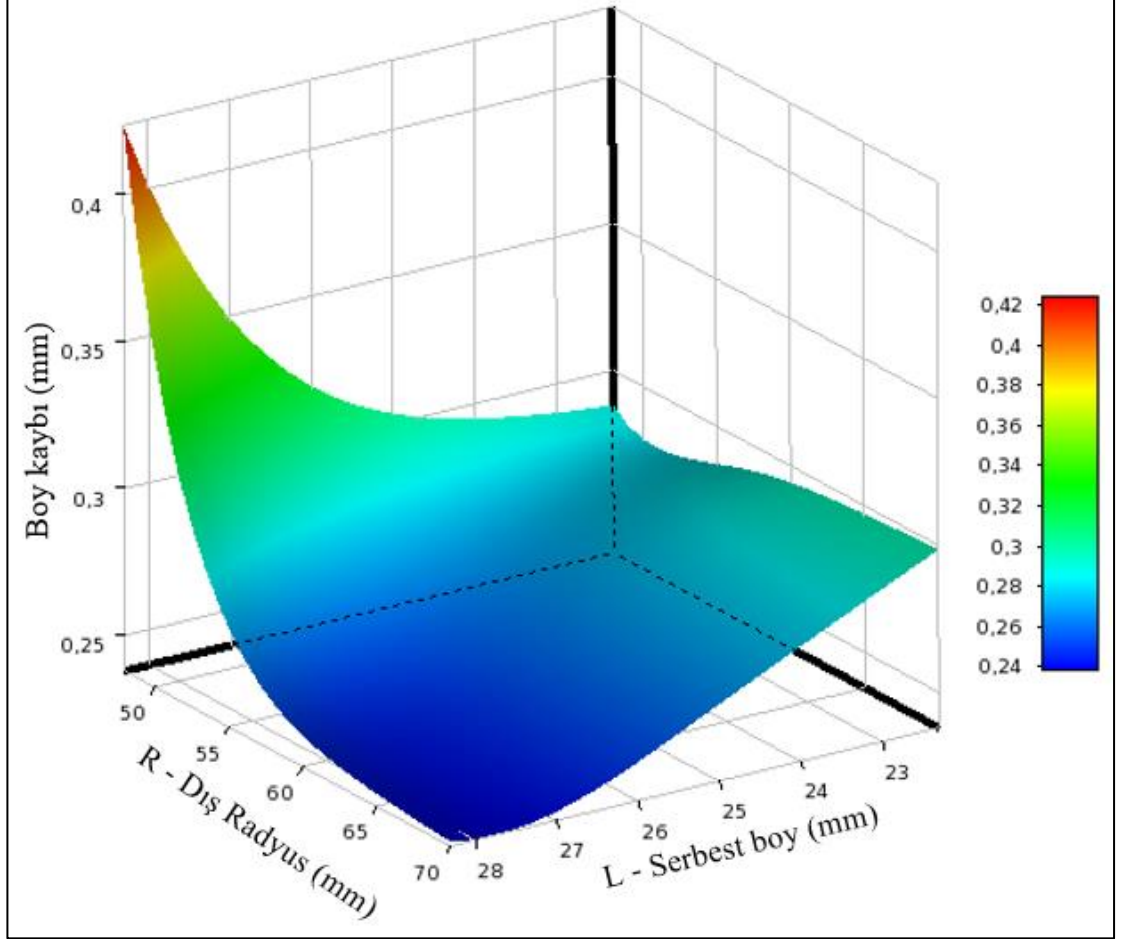
4.2.1 Deneysel Tasarım Çalışmaları Sonuçları

Yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçlara göre sonlu elemanlar analizleri ile gerçek ölçüm sonuçlarının örtüştüğü görülmüştür. Bu sebeple elde edilen model ile tasarım iyileştirme çalışmalarının bir sonraki aşaması olan deneysel tasarım çalışmaları tamamlanmıştır.

Temel geometri üzerindeki geometrik değişikliklerin, kalıcı boy kaybı ve yük değeri üzerindeki etkilerini çıkarmak amacıyla deneysel tasarım çalışmalarına kanalsız temel geometri ile yapılan çalışmalar ile başlanmıştır.

Belirlenen parametreler ile tamamlanan deneysel tasarım çalışmalarına ait sonuçlar Şekil 4.10'da verilmiştir. Buna göre dış yüzey çapındaki düşüş kalıcı boy kaybının artmasına sebep olmaktadır. Başka bir deyişle dış yüzey çapındaki düşüş ile malzemenin verdiği kalıcı boy kaybı tepkisi artmaktadır. Toplam boyun artışı ise kalıcı boy kaybı üzerinde

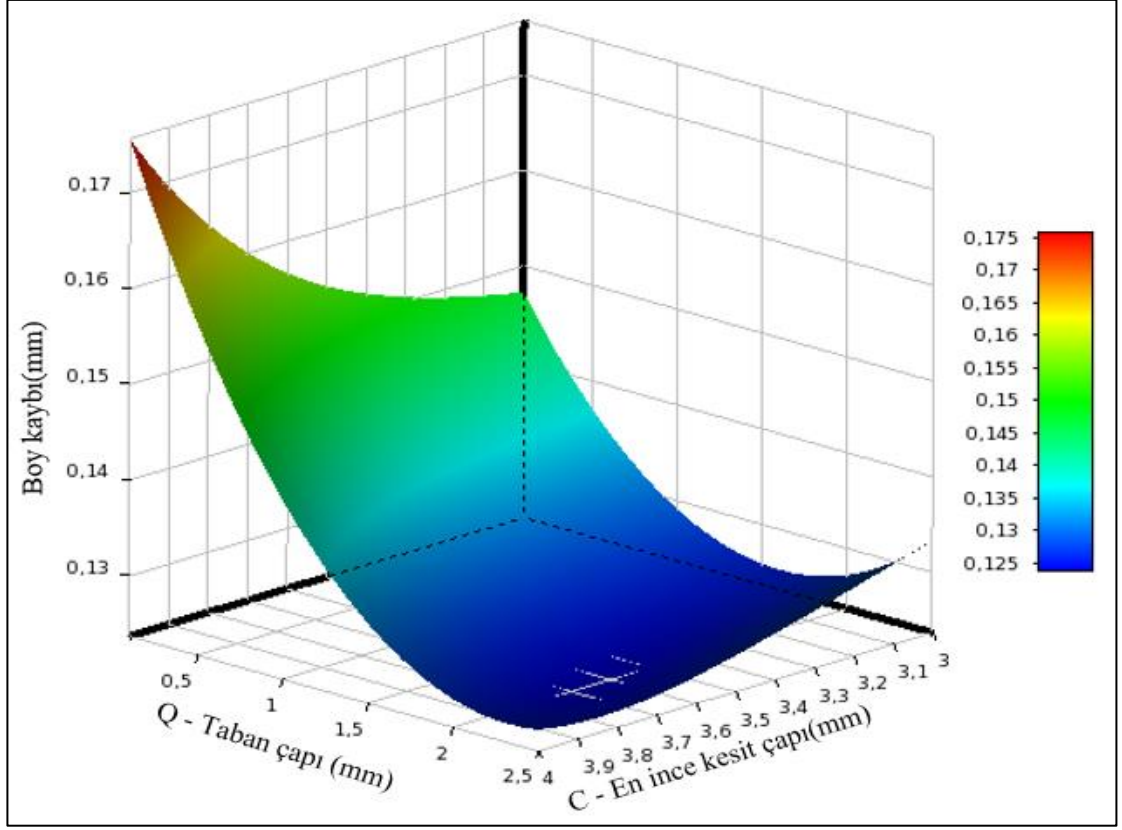
azalma yaratmaktadır. En düşük kalıcı boy kaybı toplam boyun maksimum ve dış yüzey çapının da maksimum olduğu şartta gerçekleşmektedir. Bu oluşan durum plastik deformasyonun malzemede artmasının bir sonucudur. En düşük boy kaybı dış radyus R maksimum ve toplam boyunda arttığı durumda gerçekleşmektedir.



Şekil 4.10. Temel kanalsız geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları

Elde edilen analiz modeli ile sonraki aşamada farklı geometrilerin deneysel tasarım yöntemi ile incelenmesine devam edilmiştir. Benzer şekilde farklı geometrilerin bası çevrimi altında boy kaybı karakteristikleri incelenmiştir. İlk çalışma yer fıstığı şekli geometrisi için tamamlanmıştır.

Tamamlanan deneysel tasarım çalışmaları sonucunda yer fıstığı şekli geometrisi için Şekil 4.11'deki sonuçlar elde edilmiştir.



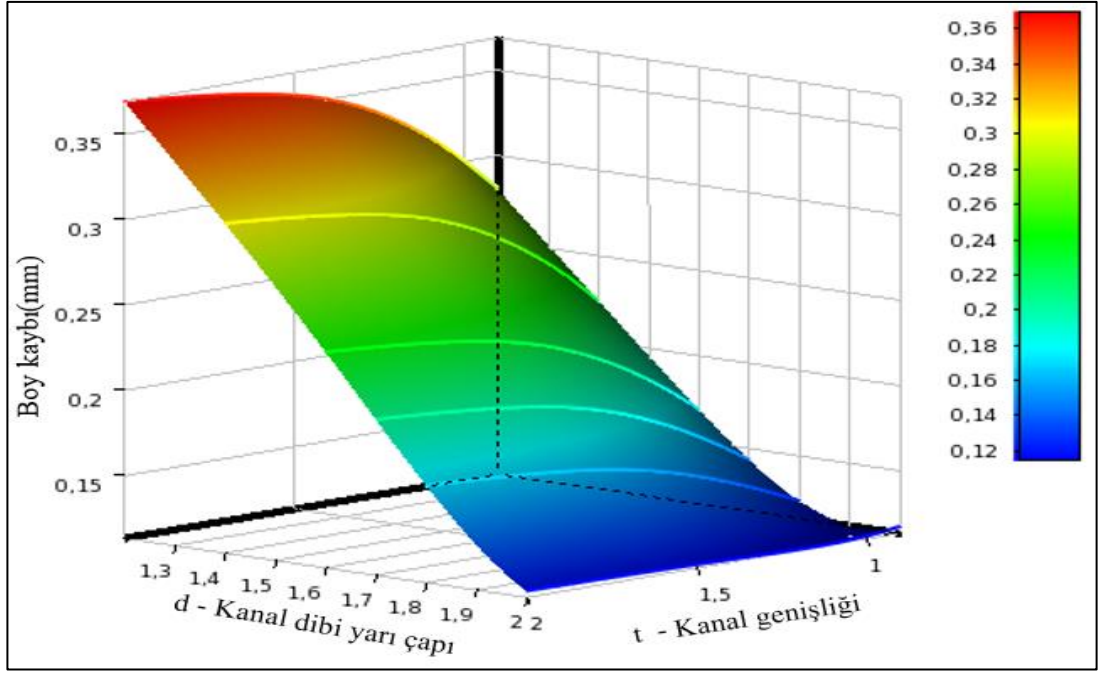
Şekil 4.11. Yer fıstığı şekli geometrisine ait deneysel tasarım çalışması sonuçları

Bu grafikte görüldüğü gibi taban çapı arttıkça ve ince kesit arttıkça boy kaybı en aza inmektedir.

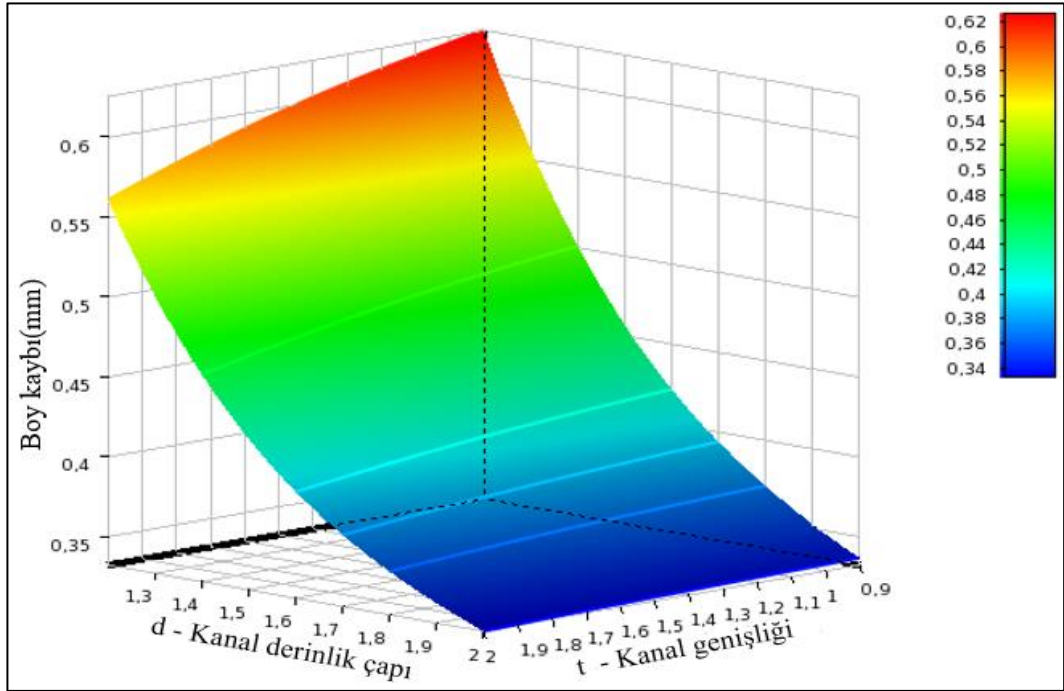
Sonraki çalışma, yatay kanalları bulunan geometrinin benzer şekilde deneysel tasarım çalışması ile boy kaybı karakteristiğinin çıkarılmasıdır.

Belirlenen değişkenler ile analizler tamamlanmış ve Şekil 4.11’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre kanal sayısından bağımsız olarak kanal genişliğinin kalıcı boy kaybı oluşmasında etkisi göz ardı edilecek seviyededir.

Bir veya iki kanallı geometriler için de kanal dip yarıçapının artması kalıcı boy kaybı üzerinde azaltıcı bir etki yaratmaktadır. Kanal dip yarıçapının değişmesi diğer tüm çalışmalar ile kıyaslandığında boy kaybı üzerinde en fazla değişkenlik yaratan parametre olarak bulunmuştur.

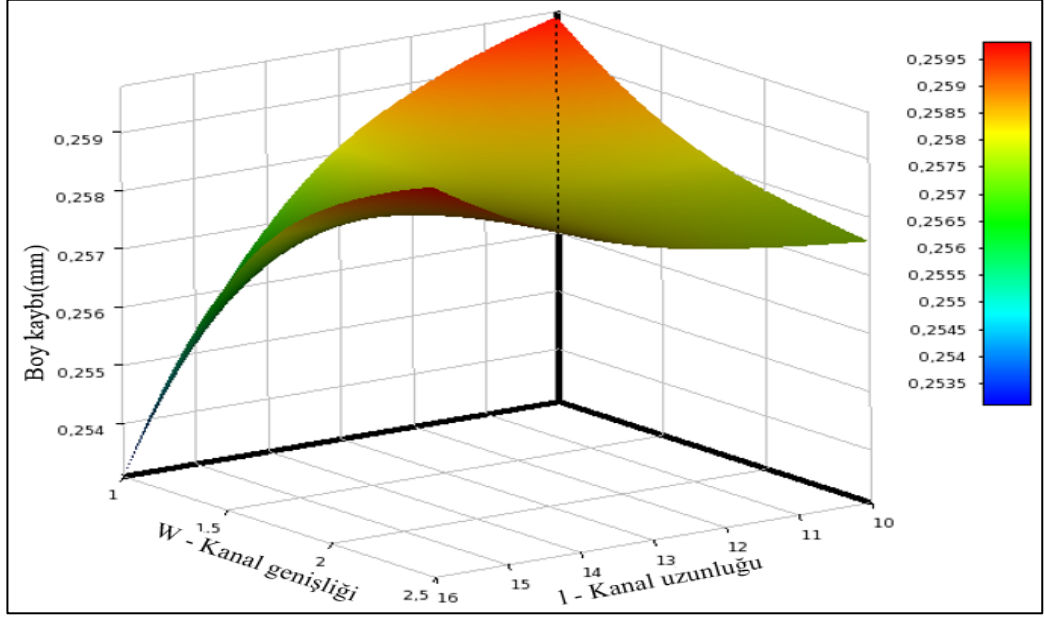


Şekil 4.12. 1 adet yatay kanalı bulunan geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları

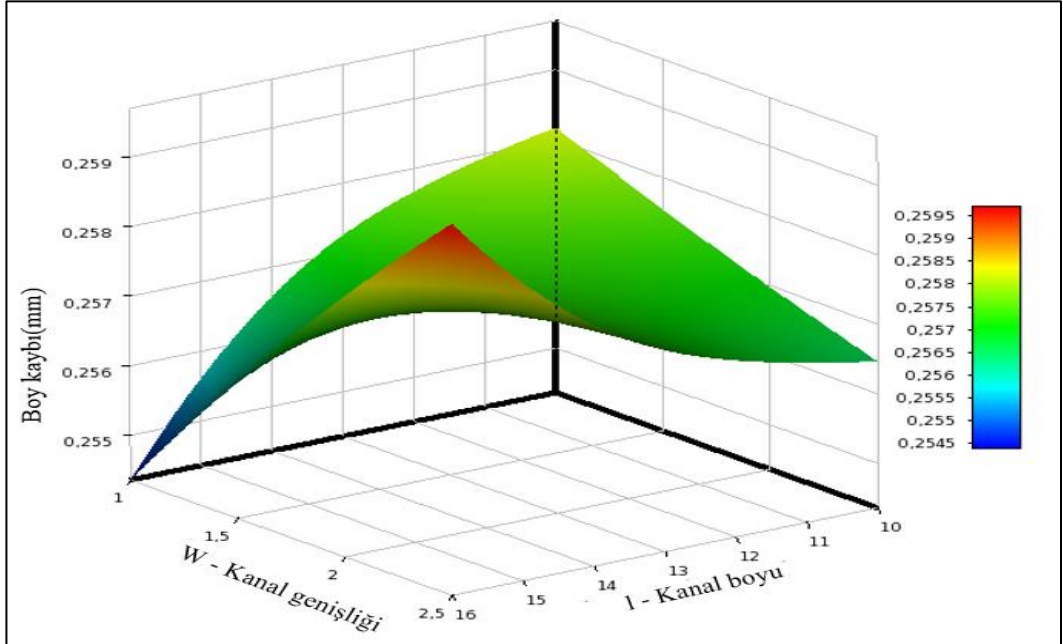


Şekil 4.13. 2 adet yatay kanalı bulunan geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları

Analizlerde çalışılan bir diğer geometride dikey kanalları bulunan geometridir. Çalışılan dikey kanallı geometriye ait sonuçlar 2 ve 3 kanallı bulunan geometri için tamamlanmış ve Şekil 4.14'te ve Şekil 4.15'de bu sonuçların üç boyutlu grafikleri verilmiştir.



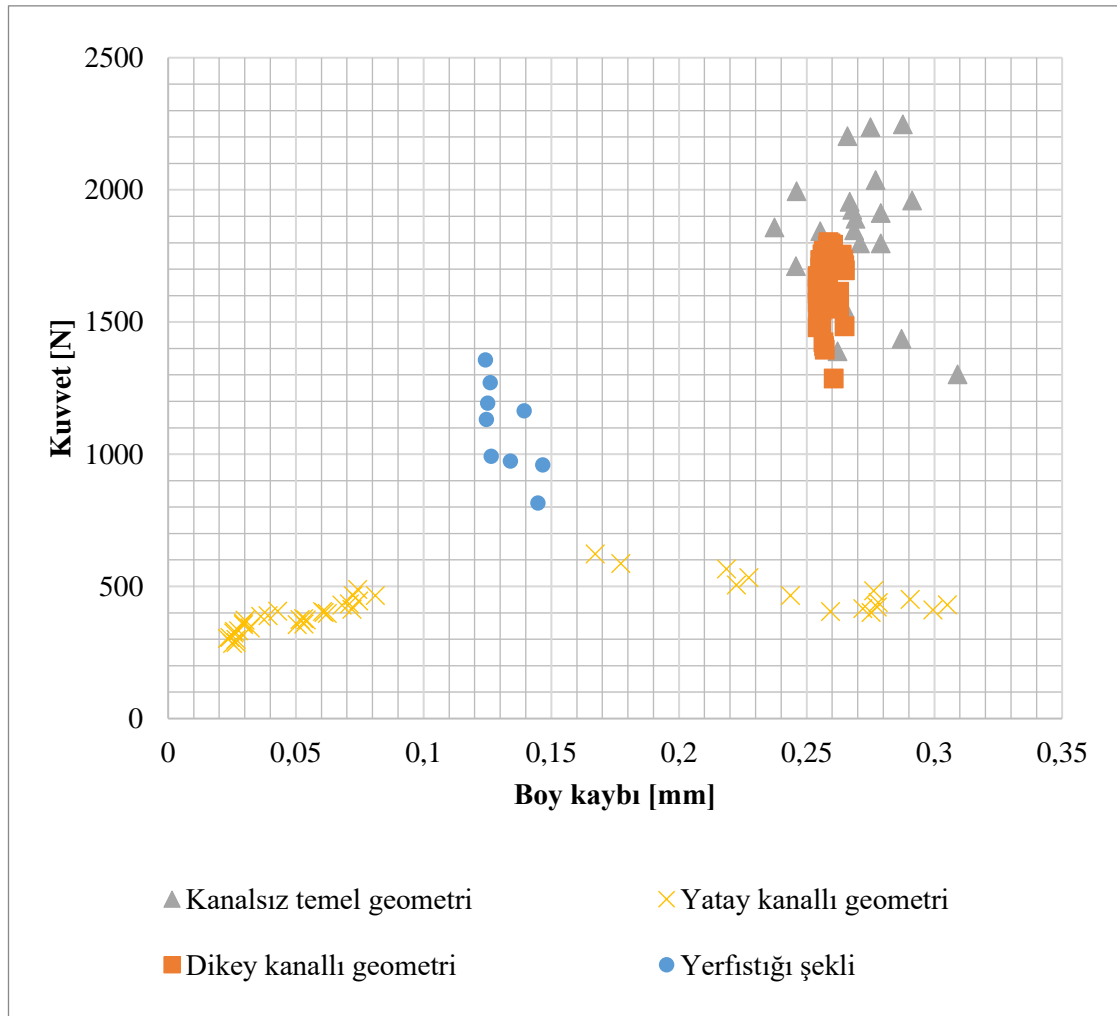
Şekil 4.14. 2 adet dikey kanallı bulunan geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları



Şekil 4.15. 3 adet dikey kanallı bulunan geometriye ait deneysel tasarım çalışması sonuçları

Bu çalışmalar ile birlikte hedeflenen tüm geometrilere ait deneysel tasarım çalışmaları tamamlanmıştır. Çalışmalarda toplamda 130 adet deneysel tasarım noktası belirlenmiş ve bunlar için hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan tüm çalışmalar bir araya toplandığında yatay kanalları bulunan geometrinin hem boy kaybı değeri bakımından en küçük değeri verdiği, hem de geniş bir aralıkta çalışabildiği tespit edilmiştir.

Ayrıca Şekil 4.16'daki sonuçlarda görüldüğü gibi yatay kanalları bulunan geometri en az boy kaybı vermesinin yanında, en çok yük-boy kaybı kombinasyonunun yapılabildiği geometri olmuştur. Aşağıdaki grafikte tüm geometrilerin boy-yük kaybı karşılaştırmaları görülebilir.



Şekil 4.16. Tüm geometrilere ait boy kaybı / yük sonuçlarının grafiği

Bu sonuçlar göz önüne alınarak en az boy kaybı sağlayacak parametrelerin kontrol altına alınabilmesi ve tasarım öncesi sabit kuralların belirlenebilmesi için çalışmalara devam edilmiştir. Bu çalışmalarda daha önce kullanılan parametrelere ilave parametreler ile birlikte yatay kanalı bulunan geometri için analizler sürdürülmüştür.

Belirlenen bu tasarım değişkenleri ile 156 adet tasarım noktası oluşturulmuş ve sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar içinde etkili olduğu görülen geometrik değişkenlerin arasındaki ilişkiler ve bunlara göre tespit edilen tasarım kuralları oluşturulmuştur.

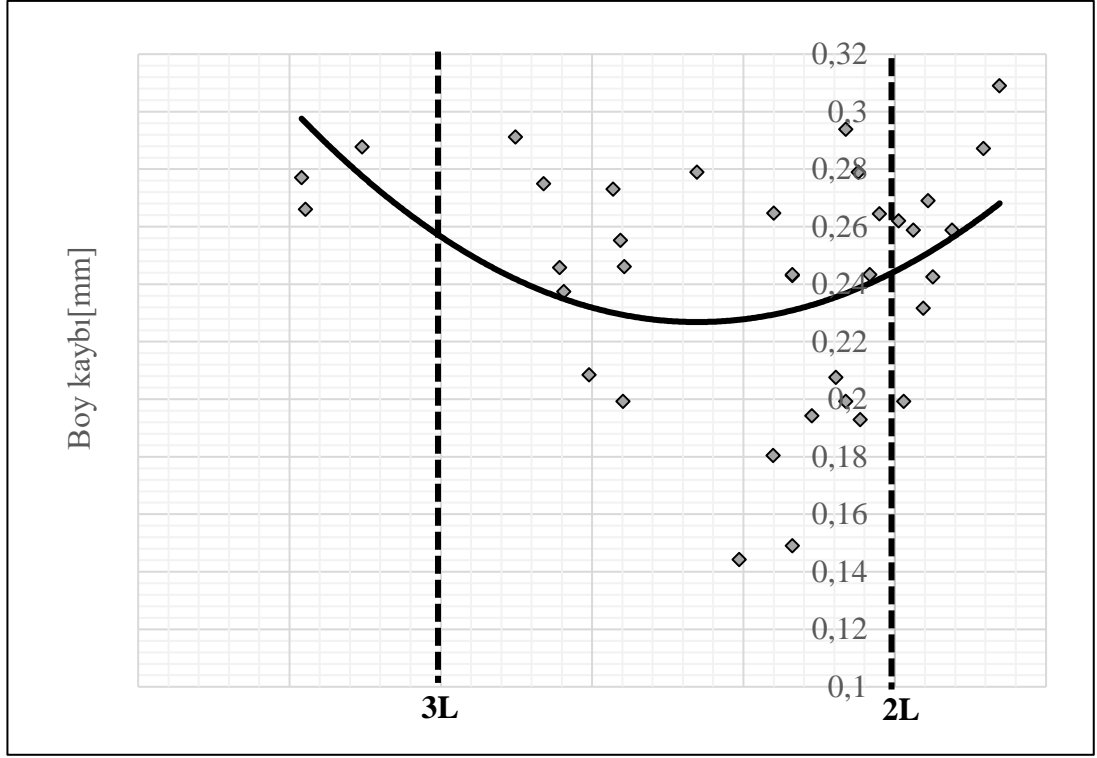
4.2.2 Tasarım Kuralları

Yapılan sonlu elemanlar analiz sonuçlarına göre kalıcı boy kaybı üzerinde etkili olduğu görülen önemli bir değişken dış yarıçap değeridir. Bu değişken termoplastik elastomer yay boyunun artması veya azalması ile en az boy kaybını verebilecek tasarımın dış hatlarını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır.

Yapılan analizlere göre küresel dış yüzey yarıçapı R termoplastik elastomer yay boyunun iki katından büyük ve üç katında az olduğu aralıkta, en az boy kaybını veren tasarıma ulaşmaktadır. Buna göre 1. tasarım kuralı aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\text{Kural 1 : } 2L \leq R \leq 3L$$

Bu kural küresel dış yüzey yarıçapı olan R değişkeninin, toplam boy değeri olan L değişkenine göre minimum boy kaybı elde etmek için nasıl sınırlanması gerektiğini belirler. Şekil 4.17’de, elde edilen bu kuralın grafik gösterimi verilmektedir.

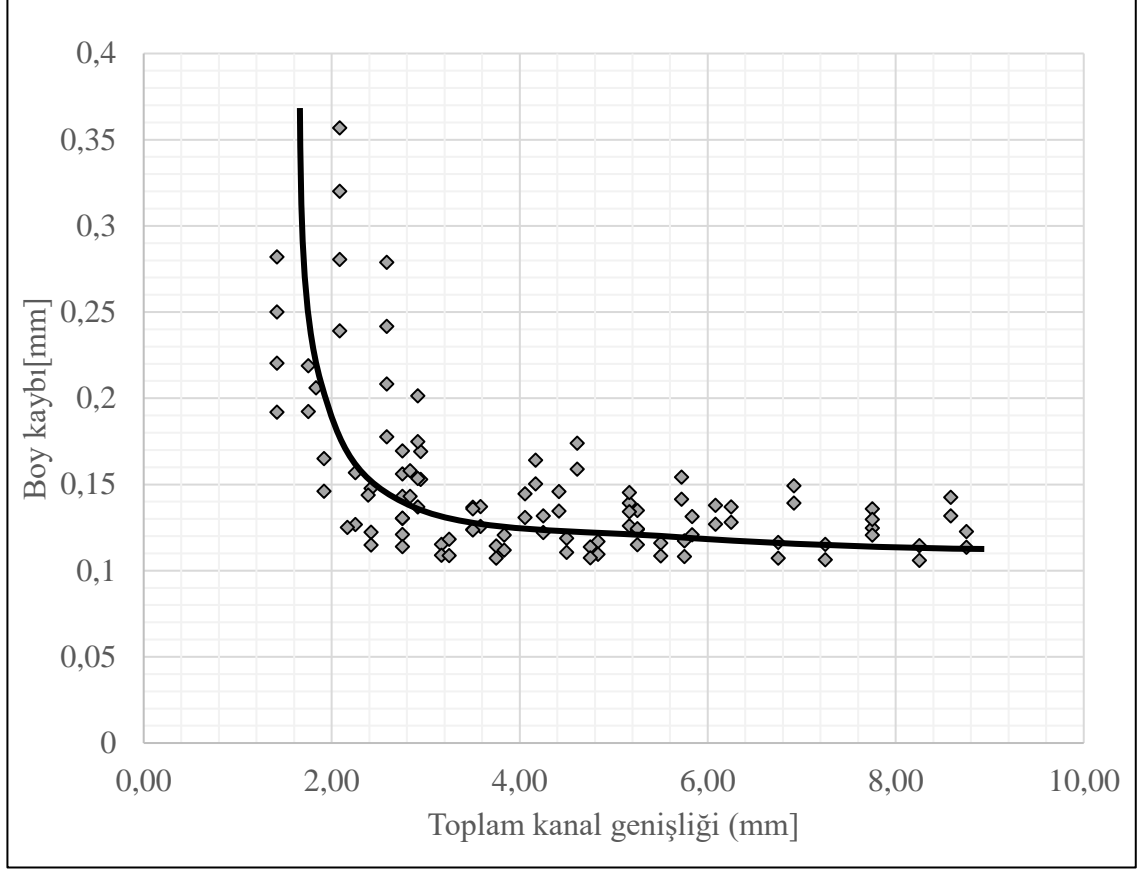


Şekil 4.17. Boy değeri değişkenine göre olması gereken yarıçap değerinin limitlerini belirleyen kuralı gösteren analiz sonuçları

Yapılan analizler ile 1,5 mm bası altında termoplastik elastomer yayda oluşan kalıcı boy kaybı incelenmiştir. Bu sonuçlara göre kanal genişliği olarak belirlenen miktar toplam sıkışma miktarından büyük olduğunda kalıcı boy kaybının azaldığı, toplam sıkışma miktarının kanal genişliği miktarının toplamından büyük olduğu durumlarda ise kalıcı boy kaybının hızlı bir şekilde arttığı sonucu çıkarılmıştır. 2. tasarım kuralı bu durum göz önünde bulundurularak oluşturulmuş ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

Kural 2 : toplam t ($n \times t$) \geq sıkışma miktarı

Kural 2 sıkışma miktarına göre olması gereken toplam kanal kalınlığının değerini belirler. Kurala ait grafik Şekil 4.18’de verilmiştir.

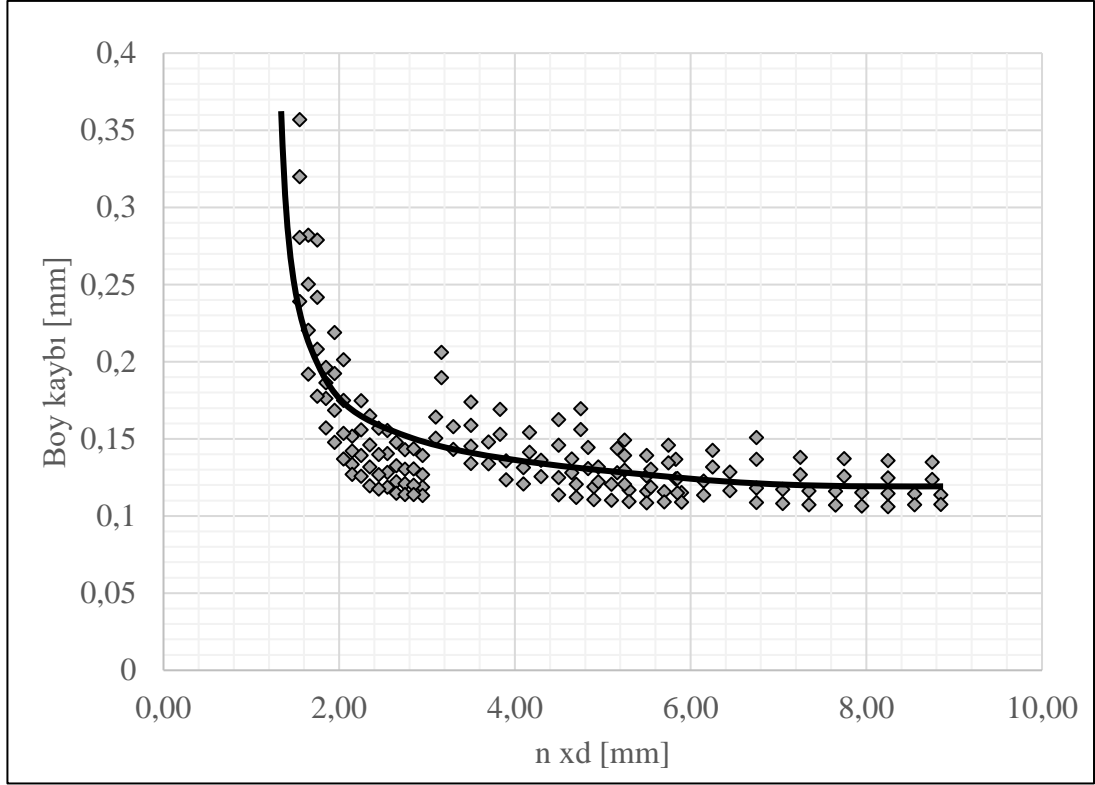


Şekil 4.18. Sıkışma miktarına göre en az boy kaybı için olması gereken toplam kanal genişliği

Bir diğer tasarım kuralı incelemesi yine toplam sıkışma miktarına göre kullanılan parametrelerin kıyaslanması ile elde edilmiştir. Analiz yapılan sonuçlara göre toplam sıkışma miktarının kanal iç çapı miktarından küçük olması sıkışma sonucunda oluşan toplam boy kaybının minimum olmasını sağlamaktadır. Aksi durumlarda ise (eşitlik veya büyük) toplam boy kaybının hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür. Buna göre oluşturulan tasarım kuralı şöyledir.

Kural 3 : $n \times d \geq \text{sıkışma miktarı}$

Kural 3 sıkışma miktarına göre kanal iç çapı toplamlarının ne kadar olması gerektiğini belirler. Şekil 4.19'da, bulunan sonuçlara göre bu kuralın grafiği görülmektedir.



Şekil 4.19. Sıkışma miktarına göre en az boy kaybı için olması gereken toplam kanal iç çapı

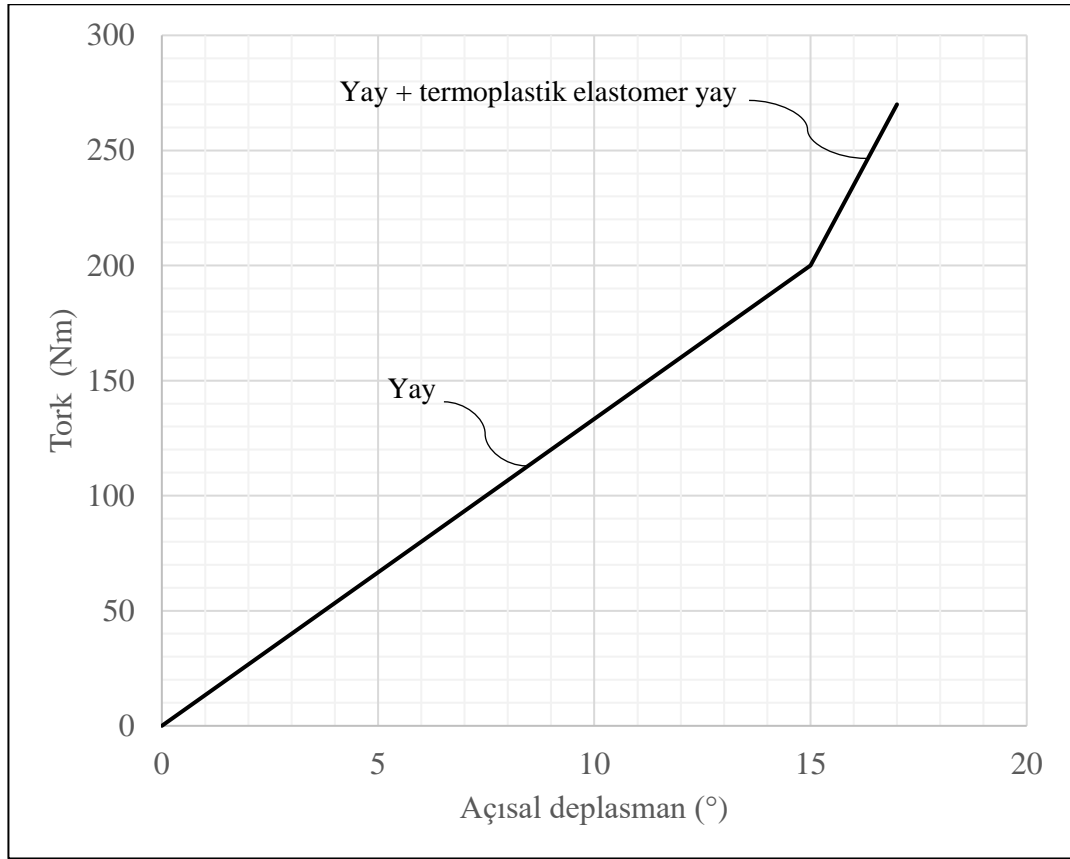
İlk 3 kural en az boy kaybının olması için kullanılması gereken geometrik kısıtları belirlemektedir. 4. ve 5. kurallar termoplastik elastomer yaydan beklenen yük karakteristiğine göre uyulması gereken tasarım kurallarını belirler.

Tork limitleyici sistemlerde termoplastik elastomer yaylar, tork limitleyicide bulunan damper sisteminin bir parçasıdır. Bu damper sisteminin görevi motordan gelen titreşimleri sönmüleyip şanzımana en az düzeyde geçişini sağlamaktır. Ancak beklenmeyen aşırı yük oluşturabilecek durumlarda damper sisteminde çalışan yaylar aniden tam sıkışmaya uğrarlar ve yayları sıkıştıran kanat rondelası ani bir şekilde durdurucu pimler ile temas haline geçer bu geçiş sırasında istenmeyen ve sürücüyü rahatsız edici bir metalik ses oluşur. Bu sesin oluşumunu en aza indirmek için tork limitleyici damper sistemi içinde termoplastik elastomer yaylar kullanılmaktadır. Bu yaylar damper sisteminin fonksiyonel eğrisinin son kısmında ilave olarak bir rijitlik kademesi oluşmasını sağlarlar. Sıradaki tasarım kuralları yatay kanallı geometri ile

birlikte bu lineer rijitlik kademesinin tek kademe veya çift kademe olarak tasarım edilmesine göre izlenecek geometrik değişkenlerin ne olması gerektiğini belirler.

4. tasarım kuralı eğer tek kademeli bir eğri istenmesi durumunda kullanılacak tasarım kuralıdır. Buna göre toplam sıkışma miktarı toplam kanal genişliği miktarından küçük ise tek kademeli bir yük eğrisi elde edilecektir.

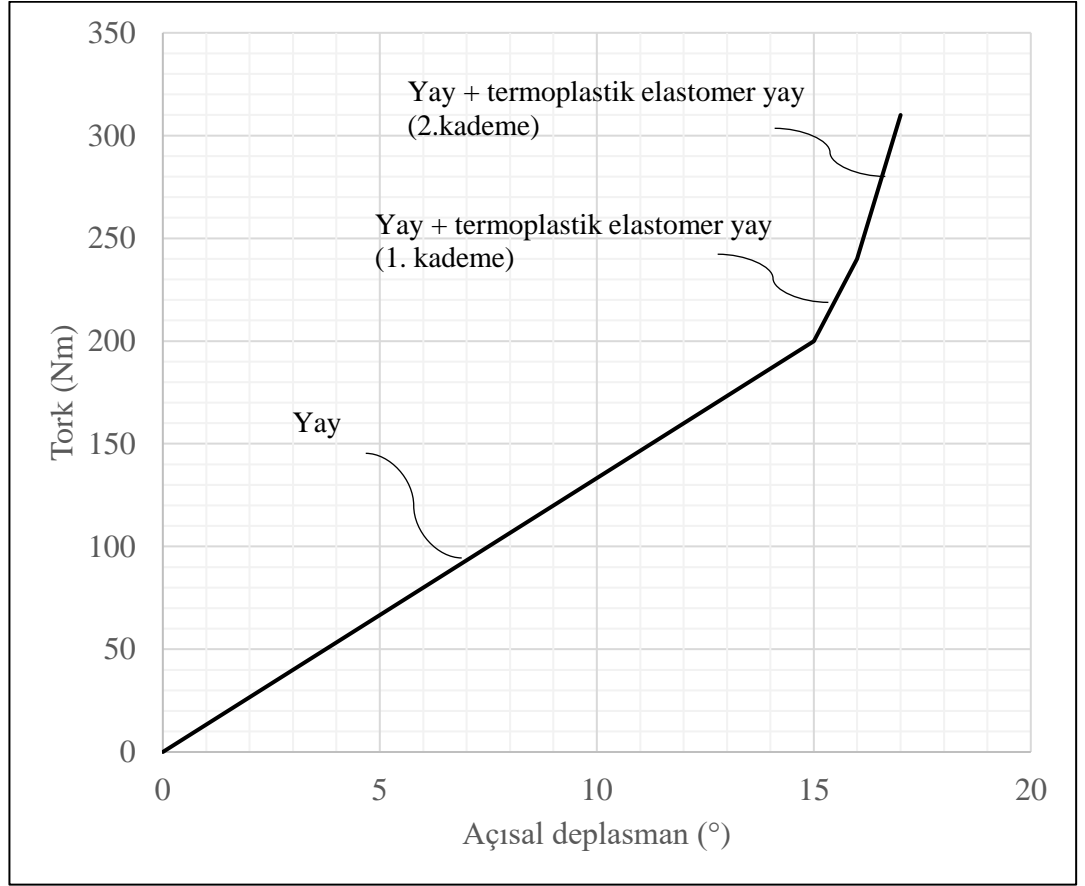
Kural 4: Eğer toplam sıkışma kanal genişliği miktarı, sıkışma miktarından büyük olur ise termoplastik elastomer yay tek kademeli bir eğri verecektir. Şekil 4.20’de bu kurala ait grafik gösterim verilmektedir.



Şekil 4.20. Tek kademeli yük karakteristiği veren termoplastik elastomer yay

5. tasarım kuralı ise sistemin sönümlenme ihtiyacına göre çift kademeli bir yük eğrisi gereksinimi olduğunda takip edilecek tasarımsal değişkenleri belirler.

Kural 5: Eğer toplam kanal genişliği miktarı, sıkışma miktarından küçük olur ise termoplastik elastomer yay çift kademeli bir eğri verecektir. şekil 4.21'de bu kurala ait grafik gösterim verilmektedir.



şekil 4.21. Çift kademeli yük karakteristiği veren termoplastik elastomer yay

5.SONUÇ

Tez çalışmasında termoplastik elastomer bir yayın geliştirme süreci iki yönlü olarak incelenmiştir. Öncelikle malzeme geliştirme çalışmaları TÜBİTAK 1505 projesi kapsamında Üniversite-Sanayii işbirliği çerçevesi ile tamamlanmış ve mevcut malzemeye (Dupont Hytrel 7246) kıyasla iyileşmesi istenen aşınma direnci artırılması ve kalıcı boy kaybı azaltılması hedefleri yakalanmıştır. Diğer yandan geometrik optimizasyon çalışmaları tamamlanmış, farklı şekillere sahip aday geometriler için deneysel tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Buna göre seçilen ideal geometri için detaylı geometrik analiz çalışmaları tamamlanmış ve tasarım sürecinde kullanılacak tasarım kuralları oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmalar ile yeni geliştirme süreçlerinde kullanılacak geometrik kurallar çıkarılmış, buna ilave olarak da durumu daha da iyileştirebilecek yeni malzeme reçeteleri de ortaya çıkmıştır. Elde edilen bu bilgiler ve kurallar ile otomotiv endüstrisinde kullanılan termoplastik elastomer yaylar için çok daha kısa sürede istenen özellikleri verebilecek termoplastik elastomer yay geliştirme süreci için çalışmalar tamamlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Malzeme geliştirme çalışmaları sonrasında, Hytrel 7246 isimli termoplastik elastomer malzemeye ilave yapılan katkıları ile aşınma karakteristiğinde iyileşmeler elde edilmiştir. Bu iyileşmenin en iyi olduğu durum Hytrel 7246 termoplastik elastomer malzemeye ağırlıkça %1 oranında hegzagonal bor nitridin ilave edildiği durum olarak gerçekleşmiştir.
- Cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli malzemeler ile yapılan çalışmalarda malzemelerin rijitlik değeri beklendiği gibi yüksek çıkmış ve bası çevrimi testlerinde yüksek boy kaybı gerçekleşmiştir.

- Yapılan deneysel tasarım çalışmaları ile yatay kanalları bulunan geometrinin en az boy kaybı performansını verdiği, ayrıca kanal adeti ve geometrisi değiştirilerek daha geniş bir aralıkta yük değeri yakalanabileceği görülmüştür.
- Yatay kanalları bulunan geometri ile tasarım kuralları oluşturulmuş ve geometrik değişkenler üzerine en az boy kaybı performansını verecek geometrik ilişkiler kurulmuştur.
- Termoplastik elastomer yayın farklı hızlarda yapılan bası testi ile elde edilen boy kaybı sonuçları arasında fark gözlemlenmemiştir.
- Tezin başlangıç fikrinin sebebi olan ömür testinin test makinası üzerinde hızlandırılmış senaryosu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu test şartları ile geliştirilen malzemeler ve çalışılan geometri ile ömür testi tamamlanıp, çalışılan malzemeler içinde TPE_1HBN olarak adlandırılmış malzeme ile en iyi sonuç elde edilmiştir. Diğer yandan çalışılan yatay kanallı geometri, geometrik anlamda ideal çözümü sağlamaktadır.
- Bası çevrimi testleri sonucunda, malzemelerin kalıcı boy kayıplarının ilk iki çevrim sonucunda en çok miktarda oluştuğu, sonrasında yavaş olarak devam ettiği görülmüştür. Bu oluşan plastik deformasyonun ilk çevrimler ile gerçekleşmesinin bir sonucudur. Sonraki çevrimler ile malzeme bir yay gibi elastik limitler içerisinde çalışmaya devam etmektedir.

Yapılan çalışmalar ile farklı malzemelerin ve geometrilerin bir termoplastik elastomer yay üzerinde olan mekanik etkileri deneysel ve nümerik çalışmalar ile çıkarılmıştır. Böylelikle tork limitleyici sistemler içerisinde önemli bir fonksiyona sahip olan bir komponent için malzeme ve tasarım araştırmaları sonuçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aghaei, J., Nezhad, A. E., Rabiee, A. & Rahimi, E. (2016). Contribution of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in power system uncertainty management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59(2016), 450-458.
- Arriaga, A., Lazkano, J. M., Pagaldai, R., Zaldua, A. M., Hernandez, R., Atxurra, R. & Chrysostomou, A. 2007. Finite-element analysis of quasi-static characterization tests in thermoplastic materials: Experimental and numerical analysis results correlation with ANSYS. *Polymer Testing*, 26 (2007), 284–305.
- Chen P. T., Pai P. H., Yang C. J. & Huang K. D. (2019). Development of Transmission Systems for Parallel Hybrid Electric Vehicles. *Applied Sciences*, 9, 1538.
- Dean, G. & Mera, R. (2004). Determination of Material Properties and Parameters Required for the Simulation of Impact Performance of Plastics Using Finite Element Analysis. *NPL Report*, DEPC-MPR 007. Teddington.
- Dupont (2013). Hytrel Design Guide. URL: http://www.engpolymer.co.kr/product/molding_guide/hytrel_design_guide.pdf
- Ehsani, M., Gao, Y. & Butler, K.L. (1999). Application of Electrically Peaking Hybrid (ELPH) Propulsion System to a Full-Size Passenger Car Simulated Design Verification. *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, 48,6, 1779-1787.
- Emadi, A., Rajashekara, K., Williamson, S. S. & Lukic, S.M., (2005). Topological Overview of Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicular Power System Architectures and Configurations. *IEEE Trans. On Vehic. Technol.*, 54(3), 763-770.
- Fontaras, G., Grigoratos, T., Savvidis, D., Anagnostopoulos, K., Luz, R., Rexeis, M. & Hausberger, S. (2016). An experimental evaluation of the methodology proposed for the monitoring and certification of CO2 emissions from heavy duty vehicles in Europe. *Energy*, 102(2016), 354-364.
- García A., Carlucci P., Monsalve-Serrano J., Valletta A. & Martínez-Boggio S. (2021). Energy management optimization for a power-split hybrid in a dual-mode RCCI-CDC engine. *Applied Energy*, 302.
- Gül O. (2020). Termoplastik polyester elastomer matrisli kompozitlerin tribolojik ve mekanik özelliklerinin elyaf partikül takviye malzemeleri varlığında geliştirilmesi *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilimdalı Doktora Tezi*, 2020.
- Ibrahim, M., Jemei, S., Wimmer, G. & Hissel, D. (2016). Nonlinear autoregressive neural network in an energy management strategy for battery/ultra capacitor hybrid electrical vehicles. *Electric Power Systems Research*, 136(2016), 262-269.

Karatas E., Gul O., Karsli N. G., Yilmaz T. (2019). Synergetic Effect of Graphene Nanoplatelet, Carbon Fiber and Coupling Agent Addition on the Tribological, Mechanical and Thermal Properties of Polyamide 6,6 Composites. *Composites Part B-Engineering*, 163, 730-739.

Karsli N. G., Aytac A. (2013). Tensile and Thermomechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polyamide 6 Composites. *Composites: Part B*, 51, 270-275.

Karsli N. G., Demirkol S., Yilmaz T. (2016). Thermal Aging and Reinforcement Type Effects on the Tribological, Thermal, Thermomechanical, Physical and Morphological Properties Of Poly(Ether Ether Ketone) Composites. *Composites Part B*, 88, 253-263.

Karsli N. G. (2017). Enhancing the Fracture Toughness of Glass Fiber Reinforced Polyamide 6,6 Composites with the Addition of Chain Extender. *Polymer Composites*, 38(10), 2228-2236.

Karsli N. G., Yilmaz T., Gul O. (2018). Effects of Coupling Agent Addition on the Adhesive Wear, Frictional and Thermal Properties of Glass Fiber Reinforced Polyamide 6,6 Composites. *Polymer Bulletin*, 75, 4429-4444.

Mersky, A. C. & Samaras, C. (2016). Fuel economy testing of autonomous vehicles. *Transportation Research Part C*, 65(2016), 31-48.

Muta K., Yamazaki M. & Tokieda J. (2004). Development of New-Generation Hybrid System THS II - Drastic Improvement of Power Performance and Fuel Economy. *SAE Transactions*, 2004, Vol. 113, Section 3: JOURNAL OF ENGINES, 182-192.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Corporate Average Fuel Economy Standards for Model Years 2024–2026 Passenger Cars and Light Trucks. *Federal Register / Vol. 87, No. 84 / Monday, May 2, 2022 / Rules and Regulations*

Ohshima, K., Kondo, K., Ibaraki, R. & Matsui, H. (1999). Development of transaxle for hybrid vehicle. *JSAE Review*, 21 (2000), 343 – gener347.

Riba, J., Lopez-Torres, C., Romeral, K. & Garcia, A. (2016). Rare-earth free propulsion motors for electric vehicles: A technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57(2016), 367-379.

Sabri, M., Danaplasingam, K. A. & Rahmat, M. F. (2016). A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53(2016), 1433-1442.

S. Sasaki. (1998). Toyota's Newly Developed Hybrid Powertrain. International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs, 17-22, Kyoto.

URL-1: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/transport-and-green-deal_en

URL-2: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en

Yang, Y., Hu, X., Pei, H. & Peng, Z. (2016). Comparison of power split and parallel hybrid powertrain architectures with a single electric machine : Dynamic programming approach. *Applied Energy*, 168(2016), 683-690.

Woo, C.S., Kim, W.D., (2007). Design of Mechanical Testing Specimens for Rubber Material Using Finite Element Analysis. *Multidiscipline Modeling in Mat. and Str. Vol.3, No.3*, (325-336)

Zulkefli, M., Zheng, J., Sun, Z. & Liu, H.X. (2014). Hybrid powertrain optimization with trajectory prediction based on inter vehicle communication and vehicle infrastructure integration. *Transportation Research Part C*, 45(2014), 41-63.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cihat GÜL
Doğum Yeri ve Tarihi : 27.01.1986 / BURSA
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise :Bursa Nilüfer Milli Piyango Anadolu Lisesi
Lisans :Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği
Yüksek Lisans :İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği
Anabilimdalı Konstruksiyon Programı

Çalıştığı Kurum : Valeo Otomotiv San. ve Tic. A.Ş.

İletişim (e-posta) : cihatgul@gmail.com

Yayınları / Patentleri :
Gül C., Temiz V. (2010). Effect of Macro Geometry on the Performance Characteristics of Reciprocating Seals. *ESDA2010, July 12-14, 2010, Istanbul, Turkey*
Gül C., Temiz V., Parlar Z. (2011). The Investigation of Frictional Characteristics of New Design PTFE Seals. *TMT 2011, September 12-18, 2011, Prague, Czech Republic*
Gül C., Acar H., Avcı M. (2015). A Study On a Passenger Car Clutch Disc Design Optimization to Reduce Idle and Gear Rattle. *International Automotive Conference Science And Motor Vehicles, April 14-15, 2015, Belgrade, Serbia*
Gül C., Durmuş A., Genç M.O. (2017). Numerical Estimating The Shock Stength of Automobile Clutch Disc Hub. *Sixth International Conference on Advances in Mechanical and Robotics Engineering – AMRE 2017, December 09-10, 2017, Rome, Italy*
Gül C., Durmuş A., Genç M.O. (2019). Shock Strength Investigation of Sintered Clutch Disc Hub Experimentally with Modified Charpy Test Bench. *International Conference of Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering, April 20-22, 2019, Antalya, Turkey*
Gül C., Durmuş A.,(2022). Design of Experiment Study of the Parameters That Affect Performance of a Thermoplastic Elastomer Spring of a Hybrid Vehicle Torque Limiter. *Tehnički vjesnik / Technical Gazette. Vol. 29/No. 6.(December, 2022), doi:10.17559/TV-20220221193904*

Patent: EP3374661, A Vibration Dampener for Hybrid Vehicles, 2015

Patent: EP3438488, Torque Limiter with Tolerance adjustment ramp, 2017

Patent: 2018P00599 TR, Elastic Hub Damper, 2018

Patent: FR3114366, Amortisseur de torsion pour une chaîne de transmission de véhicule, 2019

Patent: 2019P00784 TR, Torque Limiter with Long Travel Damper and Pendulum - Pendulum connected to the Long travel Damper retainer Plate, 2019

Patent: WO2022058467, A Vibration Dampener Having A Stopper Comprising A Channel, 2019

Patent: WO2021130067, Torque Limiter with Long Travel Damper and Pendulum - Pendulum connected to the long travel damper back plate, 2020