

**KAUÇUK BURÇLARIN TERMOPLASTİK
KOMPOZİT MALZEMELER İLE TASARIMI VE
TİTREŞİM SÖNÜMLEME
KARAKTERİSTİKLERİNİN ANALİZİ**

AYLİN DOVA



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAUÇUK BURÇLARIN TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER İLE
TASARIMI VE TİTREŞİM SÖNÜMLEME KARAKTERİSTİKLERİNİN
ANALİZİ**

Aylin DOVA

Prof. Dr. Murat YAZICI

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Aylin DOVA tarafından hazırlanan “KAUÇUK BURÇLARIN TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER İLE TASARIMI VE TİTREŞİM SÖNÜMLEME KARAKTERİSTİKLERİNİN ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Murat YAZICI

ORCID No: 0000-0002-8720-7594

Başkan : Prof. Dr. Murat YAZICI

İmza

ORCID No: 0000-0002-8720-7594

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi. Erol SOLMAZ

İmza

ORCID No: 0000-0001-9369-3552

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi. Yalçın BOZTOPRAK

İmza

ORCID No: 0000-0003-1714-7394

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN

Enstitü Müdürü

.../.../... (Tarih)

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.

.../.../...

Aylin DOVA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAUÇUK BURÇLARIN TERMOPLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER İLE
TASARIMI VE TİTREŞİM SÖNÜMLEME KARAKTERİSTİKLERİNİN ANALİZİ

Aylin DOVA

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat Yazıcı

Bu çalışma, araç üzerinde birçok farklı bölgede kullanılan, metal parçaların birbirine bağlanmasını sağlayıp belirli oranlarda hareket serbestliği kazandıran, zeminden ve motor gibi araç üzerindeki hareketli parçalardan kaynaklanan, titreşimi sönmüleyen, elastomer grubundan olan kauçuk burçlar ile ilgilidir. Özellikle süspansiyon sistemlerinde bağlantı parçası olarak kullanılan kauçuk burçlar, her araçta farklı karakteristiğe sahiptir. Araç dinamiğinden gelen yüklemeler aracın her bölgesi için farklı olduğu gibi, her araç içinde bu değerler değişmektedir. Araç üzerinde değişik yüklemelerden en çok etkilenen parçalardan biri de kauçuk burçlardır. Farklı yükleme değerlerini sağlayabilmek için kauçuk burçların geometrisinde değişiklik yapıldığı gibi kauçuk parça arasına yaprak sac parça konularak da bu yüklemeler sağlanabilmektedir. Çalışma, yaprak sac kullanıldığında kauçuk burçlardaki katılık değerlerinin radyal, eksenel, torsiyonel ve kardantik yöndeki değişiminin, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizini ve bu analiz değerlerinin testler ile doğrulanmasını içermektedir. Parça tasarımları Catia V5 programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve doğrusal olmayan analiz modeli ise Msc. Marc. Mentat programında hazırlanmıştır. Malzeme modeli, gerçekleştirilen testler sonucunda oluşturulan kütüphaneden seçilmiş olup, yapılan analizlerin doğruluğu üretilen numune parçaların test edilmesi ile sağlanmıştır. Ayrıca kauçuk burçlarda genel olarak metal malzeme olarak kullanılan iç burç, dış burç ve yaprak sacların kompozit malzeme olarak kullanılmasını ve kompozit malzeme sonlu elemanlar analizini içermektedir. Kompozit malzeme kullanılmasının getirdiği avantaj ve dezavantajlar değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kauçuk malzeme, kauçuk burç, kompozit burç, titreşim, hiperelastik, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi, statik katılık, radyal analiz, torsiyonel analiz, kardantik analiz, eksenel analiz.

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN OF RUBBER BUSHES BY USING THERMOPLASTIC COMPOSITE MATERIALS AND ANALYSIS OF VIBRATION ABSORBING CHARACTERISTICS

Aylin DOVA

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Murat YAZICI

This study related to rubber bushes which are considered elastomer group. These rubber bushes are used in many different areas on a vehicle which allow metal parts to be connected to each other and give certain proportions of freedom of movement and absorb a vibration from a floor and moving parts on the vehicle such as an engine. Rubber bushes which are especially used as connected parts in suspension systems have different characteristics in each vehicle. Loads come from the vehicle dynamics are different for each area in the vehicle and these values are variable for each vehicle. One of the most affected parts on the vehicle by these different loads are the rubber bushes. In order to provide different loading values, geometry of the rubber bushes could be changed or a sheet metal part could be placed into the rubber part. The study includes nonlinear finite element analysis of the change of stiffness of rubber bushes in radial, axial, torsional and cardanic directions when the sheet metal is used and validating these analysis values by tests. Parts were designed by using Catia V5 program and the nonlinear analysis model was prepared by Msc. Marc. Mentat program. The material model was taken from the library containing result of previous tests. Accuracy of the analyzes result was ensured by testing sample part. Therefore, this study includes the usege of inner bushings, outer bushings and inner sheets as a composite material and finite element analysis of them. In additon to that, it involves evaluation of advantages and disadvantages of using composite materials.

Key words: Rubber material, rubber bushing, composite bushing, vibration, hyperelastic, nonlinear finite element analysis, static stiffness, radial analysis, torsional analysis, cardanic analysis, axial analysis.

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince deęerli fikir ve önerileri ile yol gűsterici olan, tezimin her aőamasında bana yardımcı olan ve manevi desteęini esirgemeyen Tez Danıőmanım Sayın Prof. Dr. Murat YAZICI' ya,

Deneysel çalıőmalarım için teknik desteği sağlayan Angst Pfister firmasına,

Hayatımın her alanında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bana inanarak gű veren annem Fatma DOVA, babam İbrahim DOVA ve abim Alper DOVA' ya,

Tanıdığım gűnden beri sűrekli bana destek olan, her zaman yanımda olduęunu hissettiren ve tez sűresince de benden bir an bile desteęini esirgemeyen hayat arkadaőım İbrahim Cem ÖNCÜ' ye teőekkűrű bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARASTIRMASI.....	2
2.1. Kauçuğun Tarihçesi.....	2
2.2. Kauçuk Malzemelerin Genel Tanıtımı ve Kullanım Alanları.....	4
2.3. Kauçuk Parça Tasarımı	8
2.4. Kauçuk-Metal Burçların Tasarımı	9
2.5. Kauçuk Metal Parçaların Üretimi	10
2.6. Kompozit Malzemeler.....	12
2.7. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	13
2.8. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanı.....	15
2.9. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Maddeler.....	17
2.9.1. Matris Malzemeleri	17
2.9.2. Reçine Malzemeleri ve Özellikleri.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Kauçuk - Metal Burçların Üretimi	24
3.2. Kauçuk Malzeme Modelinin Tanımlanması.....	25
3.3. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	26
3.3.1. Çelik Malzemedan Oluşturulan Kauçuk Burç Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	26
3.3.2. Kompozit Malzemedan Oluşturulan Kauçuk Burç Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması.....	28
4. BULGULAR	33
4.1. Radyal Statik Analizler	33

4.2. Eksenel Statik Analizler	35
4.3. Kardanik Statik Analizler	36
4.4. Torsiyonel Statik Analizler	38
4.5. Radyal Statik Testler	39
4.6. Eksenel Statik Testler	40
4.7. Kardanik Statik Testler	42
4.8. Torsiyonel Statik Testler	43
4.9. Kompozit Burç Radyal Statik Analizleri	45
4.10. Kompozit Burç Eksenel Statik Analizleri	48
4.11. Kompozit Burç Kardanik Statik Analizleri	50
4.12. Kompozit Burç Torsiyonel Statik Analizleri	53
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	55
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgelerin Açıklaması

E	Malzemenin elastisite modülü
G	Malzemenin kayma modülü
ϵ	Malzemenin gerinme değeri
L_0	Malzemenin ilk boyu
L	Malzemenin son boyu
λ	Malzemenin uzama oranı
I	Malzemenin gerinme invaryantı
J	Malzemenin hacim oranı
σ	Malzemenin gerilme değeri
W	Malzemenin şekil değiştirme enerjisi
Nu	Malzemenin poisson oranı

Kısaltmaların Açıklaması

NR	Doğal kauçuk
SBR	Stiren butadien kauçuk
NBR	Nitril kauçuk
EPDM, EPM	Etilen propilen kauçuk
CR	Kloropren kauçuk
BR	Bütadien kauçuk
ACM	Poliakrilik kauçuk
MQ	Silikon kauçuk
FKM	Florokarbon kauçuk
HNBR	Hidrojen nitril kauçuk
CO, ECO	Epiklorohidrin kauçuk
IR	Isopren kauçuk
TPU	Termoplastik polüretan malzeme
PTFE	Politetrafloroetilen malzeme
PA	Poliamid malzeme
PP	Polipropilen malzeme
CTP	Cam elyaf takviyeli plastik malzeme
PBT	Polibütilen tereftalat malzeme
ABS	Akrilonitril bütadiyen stiren malzeme
GMT	Cam mat takviyeli termoplastik malzeme
ASTM	American society for testing and materials
SEA	Sonlu elemanlar analizi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kauçuk hammaddesinin ağaçtan elde edilişi (Anonim, 2013)	2
Şekil 2.2. Çeşitli polimerlerin gerilme - uzama eğrileri (Erkek, 2007).....	5
Şekil 2.3. Vulkanizasyon (Erkek, 2007)	5
Şekil 2.4. Çapraz bağlanma öncesi ve sonrasında gerilme-gerinme eğrileri (Kınıkoğlu, 2006)	6
Şekil 2.5. Kauçuk parçaların otomobil üzerinde kullanıldığı yerler (Anonim, 2010)	8
Şekil 3.1. Kauçuk-metal burç görselleri.....	20
Şekil 3.2. a) İç yapraksız kauçuk burç tasarımı b) İç yapraklı kauçuk burç tasarımı	21
Şekil 3.3. a) İç yaprak sacsız kauçuk burç kesit görünümü ve boyutları b) İç yaprak saclı kauçuk burç kesit görünümü ve boyutları	21
Şekil 3.4. a) Üretilen iç yaprak sacsız kauçuk burç b) Üretilen iç yaprak saclı kauçuk burç.....	22
Şekil 3.5. Dikey enjeksiyon presisi (Soyubol, 2006).....	25
Şekil 3.6. a) Tek eksenli çekme testi (Miller, 2000) b) Kayma testi (Miller, 2000), c) Basit basma testi (Miller, 2000)	26
Şekil 3.7. Hex 8 eleman yapısı.....	27
Şekil 3.8. a) İç yaprak sacsız kauçuk burç mesh modeli b) İç yaprak saclı kauçuk burç mesh modeli	27
Şekil 3.9. Kauçuk - metal burç MPC yapısı.....	28
Şekil 3.10. Sonlu elemanlar modelinde silindirik koordinat sistemi tanımlanması.....	29
Şekil 3.11. Kompozit iç yapraklı kauçuk burcun malzeme modeli	30
Şekil 3.12. Kompozit iç yapraksız kauçuk burcun malzeme modeli	30
Şekil 3.13. Katmanlı yapının sonlu elemanlar modelinde tanımlanması.....	31
Şekil 3.14. 3 boyutlu katı kompozitin yöneliminin tanımlanması	31
Şekil 3.15. a) Kompozit iç yaprak saclı kauçuk burç mesh modeli b) Kompozit iç yaprak sacsız kauçuk burç mesh modeli	32
Şekil 4.1. a) İç yaprak sacsız kauçuk burcun radyal analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kauçuk burcun radyal analizinin gerinim görseli.....	33
Şekil 4.2. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burca ait radyal statik analiz grafiği	34
Şekil 4.3. a) İç yaprak sacsız kauçuk burcun eksenel analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kauçuk burcun eksenel analizinin gerinim görseli.....	35
Şekil 4.4. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burca ait eksenel statik analiz grafiği	36
Şekil 4.5. a) İç yaprak sacsız kauçuk burcun kardantik analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kauçuk burcun kardantik analizinin gerinim görseli.....	37
Şekil 4.6. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burca ait kardantik statik analiz grafiği	37
Şekil 4.7. a) İç yaprak sacsız kauçuk burcun torsiyonel analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kauçuk burcun torsiyonel analizinin gerinim görseli.....	38
Şekil 4.8. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burca ait torsiyonel statik analiz grafiği	39
Şekil 4.9. Radyal statik test düzeneği.....	39
Şekil 4.10. Eksenel statik test düzeneği	41
Şekil 4.11. Kardantik statik test düzeneği	42
Şekil 4.12. Torsiyonel statik test düzeneği	44

Şekil 4.13. a) İç yaprak sacsız kompozit kauçuk burcun radyal analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kompozit kauçuk burcun radyal analizinin gerinim görseli.....	46
Şekil 4.14. İç yaprak saclı metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun radyal verilerinin karşılaştırılması	47
Şekil 4.15. İç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun radyal verilerinin karşılaştırılması	47
Şekil 4.16. a) Kompozit iç yaprak sacsız kauçuk burcun eksenel analizi gerinim görseli b) Kompozit iç yaprak saclı kauçuk burcun eksenel analizinin gerinim görseli.....	48
Şekil 4.17. İç yaprak saclı metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun eksenel verilerinin karşılaştırılması	49
Şekil 4.18. İç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun eksenel verilerinin karşılaştırılması	50
Şekil 4.19. a) İç yaprak sacsız kompozit kauçuk burcun kardamik analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kompozit kauçuk burcun kardamik analizinin gerinim görseli	51
Şekil 4.20. İç yaprak saclı metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun kardamik verilerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.21. İç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun kardamik verilerinin karşılaştırılması	52
Şekil 4.22. a) İç yaprak sacsız kompozit kauçuk burcun torsiyonel analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kompozit kauçuk burcun torsiyonel analizinin gerinim görseli	53
Şekil 4.23. İç yaprak saclı metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun torsiyonel verilerinin karşılaştırılması.....	54
Şekil 4.24. İç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun torsiyonel verilerinin karşılaştırılması	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Sentetik kauçuklarda ilkler (Vahapoğlu, 2006)	3
Çizelge 2.1. Sentetik kauçuklarda ilkler (devam) (Vahapoğlu, 2006).....	4
Çizelge 2.2. Kauçukların temel özellikleri (Kınıkoğlu, 2006).....	7
Çizelge 3.1. Metal kauçuk burçta kullanılan malzemeler	22
Çizelge 3.2. St 37-2 malzemenin mekanik özellikleri	22
Çizelge 3.3. Polipropilen malzeme mekanik özellikleri (Beşergil, 2016)	23
Çizelge 3.4. Termoplastik kompozit kauçuk burçta kullanılan malzemeler	23
Çizelge 3.5. Polipropilen/Cam elyaf termoplastik malzeme analiz verileri (Yazıcı ve ark. 2015)	29
Çizelge 4.1. İç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun radyal katılık değerleri	34
Çizelge 4.2. İç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun eksenel katılık değerleri	36
Çizelge 4.3. İç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun kardantik katılık değerleri	37
Çizelge 4.4. İç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun torsiyonel katılık değerleri	38
Çizelge 4.5. Radyal test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre sapma değeri	40
Çizelge 4.6. Eksenel test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre sapma değeri.....	41
Çizelge 4.7. Kardantik test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre sapma değeri ..	43
Çizelge 4.8. Torsiyonel test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre sapma değeri	44
Çizelge 4.9. Kompozit malzemeden üretilen iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun radyal katılık değerleri	46
Çizelge 4.10. Kompozit malzemeden üretilen iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun eksenel katılık değerleri	49
Çizelge 4.11. Kompozit malzemeden üretilen iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun kardantik katılık değerleri	51
Çizelge 4.12. Kompozit malzemeden üretilen iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun torsiyonel katılık değerleri	53
Çizelge 5.1. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız metal kauçuk burcun radyal, eksenel, kardantik ve torsiyonel yönlerdeki katılık değerleri	57
Çizelge 5.2. Metal – kauçuk burç ile kompozit kauçuk burç ağırlık bilgileri.....	59

1. GİRİŞ

Kauçuk (elastomer) grubu malzemeler, kimyasal, fiziksel ve inovatif özellikleriyle günümüzün en önemli mühendislik malzemelerinden biri olmuştur.

Kauçuk esaslı malzemeler hayatımızın birçok alanında kullanılmaktadır. Otomotiv sanayi başta olmak üzere, inşaat, tekstil, armatür, sızdırmazlık, makine imalatı gibi birbirinden farklı alanlarda farklı özellikleri karşılamak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Gün geçtikçe hızla gelişen teknoloji beraberinde hızlı bir şekilde hammadde tüketimini de getirmektedir. Bu hammaddeleri incelediğimizde birçoğunun geri dönüştürülemeyen malzeme olmasından dolayı kaynaklarımız giderek tükenmektedir. Bu veriler göz önüne alındığında kullanılacak olan malzemenin fiziksel, kimyasal, statik, termal, dinamik vb. özellikleri iyi bilinmeli ve analizler bu verilere göre yapılmalıdır.

Hayatımızın birçok alanında kullanılan kauçuk malzemelerde, özellikle otomotiv sektöründe kullanılan bölümü için mekanik özellikler çok önemlidir. Kullanıldığı alana göre farklılık gösteren bu mekanik özellikler temelde hamur bileşimini oluşturan kimyasal yapıya bağlı olmakla birlikte, tasarım, üretim yöntemi ve kullanılan malzeme türüne göre de değişiklik göstermektedir.

Tezimde, kauçuk-metal burçlarda kullanılan iç yaprak sacların kauçuk statik katılık değerlerine nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Ayrıca kauçuk-metal burçlarda iç burç, dış burç ve iç yaprak sac olarak kullanılan metal parçaların kompozit malzemeden üretilmesinin avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kauçuğun Tarihçesi

Kauçuk; tarihte ilk olarak Christopher Columbus'un Amerika'yı keşfi sırasında yerli kabilelerin ağaçtan topladıkları öz ile elbise ve alet yaptıklarını görmesi üzerine keşfedilen bir malzeme türüdür. Kauçuğun keşfi 16. Yüzyıl'ın başlarını bulsa da, mühendislik malzemesi olarak kullanılmaya başlanması 19. Yüzyıl'ı bulmuştur. Goodyear'ın vulkanizasyon yöntemini bulması ile birlikte kullanım alanı gün geçtikçe artan kauçuk malzeme hayatımızın vazgeçilmez bir malzemesi olmuştur. Otomotiv sanayinde 1888 yılında ilk olarak otomobil lastiğinde kullanılmaya başlanan kauçuk malzemesi önemini giderek arttırmıştır. Hatta önemi o kadar artmıştır ki, o yüzyılın güçlü devletleri kauçuk malzemesinin yoğun olarak bulunduğu ülkeleri sömürgeleri altına almaya başlamıştır. Bu alanda özel çiftlikler kurularak kauçuk imalatı arttırılmaya başlanmış ve Brezilya' da 1913 yılında kaliteli ve yüksek miktarlarda kauçuk elde edilmiştir.

Şekil 2.1.' de kauçuk hammaddesinin elde edilişi görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Kauçuk hammaddesinin ağaçtan elde edilişi (Anonim, 2013)

Kauçuk ilk kez teknik anlamda 1751 yılında kullanılmıştır. İlk kauçuk üretimi yapan fabrika 1803 yılında Paris'te kurulmuştur. Charles Goodyear 1803 yılında vulkanizasyon işlemini bulmuştur. 1888 yılında John Boyd Dunlop ilk defa havalı bisiklet lastiğinin geliştirilmesini ve üretilmesini sağlamıştır. Holman tarafından 1909 yılında Bayer Laboratuvarlarında ilk defa doğal kauçuk içerisine kimyasallar katarak sentetik kauçuk geliştirilmiş, üretilmiş ve patenti alınmıştır. 1912 yılında Almanya'da sentetik kauçuk kullanılarak ilk defa kauçuktan otomobil lastiği üretilmiştir. İlk sentetik kauçuk tesisi 150 ton/ay kapasitesine sahip olarak 1916 yılında üretim yapmıştır. 1929 yılında Hermann Staudinger butadien'den stiren bütadien kauçuk (SBR) ve nitril kauçuk (NBR) üretmiş ve bunların üretimini gerçekleştirmiştir. Kimyager Sperks ve Thomas 1937 yılında yine doğal kauçuktan türetilen butil kauçuğu bulmuştur. Etilen propilen kauçuk (EPDM) 1963 yılında ilk defa ticari anlamda üretilmeye başlamıştır (Erkek, 2007). Çizelge 2.1.'de sentetik kauçuk türlerinde yaşanan ilkler görülmektedir.

Çizelge 2.1. Sentetik kauçuklarda ilkler (Vahapoğlu, 2006)

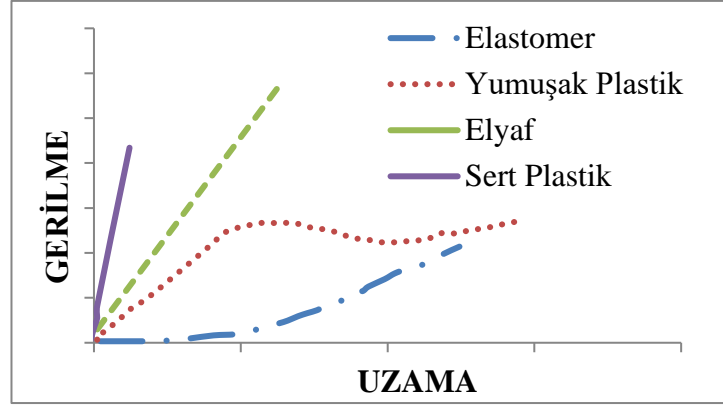
Ticari İsmi veya Marka İsmi	ASTM 1418	Kimyasal İsmi	İlk Üretildiği Yıl	İlk Üretildiği Ülke	İlk Üretici Firma
Doğal Kauçuk	NR	Doğal Isopren	-	-	-
Metil Kauçuk	-	Dimetilbütadien	1915	Almanya	Bayer&Co.
Thiokol	PTR	Polisülfid	1922	A.B.D	Thiokol Corporation
Üretan	BG	Poliester	1930	-	-
Neopren	CR	Kloropren	1931	A.B.D	Du Pont Corporaiton
GRS veya Buna-S	SBR	Stiren Bütadien	1933	Almaya	I.G Farben
Nitril veya Buna-N	NBR	Nitril Bütadien	1934	Almanya	I.G Farben
Butil	IIR	İsobuten İsoopren	1937	A.B.D	Standart Oil Development Comp.
Silikon	MQ	Polisiloksan	1944	A.B.D	Dow Corning Corporation

Çizelge 2.2. Sentetik kauçuklarda ilkler (devam) (Vahapoğlu, 2006)

Ticari İsmi veya Marka İsmi	ASTM 1418	Kimyasal İsmi	İlk Üretildiği Yıl	İlk Üretildiği Ülke	İlk Üretici Firma
Hypalon	CSM	Klorosül Polietilen	1955	A.B.D	Du Pont Corporation
Sentetik Doğal Kauçuk	IR	İsopren	1956	A.B.D	Fire Stone Tire Corporation
Fluorokarbon	FKM	Florlu Hidrokarbon	1956	A.B.D	Du Pont Corporation
Polibütadien	BR	Bütadien	1961	-	-
EPDM	EPDM	Etilen-Propien Dien Monomer	1963	-	-
Vamac	-	Etilen/Akrilik	-	A.B.D	Du Pont Corporation

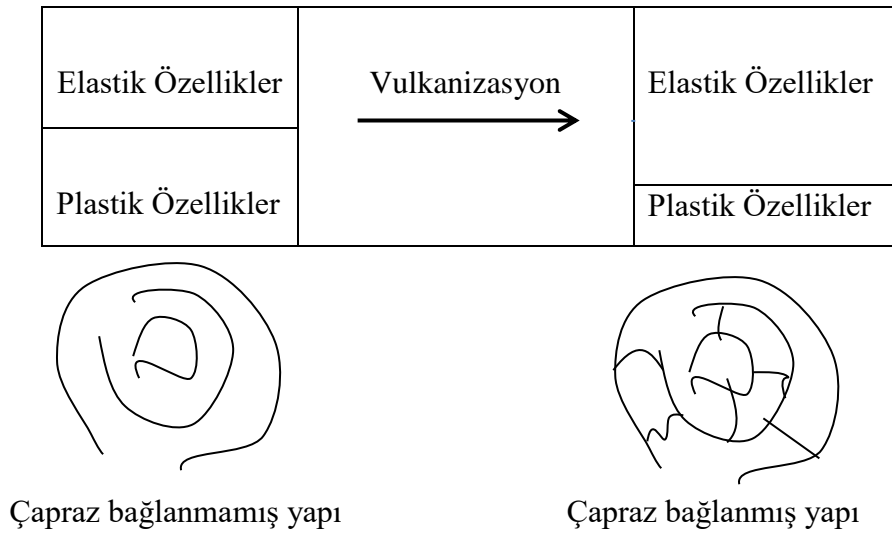
2.2. Kauçuk Malzemelerin Genel Tanıtımı ve Kullanım Alanları

Polimerler; plastikler, elastomerler ve elyaflar olmak üzere üç grupta incelenir. (Savran 2001) Elastomerler malzemeler, sentetik ve doğal kauçuk olmak üzere ikiye ayrılırlar. Malzemeler özellik olarak kauçuk, plastik ve elyaflar gerilme-uzama eğrisine bakılarak saptanabilmektedir. Bunun için, malzemenin çekme sonucunda uzamasından kopma noktasına kadar olan davranışı incelenmektedir. Şekil 2.2' de çeşitli polimerlerin uzama - gerilme eğrileri görülmektedir. Kauçuk malzeme, polimerik malzemelerin termosetler grubuna girmekte olup doğal ve sentetik kauçuklar olarak sınıflandırılır. Günümüzde birçok alanda doğal kauçuğa farklı kimyasallar katılarak üretilen sentetik kauçuklar kullanılmasına rağmen doğal kauçuklar ve kullanım alanları üzerine de yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır. Kauçukların yüksek sıcaklık değerlerinde koyu sıvımsı bir hal alarak yumuşaması, düşük sıcaklarda ise cam gibi kristalleşerek sertleşmesini önlemek için çapraz bağlanmayı sağlayacak olan vulkanizasyon işlemi, kauçuğa elastiklik özelliği kazandırır. Şekil 2.2.'de çeşitli polimerlere ait gerilme - uzama eğrileri gösterilmektedir.

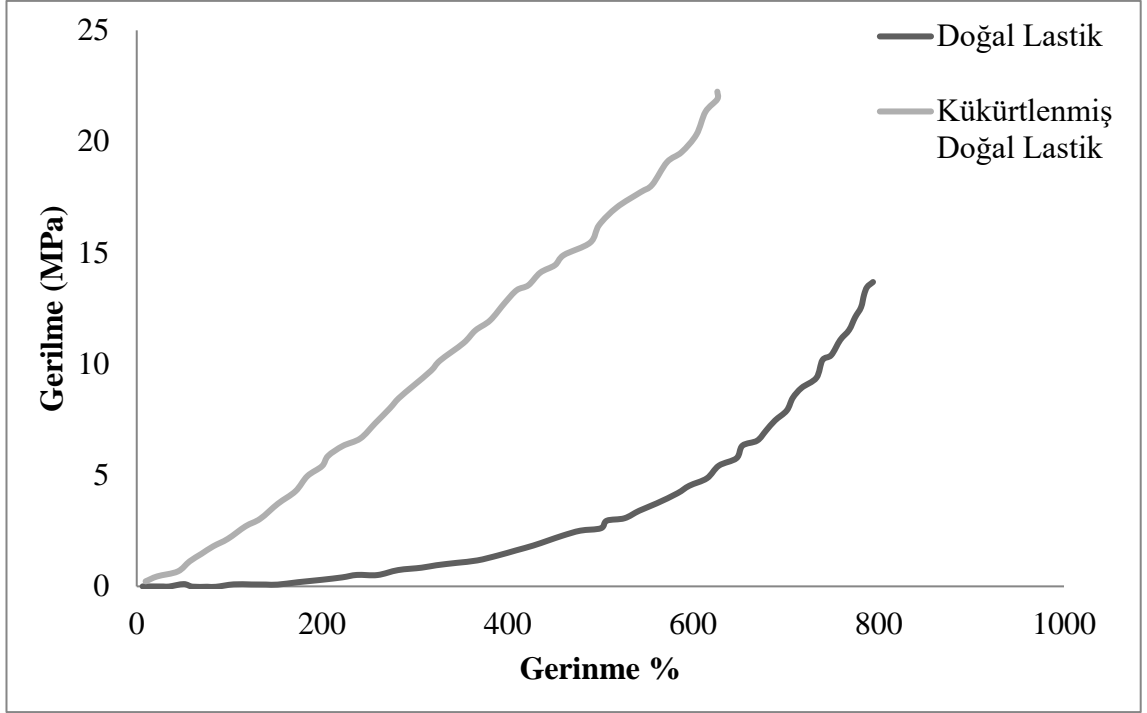


Şekil 2.2. Çeşitli polimerlerin gerilme - uzama eğrileri (Erkek, 2007)

Çapraz bağlanabilme vulkanizasyon işlemi ile açıklanabilir. Vulkanizasyon işlemi, kauçuğun ısı, basınç ve zaman etkisi altında kimyasal yapı değişikliğine uğrayarak (çapraz bağlanma reaksiyonu) ve geri dönüşümsüz olarak elastik özelliği kazandığı duruma gelmesi veya getirilmesi işlemidir. Kauçuklar çapraz bağlanmamış kükürt atomlarının serbest halde bulunduğu, fakat çapraz bağlanabilme özelliğine sahip polimerlerdir. Vulkanizasyon işlemi ile birlikte atomlar birbirine bağlanır. Yüksek sıcaklık ve basınç etkisi altında koyu sıvımsı akışkan özelliği sergilerler. Bu uygun şartlar altında şekillendirilebilmelerini sağlamaktadır. Vulkanizasyon öncesi yüksek plastik özellik gösteren kauçuklar, vulkanizasyon sonrası yerini yüksek elastik özelliklere bırakır. Şekil 2.3.' te vulkanizasyon işleminin çapraz bağlanmaya olan etkisi şekiller ile anlatılmaktadır.



Şekil 2.3. Vulkanizasyon (Erkek, 2007)



Şekil 2.4. Çapraz bağlanma öncesi ve sonrasında gerilme-gerinme eğrileri
(Kınıkoğlu,2006)

Şekil 2.4.' de vulkanizasyon işlemi esnasında gerçekleşen çapraz bağlanma öncesi ve sonrasındaki durumlar için gerilme-gerinme eğrileri görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi, vulkanizasyon işlemi esnasında kükürt atomlarının çapraz bağlanmalarıyla malzeme rijitliği, çekme dayanımı artmıştır.

Kauçuk türleri; doğal kauçuk (NR), nitril kauçuk (NBR), stiren butadien kauçuk (SBR), etilen propilen kauçuk (EPM, EPDM), poliakrilik kauçuk (ACM), kloropren kauçuk (CR), silikon kauçuk (MQ, VMQ, PVMQ), florokarbon kauçuk (FKM), politetrafloroetilen (PTFE), hidrojene nitril kauçuk (HNBR), epiklorohidrin kauçuk (CO, ECO), isopren kauçuk (IR), termoplastik poliüretan (TPU), poliamid (PA) şeklinde sıralanabilir.

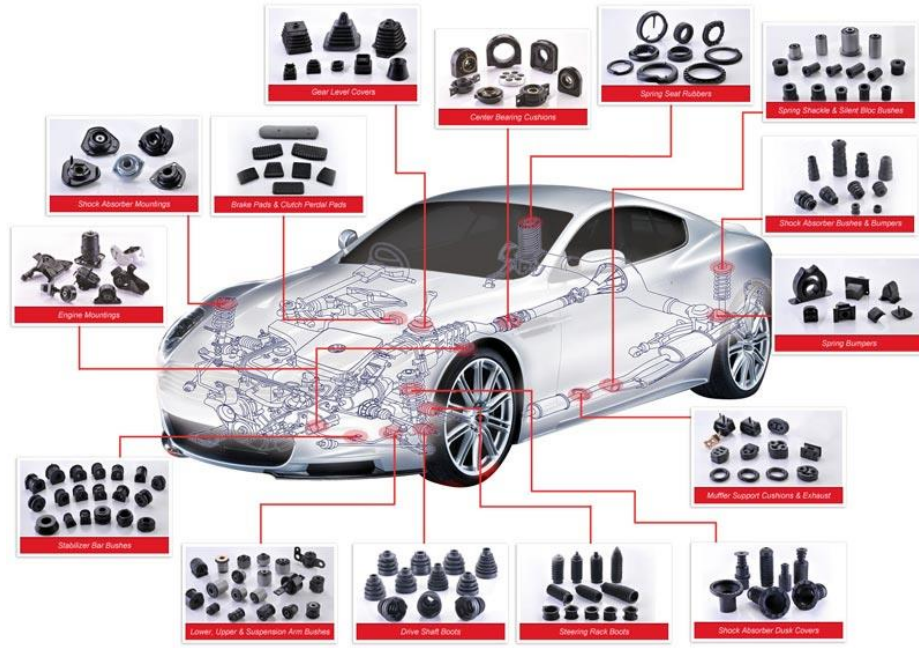
En çok kullanılan kauçukların bazı temel özellikleri Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Kauçukların temel özellikleri (Kınıkoğlu, 2006)

	NR	EPDM	NBR	SBR	CR	BR
Yoğunluk (g/cm ³)	0,93	0,86	1	0,94	1,23	0,94
Sertlik (ShA)	30-100	40-95	20-100	40-100	40-95	45-80
Kopma Mukavemeti (MPa)	>30	>21	>24	>24	>28	>21
Max. Çalışma Sıcaklığı (°C)	100	145	105	100	100	100
Min. Çalışma Sıcaklığı (°C)	-60	-40	-30	-50	-45	-40

Doğal kauçuk, endüstrinin her alanında yaygın bir kullanıma sahiptir. Titreşim, gürültü ve şok emici olarak tampon, amortisör parçaları, kayar kapı durdurucu, motor ve makine takozları gibi hareketli parçaların olduğu alanlarda kullanılır. Otomotiv sektöründe contalar, köpükler, cam silecekleri, paspaslarda kullanılır. Bunun dışında konveyör bantlar, hortumlar, ayakkabı tabanları, kablolar, yer döşemeleri, demiryolu destekleri, diyaframlar, yapışkan malzeme imalatı, koruyucu silindir kaplama, sünger imalatı, gıda sanayi contaları, sağlık ürünleri, lateks üretimleri (eldiven, bebek emzikleri, balonlar) gibi alanlarda da kullanılmaktadır.

Kauçuk malzemeden yapılan taşıt elemanları, titreşim sönümleyici olarak taşıtların birçok bağlantı bölgesinde kullanılmaktadır. Kullanım yerlerinden bazıları; motor takozları, süspansiyon bağlantıları, gövde bağlantıları, radyatör bağlantıları, egzoz destek parçası olarak sayılabilir. Şekil 2.5.'te bir araç üzerinde kullanılan kauçuk parçalar görülmektedir.



Şekil 2.5. Kauçuk parçaların otomobil üzerinde kullanıldığı yerler (Anonim, 2010)

2.3. Kauçuk Parça Tasarımı

Kauçuk parçalar titreşim, ses ve gürültüyü engelleyen parçalardır. Kauçuk parçalar tasarlanırken parçada oluşacak nihai hataların tasarım aşamasında belirlenmesi gerekir. Çatlak oluşması, kimyasal bozulma, termal yaşlanma, yapışma hataları ve parçaya akışkan girmesi parçanın çalışması esnasında ömrünü etkileyecek faktörlerdir. Bu hataların önüne malzeme testleri yapılarak, analitik ve sonlu elemanlar analizi kullanılarak geçilebilir. Çatlak mekaniği, gerilme analizi, termal analiz yapılarak hata oranlarının dağılımına göre parça ömrü belirlenebilir.

Özgün (2010) gerçekleştirdiği çalışmada kauçuk malzemelerin mekanik yorulma dayanımının fiziksel özellikleri etkilediği ve onların zayıflamasına sebep olduğu, dinamik yükleme altında küçük çatlakların oluşmaya başladığını gözlemlemiştir. Bu dinamik yükleme ile en önemli değişiklik rijitlik yönündeki azalmadır. Uygulanan kuvvet etkisi ile gerilimin azalmasına ve elastomer malzemelerde zamana bağlı olarak iç çatlamlara neden olmaktadır. Belirli yük altında tabii kauçuk kristalleşerek iç çatlakların daha da artmasını engeller.

Yorulma sırasında değişik atomik ve moleküler prosesler meydana gelir. Ancak yorulma karakteristikleri genelde ampirik değerlerden oluşur. Buradaki esas kabul mekanik yorulma limitidir ve mekanik yorulma hatasının oluşmadığı gerilme şartlarını temsil eder.

Kauçuk malzemede yorulma çatlamları değerlendirdiğinde ana sebepler mekanik yükleme, termal etki, çevresel (oksijen, ozon ve ultraviyole) ve kimyasal faktörlerinden oluşmaktadır. Oluşan diğer hatalara örnek olarak motor takozları ve kauçuk metal burçlar verilebilir. Çevresel kaynaklı çatlaklar genel itibari ile yüzeyde küçük çatlaklar şeklinde oluşmaktadır. (Özgün 2010).

2.4. Kauçuk-Metal Burçların Tasarımı

Medalia' ya (1978) göre, lastik malzemelerin ömrü ve fonksiyonları birinci olarak çalıştıkları frekans ve genlik değerlerine göre değişmektedir. İkinci olarak ise Fletcher-Gent etkisidir ki bu lineer olmayan dinamik özelliklere bağlıdır. Bu durum Payne ve Wittaker (1971) tarafından bildirildiğine göre kauçuk içerisindeki dolgu maddelerine özellikle de karbon siyahının yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bu durum kayma modülü ve sönümleme oranında artışa yol açar. Bu nedenle kauçuk metal burçlarda dinamik özelliklerin belirlenmesinde genliğe olan bağımlılık artmakta ve bu husus önem kazanmaktadır.

Morman'a (1968) göre burçların davranışları statik rijitliklerine göre sonlu elemanlar analizi yoluyla belirlenebilir.

Bu metotta Fourier ve Bessel fonksiyonları (Hill 1975), prensip metotlar (Adkins,1954) ve üç boyutlu statik elastik teoremler, radyal, konik ve torsiyonel statik rijitlik formülleri kullanılabilir. Bununla birlikte statik rijitliklerin belirlenmesinde standart deneysel çalışmalar mevcuttur. (Lindley 1992, Gent 1992, Göbel 1974,)

Kari (2002) burçların yapısal özelliklerinin tüm eksenlerde belirlenmesi konusunda çalışmıştır. Yapılan bu çalışmaların hiçbirinde genlik bağımlılığı göz önüne alınmamıştır.

Kraus (1984) genliklerin hesaplanmasında, karbon siyahı ile diğer kimyasallar arasındaki van der waals bağlarının sürekli kırılması sonucunda genliklere bağımlılığın oluştuğunu

savunmuştur. Ulmer (1998) ve Lion (2005) Kraus modelinin zamana bağlı formülleri üzerine çalışmıştır.

Fletcher-Gent etkisi aynı zamanda sürtünme modelleri yardımıyla yay ve sönümleme elemanı esasına göre modellenmiş ve daha sonra genişletilmiştir. (Bruni ve Collina 2000, Olsson ve Austrell 2001, Brackbill 2000).

En basit kauçuk parça tasarım modeli Kevin-Voight modelidir. Burada bir yay ve sönümleyici piston birbirine paralel olarak bağlanır (Knothe ve Grassie 1993). Bu model hem rijitliği hem de yüksek frekanslardaki sönümlemeyi temsil eder. Üç parametrelili Maxwell modelinde ise, sisteme paralel bir yay daha ilave edilir. Eklenen yay eleman yüksek frekanslarda daha iyi bir rijitlik elde edilmesini sağlar (Lodhia ve Esat 1996, Betz ve Spanier 1996). Ancak bu kadar fazla parametre olması parçada kullanılacak malzemelerin temsil edilmesini zorlaştırmaktadır.

2.5. Kauçuk Metal Parçaların Üretimi

Kauçuk metal parçaların vulkanizasyonu için üç temel parametreye ihtiyaç duyulur. Bunlar sıcaklık, süre ve basınçtır. Üç farklı üretim metodu kullanılmaktadır. Bunların ilki kompresyon kalıplama metodudur. Bu metotta, parçanın şeklinin olduğu boş bir metal kalıbın içerisine ağırlığı belli miktarda kauçuk karışımı konulur. Daha sonra pres yardımıyla belli surede kalıba sabit basınç uygulanır. Kauçuk hamuru vulkanize olduktan sonra kalıbın şeklini alır ve parça kalıptan çıkartılır. Üretim yönteminin avantajı sadece basit bir kalıp ve hidrolik prese ihtiyaç duyulmasıdır. Üretim, kalıbın basıncına bağlı olduğundan hidrolik basınçta düşüklük meydana gelirse kalıbın yanlarında oluşan çapak miktarı artacağından her baskıda farklı ölçülerde parça üretme dezavantajı vardır. Kalıp gözlerine gelen sıcaklık değerleri eşit olmadığı için her kalıp gözünden çıkan parçada farklı fiziksel özellikler görülebilir. Kauçuk hamurunun kalıbın içine konma zamanı ve hidrolik presin harekete geçirilmesi insana bağlı parametreler olduğundan, insan hatalarından direkt etkilenen bir üretim yöntemidir.

Diğer metot ise transfer kalıplama metodudur. Transfer kalıplama yönteminde kauçuk kalıbının üst transfer plakasından kalıp gözüne hamur akısını sağlayacak yolluklar

bulunmaktadır. Kauçuk hamuru ön ısıtma yapılarak kalıbın üst haznesine konur ve hidrolik presin basıncı kullanılarak gözlere akış sağlanır.

Transfer kalıplamada kalıp ölçüleri daha hassastır ve parçanın üretim zamanı daha fazla kontrol altındadır. Kalıbın kendinin açılması ve kauçuk hamurunun kalıp içine kesilerek konması ortadan kalktığından insana bağlı parametreler iyileştirilmiştir. Metodun dezavantajı ise kalıpta yolluklardan akan kauçuk hamurunun sıcaklığının istenen şekilde ayarlanamamasıdır ve 100 °C'yi geçmez. Günümüzde transfer kalıplama metodu küçük parça ve conta imalatında kullanılmaktadır.

Enjeksiyon kalıplama metodunda ise bir enjeksiyon üniteli hidrolik pres ve yolluk plakası bulunan bir kauçuk kalıbına ihtiyaç bulunmaktadır. Kauçuk hamuru bir burğu yardımıyla akışkan hale getirilerek hamur haznesinde biriktirilir. Ardından kalıbın içine enjekte edilir. Bu esnada kalıp kapalı olmalı ve belirli bir sıcaklıkta olmalıdır. 1941 yıllarında bazı firmalar yüksek adetlerde ve hızlı üretim yapabilmek için bu metotla çalışmaya başlamışlardır. Dik enjeksiyon kalıplama üretimi II. Dünya Savaşı'nda radar parçalarının üretimi için kullanılmıştır. Kalıp gözlerine homojen olarak dağılan kauçuk hamuru sayesinde deforme olmamış parçalar üretilmesi bu metodun zamanla gelişmesini sağlamıştır. Bu metodun avantajları arasında kauçuk hamurunun ön hazırlama, ısıtma ve tartma işlemleri olmadığı için insana bağlı parametrelerin en aza indirilmesi gösterilebilir. Vulkanizasyon zamanı diğer metotlara göre kalıp sıcaklıkları ve enjeksiyon sıcaklıkları arttırılarak minimum yüzde üç düşürülmüştür. Parçalarda ölçüsel farklılık ve deformasyonlar olmadığı için ürünlerin kalitesi yükselmiş ve fiziksel özellikler her parça için aynı seviyede kalmıştır. Parçaların kenarlarında kalan fireler kalıp tarafından kesildiği için, parçalar çapaksız olarak üretilmekte ve ek işçiliklerden tasarruf sağlanmaktadır.

Çapak miktarının azaltılması ve hatalı parça sayısının azaltılması sayesinde malzeme maliyetleri düşürülmektedir. Sadece enjeksiyon kalıplama metoduyla üretilebilecek parçalar mevcut olduğunda bu yöntem insanlığa hizmetin arttırılması için kullanılmıştır. Bu metot günümüzde hassas ve her kalıp gözünden üretilen parçaların aynı fiziksel özellikleri göstermesi avantajı sunan ve en çok kullanılan kalıplama yöntemidir.

2.6. Kompozit Malzemeler

Kompozitin kelime anlamı, iki veya daha fazla parçanın bir araya gelmesi ile oluşan malzemedir. Kompozit malzemeler kısaca ‘makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler’ olarak söylenebilir. Kompoziti oluşturan bileşenler büyük oranda kendi özelliklerini korumaktadırlar. (Rosato, 1997).

Cam elyaf Amerika’da 1930’lu yıllarda bulunmuş ve ilk modern anlamda kompozitin üretimi bununla başlamıştır. Bundan sonra cam elyaf yayılmış ve dünya pazarına çıkmıştır. Kompozit malzemeler teknolojik açıdan değerlendirildiğinde son dönemin ileri teknolojik malzemeleri olarak bilinmektedir. Kompozitin en önemli özelliklerinden biri de mikro düzeyde homojen yapıda bulunmasıdır.

Kompozit malzemeler temel olarak geleneksel malzemelerin aşağıda kısaca açıklanan bazı özelliklerinin bir veya birkaçını iyileştirmek amacıyla yapılmaktadır. Bunlar;

- Mukavemet,
- Korozyon direnci,
- Termal dayanım,
- Elektrik iletkenliği,
- Akustik iletkenlik,
- Ağırlık,
- Estetik görünüm,
- Fiyat

Kompozit malzemeler bir matris ana fazı ve bunun içerisine dağılan takviye elemanlarından elde edilir. (Hahn ve Tsai, 1980). Ana malzeme ve takviye malzeme olarak çoğunlukla seramik, cam, metal ve plastikler kullanılır.

2.7. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler genel anlamı ile iki ana grupta sınıflandırılır. Bunlardan ilki kullanılan matris malzemeye göre yapılan sınıflandırmadır. Matris malzemeler, kompozitlerin üretim tekniğine ve kullanım amacına göre seramik, metal veya polimer malzemedir olabilir.

Kompozit malzemelerden metal matris yapısına sahip olanların ana malzemeleri genel olarak çeşitli metal alaşımları ve metallerdir. Bu kompozit türünde takviye (ikinci faz), değişik geometrilere olabilir. Metal kompozitler aşınmaya karşı dayanım yüksek gerilme mukavemeti elde edilebilmesi için seramik malzemeler ile birlikte kullanılır.

Seramik matrise sahip kompozitler hafif ve yüksek sıcaklık değerlerine dayanıklı oldukları için yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Kırılgan ve sert olmaları onları düşük süneklik ve tokluk özelliği katmaktadır. Buna ek olarak da termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Bu sebepten dolayı liflerle takviye edilerek kullanılırlar. Buna karşı çok yüksek elastiklik modülüne ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler.

Kompozit malzemelerden polimer matrisler genellikle petrokimya esaslı ürünlerdir ve günümüzde en çok kullanım alanına sahip olan malzeme türüdür. Polimerik kompozitlerin korozyon dayanımı, uzun süreli kullanıma elverişli, kolay işlenebilen, şekillendirilebilen, yük kapasitesi birim kütle başına yüksek malzemelerdir (Vasiliev ve Morozov, 2001). Polimer matrisli kompozitler, termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere ikiye ayrılır.

Termoset kompozit matrisler; lif takviyesi ile kompozit yapımında daha sık kullanılır ve sıvı halde bulunurlar, katılaştırıcı ilavesi ile jel kıvamına gelir ve daha sonra katılaşırlar. Termoset malzemenin reçineleri izotropik özellik gösterir. Lif takviyesi kullanılan kompozitlerde çoğunlukla düşük viskozitede olmaları istenilir. Plastik malzemelerden poliamidler şekil verilebilen, ısı direnci en yüksek polimerlerdendir (Itoh vd 2002).

Termoplastik matrisler; genellikle sünek ve ısı ile eritilebilir, soğutma ile katılaştırılırlar. Bu da onlara tekrar şekil verdirilebilme kabiliyeti sağlar. Termoplastikler amorf veya yarı kristal yapıda olabilirler. Amorf termoplastikler de moleküller gelişigüzel düzenlenmiş

bir yapıdadır. Kristal bölgede ise moleküller sıkı paketlenmiş düzenli bir yapıdadır (Kaya, 2015).

Kompozit malzemelerin ikinci gruplandırması ise takviye edici malzemeye göre sınıflandırılmasıdır. Bunlar da elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, tabakalı ve karma olarak kendi arasında 4 gruba ayrılmaktadır.

Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin en yaygın şekli cam elyaf takviyeli olan kompozitlerdir. Takviye malzemesi olarak en çok cam kullanılmaktadır. Matris malzeme kısmında ise plastik reçineler yaygın kullanılan türdür. Bu türlerden polyester ucuz olduğu için ön sıralardadır. Kompozit malzemelerin lif takviyeli olanları mekanik olarak birbirinden farklıdır ve moleküler boyutta birbirinden ayrılırlar. Matris kompozitler (reçineler) termoset veya termoplastik malzemenin olabilir. Takviye lifleri, dokuma kumaş, uzun lifler ve kısa kesilmiş lifler gibi değişik formlarda olabilirler. Her farklı tür ayrı özelliklerle sonuçlanır. Kompozit malzemenin özellikleri, liflerin kompozit içerisinde nasıl uzandığı ile ilgilidir (Vasiliev ve Morozov 2001).

Parçacık takviyeli kompozitlerde takviyenin boyutları, kompozit malzemeye olan katkısını belirler. Parçacıklar, genellikle kompozitin sertliğini artırmada etkilidir fakat dayanımı artırmada etkisi yoktur. Parçacık dolgular, genel itibari ile mekanik ve fiziksel özellikleri arttırmada kullanılmaktadır. Ayrıca maliyeti düşürmek için de kullanılan takviye türüdür. Parçacık takviyeli kompozitlerde parçacık boyut dağılımları, hacimsel oranlar, yüzey enerjileri, eksen oranı, homojen dağılıp dağılmadıkları, kompozit özelliklerini etkileyen faktörlerdir.

Tabakalı kompozitler, en yaygın ve en etkin kullanım alanına sahip olan kompozit malzeme türüdür. Çok yüksek mukavemet değerleri elde etmek için farklı yönlerde elyafların yönlendirmesine sahip tabakaların birleştirilmesi ile oluşur. Nem ve ısıya karşı dayanıklıdır. Metallerle nazaran hafif ve mukavemetli olmaları tercih edilme sebeplerini arttırmaktadır. Çoğu katmanlı kompozit; yüksek dayanım, düşük maliyet, hafif ve iyi bir ısıl genleşme özelliklerini sağlamaktadır.

Karma kompozitler aynı yapıda iki ya da daha fazla takviye elemanın birleşmesi ile oluşurlar. Bu tip kompozitlere aynı zamanda “hibrid kompozitler” de denilmektedir. Yeni ve farklı tip kompozitlerin oluşmasına karma kompozitler örnek teşkil etmektedir. Örnek

olarak, kevlar malzemesi ucuz bir elyaf olmasına karşın basma dayanımı düşüktür. Grafit ise; düşük tokluğa sahip olmasına rağmen pahalıdır fakat basma dayanımı yüksek olan bir elyaf türüdür. Bu iki elyaf türü birleştirilerek oluşturulan yeni hibrit kompozitin tokluğu grafit kompozitten daha iyi, maliyeti daha düşük ve basma dayanımı ise kevlar elyafı kompozitten daha yüksektir.

2.8. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanı

Kompozit malzemelerin kullanım alanı gün geçtikçe artmakta ve yeni sektörlerde kullanılmaktadır. Özellikle havacılık sanayi, denizcilik sanayi, spor araçları, sağlık, otomotiv, müzik aletleri, yapı sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarının detaylarına bakacak olursak;

Havacılık sanayisinde;

- B2 uçağı (bombardıman) gövdesinin panelleri karbon fiber + epoksi yapılmıştır.
- A380 yolcu uçağının kanat panelleri ayrıca flapleri karbon fiber + epoksi yapılmıştır.
- A380 yolcu uçağının burun bölümünün bir kısmı (radome) cam elyaf takviyeli plastik (CTP)' den yapılmıştır.
- A380 yolcu uçağının dikey stabilizeri aramid fiber + epoksi malzemeden yapılmıştır.
- Airbus 300/600 uçaklarının zemin plakasında kullanılan karbon takviyeli polieterimiden yapılmıştır.

Denizcilik sanayisinde;

- Yelkenli gövdesinde cam elyaf takviyeli plastik (CTP), balsa ve polimer köpük malzeme üzerine cam, aramid karbon dokumaları ile kaplanmıştır.
- Yat ve teknelerin arka platformları kompozit malzemeden üretilmektedir.
- Basamaklar cam elyaf takviyeli plastik (CTP)' den üretilmiştir.
- Yelken direkleri kevlar + epoksi olarak üretilmektedir.

Spor araçları;

- Su kayakları termoplastik prepreg malzemeden üretilmektedir.
- Kar kayakları ahşap malzeme üzerine sarılmış karbon, aramid ve cam elyafı karışımı + epoksi malzemeden üretilmektedir.
- Kano küreği (%33 cam + poliftalamid) kompozit malzemeden üretilmektedir.
- Su kaydırakları ve sörf tahtaları cam elyaf takviyeli plastik (CTP) malzemeden üretilmektedir.
- Bisikletlerin bir kısmında karbon + poliamid 6 malzeme kullanılmaktadır.
- Reebok spor ayakkabıları termoplastik poliüretan, petek kompozitten üretilmektedir.
- Golf sopaları hafif ve sağlam olması için karbon fiber + epoksi malzemeden üretilmektedir.
- Tenis raketi aramid (kevlar) + epoksi malzemeden üretilmektedir.
- Zıpkın gövdesi karbon fiber + epoksi malzemeden üretilmektedir.

Otomotiv sektöründe;

- Cam sileceğinin bir kısmı %30 cam + polibütillen tereftalat (PBT) malzemeden üretilmektedir.
- Filtre kutusu %35 cam + poliamid 66 malzemeden üretilmektedir.
- Pedallar %40 cam + poliamid 6 kompozit malzemeden üretilmektedir.
- Dikiz aynası %30 cam + akrilonitril bütadiyen stiren (ABS) kompozit malzemeden üretilmektedir.
- Far gövdesi %30 cam + polibütillen tereftalat (PBT) kompozit malzemeden üretilmektedir.
- Hava giriş manifoldunda %30 cam + poliamid 6 kompozit malzeme kullanılmıştır.
- Otomobil göstergesi panelinde cam mat takviyeli termoplastik (GMT) kompozit malzeme kullanılmıştır.

- Otomobil yan gövde iskeletinde cam elyaf takviyeli plastik (CTP) kompozit malzeme kullanılmıştır.

Müzik aletlerinde;

- Keman müzik aletinde karbon fiber + epoksi kullanılmıştır.
- Gitar müzik aletinde karbon lamine tabakalar arası polimer köpük kullanılmıştır.
- Akustik gitar müzik aletinde grafit + epoksi kullanılmıştır.
- Çello müzik aletinde karbon + epoksi kullanılmıştır.

Yapı sektöründe;

- Köprü tabanlarında, yürüme yollarında, taşıyıcı konstrüksiyonlarda, bina balkon korkuluğunda, kapıların bir kısmında, bina kaplama panellerinde, küvetlerde, lavabolarda, sokak lambalarının bir kısmında cam elyaf takviyeli plastik (CTP) kullanılmaktadır. (Vatangül, 2008)

2.9. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Maddeler

2.9.1. Matris Malzemeleri

Kompozit yapılardaki matrislerin üç ana fonksiyonu vardır. Bunlar, yükü elyaflara dağıtmak, elyafları bir arada tutmak ve elyafların çevresel etkilerden korunmasını sağlamaktır. İdeal bir matris malzemesinde başlangıçta düşük viskoziteli bir yapı varken sonrasında elyafların sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek bir katı forma rahatlıkla geçebilmelidir.

Matrisin mekanik özellikleri, kompozit yapılarda yükü taşımada kullanılan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri çok önemlidir. Örnek vermek gerekirse matris malzemesi olmadan bir elyaf yapısı düşünüldüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından karşılanacaktır. Matrisin yapısı olduğunda ise yük tüm elyaflara eşit oranda dağılmasını sağlayacaktır. Kesme yükü etkisinde bir gerilmeye dayanım için, elyaflarla matris arasında kuvvetli bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini

gerektirmektedir. Elyaf yönlenmeleri, matrisin mekanik özellikleri, matris ile elyaf arasındaki bağ kuvvetleri kompozitin dayanım özelliklerini belirleyici önemli yapılardır.

Matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri ve matrisin kesme mukavemeti çok yüksek ise, matriste veya elyafta oluşacak bir çatlağın ilerleyerek büyümesi mümkündür. Bu durumda kompozit malzeme gevrek bir malzeme gibi davranış gösterir ve kopma yüzeyi temiz, parlak bir yapıda olur. Eğer bağ dayanımı çok zayıfsa elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranış gösterir ve kompozit yapı zayıflar. Orta seviyede bir bağ dayanımında ise matris veya elyaftan başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak elyaf/matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzeme özelliği gösterir ve kopması esnasında lifli bir yüzey oluşturur.

2.9.2. Reçine Malzemeleri ve Özellikleri

Epoksi Reçineler :

Epoksi reçineleri epiklorhidridin ile bifenol A reaksiyonu sonucu oluşan ürün olup sertleştirici (katalist) ile karıştırıldığında ise adi sıcaklıkta veya fırınlama işlemi ile (70° – 90°) bir sonucu olarak bir süre sonra sertleşir ve plastik görünümlü bir hal alır. Önemli özellikleri olarak katı, sıvı ve viskoz sıvı fazlarında bulunabilmeleri, ısı, elektrik, kimyasal dirençleri sayesinde mekanik özelliklerinin yüksek oluşu, hava şartlarından etkilenmeden bozulmadan durabilmeleridir. 24 ay depolama koşullarında saklanabilmektedirler.

Polyesterler :

Dibazik asitlerle glikol, gliserin gibi polialkollerin tepkimesinden elde edilirler. Termoplast, katı, sıvı termostat gibi fazlarda bulunur. Sıvı polyesterler, hızlandırıcı ve katalist kullanılarak kür edilirler. Sert, hava şartlarına ve kimyasal maddelere direnci çok yüksektir. Katı polisterler darbelere karşı mukavemetlidir.

Üretan Reçineler :

Bir polialkol bir izosiyanatın oda sıcaklığında tepkimeye girmesi ile polimerizasyonu ile elde edilen üretanlar çoğunlukla köpük lastik (esnek ve rijit) yapımında kullanılırlar. Kimyasal direnci iyi, yazılım özellikleri yüksektir.

Elyaf Çeşitleri :

Kompozit yapıların ana dayanım elemanları matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeli kompozitlerdir. Yüksek elastite modülünün yanı sıra düşük yoğunlukları ve sertliğe sahip olmaları elyafların kimyasal korozyona da direncini arttırmaktadır. En önemli takviye malzemeleri günümüzde kompozit yapılarda kullanılan sürekli elyaflardan oluşmaktadır. Bu elyaflardan türetilen birçok yeni kompozit türü modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli katkı sağlamıştır. Cam elyaflar uzun yıllardır kullanılan en eski elyaf tipidir. Son yıllarda geliştirilen silisyum karbür, karbon, bor ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan yeni elyaf tipleridir. Yapısal hata olasılıkları düşürülebilmesi için elyafların ince çaplı olarak üretilmiş ve böylelikle bu hata türü en az indirilmiştir. Bu sebeple üstün mekanik özellikler gösterirler. Elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemesi olmalarındaki diğer etkenleri ise aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Üstün mikroyapısal özellikler, küçük çapta ve tane boyutlarının küçük olarak üretilibilmeleridir.
- Boy/çap oranı arttırıldıkça matris malzemesi tarafında elyafların taşıdığı yük miktarının artmasıdır.
- Elastisite modülünün çok yüksek olmasıdır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kauçuk-metal burçlar otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan parçalardır. Özellikle süspansiyon sistemlerinde, ön ve arka aks sistemi, salıncak kolu, motor, motor beşiği, viraj denge çubuğu gibi araç için en önemli parçalar üzerinde titreşim sönümlenme ve bağlantı elemanı olarak kullanılmaktadır. Araç üzerinde metal parçaların birbirine bağlanmasında belirli ölçüde bir hareket serbestliği sağlayan, aynı zamanda bu parçalara gelen titreşimi sönümleyerek hem metal parçaların yorulma ömrünü arttırmakta hem de titreşimi sönümlediği için sürüş konforu sağlamaktadır. Bu bağlamda düşünüldüğünde araç için en önemli parçalardan biri haline gelmektedir.

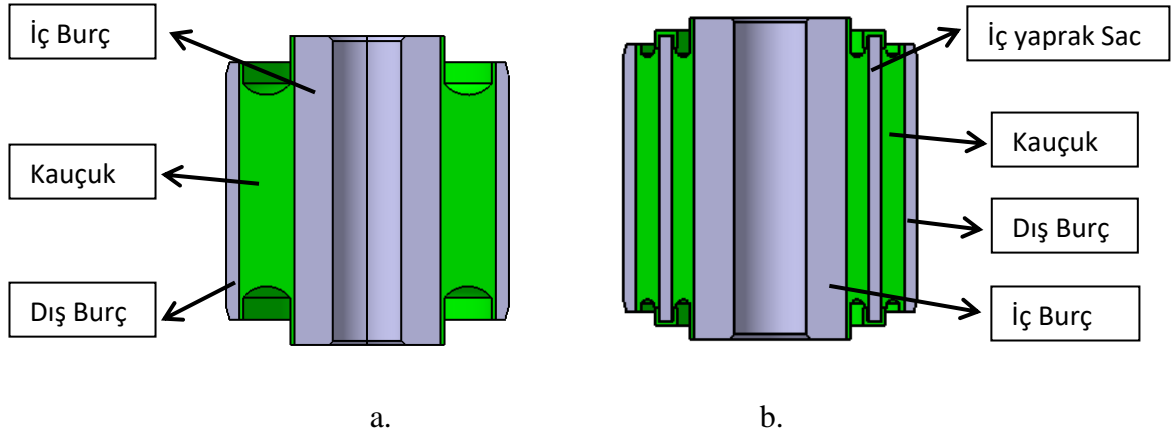
Bir otomobil üzerinde (otomobil) ortalama 50 adet kauçuk-metal burç parçası bulunmaktadır. Kauçuk-metal burçlar otomobillerde olduğu gibi birçok farklı araç üzerinde de kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak ticari araçlar, ağır vasıta araçlar, römorklar, trenler, traktörler vb. verilebilir. Metal süspansiyon elemanlarının ana gövdeye ve birbirlerine bağlantılarında kauçuk-metal burç parçaları kullanılmaktadır. Kauçuk-metal burçlar, aracın süspansiyon sisteminin dinamik karakteristiğinin belirlenmesi ve tasarımı aşamasında da önemli bir rol üstlenmektedir. Şekil 3.1.'de çeşitli metal kauçuk burç parçaları gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Kauçuk-metal burç görselleri

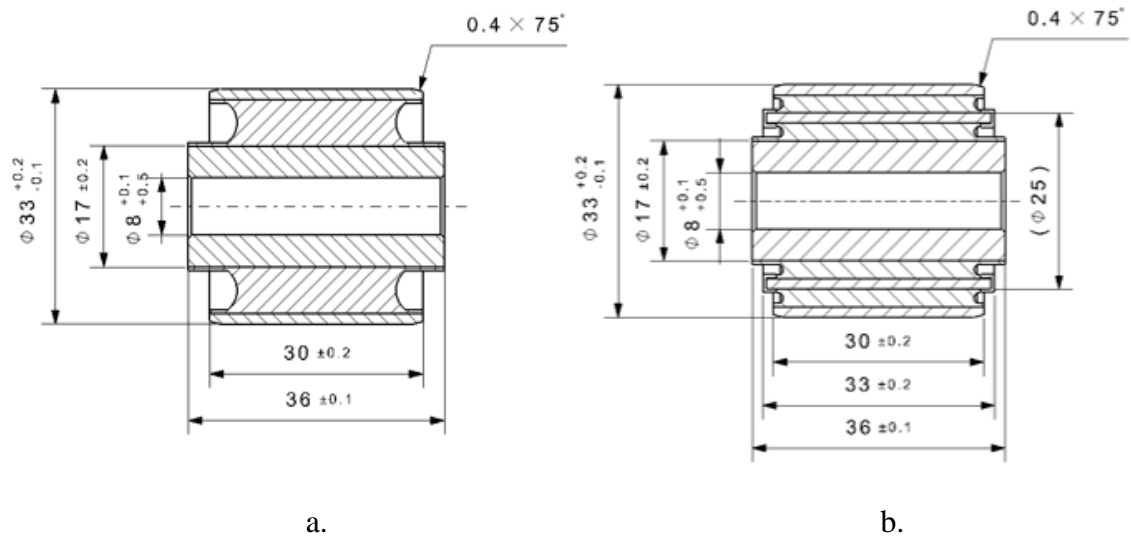
Araç dinamiği her araçta farklılık göstermektedir, bu sebeple kauçuk-metal burçların karakteristikleri de farklı olmalıdır. Kauçuk-metal burcun statik özellikleri aracın hangi

bölgesinde kullanıldığına göre de değişiklik göstermektedir. Bu özellikleri sağlayabilmek için birçok farklı yöntem kullanılmak ile birlikte bunlardan en önemlilerinden bir tanesi kauçuk-metal burçların arasına yaprak sac parçalarının kullanılmasıdır. Şekil 3.2.'de yaprak sac kullanılan ve yaprak sac kullanılmayan kauçuk burcun tasarım görselleri belirtilmiştir.



Şekil 3.2. a) İç yapraksız kauçuk burç tasarımı b) İç yapraklı kauçuk burç tasarımı

Kauçuk burçlarda kullanılan iç yaprak sacın kauçuk malzemenin statik değerlerine etkisinin incelendiği bu çalışmada kullanılan kauçuk burç ölçüleri Şekil 3.3.' de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. a) İç yaprak sacsız kauçuk burç kesit görünümü ve boyutları b) İç yaprak saclı kauçuk burç kesit görünümü ve boyutları

Kauçuk burcun alt komponent malzeme bilgisi çizelge 3.1.' de verilmiştir. Kauçuk doğal kauçuk (NR55) ShA malzemenen, iç burç, dış burç ve yaprak sac ise St 37-2 çelik malzemenen üretilmiştir.

Çizelge 3.1. Metal kauçuk burçta kullanılan malzemeler

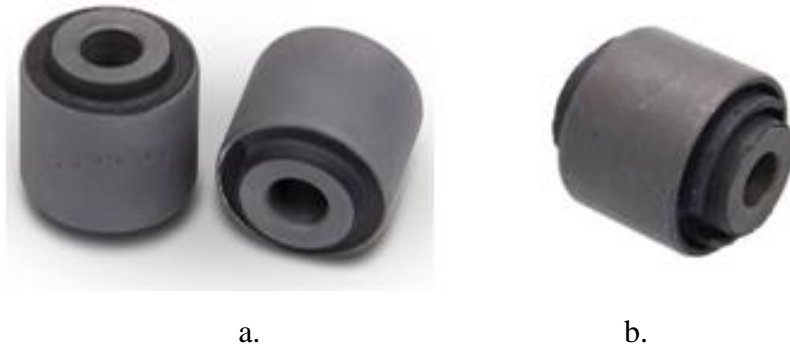
Parça Adı	Malzeme	Açıklama
Kauçuk	NR 45	NR 45±5 ShA
İç Burç	DIN 2393 St 37-2 NBK	**
Dış Burç	DIN 2393 St 37-2 NBK	**
Yaprak Sac	DIN 2393 St 37-2 NBK	**

Kauçuk burçta kullanılan metal malzemeler boru şeklinde olup dışta ve içte olmak üzere iki adettir. St37'den üretilen dikişli dış boru her hangi bir ısıl işleme tabi tutulmamıştır. Yaprak saclarda plakadan preste basılarak üretilmektedir. Çizelge 3.2. 'de kullanılan çelik malzemenin mekanik özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.2. St 37-2 malzemenin mekanik özellikleri

Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
346	414	35

Şekil 3.3.' de belirtilen ölçüler kullanılarak tasarlanan parçaların üretimleri gerçekleştirilmiştir. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız olarak gerçekleştirilen prototiplere ait görseller Şekil 3.4.' te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. a) Üretilen iç yaprak sacsız kauçuk burç b) Üretilen iç yaprak saclı kauçuk burç

Tezime konu olan kompozit kauçuk burçta, matris yapısı olarak PP (polipropilen) matrisli termoplastik, takviye elemanı olarak cam elyaf kullanılmıştır. Çizelge 3.3.'de kullanılan PP (polipropilen) malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Polipropilen malzeme mekanik özellikleri (Beşergil, 2016)

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopmada Uzama (%)	Termal İletkenlik (W/m.K)	Termal Genleşme Katsayısı (ppm/K)
Polipropilen	0,9	25-38	>300	0,2	110

Kompozit yapı şekli yönünden değerlendirildiğin de ise tabakalı bir yapıdan oluşmaktadır. Her bir katman genel olarak 0,5 mm kalınlığındır ve katmanların birbirine göre konumu ise 0°-90° dir. PP (polipropilen) matrisli sürekli elyaf takviyeli termoplastik kompozit burcun iç burcu 0,5 mm kalınlıklı 9 katmandan oluşurken, dış burcu yine 0,5 mm kalınlıklı 3 katmandan oluşmaktadır. İç yaprak saclar kauçuk ile vulkanize olacağı için 0,1 mm kalınlığındaki 10 katmandan oluşturulmuştur. İç yaprak saclardaki katman sayısının artırılmasındaki amaç daha hassas veriler elde etmektir. Kauçuk malzeme metal kauçuk burçta kullanılan malzeme ile aynı olan 45 Sha sertliğinde doğal kauçuktur.

Termoplastik kompozit burcun alt komponent malzeme, matris, takviye eleman, tabaka sayısı ve oryantasyon bilgileri Çizelge 3.4.' te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Termoplastik kompozit kauçuk burçta kullanılan malzemeler

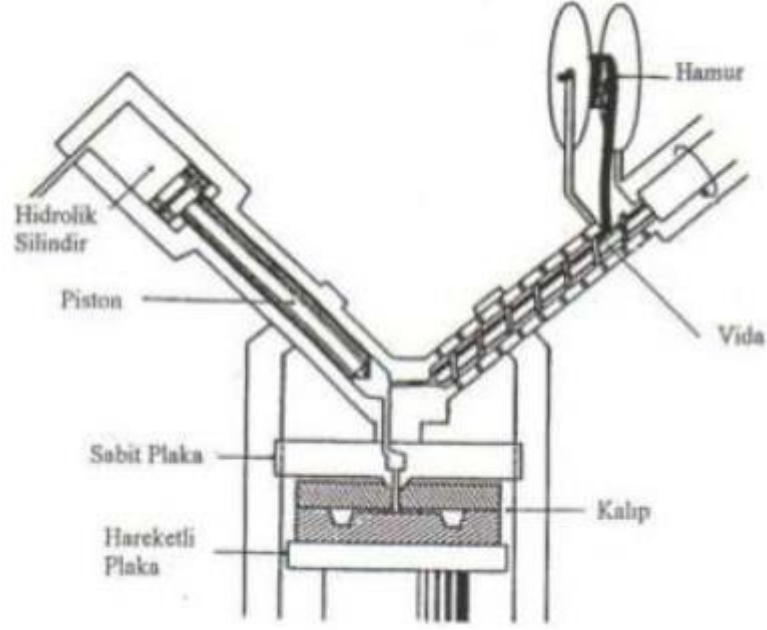
Parça Adı	Malzeme	Matris	Takviye Elemanı	Tabaka Sayısı	Oryantasyon
Kauçuk	NR 45 ± 5 Sha	-	-	-	-
İç Burç	Termoplastik Kompozit	Polipropilen	Cam Elyaf	9	0°-90°
Dış Burç	Termoplastik Kompozit	Polipropilen	Cam Elyaf	3	0°-90°
İç Yaprak Sac	Termoplastik Kompozit	Polipropilen	Cam Elyaf	10	0°-90°

3.1. Kauçuk - Metal Burçların Üretimi

Kauçuk – metal burçların üretiminde öncelikle metal parçalar hazırlanmaktadır. Dikişli boruların Şekil 3.3.’ de verilen ölçülerde kesilerek hazırlanmaktadır. Bu işlem tamamlandıktan sonra kesilmiş borular üzerindeki yağ ve diğer çapak gibi kalıntıların temizlenmesi ve kauçuğun metal parçaya tutunmasını arttırmak için yüzeye pürüzlülük vermesi için fosfatlama işlemi yapılmaktadır. Fosfatlama prosesi sırası ile 2 kere yağ alma, sonra durulama, asit banyosuna daldırma ve fosfat kaplanması işlemi ile son bulmaktadır. Bu işlemden sonra parçalar kurutma işlemine tabi tutulurlar.

Kauçuk parçanın metal parçaya yapışıp vulkanize olmasını ve geri dönülmez elastik özelliği kazandığı yapıya dönüşmesi için iç metal burcun dışına, dış metal burcun ise iç kısmına yapıştırıcı olarak kullanılan chemosil uygulanmaktadır. Bu chemosil birincil (211) ve ikincil (411) olarak adlandırılan iki kimyasalın karıştırılması ile elde edilmektedir.

Kauçuk – metal burçların üretimi için birçok farklı kalıplama yöntemi kullanılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama, kompresyon kalıplama ve transfer kalıplama olmak üzere 3 ayrı türü bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan kauçuk – metal burçlar enjeksiyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Enjeksiyon ile şekillendirme yönteminde, özel kalıplar içerisine metal iç burç ve dış burç yerleştirilmektedir. Daha sonra kalıplar kapatılarak kauçuğun enjeksiyonu sağlanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda koyu kıvamlı hale getirilen kauçuk iki metalin arasına özel bir yolluk yardımı ile enjekte edilmektedir. Basınç, ısı ve zaman parametreleri kullanılarak kauçuk vulkanize edilir. Kauçuk – metal burç kalıptan çıkarıldığında artık geri dönüştürülemeyen elastiklik özelliğini kazanmıştır. Şekil 3.5.’ de dikey enjeksiyon sisteminin çalışması görülmektedir.



Şekil 3.5. Dikey enjeksiyon presi (Soyubol, 2006)

3.2. Kauçuk Malzeme Modelinin Tanımlanması

Hiperelastik bir malzemenin malzeme modelini tanımlamak için bazı terimler kullanılmaktadır. Bunlardan ilki uzama oranıdır. Uzama oranı (λ), (1) numaralı denklemde görülmektedir.

$$\lambda = L/L_0 = (u+L_0) / L_0 = \epsilon+1 \quad (1)$$

Bu denklem deplasmandan sonraki boyun, ilk boya oranı olarak değerlendirilmekte ve “uzama oranı” adını almaktadır.

Gerinme invariantları (I) koordinat sisteminde bağımsız gerinmeleri ölçerek gerinme enerjisinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu enerjinin ölçülebilmesi için üç yöndeki uzama değerlerinin ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) bilinmesi gerekmektedir. Gerinme invariantlarının üç yöndeki denklemleri (2a), (2b) ve (2c)’ de görüldüğü gibidir.

$$I_1 = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \quad (2a)$$

$$I_2 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \quad (2b)$$

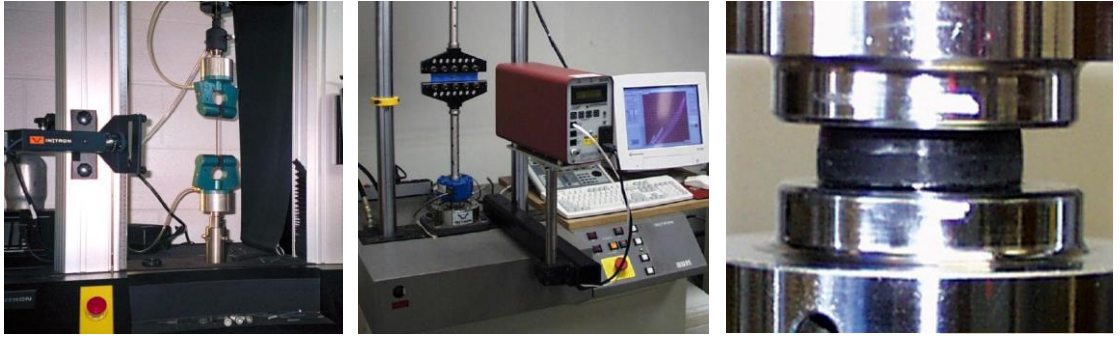
$$I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \quad (2c)$$

Sıkıştırılmaz ve izotropik bir malzeme için $I_3 = 1$ olarak kabul edilir. Gerinme enerjisi potansiyeli (W), gerinme invariantlarının ve uzama oranlarının fonksiyonu olarak tanımlanır. Literatürde tanımlanan modeller; mooney-rivlin-1, mooney rivlin-2, neo-hookean, gent, yeoh, ogden, arruda-boyce ve marlow modelleridir.

Gerçekleştirilen çalışmada mooney rivlin-2 modeli kullanılmıştır. Bu malzeme modeli denklem (3)' te verilmiştir.

$$W(I_1, I_2) = \sum_{ij=0}^{n \rightarrow \infty} C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \quad (3)$$

Tanımlanan malzeme verisinin hesaplanabilmesi için, tek eksenli çekme testi, kayma testi, basit basma testi yapılarak malzeme verisi toplanır. Bu testler sonucunda kuvvet – deplasman değerleri toplanarak grafiğe dönüştürülür. Malzeme verisi tanımlamak için yapılan malzeme testlerinin görsellerine Şekil 3.6.' da görülmektedir.



a.

b.

c.

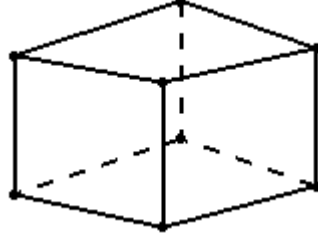
Şekil 3.6. a) Tek eksenli çekme testi (Miller, 2000), b) Kayma testi (Miller, 2000), c) Basit basma testi (Miller, 2000)

3.3. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

3.3.1. Çelik Malzemeden Oluşturulan Kauçuk Burç Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

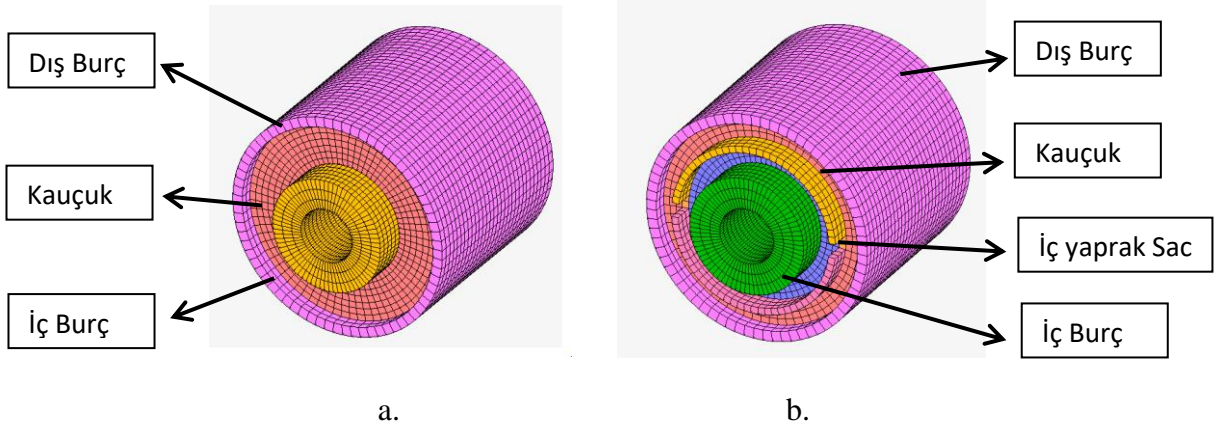
Tasarlanan ve üretimi gerçekleştirilen kauçuk – metal burcun sonlu elemanlar programı kullanılarak analiz modeli oluşturulmuştur. Parçanın mesh modeli 3D tasarım programında hazırlanan geometri kullanılarak oluşturulmuştur. Hex 8 eleman mesh yapısı

olarak kullanılmıştır. Doğrusal altı yüzlü olan ve C3D8RH tipi olan bu eleman tipi Şekil 3.7.' de gösterilmiştir.



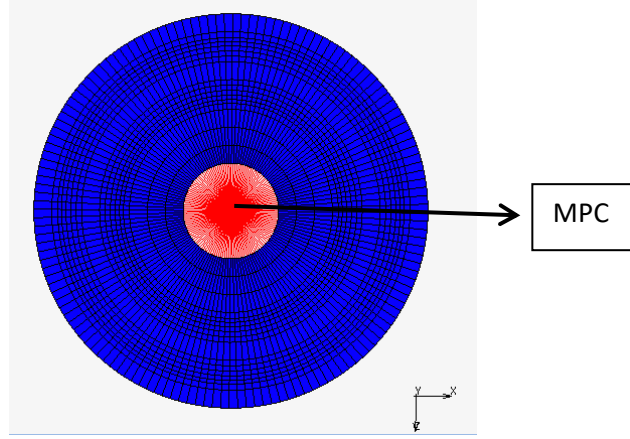
Şekil 3.7. Hex 8 eleman yapısı

İç yaprak sacsız kauçuk burç sonlu elemanlar modelinde 23040 hex 8 eleman, iç yaprak saclı kauçuk burç sonlu elemanlar modelinde ise 23448 hex 8 eleman kullanılmıştır. Her iki tasarım içinde tüm parçalara mesh atılarak analiz modeli kurulmuştur. Şekil 3.8.' de her iki tasarım içinde mesh yapısı oluşturulmuş modeller görülmektedir.



Şekil 3.8. a) İç yaprak sacsız kauçuk burç mesh modeli b) İç yaprak saclı kauçuk burç mesh modeli

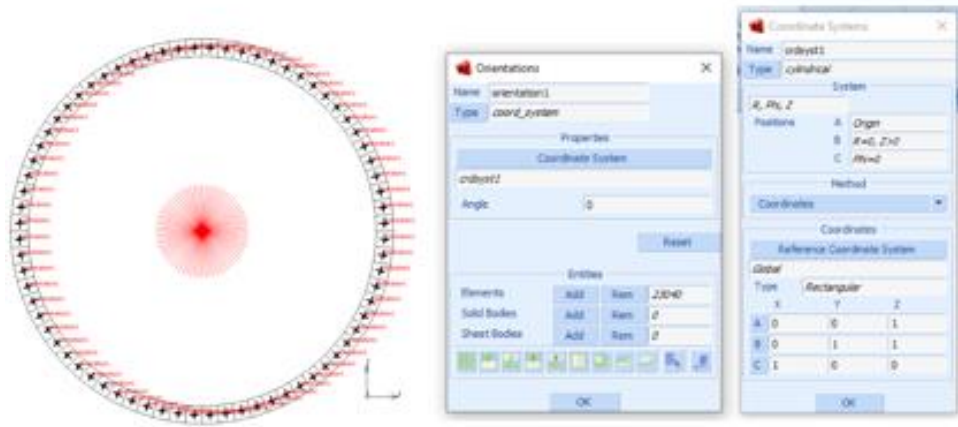
Mesh modeli oluşturulduktan sonra her iki model içinde sınır şartların tanımlaması yapılmıştır. Mesh modeli dış burcun, dış yüzeyindeki notlar x,y,z yönünde sabit tutularak burcun montaj edilmiş sabit hali simüle edilmiştir. Analizi gerçekleştirebilmek için hareket iç burcun iç yüzeyindeki düğüm noktaları MPC ile, iç burcun merkezinde oluşturulan düğüm noktasına bağlanmıştır. Şekil 3.9.' da hareketin verildiği MPC yapısı görülmektedir. RB2 ile bir birine bağlanan düğüm noktaları statik karakteristik ölçümü için gerekli olan hareketi sağlamaktadır.



Şekil 3.9. Kauçuk - metal burç MPC yapısı

3.3.2. Kompozit Malzemedan Oluşturulan Kauçuk Burç Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Tasarımı gerçekleştirilen kompozit kauçuk burcun sonlu elemanlar programı kullanılarak sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Kompozit kauçuk burç modellemesinin, çelik malzeme ile modellemeden farkı malzeme modelinin tanımlanması aşamasındadır. Kompozit malzemeler katmanlar halinde oluşturulan özel yapılardır. Parçanın mesh modeli 3D tasarım programında çelik kauçuk burç için hazırlanan geometri ile aynıdır. Bu sonlu elemanlar analiz modelinde de Hex 8 eleman mesh yapısı olarak kullanılmıştır. Eleman sayısı olarak da, çelik kauçuk burçta kullanılan eleman sayıları ile aynı sayıda elemandan mesh yapısı oluşturulmuştur. Bu bölümde en önemli kısım kompozit malzeme modelinin tanımlanmasıdır. Analizini gerçekleştireceğimiz kompozit yapısı matris malzeme cinsine göre polimer matris kompozit (termoplastik), takviye elemanı şekil ve yerleştirmesine göre ise tabakalı kompozit grubuna girmektedir. Kompozit malzemeler genel itibari ile düzlemsel yapıdadır fakat bizim kullanacağımız kauçuk burç silindirik formda olduğu için, öncelikle eksen takımının kartezyen koordinat sisteminden, silindirik koordinat sistemine geçirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.10.' da silindirik koordinat sisteminin tanımlanması görülmektedir.

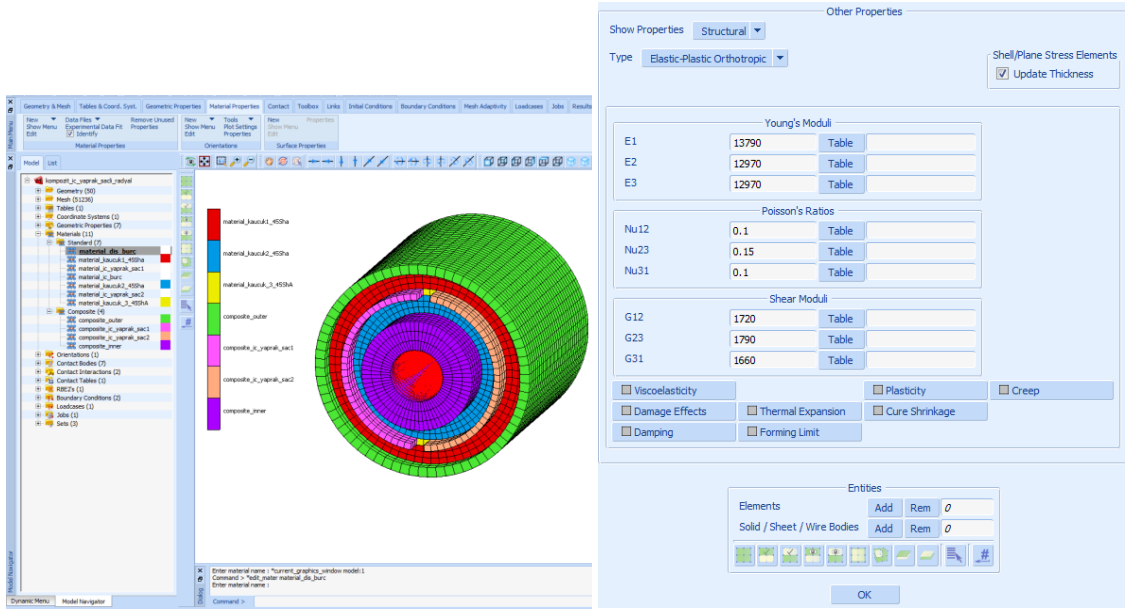


Şekil 3.10. Sonlu elemanlar modelinde silindirik koordinat sistemi tanımlanması

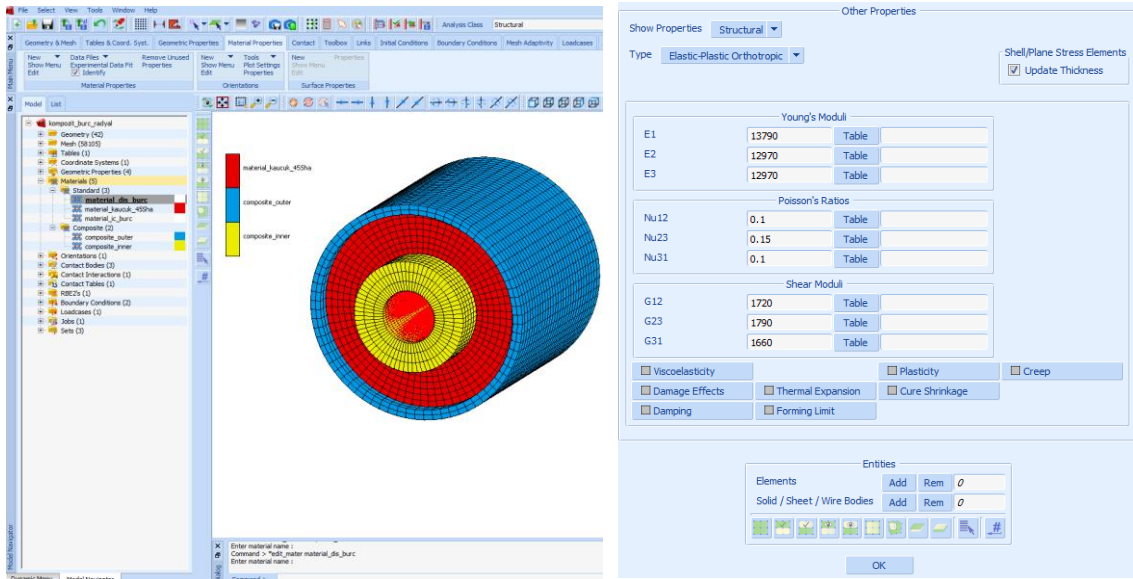
Kompozit malzemelerin malzeme tanımlaması çelik malzemelerinkinden farklıdır. Öncelikle analiz tipi olarak elastik-plastik orthotropic yapısal analiz grubu seçilir. Bu analiz tipi ile aktif olan malzemenin 3 yöndeki elastisite değeri (E_1 , E_2 , E_3), poisson oranı (ν_{12} , ν_{23} ve ν_{31}) ve kayma modülü (G_{12} , G_{23} , G_{31}) değerleri Çizelge 3.5'deki gibi tanımlanır. Ayrıca Şekil 3.11. ve Şekil 3.12'de de kompozit iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız burç analiz modeli için tanımlanan elastisite, poisson ve kayma modülü değerleri görülmektedir. Değerler tüm kompozit alt parçalar için aynı alınmıştır. Bu girilen değerler kompozitin malzeme özelliklerini her ne kadar tanımlasa da, elyafların yönelimi, katman sayısı, katmanların birbirine göre konumu malzemenin tanımlanmasında önem arz etmekte ve analiz sonuçlarını etkilemektedir.

Çizelge 3.5. Polipropilen/Cam elyaf termoplastik malzeme analiz verileri (Yazıcı ve ark. 2015)

Malzeme	E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	E_3 (GPa)	ν_{12}	ν_{23}	ν_{31}	G_{12} (GPa)	G_{23} (GPa)	G_{31} (GPa)
Polipropilen/Cam Elyaf Termoplastik Kompozit	13,79	12,97	12,97	0,1	0,15	0,1	1,72	1,79	1,66

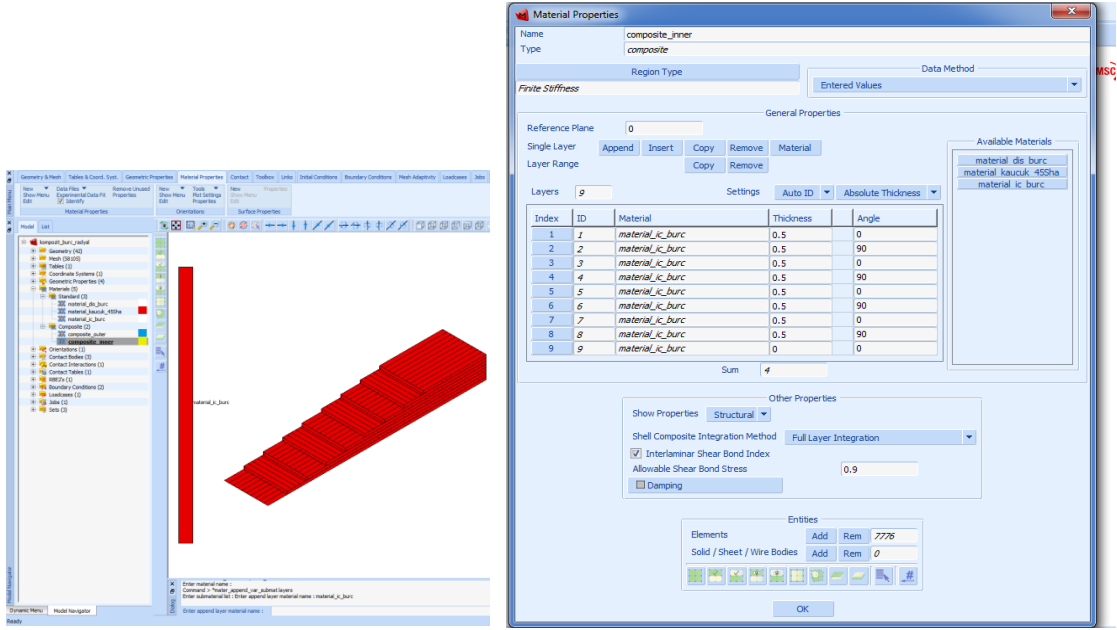


Şekil 3.11. Kompozit iç yapraklı kauçuk burcun malzeme modeli



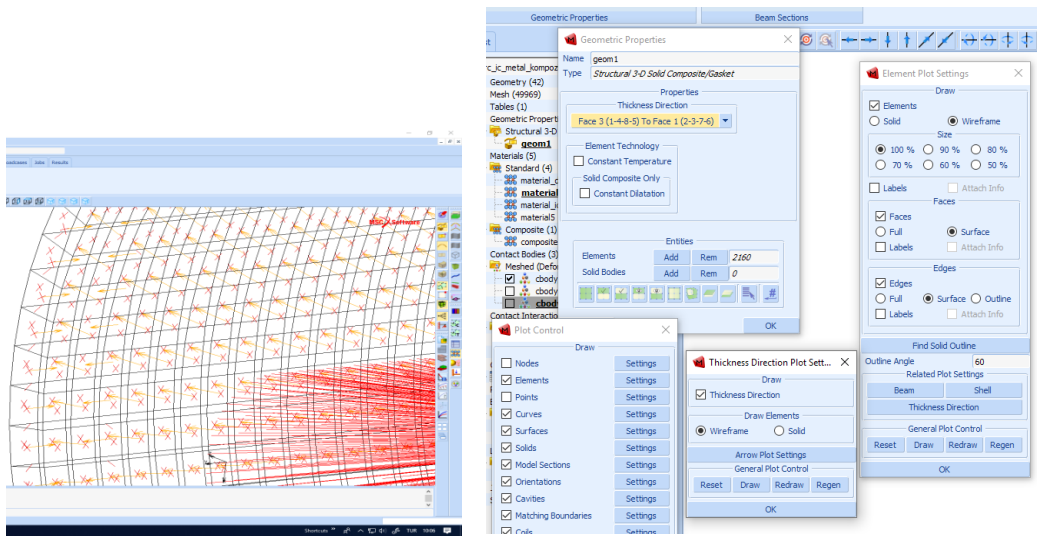
Şekil 3.12. Kompozit iç yapraksız kauçuk burcun malzeme modeli

Kompozit malzeme özellikleri tanımlandıktan sonra, kompozit yapıyı oluşturacak olan katmanlar kullanılacak olan parçanın kalınlığı göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Her bir katman birbirine göre 90° lik açılar ile yerleştirilmiştir. Şekil 3.13.' de katmanların sonlu elemanlar modelinde tanımlanması görülmektedir.



Şekil 3.13. Katmanlı yapının sonlu elemanlar modelinde tanımlanması

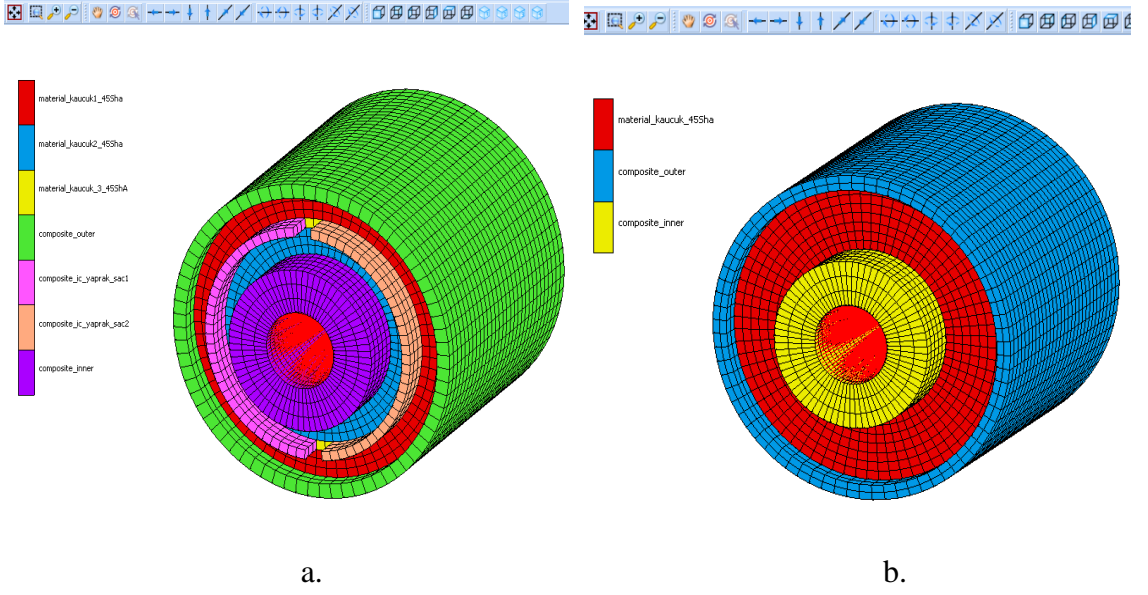
Katman yapısı tanımlandıktan sonra katı mesh yapısına yönelimin ne tarafa ve nasıl olacağı tanımlır. Bunun içinde geometrik özelliklerde yapısal 3 boyutlu katı kompozit oluşturulur ve ilgili kompozit elemanların kalınlık yönünün hangi eleman yüzeyinden hangi eleman yüzeyine doğru olacağı tanımlanır. Şekil 3.14.'de 3 boyutlu katı kompozitin yöneliminin tanımlanmış hali görülmektedir.



Şekil 3.14. 3 boyutlu katı kompozitin yöneliminin tanımlanması

Kompozit sonlu elemanlar analizlerinde, iç yaprak sacsız parçada iç burç ve dış burç çelik malzeme yerine, kompozit malzeme olarak tanımlanmıştır. İç yaprak saclı parça da ise iç

burç, dış burç ve iç yaprak saclar çelik malzeme yerine kompozit malzeme verileri tanımlanarak analiz modeli oluşturulmuştur. Şekil 3.15.' de kompozit iç yaprak saclı ve sacsız parçaya ait analiz modelleri görülmektedir.

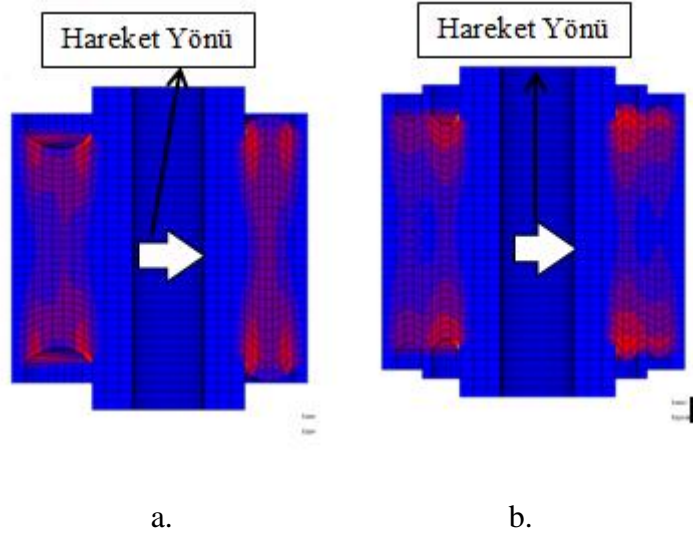


Şekil 3.15. a) Kompozit iç yaprak saclı kauçuk burç mesh modeli b) Kompozit iç yaprak sacsız kauçuk burç mesh modeli

4. BULGULAR

4.1. Radyal Statik Analizler

İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız olarak oluşturulan mesh modelleri radyal statik katılık (stiffness) değerlerinin tespiti için, parça gerçekte olduğu gibi bir yuva içerisinde dış burcundan sabit olarak simüle edilmiştir. İç burcun içinde tam orta noktada oluşturulan düğüm noktası ile iç burcun içindeki tüm düğüm noktaları MPC ile birbirine bağlanmıştır. Bu düğüm noktası 1 mm radyal yönde hareket verilerek kuvvet verileri elde edilmiştir. Buna ek olarak parça üzerinde oluşan gerinim değerleri kontrol edilerek kauçukta çatlamalara hatta yırtılmalara neden olabilecek yüksek değerlere ulaşp ulaşmadığı kontrol edilmiştir. Şekil 4.1.' de iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burcun üzerinde 1 mm radyal yönde hareket verildiğinde mesh yapısında oluşan gerinim görselleri görülmektedir. İç yaprak saclı kauçuk burçta 1 mm kalınlığında sac malzeme kullanılmıştır. Kullanılan bu sac malzemesi kauçuk kalınlığının azalmasına sebep olduğu için sıkışma artacak, bu da iç yaprak sacsız kauçuk burca göre çok daha yüksek kuvvet ve gerinim değerlerinin elde edilmesini sağlayacaktır. Bu yapı aracın farklı bölgelerinde kullanılan kauçuk burçlarda araç dinamiğinin sağlanabilmesi için talep edilmektedir.

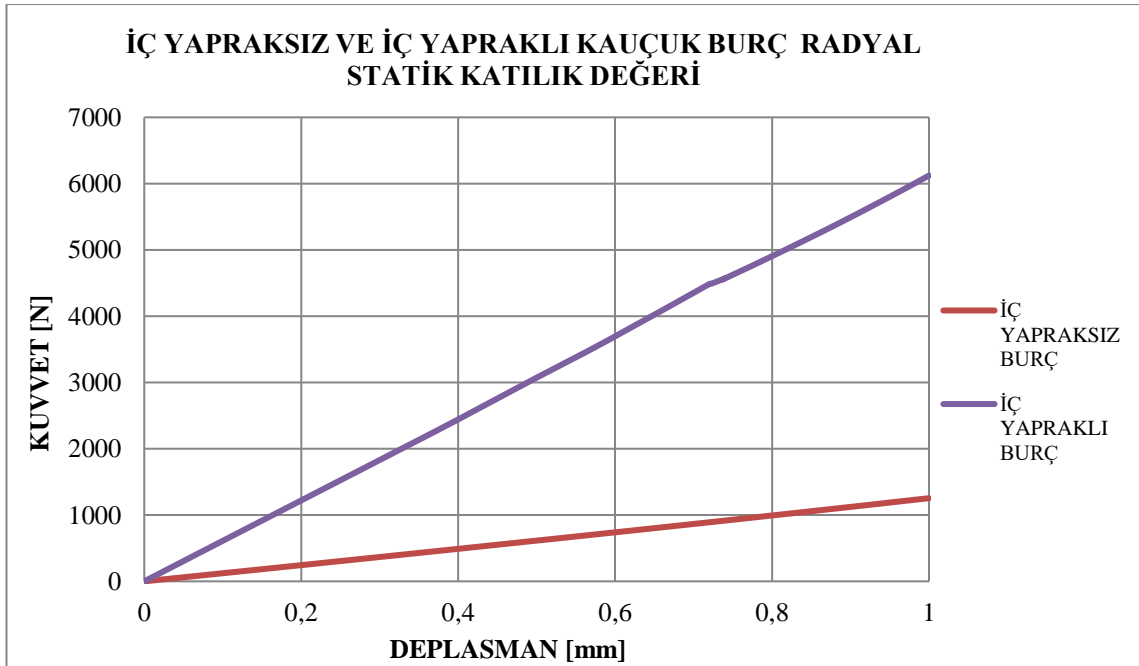


Şekil 4.1. a) İç yaprak sacsız kauçuk burcun radyal analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kauçuk burcun radyal analizinin gerinim görseli

Yapılan analiz sonucunda MPC uygulanarak sağlanan radyal hareket, merkezde bulunan düğüm noktası üzerinden kuvvet değerleri okunmuştur. Hesaplanan katılık değerleri kuvvet-deplasman grafiği üzerinde doğrusal olan bölgeden daha önceden belirlenen iki nokta arasındaki kuvvet farkının, aynı iki noktanın deplasman farkı olarak hesaplanır. Çizelge 4.1.' de iç yapraklı ve iç yapraksız kauçuk burç parçasına ait katılık değerleri verilmektedir. Şekil 4.2.' de ise analiz sonucunda iç yaprak saclı kauçuk burç ve iç yaprak sacsız kauçuk burç için elde edilen radyal verilere göre hazırlanmış olan karşılaştırmalı kuvvet deplasman grafikleri görülmektedir.

Çizelge 4.1. İç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun radyal katılık değerleri

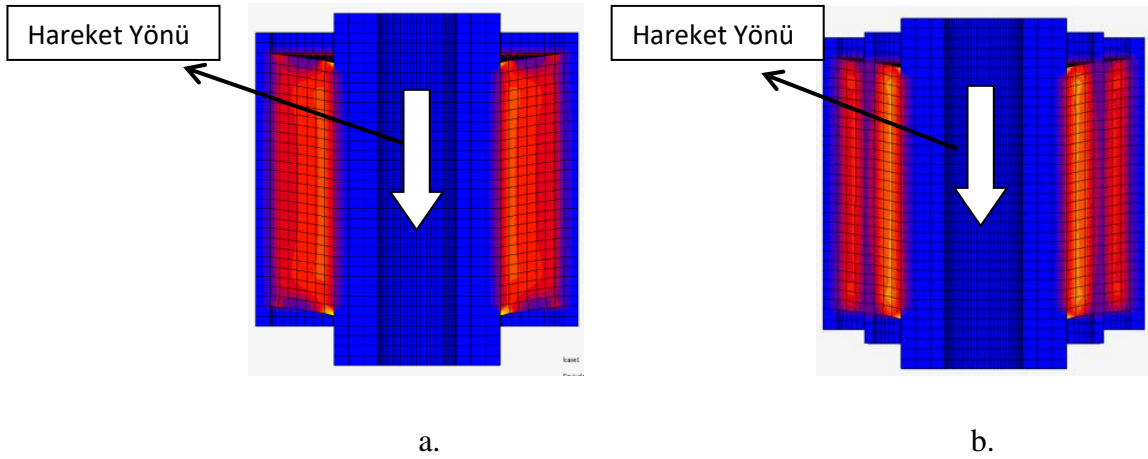
	Katılık Değeri [N/mm]
İç Yapraksız Kauçuk Burç	1254,6 N/mm
İç Yapraklı Kauçuk Burç	6122,2 N/mm



Şekil 4.2. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burca ait radyal statik analiz grafiği

4.2. Eksenel Statik Analizler

İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız olarak oluşturulan mesh modelleri eksenel statik katılık (stiffness) değerlerinin tespiti için, parça gerçekte olduğu gibi bir yuva içerisinde dış burcundan sabit olarak simüle edilmiştir. İç burcun içinde tam orta noktada oluşturulan düğüm noktası ile iç burcun içindeki tüm düğüm noktaları MPC ile birbirine bağlanmıştır. Bu düğüm noktası 1 mm eksenel yönde hareket verilerek kuvvet verileri elde edilmiştir. Buna ek olarak parça üzerinde oluşan gerinim değerleri kontrol edilerek kauçukta çatlamalara hatta yırtılmalara neden olabilecek yüksek değerlere ulaşp ulaşmadığı kontrol edilmiştir. Şekil 4.3.' de iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burcun üzerinde 1 mm eksenel yönde hareket verildiğinde mesh yapısında oluşan gerinim görselleri görülmektedir. İç yaprak saclı kauçuk burçta 1 mm kalınlığında sac malzeme kullanılmıştır. Kullanılan bu sac malzemesi kauçuk kalınlığının azalmasına sebep olsa da eksenel yönde katılık (stiffness) değeri kauçuk kalınlığının azalması ile artsa da, radyal katılık değerindeki artış kadar gerçekleşmemektedir. Bunun sebebi hareket yönü kauçuğun iç yaprak sac nedeni ile sıkışmasına neden olmamaktadır. Sıkışma olmadığı için kuvvet değerlerinde yüksek oranda bir fark elde edilememiştir.



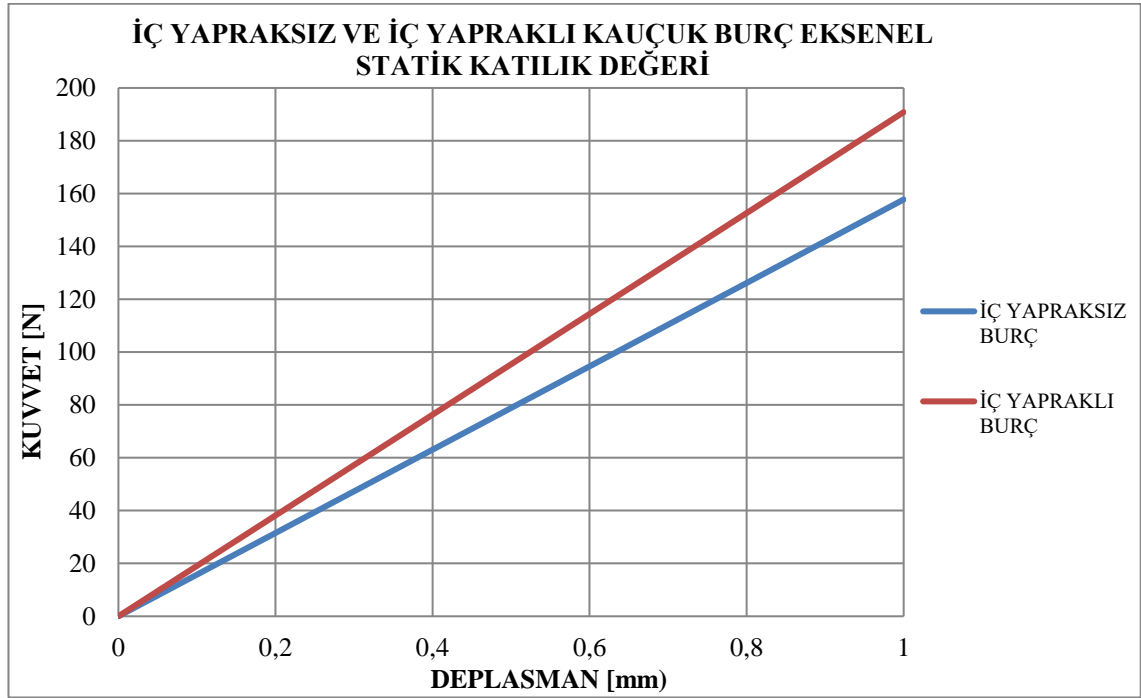
Şekil 4.3. a) İç yaprak sacsız kauçuk burcun eksenel analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kauçuk burcun eksenel analizinin gerinim görseli

Çizelge 4.2.' de iç yaprak sacsız ve iç yaprak saclı kauçuk burcun 1 mm eksenel yönde hareket ettirildiğinde elde edilen katılık (stiffness) değeri görülmektedir. Şekil 4.4.' de ise analiz sonucunda iç yaprak saclı kauçuk burç ve iç yaprak sacsız kauçuk burç için elde

edilen aksnel verilere göre hazırlanmış olan karşılaştırılmalı kuvvet deplasman grafikleri görülmektedir.

Çizelge 4.2. İ yapraksız ve i yapraklı kauçuk burcun aksnel katılık değerleri

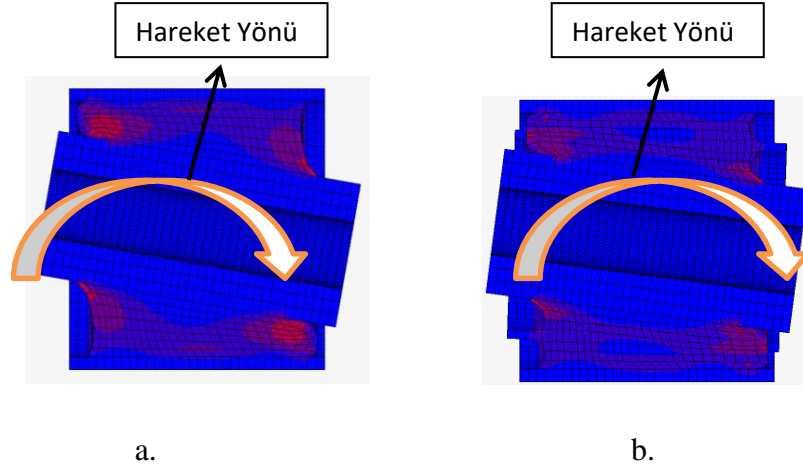
	Katılık Değeri [N/mm]
İç Yapraksız Kauçuk Burç	157,7 N/mm
İç Yapraklı Kauçuk Burç	190,8 N/mm



şekil 4.4. İ yaprak saclı ve i yaprak sacsız kauçuk burca ait aksnel statik analiz grafiği

4.3. Kardanik Statik Analizler

İ yaprak saclı ve i yaprak sacsız olarak oluşturulan mesh modelleri kardanik statik katılık (stiffness) değerlerinin tespiti için, tanımlanan hareket yönünde (x ekseninde) 10° döndürülerek uygulanmış ve parça üzerinde oluşan kuvvet değerleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda parçada meydana gelen gerinim değişimi kontrol edilerek, bu değerlerin uygunluğu tespit edilmiştir. şekil 4.5.' de i yaprak saclı ve i yaprak sacsız kauçuk burcun 10° döndürmesi sonucunda oluşan gerinim görselleri görülmektedir.

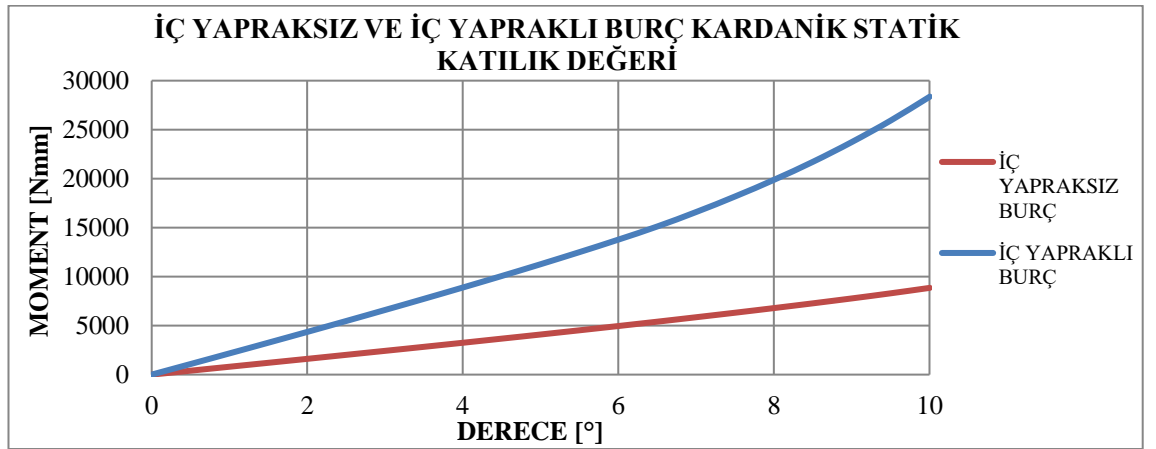


Şekil 4.5. a) İç yaprak sacsız kauçuk burcun kardanik analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kauçuk burcun kardanik analizinin gerinim görseli

Çizelge 4.3.'te iç yaprak sacsız ve iç yaprak saclı kauçuk burcun 1° kardanik yönde döndürüldüğünde elde edilen katılık (stiffness) değeri görülmektedir. Şekil 4.6.' da ise analiz sonucunda iç yaprak saclı kauçuk burç ve iç yaprak sacsız kauçuk burç için elde edilen kardanik verilere göre hazırlanmış olan karşılaştırmalı moment derece grafikleri görülmektedir.

Çizelge 4.3. İç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun kardanik katılık değerleri

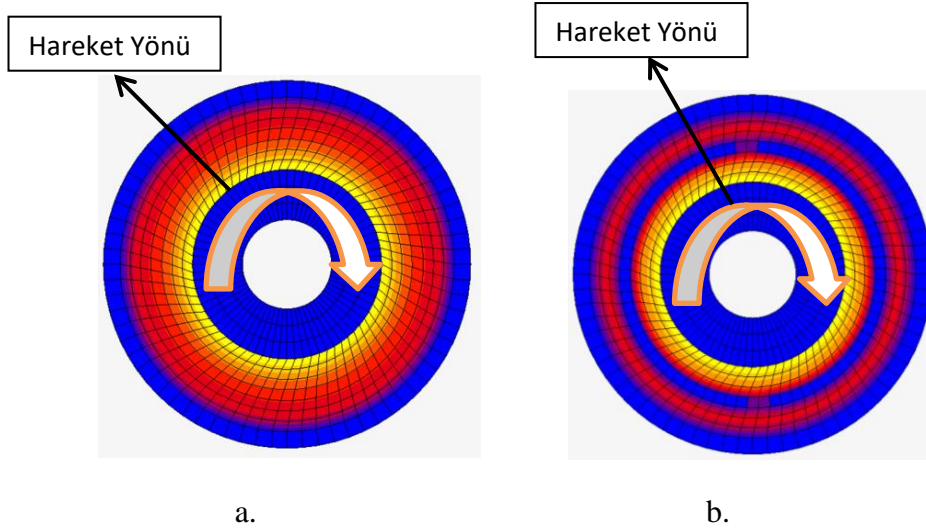
	Katılık Değeri [Nmm/°]
İç Yapraksız Kauçuk Burç	888,6 Nmm/°
İç Yapraklı Kauçuk Burç	2837,8 Nmm/°



Şekil 4.6. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burca ait kardanik statik analiz grafiği

4.4. Torsiyonel Statik Analizler

İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız olarak oluşturulan mesh modelleri Torsiyonel statik katılık (stiffness) değerlerinin tespiti için, tanımlanan hareket yönünde (y ekseninde) 10° yer değiştirme uygulanarak parça üzerinde oluşan kuvvet değerleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda parçada meydana gelen gerinim değişimi kontrol edilerek, bu değerlerin uygunluğu tespit edilmiştir. Şekil 4.7.' de iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burcun 10° döndürülmesi sonucunda oluşan gerinim görselleri görülmektedir. Şekil 4.8.' de ise analiz sonucunda iç yaprak saclı kauçuk burç ve iç yaprak sacsız kauçuk burç için elde edilen torsiyonel verilere göre hazırlanmış olan karşılaştırmalı moment derece grafikleri görülmektedir.

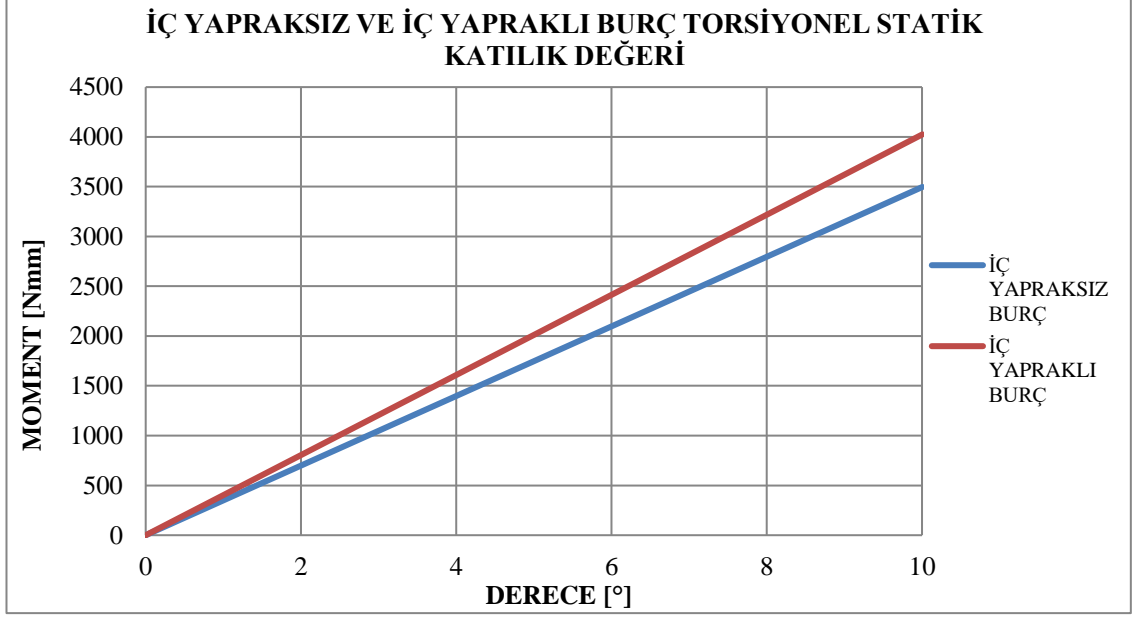


Şekil 4.7. a) İç yaprak sacsız kauçuk burcun torsiyonel analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kauçuk burcun torsiyonel analizinin gerinim görseli

Çizelge 4.4.' te iç yaprak sacsız ve iç yaprak saclı kauçuk burcun 1° torsiyonel yönde döndürüldüğünde elde edilen katılık (stiffness) değeri görülmektedir.

Çizelge 4.4. İç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun torsiyonel katılık değerleri

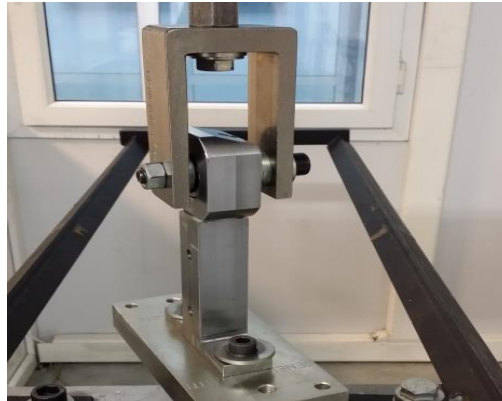
	Katılık Değeri [Nmm/ $^\circ$]
İç Yapraksız Kauçuk Burç	349,7 Nmm/ $^\circ$
İç Yapraklı Kauçuk Burç	402,5 Nmm/ $^\circ$



Şekil 4.8. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk burca ait torsiyonel statik analiz grafiği

4.5. Radyal Statik Testler

Yapılan radyal analizleri doğrulamak için statik testler yapılmıştır. Montaj yerini simüle eden özel aparatlar kullanılarak gerçekleştirilen testlerde radyal statik katılık değerleri hesaplanmıştır. Radyal katılık testinde, analizde olduğu gibi 1 mm radyal doğrultuda hareket verilerek katılık değerleri test sisteminde otomatik olarak hesaplatılmıştır. Şekil 4.9.' da gerçekleştirilen testin ve test düzeneğinin görseli görülmektedir.



Şekil 4.9. Radyal statik test düzeneği

Radyal statik test iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burca ayrı ayrı uygulanmış ve değerler kaydedilmiştir. Çizelge 4.5.' de radyal test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre test sonuçlarındaki sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Radyal test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre sapma değeri

	SEA Radyal Katılık Değeri [N/mm]	Test Radyal Katılık Değeri [N/mm]	Değişim Oranı (%)
İç Yapraksız Kauçuk Burç	1254,6 N/mm	1312,4 N/mm	%4
İç Yapraklı Kauçuk Burç	6122,2 N/mm	7021,8 N/mm	%5
İç Yapraklı Kauçuk Burç / İç Yapraksız Kauçuk Burç	4,9	5,35	

Gerçekleştirilen testler sonucunda sonlu elemanlar analizi ile testler arasında % 4,5 oranında sapma görülmektedir. Kauçuk gibi elastomer grubuna giren doğrusal olmayan malzemelerde % 7 ye kadar iyi olarak değerlendirilmektedir. Bunun sebebi de üretimden gelen sapmalar, parça üretim tolerans değerleri, kauçuk hamurunun hazırlanışı gibi birçok neden sayılabilir. Diğer bir etkiyi incelediğimizde, iç yaprak saclı parça iç yaprak sacsız parçaya oranla statik katılık değeri 5,3 kat daha büyüktür. Buradan çıkaracağımız sonuç iç yaprak sac kullanımı radyal statik katılık değerini yüksek oranda arttırmaktadır.

4.6. Eksenel Statik Testler

Yapılan eksenel analizleri doğrulamak için eksenel statik testler yapılmıştır. Montaj yerini simüle eden özel aparatlar kullanılarak gerçekleştirilen testlerde eksenel statik katılık değerleri hesaplanmıştır. Eksenel katılık testinde, analizde olduğu gibi 1 mm eksenel doğrultuda hareket verilerek katılık değerleri test sisteminde otomatik olarak hesaplatılmıştır. Şekil 4.10.' da gerçekleştirilen testin ve test düzeneğinin görseli verilmiştir.



Şekil 4.10. Eksenel statik test düzeneği

Eksenel statik test iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burca ayrı ayrı uygulanmış ve değerler kaydedilmiştir. Çizelge 4.6.'da eksenel test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre test sonuçlarındaki sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Eksenel test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre sapma değeri

	SEA Eksenel Katılık Değeri [N/mm]	Test Eksenel Katılık Değeri [N/mm]	Değişim Oranı (%)
İç Yapraksız Kauçuk Burç	157,7 N/mm	161,3 N/mm	%2
İç Yapraklı Kauçuk Burç	190,8 N/mm	196,8 N/mm	%3
İç Yapraklı Kauçuk Burç / İç Yapraksız Kauçuk Burç	1,2	1,22	

Gerçekleştirilen eksenel testler sonucunda sonlu elemanlar analizi ile testler arasında % 2,5 oranında sapma görülmektedir. Daha önce radyal sonlu elemanlar analizi ile test

kıyaslamasında belirtildiği gibi kauçuk gibi elastomer grubuna giren doğrusal olmayan malzemelerde % 7 ye kadar iyi olarak değerlendirilmektedir. Diğer bir etkiyi incelediğimizde, iç yaprak saclı parça, iç yaprak sacsız parçaya oranla eksenel statik katılık değeri 1,2 kat daha büyüktür. Buradan çıkaracağımız sonuç iç yaprak sac kullanımı eksenel statik katılık değerini radyal statik katılık değeri kadar olamasa da arttırmaktadır.

4.7. Kardanik Statik Testler

Kardanik katılık testinde, analizde olduğu gibi 10° tanımlanan dönme ekseninde (x ekseninde) hareket verilerek katılık değeri, test sisteminde otomatik olarak hesaplatılmıştır. Şekil 4.11.' de gerçekleştirilen testin ve test düzeneğinin görseli verilmiştir.



Şekil 4.11. Kardanik statik test düzeneği

Kardanik statik test iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burca ayrı ayrı uygulanmış ve değerler kaydedilmiştir. Çizelge 4.7.'de kardanik test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre test sonuçlarındaki sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Kardanik test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre sapma değeri

	SEA Kardanik Katılık Değeri [Nmm/°]	Test Kardanik Katılık Değeri [Nmm/°]	Değişim Oranı (%)
İç Yapraksız Kauçuk Burç	888,6 Nmm/°	936,8 Nmm/°	%5
İç Yapraklı Kauçuk Burç	2837,8 Nmm/°	3070,4 Nmm/°	%7,5
İç Yapraklı Kauçuk Burç / İç Yapraksız Kauçuk Burç	3,2	3,27	

Gerçekleştirilen kardanik testler sonucunda sonlu elemanlar analizi ile testler arasında % 6,25 oranında sapma görülmektedir. Diğer bir etkiyi incelediğimizde, iç yaprak saclı parça, iç yaprak sacsız parçaya oranla aksenel statik katılık değeri 3,2 kat daha büyüktür. Buradan çıkaracağımız sonuç ise iç yaprak sac kullanımı kardanik statik katılık değerini yüksek oranda arttırmaktadır.

4.8. Torsiyonel Statik Testler

Torsiyonel katılık testinde, analizde olduğu gibi 10° tanımlanan dönme ekseninde (y ekseninde) hareket verilerek katılık değeri, test sisteminde otomatik olarak hesaplatılmıştır. Şekil 4.12.' de gerçekleştirilen testin ve test düzeneğinin görseli görülmektedir.



Şekil 4.12. Torsiyonel statik test düzeneği

Torsiyonel statik test iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burca ayrı ayrı uygulanmış ve değerler kaydedilmiştir. Çizelge 4.8.'de torsiyonel test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre test sonuçlarındaki sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Torsiyonel test sonuçları ve sonlu elemanlar analizine göre sapma değeri

	SEA Torsiyonel Katılık Değeri [Nmm/°]	Test Torsiyonel Katılık Değeri [Nmm/°]	Değişim Oranı (%)
İç Yapraksız Kauçuk Burç	349,7 Nmm/°	371,8 Nmm/°	%6
İç Yapraklı Kauçuk Burç	402,5 Nmm/°	458,4 Nmm/°	%7
İç Yapraklı Kauçuk Burç / İç Yapraksız Kauçuk Burç	1,15	1,23	

Gerçekleştirilen torsiyonel testler sonucunda sonlu elemanlar analizi ile testler arasında % 6,5 oranında sapma görülmektedir. Diğer bir etkiyi incelediğimizde, iç yaprak saclı parça, iç yaprak sacsız parçaya oranla torsiyonel statik katılık değeri 1,2 kat daha büyüktür. Buradan çıkaracağımız sonuç ise iç yaprak sac kullanımını torsiyonel statik katılık değerini düşük oranda arttırmaktadır.

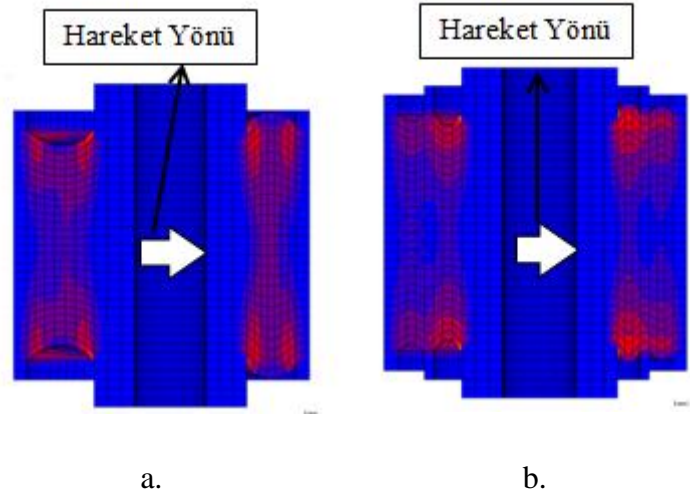
4.9. Kompozit Burç Radyal Statik Analizleri

İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız olarak oluşturulan kompozit mesh modelleri kauçuk metal burçlarda olduğu gibi radyal statik katılık (stiffness) değerlerinin tespiti için, parça gerçekte olduğu gibi bir yuva içerisinde dış burcundan sabitlenmiştir. İç burcun içinde tam orta noktada oluşturulan düğüm noktası ile iç burcun içindeki tüm düğüm noktaları MPC ile birbirine bağlanmıştır. Bu düğüm noktası 1 mm radyal yönde hareket verilerek kuvvet verileri elde edilmiştir. Buna ek olarak parça üzerinde oluşan gerinim değerleri kontrol edilerek kauçukta çatlamalara hatta yırtılmalara neden olabilecek yüksek değerlere ulaşp ulaşmadığı kontrol edilmiştir. Şekil 4.9.' da iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kompozit kauçuk burcun üzerinde 1 mm radyal yönde hareket verildiğinde mesh yapısında oluşan gerinim görselleri görülmektedir. İç yaprak saclı kauçuk burçta 1 mm kalınlığında katmanlı kompozit malzeme kullanılmıştır. Kullanılan bu kompozit malzemesi kauçuk kalınlığının azalmasına sebep olduğu için sıkışma artacak, bu da iç yaprak sacsız kauçuk burca göre çok daha yüksek kuvvet ve gerinim değerlerinin elde edilmesini sağlayacaktır. Tıpkı metal kauçuk burçlarda olduğu gibidir. Verileri sadece kauçuk üzerinden topladığımız ve kauçuk geometrisinde herhangi bir değişiklik yapmadığımız için kompozit kauçuk burçlarda da birbirine yakın aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Yapılan kompozit analizi sonucunda MPC uygulanarak sağlanan radyal hareket, merkezde bulunan düğüm noktası üzerinden kuvvet değerleri okunmuştur. Hesaplanan katılık değerleri kuvvet-deplasman grafiği üzerinde doğrusal olan bölgeden daha önceden belirlenen iki nokta arasındaki kuvvet farkının, aynı iki noktanın deplasman farkı olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.9.' da iç yapraklı ve iç yapraksız kauçuk burç parçasına ait katılık değerleri verilmektedir. Şekil 4.13.' de iç yaprak sacsız ve iç yaprak saclı kompozit kauçuk burcun radyal analizinin gerinim görselleri bulunmaktadır.

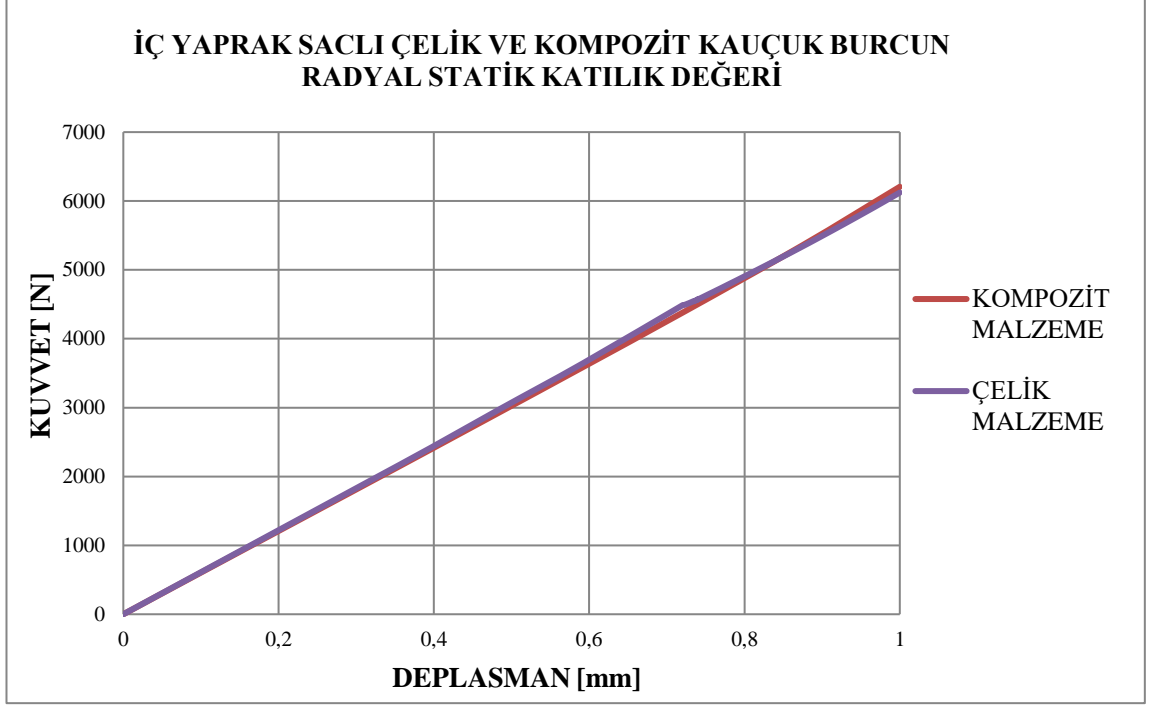
Çizelge 4.9. Kompozit malzemeden üretilen iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun radyal katılık değerleri

	Katılık Değeri [N/mm]
Kompozit İç Yapraksız Kauçuk Burç	1248,7 N/mm
Kompozit İç Yapraklı Kauçuk Burç	6206,4 N/mm

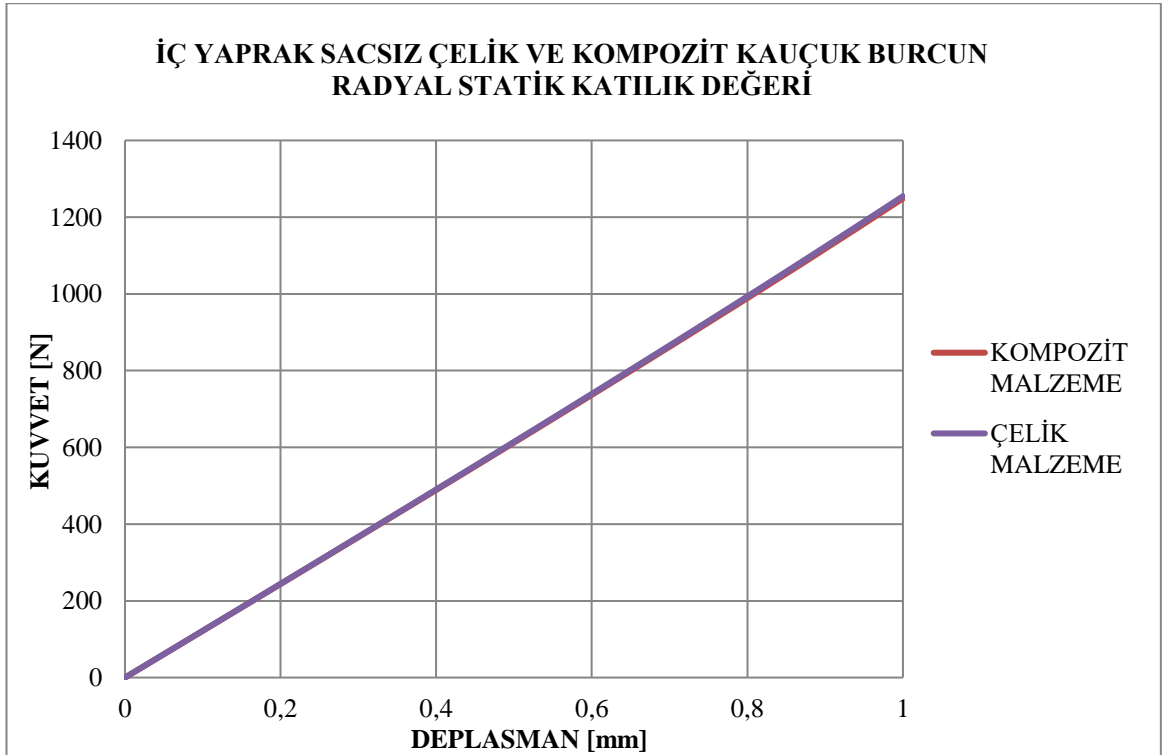


Şekil 4.13. a) İç yaprak sacsız kompozit kauçuk burcun radyal analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kompozit kauçuk burcun radyal analizinin gerinim görseli

Yapılan analiz sonucunda metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burç verileri grafik olarak karşılaştırılmıştır. Verilerin birbiri ile eşleştiği grafik üzerinde daha belirgin olarak görülmektedir. Şekil 4.14.' de iç yaprak saclı ve Şekil 4.15.' de iç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun verilerinin grafik karşılaştırılması görülmektedir.



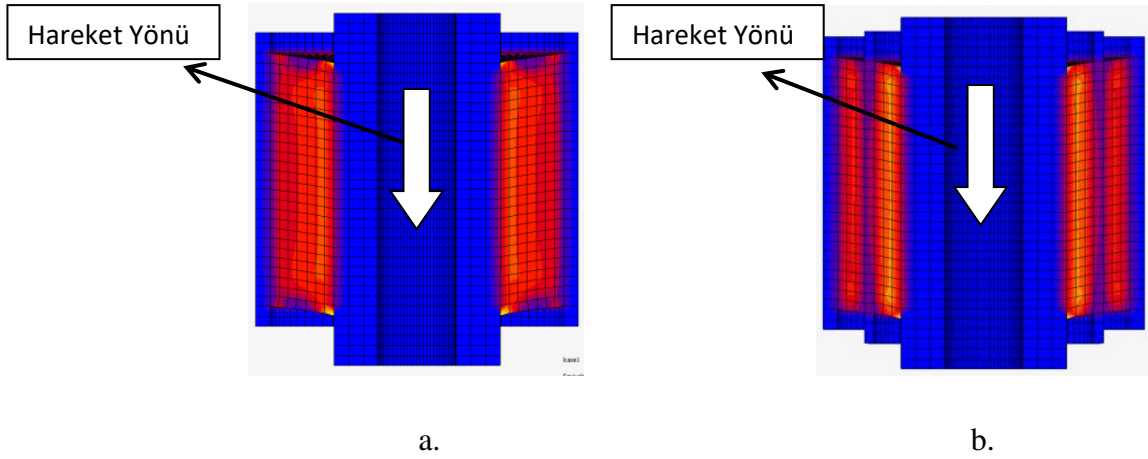
Şekil 4.14. İç yaprak saclı metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun radyal verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.15. İç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun radyal verilerinin karşılaştırılması

4.10. Kompozit Burç Eksenel Statik Analizleri

İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız olarak oluşturulan kompozit mesh modelleri metal kauçuk burçlarda olduğu gibi eksenel statik katılık (stiffness) değerlerinin tespiti için, parça gerçekte olduğu gibi bir yuva içerisinde dış burcundan sabit olarak simüle edilmiştir. İç burcun içinde tam orta noktada oluşturulan düğüm noktası ile iç burcun içindeki tüm düğüm noktaları MPC ile birbirine bağlanmıştır. Bu düğüm noktası 1 mm eksenel yönde hareket verilerek kuvvet verileri elde edilmiştir. Buna ek olarak parça üzerinde oluşan gerinim değerleri kontrol edilerek kauçukta çatlamalara hatta yırtılmalara neden olabilecek yüksek değerlere ulaşıp ulaşmadığı kontrol edilmiştir. Şekil 4.16.' da iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kompozit kauçuk burcun üzerinde 1 mm eksenel yönde hareket verildiğinde mesh yapısında oluşan gerinim görselleri görülmektedir. İç yaprak saclı kompozit kauçuk burçta 1 mm kalınlığında kompozit malzeme kullanılmıştır. Kullanılan bu kompozit malzemesi kauçuk kalınlığının azalmasına sebep olsa da eksenel yönde katılık (stiffness) değeri kauçuk kalınlığının azalması ile artsa da, radyal katılık değerindeki artış kadar gerçekleşmemektedir. Bunun sebebi hareket yönü kauçuğun kompozit iç yaprak sac nedeni ile sıkışmasına neden olmamaktadır. Sıkışma olmadığı için kuvvet değerlerinde yüksek oranda bir fark elde edilememiştir.



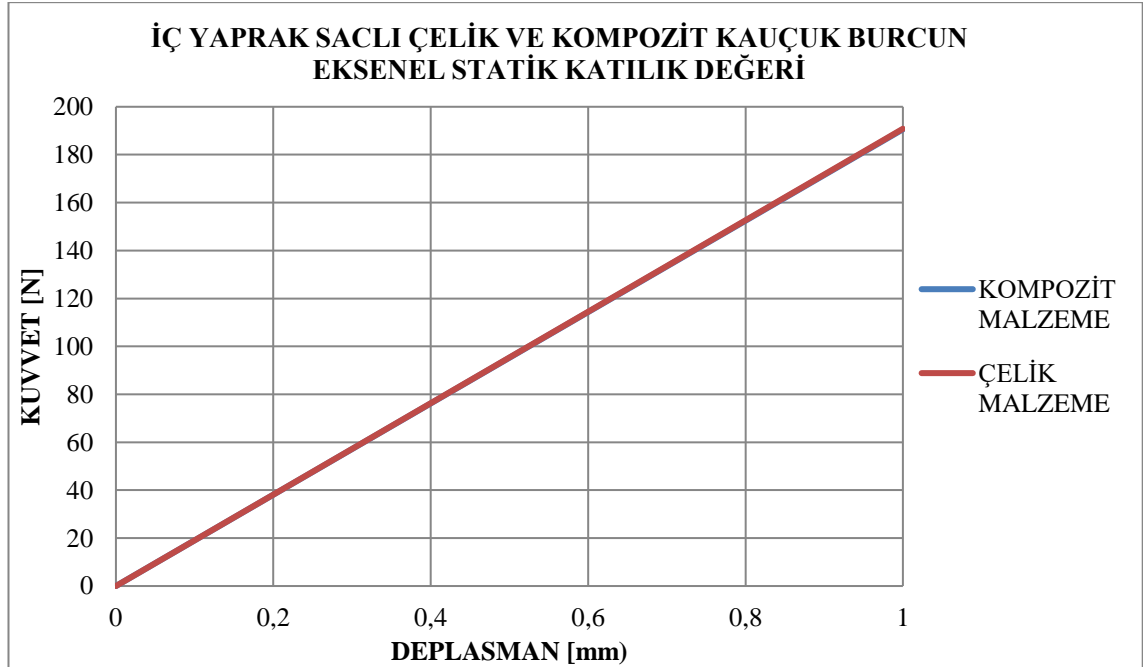
Şekil 4.16. a) Kompozit iç yaprak sacsız kauçuk burcun eksenel analizi gerinim görseli
b) Kompozit iç yaprak saclı kauçuk burcun eksenel analizinin gerinim görseli

Çizelge 4.10.' da kompozit iç yaprak sacsız ve kompozit iç yaprak saclı kauçuk burcun 1 mm aksenal yönde hareket ettirildiğinde elde edilen katılık (stiffness) değeri görülmektedir.

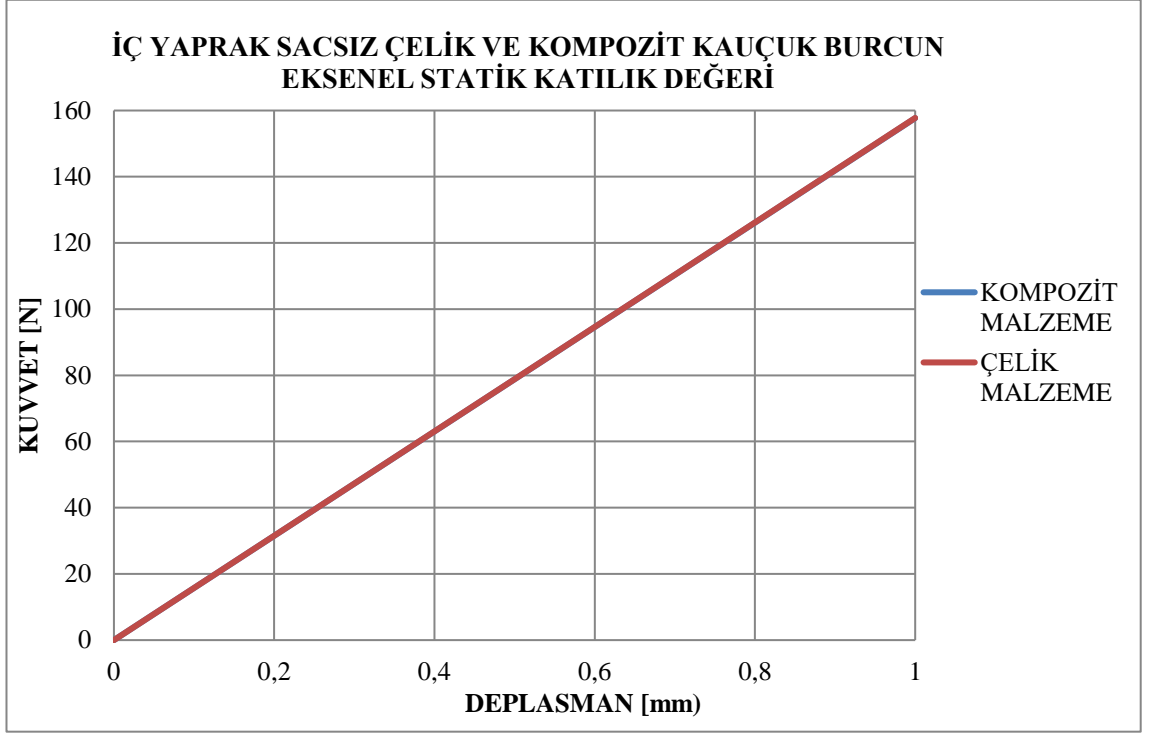
Çizelge 4.10. Kompozit malzemedan üretilen iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun aksenal katılık değerleri

	Katılık Değeri [N/mm]
Kompozit İç Yapraksız Kauçuk Burç	157,6 N/mm
Kompozit İç Yapraklı Kauçuk Burç	190,5 N/mm

Yapılan analiz sonucunda metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burç verileri grafik olarak karşılaştırılmıştır. Verilerin birbiri ile eşleştiği grafik üzerinde daha belirgin olarak görülmektedir. Şekil 4.17.' de kompozit iç yaprak saclı ve Şekil 4.18.' de iç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun verilerinin grafik kıyaslaması görülmektedir.



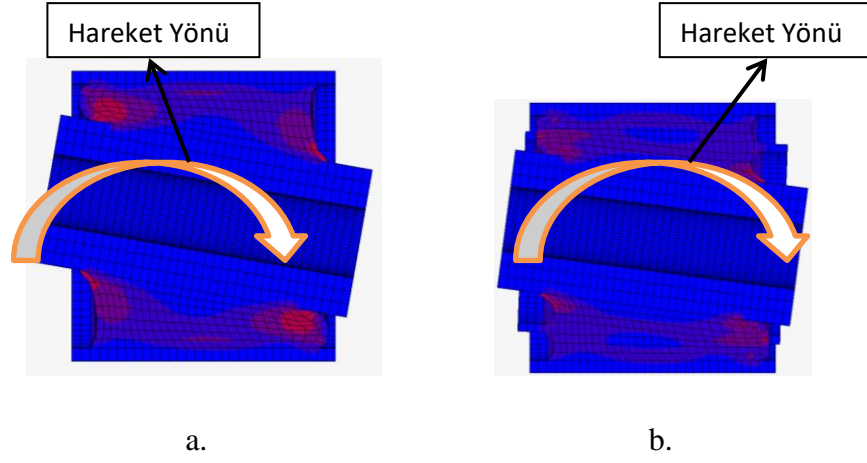
Şekil 4.17. İç yaprak saclı metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun aksenal verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.18. İç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun eksenel verilerinin karşılaştırılması

4.11. Kompozit Burç Kardanik Statik Analizleri

İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız olarak oluşturulan kompozit mesh modelleri kardanik statik katılık (stiffness) değerlerinin tespiti için, tanımlanan hareket yönünde (x ekseninde) 10° döndürülerek uygulanmış ve parça üzerinde oluşan kuvvet değerleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda parçada meydana gelen gerinim değişimi kontrol edilerek, bu değerlerin uygunluğu tespit edilmiştir. Şekil 4.19.' de iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kompozit kauçuk burcun 10° döndürmesi sonucunda oluşan gerinim görselleri görülmektedir.



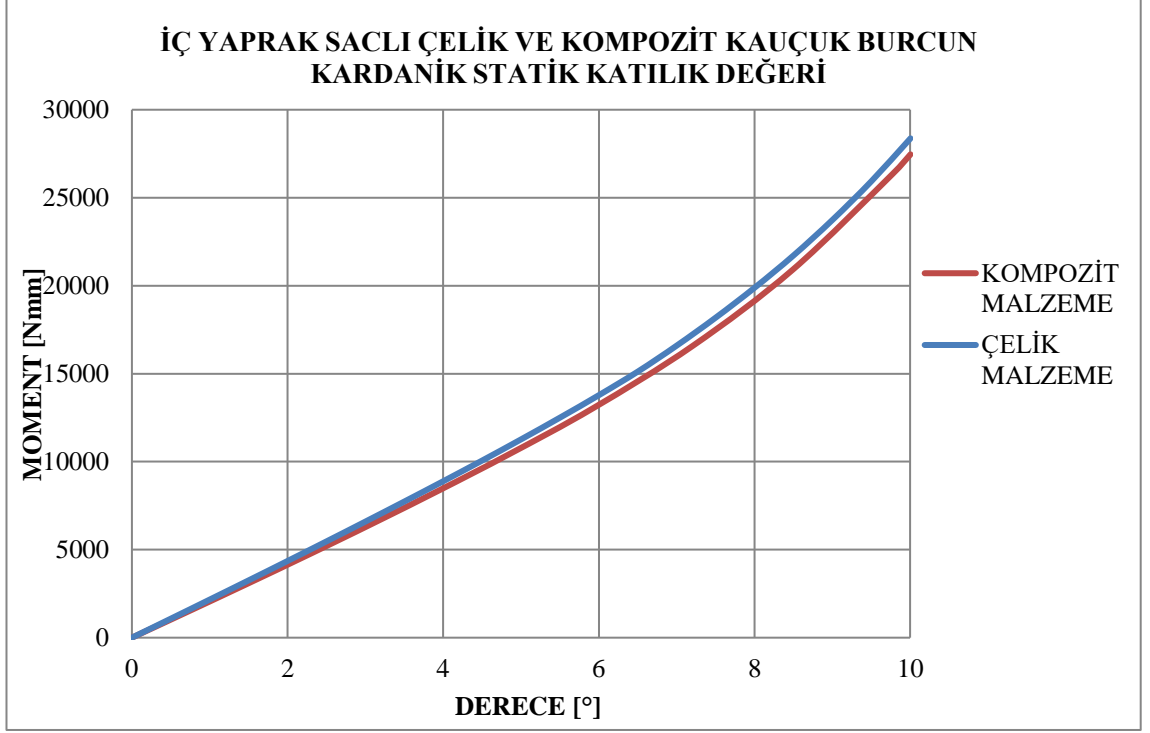
Şekil 4.19. a) İç yaprak sactsız kompozit kauçuk burcun kardanik analizi gerinim görseli
b) İç yaprak saclı kompozit kauçuk burcun kardanik analizinin gerinim görseli

Çizelge 4.11.'de iç yaprak sactsız ve iç yaprak saclı kompozit kauçuk burcun 1° kardanik yönde döndürüldüğünde elde edilen katılık (stiffness) değeri görülmektedir. Şekil 4.19.'da ise analiz sonucunda iç yaprak saclı kompozit kauçuk burç ve iç yaprak saçsız kompozit kauçuk burç için elde edilen kardanik verilere göre hazırlanmış olan karşılaştırmalı moment derece grafikleri görülmektedir.

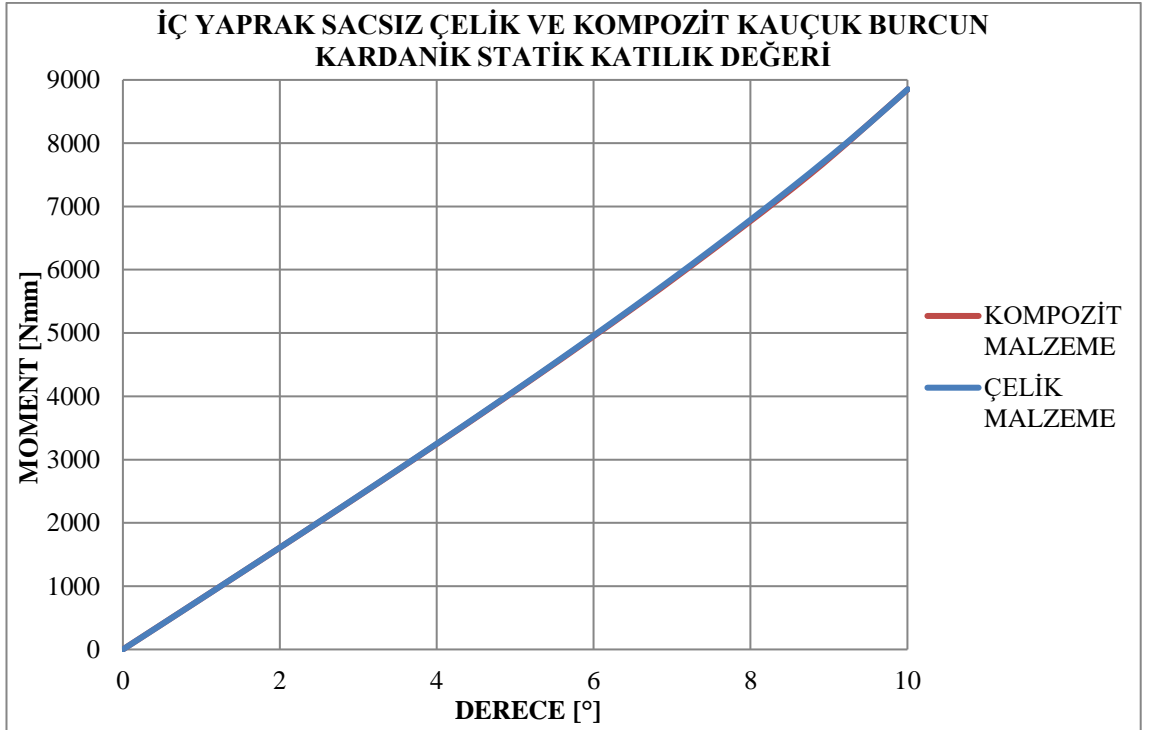
Çizelge 4.11. Kompozit malzemeden üretilen iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun kardanik katılık değerleri

	Katılık Değeri [Nmm/ $^\circ$]
Kompozit İç Yapraksız Kauçuk Burç	885,6 Nmm/ $^\circ$
Kompozit İç Yapraklı Kauçuk Burç	2746,3 Nmm/ $^\circ$

Yapılan analiz sonucunda metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burç verileri grafik olarak karşılaştırılmıştır. Verilerin birbiri ile yakınsadığı ve eşleştiği görülmektedir. Şekil 4.20.'de iç yaprak saclı ve Şekil 4.21.'de iç yaprak sactsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun verilerinin grafik kıyaslaması görülmektedir.



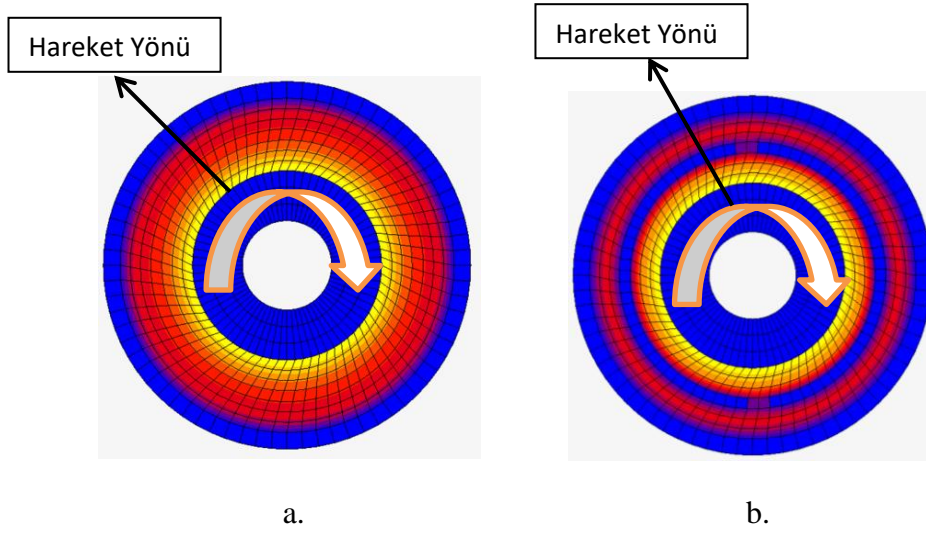
Şekil 4.20. İç yaprak saclı metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun kardanik verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.21. İç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun kardanik verilerinin karşılaştırılması

4.12. Kompozit Burç Torsiyonel Statik Analizleri

İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız olarak oluşturulan kompozit mesh modelleri torsiyonel statik katılık (stiffness) değerlerinin tespiti için, tanımlanan hareket yönünde (y ekseninde) 10° yer değiştirme uygulanarak parça üzerinde oluşan kuvvet değerleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda parçada meydana gelen gerinim değişimi kontrol edilerek, bu değerlerin uygunluğu tespit edilmiştir. Şekil 4.22.' de iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kompozit kauçuk burcun 10° döndürülmesi sonucunda oluşan gerinim görselleri görülmektedir.



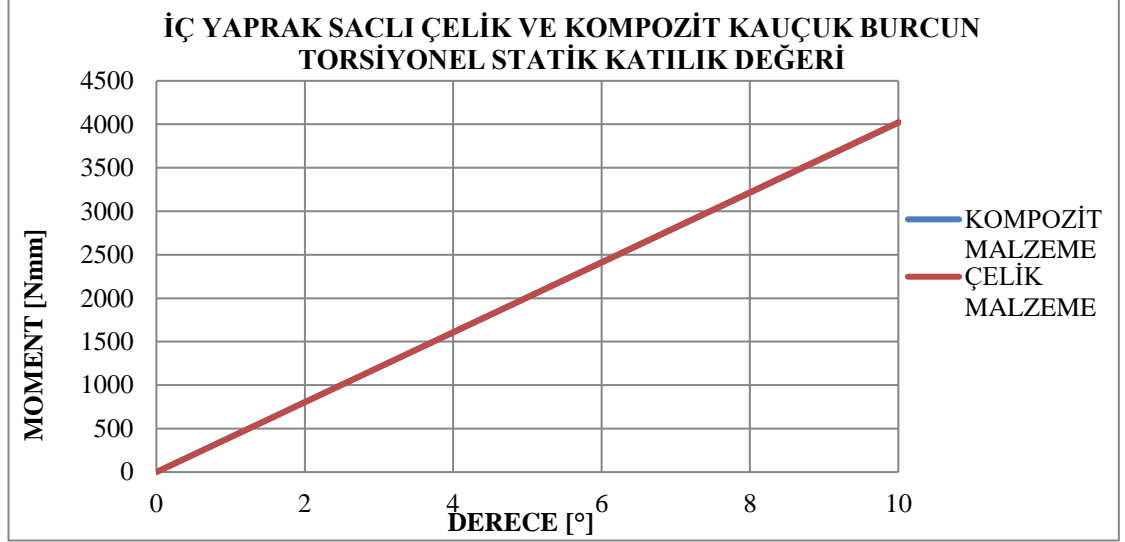
Şekil 4.22. a) İç yaprak sacsız kompozit kauçuk burcun torsiyonel analizi gerinim görseli b) İç yaprak saclı kompozit kauçuk burcun torsiyonel analizinin gerinim görseli

Çizelge 4.12.' de iç yaprak sacsız ve iç yaprak saclı kauçuk burcun 1° torsiyonel yönde döndürüldüğünde elde edilen katılık (stiffness) değeri görülmektedir.

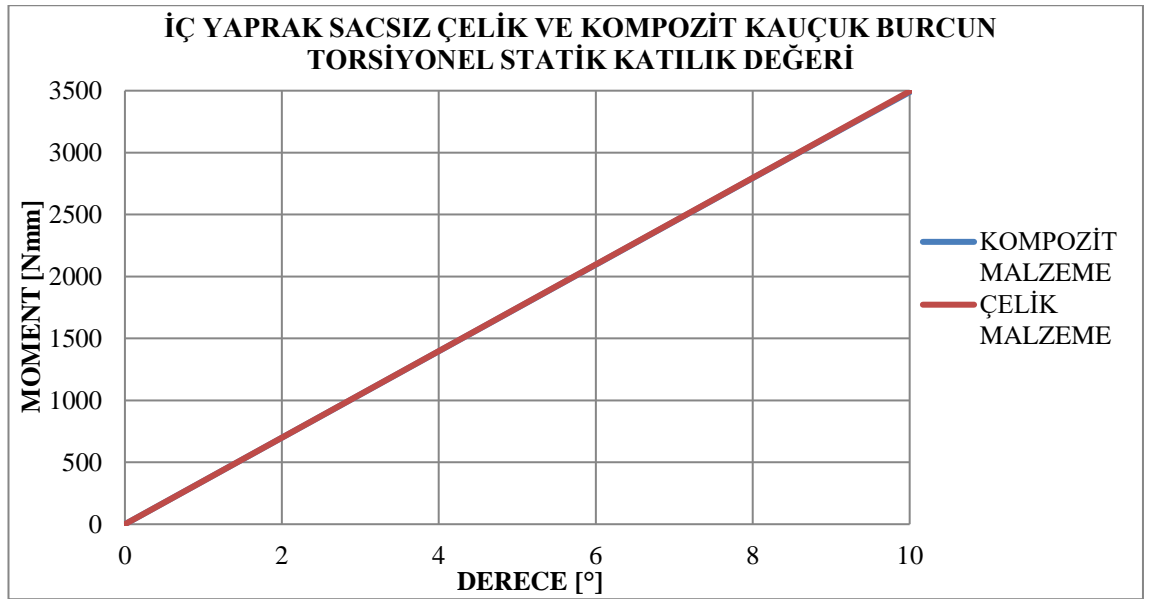
Çizelge 4.12. Kompozit malzemeden üretilen iç yapraksız ve iç yapraklı kauçuk burcun torsiyonel katılık değerleri

	Katılık Değeri [Nmm/°]
İç Yapraksız Kauçuk Burç	349,0 Nmm/°
İç Yapraklı Kauçuk Burç	401,9 Nmm/°

Yapılan analiz sonucunda metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burç verileri grafik olarak karşılaştırılmıştır. Verilerin birbiri ile yakınsadığı ve eşleştiği görülmektedir. Şekil 4.23.' de iç yaprak saclı ve Şekil 4.24.' de iç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun verilerinin grafik kıyaslaması görülmektedir.



Şekil 4.23. İç yaprak saclı metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun torsiyonel verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.24. İç yaprak sacsız metal kauçuk burç ile kompozit kauçuk burcun torsiyonel verilerinin karşılaştırılması

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışmanın ilk bölümünde tek katmanlı ve çok katmanlı kauçuk burçların statik katılık değerleri açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Tek katmanlı bir burcu, çok katmanlı burca dönüştürmek için yaprak sac kullanılmıştır. Yaprak saclar 1 mm kalınlığında, iç burç ve dış burç ile aynı malzemededen olan yay şeklinde parçalardır. Bu parçalar sayesinde birçok tek katmanlı burcun sağlayamadığı katılık değerleri sağlanabilmektedir. Tezimizin de ana amaçlarından biri bu yaprak saclar kullanıldığında tek katmanlı bir kauçuk burcun statik katılık değerlerinin nasıl değiştiğini tespit etmektir. Bu çalışmada öncelikle tek eksenli ve çok eksenli parçalar sonlu elemanlar analiz programında modellenmiştir. Kauçuk burcun montaj olacağı dış burç ve iç burç sabit tutulmuştur. Burada amaç diğer değişkenleri sabit tutarak, sadece mevcut yapıdaki bir kauçuk metal burcun kauçuğuna yaprak sac ekleyerek statik katılık değişimlerini gözlemlemektir. Malzeme modellenmesinde ise iç burç, dış burç ve yaprak saclar St37 malzemededen, kauçuk ise doğal kauçuk malzeme verisi kullanılarak malzeme modeli tanımlanmıştır. Parça montaj koşulları göz önüne alınarak çalışma bölgesi simüle edilmiştir. İç burcun merkezinden verilen hareket ile iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk metal burç üzerinden veri toplanmıştır. Bu veriler ile parçanın radyal katılık değeri, statik eksenel katılık değeri, torsiyonel katılık değeri ve kardantik katılık değeri elde edilmiştir. Elde edilen statik katılık değerlerinin doğruluk oranını belirlemek için test düzeneği oluşturulmuş, hem iç yaprak saclı hemde iç yaprak sacsız parça normal çalışma koşulları altında test edilmiştir. Test ve sonlu elemanlar analizi verileri karşılaştırılmıştır.

İç yaprak saclı kauçuk metal burç ile iç yaprak sacsız kauçuk metal burcun radyal sonlu elemanlar analiz verilerine baktığımız da, yaprak sac kullanılan parçanın katılık değeri yaklaşık 5 kat büyük çıkmıştır. Bunun sebeplerinden biri iç yaprak sac kullanıldığında, kauçuk kalınlığı azaltılmış olmaktadır. Kuvvetin etkilediği bölgede kalınlık azalışı ise yüksek oranda radyal katılık değerini arttırmaktadır. 1 mm kalınlığındaki iç yaprak sac kullanımını ile kauçuk kalınlığı aynı oranda azalmış, bu da iç yaprak sacsız parça ile iç yaprak saclı parça arasında 5 katlık bir radyal katılık değişimine neden olmuştur. Buradan çıkarabileceğimiz sonuç kuvvetin uygulandığı yönde kauçuk kalınlığı azaltılırsa katılık

değerinin yüksek oranda artacağıdır. Tasarım aşamasında bu bilgi göz önüne alındığında yüksek radyal katılık değeri istenilen bölgelere, tek katmanlı kauçuk burç yerine çok katmanlı kauçuk burç kullanımı daha uygun olacaktır.

İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk metal burç çiftinin sonlu elemanlar analizinin aksel verileri incelendiğinde yaprak sac kullanılan parçanın katılık değerinin 1,2 kat arttığı görülmektedir. Radyal verideki gibi yüksek oranda olmasa da kullanılan iç yaprak sac aksel katılık değerini düşük oranda arttırmaktadır.

İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız kauçuk metal burç çiftinin sonlu elemanlar analizinin torsiyonel verileri incelendiğinde yaprak sac kullanılan parçanın katılık değerinin 1,1 kat arttığı görülmektedir. Yaprak sac kullanımı torsiyonel katılık değişimine düşük bir etki göstermiştir.

Her iki parça için kardani katılık sonlu elemanlar analiz verileri incelendiğinde yaprak sac kullanılan parçanın, yaprak sac kullanılmayan parçaya göre katılık değerinin 3,2 kat arttığı görülmüştür. Buda yine radyal analizde olduğu gibi kauçuk kalınlık değeri azaldıkça kardani katılık verilerinin yüksek oranda artacağını göstermektedir.

Yapılan sonlu elemanlar analizinin doğruluğu montaj yerini ve analiz koşullarını simüle eden test düzenekleri ile test edilmiştir. Sonlu elemanlar analizi (SEA) ile testler arasındaki kolerasyon değerlendirildiğinde radyal katılık isterlerinde %4,5, aksel katılık isterlerinde %2,5, kardani katılık isterlerinde %6,2, torsiyonel katılık isterlerinde ise %6,5 oranında değişim görülmüştür. Kauçuk gibi hiperelastik malzeme grubunda yer alan malzemelerin analiz ve test sonuçları arasında %5'lik değişim iyi olarak değerlendirilmektedir. Kardani ve torsiyonel analiz-test kıyaslamasında oranın yüksek çıkması test aparatlarından gelen hata payı olarak değerlendirilmiştir. Analizde elde edilen rijit yapı, test aparatları ile tam anlamıyla sağlanamamakta ve kayıplar yaşanabilmektedir. Testler ile sonlu elemanlar analizi sonuçlarının kıyaslanması ve sonuçların belirli oranlar dahilince örtüşmesi kauçuk için kullanılan doğrusal olmayan malzeme modelini doğrular niteliktedir. Çizelge 5.1.' de iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız metal kauçuk burcun radyal, aksel, kardani ve torsiyonel katılık değerleri görülmektedir. Aynı tablo üzerinde SEA analiz verileri arasındaki oran verilmiştir. Ayrıca SEA ile statik testler arasındaki değişim de yine aynı tablo üzerinde görülmektedir.

Çizelge 5.1. İç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız metal kauçuk burcun radyal, eksenel, kardanik ve torsiyonel yönlerdeki katılık değerleri

	Radyal Analiz/ Radyal Test [N/mm]	Eksenel Analiz/ Eksenel Test [N/mm]	Kardanik Analiz/ Kardanik Test [Nmm/°]	Torsiyonel Analiz/ Torsiyonel Test [Nmm/°]
İç Yapraksız Kauçuk Burç	1254,6 / 1312,4	157,7 / 161,3	888,6 / 936,8	349,7 / 371,8
İç Yapraklı Kauçuk Burç	6122,2 / 7021,8	190,8 / 196,8	2837,8 / 3070,4	402,5 / 458,4
İç Yapraklı Kauçuk Burç SEA / İç Yapraksız Kauçuk Burç SEA	4,9	1,2	3,2	1,15
İç Yapraklı Kauçuk Burç Test / İç Yapraksız Kauçuk Burç Test	5,35	1,22	3,27	1,23

Yapılan çalışmanın 2. bölümünde ise kauçuk malzeme modeli doğrulanmış parçaların, çelik olan dış burç, iç burç ve yaprak sacı kompozit malzeme olarak değerlendirilmiştir. Termoplastik kompozit malzeme olarak tasarlanan burçlar sonlu elemanlar analizinde yeniden modellenmiştir. Burada iç burç, dış burç ve yaprak sac kompozit malzeme verileri girilerek malzeme modeli oluşturulmuştur.

Sonlu elemanlar analizinde kompozit malzeme modeli oluşturulurken çelik bir parçayı modellemeden farklı olan bazı noktalar tespit edilmiştir. Metal kauçuk burcun analizi kartezyen koordinat sisteminde yapılabilirken, kompozit bir kauçuk burcun analizi ise sadece silindirik koordinat sisteminde gerçekleştirilebilir. Bunun sebebi kompozit malzemelerdeki yönelimdir. Bu yönelimi sağlayabilmek için silindirik koordinat sistemi

tanımlanmalı ve yönelimin yarıçapta mı, yoksa uzunluk boyunca mı olacağı belirtilmelidir. Ayrıca kullanılacak olan kompozit parçaların sonlu elemanlar modeli katmanlı olarak modellenmeli ve bu katmanların birbirine göre konumu veri olarak girilmelidir. Kompozit kauçuk burç yapısında kauçuk yine ilk aşamada tanımlanan ve doğruluğu testler ile kanıtlanan malzeme verileri kullanılarak oluşturulmuştur.

Termoplastik kompozit kauçuk burç sonlu elemanlar analizinde de iç yaprak saclı ve iç yaprak sacsız olmak üzere 2 analiz modellenmiştir. Her iki parça için metal kauçuk burçta olduğu gibi radyal, aksenal, kardanik ve torsiyonel katılık değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlara baktığımızda metal kauçuk burç ile termoplastik kauçuk burcun 4 statik katılık değeri de birbirine çok yakın çıkmıştır. Bunun en önemli sebeplerinden biri veriyi etkileyen tek yapının kauçuk malzemesi olmasıdır. Kauçuk malzemesinin boyutları, konumu ve özelliği değişmediği için kompozit ve metal kauçuk burcun statik katılık değerleri aynı çıkmaktadır.

Otomotiv sektörü gün geçtikçe gelişmekte ve değişmektedir. Araçlar her ne kadar son teknoloji cihazlar ile donatılsa da vazgeçilmeyen ve değişmeyen şeylerden biri yakıt tüketimidir. Yakıt tüketiminin azaltılabilmesi için araç ağırlıklarının azaltılma çalışması günümüz ana sanayilerinin en önemli çalışmalarını teşkil etmektedir. Ayrıca CO₂ emisyon değerinin düşürülme çalışmaları, kısıtlamaların getirilmesi, belirli CO₂ değerlerinin üzerinde bazı ülkelere satış yapılamaması gibi zorlayıcı sebepler de araç ağırlıklarının azaltılmasını gündeme getirmektedir. Bu bağlamda, çalışmadan elde edilen veriler yorumlandığında aynı değerleri sağlayan fakat biri diğerine göre daha hafif olan malzemenin seçilebilecek olması en önemli çıktılardan biridir. Teze konu olan iç yapraklı kauçuk burç düşünüldüğünde metal kauçuk burca göre kompozit kauçuk burç 4,7 oranında parçanın toplam ağırlığını düşürmektedir. Çizelge 5.2.' de metal – kauçuk burcun ve kompozit kauçuk burca ait alt komponent ağırlık bilgileri görülmektedir.

Çizelge 5.2. Metal – kauçuk burç ile kompozit kauçuk burç ağırlık bilgileri

	Metal – Kauçuk Burç		Kompozit – Kauçuk Burç	
	Malzeme	Ağırlık (gr)	Malzeme	Ağırlık (gr)
İç Burç	Çelik	50	Term. Komp.	6
Dış Burç	Çelik	35	Term. Komp.	4
Kauçuk	Doğal Kauçuk (45 Sha)	13	Doğal Kauçuk (45 Sha)	13
İç Yaprak Sac	Çelik	26	Term. Komp.	3
	Toplam Ağırlık	124	Toplam Ağırlık	26

Bir araç üzerinde ortalama 50 adet kauçuk burç olduğu ve hesaplanan oranda ağırlık azaltılmasına katkı sağladığı düşünüldüğünde bir araç üzerinde yaklaşık 5 kg'lık ağırlık azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Bu da gramların bile değer kazandığı otomotiv sektöründe yüksek derecede iyileştirme demektir. Kompozit malzemenin her ne kadar üretimi zor, seri imalata uygulanabilirliği tartışma konusu olsa da teknoloji ilerledikçe bu sorunlar çözülecek ve araçların üzerinde birçok metal parça kompozit malzeme ile ikame edilecektir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasının ileride gerçekleşmesi muhtemel olan bu sürece katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adkins J. E. and A. N. Gent. 1954.** Load Deflection Relations of Rubber Bush Mountings. pp. 354-358.
- Beşergil, B. 2016.** Polimer Matris Kompozitler: Kompozitler Temel İlkeler – Test Metodları, Editör: Beşergil B., Ankara, Türkiye, s. 101-140.
- Erkek, S. 2007.** “Karbon Siyahı/Dolgu Maddesi Oranının Farklı Vulkanizasyon Sistemlerinde EPDM, NBR ve SBR Elastomerlerinin Fiziko-Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 9-45.
- Gent, A. 2001.** Engineering with Rubber – How to Design Rubber Components. Hanser Publisher, Münih, 258 pp.
- Hahn, H. T., Tsai, S. W. 1980.** Introduction to composite materials (Vol. 1): CRC Press.
- Hill J. M. 1975.** Radical Deflections of Rubber Bush mountings of Finite Lengths.. Interscience Publishers, New York, pp 407-422.
- Karen, İ, Kaya, N., Öztürk, F.ve Korkmaz, İ., 2008.** Motor titreşim takozlarının istenen özelliklerde tasarımı ve doğrulaması, 4. Otomotiv Teknolojileri Kongresi – OTEKON’ 08, 1-4 Haziran 2008, Bursa.
- Kari, L. 2002.** Dynamic Stiffness Matrix of a Long Rubber Bush Mounting, 356 pp.
- Kınikoğlu, N.G. 2006.** Polimer Malzemeler: Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Editör : Özkal, S., Literatür Yayıncılık, İstanbul, s.370-371.
- Knothe K. L. ve S. L. Grassie. 1993.** Modelling of Railway Track and Vehicle Interaction at High Frequencies. pp.209-262.
- Kraus G. 1984.** Mechanical Losses in Carbon Black Filled Rubbers. *Journal for Application of Polymer Science*. pp. 75-92.
- Lodhia B. B. ve I. I. Esat. 1996.** Vibration Simulation of Systems Incorporating Linear Viscoelastic Mounts Using Prony Series Formulation, ASME, Engineering System Design and Analysis Conference, p.171-176.
- Medalia, A. I. 1978.** Effects of Carbon Black on Dynamic Properties of Rubber. *Cabot Corporation, Pennsylvania*. pp. 437-523.
- Miller, K. 2000.** Testing Elastomers for Hyperelastic Material Models in Finite Element Analysis. Axel Products Inc., Ann Arbor, Michigan, USA.
- Morman K. N. and T. Y. Pan. 1988.** Application of Finite-Element Analysis in The Design of Automotive Elastomeric Components. pp.503-533.
- Öncü, İ. C., DOVA, A. 2018.** Titreşim Sönümlenme Elemanı Olan Kauçuk Burçta Çaplama İşleminin Ömre Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi ve Deneysel Çalışma İle İncelenmesi. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 6 (2), 11-18. DOI: 10.21541/apjes.364545
- Özgün, R.E. 2010.** Kauçuk-Metal Burçlarda Kauçuk Sertliği ve Çaplama İşlemlerinin Kopma Mukavemetine Etkisinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Payne A. R., and R. E. Whittaker. 1971.** Low Strain Dynamic Properties of Filled Rubbers. pp. 440-478.

- Rosato D. V., 1997.** Designing With Reinforced Composites: Hanser Gardner Publications.
- Savran, H. 2001.** Elastomer Teknolojisi-1. Acar Matbaacılık, İstanbul, 136 s.
- Savran, H., 2002.** Elastomer Teknolojisi-2. Acar Matbaacılık, İstanbul, 234 s.
- Soyubol, B., (2006).** Elastomerlerin Statik ve Dinamik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ulmer J. D. 1998.** Strain Dependence of Dynamical Mechanical Properties of Carbon Black Filled Rubber Compounds. Rubber Chemical Technologies. pp.637-667.
- Vahapoğlu, V. 2006.** Kauçuk Türü Malzemeler II. Sentetik Kauçuk. KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(1): 44-55.
- Vasiliev, V. V., Morozov, E. 2001.** Mechanics and analysis of composite materials: Elsevier Publ.
- Vatangül E., (2008).** Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ansys 10 Programı ile Isıl Gerilme Analizi, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üni. Mühendislik Fakültesi
- Yazıcı, M., Kandırmış, K., Karen, İ., Güçlü, H., Somyak, C., 2015.** Finite Element Analysis of Impact Loaded Polymer Composites Side Door Anti-intrusion Bar. https://www.researchgate.net/profile/Murat_Yazici/publication/283487726_Investigation_of_the_Polymer_Composite_Side_Door_Anti-intrusion_Bar_for_a_Light_Commercial_Vehicle/links/5acbd121aca272abdc637448/Investigation-of-the-Polymer-Composite-Side-Door-Anti-intrusion-Bar-for-a-Light-Commercial-Vehicle.pdf-(Erişim tarihi: 06.09.2019).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Aylin DOVA
Doğum Yeri ve Tarihi	: Bursa / 1985
Yabancı Dili	: İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	
Lise	: Bursa Çınar Lisesi (2006)
Ön Lisans	: Selçuk Üniversitesi Makine, Resim Konstrüksiyon (2010)
Lisans	: Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği (2011)
Yüksek Lisans	: Bursa Uludağ Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı (2019)
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl	: Laspar Angst Pfister Gelişmiş Teknik Çözümler (2015 – 2018) Oyak Renault Otomobil Fabrikası (2018 – Devam ediyor)

Yayınları*

:

DOVA, A, Öncü, İ. C. 2018. Tek Katmanlı Kauçuk Burçlarda Kauçuk Sertlik Değişiminin Statik Katılığa Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi ve Testler ile Doğrulanması. *4rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019)*, 24-26 April, 2019, Antalya

DOVA, A, Öncü, İ. C. 2018. Kauçuk Burçlarda Kauçuk (Elastomer) Kalınlık Değişiminin Statik Katılık Değerlerine Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi. *4rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019)*, 24-26 April, 2019, Antalya

Öncü, İ. C., DOVA, A. 2018. Titreşim Sönümlenme Elemanı Olan Kauçuk Burçta Çaplama İşleminin Ömre Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi ve Deneysel Çalışma İle İncelenmesi. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 11-18. DOI: 10.21541/apjes.364545

Öncü, İ. C., DOVA, A. 2018. Binek Araçlarda Kullanılan Çelik Ön Tampon Çarpma Parçasının Alüminyum Malzemeden Üretilmesi, Analiz ve Testler ile Doğrulaması. *3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018)*, 24-26 October, 2018, Adana

Öncü, İ. C., DOVA, A. 2018. Kauçuk Burçlarda Kullanılan İç Yaprak Saclarının Parçanın Katılık Değişimine Etkisinin Analizi Ve Testlerle Doğrulaması. *3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018)*, 24-26 October, 2018, Adana