

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MOTORLU TAŞITLARDA KULLANILAN FLEKS HORTUM İNCELEMESİ

GÖKSU GÜRLER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KONSTRÜKSİYON PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. MUHARREM ERDEM BOĞOÇLU**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOTORLU TAŞITLARDA KULLANILAN FLEKS HORTUM İNCELEMESİ

Göksu GÜRLER tarafından hazırlanan tez çalışması 19/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Berna Alpan Bolat

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. İsmail Gerdemeli

İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Motorlu taşıtlarda kullanılan fleks hortum incelemesi çalışmamda bana her türlü desteği veren ve tezi hazırlamamda büyük emekleri olan tez danışmanı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU'ya teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Her zaman yanımda olan, manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme verdikleri destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Aralık, 2017

Göksu GÜRLER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
Hortumlar Hakkında Genel Bilgiler	3
2.1 Hortumların kullanım alanları	3
2.2 Hortumların Yapısı ve Hortum Standartları	3
2.3 Havalı Fren Sisteminde Kullanılan Hortumlar	7
2.3.1 Havalı Fren Sistemleri	7
2.3.2 Fren Hortumları	8
2.3.3 Metal Örgülü PTFE (Teflon) Hortum Özellikleri	9
2.4 Araçlarda Hortumların Zarar Görmesi	10
BÖLÜM 3	
MODELİN TANITIMI.....	12
3.1 Fiziksel Model Yapısı	12
3.1.1 Modelin Geometrisi	12

3.1.1.1	İç Katman	13
3.1.1.2	Rakor-Kapsül Bağlantısı.....	14
3.1.1.3	Dış Katman	18
3.1.2	Modelin Malzemesi	19
3.1.3	Modelin Serbestlik Derecesi	22
3.2	Model Parametreleri.....	24
3.2.1	RIG Testi.....	24
3.2.2	RIG Testinden Elde Edilen Dış Kuvvetler ve Değişimleri.....	25
3.2.3	Fleks Hortuma Uygulanan Çekme Testi.....	30
3.3	Tasarım Olasılıkları	31
3.3.1	Fleks Hortum Kapsülüne Pah Eklenmesi	31
BÖLÜM 4		
ANALİZLER.....		32
4.1	Fleks Hortum Ansys Analiz Detayları	32
4.2	Farklı Uzunluklardaki Fleks Hortumun Ansys Analiz Sonuçları	36
BÖLÜM 5		
TEST ÇALIŞMALARI ve MODELİN DOĞRULANMASI		41
BÖLÜM 6		
İRDELEME ve SONUÇ		45
KAYNAKLAR.....		48
ÖZGEÇMİŞ.....		49

SİMGE LİSTESİ

cm ³	Santimetre Küp
J	Joule
kg	Kilogram
km	kilometre
kN	Kilonewton
MPa	Megapascal
mm	Milimetre
N	Newton
Pa	Pascal
psi	Pounds per square inch
sn	saniye
°C	Derece Celsius
Ø	Çap

KISALTMA LİSTESİ

EN	European standards
I.D	Inner Diameter
ISO	International Organization for Standardization
O.D	Outer Diameter
PTFE	Polytetrafluoroethylene
SAE	Society of Automotive Engineers

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Hortum örnekleri.....	3
Şekil 2. 2 Temel hortum tipleri.....	4
Şekil 2. 3 Havalı bir fren sisteminin basit şeması.....	8
Şekil 2. 4 Havalı bir fren sistemde kullanılan hortum.....	8
Şekil 2. 5 Metal örgülü PTFE (Teflon) hortum.....	9
Şekil 2. 6 Araçta zarar görmüş PTFE hortum.....	11
Şekil 3. 1 233m uzunluğa sahip flex hortum 3D modeli.....	12
Şekil 3. 2 Flex hortumun içyapısının 3D modeli.....	13
Şekil 3. 3 Flex hortumun içyapısının kesiti.....	13
Şekil 3. 4 Flex hortumun içyapısı.....	14
Şekil 3. 5 Kapsül.....	14
Şekil 3. 6 Rakor.....	15
Şekil 3. 7 Rakor kapsül montajı.....	15
Şekil 3. 8 Patlatma testi.....	18
Şekil 3. 9 Hortum dış katmanı.....	18
Şekil 3. 10 Çelik malzemenin S-N eğrileri.....	20
Şekil 3. 11 Çelik malzemeye ait yorulma eğrisi.....	20
Şekil 3. 12 PTFE malzemenin S-N eğrileri.....	21
Şekil 3. 13 PTFE malzemeye ait yorulma eğrisi.....	22
Şekil 3. 14 Araçtaki hortumdan geçen havanın sıcaklık değerleri.....	22
Şekil 3. 15 X,Y,Z koordinatlarına göre hortumun konumu.....	23
Şekil 3. 16 Hortumun araçtaki konumu.....	23
Şekil 3. 17 RIG testi araç konumundaki hortum.....	24
Şekil 3. 18 233mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma Z ekseninden kuvvet(N)- zaman(sn) grafiği.....	25
Şekil 3. 19 233mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma uygulanan basınç(bar)- zaman(sn) grafiği.....	26
Şekil 3. 20 233mm boy uzunluğuna sahip fleks hortumun Z eksenindeki deplasman(mm)-zaman(sn) grafiği.....	26
Şekil 3. 21 245mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma Z ekseninden kuvvet(N)- zaman(sn) grafiği.....	27
Şekil 3. 22 245mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma uygulanan basınç(bar)- zaman(sn) grafiği.....	27

Şekil 3. 23	245mm boy uzunluğuna sahip fleks hortumun Z eksenindeki deplasman(mm)-zaman(sn) grafiği.....	28
Şekil 3. 24	273mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma Z ekseninden kuvvet(N)-zaman(sn) grafiği.....	28
Şekil 3. 25	273mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma uygulanan basınç(bar)-zaman(sn) grafiği.....	29
Şekil 3. 26	273mm boy uzunluğuna sahip fleks hortumun Z eksenindeki deplasman(mm)-zaman(sn) grafiği.....	29
Şekil 3. 27	273mm boy uzunluğuna sahip fleks hortumun çekme test raporu.....	30
Şekil 3. 28	245mm fleks hortum kapsül ucundan pah kırılması ve boy kısaltılması.....	31
Şekil 4. 1	Ansysis 3D modeli.....	33
Şekil 4. 2	Fleks hortumun sonlu elemalara bölünmüş hali.....	33
Şekil 4. 3	Mesh metrikleri.....	34
Şekil 4. 4	3D model sabitleme noktası.....	34
Şekil 4. 5	Modele gelen kuvvet uygulama noktası.....	35
Şekil 4. 6	Modele uygulanan deplasman noktası.....	35
Şekil 4. 7	Modele uygulanan basınç yüzeyi.....	36
Şekil 4. 8	233mm fleks hortum modeli ve uygulanan kuvvet değişimleri.....	36
Şekil 4. 9	233mm fleks hortum yorulma test sonucu	37
Şekil 4. 10	245mm fleks hortum modeli ve uygulanan kuvvet değişimleri.....	37
Şekil 4. 11	245mm fleks hortum yorulma test sonucu.....	38
Şekil 4. 12	Geniş kapsül pah açısına sahip 245mm fleks hortum modeli ve uygulanan kuvvet değişimleri.....	38
Şekil 4. 13	Geniş kapsül pah açısına sahip 245mm fleks hortum yorulma test sonucu.....	39
Şekil 4. 14	273mm fleks hortum modeli ve uygulanan kuvvet değişimleri.....	39
Şekil 4. 15	273mm fleks hortum yorulma test sonucu.....	40
Şekil 5. 1	233mm hortuma ait araç testi.....	41
Şekil 5. 2	233mm hortuma ait araç testi.....	42
Şekil 5. 3	233mm hortuma ait Ansys-RIG-Araç testi karşılaştırması.....	42
Şekil 5. 4	245mm hortuma ait Ansys-RIG testi karşılaştırması.....	43
Şekil 5. 5	273mm hortuma ait Ansys-RIG testi karşılaştırması.....	44

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2 .1 EN 857 Hortum çapları.....	5
Çizelge 2. 2 EN 857 Hortum minimum basınç isterlerinin çapa göre değişimi.....	5
Çizelge 2. 3 ISO 18752 Hortum basınç sınıflandırmaları.....	6
Çizelge 2. 4 ISO 18752 Standardında üretilmiş isobarik hortum örneği.....	6
Çizelge 2. 5 ISO 18752’de Performans dereceleri.....	7
Çizelge 2. 6 Flex hortumun özellikleri.....	12
Çizelge 3. 1 Farklı sıkıştırma çaplarına sahip hortumların patlatma test sonuçları.....	16
Çizelge 3. 2 Farklı sıkıştırma çaplarına sahip hortumların patlatma test sonuçları.....	16
Çizelge 3.3 Farklı sıkıştırma çaplarına sahip hortumların patlatma test sonuçları.....	17
Çizelge 3. 4 Farklı sıkıştırma çaplarına sahip hortumların patlatma test sonuçları.....	17
Çizelge 3. 5 Rakor-kapsül ve dış katmanda kullanılan çelik malzemeye ait detaylar...	19
Çizelge 3. 6 Çelik malzemeye ait Young modülü, Poisson oranı, Bulk modülü, kesme modülü detayları.....	19
Çizelge 3. 7 İç katmanda kullanılan PTFE malzemeye ait detaylar.....	20
Çizelge 3. 8 PTFE malzemeye ait Young modülü, Poisson oranı, Bulk modülü, kesme modülü detayları.....	21

MOTORLU TAŞITLARDA KULLANILAN FLEKS HORTUM İNCELEMESİ

Göksu GÜRLER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU

Bu çalışmada ilk olarak hortumların genel yapısı ve standartlarından bahsedilerek hortum kullanım alanları ve detaylara yer verilmiştir. Daha sonrasında ise ağır ticari araçlarda kullanılan fren sistemleri ve burada kullanılan PTFE metal örgülü fleks hortum türleri incelenmiş ve detaylarına değinilmiştir.

Test araçlarına takılan metal örgülü PTFE fleks hortumlarının zarar gördüğü görülmüş ve bunların sebepleri araştırılmıştır. Zarar görülen hortum numuneleri montaj konumu referans alınarak üç farklı hortum boy belirlenip çalışmalar yapılmıştır.

Her bir hortum numunesine ait fiziksel 3D modeller Catia programı aracılığıyla oluşturulup katı modeller hortumun tüm reel tasarımını kapsayacak şekilde Ansys programında yorulma analizine tabi tutulmuş ve bu analizler saha araç testleri, RIG simüle testleri ile doğrulanıp desteklenmiştir. Tez çalışmasında elde edilen sonuçların sektörde ve akademik çalışmalarda yararlanılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fleks hortum, PTFE, Yüksek basınca dayanıklı hortum, Otomotiv hortumu

EXAMINATION OF FLEXIBLE HOSE ON VEHICLES

Göksu GÜRLER

Department of Engineering Programme

MSc. Thesis

Advisor: Asst. Prof. Dr. Muharrem Erdem BOĞOÇLU

Flexible hoses are widely used in the automotive sector. These hoses provide the absorption of the engine movement, force and vibration while transferring hot compressed air or oil. Teflon hoses are reinforced steel braided known as PTFE hoses and generally preferred for high pressure and temperature resistance.

The aim of the project is to find the optimum hose length without any failure. The main reason of failed PTFE hoses is mostly related with not being able to dampen the engine movement which can cause varying stress on hoses. In the context of this thesis, the effect of the length on a hose in the way of performance was investigated by examining with different lengths (233mm, 245mm, 273mm). For that reason, the study was supported with vehicle field tests, rig lifetime cycle test and computer assisted analyses to which were inserted all of the parametric data taken from the rig test such as 6 bar air pressure, 32 mm displacement and variable force data (according to vehicle conditions).

At the end of the study, a decrease of strain forces and an increase of total lifetime were observed on the hose by extending the hose length. As a result, the lifetime of a 233mm hose length to 245mm, is increased 2.7 times and the absorbing force is reduced approximately by 12%. A 233mm hose length increased to 273mm has been extended lifetime 45.62 times and the absorbing force is reduced approximately by 20.56%. This study's outputs show that increasing the length of the hose reduces the stress on the hose and is effective in extending the part's service life.

Keywords: Flex hose, PTFE hose, High Pressure Hoses, Automotive Hoses.

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde hortumlar birçok alanda ve çeşitli sebeplerden dolayı kullanılmaktadır. Hortumlar genel olarak 3 katmandan meydana gelmektedir. Bu katmanlar, içten dış doğru akışkanla temas eden iç katman, basınç dayanımını sağlayan çelik tel veya tekstil örgülü ya da çelik tel spiralli destek katman(lar)ı ve dış etkenlere (çevresel ortam koşulları, ozon, korozyon vs.) karşı koruyan dış katman olarak sıralanabilir [1].

Standartlar da hortumların sağlaması gereken şartnameler belirtilmiştir. Hortumun iç katmanının belirli akışkanlarla kimyasal uyumluluğu, iç ve dış çap ölçüleri, montaj sonrası boyut toleransları, hortum komplelerinin ne tür testlere tabi tutularak doğrulanacağı, aşınma dayanımı, minimum büküm yarıçapı, çalışma sıcaklık aralığı, hortum imalat sırasında üzerinde yer alacak markalamalar, işaretlemeler gibi bilgiler standartlarda yer alırlar.[1]

Müşteriler açısından bakıldığında farklı standartlardaki hortum çeşitleri ve çapa göre değişen basınç değerleri karışıklığa neden olabilmektedir. Özellikle tasarım, proje, montaj ve servis durumlarında hata yapma riski artmaktadır. Bir projede aynı hortum serisinin farklı boyutları kullanıldığında basınç dayanımı da her hat için kontrol edilmesi gerekmektedir[1].

1.2 Tezin Amacı

Dinamik tasarımlarda akışkan bir maddenin hortum ile bir yere taşınırken dış ortamdaki etkilenmeden bu iletimini sağlaması gerekmektedir. Dinamik şartlara uygun olarak seçilmemiş hortumlar zamanla çeşitli problemlere yol açabilirler.

Tezin amacı, havalı fren sistemi kullanan ve dinamik şartlarda çalışan bir ağır ticari aracın fleks fren hortum boy optimizasyonu yaparak tasarlanması ve testler ile doğrulanmasıdır.

1.3 Hipotez

İnşaat sektörünün hızlı büyümesi sonucunda sektörde yeni ihtiyaçların ortaya çıkmasına ve kullanılacak araçlardaki beklentilerin artmasına sebep olmuştur.

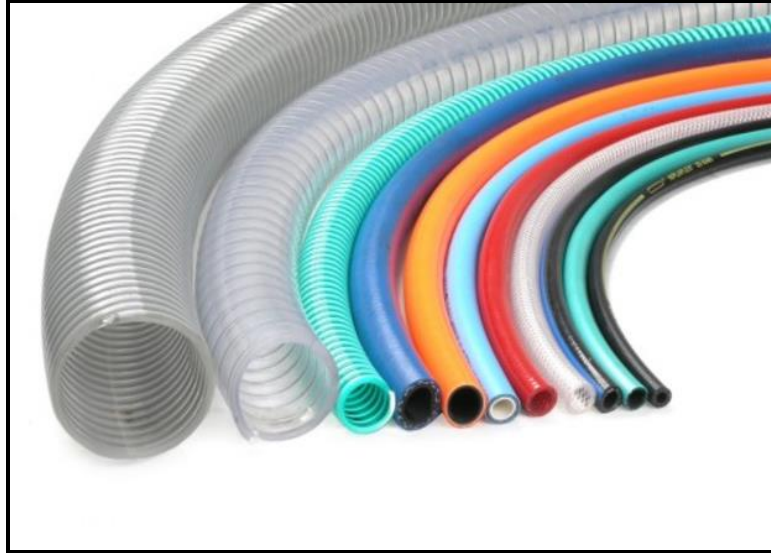
Zorlu arazi şartlarında çalışan araçlar çok fazla titreşime ve motor hareketine maruz kalırlar. Motor ile araç şasisi arasındaki hortum bağlantıları bu bağlamda oldukça hareketli durumda çeşitli gerilim altında çalışırlar.

Motor hareketi ve araç titreşimlerinden dolayı fren hortumlarının boyu uygun olarak seçilmelidir. Çalışmada arazi şartlarında çalışan bir fren hortumunun motor hareketlerinden etkilenmeden boy uzunluğu optimize edilip, bilgisayar destekli analiz, Rig simülasyonu ve araç saha testi ile doğrulanması yapılarak uygun hortum boyu uzunluğuna ulaşılması hedeflenmiştir.

Hortumlar Hakkında Genel Bilgiler

2.1 Hortumların kullanım alanları

Hortumlar mobil ve endüstriyel alanlarda hidrolik yağ, basınçlı hava gibi farklı akışkanların iletilmesinde kullanılmaktadır. Özellikle malzeme yapısı, konstrüksiyonu sayesinde titreşimleri sönmülemesi, boru kullanımının uygun olmadığı durumlarda tercih edilirler.



Şekil 2. 1 Hortum örnekleri

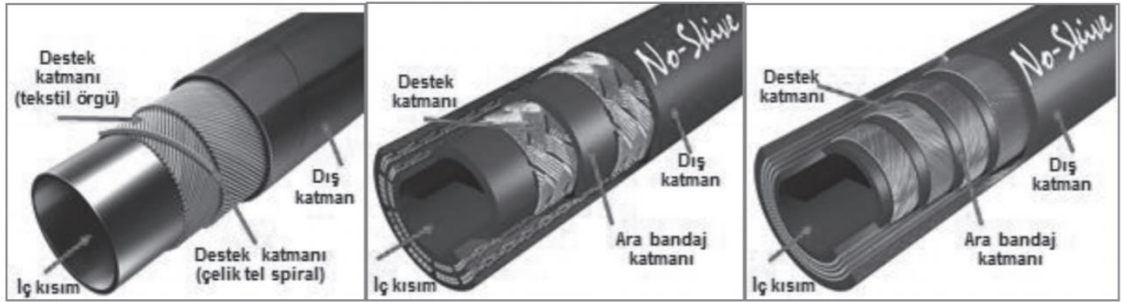
2.2 Hortumların Yapısı ve Hortum Standartları

Hortumları kullanımlarına göre üç ana sınıfta inceleyebiliriz[1].

1. Tel veya tekstil örgülü hortumlar

2. Tekstil örgülü ve tek spiral telli emiş hortumları

3. Tel spiralli hortumlar



Şekil 2. 1 Temel hortum tipleri [1]

ISO / EN Standartları [2]:

1. EN 853: Hortum ve hortum takımları- Lastikten- Tel örgü takviyeli
2. EN 854: Hortum ve hortum takımları- Lastikten tekstil takviyeli
3. EN 856: Lastik hortumlar ve hortum takımları- Lastik kaplı spiral tel takviyeli
4. EN 857: Lastik hortumlar ve hortum takımları- Tel örgü takviyeli, Kompakt

SAE Standartları:

SAE J517 standardında tanımlanan bazı hortum tipleri aşağıda verilmiştir [3].

1. SAE100R1 1 Çelik örgülü hortumlar
2. SAE100R2 2 Çelik örgülü hortumlar
3. SAE100R3 Tekstil örgülü hortumlar
4. SAE100R4 Emiş hattı hortumları
5. SAE100R5 1 Çelik örgülü dış katmanı tekstil olan hortumlar
6. SAE100R9/R10 4 Çelik spiralli hortumlar
7. SAE100R13 Sabit basınçlı 4 ya da 6 spiralli hortumlar.
8. SAE100R15 6 Çelik tel spiralli hortumlar
9. SAE100R17 Sabit basınçlı kauçuk hortumlar 21 MPa
10. SAE100R18 Sabit basınçlı termoplastik hortumlar 21 MPa

Aşağıda EN 857 standardında yer alan boyut talepleri örnek olarak gösterilmiştir[1].

Çizelge 2. 1 EN 857 Hortum çapları [4]

Nominal Bore	All types		Type 1 SC		
	Internal Diameter		Diameter over reinforcement		Outside diameter of hose
	min	max	min	max	max
6	6,1	6,9	9,6	10,8	13,5
8	7,7	8,5	10,9	12,1	14,5
10	9,3	10,1	12,7	14,5	16,9
12	12,3	13,5	15,9	18,1	20,4
16	15,5	16,7	19,8	21	23
19	18,6	19,8	23,2	24,4	26,7
25	25	26,4	30,7	31,9	34,9

Sektördeki ihtiyaçlar ve teknolojiye gelişmeler uluslararası standartları da etkilediği görülmektedir. Örneğin, hortum seçiminde en kritik parametrelerden biri olan basınç dayanımı mevcut standartlarda hortum iç çapına göre değişen değerler olarak verilmekteydi. Aşağıdaki tabloda EN 857 standardında kompakt serisi 1 veya 2 tel örgülü hortumlar için minimum basınç seviyelerinin hortum iç çapı büyüdükçe azaldığı görülmektedir[2].

Çizelge 2. 1 EN 857 Hortum minimum basınç isterlerinin çapa göre değişimi [4]

Nominal Bore	Max WP (bar)	
	Type	
	1SC	2SC
6	225	400
8	215	350
10	180	330
12	160	275
16	130	250
19	105	215
25	88	165

Aşağıdaki tabloda ISO 18752 standardında yer almakta olan basınç sınıfları ve değerleri gösterilmektedir[1].

Çizelge 2. 2 ISO 18752 Hortum basınç sınıflandırmaları [5]

Class	35	70	140	210	250	280	350	420	560
MWP ^a (bar)	35	70	140	210	250	280	350	420	560
MWP ^b (Mpa)	3,5	7	14	21	25	28	35	42	56
Nominal Size									
5	X	X	X	X	X	X	X	X	N/A
6,3	X	X	X	X	X	X	X	X	N/A
8	X	X	X	X	X	X	X	X	N/A
10	X	X	X	X	X	X	X	X	N/A
12,5	X	X	X	X	X	X	X	X	N/A
16	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	X	X	X	X	X	X	X	X	X
25	X	X	X	X	X	X	X	X	X
31,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X
38	X	X	X	X	X	X	X	X	N/A
51	X	X	X	X	X	X	X	X	N/A
63	X	X	X	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
76	X	X	X	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
102	X	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
X: Applicable N/A: Not applicable									
MWP: Maximum Working Pressurre									

Aşağıdaki tablo da yüksek basınç uygulamaları için tasarlanmış ISO 18752 standardına göre üretilmiş hortum tipi görülmektedir.

Çizelge 2. 3 ISO 18752 Standardında üretilmiş isobarik hortum örneği [6]

Part Number	Hose I.D.				Hose O.D. mm	Pressure Rating				min. bend radius mm	weight kg
	DN	Inch	Size	mm		max. working pressure MPa	psi	min. burst pressure MPa	psi		
797TC-8	12	1/2	-8	12.7	21.1	42.0	6000	168.0	24000	100	0.67
797TC-10	16	5/8	-10	15.9	23.9	42.0	6000	168.0	24000	115	0.80
797TC-12	19	3/4	-12	19.1	27.9	42.0	6000	168.0	24000	135	1.16
797TC-16	25	1	-16	25.4	35.7	42.0	6000	168.0	24000	165	1.74
797TC-20	31	1 1/4	-20	31.8	44.9	42.0	6000	168.0	24000	225	2.89
797TC-24	38	1 1/2	-24	38.1	52.8	42.0	6000	168.0	24000	305	3.96
797TC-32	51	2	-32	50.8	67.6	42.0	6000	168.0	24000	380	6.50

Basınç çevrimlerinin impuls yani inişli çıkışlı olduğu uygulamalarda hortumun performansını değerlendirebilmek adına hortumlar ISO 18752 standardında A,B,C,D olarak dört ana performans grubuna ayrılmıştır [5].

ISO 18752 performans ve servis ömrü açısından da önceki standartlardan farklı bir yaklaşım getirmektedir. Daha önceki standartlarda teknik isterler çalışma basıncının en fazla 1.2 katında ve maksimum 500 000 çevrim olarak verilirken ISO 18752 standardında ömür isteri D sınıfı hortumlar için çalışma basıncının 1.33 katında

1000000 çevrim olarak belirtilmiştir. Bu durum değişen ve gelişen endüstri ihtiyaçlarının standartlara da yansıtıldığını göstermektedir.

Çizelge 2. 4 ISO 18752’de Performans dereceleri [5]

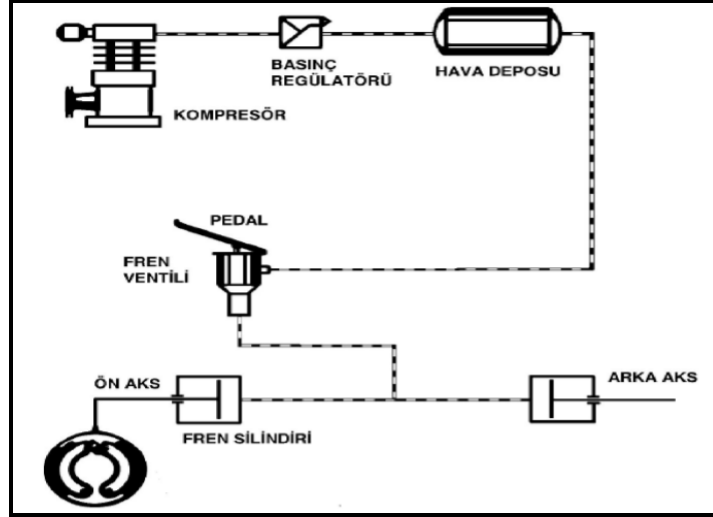
Grade	Type ^a	Temperature (°C)	Impuls Pressure (% of MWP ^b)	Min number of cycles
A	AS	100	133%	200 000
	AC			
B	BS	100	133%	500 000
	BC			
C	CS	120	133% and 120 % ^c	500 000
	CC			
D	DC	120	133%	1 000 000
^a Standard or Compact ^b Maximum working pressure ^c 120 % of the MWP shall be used for classes 350, 420 and 560 instead of 133 %				

2.3 Havalı Fren Sisteminde Kullanılan Hortumlar

2.3.1 Havalı Fren Sistemleri

Havalı fren sistemlerinde basınçlı hava hem enerji kaynağı hem de iletim aracı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerde sürücünün kas kuvveti enerji kaynağı olarak değil kontrol ve kumanda amacıyla kullanılmakta olup yabancı kuvvetli fren düzenleri sınıfına girmektedir. 60...70 kN'dan ağır olan taşıtlarda fren sisteminin konstrüktif parametreleri ne şekilde seçilirse seçilsin sürücünün pedala uygulayacağı kuvvetle yeterli frenleme elde edilememektedir. Bu nedenle bu taşıtlarda havalı fren sistemleri kullanılmaktadır.

Şekil 2.3 'de havalı bir fren sistemi şematik olarak görülmektedir. Uygulamalarda işletme basınçları 0,5...0,7 MPa mertebesinde dir. Daha yüksek basınçlar gerek ekonomik olmaması ve gerekse emniyetle ilgili bazı sakıncalar olması nedeniyle kullanılmamaktadır. Kompresörler bir veya iki silindirli olup genellikle tahriklerini bir kayış ile motordan alırlar. Taşı tın büyüklüğüne bağı lı olarak strok hacimleri 80...300 cm³ arasındadır.[7]



Şekil 2. 2 Havalı bir fren sisteminin basit şeması[8].

2.3.2 Fren Hortumları

Fren hortumları genelde motor titreşiminin olduğu bölgelerde kompresörün sıkıştırdığı basınçlı havayı iletmek için kullanılan elemanlardır(Şekil 2.4). Sistem çalışma basıncı ve gereken hava miktarını sağlamak için boru çaplarının belirlenmesi önemlidir. Sistemde kullanılan hortum çapı uygun değilse, istenilen basınç ve debinin sağlanamayacağı gibi, sistem de verimli çalışmayacaktır. Bununla birlikte bağlantı elemanları sistemdeki basınç ve debiye uygun seçilmesi gerekmektedir [9].



Şekil 2. 3 Havalı bir fren sistemde kullanılan hortum

Havalı fren sistemini kullanan motorlu taşıtlarda genellikle kompresör çıkış kısmında çelik örgülü PTFE(Teflon) hortum kullanılır. Bunun nedeni kompresörden çıkan havanın

sıcak olması, yüksek basıncın bulunması ve motor hareketinin metal boruya aktarılmasının önüne geçilmek istenmesidir.

2.3.3 Metal Örgülü PTFE (Teflon) Hortum Özellikleri

Yüksek basınç ve sürekli bükülmenin söz konusu olduğu ortamlarda boğumlu/paslanmaz çelik tel örgülü PTFE hortum uygulamaları tercih edilmelidir. Ayrıca boğumlu yapıda hortum kullanıldığı için içerisinden geçen maddenin akış hızında artma meydana gelir ve oluşacak fazla radyüslerden dolayı düz hortumlara göre kırılma olasılığı daha düşüktür. Boğumlu PTFE hortum dışına yapılan paslanmaz çelik tel örgü sayesinde ise yüksek basınçlarda çalışabilir, yüksek gaz geçirgenlik direncine sahip olur[10].



Şekil 2. 4 Metal örgülü PTFE (Teflon) hortum[10]

ÇALIŞMA SICAKLIĞI

- -70°C/+ 260°C

UYGULANMA ALANLARI

- Gıda
- Biyoloji alanları
- Sağlık ve Kozmetik sanayisi
- Boya sektörü
- Kimya sektör
- Otomotiv Sektörü

- Endüstriyel Uygulamalar
- Çimento-Beton Sektörü
- Madencilik Sektörü
- Enerji Sektörü
- Demir-Çelik Sektörü
- Gaz-Rafineri Sektörü

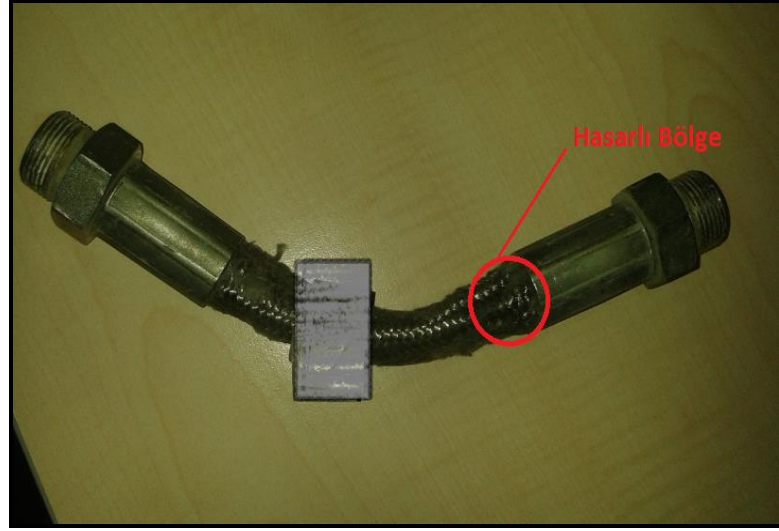
AVANTAJLI ÖZELLİKLERİ

- Hareket kabiliyeti
- Yüksek akış hızı sağlar
- Yapışmaz yüzeye sahip.
- Yüksek basınçlarda çalışmak için uygundur
- Yüksek ve düşük sıcaklıklara dayanıklıdır.
- Yaşam ömrünü arttırır.
- Hortumun katlanmasını engeller
- Yıpranmaya karşı çok dirençlidir.
- Kimyasallardan etkilenmez.
- Alev almaz
- Gaz geçirgenlik direnci çok yüksektir.
- Yanmaz

2.4 Araçlarda Hortumların Zarar Görmesi

Otomotiv sektöründe hortumlar genel olarak yoldan gelen ya da motor hareketi ile oluşan titreşim ve hareketlerden etkilenmeyip içindeki akışkanın iletilmesi için kullanılırlar.

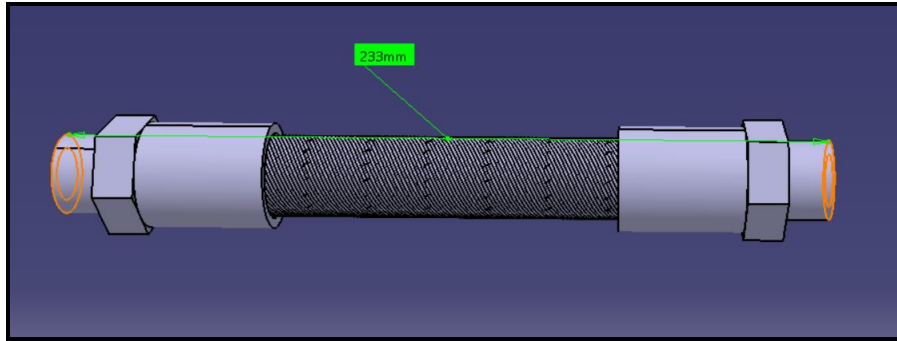
Hortumlar kullanım esnasında birçok dış etkenlere maruz kalır. Bunlardan başlıcaları hortum içerisinden geçen akışkanın sıcaklığı ve basıncı, bağlı olduğu parçaların uzayıp kılma sonucunda oluşan gerilmeler, titreşim esnasındaki sürtünmeler, hortumun bulunduğu ortam koşulları, aşındırıcı sıvı teması, istenilenden daha fazla burulması, yeterli boy uzunluğuna sahip olmaması gibi parametreler hortumun ömrünü belirlemektedir. Sektördeki en büyük problemlerden biri hortumların kullanım esnasında zarar görmesidir. Amacına uygun seçilmemiş veya başka sebeplerden dolayı zarar görmüş hortum görevini yerine tam getiremez ve ilettiği akışkanın zarar gördüğü yerden sızmasına sebep verir. Bu sızıntı direksiyon yağı ise araç kontrolünün azalmasına, hava ise aracın frenlerinin kitlenmesine, soğutma suyu ise motorun aşırı ısınarak yanmasına kadar gidebilecek ciddi problemlere yol açabilir. Buradan yola çıkarak bu çalışmada zarar gören hortumlar incelenmiş ve sebepleri araştırılmıştır.



Şekil 2. 5 Araçta zarar görmüş PTFE hortum

MODELİN TANITIMI**3.1 Fiziksel Model Yapısı****3.1.1 Modelin Geometrisi**

Bu çalışmada 233mm, 245mm, 273mm boy uzunluğuna sahip flex hortumlar kullanılmıştır. Flex hortumları rakor-kapsül bağlantısı, iç katman ve dış katman olarak üç kısımda inceleyeceğiz.



Şekil 3. 1 233m uzunluğa sahip flex hortum 3D modeli

Çizelge 2. 6 Flex hortumun özellikleri[11]

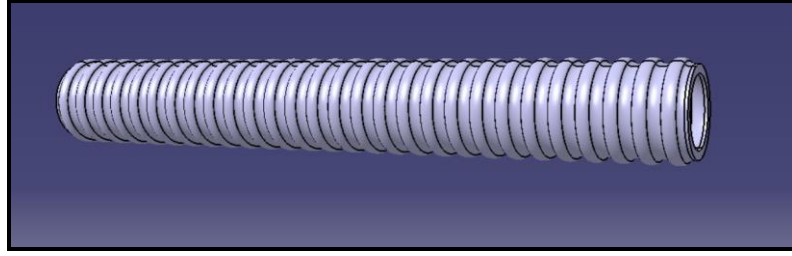
Article ref.	Size mm	Inner-d mm	Outer-d mm	Bend Radius mm	Working Pressure bar	Burst Pressure bar	Vacuum R. mbar	Weight kg/100	Product Length m
WF06	4	6,8	11,5	30	90	360	55	15	100
WF08	5	7,7	12,5	40	70	280	55	15	50
WF10	6	9,7	15	50	65	260	55	20	50

WF13	8	12,5	18	60	60	240	55	26	50
WF16	10	15,5	22	60	55	220	55	33	50
WF20	12	19,8	27	70	45	180	55	40	25
WF25	16	28	34,8	80	30	120	55	55	25

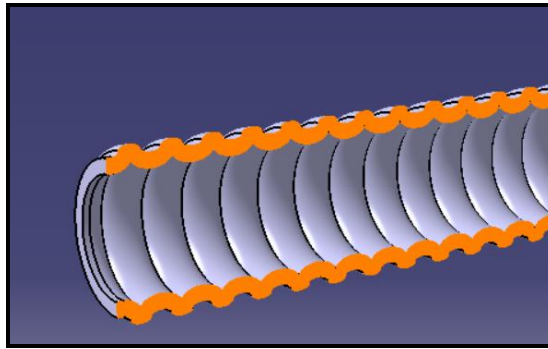
*Temperature range:-54°C to 250°C

3.1.1.1 İç Katman

Basıncı akışkanın alıcılara iletilmesini sağlayan katmandır. Flex hortumun iç katmanı kıvrımlı bir yapıya sahiptir. Bu kıvrım sayesinde içerisindeki akışkanı sıkıştırmadan kolaylıkla eğilebilir ve bükülebilirler. Yüksek esneme kabiliyeti, hareketi ve titreşimi rahatlıkla absorbe eder. İç katman iki uç kısımdan metal kapsüle montaj edilip sıkıştırılır ve sızdırmazlık sağlanır. Bu tez çalışmasında Şekil 3.2 de gösterilen WF16 modeli seçilmiş olup 15,5mm iç çapa sahip hortumlar tedarik edilmiştir.



Şekil 3. 2 Flex hortumun içyapısının 3D modeli



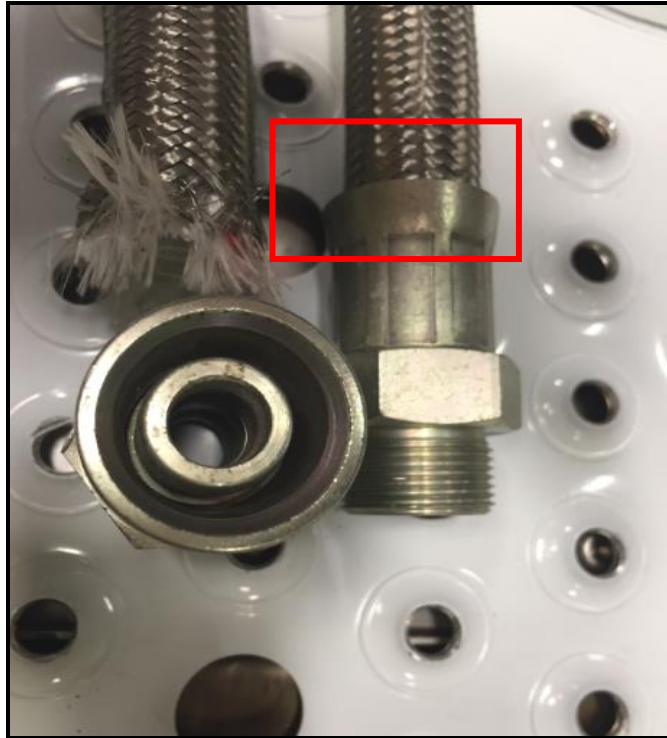
Şekil 3. 3 Flex hortumun içyapısının kesiti



Şekil 3. 4 Flex hortumun içyapısı

3.1.1.2 Rakor-Kapsül Bağlantısı

Rakor-kapsül bağlantısı hortumun iki uç kısmına montaj edilir. Hortumun bağlanmasında kullanılan rakorun dış yüzeyi hortum geçirildikten sonra kapsül ile flex örgüyü de kapsayarak en dış yüzeyden sıkıştırılarak bağlantı gerçekleşir.

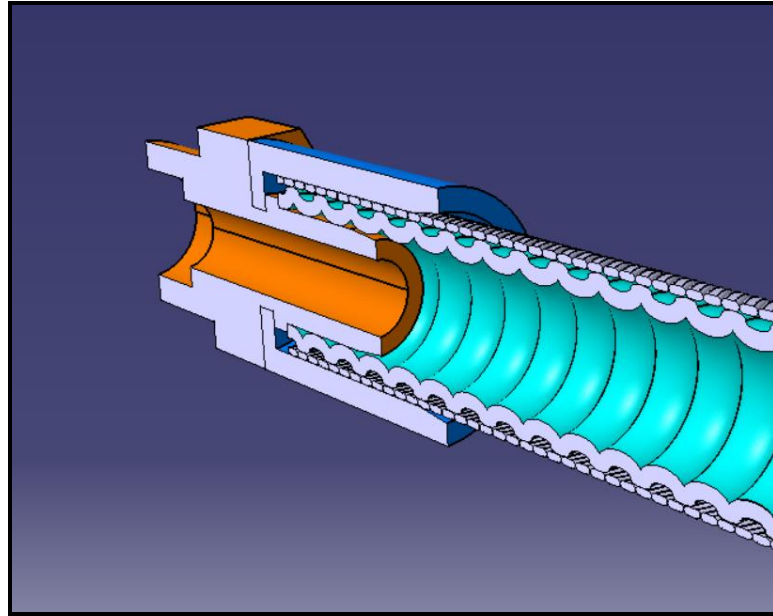


Şekil 3. 5 Kapsül



Şekil 3. 6 Rakor

Bu çalışmada kullanılan 22mm dış çapa sahip flex hortum için 26mm dış çapa sahip kapsül kullanılmıştır. Rakor-kapsül montajı örnek olarak Şekil 3. 8 de gösterilmiştir. Kapsüller rakor ile flex hortumu sıkıştırarak sızdırmazlık sağlarlar. Kapsülün alt kısmında kalan flex kısım hiçbir zaman hareket edemez. Genelde bu bölge ile karşılaşılan en büyük problemlerden biri de kapsülün sıkma çapıdır. Fazla sıkıştırılıp daraltılan kapsül dış katmanın ve iç katmanın ezilmesine neden olmakta, az sıkılan kapsül ise hareket veya basınç durumunda yerinden çıkarak hortumun işlevini yitirmesine yol açmaktadır.



Şekil 3. 7 Rakor kapsül montajı

Optimum seviyede sıkılan kapsülde hortum patlatma testinde orta kısmından patlamalı, kapsül yerinden çıkmamalıdır. Tez çalışmasında uygun değerde sıkma çapını

elde etmek adına 6 adet farklı sıkma çapına sahip 10’ar adet numune patlatma testlerine tabi tutulmuş ve bu testin sonuçları aşağıda paylaşılmıştır.

Çizelge 3. 1 Farklı sıkıştırma çaplarına sahip hortumların patlatma test sonuçları

	1 Nolu Parça		2 Nolu Parça		3 Nolu Parça	
Sıkıştırma apı	Bar	Patlama Noktası	Bar	Patlama Noktası	Bar	Patlama Noktası
Ø 24,5mm	240	Hortum patladı	220	Hortum patladı	220	Hortum patladı
Ø 24,7mm	240	Hortum patladı	230	Hortum patladı	230	Hortum patladı
Ø 24,9mm	260	Hortum patladı	240	Hortum patladı	260	Hortum patladı
Ø 25,1mm	240	Hortum patladı	250	Hortum patladı	255	Hortum patladı
Ø 25,3mm	220	Kapsül ıktı	210	Kapsül ıktı	220	Kapsül ıktı
Ø 25,5mm	100	Kapsül ıktı	150	Kapsül ıktı	130	Kapsül ıktı

Çizelge 3. 2 Farklı sıkıştırma çaplarına sahip hortumların patlatma test sonuçları

	4 Nolu Parça		5 Nolu Parça		6 Nolu Parça	
Sıkıştırma apı	Bar	Patlama Noktası	Bar	Patlama Noktası	Bar	Patlama Noktası
Ø 24,5mm	230	Hortum patladı	240	Hortum patladı	240	Hortum patladı
Ø 24,7mm	220	Hortum patladı	230	Hortum patladı	230	Hortum patladı
Ø 24,9mm	245	Hortum patladı	240	Hortum patladı	260	Hortum patladı
Ø 25,1mm	260	Hortum patladı	240	Hortum patladı	240	Hortum patladı
Ø 25,3mm	240	Hortum patladı	230	Kapsül ıktı	260	Hortum patladı
Ø 25,5mm	145	Kapsül ıktı	140	Kapsül ıktı	210	Kapsül ıktı

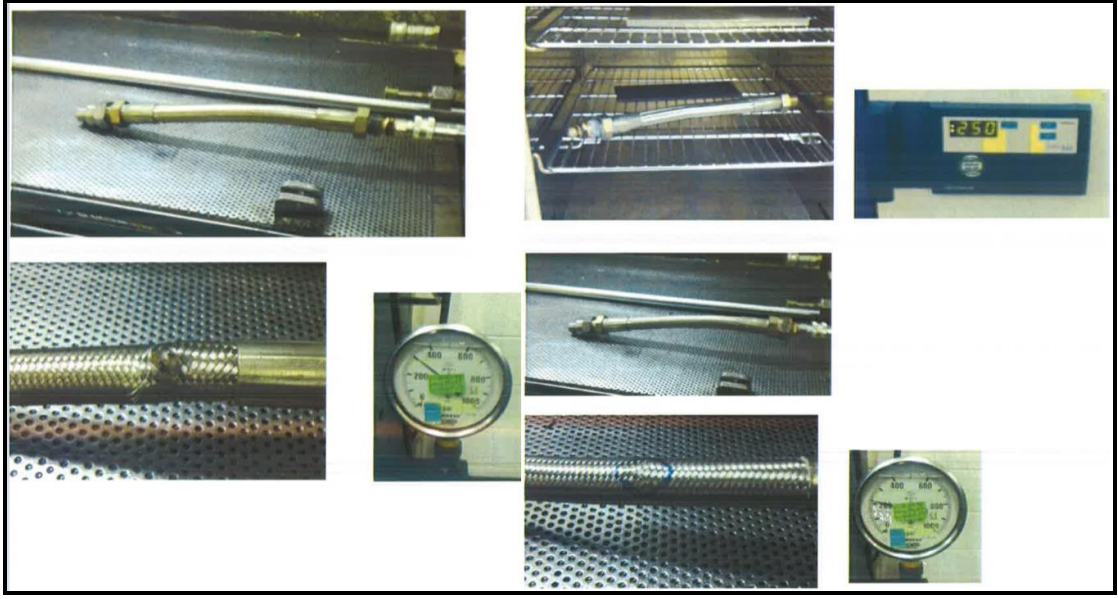
Çizelge 3.3 Farklı sıkıştırma çaplarına sahip hortumların patlatma test sonuçları

	7 Nolu Parça		8 Nolu Parça		9 Nolu Parça	
Sıkıştırma Çapı	Bar	Patlama Noktası	Bar	Patlama Noktası	Bar	Patlama Noktası
Ø 24,5mm	210	Hortum patladı	210	Hortum patladı	200	Hortum patladı
Ø 24,7mm	180	Hortum patladı	220	Hortum patladı	240	Hortum patladı
Ø 24,9mm	250	Hortum patladı	240	Hortum patladı	245	Hortum patladı
Ø 25,1mm	270	Hortum patladı	255	Kapsül Çıktı	260	Hortum patladı
Ø 25,3mm	225	Kapsül Çıktı	170	Kapsül Çıktı	240	Hortum patladı
Ø 25,5mm	145	Kapsül Çıktı	180	Kapsül Çıktı	190	Kapsül Çıktı

Çizelge 3. 4 Farklı sıkıştırma çaplarına sahip hortumların patlatma test sonuçları

	10 Nolu Parça	
Sıkıştırma Çapı	Bar	Patlama Noktası
Ø 24,5mm	220	Hortum patladı
Ø 24,7mm	230	Hortum patladı
Ø 24,9mm	260	Hortum patladı
Ø 25,1mm	200	Kapsül Çıktı
Ø 25,3mm	220	Kapsül Çıktı
Ø 25,5mm	120	Kapsül Çıktı

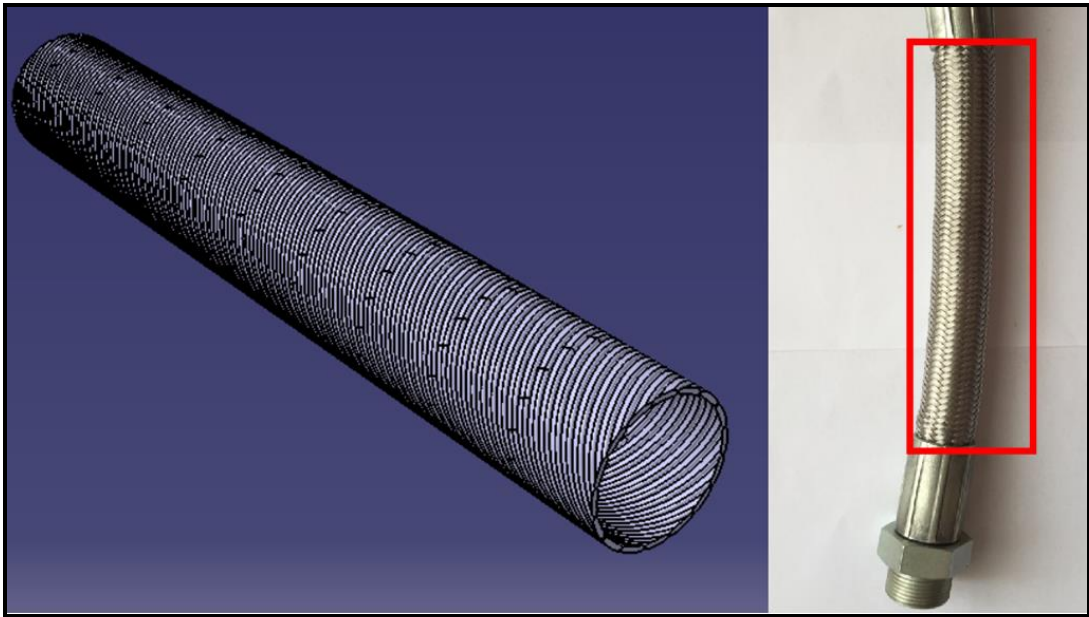
Yapılan denemeler sonucunda uygun sıkma çapının maksimum 24,9mm olması gerektiği bu çaptan yukarı çıkıldığında kapsülün yerinden çıktığı daha az olduğu durumda hortumun iç-diş katmanının fazla sıkıştırılmadan dolayı zarar görülebileceği tespit edilmiştir.



Şekil 3. 8 Patlatma testi

3.1.1.3 Dış Katman

Flex hortumlar çelik tel ile örülerek yüksek basınca dayanıklı hale getirilirler. Teller flex hortumun hareketi esnasında iç katmana zarar vermeyip hareketi sağlarken dayanımı da artırmış olur. Modelimizde kullanılan çelik örgülü tel, iç katman ile birlikte tedarik edilmiş olup, rakor-kapsül bağlantısı imalatçıda birleştirilmiştir. Hortum ölçüleri tedarikçi tarafından verilen katalog da (Şekil 3. 2’de) daha önce verilmişti.



Şekil 3. 9 Hortum dış katmanı

3.1.2 Modelin Malzemesi

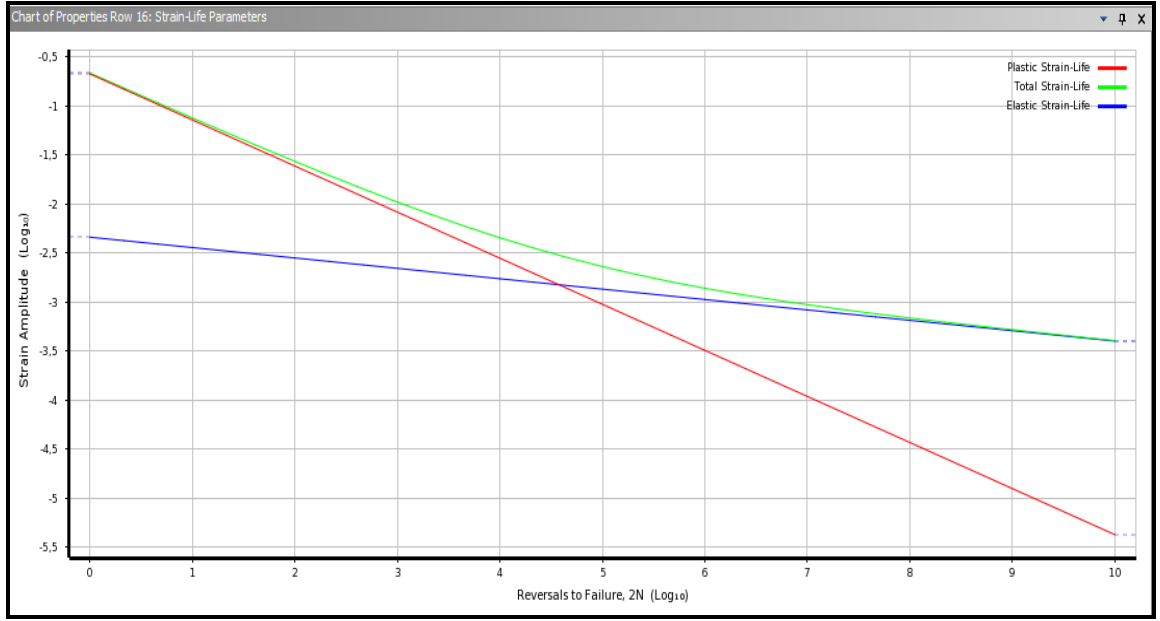
Modelimizi oluşturan hortumda dış katman (çelik örgü), rakor ve kapsül bağlantıları çelikten imal edilmiş olup en iç katman teflon malzemeden üretilmiştir. Bunun sebebi teflon ve çeliğin yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı olmasının yanında teflonun esnek harekete izin vermesidir. Ansys program analizinde hortum bütün olarak ele alınmakta ve yorulma analizi yapılırken çelik örgü, teflon, rakor, kapsüllerinin yorulma dayanımları ayrı ayrı olarak incelenmektedir. Çelik ve teflon malzemeye ait detaylar aşağıdaki tablo ve grafikte paylaşılmıştır.

Çizelge 3. 5 Rakor-kapsül ve dış katmanda kullanılan çelik malzemeye ait detaylar

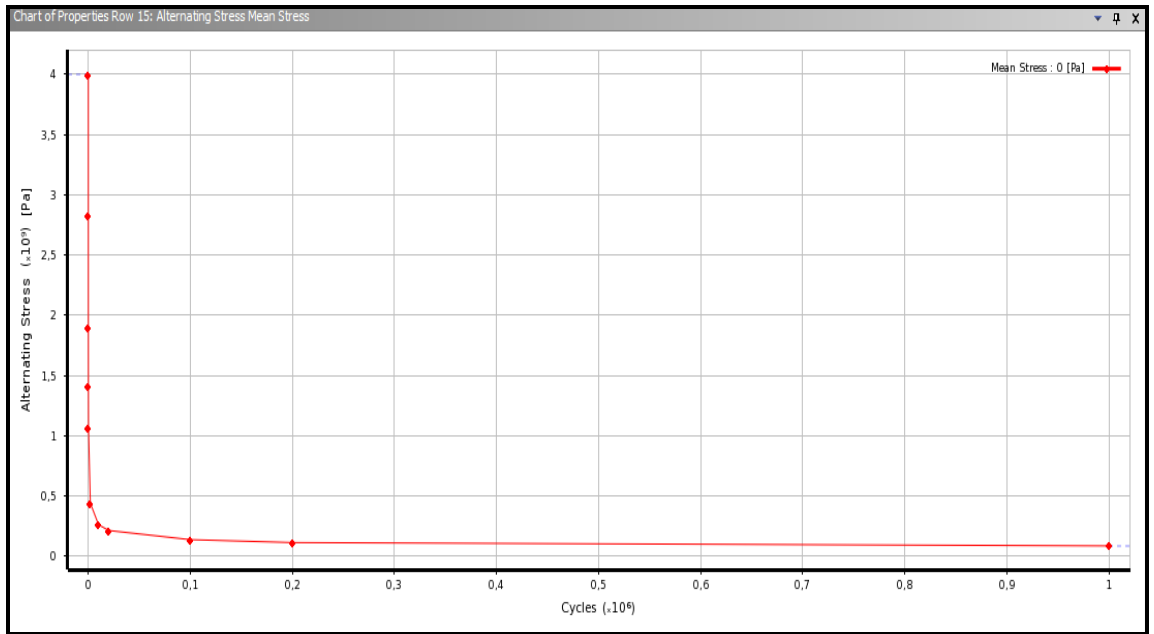
Structural Steel		
Property	Value	Unit
Density	7850	kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1,20E-05	C ⁻¹
Zero-Thermal-Strain Reference Temperature	22	C
Tensile Yield Strength	250	Mpa
Compressive Yield Strength	250	Mpa
Tensile Ultimate Strength	460	Mpa
Compressive Ultimate Strength	0	Mpa
Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ C ⁻¹
Specific Heat	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Relative Permeability	10000	--
Isotropic Resistivity	1,70E-07	ohm m

Çizelge 3. 6 Çelik malzemeye ait Young modülü, Poisson oranı, Bulk modülü, kesme modülü detayları

Isotropic Elasticity			
Young's Modulus (Mpa)	Poisson's Ratio	Bulk Modulus (Pa)	Shear Modulus (Pa)
2,00E+05	0,3	1,67E+11	7,69E+10



Şekil 3. 10 Çelik malzemenin S-N eğrileri



Şekil 3. 11 Çelik malzemeye ait yorulma eğrisi

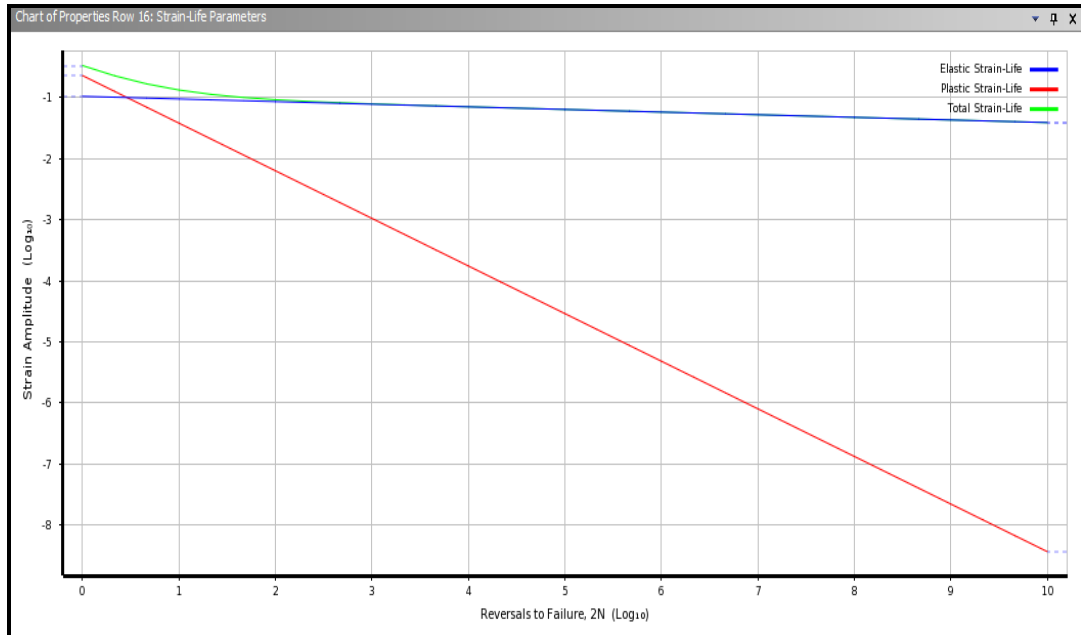
Çizelge 3. 7 İç katmanda kullanılan PTFE malzemeye ait detaylar

Polytetrafluoroethylene (PTFE)		
Property	Value	Unit
Density	2140	kg m ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1,60E-04	C ⁻¹
Zero-Thermal-Strain Reference Temperature	25	C
Tensile Yield Strength	31	Mpa

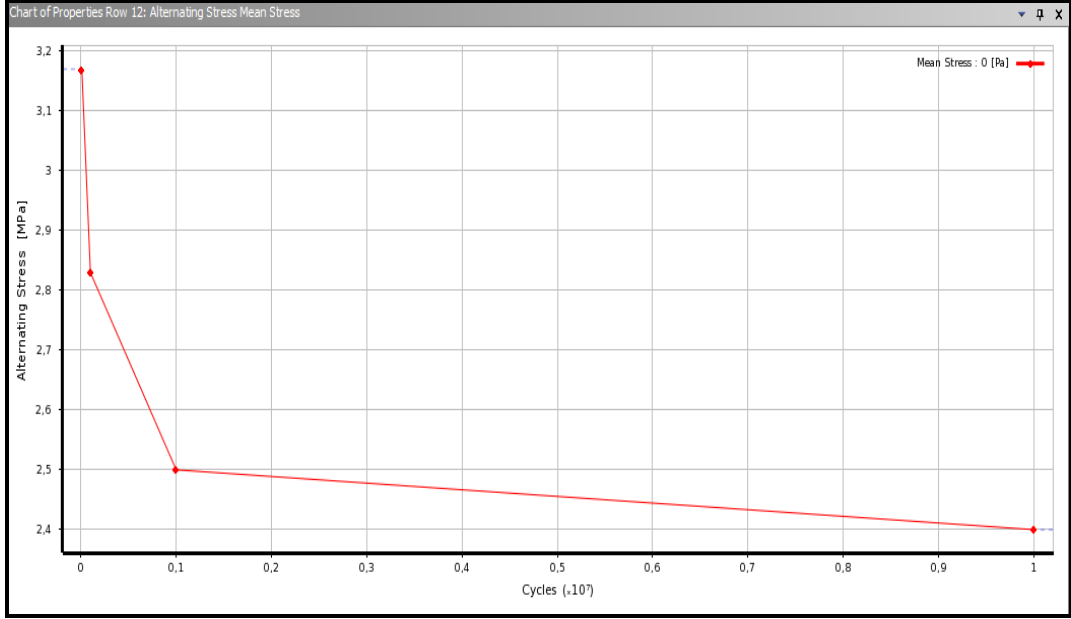
Compressive Yield Strength	12,5	Mpa
Tensile Ultimate Strength	31	Mpa
Compressive Ultimate Strength	6,894	Mpa
Isotropic Thermal Conductivity	0,3	W m ⁻¹ C ⁻¹
Specific Heat	1200	J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Relative Permeability	2,1	--
Isotropic Resistivity	1,00E+11	ohm m

Çizelge 3. 8 PTFE malzemeye ait Young modülü, Poisson oranı, Bulk modülü, kesme modülü detayları

Isotropic Elasticity			
Young's Modulus (Pa)	Poisson's Ratio	Bulk Modulus (Pa)	Shear Modulus (Pa)
4,00E+08	0,46	1,67E+09	1,37E+08

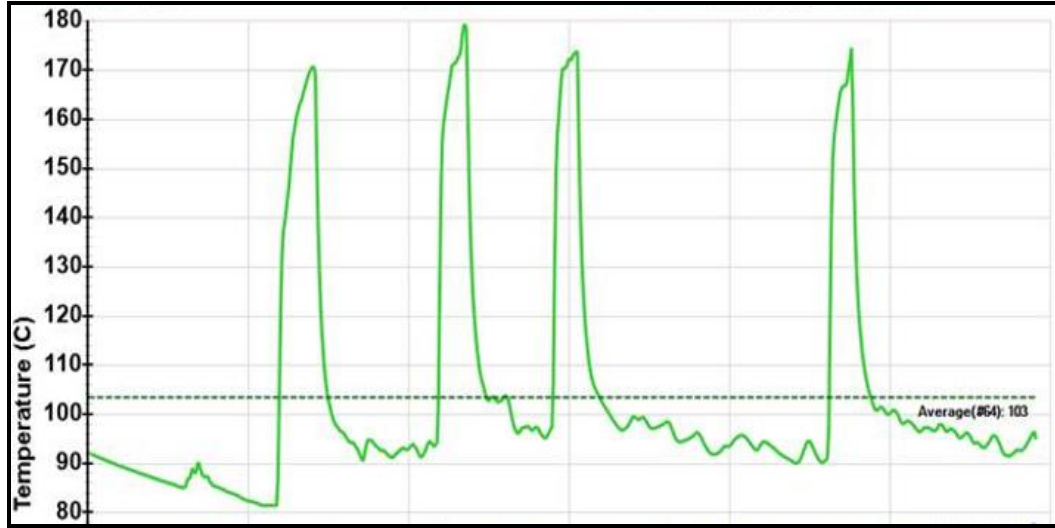


Şekil 3. 12 PTFE malzemenin S-N eğrileri



Şekil 3. 13 PTFE malzemeye ait yorulma eğrisi

Hortumun çalışmasında sıcaklığın bir etkisi yoktur Şekil 3. 2 de hortum üreticisi tarafından verilen katalogda hortumun sıcaklık dayanım değerlerinin -54°C ile 250°C arasında olduğunu görebiliriz. Şekil 3. 15'te araç üzerinden alınan sıcaklık değerleri üretici tarafından sağlanan sıcaklık dayanım değerlerinin arasında bulunur.

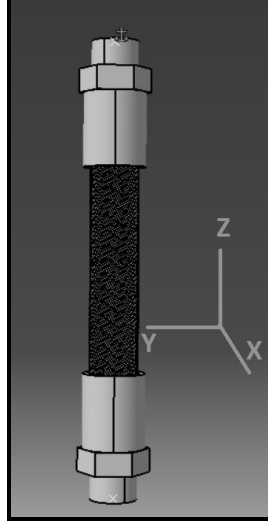


Şekil 3. 14 Araçtaki hortumdan geçen havanın sıcaklık değerleri

3.1.3 Modelin Serbestlik Derecesi

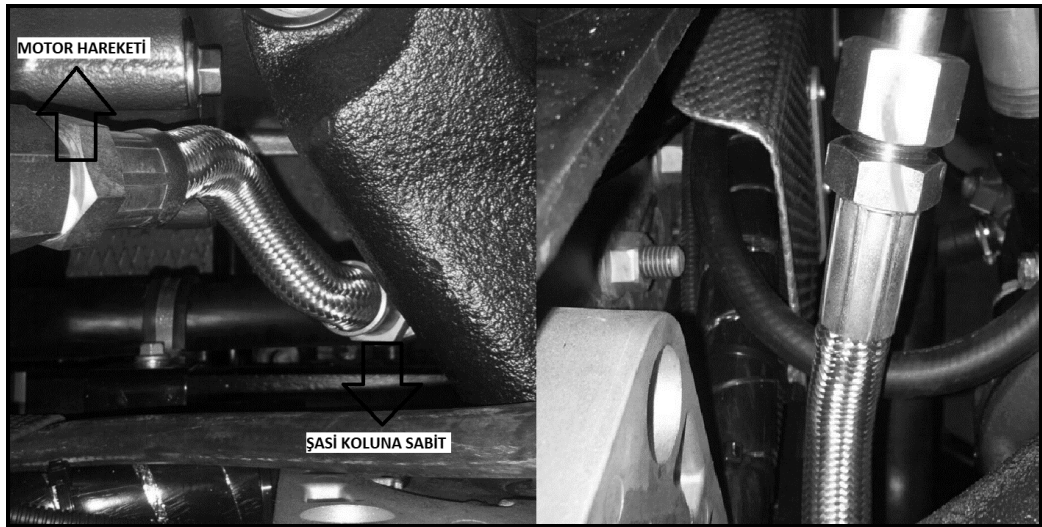
Hortumun bir ucu motora bağlı olduğundan hortum, motor ile birlikte hareket eder. Motorun 3 ekseninde (X,Y,Z) hareketi vardır buna bağlı olarak hortumun serbestlik derecesi de 3'tür. Bu hareketlerden hortumu en zorlayıcı olan eksen Z eksenidir.

motorun bu eksenindeki deplasman değeri diğer eksenlere göre oldukça fazladır. Bu çalışmadaki analiz de hortumun en çok zorlandığı Z eksenindeki deplasman hareketi referans alınmış olup, hortumun bu eksenindeki davranışları incelenmiştir.



Şekil 3. 15 X,Y,Z koordinatlarına göre hortumun konumu

Birbirine göre rölatif hareket bulunan iletim hatlarında sönümlleme için esnek hortum kullanılması mecburidir aksi halde iki tarafta bağımsız hareket etmek isteyeceğinden parçalarda hasarlanma olması kaçınılmazdır. Şekil 3. 17’de hortumun araç üzerindeki konumu görülmektedir. Bir ucundan motora bağlanmış olan esnek hortum diğer ucundan şasi koluna bağlı olan metal boruya sabitlenmiştir. Burada metal boru tarafını sabit varsayıp motor tarafındaki hortum bağlantısını hareketli olarak düşünebiliriz.



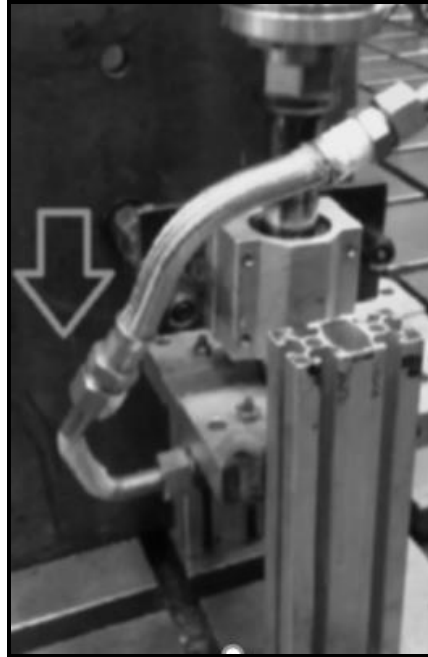
Şekil 3. 16 Hortumun araçtaki konumu

3.2 Model Parametreleri

3.2.1 RIG Testi

Rig testi, parçaların araç üzerindeki gerçek davranışlarını simüle ederek ilgili parametrelerin elde edilmesini sağlar. Bu tez çalışmasında hortumun araç konumunun bire bir simüle edilmesi için şasi kolu, hortumun uçlarının bağlandığı metal borular ve boruların bağlandığı kompresör test merkezine getirilerek araç konumuna göre montajı yapılmıştır (Şekil 3. 18).

Araçta motor hareketi hortuma, bağlı olduğu kompresör tarafından iletilir bu hareketi bire bir simule etmek amacıyla rig testinde kompresör araç konumuna göre konumlandırılarak Z ekseninde ve detayları daha sonra paylaşılacak olan deplasman boyunca hidrolik piston yardımıyla hareket ettirilerek araçtaki motor hareketi simüle edilmiştir. Hidrolik piston deplasman boyunca ileri ve geri ilerleyerek çevrimini tamamlar, bu esnada hortumun içerisinde 6 barlık hava basıncı bulunmaktadır. Belirli bir çevrime ulaşan hortum yorulmadan dolayı zarar görerek 6 barlık hava basıncı tahliye eder. Hortumda hava basıncı kalmadığı anda test durdurulur. Hidrolik pistonuna bağlı sensörler yardımıyla test süresince hortuma gelen kuvvet, deplasman ve zaman-çevrim dataları elde edilir.

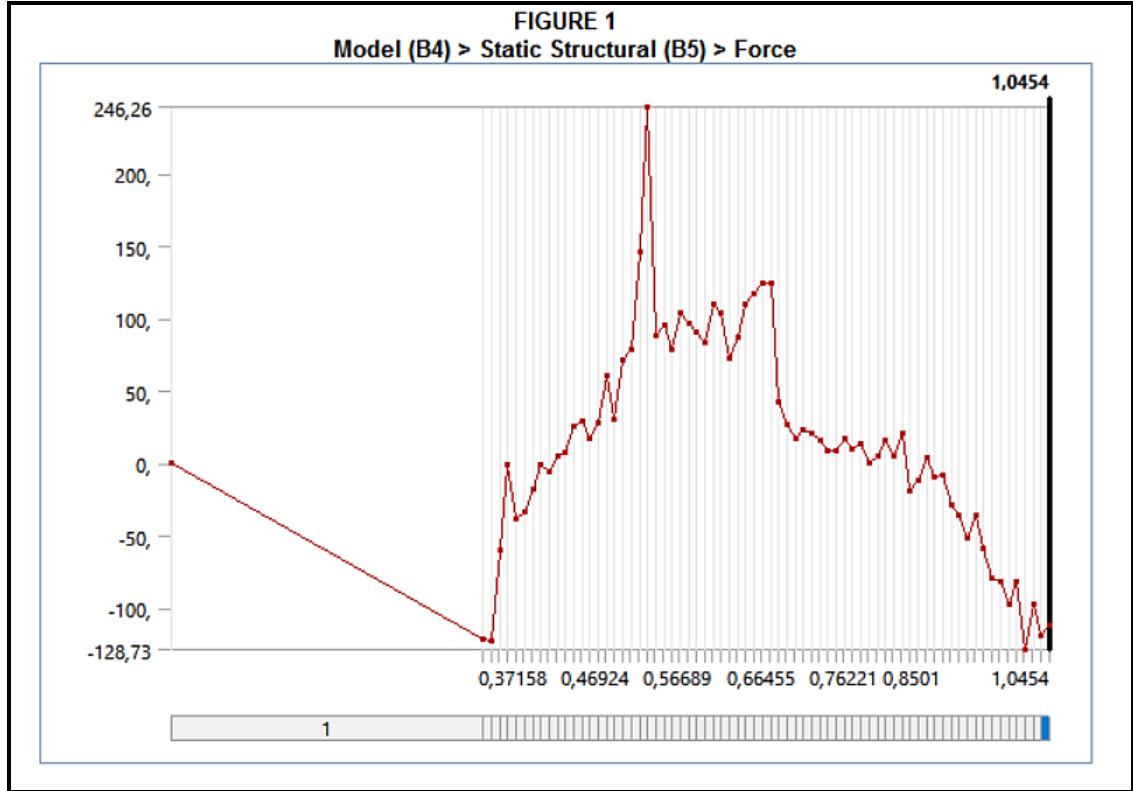


Şekil 3. 17 RIG testi araç konumundaki hortum

3.2.2 RIG Testinden Elde Edilen Dış Kuvvetler ve Değişimleri

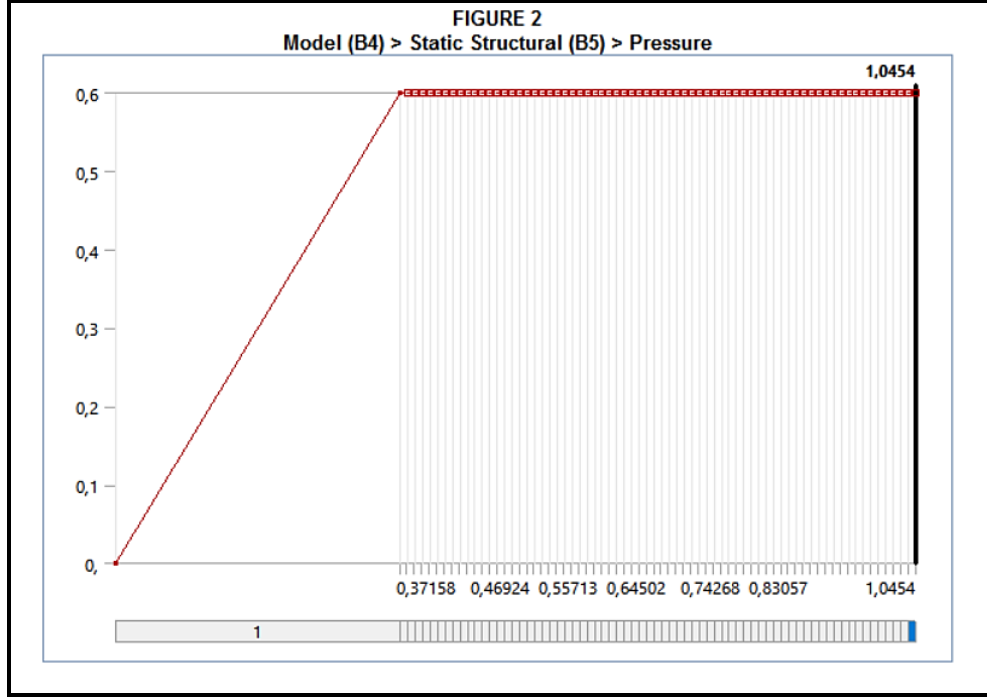
RIG test bünyesinde 233mm, 245mm ve 273mm boy uzunluğuna sahip fleks hortumlar test edilmiş olup bu hortumlara gelen kuvvet detayları aşağıda paylaşılmıştır.

233 mm hortuma ait dış kuvvetler ve değişimleri;

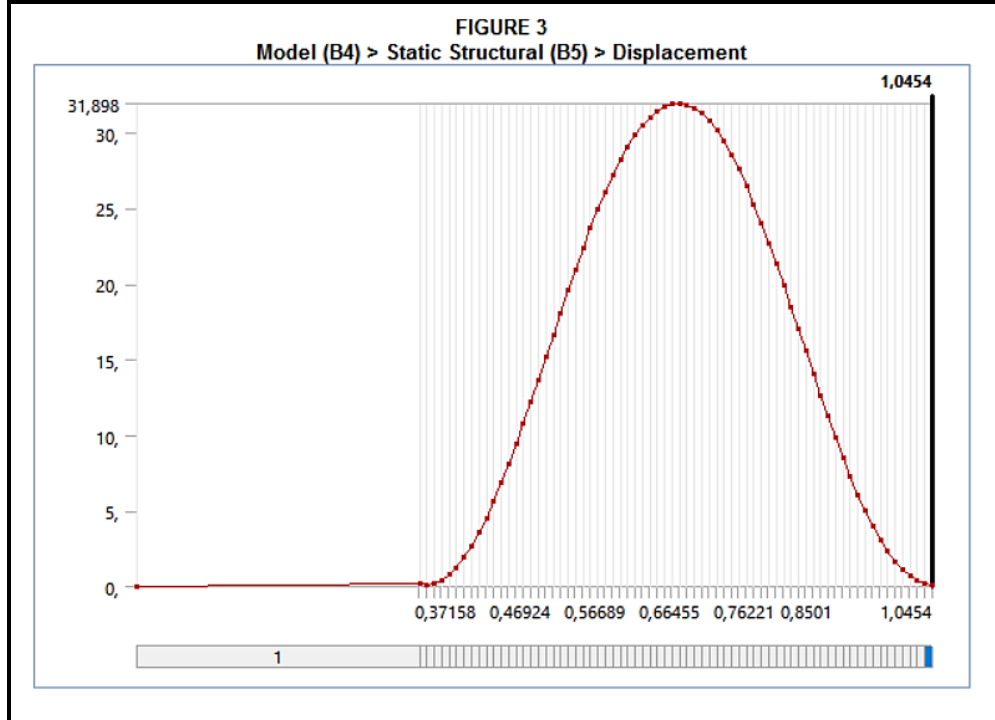


Şekil 3. 18 233mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma Z ekseninden kuvvet(N)- zaman(sn) grafiği

Şekil 3.19’da görüleceği üzere hortuma gelen maksimum kuvvet 246,26 N olarak ölçülmüştür.



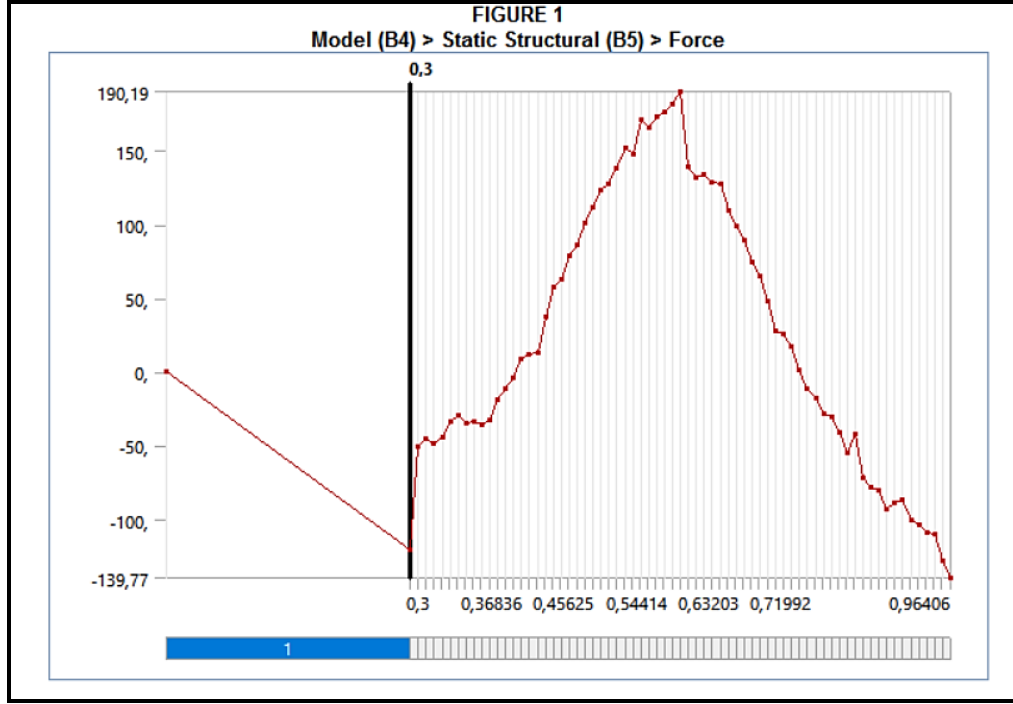
Şekil 3. 19 233mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma uygulanan basınç(bar)-zaman(sn) grafiği



Şekil 3. 20 233mm boy uzunluğuna sahip fleks hortumun Z eksenindeki deplasman(mm)-zaman(sn) grafiği

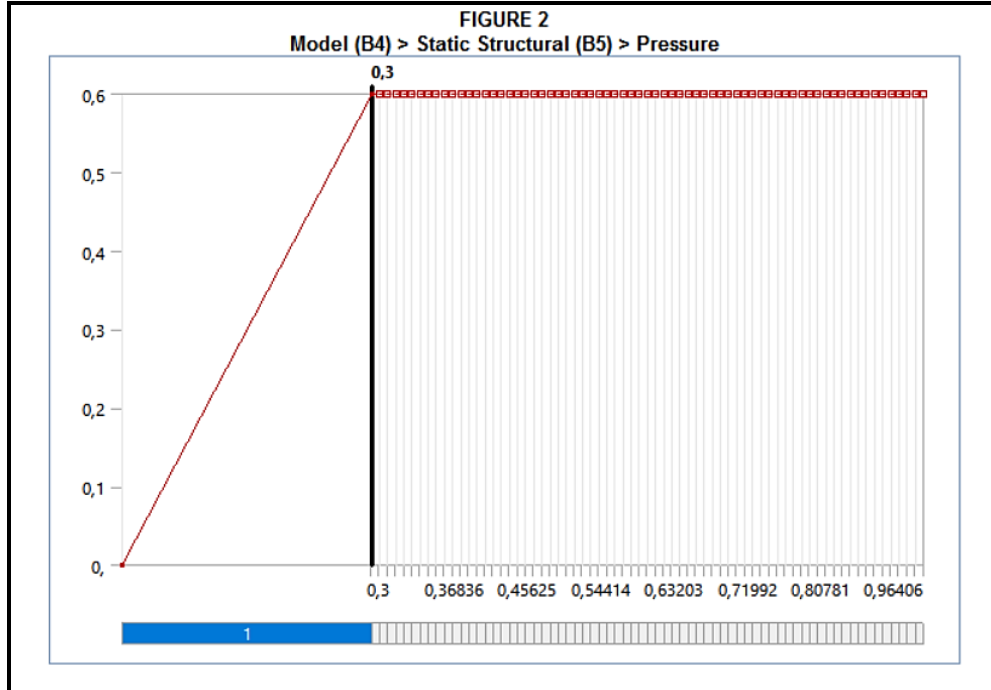
*Testler 0,37158 sn itibari ile başlamıştır.

245 mm hortuma ait dış kuvvetler ve değişimleri;

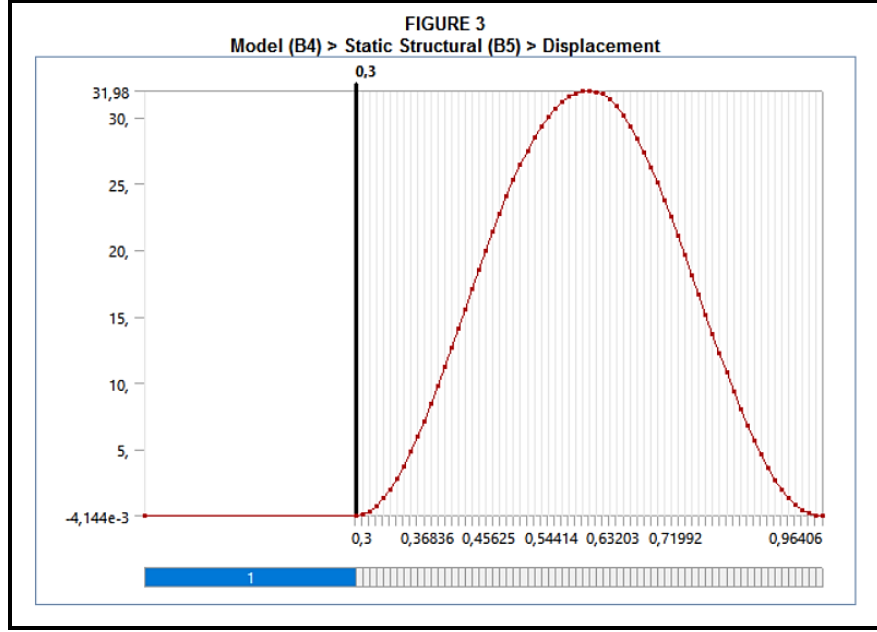


Şekil 3. 21 245mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma Z ekseninden kuvvet(N)- zaman(sn) grafiği

Şekil 3.22’de görüleceği üzere hortuma gelen maksimum kuvvet 190,19 N olarak ölçülmüştür.



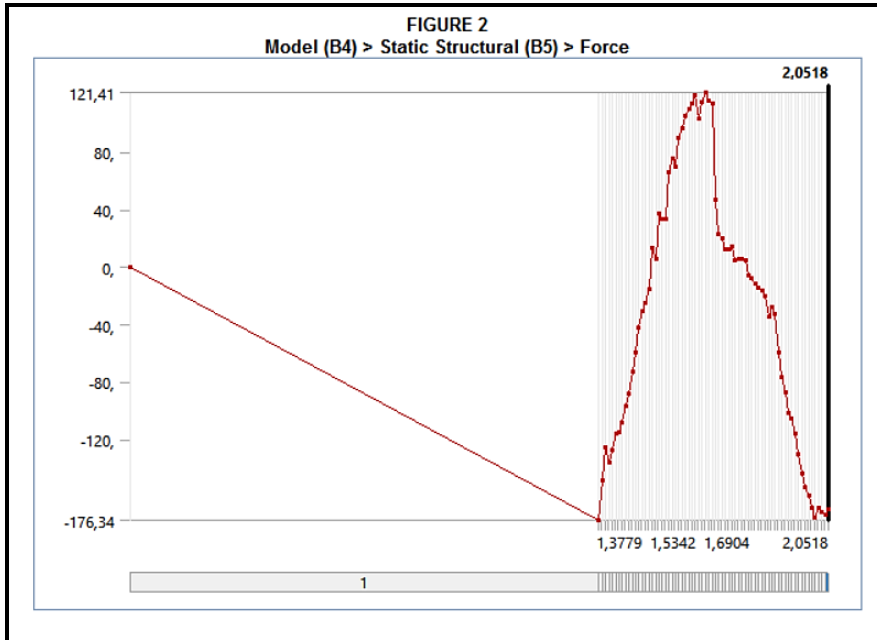
Şekil 3. 22 245mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma uygulanan basınç(bar)- zaman(sn) grafiği



Şekil 3. 23 245mm boy uzunluğuna sahip fleks hortumun Z eksenindeki deplasman(mm)-zaman(sn) grafiği

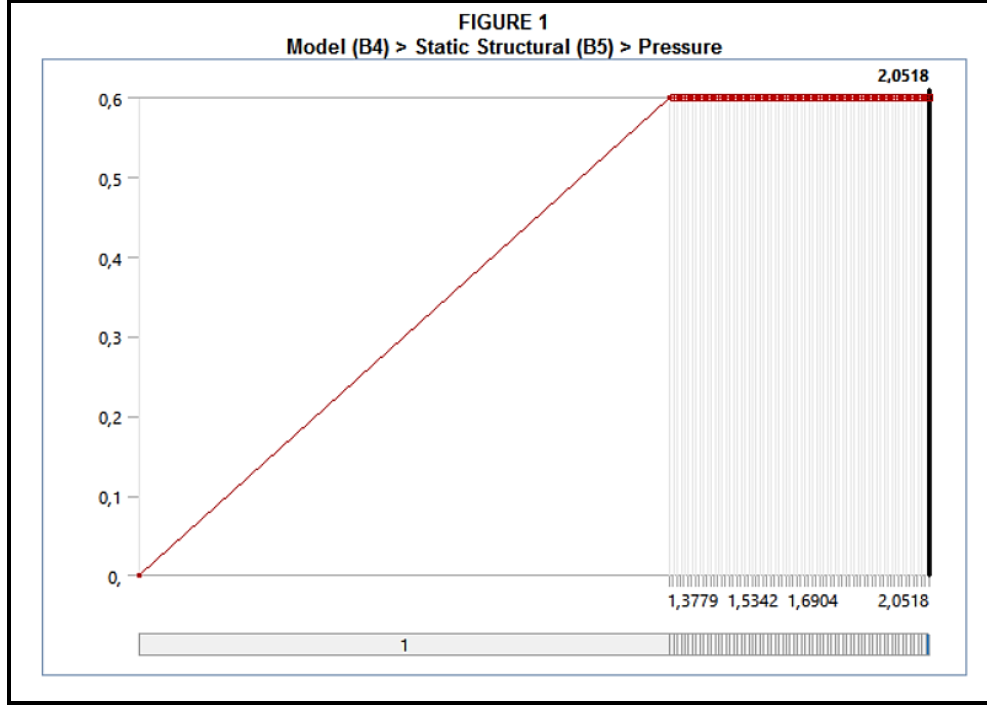
*Testler 0,3 sn itibari ile başlamıştır.

273 mm hortuma ait dış kuvvetler ve değişimleri;

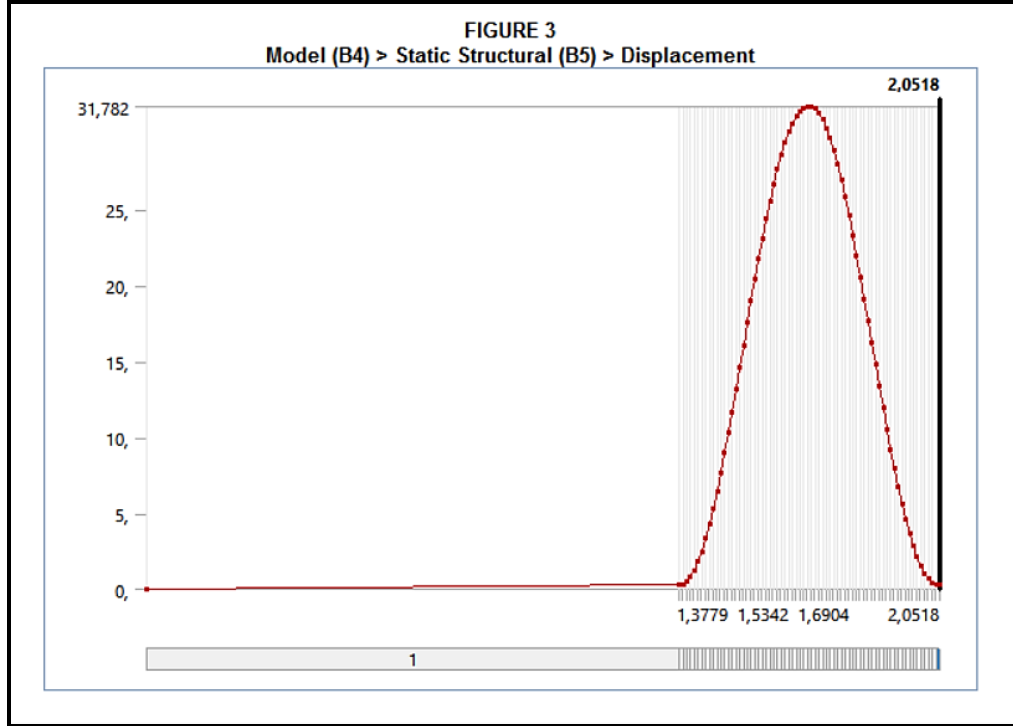


Şekil 3. 24 273mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma Z ekseninden kuvvet(N)-zaman(sn) grafiği

Şekil 3.25’de görüleceği üzere hortuma gelen maksimum kuvvet 121,41 N olarak ölçülmüştür.



Şekil 3. 25 273mm boy uzunluğuna sahip fleks hortuma uygulanan basınç(bar)-zaman(sn) grafiği



Şekil 3. 26 273mm boy uzunluğuna sahip fleks hortumun Z eksenindeki deplasman(mm)-zaman(sn) grafiği

*Testler 1,3779 sn itibari ile başlamıştır.

3.2.3 Fleks Hortuma Uygulanan Çekme Testi

Fleks hortum çalışma esnasında birçok kez çekme kuvvetine maruz kalmaktadır. Hortuma dış montaj ile eklenen rakor, kapsül gibi komponentler hortumun taşıyabileceği toplam yükü düşürebilirler. Bu kapsamda komponentler ile birlikte hortumun ne kadarlık bir yük taşıyabileceği, kuvvetlerin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Tez çalışmasında kullanılan 273mm uzunluğa sahip fleks hortum numunesi tedarikçi firmada çekme testine tabi tutulmuş olup makinenin çıkabileceği maksimum genlik içerisinde uygulanan 594kg çekme kuvveti sonucunda hortumda uzama meydana gelmiştir. Hortumun içyapısında fonksiyonelliğini bozulacak bir yırtılma olmamıştır (Şekil 3. 28).

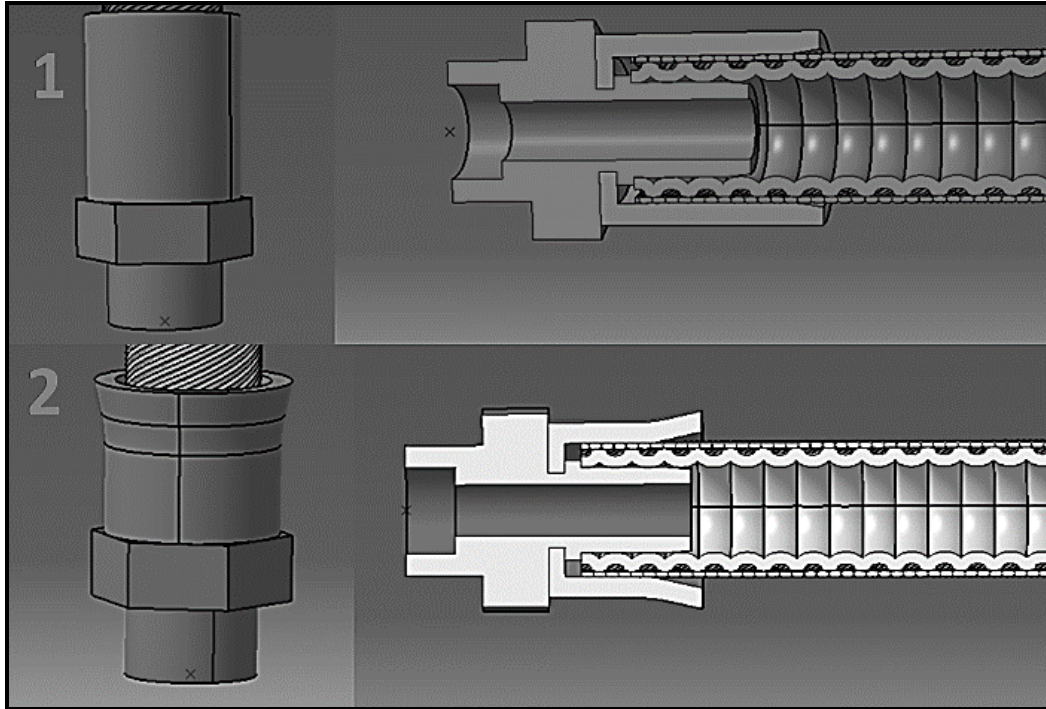
TEST DEĞERLENDİRME RAPORU		Sayfa No: ...1.../...1...
TESTİN TARİFİ:		
Parça fail edene kadar çekme işlemi uygulanmalıdır.		
		
TEST SONUCU : Parçaya 594kg çekme kuvveti uygulanmıştır.Parçada uzama gözlemlenmiştir.		
HAZIRLAYAN:	ONAY:	TARİH:

Şekil 3. 27 273mm boy uzunluğuna sahip fleks hortumun çekme test raporu

3.3 Tasarım Olasılıkları

3.3.1 Fleks Hortum Kapsülüne Pah Eklenmesi

Araçlarda zarar gören hortum incelendiğinde, hasarlı bölgenin hep kapsül diplerinde görüldüğü tespit edilmiştir. Motor ve şasi hareketinden dolayı fleks hortumun esneme esnasında kapsülün uç bölgelerine sürtebileceği ihtimali değerlendirilerek, kapsül boyu kısaltılıp, pah açısı genişletilip yeni tasarım elde edilmiştir. İlgili kuvvetler altında hortum yeniden analize sokulmuştur. Kapsülün kısaltılması ve pah açısının genişletilmesindeki temel amaç bölgeye gelen yüksek kuvvet gerilimini düşürülmesi ve hortumun zarar görmesi engellenmesidir. Analiz sonuçları ileriki bölümlerde detaylı olarak incelenip irdelenecektir.



Şekil 3. 28 245mm fleks hortum kapsül ucundan pah kırılması ve boy kısaltılması

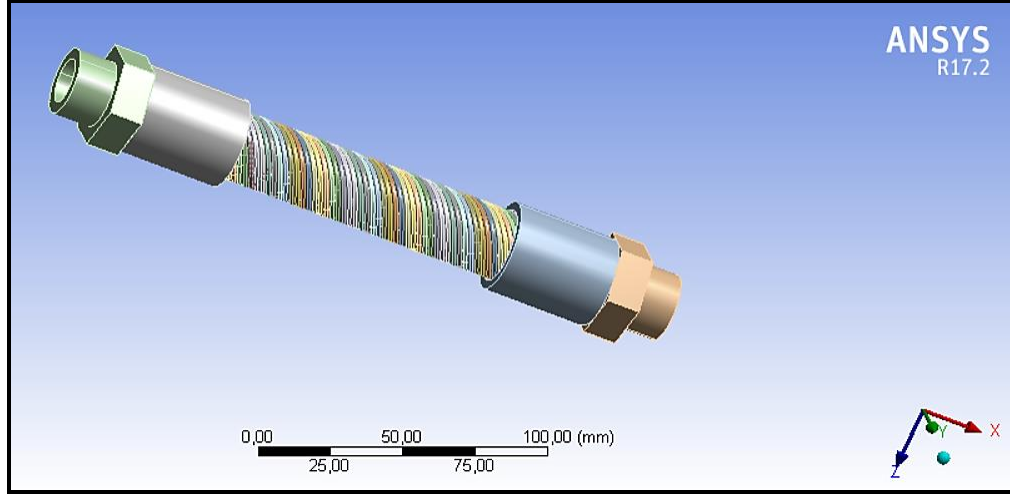
*1 nolu resim tasarım güncel, 2 nolu tasarım optimizasyon yapılmış tasarımdır.

4.1 Fleks Hortum Ansys Analiz Detayları

Fleks hortumun analizini incelerken Şekil 3.1’ de görülen model kullanılmıştır. İlgili modellerin Catia programında 3D datası oluşturulurken hortum üreticisinin ölçüm verileri ve numune hortum üzerinden alınan ölçümlerlerden yararlanılmıştır. Daha sonra Ansys-Workbench yazılımında 3D data yorulma analizine tabi tutulmuştur.

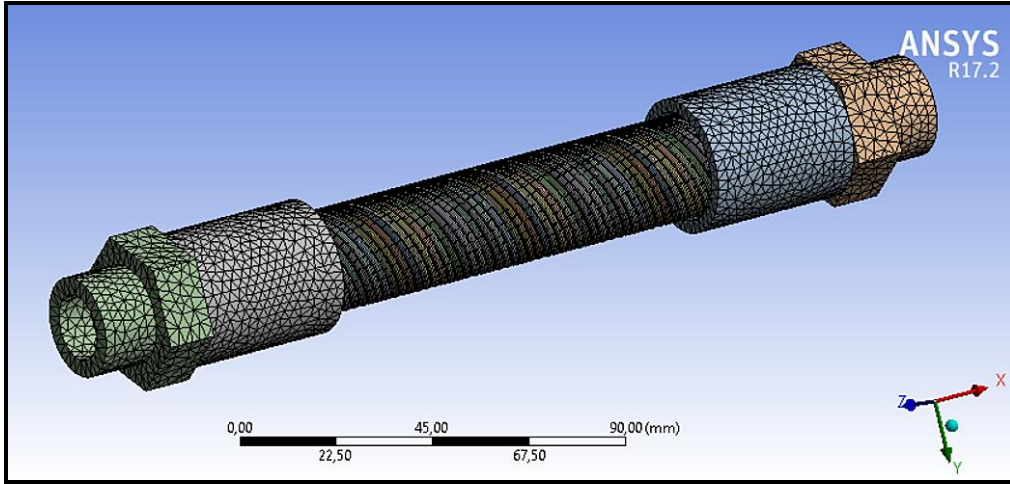
Analiz modeli kurulurken bazı kabullerde bulunulmuştur:

- Motor hareketinin maksimum olduğu ve hortum eksenine dik gelen kuvvet analizde referans alınmış olup diğer eksenlerdeki kuvvetlerin hortum üzerinde bir etkisi olmadığından göz önünde bulundurulmamıştır.
- Hortum araç konumuna göre konumlandırılıp bir noktadan hareket verilip diğer noktadan sabitlenerek araçtaki davranışı simüle edilmiştir.
- Parçanın kullanım ömründe zarar görmemesi için yorulma analizini minimum 500000 çevrim ile geçmelidir.



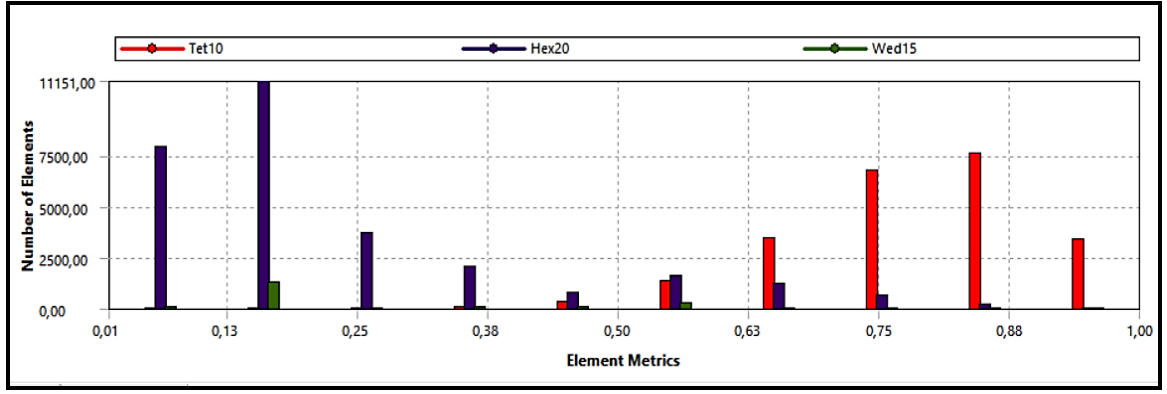
Şekil 4. 1 Ansys 3D modeli

Sonlu elemanlar analizi için modellenen fleks hortum 3D modelleri Ansys-Workbench yazılım ortamına aktarılmıştır. Bir sonraki adımda 3D modeller sonlu elemanlara (meshing) bölünmüştür (Şekil 4. 2).



Şekil 4. 2 Fleks hortumun sonlu elemanlara bölünmüş hali

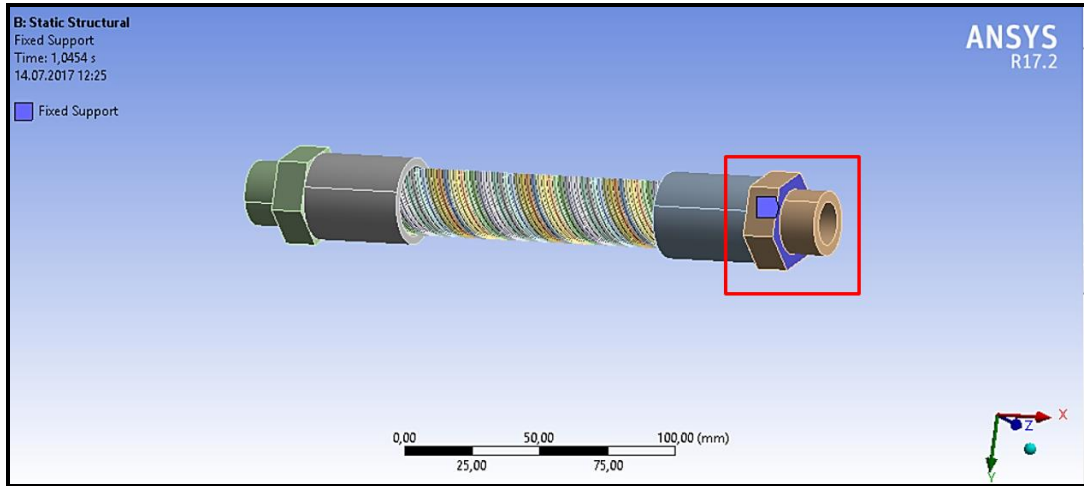
Sonlu elemanlar sayısı arttıkça yani eleman boyutu küçüldükçe sonuçlarda hassaslaşıp gerçeğe yaklaşacaktır fakat analiz zamanı bir o kadar çok uzayacaktır. Bu hususlar göz önünde bulundurularak ilgili çalışmada, fleks hortuma yapılan analizlerde sonuçların hassasiyeti açısından sonlu eleman büyüklükleri uygun seviyede tutulmuştur (Şekil 4. 3).



Şekil 4. 3 Mesh metrikleri

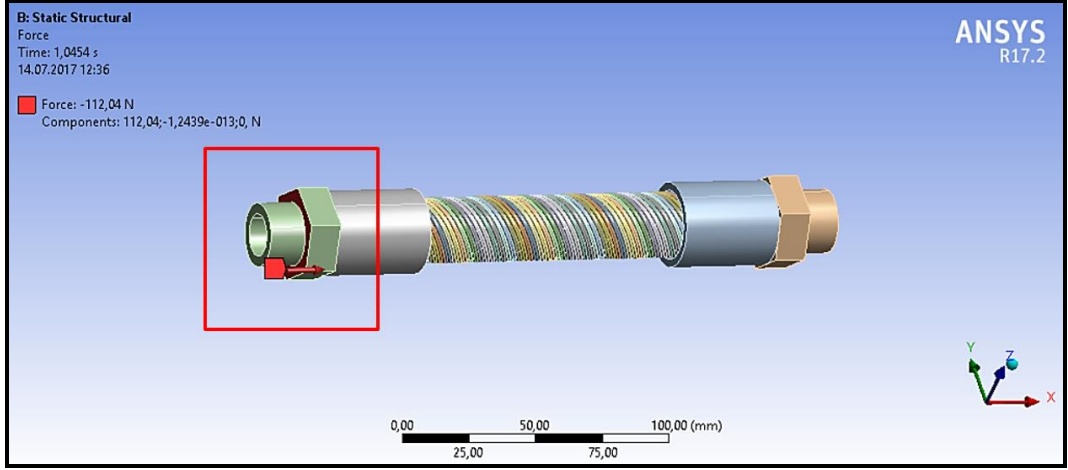
Fleks malzemesi olarak daha önce Model Tanıtımı başlığının altında detaylı olarak bahsedilen malzemeler analizde kullanılmıştır.

Şekil 4. 4’de analizlerde kullanılan sabitleme noktası görülmektedir. Mavi olarak görülen bu nokta hareketsiz olarak kabul edilip araç konumunda şasi koluna sabitlenen boruya bağlı olan kısım olarak düşünülmüştür.



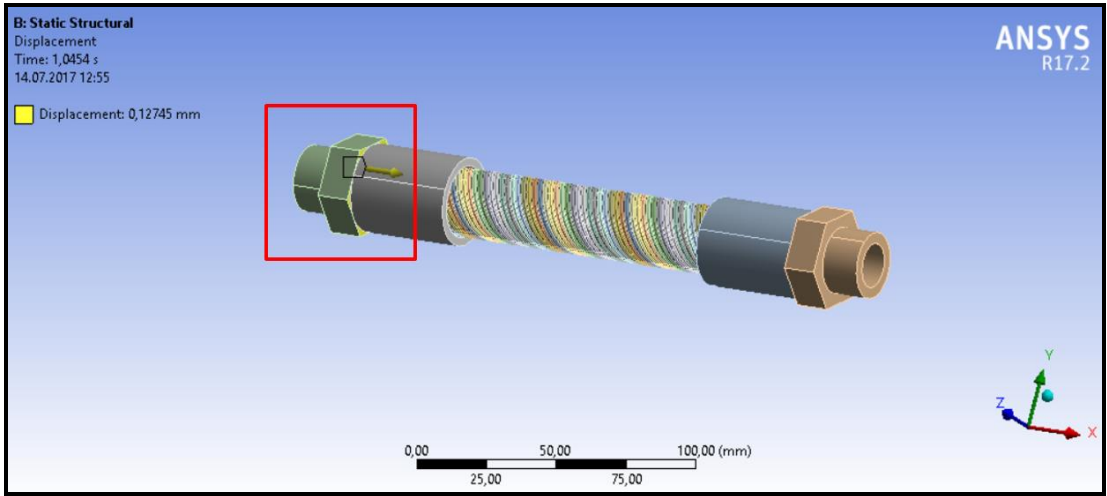
Şekil 4. 4 3D model sabitleme noktası

Şekil 4. 5’de analizlerde kullanılan kuvvetin parçaya geldiği nokta görülmektedir. Bu noktaya fleks eksenı doğrultusunda Rig sonuçlarında elde edilen kuvvet değişimi uygulanmıştır. Kuvvetin geldiği taraf araç konumunda hareketli olan motor tarafına bağlı olup buradaki zorlanmaları temsil etmektedir.



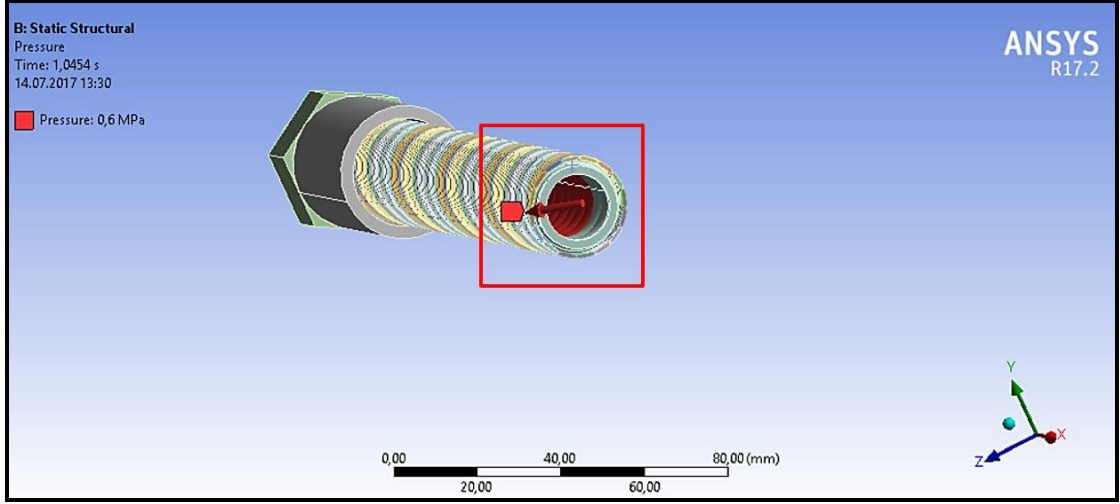
Şekil 4. 5 Modele gelen kuvvet uygulama noktası

Şekil 4. 6'da analizlerde kullanılan deplasman hareketinin parçaya geldiği nokta gösterilmiştir. Rig test datalarından elde edilen deplasman değerleri fleksin hareketli kısmına etki etmektedir. Deplasmanın uygulandığı nokta araç konumunda motor hareketi ile birlikte harekete zorlanan kısmı temsil etmektedir.



Şekil 4. 6 Modele uygulanan deplasman noktası

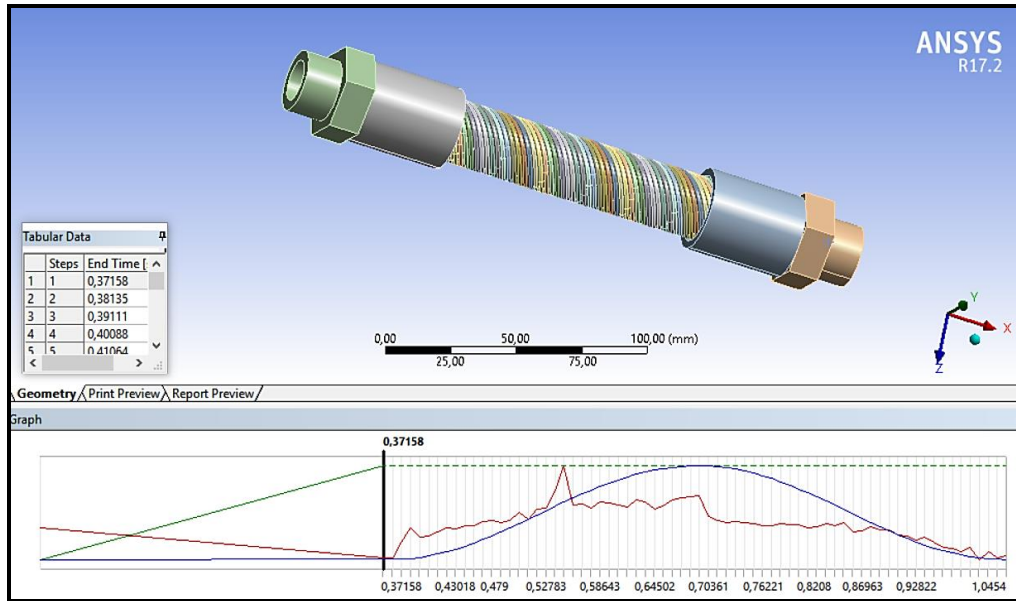
Şekil 4. 7'de analizlerde kullanılan basıncın parçaya etki ettiği yüzey görülmektedir. Rig testinde hortuma 6 bar basınç verilmiş olup analizde de aynı ortam şartlarını sürdürmek için aynı basınç değeri analizde de verilmiştir. Araç kullanımlarında da hortumlar çeşitli basınçlara maruz kalmaktadır.

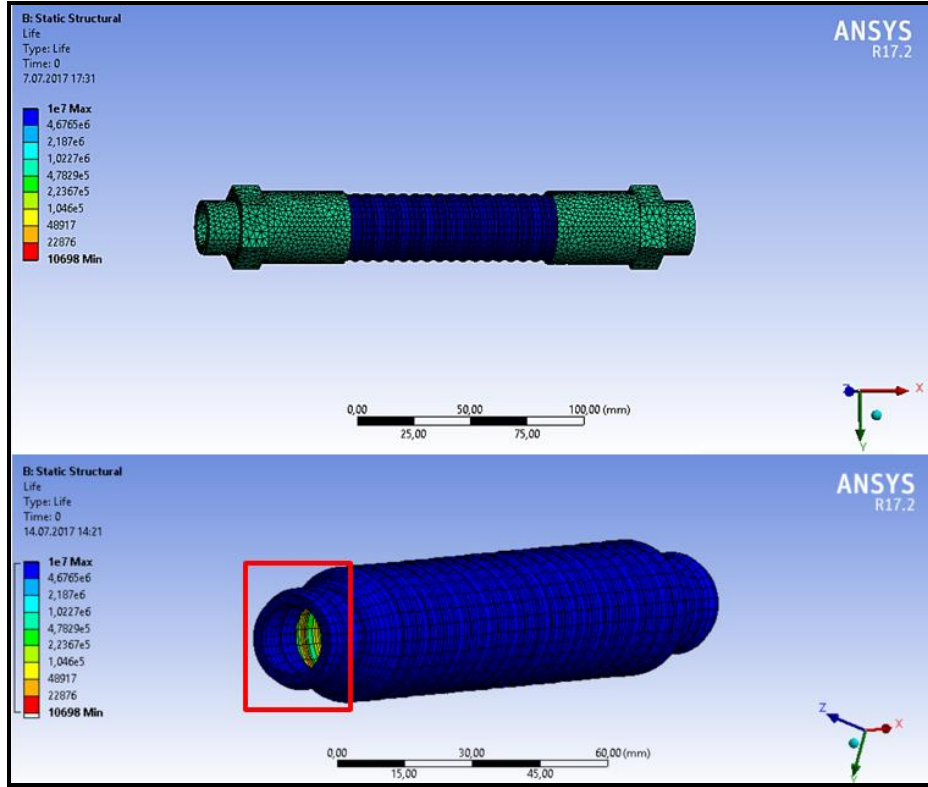


Şekil 4. 7 Modele uygulanan basınç yüzeyi

4.2 Farklı Uzunluklardaki Fleks Hortumun Ansys Analiz Sonuçları

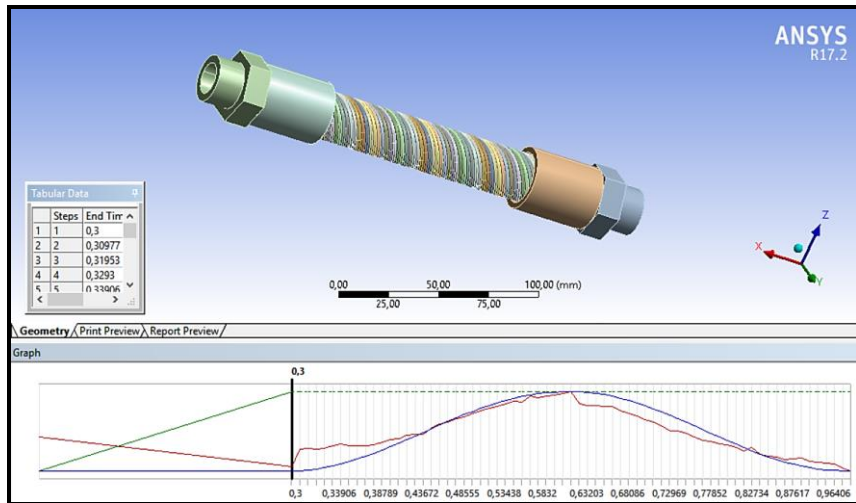
Şekil 4. 8'de 233mm boy uzunluğuna sahip hortuma uygulanan kuvvet, basınç, deplasman grafiği görülmektedir. Bu kuvvetlerin uygulama lokasyonları ve detayları önceki bölümlerde paylaşılmıştır.





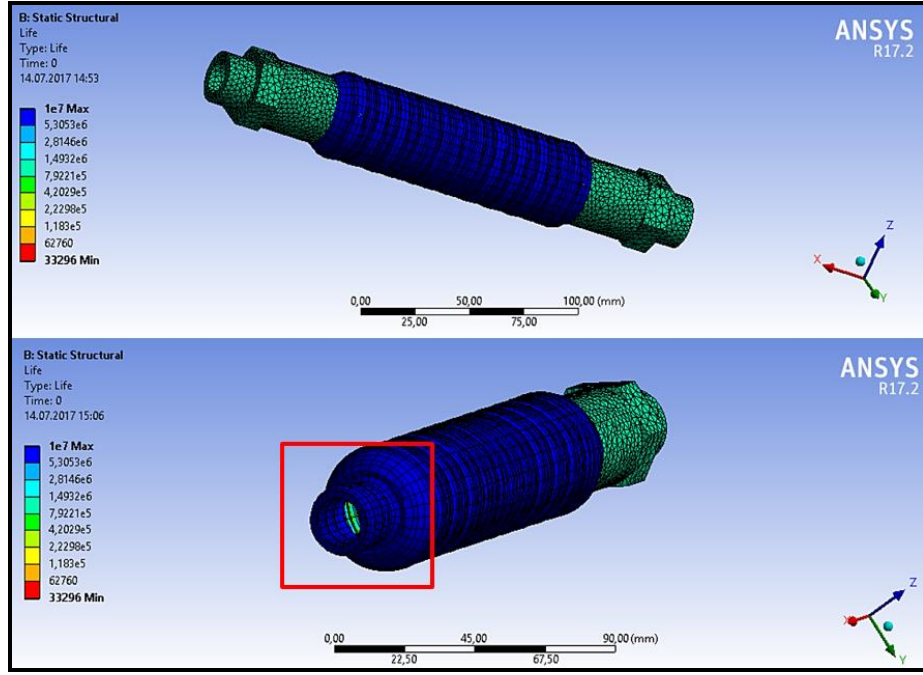
Şekil 4. 9 233mm fleks hortum yorulma test sonucu

Şekil 4. 10'da 245mm boy uzunluğuna sahip hortuma uygulanan kuvvet, basınç, deplasman grafiği görülmektedir.



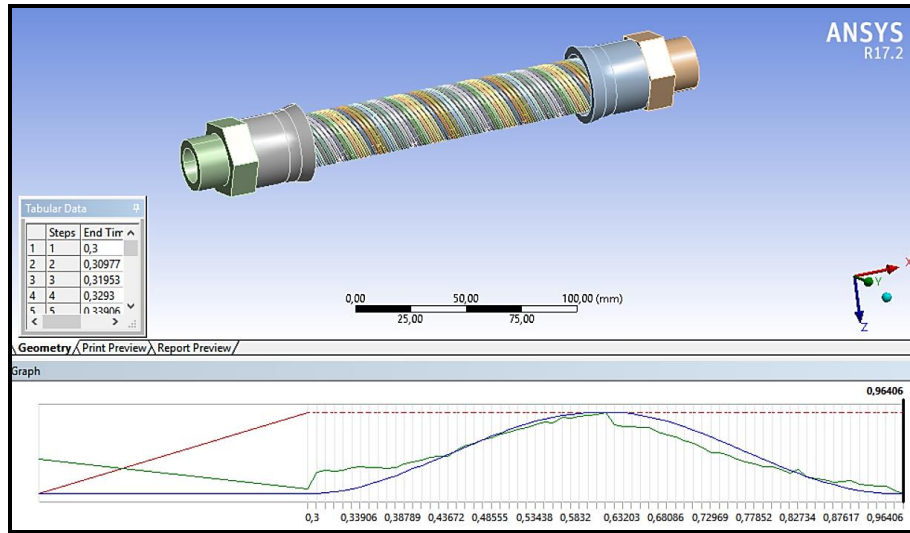
Şekil 4. 10 245mm fleks hortum modeli ve uygulanan kuvvet değişimleri

Rig datalarından elde edilen değerlerle birlikte 245mm fleks hortum analiz edilmiş ve yorulmaya maruz bırakılmıştır. Analiz sonucunda Şekil 4. 11 de görüleceği üzere 33296 çevrimde parça iç kısımdan zarar görmeye başlayıp fonksiyonunu yitirmiştir.

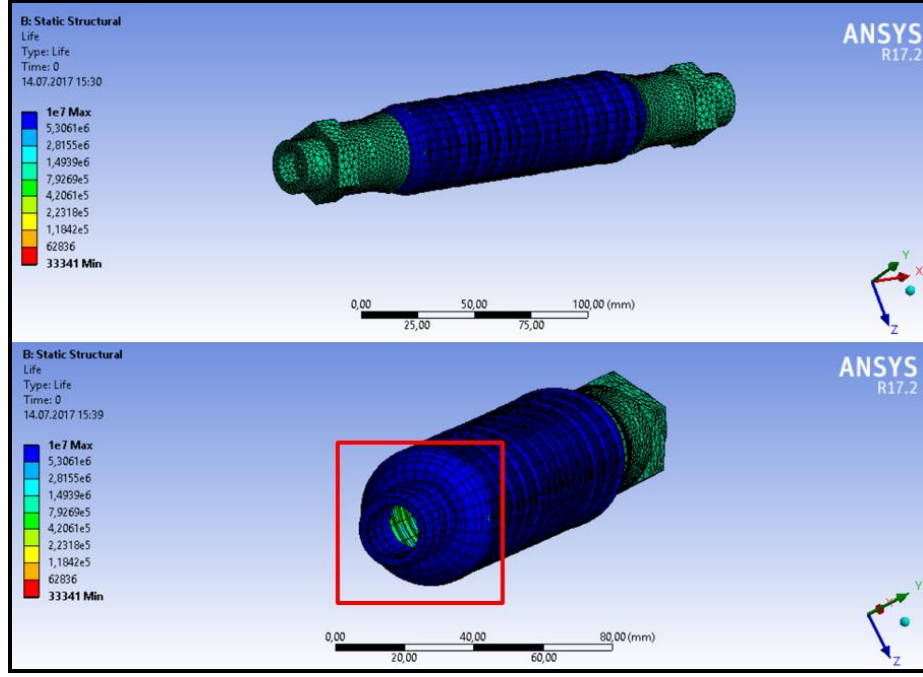


Şekil 4. 11 245mm fleks hortum yorulma test sonucu

Daha önce Bölüm 3. 3’de bahsedilen hortum kapsülüne pah eklenerek oluşturulan alternatif tasarımın yorulma analizi Şekil 4. 12’de ve Şekil 4. 13’de gösterilmektedir. Hortum uzunluğu 245mm referans alınmış olup bu hortuma gelen kuvvetler parametreleri aynı şekilde uygulanmıştır.



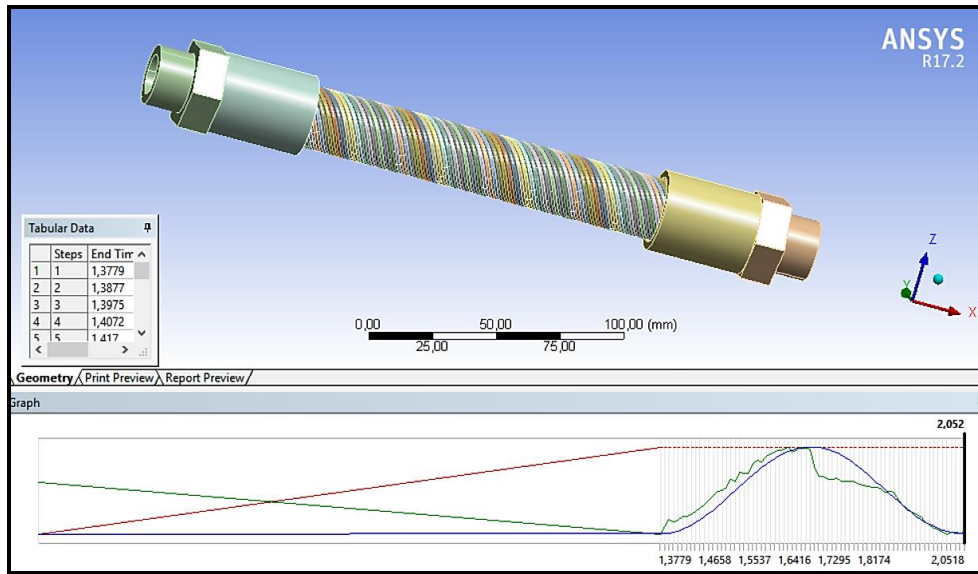
Şekil 4. 12 Geniş kapsül pah açısına sahip 245mm fleks hortum modeli ve uygulanan kuvvet değişimleri



Şekil 4. 13 Geniş kapsül pah açısına sahip 245mm fleks hortum yorulma test sonucu

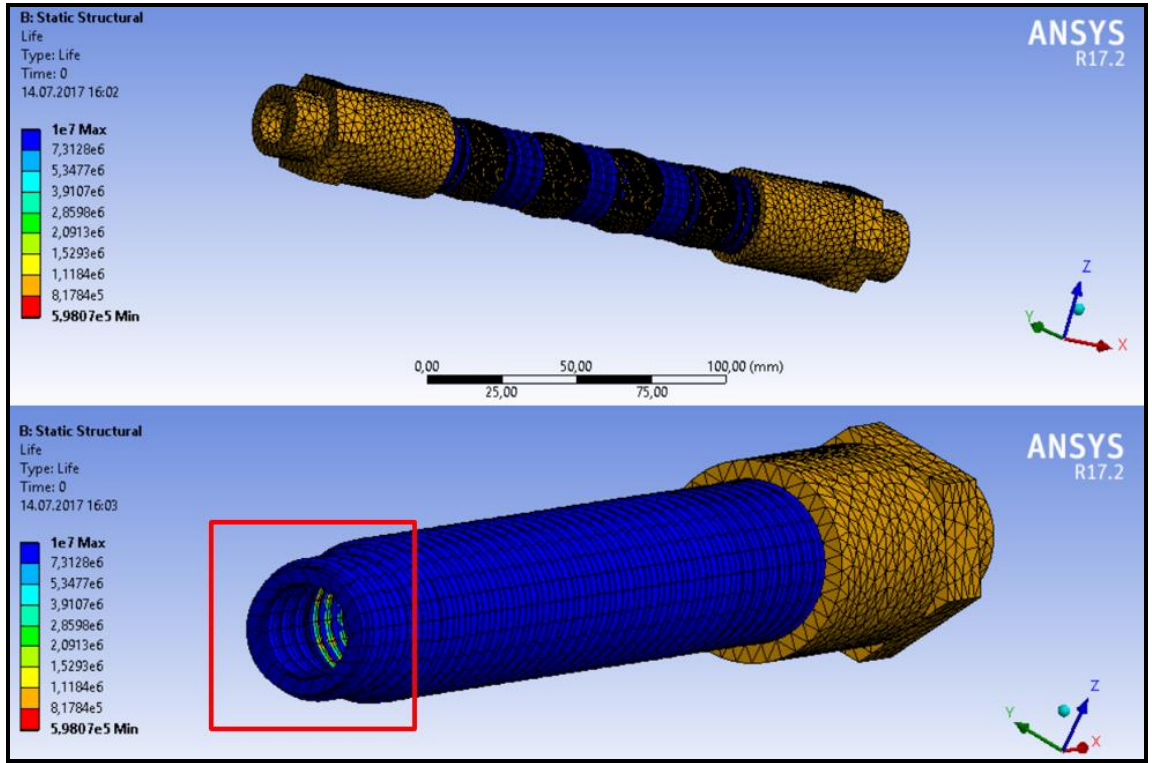
Şekil 4. 13'de geniş pah açısı verilmiş tasarıma ait yorulma analiz sonucu görülmektedir. 33341 çevrimde parça iç kısımdan zarar görmeye başlayıp fonksiyon kaybına uğramıştır. Aynı uzunluğa sahip dar pah açısına sahip tasarımda bu değer 33296 çevrimdir. Tasarıma ilaveten eklenen kapsül pah açısının genişletilmesi hortumun yorulmasının uzatılması yönünde bir etki sağlayamamıştır.

Şekil 4. 14'de ise 273mm boy uzunluğuna sahip hortuma uygulanan kuvvet, basınç, deplasman grafiği görülmektedir.



Şekil 4. 14 273mm fleks hortum modeli ve uygulanan kuvvet değişimleri

Rig datalarından elde edilen değerlerle birlikte 273mm fleks hortum analiz edilmiş ve yorulmaya maruz bırakılmıştır. Analiz sonucunda Şekil 4. 15 de görüleceği üzere 598070 çevrimde parça iç kısımdan zarar görmeye başlayıp fonksiyonunu yitirmiştir. 273mm fleks hortum, minimum 500000 çevrim değerini geçtiği için test kriterini başarı ile geçmiştir. Fleks hortum kullanım ömrü boyunca analizde kullanılan maksimum kuvvet ve zorlayıcı parametrelere devamlı maruz kalmaz bu nedenle 500000'lik çevrim kabulünde gereğinden fazla mühendislik uygulaması referans alınmıştır.

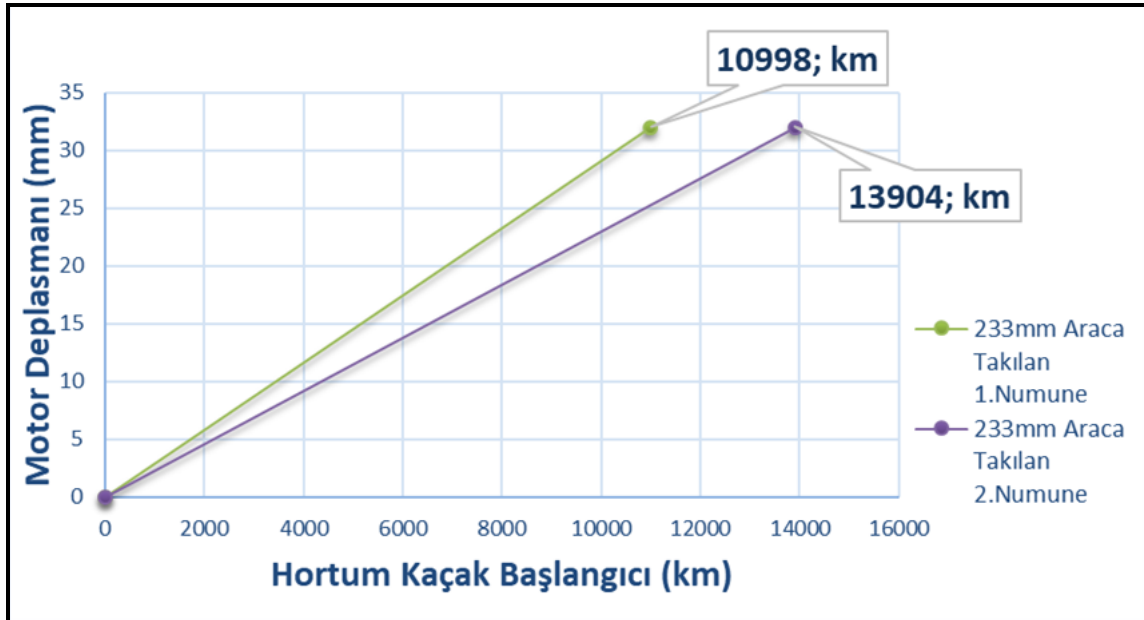


Şekil 4. 15 273mm fleks hortum yorulma test sonucu

BÖLÜM 5

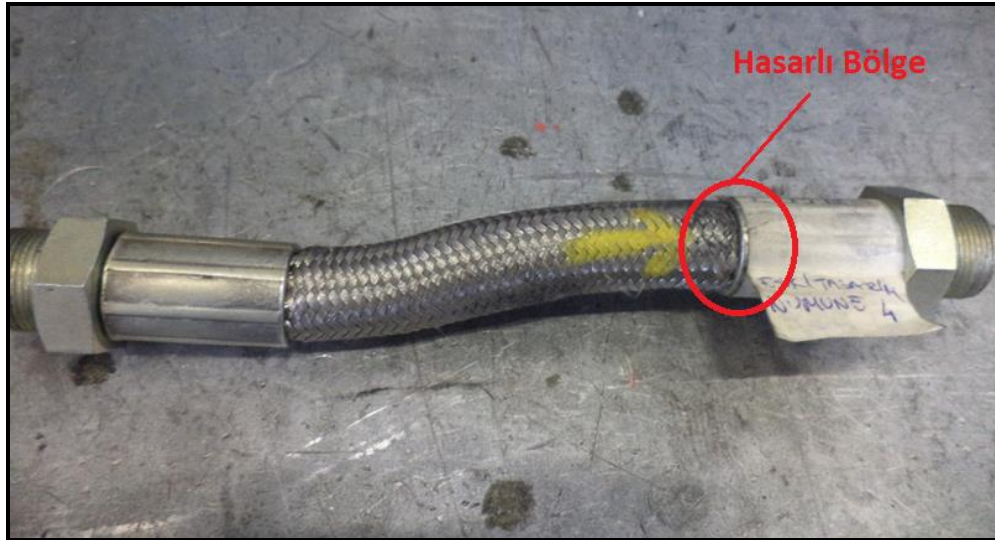
TEST ÇALIŞMALARI ve MODELİN DOĞRULANMASI

Tez çalışmasında analiz edilecek 233mm, 245mm, 273mm boy uzunluğuna sahip 3 farklı numuneden 233mm boy uzunluğuna sahip hortum sahada 2 adet araç testine tabi tutulmuştur. Saha testinin yapılmasındaki temel amaç analizde oluşturulan ve sonuçları elde edilen modelin reel performansının karşılaştırılmak istenmesidir. Analizdeki verilere paralel olarak yapılan saha araç testinde 233mm uzunluğundaki iki numune sırasıyla 10998 km, 13904 km yol testinden sonra zarar görerek fonksiyonunu yitirmişlerdir (Şekil 5. 1).



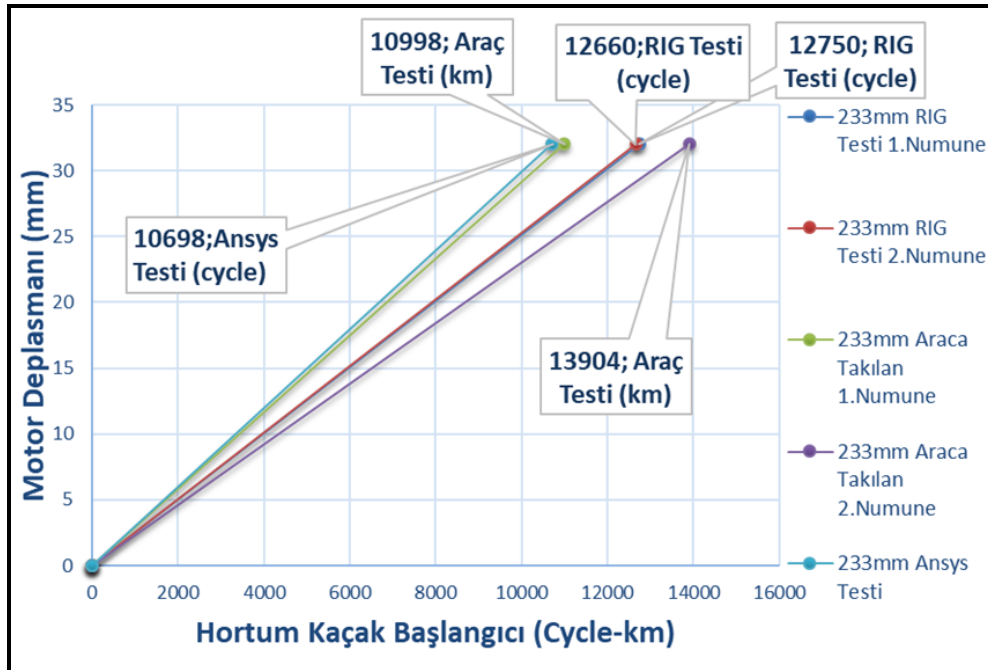
Şekil 5. 1 233mm hortuma ait araç testi

Test aracından çıkan numuneler incelendiğinde hortum kapsül kısmının bitiminde bulunan tel örgünün altındaki teflon yapının zarar görerek içindeki akışkanın sızıntı yaptığı tespit edilmiştir (Şekil 5. 2).



Şekil 5. 2 233mm hortuma ait araç testi

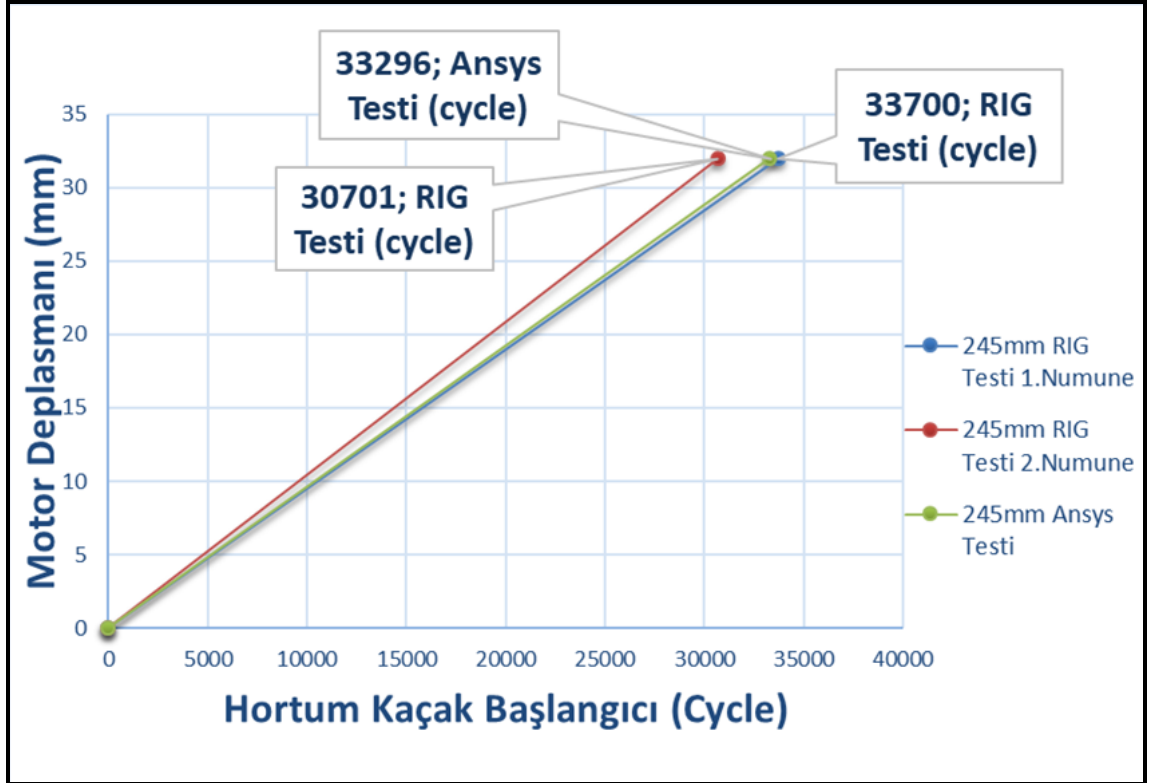
233mm iki adet numuneye uygulanan RIG test sonuçlarında ise 12660 çevrim ve 12750 çevrim sonucu kapsül dip kısmındaki bölgeden zarar görerek hortumlar fonksiyonunu yitirmişlerdir. RIG de toplanan kuvvet, deplasman, zaman dataları ile yapılan Ansys analizinde ise 233mmlik hortum 10698 çevrim sonucu zarar görüp işlevini yitirmiştir.



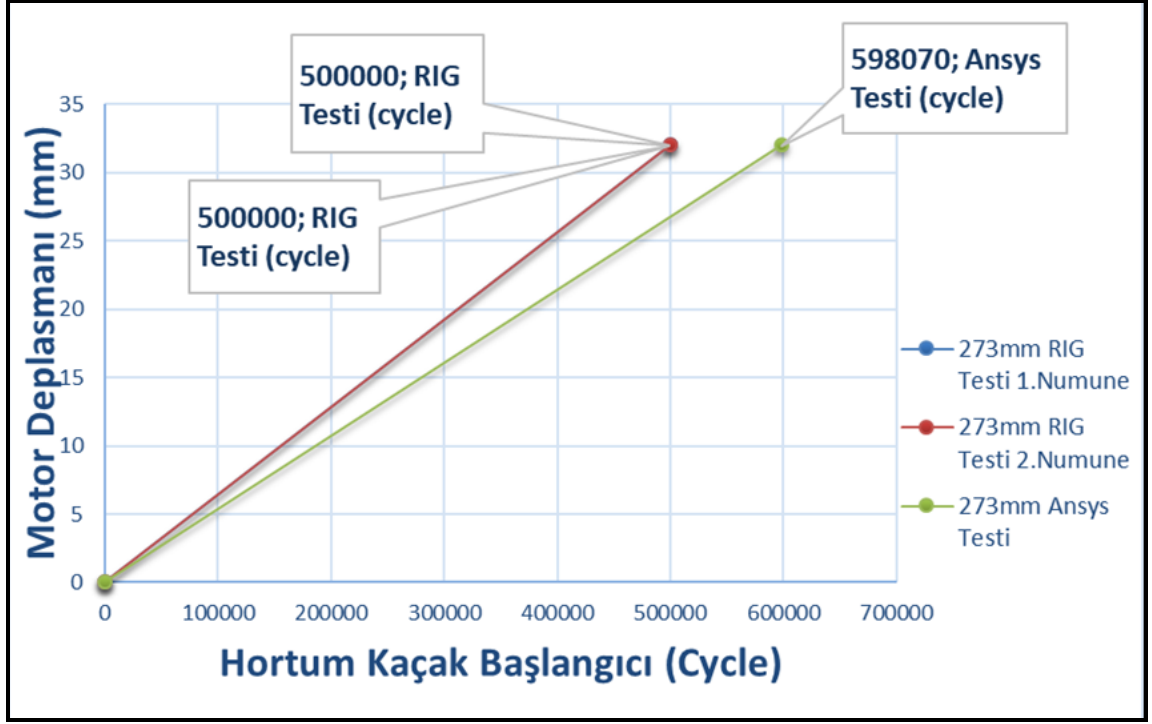
Şekil 5. 3 233mm hortuma ait Ansys-RIG-Araç testi karşılaştırması

Şekil 5. 3’de Ansys, RIG ve araç testleri sonucunda hortumun işlevini yitirdiği değerler özet bir şekilde görülmektedir. Bu değerler doğrultusunda araç testinde, RIG testinde ve Ansys analiz test sonuçlarında hortumda oluşan deformasyon bölgelerin aynı bölge olduğu, km-çevrim karşılaştırmalarının da paralel doğrultuda olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak araç testi, RIG testi ve Ansys analizi aynı doğrultuda sonuçlar vermiş olup kurulan model bu şekilde doğrulanmıştır.

245mm uzunluğundaki iki adet hortum numunesine uygulanan RIG testinde hortumlar 30701 çevrim ve 33700 çevrim sonucunda kapsül dibindeki bölgeden deformasyona uğrayarak işlevini yitirmişleridir. RIG de toplanan kuvvet, deplasman, zaman dataları ile yapılan Ansys analizinde ise 245mmlik hortum 33296 çevrim sonucu zarar görüp işlev kaybına uğramıştır (Şekil 5. 4).



Şekil 5. 4 245mm hortuma ait Ansys-RIG testi karşılaştırması



Şekil 5. 5 273mm hortuma ait Ansys-RIG testi karşılaştırması

273mm uzunluğundaki iki adet hortum numunesine uygulanan RIG testinde hortumlar sınır şartı olarak kabul edilen 500000 cycle değerine deformasyona uğramadan geçmiş ve test başarılı bir şekilde sonlandırılmıştır. RIG de toplanan kuvvet, deplasman, zaman dataları ile yapılan Ansys analizinde ise 273mmlik hortum 598070 çevrim sonucu zarara uğrayacağı öngörülmüştür (Şekil 5. 5). Ancak sınır şartı olarak kabul edilen 500000 çevrim değerine, hortum işlev kaybı olmadan ulaştığı ve reel ömrü boyunca bu çevrim değerine asla maruz kalmayacağından dolayı 273mm uzunluğundaki hortum problemsiz şekilde kullanılabilir durumdadır.

BÖLÜM 6

İRDELEME ve SONUÇ

Bu çalışmada ilk olarak hortumların genel yapısı ve standartlarından bahsedilerek hortum kullanım alanları ve detaylara yer verilmiştir. Daha sonrasında ise ağır ticari araçlarda kullanılan fren sistemleri ve burada kullanılan PTFE metal örgülü fleks hortum türleri incelenmiş ve detaylarına değinilmiştir.

Test araçlarına takılan 233mm uzunluğundaki metal örgülü PTFE fleks hortumlarının zarar gördüğü görülmüş ve bunların sebepleri araştırılmıştır. Zarar görülen hortum numunelerinin hep aynı noktadan deforme olduğu gözlenip hortum montaj konumuna göre 233mm,245mm, 273mm olmak üzere üç farklı hortum boy belirlenip çalışmalar yapılmıştır.

4 adet 233mm, 2 adet 245mm, 2 adet 273mm uzunluğuna sahip hortum numuneleri imalatçıda ürettirilip bunlardan 233mm uzunluğundaki iki hortum numunesi test araçlarına takılıp işlevini yitirene kadar test araçlarında teste maruz kalmış ve km bazında veri toplanmıştır. Kalan hortum numuneleri Test RIG'lerine bağlanarak araçtaki hareketleri simüle edilmiş ve işlevlerini yitirene kadar teste maruz bırakılıp hortuma gelen kuvvet, basınç, deplasman değerleri zamana bağlı olarak veri toplanması gerçekleşmiştir.

Her bir hortum numunesine ait fiziksel 3D modeller Catia programı aracılığıyla oluşturulup katı modeller hortumun tüm reel tasarımını kapsayacak şekilde (metal örgü, teflon kısım, bağlantı elemanlarının malzeme tanımlarıyla) Ansys programında yorulma analizine tabi tutulmuştur. Ansys programındaki yorulma analizi için malzeme

kütüphanesinde PTFE'ye ait yeni malzeme tanımlanmış, bu bilgiler çeşitli imalatçı ve üreticilerden temin edilmiştir. Yorulma analizinde kullanılan kuvvet, deplasman ve basınç verileri RIG testinden elde edilen verilerdir.

İlave olarak imalatçıda 273mm hortuma çekme testi uygulanmış olup 594 kg çekme kuvveti uygulanmış olup sonucunda bir işlev yitirmesi görülmemiş hortumda uzama meydana gelmiştir.

233mm uzunluğundaki hortum araç denemelerinde 10998 km ve 13904 km'de, RIG testinde 12660 çevrim ve 12750 çevrimde ve Ansys yorulma testinde 10698 çevrimde zarar görmüştür. Test verilerinde hortuma gelen kuvvet aralığı ise 246N ve -128N olarak görülmekte olup toplam 374N kuvvet aralığına hortumun maruz kalmaktadır. Kabul edilen 500 000 çevrimi RIG ve Ansys testinde 233mm uzunluğundaki hortum geçemediği için bu uzunluk değerinin olması gerekenden kısa kaldığı sonucuna varılmıştır.

245mm uzunluğundaki hortum RIG testinde 30701 çevrim ve 33700 çevrimde, Ansys yorulma testinde 33296 çevrimde zarar görmüştür. Test verilerinde hortuma gelen kuvvet aralığı ise 190N ve -139N görülmekte olup hortum toplam 329N kuvvet aralığına maruz kalmaktadır. 233mm'lik hortum ile kıyasladığımız zaman 245mm hortumun yorulma ömrü, ortalama 2,7 kat artmış ve gelen kuvvet aralığı ise %12 azalmıştır. Alternatif tasarım önerisi olarak çalışılan 245mm hortumun kapsül kısmına ilave pah açısı eklenmesi sonucunda Ansysde yorulma analizi, 33296 çevrimde hortum zarar göreceğini belirtmiş ve yapılan değişikliğin yorulma ömrü üzerinde pek etkisi olmadığı kanıtlanmıştır. Kabul edilen 500 000 çevrimi RIG ve Ansys testinde 245mm uzunluğundaki hortum geçemediği için bu uzunluk değerinin olması gerekenden kısa kaldığı sonucuna varılmıştır.

273mm uzunluğundaki hortum RIG testinde sınır şartı olarak kabul edilen 500000 çevrimi deformasyona uğramadan geçmiş ve test başarılı bir şekilde sonlandırılmıştır. Ansys testinde ise 598070 çevrim sonucu zarara uğrayacağı öngörülmüştür. Test verilerinde hortuma gelen kuvvet aralığı ise 121N ve -176N görülmekte olup hortum toplam 297N kuvvet aralığına maruz kalmaktadır. 233mm'lik hortum ile kıyasladığımız

zaman 273mm hortumun yorulma ömrü, ortalama 45,62 kat artmış ve gelen kuvvet aralığı ise %20,56 azalmıştır.

Sınır şartı olarak kabul edilen 500000 çevrim değerine, hortum işlev kaybı olmadan ulaştığı ve reel ömrü boyunca bu çevrim değerine asla maruz kalmayacağından dolayı 273mm uzunluğundaki hortum araçlarda problemsiz şekilde kullanılabilir durumdadır. Üç senaryoda da hortumun boyunun uzatılması ile birlikte dayanım ömründe artma ve maruz kalınan kuvvet aralığında düşme gözlemlenmektedir. Tez çalışmasında elde edilen sonuçların sektörde ve akademik çalışmalarda yararlanılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Taş, A., 2014 “Hidrolik hortumların yeni iso standardına göre sınıflandırılması” Uluslararası Katılımlı VII. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi 2014/İstanbul.
- [2] TS 6387 EN 853, (2015). Hortum ve hortum takımları, TSE, Ankara.
TS EN 854, (2015). Hortum ve hortum takımları, TSE, Ankara.
TS 10548 EN 856, (2000). Lastik hortumlar ve hortum takımları, TSE, Ankara.
- [3] SAE J517, (2013). Hydraulic Hose And Hose Fittings Committee, SAE International.
- [4] TS EN 857, (2015). Lastik hortumlar ve hortum takımları, TSE, Ankara.
- [5] ISO 18752, (2014). Rubber hoses and hose assemblies, ISO.
- [6] Parker Fittings and Equipment, Catalog 4400,
http://www.parker.com/literature/Hose%20Products%20Division/Catalog%204400%20PDF%20Files/2015_Catalog_4400_Linked.pdf, Haziran 2017.
- [7] Göktan A. G., Güney A., Ereke M., 1995. Taşıt Frenleri, İTÜ, İstanbul.
- [8] Ekingen, O. (2012). Ağır Ticari Taşıtlarda Kullanılan Kampanalı Frenlerde Fren Titreşimleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Milli Eğitim Bakanlığı “Pnömatik devre”
http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/plastik/moduller/pnomatik_devre.pdf, (2007).
- [10] GBL PTFE
<http://www.gblteflon.com/UrunDetay/3/paslanmaz-celik-tel-orgulu-bogumlu-ptfe-hortumlar.html>, 2018
- [11] Kutting PTFE
http://www.kutting.co.uk/fileadmin/user_upload/PDF/Katalog/47.pdf, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Göksu GÜRLER
Doğum Tarihi ve Yeri :12/05/1990-Merzifon/Amasya
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :goksu_26@msn.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Fen Bilimleri	Muzaffer Çil Anadolu Lisesi	2008