

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNESİ TAHRİK GRUBUNUN ESNEK CİSİM
MODELİNİN KURULMASI VE DENEYSEL OLARAK
DOĞRULANMASI

Ozan ULE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Teorisi ve Kontrol Programı

Danışman
Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR MAKİNESİ TAHRİK GRUBUNUN ESNEK CİSİM
MODELİNİN KURULMASI VE DENEYSEL OLARAK
DOĞRULANMASI**

Ozan ULE tarafından hazırlanan tez çalışması 16.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Teorisi ve Kontrol Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Meral BAYRAKTAR, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Yener TAŞKIN, Üye

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Danışmanım Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Çamaşır Makinesi Tahrik Grubunun Esnek Cisim Modelinin Kurulması ve Deneysel Olarak Doğrulanması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ozan ULE

Aileme,

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması Üniversite Sanayi İşbirliği kapsamında, Arçelik A.Ş. Ar-Ge Direktörlüğü, Dijital Modelleme ve Yapısal Tasarım Yöneticiliği uzman kadrosu ile birlikte çalışılarak gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmamda bana her zaman yol gösteren, görüş ve düşünceleri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması hazırlık sürecinde yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, sağladıkları teknik ve maddi imkanlar ile bu çalışmayı mümkün kılan, bilgi ve tecrübeleri ile destek olan Arçelik A.Ş. Ar-Ge Direktörlüğü ailesine, özellikle Ar-Ge Direktörü Sn. Nihat BAYIZ'a, Dijital Modelleme ve Yapısal Tasarım Yöneticisi Kutay EDİS'e, sadece teknik bilgi birikimiyle değil hayat tecrübeleriyle de her zaman yanımda olan, yol göstericim Kıdemli Uzman Halil ELGÜN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca testler konusunda desteğini aldığım, emeği geçen Mühendis Tunç KARAÇALI'ya teşekkürlerimi iletirim.

Ozan ULE

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	VIII
KISALTMA LİSTESİ	IX
ŞEKİL LİSTESİ	X
TABLO LİSTESİ.....	XIV
ÖZET	XV
ABSTRACT.....	XVII
1 Giriş.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
2 Genel Bilgiler	5
2.1 Sektörel Bilgiler	5
2.2 Çamaşır Makinesi Parçaları ve Çalışma Prensipleri.....	6
2.3 Çamaşır Makinesinden Beklentiler	8
3 Teorik Bilgiler	10
3.1 Gerilme ve Gerinim İlişkisi	10
3.2 Düzlemsel Gerilme.....	12
3.3 Maksimum Çarpılma Enerjisi Teorisi.....	15
3.4 45 Derece Rozet Tip Gerinim Ölçer Denklemleri.....	18
4 Deneysel Çalışmalar	21
4.1 Deneyin Tanımı.....	21
4.2 Deneyin Uygulanması.....	23
4.3 Deney Yükleme Senaryoları.....	26

5	Model Çalışmaları.....	29
5.1	Bileşenlerin Modellenmesi.....	29
5.2	Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması	33
5.3	Esnek Cisim Modelinin Kurulması.....	34
5.4	Kazan Plastiği Doğal Frekanslarının Modellenmesi	38
6	Bulgular	42
6.1	Bulguların Değerlendirilmesi	42
6.2	Tek Eksenli Gerinim Ölçer Bulgularının Değerlendirilmesi	42
6.2.1	1 Nolu Yükleme Senaryosu (S1).....	43
6.2.2	2 Nolu Yükleme Senaryosu (S2).....	45
6.2.3	3 Nolu Yükleme Senaryosu (S3).....	48
6.2.4	4 Nolu Yükleme Senaryosu (S4).....	50
6.2.5	5 Nolu Yükleme Senaryosu (S5).....	53
6.2.6	6 Nolu Yükleme Senaryosu (S6).....	55
6.3	Üç Eksenli Gerinim Ölçer Bulgularının Değerlendirilmesi.....	58
6.3.1	1 Nolu Yükleme Senaryosu (S1).....	59
6.3.2	2 Nolu Yükleme Senaryosu (S2).....	61
6.3.3	3 Nolu Yükleme Senaryosu (S3).....	63
6.3.4	4 Nolu Yükleme Senaryosu (S4).....	66
6.3.5	5 Nolu Yükleme Senaryosu (S5).....	68
6.3.6	6 Nolu Yükleme Senaryosu (S6).....	70
7	Sonuç ve Öneriler	73
	KAYNAKÇA.....	76
	Tezden Üretilmiş Yayınlar	78

SİMGE LİSTESİ

σ	Normal Gerilme
τ	Kayma Gerilmesi
ϵ	Gerinim
u	Gerinim Enerji Yoğunluğu
ε	Normal Gerinim
γ	Kayma Gerinimi

KISALTMA LİSTESİ

Ar-Ge	Araştırma Geliştirme
CMS	Component Mode Synthesis

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	2018 yılı Türkiye'deki beyaz eşya üretim dağılımı.....	5
Şekil 2.2	Tambur grubu ve kazan grubu elemanları.....	7
Şekil 2.3	Çamaşır makinesi genel görünümü	8
Şekil 2.4	Çamaşır makinesi temsili kesit görünümü.....	9
Şekil 3.1	Dış kuvvetler ve moment etkisindeki cisim ve kesitleri [10]	10
Şekil 3.2	Deforme olmuş ve deforme olmamış cisim [10].....	11
Şekil 3.3	Cisim üzerindeki gerilmeler [10]	12
Şekil 3.4	Düzlemsel gerilme hali [10]	12
Şekil 3.5	Düzlemsel gerilme genel hali [10]	13
Şekil 3.6	θ Açısı kadar döndürülmüş eleman [10].....	13
Şekil 3.7	Serbest cisim diyagramı [10]	14
Şekil 3.8	Şekli değişmeden hacmi değişen cisim [10]	16
Şekil 3.9	Hacmi değişmeden çarpılmaya uğrayan cisim [10].....	17
Şekil 3.10	Düzlemsel gerilme halinde maksimum çarpılma enerjisi teorisi diyagramı [10].....	18
Şekil 3.11	Üç adet gerinim ölçer genel gösterimi	19
Şekil 3.12	45 derecelik rozet tip gerinim ölçer gösterimi.....	19
Şekil 4.1	Feder örgüsündeki tek eksenli ve üç eksenli gerinim ölçer bölgeleri ve uygulaması.....	22
Şekil 4.2	L4 ve L5 bölgeleri tek eksenli gerinim ölçer uygulaması	23
Şekil 4.3	R1 ve R2 bölgeleri üç eksenli rozet tip gerinim ölçer uygulaması	24
Şekil 4.4	R3 ve R4 bölgeleri üç eksenli rozet tip gerinim ölçer uygulaması	24
Şekil 4.5	R5 bölgesi üç eksenli rozet tip gerinim ölçer uygulaması.....	25
Şekil 4.6	Sensör ekipmanları uygulaması yapılmış ve tekrar gruplanmış çamaşır makinesi	26
Şekil 4.7	Lastik blok.....	27
Şekil 5.1	Modellenmiş kazan plastiği ve ağ örgüsü detay görünümü	30
Şekil 5.2	Kazan plastiğindeki farklı et kalınlıklarının gösterimi.....	30
Şekil 5.3	Modellenmiş tambur sacı.....	30
Şekil 5.4	Modellenmiş alt ve üst denge taşları	31
Şekil 5.5	Modellenmiş mil	31

Şekil 5.6	Modellenmiş elektrik motoru.....	31
Şekil 5.7	Modellenmiş flanş ve ağ örgüsü detay görünümü	32
Şekil 5.8	Bir boyutlu elemanlarla modellenmiş denge taşı ve kazan plastiği arasındaki vida.....	32
Şekil 5.9	Çamaşır makinesi global esnek cisim modeli.....	35
Şekil 5.10	Model akış şeması	36
Şekil 5.11	Sıkma devrine ulaşma tahrik profili	37
Şekil 5.12	L1 bölgesi tek eksenli gerinim ölçer uygulaması ve modeldeki eleman eksen takımı	37
Şekil 5.13	Çekiç testi düzeneği, ivmeölçer ve kazan plastiği.....	38
Şekil 5.14	Çekiç testi veri toplama sistemi.....	39
Şekil 5.15	0 – 300 Hz bandındaki çekiç testi sonuçları	40
Şekil 5.16	Kazan plastiğinin doğal frekans değerleri ve mod şekilleri	40
Şekil 6.1	Ölçüm süresince toplanan tek eksenli gerinim ölçer verileri	42
Şekil 6.2	1 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları	44
Şekil 6.3	1 nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları.....	44
Şekil 6.4	1 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları	44
Şekil 6.5	1 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları	45
Şekil 6.6	1 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları	45
Şekil 6.7	2 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları	46
Şekil 6.8	2 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları	47
Şekil 6.9	2 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları	47
Şekil 6.10	2 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları	47
Şekil 6.11	2 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları	48
Şekil 6.12	3 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları	49
Şekil 6.13	3 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları	49
Şekil 6.14	3 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları	49
Şekil 6.15	3 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları	50
Şekil 6.16	3 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları	50
Şekil 6.17	4 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları	51
Şekil 6.18	4 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları	52
Şekil 6.19	4 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları	52
Şekil 6.20	4 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları	52

Şekil 6.21	4 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları 53
Şekil 6.22	5 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları 54
Şekil 6.23	5 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları 54
Şekil 6.24	5 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları 54
Şekil 6.25	5 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları 55
Şekil 6.26	5 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları 55
Şekil 6.27	6 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları 56
Şekil 6.28	6 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları 57
Şekil 6.29	6 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları 57
Şekil 6.30	6 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları 57
Şekil 6.31	6 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları 58
Şekil 6.32	Üç eksenli R1 bölgesi gerinim ölçerden toplanan kararlı rejimdeki ölçüm sonuçları..... 58
Şekil 6.33	1 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları..... 59
Şekil 6.34	1 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları..... 60
Şekil 6.35	1 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları..... 60
Şekil 6.36	1 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları..... 60
Şekil 6.37	1 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları..... 61
Şekil 6.38	2 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları..... 62
Şekil 6.39	2 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları..... 62
Şekil 6.40	2 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları..... 62
Şekil 6.41	2 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları..... 63
Şekil 6.42	2 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları..... 63
Şekil 6.43	3 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları..... 64
Şekil 6.44	3 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları..... 64
Şekil 6.45	3 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları..... 65
Şekil 6.46	3 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları..... 65
Şekil 6.47	3 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları..... 65
Şekil 6.48	4 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları..... 66
Şekil 6.49	4 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları..... 67
Şekil 6.50	4 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları..... 67
Şekil 6.51	4 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları..... 67
Şekil 6.52	4 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları..... 68

Şekil 6.53	5 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları.....	69
Şekil 6.54	5 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları.....	69
Şekil 6.55	5 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları.....	69
Şekil 6.56	5 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları.....	70
Şekil 6.57	5 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları.....	70
Şekil 6.58	6 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları.....	71
Şekil 6.59	6 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları.....	71
Şekil 6.60	6 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları.....	72
Şekil 6.61	6 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları.....	72
Şekil 6.62	6 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları.....	72

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1	Yükleme senaryoları	27
Tablo 4.2	Gerçek sıkma devirleri	28
Tablo 5.1	Bileşenlerin modelleme detayları.....	33
Tablo 5.2	Malzeme özellikleri	34
Tablo 5.3	Yay parametreleri	34
Tablo 5.4	Global esnek cisim modelindeki bağlantı çeşitleri.....	35
Tablo 5.5	Model ve test doğal frekans değerleri.....	41
Tablo 6.1	1 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları	43
Tablo 6.2	2 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları	46
Tablo 6.3	3 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları	48
Tablo 6.4	4 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları	51
Tablo 6.5	5 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları	53
Tablo 6.6	6 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları	56
Tablo 6.7	1 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları.....	59
Tablo 6.8	2 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları.....	61
Tablo 6.9	3 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları.....	64
Tablo 6.10	4 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi.....	66
Tablo 6.11	5 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları.....	68
Tablo 6.12	6 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları.....	71

Çamaşır Makinesi Tahrik Grubunun Esnek Cisim Modelinin Kurulması ve Deneysel Olarak Doğrulanması

Ozan ULE

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ

Bu çalışmada, çamaşır makinesi tahrik grubunun esnek cisim modelinin kurulması ve deneysel olarak doğrulanması hedeflenmiştir. Bu amaçla, çamaşır makinesi tambur ve kazan grupları, simülasyon ortamında tekniğe uygun bir şekilde modellenmiştir. Her bir grubun ilk 25 modu dikkate alınarak, esnek cisim modelleri elde edilmiştir. Bu gruplar arasında ilişkiler tanımlanıp, yay ve amortisör elemanlarının eklenmesiyle global esnek cisim dinamiği modeli hazırlanmıştır. Kazan plastiği üzerinden daha önceden belirlenen bölgelerden tek eksenli ve üç eksenli rozet tip gerinim ölçerler (strain-gauge) ile birim uzama değerleri ölçülmüştür. Simülasyon ortamındaki model ve test sonuçlarının karşılaştırılmasına göre, ölçüm alınacak bölgenin modelleme tekniği bakımından, tasarımın bire bir veya en yakın şekilde yansıtılabilen bölgelerden tercih edilmesi gerektiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Esnek cisim dinamiği, çoklu cisim dinamiği, gerinim ve gerilme, gerinim ölçer, çamaşır makinesi

ABSTRACT

Establishment and Experimental Validation of Flexible Body Model For A Washing Machine Drive Group

Ozan ULE

Department of Mechanical Engineering

Master Thesis

Advisor: Prof. Dr. Rahmi GÜÇLÜ

In this study, it is aimed to establish and experimentally validate the flexible body model of the washing machine drive group. For this purpose, drum and tub groups of the washing machine are modeled in a simulation environment. Flexible body models are obtained considering the first 25 modes of each group. The relationships between these groups are defined and a global flexible body dynamics model is produced by the addition of spring and shock absorber elements. Strains are measured with uniaxial and triaxial rosette type strain gauges from the pre-determined plastic regions over the tub. According to the comparison of the test results and the model results in the simulation environment, it is seen that the region to be taken for measurement should be preferred from the regions that can reflect the real-like design in terms of modeling techniques.

Keywords: Flexible body dynamic, multi body dynamic, strain and stress, strain-gauge, washing machine

1.1 Literatür Özeti

Dayanıklı tüketim malları üretimi yapan tüm firmalar, ürettikleri her bir ürün grubu için Ar-Ge çalışmaları yapmaktadır. Yapılan bu çalışmalar, sektörel rekabet gereği pazarda fark yaratmak amacıyla ya firmaların gizli bilgisi olarak kalıp literatüre katkı vermemekte ya da kısıtlı bilgilerle paylaşılmaktadır. Yapılan literatür incelemesine göre, çamaşır makinesi ile ilgili yapılan çalışmalar, genelde makinedeki bir bileşenin davranışını modellemek üzeredir.

Çamaşır makinesi dinamik davranışının modellenmesi ve dinamik bileşenlerinin testi, Uysal [1] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, çamaşır makinesinde doğru süspansiyon sistemi seçilmesi için dinamik sistem bileşenlerinin matematik modellerinin oluşturulması ve bu sistemin doğru modellenmesi amaçlanmıştır. Sistemin çalışma koşulları belirlenerek, bileşenler, kurulan dinamik test sistemi ile bu koşullara göre test edilmiştir. Kuvvet elemanlarının matematiksel modelleri oluşturulup, tahrik grubu için hareket denklemleri Newton-Euler denklemleri kullanılarak elde edilmiş ve Runge-Kutta sayısal yöntemi ile çözülmüştür.

Çamaşır makinesinin titreşim davranışının optimize edilmesi amacıyla Bayraktar ve Belek [2] tarafından bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, çamaşır makinesini oluşturan bileşenlerden alınan numuneler ile elastisite modülü ve yoğunluk gibi malzeme özellikleri standart tanımlı deneyler ile ölçülmüştür. Gövde saclarının modal davranışı, sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel düzenek ile eşleştirilmiştir. Yay ve sönüm elemanlarının davranışı deneysel yöntemlerle belirlenmiş ve modele aktarılmıştır. Yapılan tasarımsal değişiklikler ile gövde saclarındaki ilk doğal frekans, 26 Hz'den 71 Hz'e ötelenmiştir.

Yatay eksenli bir çamaşır makinesinin dinamik modellenmesi ve titreşim karakteristiklerinin belirlenmesi konulu çalışmada Aktaş [3], titreşim modellerinin elde edilmesini ve 0-1200 devir aralığında analiz edilmesini amaçlamıştır. Kazan grubunun iki ve sekiz serbestlik dereceli matematiksel

modelleri oluşturulmuş ve hareket denklemleri elde edilmiştir. İki serbestlik dereceli hareket denklemleri Simulink ortamında çözdürölüp, sistemin titreşim cevabına ulaşılmıştır. Sekiz serbestlik dereceli hareket denklemleri, Runge-Kutta nümerik analiz metodu kullanılmış ve analiz edilmiştir. Simölasyon ortamındaki modelde yay ve sönüm elemanları tanımlanarak dinamik model hazırlanmıştır. Yay ve sönüm parametrelerinin değıştirilmesi, denge taşı kütlerinin değıştirilmesi ve sisteme dinamik titreşim yutucu eklenmesinin çamaşır makinesi titreşim davranışına etkileri incelenmiştir.

Farklı bir sektörel alanda, ticari yarı römork tanker şasi yorulma dayanımının gerçek yol sinyalleri ile bilgisayar ortamında incelenmesi amacıyla Aksoy [4], yoldan gelen yükleme frekanslarının, araç şasisini tahrik etme durumundan dolayı dinamik yüklemeler altındaki titreşim kaynaklı yorulma durumunu sorgulamıştır. Modal ve statik analizler yapılarak model üzerindeki kritik bölgeler belirlenmiştir. Model çalışmalarında, model derecesi düşürme yöntemi olarak Craig-Bampton metodu kullanılmış ve elde edilen mod sonuçları detaylı bir şekilde paylaşılmıştır. Çalışmada, gerinim ölçer tipleri hakkında bilgi verilmiş ve vonMises cinsinden gerilme sonuçları paylaşılmıştır.

Mitsuishi ve Nagao [5] çamaşır makinelerinde sıkma aşamasını sonlu elemanlar ile modelleyerek sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır. Çamaşır makinesini dönen ve dönmeyen gruplar olarak ikiye ayırmışlardır. Dönmeyen bileşenler için frekans cevabı analizi yapmışlardır. Dönen bileşenler için ise lineer statik yapısal gerilme analizi yapılmıştır. Çamaşırların sıkılması esnasında dengesiz yükün dengeleyicisi rolündeki su için ise hesaplanan kuvvet, modele aktarılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, model sonuçları, test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Frekans cevabı için oldukça benzer sonuçlar elde edilirken, gerilme analizi sonuçlarının deneysel verilere göre daha düşük değörlere sahip olduğu görölmüştür. Bunun sebebi ise kullanılan eleman boyutu ile açıklanmıştır.

Wanger ve diğörleri [6] tarafından yapılan çalışmada Rayleigh Ritz Metodu hakkında bilgi verilmiş ve çamaşır makinesinin modellenmesi açıklanmıştır. Bu model ile çamaşır makinesi gibi çok bileşenli sistemlerde yapılabilecek sadeleştirmeler ve modellemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca bu çalışma

dahilinde sistem için hareket incelenmiş, yer değiştirme ve birim şekil değişimi olarak ayrıntılı ifade edilmiştir.

Çamaşır makinesinin dinamik davranışının incelenmesi amacıyla Öztürk [7], hem analitik hem de bilgisayar destekli mühendislik yazılımlarını kullanarak sayısal yöntemlerle incelemeler yapmıştır. Sayısal çalışmalar, deneysel çalışmalar ile doğrulanmış, çamaşır makinesinin temel dinamiklerinin incelenebileceği bir sayısal model ortaya çıkarılmıştır. Parametrik çalışmalar ile çeşitli bileşenlerin çamaşır makinesi dinamiğine olan katkıları incelenmiştir. Ayrıca Craig-Bampton yöntemi hakkında matematiksel ifadelerle detaylı bilgiler verilmiştir.

Weili ve diğerleri [8] yaptıkları çalışmada çamaşır makinesinde mil ve tambur destek parçası için gerilme durumunu incelemişlerdir. Sıkma programı sırasındaki çamaşır ve suyun oluşturduğu dengesizlik etkisini basitleştirerek eksenden kaçık kütle olarak kabul etmişler ve bu doğrultuda hesaplar yaparak merkezkaç kuvvetini hesaplamışlardır. Bu kuvveti, tambur destek parçasına uygulamışlardır. Motor kayışı gibi parçaların etkisini ihmal ederek, mil için iki rulman ile desteklenecek şekilde sınır şartları vermişlerdir. Çözümlemede statik model kullandıkları için tambur destek parçasında dönme sırasında farklı açılarda oluşabilecek kuvvetleri hesaplamak için analizi farklı açılarda yükleme koşulları ile tekrarlamışlardır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, çamaşır makinesinin dinamik davranışının modellenmesi ve deneysel olarak doğrulanması hedeflenmiştir. Çamaşır makinesi sıkma aşamasında çalışırken, tambur içerisinde yığılmış çamaşırdan kaynaklı oluşan dengesizlik kuvvetinin, kazan plastiğinin arka duvar yapısındaki feder örgüsü üzerine etkileri incelenmiştir.

Söz konusu incelemenin yapılabilmesi için gerekli ekipman ve yöntemlerle, kazan plastiği üzerinden daha önceden belirlenen bölgelerden ölçümler yapılmıştır. Bilgisayar destekli hesaplamalı mühendislik araçlarından elde edilen sonuçlar, test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Test aşamasındaki makine ile birlikte, çamaşırı temsil eden dengesiz kütle, çalışma devri gibi etkenler de aynı şekilde bilgisayar

ortamında modellenmiştir. Test ekipmanları ile ölçülen sonuçlar, yine aynı bölgelerden elde edilen model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Sıkma aşamasında, kazan plastiğinin yüklenme durumu ve bu yük altındaki birim uzama (gerinim), gerilme değerleri incelenmiştir. Test sırasında birim uzama değerlerini ölçmek için gerinimölçer (strain-gauge) kullanılmıştır. Veriler, kazan feder örgüsündeki on farklı bölgeden tek eksenli ve üç eksenli gerinimölçerler ile toplanmıştır. Makine dönme devirlerinin yüksek olması, dengesiz yükün bu dönme ile birlikte her an yönünün değişmesi, feder örgüsünün kompleks ve karmaşık olması gibi sebeplerle verilerin doğru bir şekilde toplanması ve yorumlanması teknik zorluklar içermektedir.

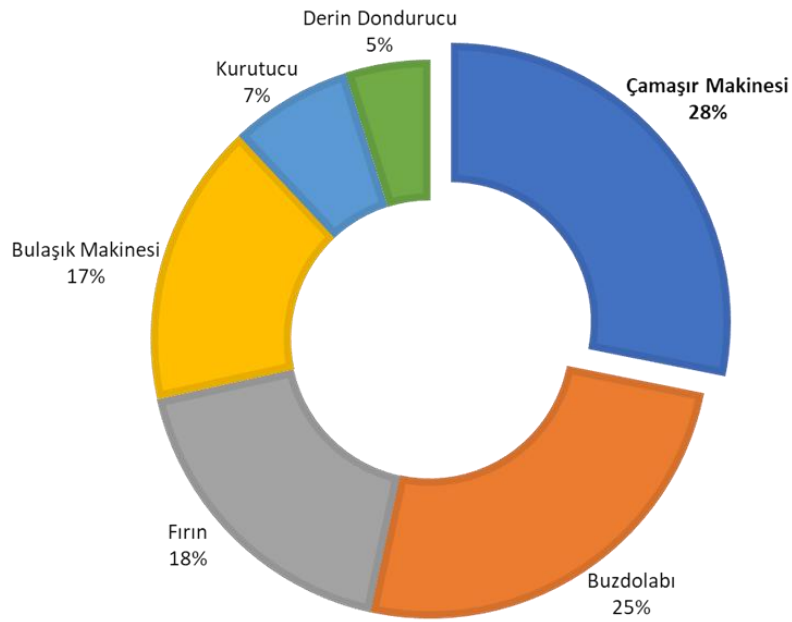
1.3 Hipotez

Çamaşır makinesinin dinamik davranışı, ileri seviye hesaplamalı mühendislik araçları ile simülasyon ortamında modellenenebilir. Sıkma devrinde çalışan makine üzerinden, tekniğe uygun deneysel yöntemlerle gerinim değerleri elde edilebilir. Bu değerler sayesinde bileşenler üzerindeki gerilme dağılımına ulaşılabilir. Simülasyon ortamındaki model ile deneysel yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

2.1 Sektörel Bilgiler

Günümüzde hemen hemen her bireyin elektrikli ev aletleri ya da dayanıklı tüketim malları kapsamına giren beyaz eşya ürünleri ile ilişkisi bulunmaktadır. Buzdolabı, çamaşır makinesi, elektrikli süpürge, tost makinesi, mikser bu ürünlerden bazılarıdır. Son üç yılda yıllık ortalama 25 milyon adedi aşan beyaz eşya üretimi ile Türkiye beyaz eşya sektörü Avrupa’da lider konuma gelerek, yakın geçmişte sektörün liderleri olarak bilinen Almanya ve İtalya’yı geride bırakmıştır. Dünya sıralamasında ise ikinci konumda olup, Çin’i takip etmektedir. Bu özellikleri ile ülke ekonomisinin büyümesine ve ihracata önemli katkılar sağlamaktadır [9].

Ülkemizde 2018 yılında buzdolabı, derin dondurucu, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, fırın ve kurutucu ürünlerinin yer aldığı ana ürün grubunda yaklaşık 28,5 milyon adet ürün üretilmiştir. Bu ürünlerin başında yaklaşık 8 milyon adet üretim ve %28’lik pay ile çamaşır makinesi gelmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 2018 yılı Türkiye’deki beyaz eşya üretim dağılımı

Günümüzde her sektörde olduğu gibi beyaz eşya sektöründe de rekabet üst seviyededir. Gelişen teknoloji ile kullanıcı ihtiyaçları ve beklentileri daha da artmıştır. Kullanıcıların çamaşır makinesinden beklentileri, temizleme performansı, yıkama kapasitesi, enerji tüketimi, ses seviyesi gibi konulardadır. Sektördeki firmalar tarafından, bu konuların her biri için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda yeni tasarımlar, malzemeler, yazılımlar, yöntemler ortaya konularak makine fonksiyonlarının geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmalar test, ölçüm, deney, gözlem gibi yöntemlerle doğrulanmaya ihtiyaç duymaktadır.

Yukarıda bahsedilen süreçlerden geçen yeni ürünlerin, artan rekabet koşullarına bağlı olarak zaman, maliyet ve kalite üçgeninin optimal noktasında üretilerek satışa sunulması hedeflenmektedir. Söz konusu ulaşılması güç hedefleri gerçekleştirmek için, seri üretimin tüm aşamalarında etkisi bulunan tasarım sürecinin etkin bir şekilde ortaya konulması gerekmektedir. Bu sebeplere dayanarak, tasarım süreçlerindeki hedeflere ulaşılmasında bilgisayar destekli mühendislik araçları kullanımının etkisi büyüktür.

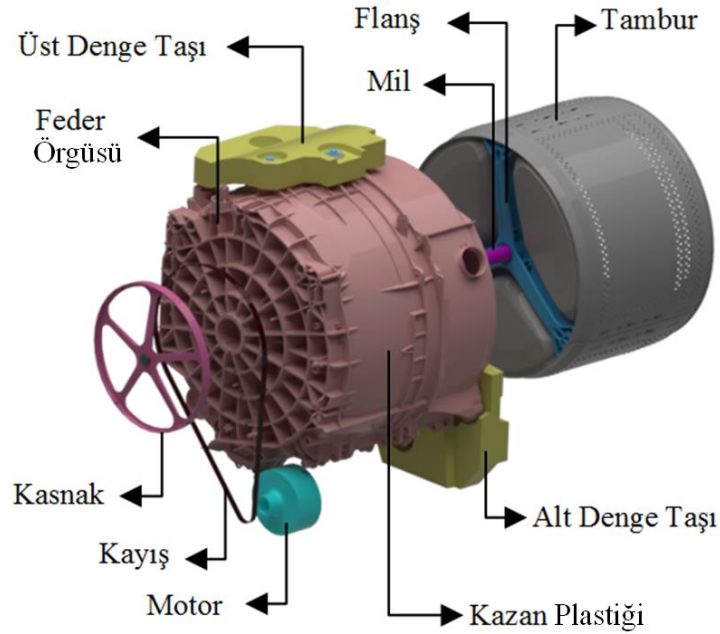
2.2 Çamaşır Makinesi Parçaları ve Çalışma Prensibi

Çamaşır makinesi, çamaşırların temizlenmesi amacıyla kullanılan dayanıklı tüketim eşyasıdır. Önden yüklemeli ve üstten yüklemeli tipleri bulunmaktadır. Üstten yüklemeli çamaşır makineleri genellikle Afrika pazarında tercih edilmektedir. Ülkemizde genellikle önden yüklemeli çamaşır makineleri tercih edilmektedir. Bu tip çamaşır makinelerinde tambur ile kazan iç içe ve zemine paralel olarak konumlandırılır. Çamaşır, tambur içerisine yerleştirilir. Yıkama işlemi kazan içinde gerçekleşir. Tamburun kazan içinde dönmesiyle oluşan hareket sayesinde, çamaşırların karışması ve yıkanması sağlanır.

Çamaşır makinesi, dış gövde sacları, çamaşır yükleme kapağı, körük, deterjan kutusu, program ayarlama ön görsel parçaları, tambur sacı, flanş, mil, kazan plastiği, denge taşları, elektrik motoru, kayış, kasnak, yay, amortisör, ısıtıcı, tahliye pompası ve elektronik bileşenlerden oluşmaktadır.

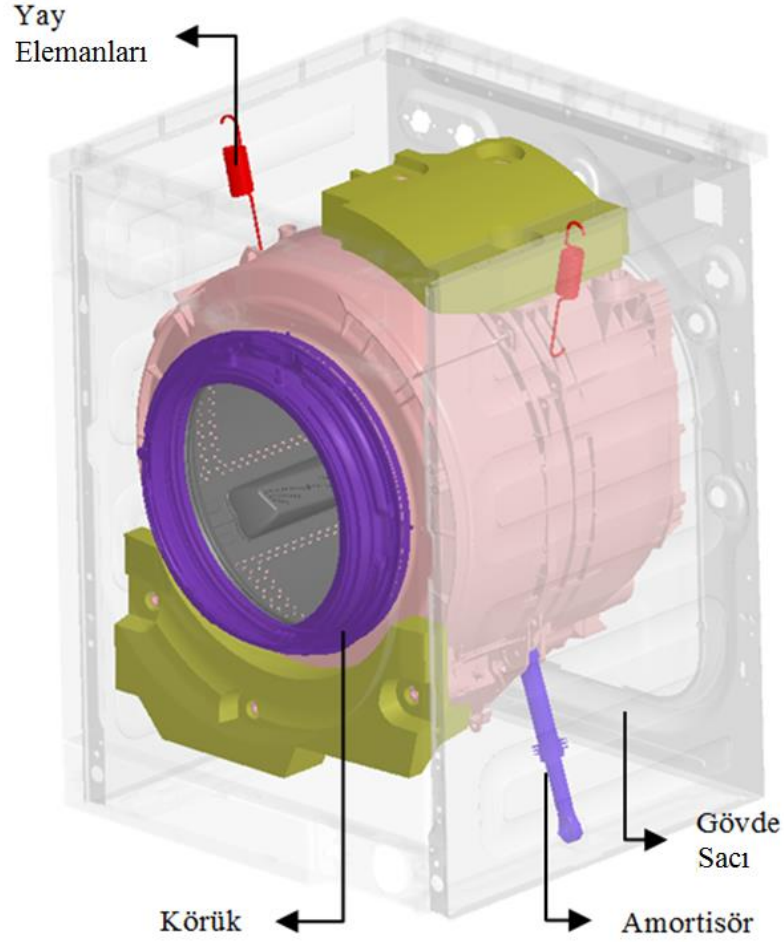
Çamaşır makinesinin dinamik davranışında etkili olan parçaları kazan grubu, tambur grubu, denge taşları, elektrik motoru, yay ve amortisör elemanlarıdır.

Kazan grubu; kazan plastiği, rulman yuvası, rulmanlar, kasnak gibi parçalardan oluşmaktadır. Tambur grubu ise; tambur sacı, flanş ve mil gibi parçalardan oluşmaktadır. Tüm bu elemanların oluşturduğu gruba tahrik grubu adı verilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Tambur grubu ve kazan grubu elemanları

Tambur grubu, kazan grubuna rulman yuvası ve rulmanlar ile yataklanmıştır. Elektrik motoru, tambur grubunu bu yataklama bölgesindeki kayış kasnak mekanizması üzerinden tahrik etmektedir. Tambur grubu, kazan plastiği içerisinde bu tahrik ile dönmektedir. Denge taşları, elektrik motoru, kasnak gibi elemanlar kazan plastiği üzerinde konumlandırılmıştır. Kazan grubunun dış gövde saclarıyla bağlantısı, yay ve amortisör elemanlarıyla sağlanmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Çamaşır makinesi genel görünümü

2.3 Çamaşır Makinesinden Beklentiler

Çamaşır makinesinden en büyük beklentiler, yüksek temizleme performansı, yıkama kapasitesi, maksimum sıkma devri ve düşük enerji tüketimi, gürültü seviyesi gibi konulardadır. Yıkama kapasitesi büyüklüğünün, makine ön yüz boyutlarının uluslararası standartlar gereği belirli ölçülerin üzerine çıkamayacağını düşünürsek, bu özelliği belirleyen ölçü, derinlik ölçüsüdür. Bu sebeple, makineyi oluşturan parçaların boyutu ve makine derinliği eksenindeki konumlandırmaları çok kritiktir.

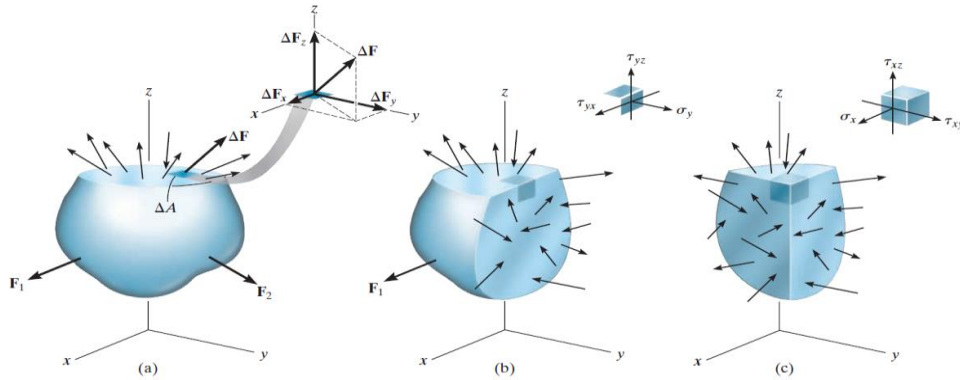
Her bir parçanın tasarımı ve konumu, makine kapasitesini olabilecek en üst değere çıkarmak üzere belirlenmektedir. Tüm bu özelliklerin yanı sıra maliyet de her zaman en önemli değerlendirme başlıklarından biridir. Kısacası, en yüksek kapasiteye olabilecek en az maliyetli çözümlerle ulaşmak hedeflenmektedir.

The diagram shows a square frame rotating with angular velocity ω around a vertical axis. Inside the frame, a blue rectangular mass is connected to the bottom-left corner by a spring with spring constant k . The mass is labeled "Dengesiz Kütle" (Unbalanced Mass). The spring is labeled "Feder Örgüsü" (Spring Structure). The frame is shown in a cross-section with a grey inner wall and an orange outer wall. The rotation axis is indicated by a vertical arrow at the top right.

9

3.1 Gerilme ve Gerinim İlişkisi

Dış kuvvetler ve momentler etkisinde Şekil 3.1’de gösterildiği gibi bir cisim düşünelim. Bu cismin malzemesinin, içinde herhangi bir boşluk bulunmayan, sürekli bir malzeme olduğu kabul edilmiştir. Cisimden alınan bir kesit üzerindeki sonsuz küçük bir ΔA alanı öngörürsek ve bu sonsuz küçük ΔA alanı üzerindeki kuvvet ΔF ile gösterilsin. ΔA sıfıra yaklaştıkça, kuvvet bileşenleri de (ΔF_x , ΔF_y , ΔF_z) sıfıra yaklaşır fakat kuvvetin alana olan bölümü genelde sonlu bir değere yaklaşır. Bu bölüm değerine, gerilme adı verilir ve özel bir düzlem üzerindeki herhangi bir noktadaki iç kuvvet yoğunluğu olarak tanımlanır [10].



Şekil 3.1 Dış kuvvetler ve moment etkisindeki cisim ve kesitleri [10]

ΔA alanı üzerine normal yönde etkiyen kuvvet yoğunluğuna normal gerilme denir. Yüzeye etki eden normal kuvvet ΔF_z olduğu durumda, normal gerilme σ_z Denklem 3.1’deki gibi hesaplanır.

$$\sigma_z = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta F_z}{\Delta A} \right) \quad (3.1)$$

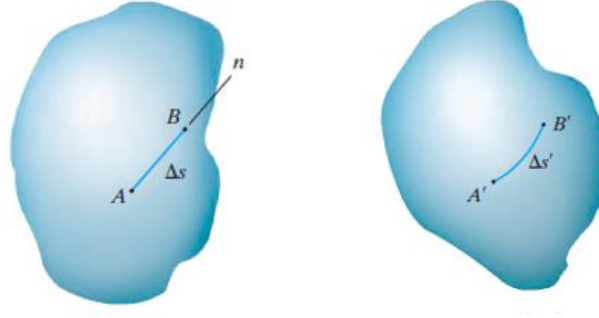
ΔA alanı üzerine teğet yönlerdeki etkiyen kuvvet yoğunluğuna kayma gerilmesi denir. Kayma gerilmesi bileşenleri Denklem 3.2 ve 3.3’de ifade edilmiştir.

$$\tau_{zx} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta F_x}{\Delta A} \right) \quad (3.2)$$

$$\tau_{zy} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta F_y}{\Delta A} \right) \quad (3.3)$$

Bir cismin deformasyonunu, cisim içindeki herhangi iki nokta arasında çizilen çizgi dilimlerinin boyundaki ve aralarındaki açılardaki değişiklik ile tarif etmek için gerinim ifadesini tanımlamak gerekir. Gerinim, genelde deneylerle ölçülebilmektedir.

Deforme olmamış bir cisimdeki A ve B noktaları arasındaki çizgi dilimi, Δs uzunluğundadır. Bu cisim deforme olduğunda A ve B noktaları sırasıyla A' ve B' noktalarına kayar ve iki nokta aradaki çizgi dilimi $\Delta s'$ uzunluğunda olur (Şekil 3.2). Çizgi dilimi boyundaki değişiklik $\Delta s' - \Delta s$ dir. Ortalama normal gerinimi ϵ_{ort} ile gösterirsek; bu değer Denklem 3.4'deki gibi hesaplanabilir.



Şekil 3.2 Deforme olmuş ve deforme olmamış cisim [10]

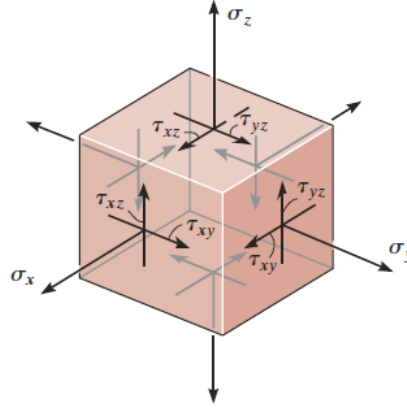
$$\epsilon_{ort} = \frac{\Delta s' - \Delta s}{\Delta s} \quad (3.4)$$

B noktası, A noktasına çok yakın seçilir ise bu nokta arasındaki çizginin boyu oldukça kısalmış ve Δs sıfıra yaklaşır. Bu aynı zamanda B' noktasının da A' noktasına yaklaşmasına ve sonuç olarak $\Delta s'$ değerinin de sıfıra yaklaşmasına sebep olur. Bunun neticesinde n yönünde ve A noktasındaki normal gerinim değerinin limiti Denklem 3.5'deki gibi bulunur.

$$\epsilon = \lim_{B \rightarrow A \text{ n yönünde}} \frac{\Delta s' - \Delta s}{\Delta s} \quad (3.5)$$

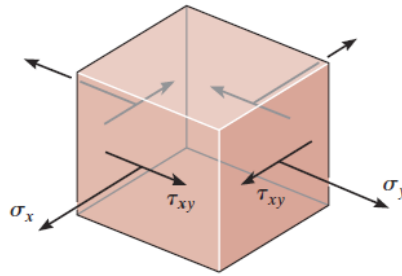
3.2 Düzlemsel Gerilme

Bir cisim üzerindeki bütün gerilmeler en genel haliyle Şekil 3.3'de gösterildiği gibidir. Bununla birlikte, mühendislik hesaplamalarında bazı kolaylıklar için daha özel durumlar incelenebilir.



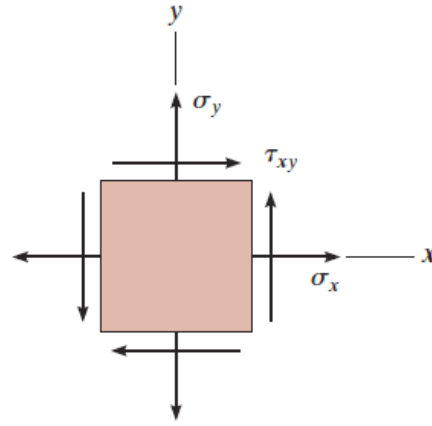
Şekil 3.3 Cisim üzerindeki gerilmeler [10]

Örneğin, Şekil 3.4'de görüldüğü gibi cismin bir düzlemi üzerinde normal gerilme olmadığını düşünürsek bu özelleşmiş bir hal olur ve düzlemsel gerilme (iki boyutlu gerilme) olarak adlandırılır. Bu durumda, genel halde 3x3 boyutunda olan gerilme tensörü, 2x2 boyutuna indirgenebilir.



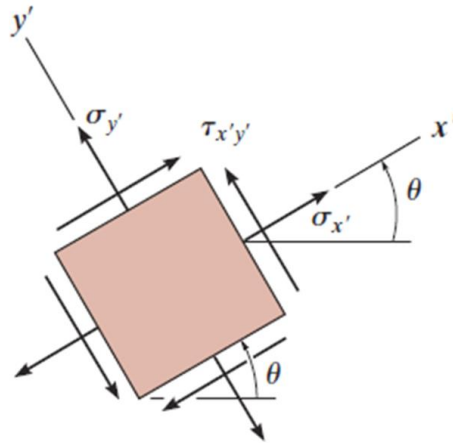
Şekil 3.4 Düzlemsel gerilme hali [10]

Bir noktadaki düzlemsel gerilmenin genel hali, iki normal yönde gerilme bileşeni σ_x ve σ_y ve bir kayma yönünde gerilme bileşeni τ_{xy} ile ifade edilebilir. Bu genel hal, Şekil 3.5'deki x-y düzlemi ile gösterilmiştir.



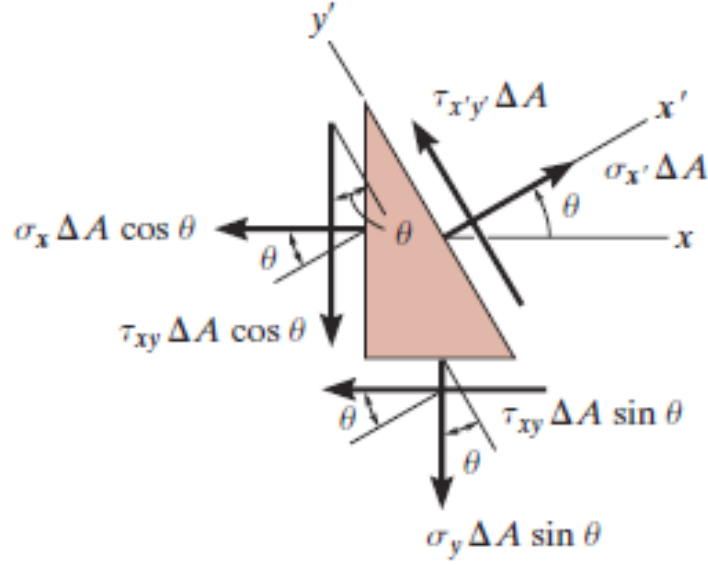
Şekil 3.5 Düzlemsel gerilme genel hali [10]

Şekil 3.6'daki gibi θ açısı kadar x ekseninde döndürülmüş bir eleman için gerilmenin genel halini ifade etmeye çalışırsak $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$ ve $\tau_{x'y'}$ bileşenlerine ihtiyaç olur.



Şekil 3.6 θ Açısı kadar döndürülmüş eleman [10]

$\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$ ve $\tau_{x'y'}$ bileşenlerini σ_x , σ_y ve τ_{xy} cinsinden bulabilmek için Şekil 3.7'deki dilimin serbest cisim diyagramını oluşturmak ve kuvvet dengelerini yazmak gerekmektedir.



Şekil 3.7 Serbest cisim diyagramı [10]

x yönündeki kuvvet dengesi yazıldığında $\sigma_{x'}$ gerilmesi Denklem 3.6'da gösterildiği gibi elde edilir.

$$\sigma_{x'} = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + \tau_{xy}(2 \sin \theta \cos \theta) \quad (3.6)$$

y yönünde kuvvet dengesi yazıldığında $\tau_{x'y'}$ gerilmesi Denklem 3.7'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$\tau_{x'y'} = (\sigma_y - \sigma_x) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy}(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (3.7)$$

Denklem 3.6 ve Denklem 3.7 ifadelerinde trigonometrik dönüşümler yapıldığında Denklem 3.8 ve Denklem 3.9'a ulaşılır.

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy}(\sin 2\theta) \quad (3.8)$$

$$\tau_{x'y'} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta \quad (3.9)$$

y yönündeki normal gerilme de Denklem 3.8'de θ yerine $(\theta + 90)$ yazılarak Denklem 3.10'da olduğu gibi elde edilir.

$$\sigma_{y'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} (\sin 2\theta) \quad (3.10)$$

$\sigma_{x'}$ ve $\tau_{x'y'}$ değerleri Denklem 3.8 ve Denklem 3.9'da görüldüğü gibi θ açısına bağlıdır. Mühendislik uygulamalarında genelde normal gerilme değerinin en yüksek ve en düşük olduğu θ açısını bulmak ve asal gerilme değerlerini elde etmek önemlidir. Denklem 3.8'in θ 'ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde, asal gerilme değerlerinin elde edildiği θ_p açısının trigonometrik ifadesi Denklem 3.11'de gösterildiği gibi elde edilir. Bu eşitliği sağlayan iki kök değeri vardır.

$$\tan 2\theta_p = \frac{\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)/2} \quad (3.11)$$

Bu kök değerleri ve buna bağlı trigonometrik ifadeler Denklem 3.8'de yerine yazıldığında Denklem 3.12'de verilen asal gerilme ifadelerine ulaşılmış olur.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (3.12)$$

3.3 Maksimum Çarpılma Enerjisi Teorisi

Bir cisim üzerine dışarıdan bir etki yapıldığında cisim deforme olur ve hacmi içerisinde bir enerji depolar. Birim hacimde depolanan bu enerjiye, gerinim enerjisi yoğunluğu adı verilir ve eğer cisim tek eksenli bir gerilme altında ise bu gerinim enerji yoğunluğu Denklem 3.13'de olduğu gibi ifade edilir.

$$u = \frac{1}{2} \sigma \epsilon \quad (3.13)$$

Eğer cisim üç eksenli bir gerilme altında ise her asal gerilme toplam gerinim enerjisi yoğunluğuna katkıda bulunur. Toplam gerinim enerjisi yoğunluğu Denklem 3.14'deki hale gelir.

$$u = \frac{1}{2} \sigma_1 \epsilon_1 + \frac{1}{2} \sigma_2 \epsilon_2 + \frac{1}{2} \sigma_3 \epsilon_3 \quad (3.14)$$

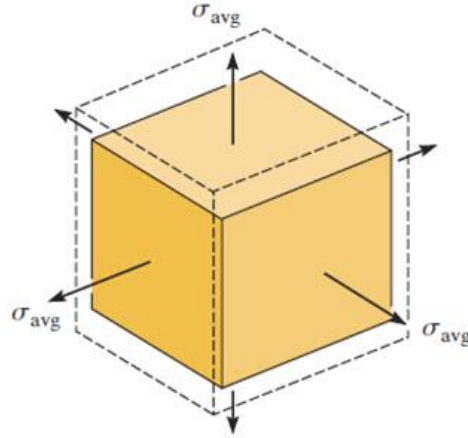
Bununla birlikte eğer malzeme lineer elastik bir davranış gösteriyorsa Denklem 3.15'de gösterilen Hooke Yasası uygulanabilir hale gelir.

$$\begin{aligned}
\epsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] \\
\epsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)] \\
\epsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)]
\end{aligned} \tag{3.15}$$

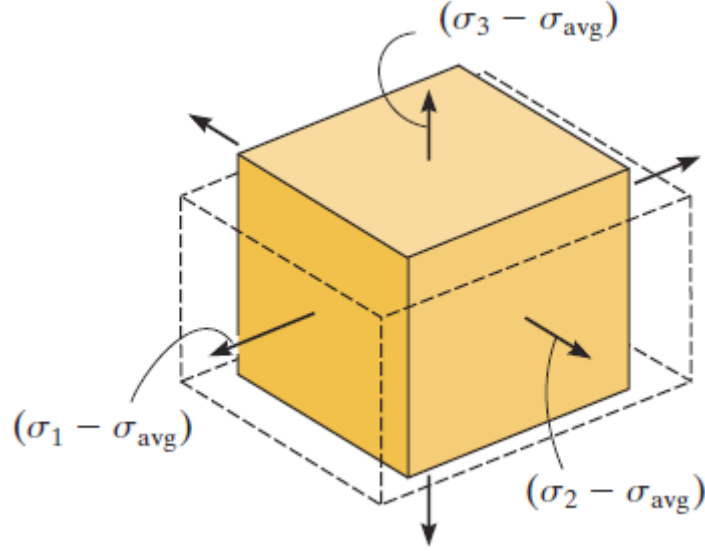
Denklem 3.15'deki ifadeler, Denklem 3.14'de yerine yazılırsa, gerinim enerjisi yoğunluğu, Denklem 3.16'daki gibi elde edilir.

$$u = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3\sigma_2)] \tag{3.16}$$

Denklem 3.16'daki gerinim enerjisi yoğunluğu iki farklı enerji ifadesinin toplamı şeklinde belirtilebilir. İlki, Şekil 3.8'de gösterildiği gibi cismin hacmini değiştiren fakat şeklini değiştirmeyen enerji; ikincisi ise Şekil 3.9'da gösterildiği gibi cismi çarpılmaya zorlayan enerjidir.



Şekil 3.8 Şekli değişmeden hacmi değişen cisim [10]



Şekil 3.9 Hacmi değişmeden çarpılmaya uğrayan cisim [10]

Cisim üzerindeki ortalama asal gerilme, eşit asal gerinimlere sebep olur. Bu ortalama asal gerilme değeri, σ_{ort} ile ifade edilebilir. Bu ortalama gerilme değeri ifadesi Denklem 3.17’de verilmiştir. Gerilmenin kalan kısmı, cismin çarpılmasına sebep olmaktadır. Çarpılmaya sebep olan gerilme, $(\sigma_1 - \sigma_{ort})$, $(\sigma_2 - \sigma_{ort})$, $(\sigma_3 - \sigma_{ort})$ değerleri ile ifade edilir.

$$\sigma_{ort} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \quad (3.17)$$

Deneyler ortaya çıkarmıştır ki σ_{ort} düzenli gerilmesine maruz kalan malzemeler, akma davranışı göstermemektedir. Bunun sonucu olarak, 1904’de M.Huber’in öngördüğü üzere, sünek bir malzemenin birim hacimdeki çarpılma enerjisi, basit bir gerilme testi altındaki malzemenin birim hacimdeki çarpılma enerjisine eşit veya onun üzerinde olduğunda malzeme akmaktadır. Bu teoriye Maksimum Çarpılma Enerjisi Teorisi denir.

Birim hacimdeki çarpılmayı elde etmek için $(\sigma_1 - \sigma_{ort})$, $(\sigma_2 - \sigma_{ort})$, $(\sigma_3 - \sigma_{ort})$ değerleri sırasıyla σ_1 , σ_2 ve σ_3 ün yerine konur. Ortalama gerilmenin de, Denklem 3.17’deki hali hesaba katılıp, Denklem 3.16 açılır ve basitleştirilirse Denklem 3.18’e ulaşılır.

$$u_d = \frac{1 + \nu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (3.18)$$

Düzlemsel gerilme halinde σ_3 sıfır olur ve Denklem 3.18, Denklem 3.19'daki hale gelir.

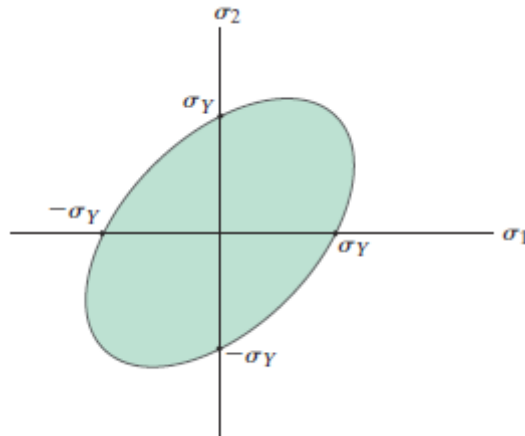
$$u_d = \frac{1 + \nu}{3E} (\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2) \quad (3.19)$$

Tek eksenli çekme testinde $\sigma_1 = \sigma_Y$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ olur ve gerinim enerji yoğunluğu Denklem 3.20'deki gibi olur.

$$(u_d)_Y = \frac{1 + \nu}{3E} \sigma_Y^2 \quad (3.20)$$

Maksimum Çarpılma Enerjisi Teorisi'ne göre, $u_d = (u_d)_Y$ dir. Düzlemsel gerilme durumu için Denklem 3.21 elde edilir. Bu bir elips denklemdir. Eğer malzeme üzerindeki bir nokta, Şekil 3.10'da gösterildiği gibi bu elipsin sınırında veya dışında ise malzeme akmaktadır.

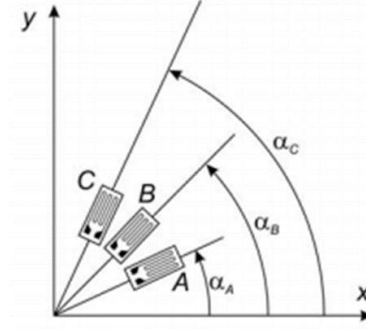
$$\sigma_Y^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 \quad (3.21)$$



Şekil 3.10 Düzlemsel gerilme halinde maksimum çarpılma enerjisi teorisi diyagramı [10]

3.4 45 Derece Rozet Tip Gerinim Ölçer Denklemleri

Bu çalışmada, 45 derece rozet tip gerinim ölçerler kullanılmıştır. Üç eksenli rozet tip gerinim ölçerler için genelleştirilmiş gerinim denklemleri (Denklem 3.22) ve gösterimi (Şekil 3.11) aşağıdaki gibidir [11].

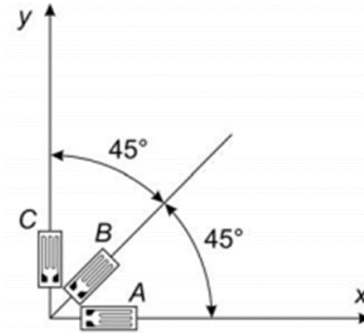


Şekil 3.11 Üç adet gerinim ölçer genel gösterimi

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_A &= \varepsilon_{xx} \cos^2 \alpha_A + \varepsilon_{yy} \sin^2 \alpha_A + \gamma_{xy} \cos \alpha_A \sin \alpha_A \\
 \varepsilon_B &= \varepsilon_{xx} \cos^2 \alpha_B + \varepsilon_{yy} \sin^2 \alpha_B + \gamma_{xy} \cos \alpha_B \sin \alpha_B \\
 \varepsilon_C &= \varepsilon_{xx} \cos^2 \alpha_C + \varepsilon_{yy} \sin^2 \alpha_C + \gamma_{xy} \cos \alpha_C \sin \alpha_C
 \end{aligned} \tag{3.22}$$

45 derecelik rozet (Şekil 3.12) için aşağıdaki açı değerleri genelleştirilmiş denklemlerde yerine yazılırsa; Denklem 3.23'e ulaşılır.

$$\begin{aligned}
 \alpha_A &= 0^\circ, & \alpha_B &= 45^\circ, & \alpha_C &= 90^\circ \\
 \cos \alpha_A &= 1, & \cos \alpha_B &= 0.707, & \cos \alpha_C &= 0 \\
 \sin \alpha_A &= 0, & \sin \alpha_B &= 0.707, & \sin \alpha_C &= 1
 \end{aligned}$$



Şekil 3.12 45 derecelik rozet tip gerinim ölçer gösterimi

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_A &= \varepsilon_{xx} \\
 \varepsilon_B &= \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \gamma_{xy}) \\
 \varepsilon_C &= \varepsilon_{yy}
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

Bu ifadeler Denklem 3.24'de olduğu gibi tekrardan düzenlenebilir.

$$\varepsilon_{xx} = \varepsilon_A$$

$$\varepsilon_{yy} = \varepsilon_C \quad (3.24)$$

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_B - \varepsilon_A - \varepsilon_C$$

Asal gerinim değerleri ise (Denklem 3.25);

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) + \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + \gamma_{xy}^2} \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) - \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + \gamma_{xy}^2} \end{aligned} \quad (3.25)$$

şeklindedir. Asal gerinimler ile asal gerilmeler arasındaki ilişki (Denklem 3.26);

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E}{1 - \nu^2}(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1 - \nu^2}(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) \end{aligned} \quad (3.26)$$

şeklindedir. Asal gerilme değerlerinden vonMises gerilmesi Denklem 3.27'deki gibi hesaplanır.

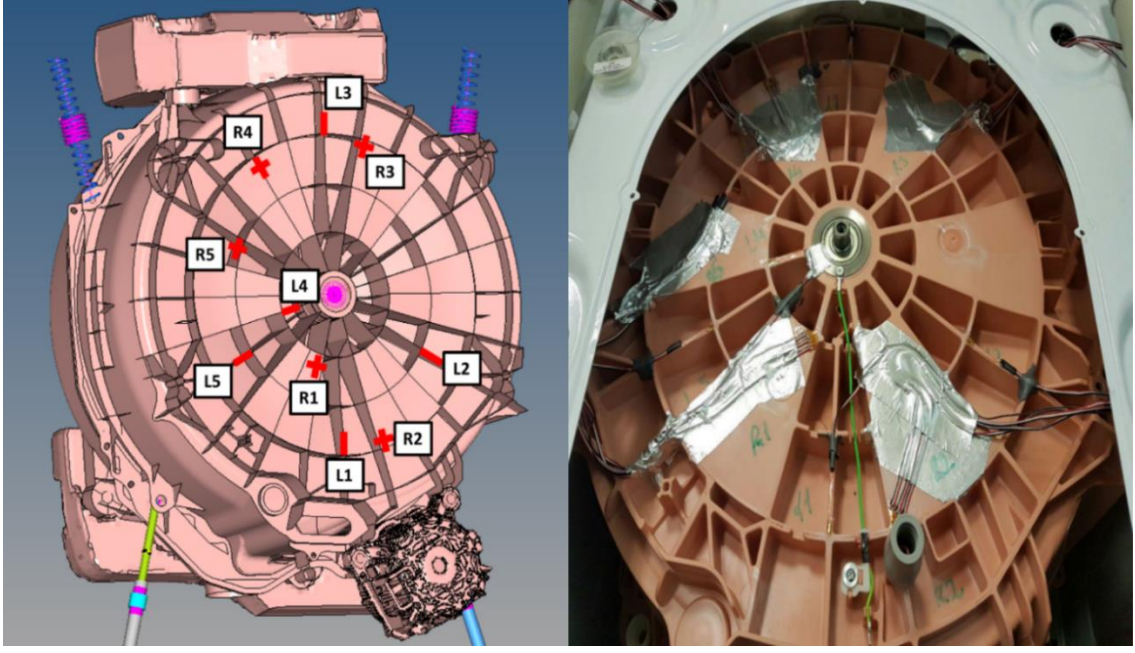
$$\sigma_{\text{vonMises}} = \left| \sqrt{(\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2)} \right| \quad (3.27)$$

4.1 Deneyin Tarifi

Çamaşır makinesinin sıkma devirlerinde çalışma sırasında, çamaşırların kütlesinden ve bu kütlenin dönmesinden kaynaklı kuvvetlerin, kazan plastiği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla kazan plastiği üzerinden daha önceden belirlenen bölgelerden gerinim ölçerler ile ölçümler toplanmıştır. Deney sırasında, 6 kg kapasiteli ve 1200 d/d sıkma programlı çamaşır makinesi kullanılmıştır.

Temel olarak gerinim ölçerler, esneyebilen bir tabaka üzerine ince bir telin veya şeridin çok kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmasıyla uygulanır. Üzerindeki yükün etkisinden dolayı tabakanın esnemesi, iletken şeridin de gerilerek uzamasına sebep olacaktır. Bu uzama esnasında, telin boyu uzayarak kesiti azalacaktır. İletkenlerin kesitindeki değişim, direncinde de değişime sebep olmaktadır. Ölçümler, bu direnç ve elektriksel değişim tespiti ile yapılabilmektedir [12].

Ölçümlerde, beş adet tek eksenli gerinim ölçer ve beş adet üç eksenli rozet tip gerinim ölçer ile bir adet 44 kanallı veri toplama sistemi kullanılmıştır. Tüm kanallar 500 Hz ile örneklenmiştir. Tek eksenli gerinim ölçerler Vishay C2A-06-062LW-350, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerler Vishay CEA-06-062UR-350 modelidir. Gerinim ölçerler, gerekli yapıştırıcı, koruyucu malzemeler, uygun yöntem ve tekniklerle önceden belirlenen bölgelere uygulanmıştır. Tek eksenli gerinim ölçer bölgeleri “L” harfi ile, üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri “R” harfi ile belirtilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Feder örgüsündeki tek eksenli ve üç eksenli gerinim ölçer bölgeleri ve uygulaması

Tek eksenli gerinim ölçerden elde edilen sonuçlar, simülasyon ortamında yine aynı bölge ve eksenlerden okunan birim uzama değerleri ile karşılaştırılmıştır. Üç eksenli gerinim ölçerden toplanan birim uzama değerleri, gerekli denklemler ile dönüşümler yapılarak vonMises gerilme değerine çevrilmiştir. Bu değerler ile simülasyon ortamında aynı bölgelerden okunan vonMises gerilme değerleri karşılaştırılacaktır.

Uygulanan yükün değişken, ölçüm yapılacak bölgenin de böylesine kompleks olduğu durumlarda, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerler kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu çalışmada, beş bölgede tek eksenli gerinim ölçerler ile ölçüm yapılmasının sebebi, tercih edilen bölgeler için asal uzama yönünün tahmin edilmesi ve bu kompleks durumda elde edilen sonuçlar için korelasyon sorgulaması yapılmak istenmesidir. Tek eksenli gerinim ölçerden elde edilen sonuçlar ile simülasyon ortamındaki modelin sensör eksenini ile çakışık ekseninden okunacak birim uzama değerleri karşılaştırılacaktır. Üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgelerinden elde edilen birim uzama sonuçları, vonMises gerilme tipine dönüştürülecektir. Sonuçlar, simülasyon ortamındaki modelde aynı bölgelerdeki vonMises tipi gerilme sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

Ölçümlerde, sıkma aşamasında tambur sacına yığılan çamaşırı temsil etmesi amacıyla lastik blok kullanılmıştır. Çamaşır makinesi sadece sıkma programında çalıştırılmış ve veriler toplanmıştır. Simülasyon ortamındaki model ile karşılaştırılacak sonuçlar, en yüksek devir olan sıkma anındaki, kararlı rejim sonuçlarıdır.

4.2 Deneyin Uygulanması

Tek eksenli ve üç eksenli rozet tip gerinim ölçerler, kendi plakaları ile hazır olarak temin edilen ekipmanlardır. Bu plakanın, uygulanacağı yüzeye daha iyi yapışması amacıyla yüzey üzerinde kasıtlı olarak tahribat yaratılır. Bu tahribat genellikle ince bir zımpara ile gerçekleştirilir.

Kazan plastiğinin sensör uygulaması yapılacak daha önceden belirlenen bölgelerinde ince zımpara ile tahribat yaratıldıktan sonra, sensör plakalı uygun rotasyonla istenen bölgelere konumlandırılmıştır. Uygun yapıştırıcı ve koruyucu maddelerle sensör plakalarının, kazan plastiği üzerine sabitlenmesi sağlanmıştır. Tek eksenli gerinim ölçerler için iki ayaklı, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerler için altı ayaklı lehimleme ile sensörler ile veri toplama sistemi arasındaki bağlantı sağlanmıştır (Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5).



Şekil 4.2 L4 ve L5 bölgeleri tek eksenli gerinim ölçer uygulaması



Şekil 4.3 R1 ve R2 bölgeleri üç eksenli rozet tip gerinim ölçer uygulaması



Şekil 4.4 R3 ve R4 bölgeleri üç eksenli rozet tip gerinim ölçer uygulaması



Şekil 4.5 R5 bölgesi üç eksenli rozet tip gerinim ölçer uygulaması

Yapılan kablolamanın, kazan plastiği üzerine konumlanacak kasnağa engel olmaması amacıyla kablolar, kazan plastiği üzerine sabitlenmiştir. Kasnağın rulman yuvası bölgesinde gruplanmasının ardından kayış, elektrik motoru ile kasnak arasına gerilmiştir. Bu işlemlerin tamamlanmasıyla sensör ekipmanları uygulaması yapılmış ve çamaşır makinesi tekrar gruplanmış olur (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Sensör ekipmanları uygulaması yapılmış ve tekrar gruplanmış çamaşır makinesi

4.3 Deney Yükleme Senaryoları

Ölçümlerde, sıkma aşamasında tambura yığılan çamaşırı temsil etmesi amacıyla 800 ve 1200 gram kütleli lastik bloklar kullanılmıştır (Şekil 4.7). Sıkma devri olarak 600 d/d, 800 d/d ve 1200 d/d seçilmiştir. Yükleme senaryoları, numaraları ve koşulları Tablo 4.1’de tanımlanmıştır.

Tablo 4.1 Yükleme senaryoları

Senaryo Adı	Dengesiz Kütle [g]	Sıkma Devri [d/d]
S1	800	600
S2	800	800
S3	800	1200
S4	1200	600
S5	1200	800
S6	1200	1200



Şekil 4.7 Lastik blok

Çamaşır makinelerinde, çamaşır makinesi bileşenlerinin ömrünü artırmak ve ani oluşabilecek yükleri engellemek amacıyla dengesiz yük algılama özelliği bulunmaktadır. Bu özellik sayesinde makine, içerisindeki çamaşırın belli bir bölgeye yığılmasından kaynaklı dengesizliği algılayarak, sıkma programında tercih edilen sıkma devrini, ihtiyaç tespit ettiği durumlarda belirli sınıflandırmalara göre düşürmektedir. Deneyde uygulanan yükleme senaryolarına göre makinede görülen gerçek sıkma devirleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Bu gerçek sıkma devirlerine, deney sonucunda elde edilen verilerin frekans değerlerine göre ulaşılmıştır.

Tablo 4.2 Gerçek sıkma devirleri

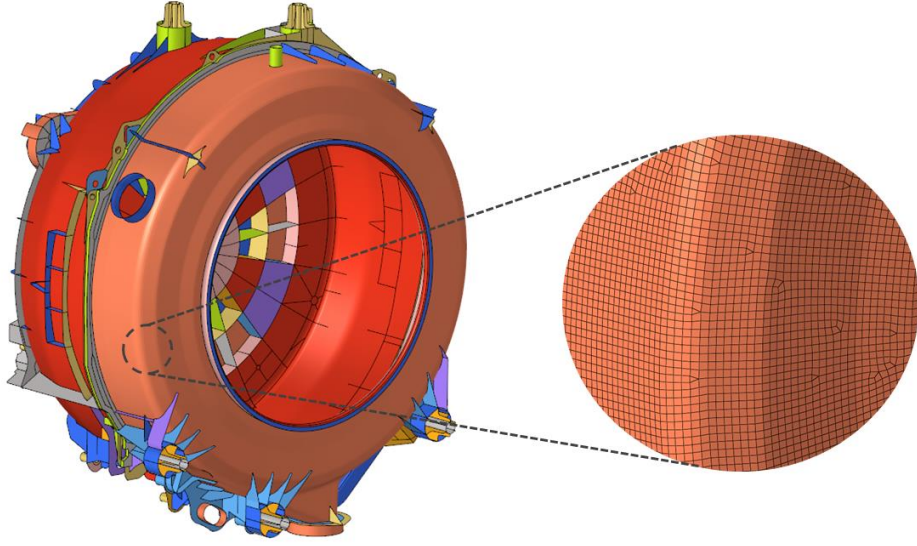
Senaryo Adı	Sıkma Devri [d/d]	Gerçek Sıkma Devri [d/d]
S1	600	612
S2	800	816
S3	1200	1020
S4	600	612
S5	800	815
S6	1200	1132

5.1 Bileşenlerin Modellenmesi

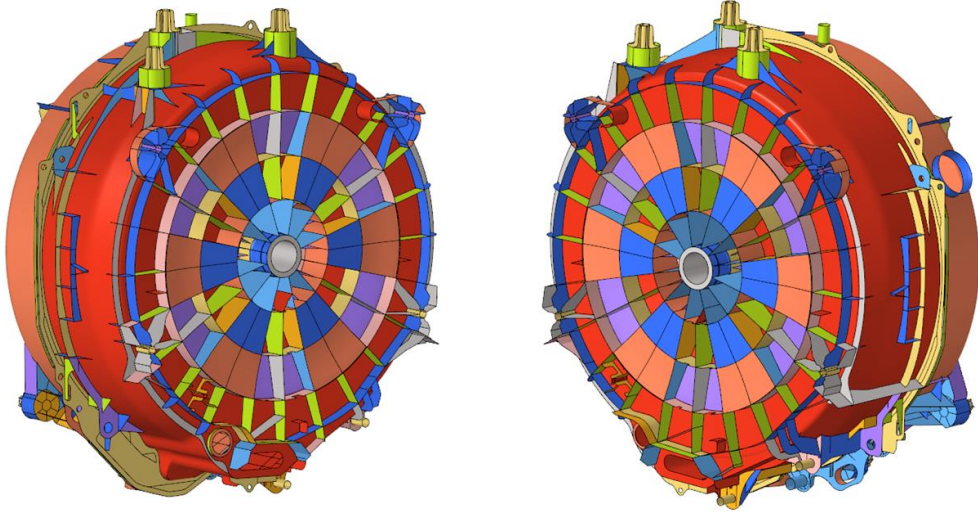
Bu çalışmada kullanılan hesaplamalı mühendislik araçları, HyperWorks paket programı ve alt modülleridir. Simülasyon ortamındaki model, HyperMesh programında hazırlanmıştır. Modelin hazırlanabilmesi amacıyla, deney çalışmalarında üzerinden ölçümler alınan 6 kg kapasiteli ve 1200 d/d sıkma programlı çamaşır makinesine ait üç boyutlu tasarım dataları Arçelik A.Ş. Çamaşır Makinesi İşletmesi'nden temin edilmiştir.

Modelde, tambur ve kazan plastiği dataları üzerinde gerekli sadeleştirmeler yapılmış ve tekniğe uygun bir biçimde orta yüzeyleri elde edilmiştir. Bu bileşenler, iki boyutlu kabuk elemanlarla modellenmiştir. Kabuk elemanlar genellikle, kalınlık boyutunun diğer boyutlardan önemli ölçüde daha küçük olduğu ve kalınlık yönündeki gerilmelerin ihmal edilebildiği yapıları modellemek için kullanılır. Kalınlığı, diğer boyutlarının 1/10'undan küçük olan parçaları bu şekilde modellemek [13] daha uygundur.

Modeli hazırlarken birinci dereceden, üç düğüm noktalı (CTRIA3) ve dört düğüm noktalı (CQUAD4) kabuk elemanlar kullanılmıştır [14]. Tambur grubundan tambur sacı, kazan grubundan ise kazan plastiği kabuk elemanlarla modellenmiştir (Şekil 5.1, 5.3). Her bir bölgedeki farklı et kalınlıkları, kabuk elemanlara tanımlanmıştır (Şekil 5.2). Bu tanımlamanın yapılmasıyla, modellemede kullanılan elemanlar iki boyutlu kabuk elemanlar olmasına rağmen gerçek tasarımı temsil edecek üçüncü boyut da tariflenmiş olur. Üçüncü boyutu elde etmemizi sağlayan et kalınlığı ölçüsü, simülasyon ortamında yapılan ayarlama ile orta yüzeyi referans alacak şekilde, 5 sıra elemanla temsil edilmiştir.



Şekil 5.1 Modellenmiş kazan plastiği ve ağ örgüsü detay görünümü

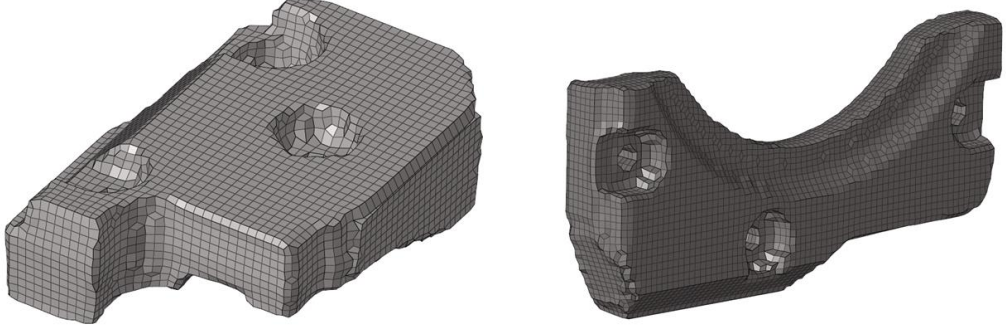


Şekil 5.2 Kazan plastiğindeki farklı et kalınlıklarının gösterimi

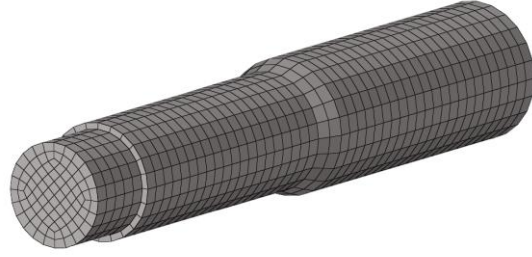


Şekil 5.3 Modellenmiş tambur sacı

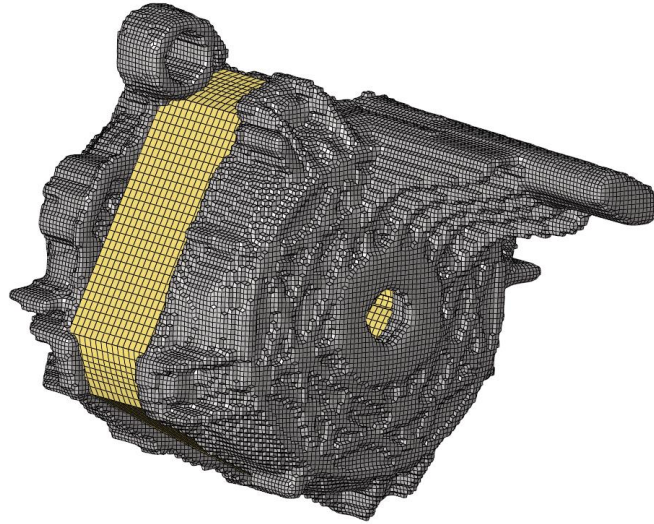
Tambur grubundan flanş, birinci dereceden, 4 düğüm noktalı, 4 yüzlü (CTETRA) katı elemanlarla; mil ise kazan grubundan denge taşları ve motor ile birlikte, birinci dereceden, 8 düğüm noktalı, 6 yüzlü (CHEXA) katı elemanlarla modellenmiştir (Şekil 5.4, 5.5, 5.6, 5.7).



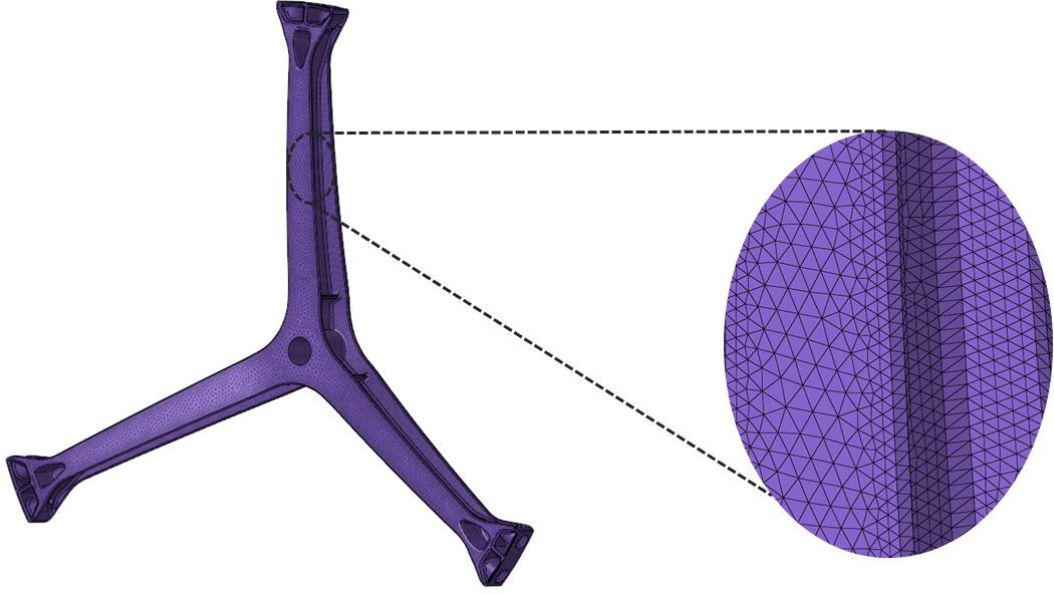
Şekil 5.4 Modellenmiş alt ve üst denge taşları



Şekil 5.5 Modellenmiş mil

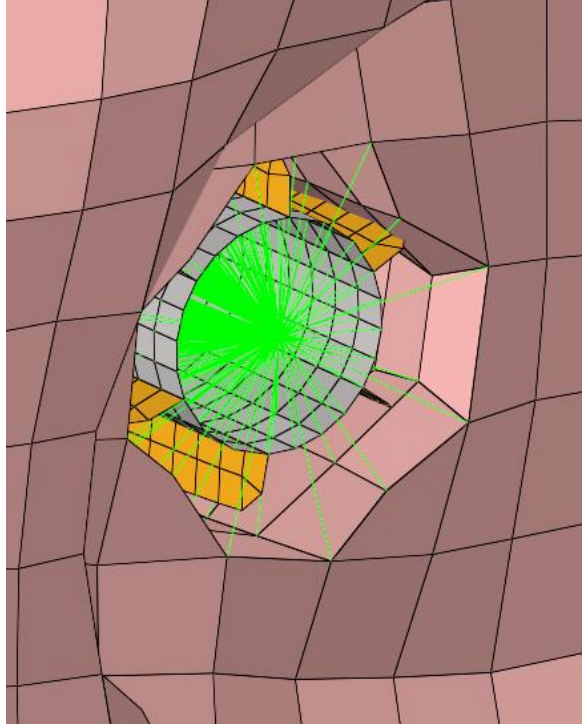


Şekil 5.6 Modellenmiş elektrik motoru



Şekil 5.7 Modellenmiş flans ve ağ örgüsü detay görünümü

Vidalar, bir boyutlu (RBE2) rijit elemanlarla modellenmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Bir boyutlu elemanlarla modellenmiş denge taşı ve kazan plastiği arasındaki vida

Kabuk ve katı elemanlarla modellenmiş tambur ve kazan grubu bileşenlerinin, modelleme detayları Tablo 5.1'deki gibidir.

Tablo 5.1 Bileşenlerin modelleme detayları

	Bileşen Adı	Eleman Tipi	Eleman Cinsi	Eleman Sayısı
Tambur Grubu	Tambur Sacı	3 ve 4 düğüm noktalı	Kabuk	64674
	Flanş	4 düğüm noktalı	Katı	155210
	Mil	8 düğüm noktalı	Katı	5280
Kazan Grubu	Kazan Plastiği	3 ve 4 düğüm noktalı	Kabuk	234224
	Denge Taşları	8 düğüm noktalı	Katı	36283
	Elektrik Motoru	8 düğüm noktalı	Katı	106034

5.2 Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

Bilgisayar destekli hesaplamalı mühendislik araçları kullanılırken, hedeflenen konuda doğru sonucun elde edilmesi için bileşenlerin modellenmesi kadar bileşenlerin malzeme özelliklerinin amaca uygun bir şekilde tanımlanması da önemlidir. Endüstride kullanılan birçok malzeme, farklı matematiksel modellerin yardımıyla fiziksel davranışına en yakın şekilde modellenebilmektedir. Örneğin, elastomer malzemeler için literatürde yer alan Neo-Hookean, Mooney-Rivlin, Ogden, Yeoh matematiksel modelleri kullanılarak malzemenin davranışı temsil edilmektedir [15]. Burada kritik olan nokta matematiksel modeldeki malzeme parametrelerinin doğru şekilde elde edilebilmesidir. Bu amaçla malzemeye, numune seviyesi tanımlı testler uygulanmakta ve malzeme parametreleri belirlenmektedir. Bunun gibi strafor köpüğü, tahta, kompozit vb. malzemeler için de literatürde karşılık gelen ilgili malzeme modelleri kullanılarak en yakın davranışı elde etmek mümkündür.

Bu çalışmada kullanılan çelik, alüminyum, plastik gibi malzemelerin, lineer elastik ve izotropik davranış göstereceği kabul edilmiştir. Böylece herhangi bir kalıcı şekil değişiminin meydana gelmeyeceği farz edilmiştir. Lineer elastik malzeme modeli için, elastisite modülü, yoğunluk ve poisson oranı parametrelerini tanımlamak yeterli olacaktır. Tüm bu değerler (Tablo 5.2), çamaşır makinesinin çalışma anında, bileşenlerin bulunduğu bölgelerdeki sıcaklık değerleri altındaki bilgilerdir.

Tablo 5.2 Malzeme özellikleri

Bileşen Adı	Malzeme	Elastisite Modülü [MPa]	Yoğunluk [kg/mm ³]	Poisson oranı
Tambur, Mil	Çelik	210000	7,9E-06	0,30
Flanş	Alüminyum	70000	2,67E-06	0,33
Kazan	Plastik	3950	1,37E-06	0,40

5.3 Esnek Cisim Modelinin Kurulması

Tambur grubu ve kazan grubu, ayrı ayrı esnek cisim olarak CMS metodlarından Craig Bampton metodu tercih edilerek, OptiStruct [16] çözücüsü ile çözdürülmüştür. Her bir grup için ilk 25 mod hesaplatılmıştır.

Bu iki esnek cisim modeli, MotionView ortamında bir araya getirilmiştir. Esnek tambur grubu ile esnek kazan grubu arasında, rulman yuvası bölgesinden dönebilen bağlantı tanımlanmıştır. Bu bağlantı sayesinde tambur grubu, kazan grubu içerisinde rulman yuvası ekseninde dönebilmektedir.

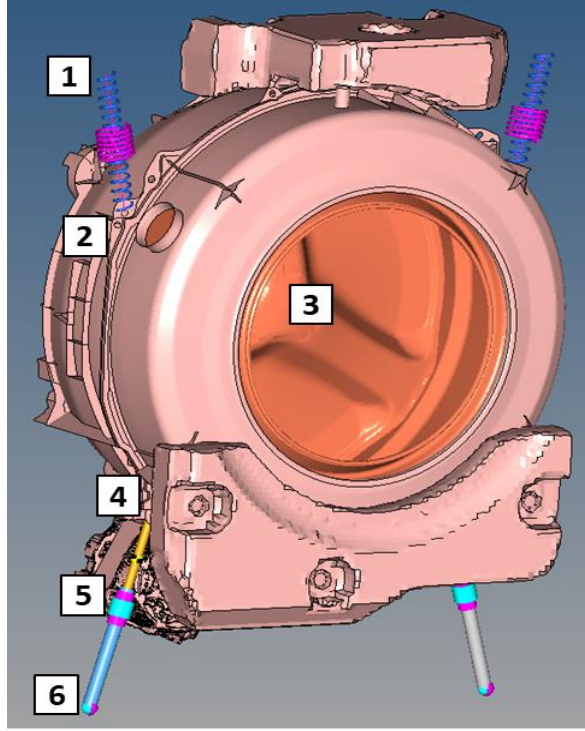
Yay elemanları, kazan plastiği ile makine gövde saclarındaki bağlantı bölgeleri arasında modellenmiştir. Bu elemanların her iki ucundaki bağlantı bölgeleri, kazan plastiği ve gövde saclarındaki bağlantı bölgelerine sabitlenmiştir. Simülasyon ortamındaki global esnek cisim modelinde, gövde sacları yer almadığından, yay elemanları, gövde sacları bölgesinden uzayda sabitlenmiştir. Yay elemanlarının, kazan plastiği üzerindeki bağlantısı da sabit bağlantı olmasıyla birlikte, kazan plastiğinin hareketiyle birlikte yay da hareket edebilmektedir. Bu elemanlar için serbest yay uzunluğu, ön gerilme kuvveti, yay sabiti gibi parametreler tanımlanmıştır (Tablo 5.3).

Tablo 5.3 Yay parametreleri

Yay katsayısı [N/mm]	8,6
Serbest yay uzunluğu [mm]	170
Ön gerilme kuvveti [N]	70

Amortisör elemanları, amortisör çubuğu ve amortisör silindirinden oluşmaktadır. Amortisör çubuğu, kazan plastiği ile amortisör silindiri arasında modellenmiştir.

Amortisör silindiri ise amortisör çubuğu ile makine gövde saclarındaki bağlantı bölgeleri arasında modellenmiştir. Amortisör çubuğu, amortisör silindiri içerisinde silindirik bağlantı tanımlanmasıyla hareket edebilmektedir. Amortisör çubuğunun kazan plastiği ile amortisör silindirinin de gövde saclarındaki bağlantı bölgelerindeki nokta ile olan bağlantıları küresel bağlantı ile tanımlanmıştır (Şekil 5.9).



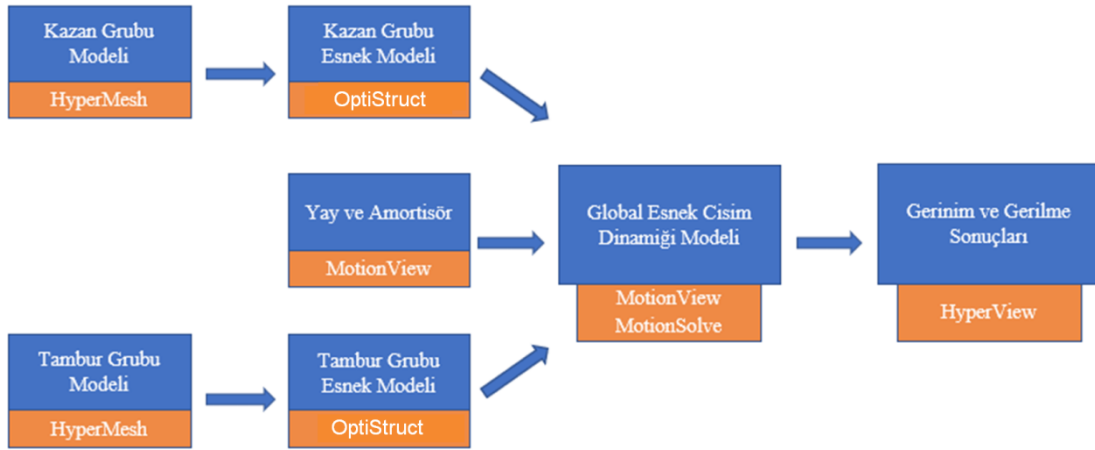
Şekil 5.9 Çamaşır makinesi global esnek cisim modeli

Çamaşır makinesi global esnek cisim modelindeki bağlantıların, bağlantı numaraları, bağlantı bileşenleri ve bağlantı tipleri Tablo 5.4’de birleştirilmiştir.

Tablo 5.4 Global esnek cisim modelindeki bağlantı çeşitleri

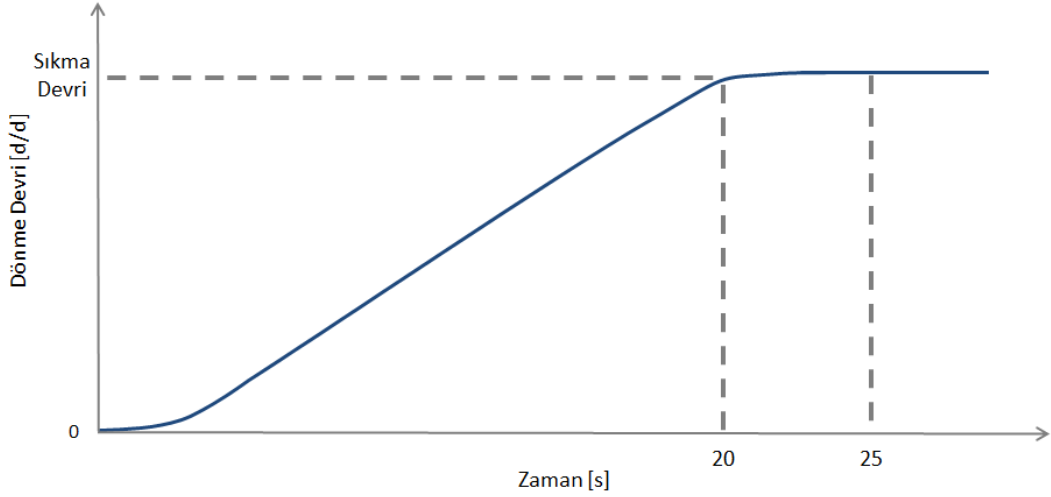
Bağlantı Numarası	Bağlantı Bileşenleri	Bağlantı Tipi
1	Gövde sacları (Uzay) - Yay	Sabit
2	Yay – Kazan plastiği	Sabit
3	Tambur grubu – Kazan grubu	Döner
4	Kazan plastiği – Amortisör çubuğu	Küresel
5	Amortisör çubuğu – Amortisör silindiri	Silindirik
6	Amortisör silindiri – Gövde sacları (Uzay)	Küresel

Bileşenlerin tekniğe uygun bir şekilde modellenmesi ve malzeme özelliklerinin tanımlanması ile kazan grubu ve tambur grubu modelleri elde edilir. Bu grupların ayrı ayrı esnek cisim çözümleri yapıldıktan sonra, yay ve amortisör elemanların eklenmesi ve bu bileşenler arasında bağlantı tiplerinin tanımlanmasıyla global esnek cisim dinamiği modeli hazırlanır. MotionView ortamında hazırlanan bu model, MotionSolve çözücüsü ile çözülür. Gerinim ve gerilme sonuçları HyperView [17] ortamında görüntülenmektedir (Şekil 5.10).



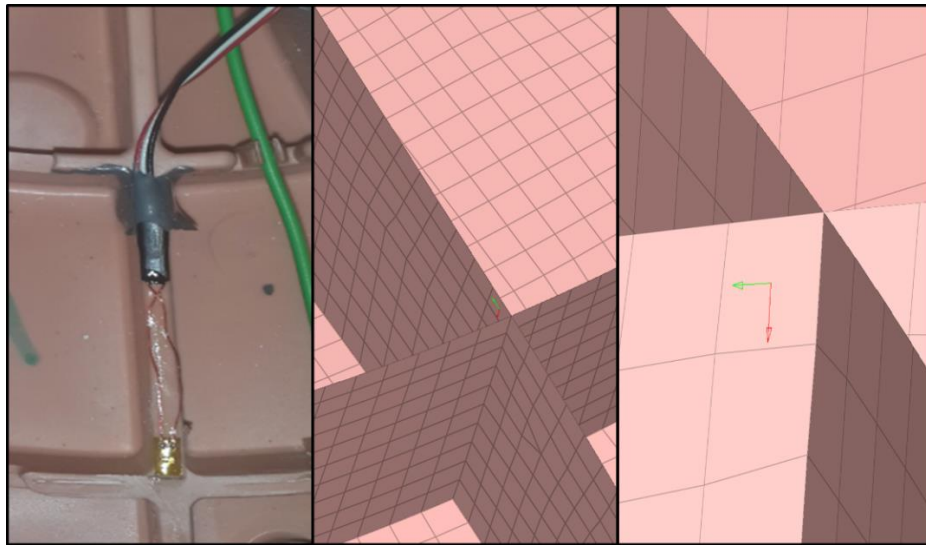
Şekil 5.10 Model akış şeması

Tambur grubu, rulman yuvası bölgesindeki dönebilen bağlantı üzerinden tahrik edilmektedir. Tambur grubu ilk anda duruyorken, 20. saniyede maksimum sıkma devrine ulaştırılmaktadır. 25. saniyeye kadar bu devirle tahrik edilmektedir. Çözüm, tamburun 25. saniyeden sonra kararlı rejime erişmesinin ardından atacağı 2 tur için yapılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Sıkma devrine ulaşma tahrik profili

Tek eksenli gerinim ölçer sonuçları ile karşılaştırılacak birim uzama model sonuçları, sensör yerleştirilen bölgedeki elemandan ve eleman eksen takımı üzerinden okunmaktadır (Şekil 5.12). Global eksen takımının konumu ve rotasyonu, uzayda sabit olduğu için tek eksenli gerinim sonuçlarını karşılaştırmak uygun değildir. Eleman eksen takımı, aynı sensör gibi, elemanla birlikte hareket etmekte ve elemanın şekil değiştirmesi ile rotasyonu değişmektedir. İdeal rotasyon, eleman eksen takımının bir eksenini ile elemanın dış yüzeydeki çizgisinin paralel olmasıdır. Bu paralellikteki kaçıklık, sonuçların korelasyonunu da etkileyecektir.



Şekil 5.12 L1 bölgesi tek eksenli gerinim ölçer uygulaması ve modeldeki eleman eksen takımı

5.4 Kazan Plastiği Doğal Frekanslarının Modellenmesi

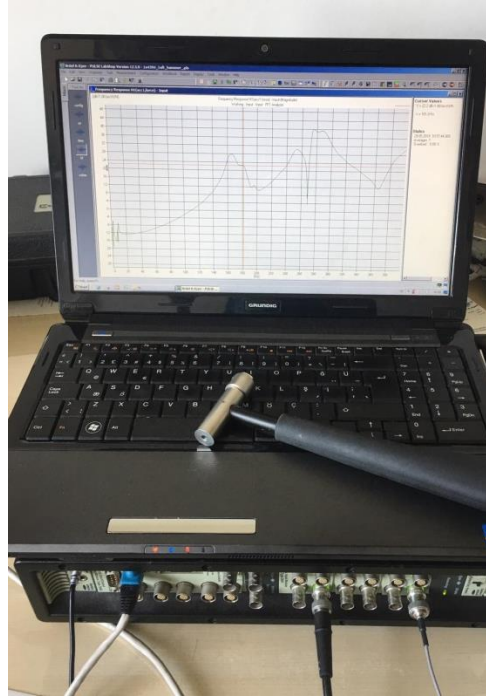
Ayrı ayrı esnek cisim olarak olarak modellenen tambur ve kazan grupları, Craig Bampton metodu ile çözdürölmüştür. Craig Bampton metodu, esnek cisim olarak modellenen bileşenlerin, doğal frekans değeriinin, mod şekillerinin ve bu mod şekillerindeki genliklerin süperpozisyonu yöntemini esas almaktadır. Ayrıca bu çözüm yöntemi ile elde edilen süperelemanlar sayesinde model derecesi indirgenerek çözüm sürelerinde ciddi şekilde kazançlar sağlanmaktadır [18].

Craig Bampton metodu ile elde edilen sonuçların, bileşenlerin esnek cisim davranışını temsil etme başarısı, o bileşenlerin doğal frekans ve mod şekillerinin tutarlı bir şekilde modellenebilmesiyle ilgilidir. Bu tutarlılığın sorgulanması amacıyla kazan plastiğinin modellenmesiyle ve kazan plastiğine çekici testi yapılmasıyla elde edilen doğal frekans değeriileri karşılaştırılmıştır. Kazan grubundan sadece kazan plastiğine çekici testi yapılmıştır. Çekici testi yapılan kazan plastiği üzerinde denge taşları, elektrik motoru, kasnak gibi bileşenler yer almamaktadır (Şekil 5.13).

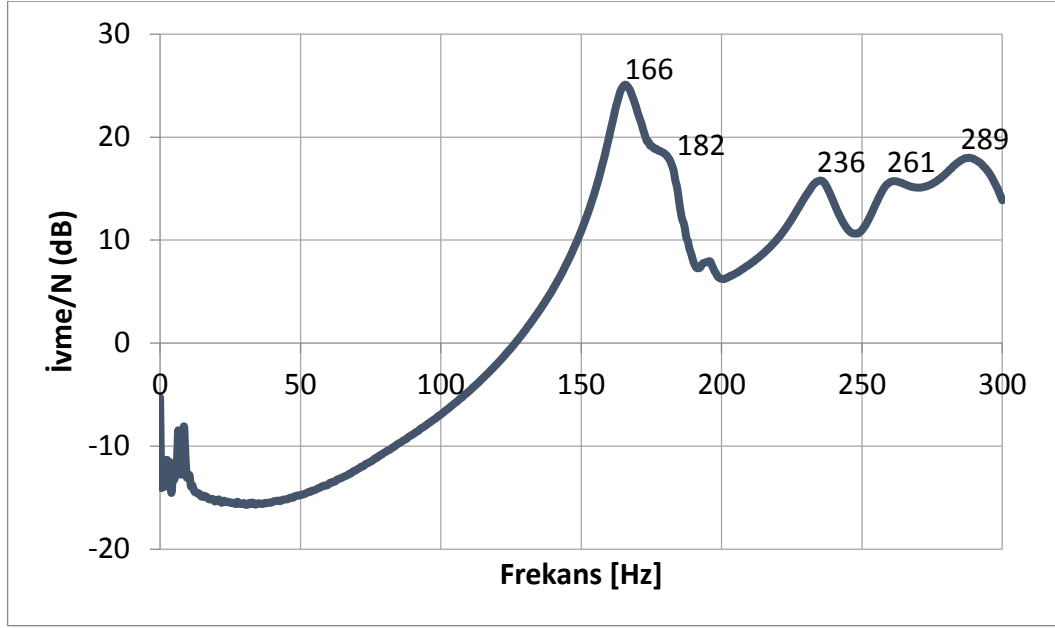


Şekil 5.13 Çekici testi düzeneği, ivmeölçer ve kazan plastiği

Kazan plastiğine eki testi yapılması amacıyla kazan plastiği, yay elemanlarının takılma bölgelerinden, test düzeneği iskeletine misanalar ile asılmıştır. Tek eksenli ivmeölçer, kazan plastiği üzerine sabitlenmiştir. Çekiç ile kazan plastiğine vurulmasıyla kazan plastiği modları uyarılmıştır. İvmelerden toplanan veriler, veri toplama sistemi ile bilgisayar ortamına aktarılmış ve görüntülenmiştir (şekil 5.14). Kazan plastiğinin, 0-300 Hz bandındaki doğal frekans değerleri yorumlanmıştır (şekil 5.15).

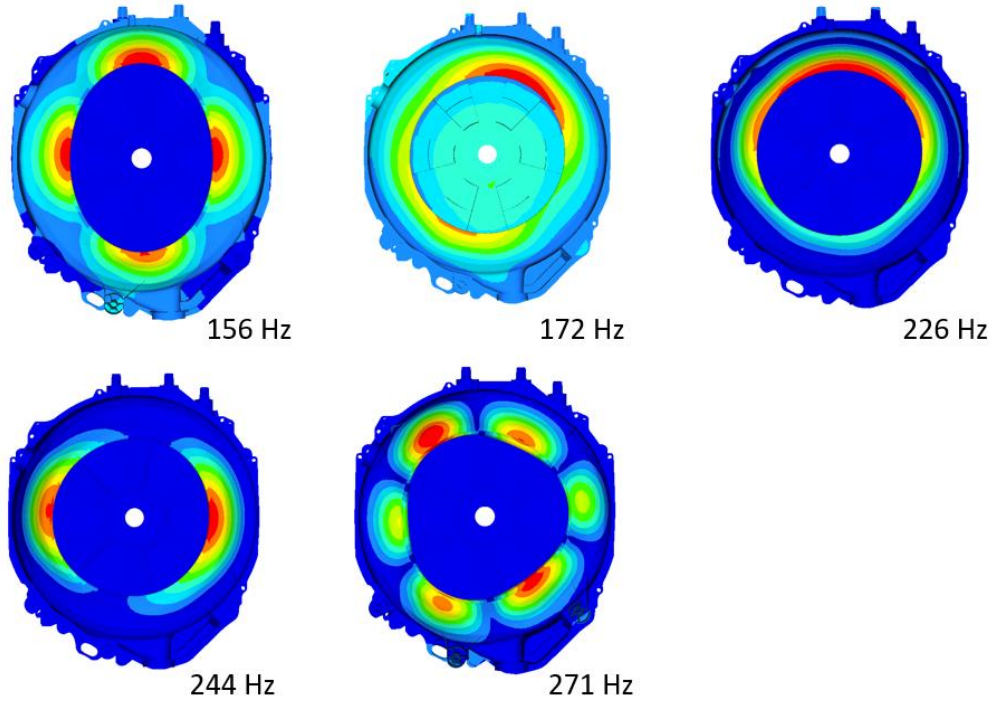


şekil 5.14 eki testi veri toplama sistemi



Şekil 5.15 0 – 300 Hz bandındaki çekiç testi sonuçları

Kazan plastiği, çekiç testinde olduğu gibi üzerinde denge taşları, elektrik motoru ve kasnak gibi bileşenler olmadan simülasyon ortamında 3 ve 4 düğüm noktalı kabuk elemanlarla modellenmiştir. Herhangi bir sınır şartı olmadan, serbest sınır şartları altında, modal analiz yöntemi ile OptiStruct çözdürücüsünde yapılan çözümlere göre, kazan plastiğinin 0-300 Hz bandındaki doğal frekans değerleri ve mod şekilleri Şekil 5.16’da paylaşıldığı gibidir.



Şekil 5.16 Kazan plastiğinin doğal frekans değerleri ve mod şekilleri

Kazan plastiği için eki testinden ve simülasyon ortamındaki modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Tablo 5.5). Bu karşılaştırmaya göre doğal frekans değerlerinin yüksek bir tutarlılıkla modellenebildiği görülmektedir.

Tablo 5.5 Model ve test doğal frekans değerleri

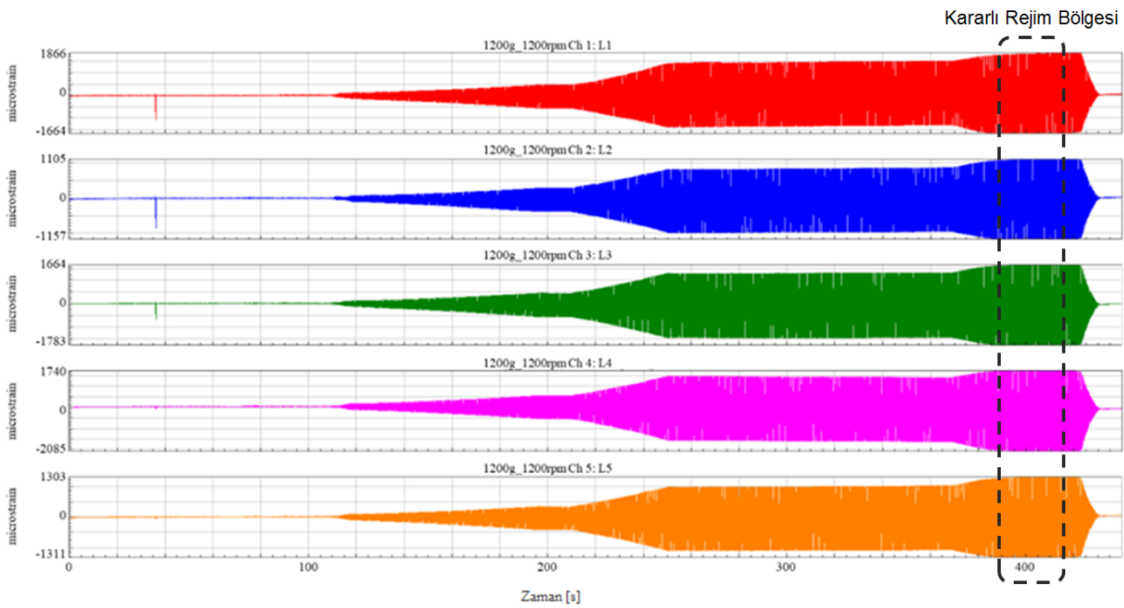
Mod	Test [Hz]	Model [Hz]	Hata [%]
1	166	156	6,0
2	182	172	5,5
3	236	226	4,2
4	261	244	6,5
5	289	271	6,2

6

Bulgular

6.1 Bulguların Değerlendirilmesi

Ölçümler, çamaşır makinesinin sıkma programında çalıştığı zaman dilimi boyunca alınmıştır. Örneğin, Şekil 6.1’de, tek eksenli gerinim ölçerlerin her birinden 1200 d/d sıkma programında yaklaşık 7 dakika boyunca toplanan veriler görülmektedir. Simülasyon modeli sonuçları ile karşılaştırılacak ölçüm sonuçları, kararlı rejim bölgesindeki 2 tur için elde edilen sonuçlardır. Sıkma programında kararlı rejim bölgesine ulaşana kadar, makine dönme devirlerinin kademeli olarak artmasıyla gerinim ölçerlerde görülen birim uzama değerleri de artmaktadır.



Şekil 6.1 Ölçüm süresince toplanan tek eksenli gerinim ölçer verileri

6.2 Tek Eksenli Gerinim Ölçer Bulgularının Değerlendirilmesi

Tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon modelinden elde edilen sonuçlar, en yüksek değerleri ve karakteristikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Tablolarda test ve simülasyon ortamındaki modele ait sonuçlarının en yüksek, en düşük değerleri yer almaktadır. Tablolardaki değerler mikrostrain birimindedir.

Modelden elde edilen birim uzama değerleri, eleman eksen takımına göre okunmuştur. $t=0$ anı, kararlı rejimdeki 2 turun başlangıç anıdır. Simülasyon ortamındaki model sonuçları da aynı andaki 2 tur için elde edilmiştir.

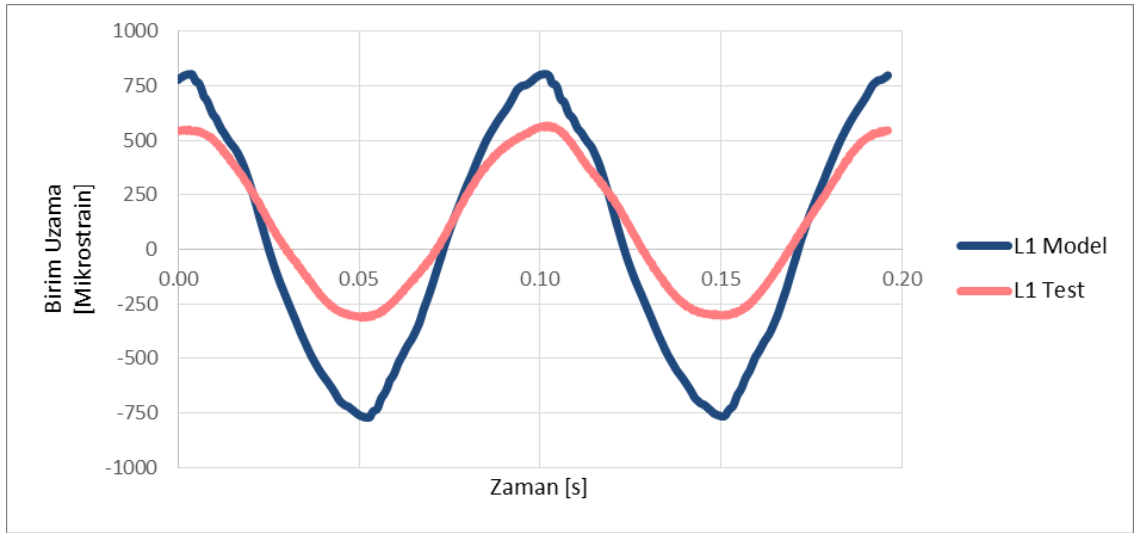
6.2.1 1 Nolu Yükleme Senaryosu (S1)

800 gr kütleli lastik blok dengesizliği ile 600 d/d sıkma programı tercih edilen S1 yükleme senaryosunda, tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden elde edilen sonuçların en yüksek ve en düşük değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 6.1).

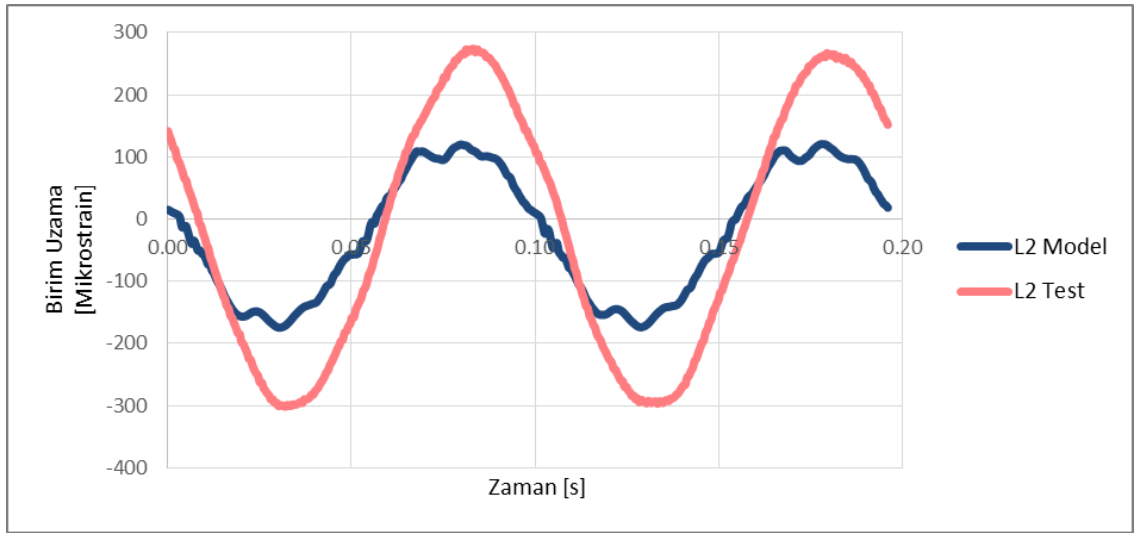
Tablo 6.1 1 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları

		L1	L2	L3	L4	L5
TEST	En Yüksek Değer	569	274	430	512	289
	En Düşük Değer	-312	-302	-457	-439	-336
MODEL	En Yüksek Değer	805	121	869	1032	125
	En Düşük Değer	-771	-175	-1091	-990	-152

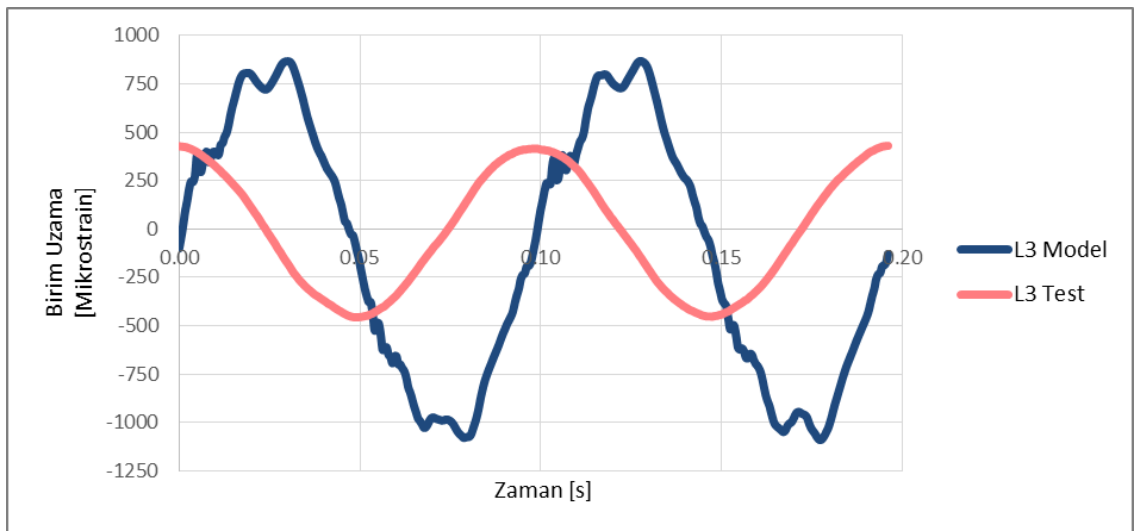
Tek eksenli gerinim ölçerlerden toplanan test verilerinin frekansı incelendiğinde, çamaşır makinesinin 612 d/d gerçek sıkma devri ile döndüğü görülmektedir. Simülasyon ortamındaki model de S1 yükleme senaryosunda, 612 d/d ile tahrik edilmiştir. Çamaşır makinesi, bu dönme devriyle ölçümlerin toplandığı kararlı rejimdeki 2 turu 0,196 saniyede tamamlamaktadır. S1 yükleme senaryosunda tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen sonuçların karakteristikleri şekil 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6'da detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



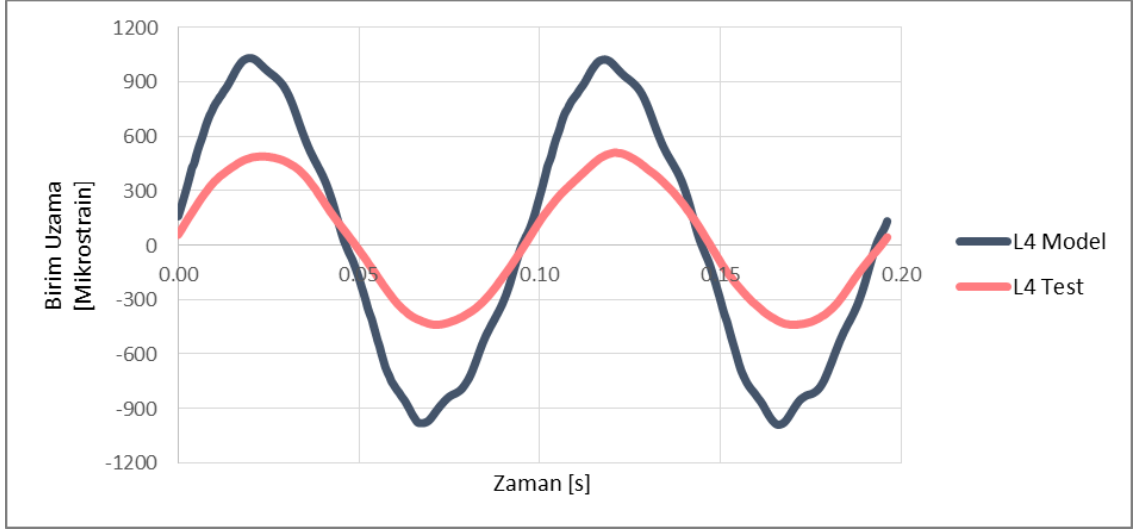
Şekil 6.2 1 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları



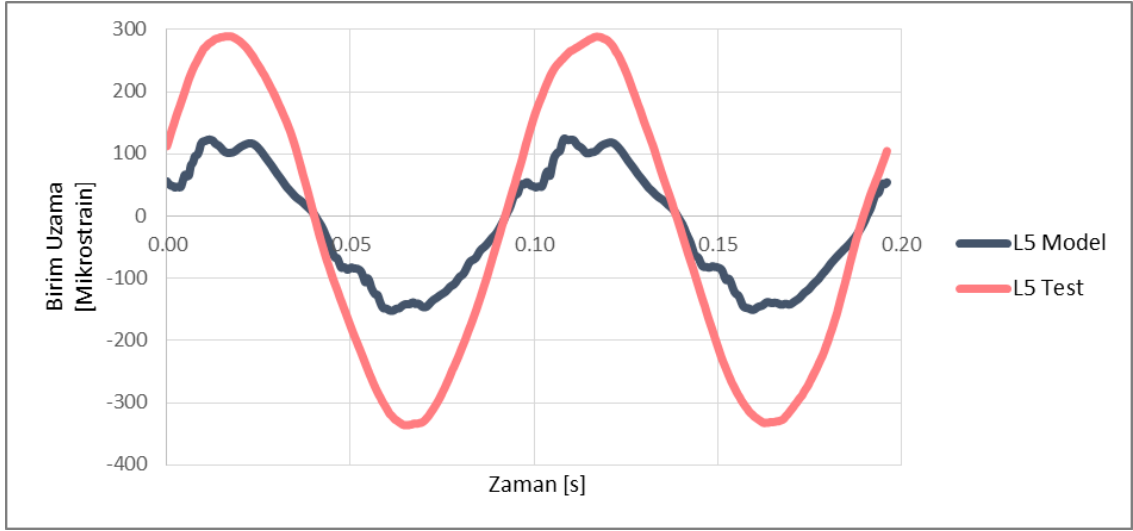
Şekil 6.3 1 nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.4 1 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.5 1 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.6 1 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları

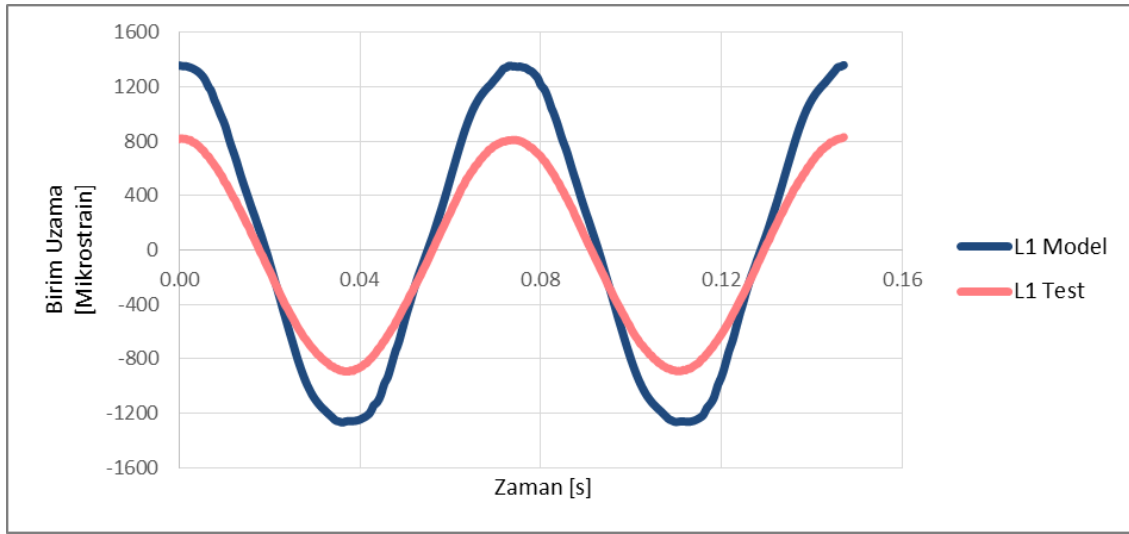
6.2.2 2 Nolu Yükleme Senaryosu (S2)

800 gr kütleli lastik blok dengesizliği ile 800 d/d sıkma programı tercih edilen S2 yükleme senaryosunda, tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden elde edilen sonuçların en yüksek ve en düşük değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 6.2).

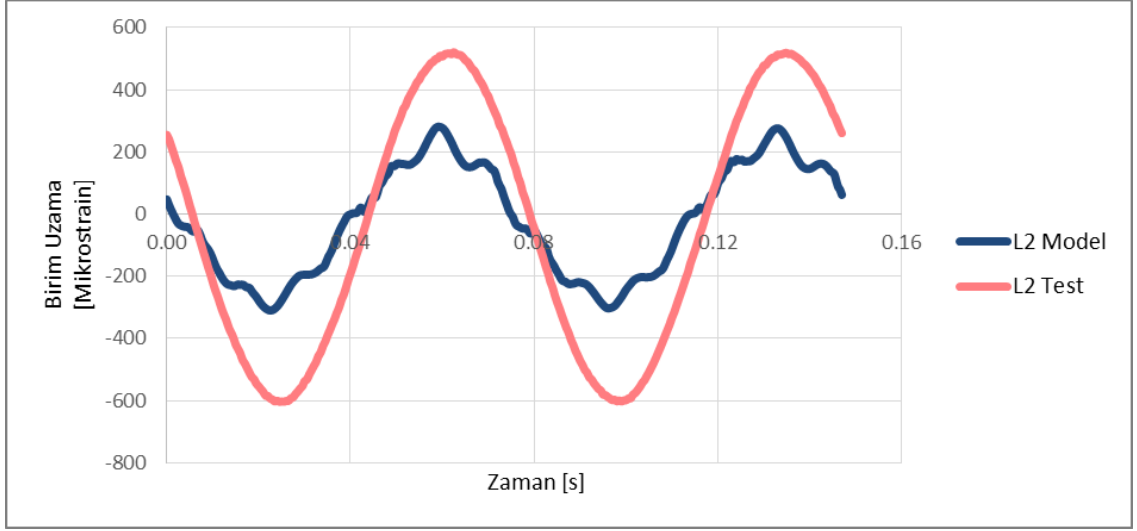
Tablo 6.2 2 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları

		L1	L2	L3	L4	L5
TEST	En Yüksek Değer	832	521	758	894	557
	En Düşük Değer	-893	-604	-961	-958	-654
MODEL	En Yüksek Değer	1361	281	1595	1765	251
	En Düşük Değer	-1268	-310	-2013	-1693	-285

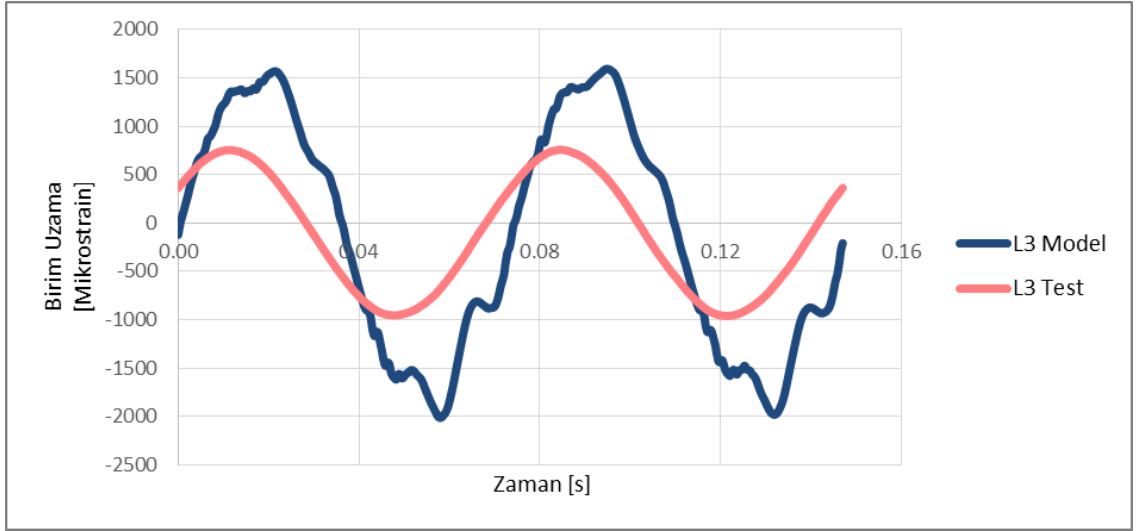
Tek eksenli gerinim ölçerlerden toplanan test verilerinin frekansı incelendiğinde, çamaşır makinesinin 816 d/d gerçek sıkma devri ile döndüğü görülmektedir. Simülasyon ortamındaki model de S2 yükleme senaryosunda, 816 d/d ile tahrik edilmiştir. Çamaşır makinesi, bu dönme devriyle ölçümlerin toplandığı kararlı rejimdeki 2 turu 0,147 saniyede tamamlamaktadır. S2 yükleme senaryosunda tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen sonuçların karakteristikleri Şekil 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 ve 6.11’de detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



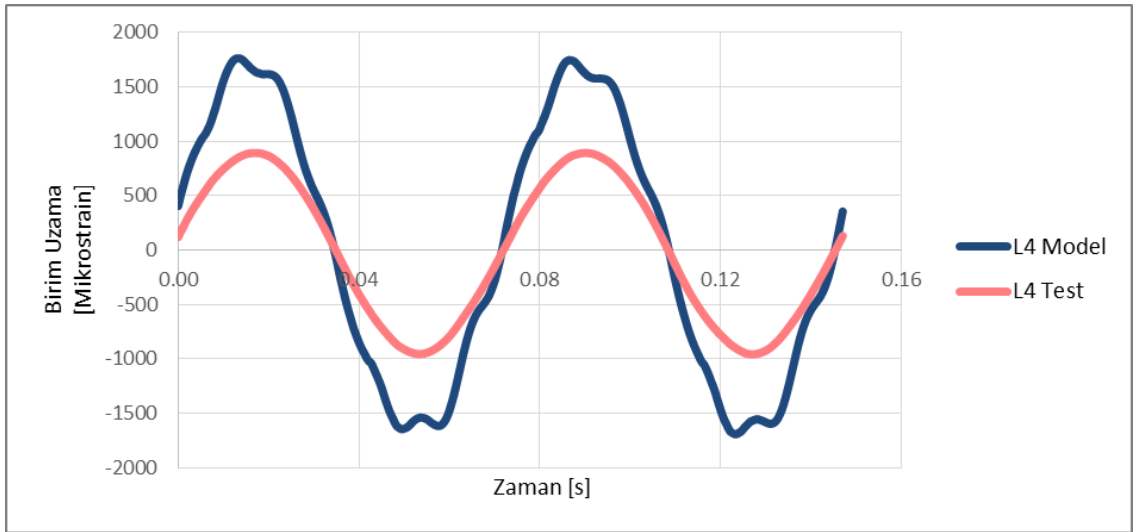
Şekil 6.7 2 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları



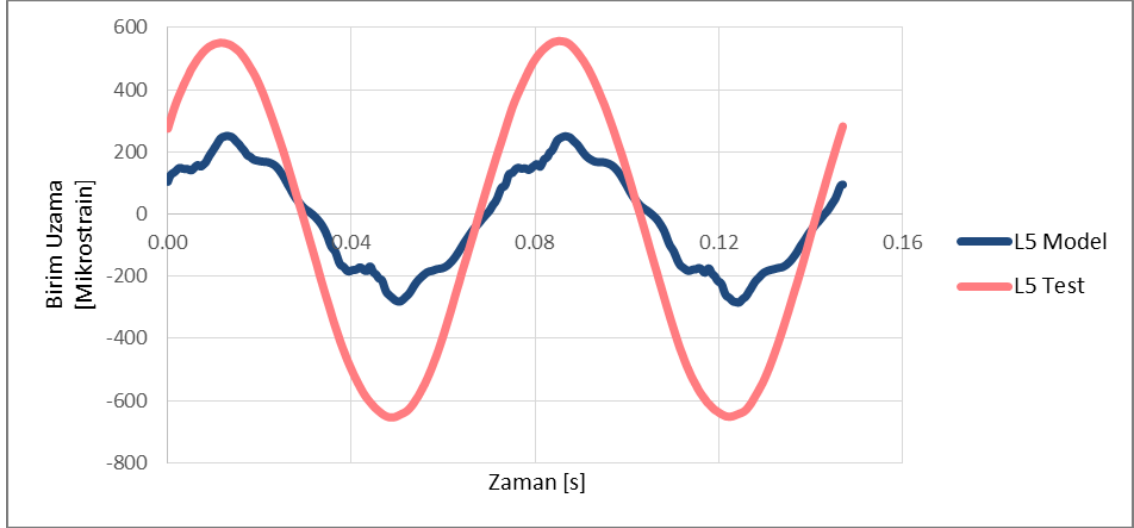
Şekil 6.8 2 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.9 2 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.10 2 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.11 2 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları

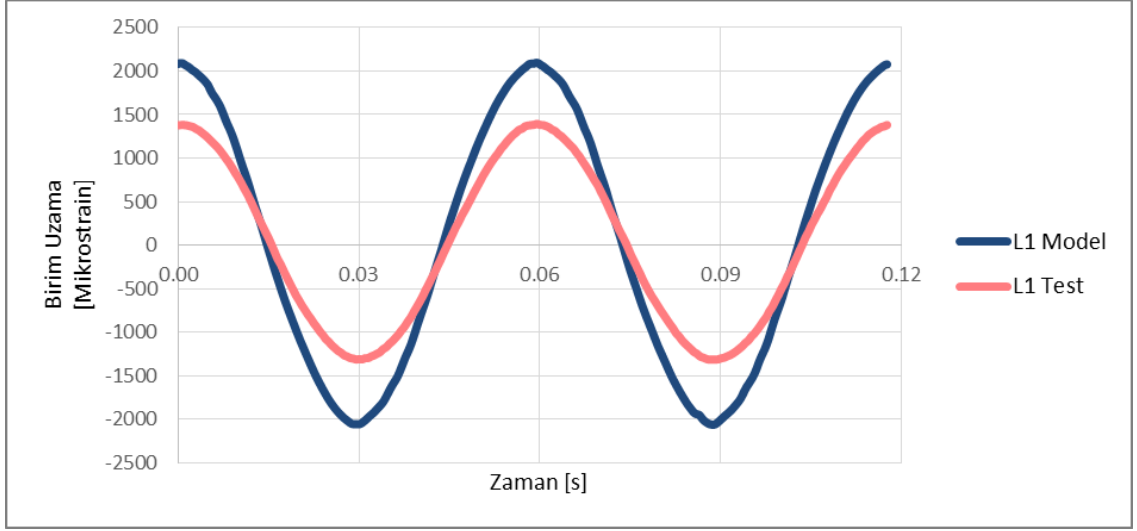
6.2.3 3 Nolu Yükleme Senaryosu (S3)

800 gr kütleli lastik blok dengesizliği ile 1200 d/d sıkma programı tercih edilen S3 yükleme senaryosunda, tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden elde edilen sonuçların en yüksek ve en düşük değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 6.3).

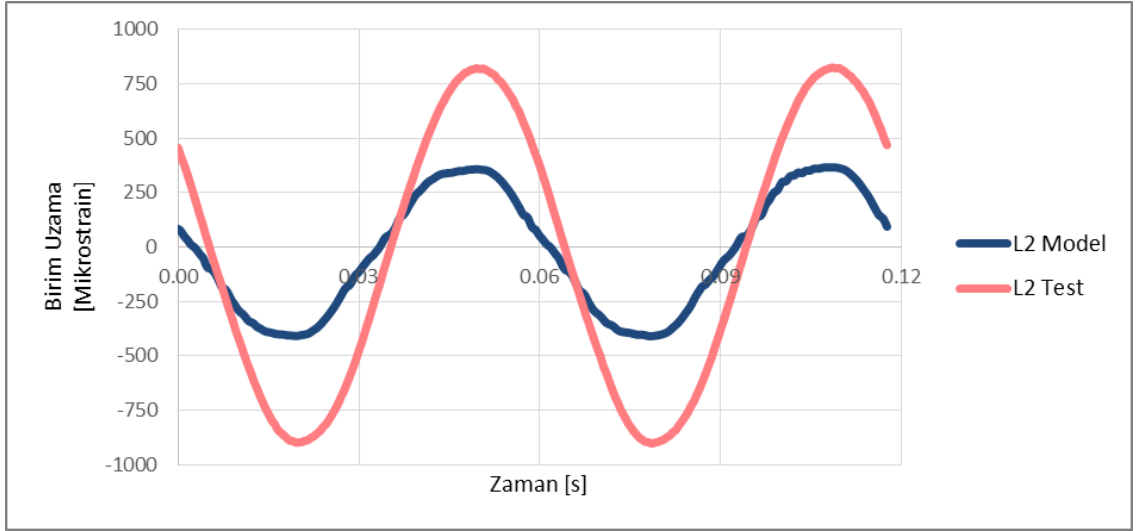
Tablo 6.3 3 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları

		L1	L2	L3	L4	L5
TEST	En Yüksek Değer	1395	827	1282	1343	892
	En Düşük Değer	-1316	-903	-1382	-1490	-1006
MODEL	En Yüksek Değer	2095	367	2535	2702	348
	En Düşük Değer	-2064	-409	-2757	-2641	-377

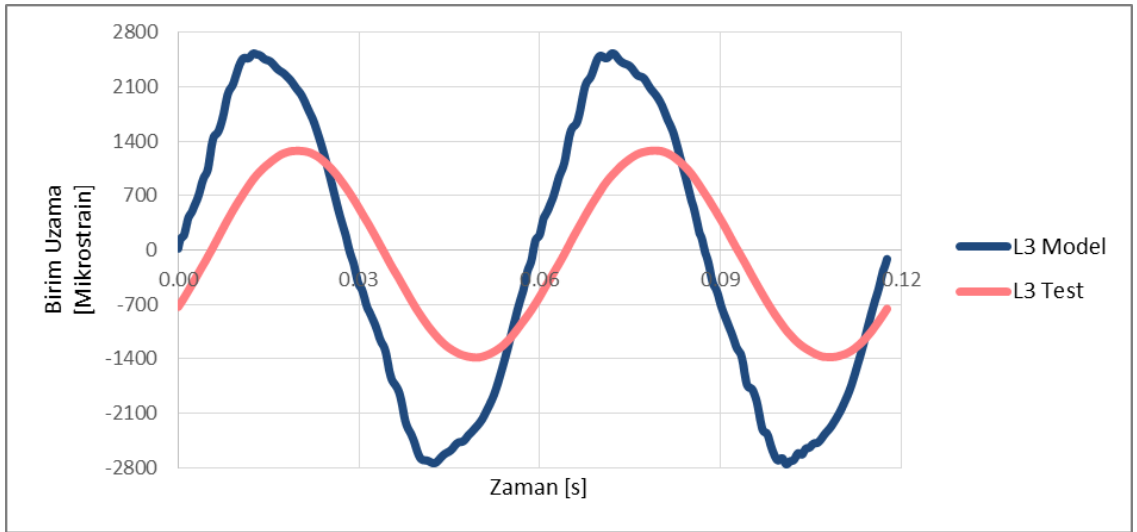
Tek eksenli gerinim ölçerlerden toplanan test verilerinin frekansı incelendiğinde, çamaşır makinesinin 1020 d/d gerçek sıkma devri ile döndüğü görülmektedir. Simülasyon ortamındaki model de S3 yükleme senaryosunda, 1020 d/d ile tahrik edilmiştir. Çamaşır makinesi, bu dönme devriyle ölçümlerin toplandığı kararlı rejimdeki 2 turu 0,118 saniyede tamamlamaktadır. S3 yükleme senaryosunda tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen sonuçların karakteristikleri Şekil 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 ve 6.16'da detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



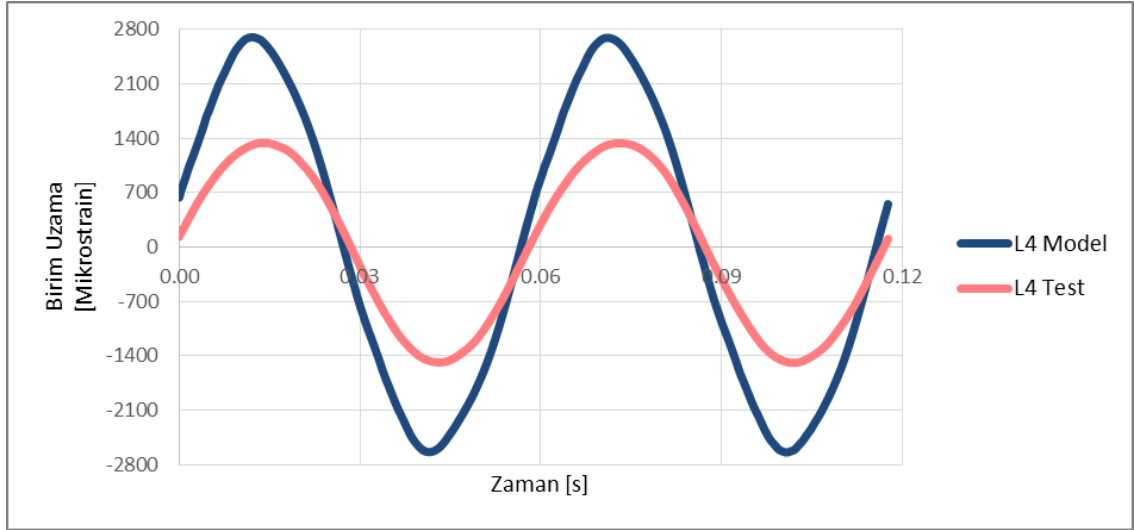
Şekil 6.12 3 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları



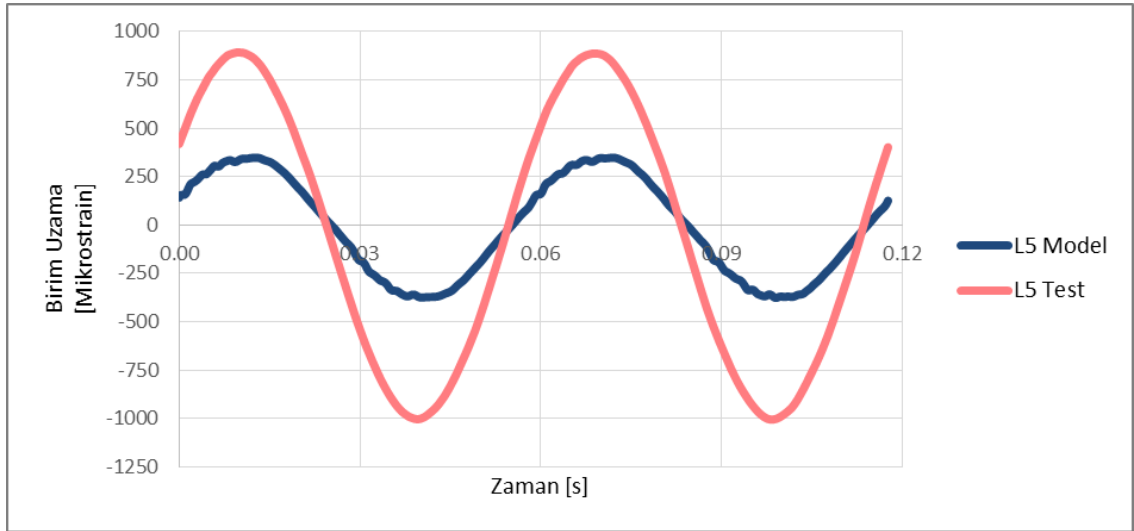
Şekil 6.13 3 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.14 3 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.15 3 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.16 3 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları

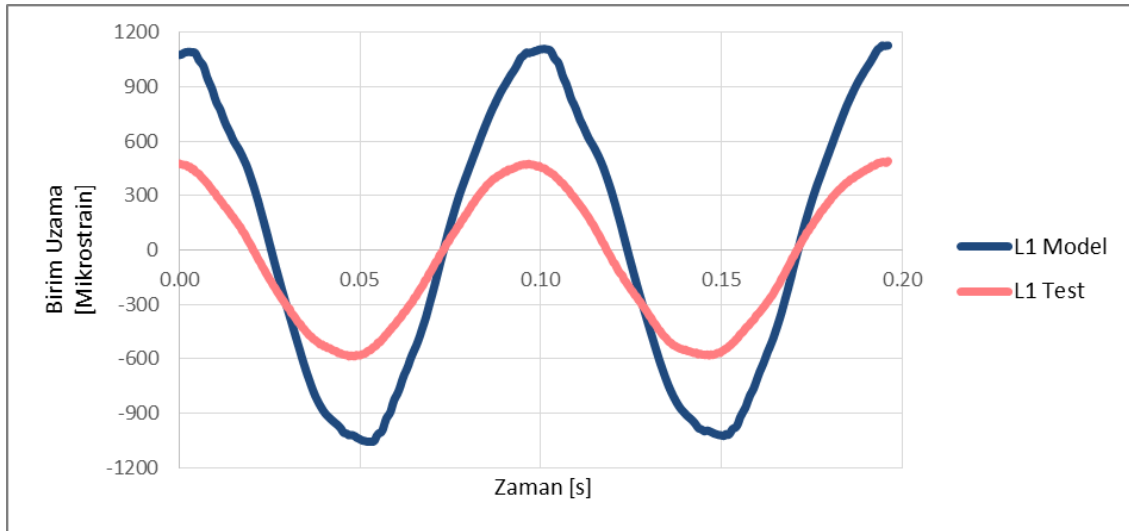
6.2.4 4 Nolu Yükleme Senaryosu (S4)

1200 gr kütleli lastik blok dengesizliği ile 600 d/d sıkma programı tercih edilen S4 yükleme senaryosunda, tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden elde edilen sonuçların en yüksek ve en düşük değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 6.4).

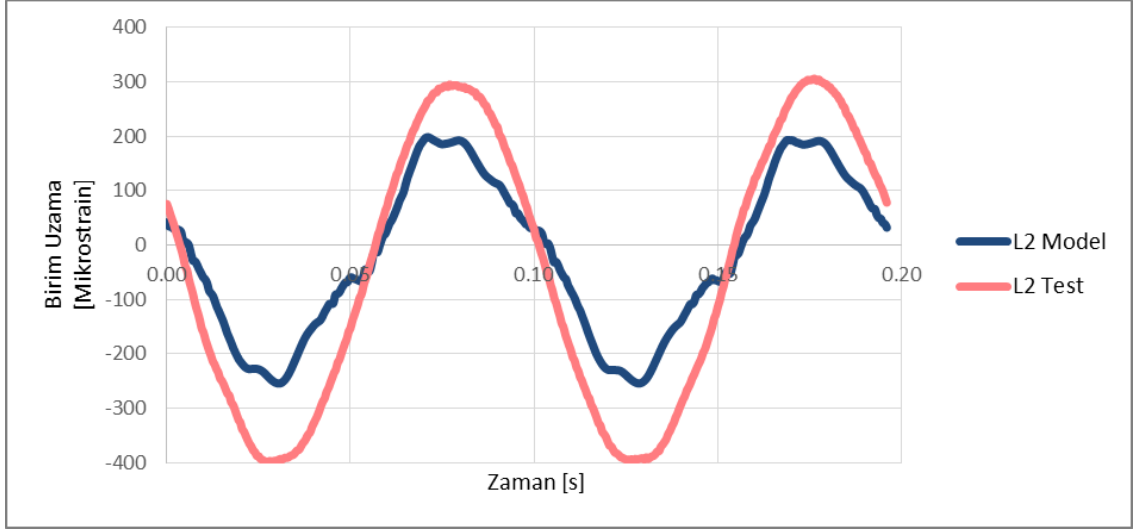
Tablo 6.4 4 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları

		L1	L2	L3	L4	L5
TEST	En Yüksek Değer	491	306	440	488	342
	En Düşük Değer	-586	-399	-626	-661	-437
MODEL	En Yüksek Değer	1129	199	1204	1475	181
	En Düşük Değer	-1057	-254	-1440	-1519	-210

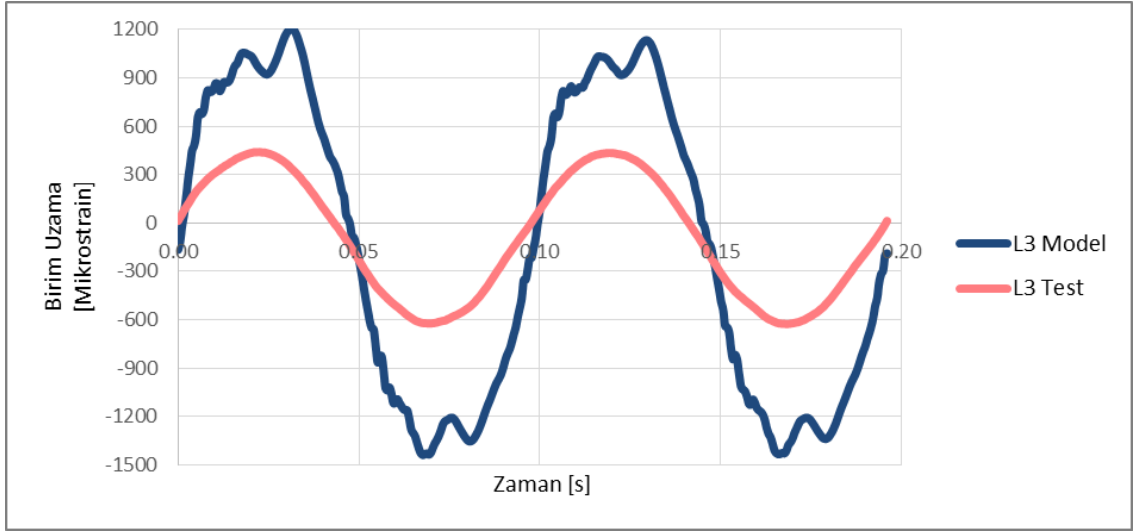
Tek eksenli gerinim ölçerlerden toplanan test verilerinin frekansı incelendiğinde, çamaşır makinesinin 612 d/d gerçek sıkma devri ile döndüğü görülmektedir. Simülasyon ortamındaki model de S4 yükleme senaryosunda, 612 d/d ile tahrik edilmiştir. Çamaşır makinesi, bu dönme devriyle ölçümlerin toplandığı kararlı rejimdeki 2 turu 0,196 saniyede tamamlamaktadır. S4 yükleme senaryosunda tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen sonuçların karakteristikleri Şekil 6.17, 6.18, 6.19, 6.20 ve 6.21’de detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



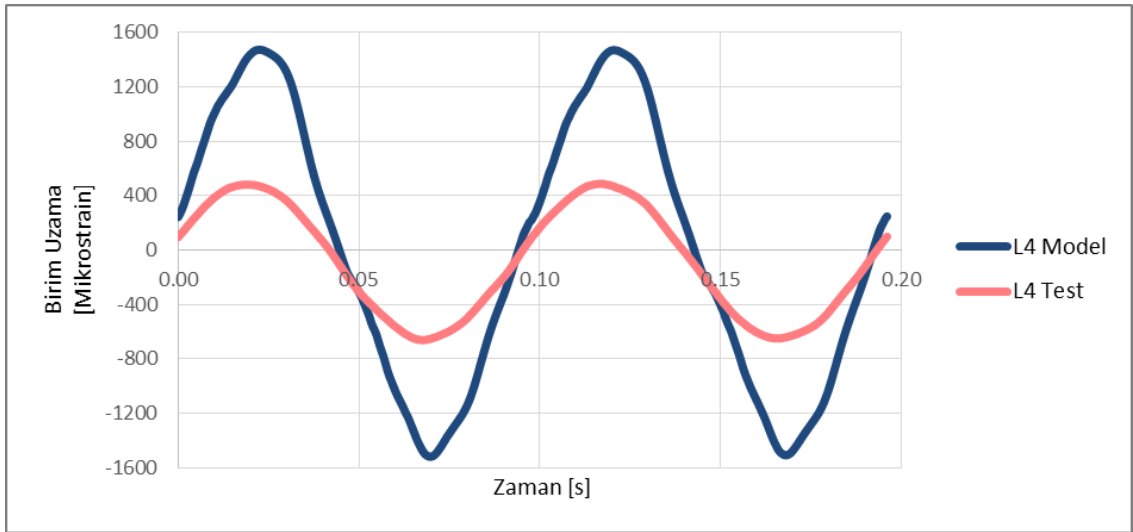
Şekil 6.17 4 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları



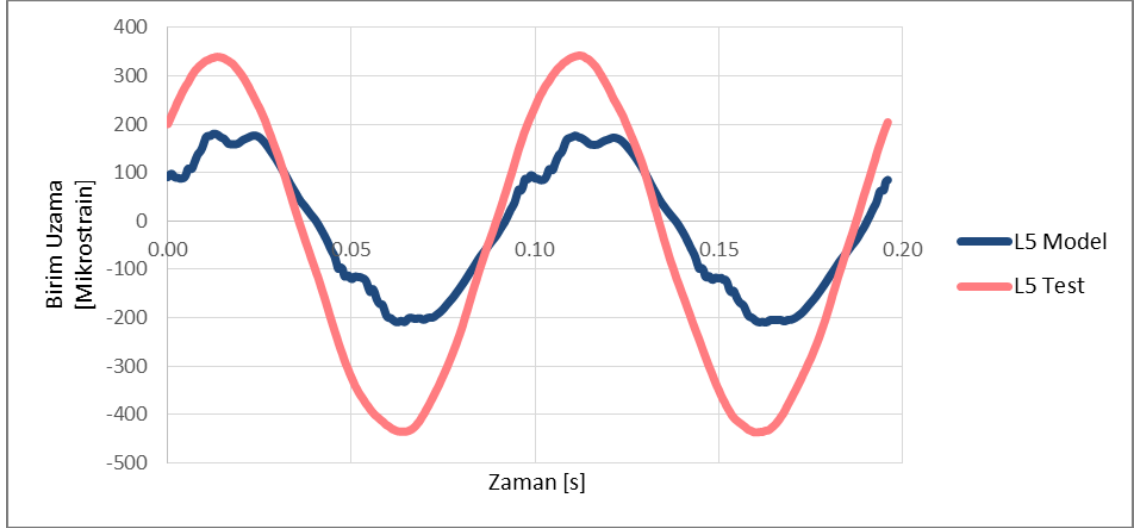
Şekil 6.18 4 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.19 4 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.20 4 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.21 4 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları

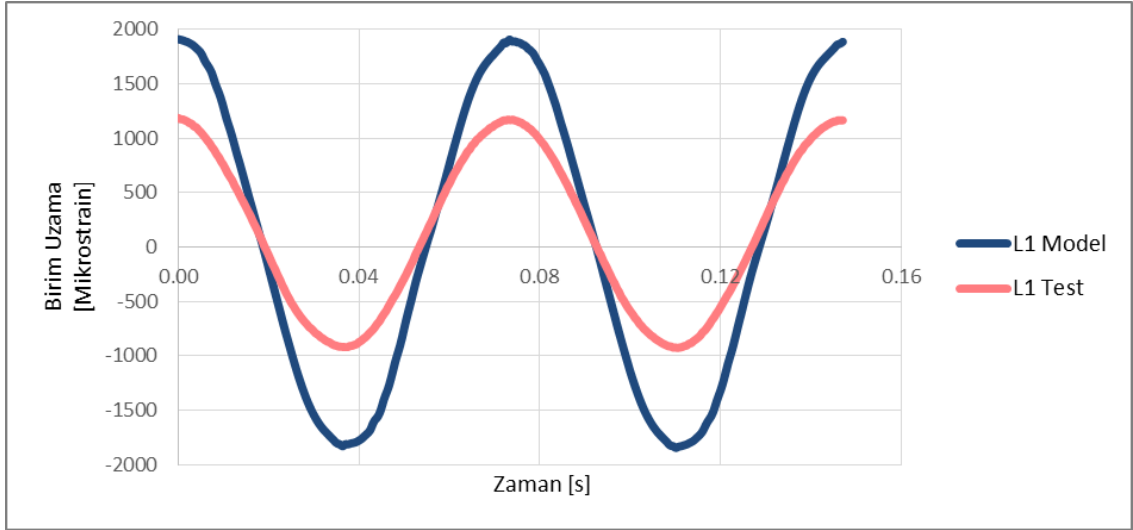
6.2.5 5 Nolu Yükleme Senaryosu (S5)

1200 gr kütleli lastik blok dengesizliği ile 800 d/d sıkma programı tercih edilen S5 yükleme senaryosunda, tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden elde edilen sonuçların en yüksek ve en düşük değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 6.5).

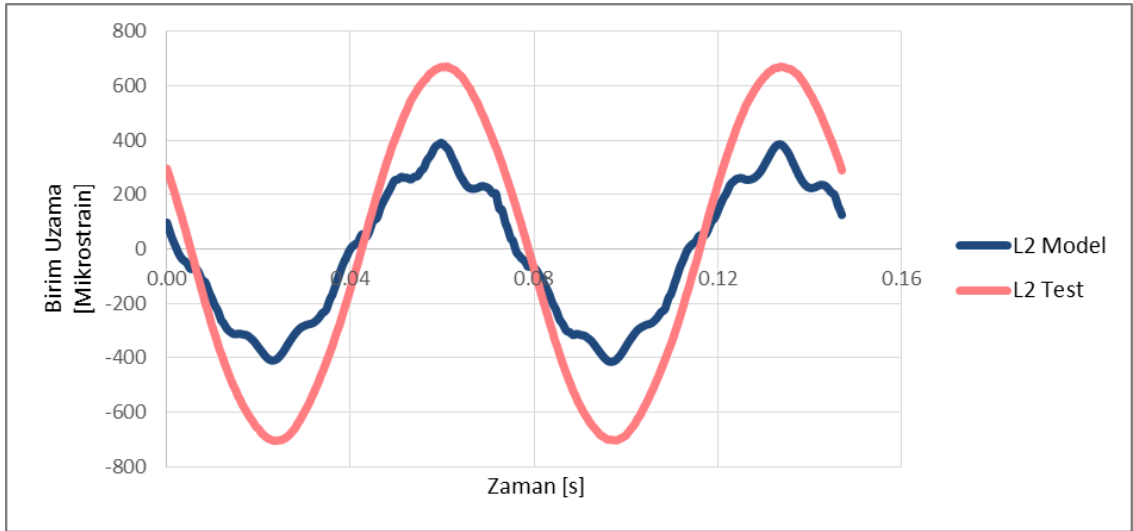
Tablo 6.5 5 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları

		L1	L2	L3	L4	L5
TEST	En Yüksek Değer	1188	672	907	1037	703
	En Düşük Değer	-925	-705	-1188	-1250	-796
MODEL	En Yüksek Değer	1912	391	2126	2440	353
	En Düşük Değer	-1845	-414	-2731	-2451	-394

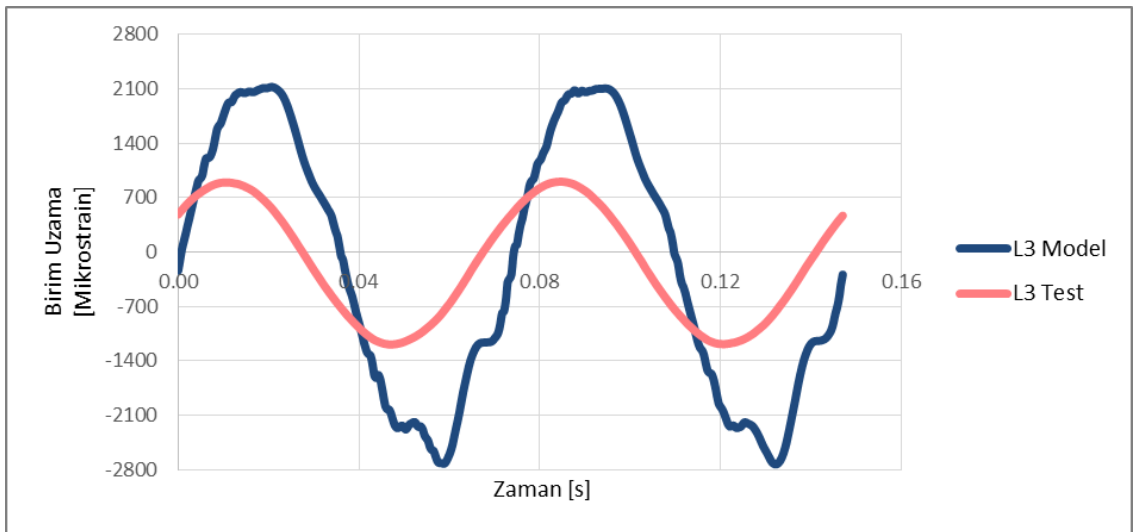
Tek eksenli gerinim ölçerlerden toplanan test verilerinin frekansı incelendiğinde, çamaşır makinesinin 815 d/d gerçek sıkma devri ile döndüğü görülmektedir. Simülasyon ortamındaki model de S5 yükleme senaryosunda, 815 d/d ile tahrik edilmiştir. Çamaşır makinesi, bu dönme devriyle ölçümlerin toplandığı kararlı rejimdeki 2 turu 0,147 saniyede tamamlamaktadır. S5 yükleme senaryosunda tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen sonuçların karakteristikleri Şekil 6.22, 6.23, 6.24, 6.25 ve 6.26'da detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



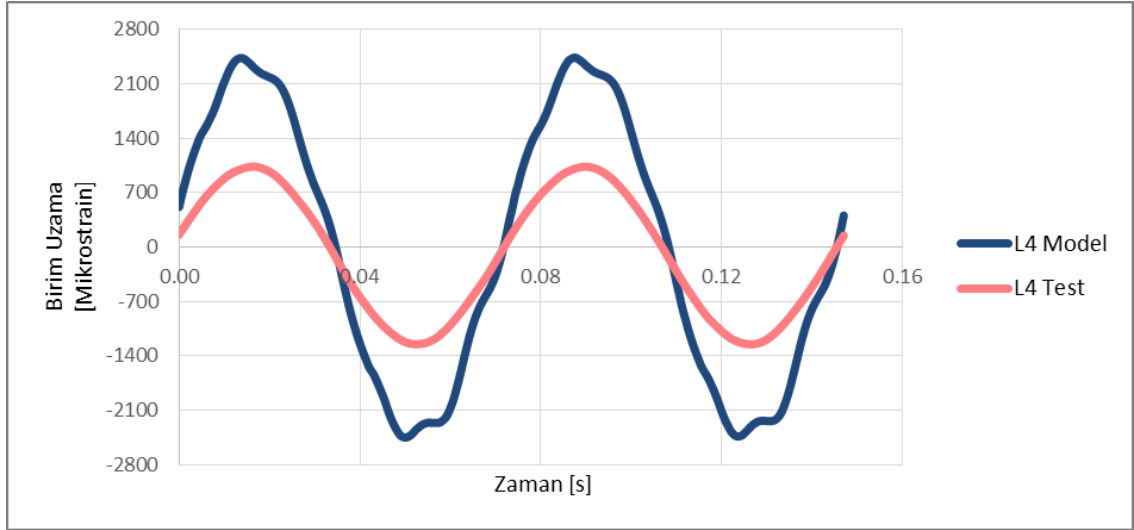
Şekil 6.22 5 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları



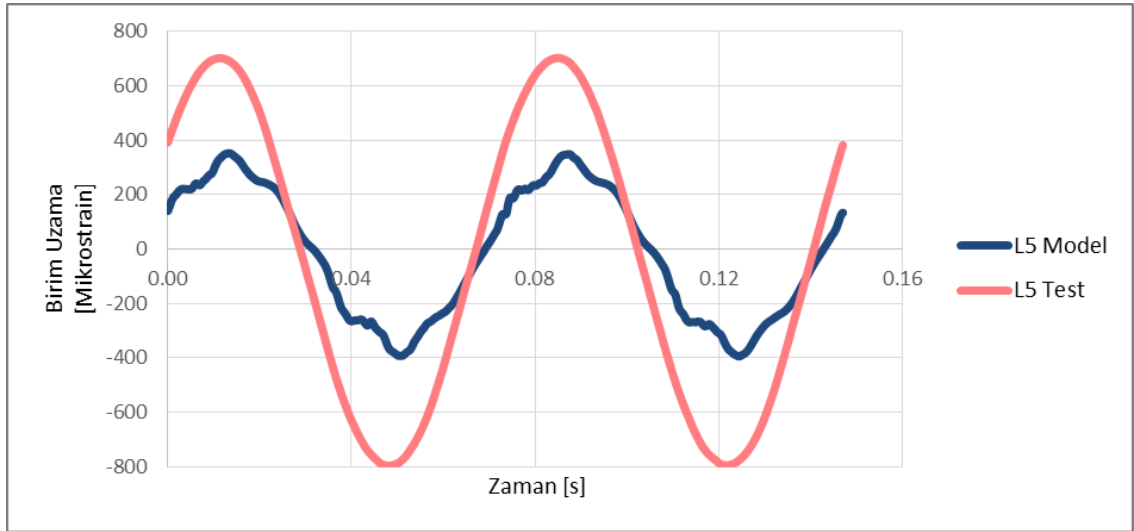
Şekil 6.23 5 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.24 5 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.25 5 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.26 5 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları

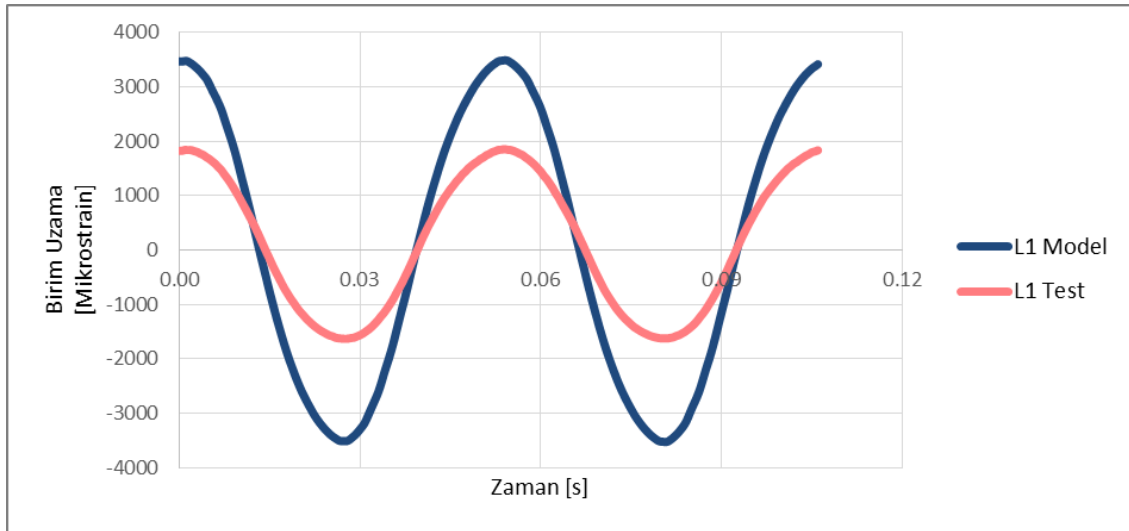
6.2.6 6 Nolu Yükleme Senaryosu (S6)

1200 gr kütleli lastik blok dengesizliği ile 1200 d/d sıkma programı tercih edilen S6 yükleme senaryosunda, tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden elde edilen sonuçların en yüksek ve en düşük değerleri aşağıdaki tabloda yer almaktadır (Tablo 6.6).

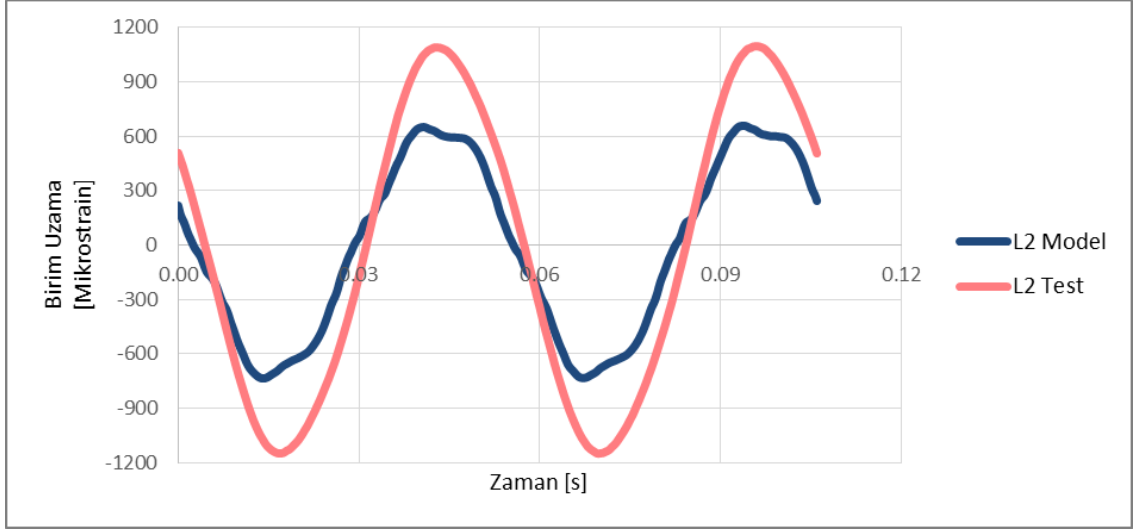
Tablo 6.6 6 Nolu yükleme senaryosu tek eksenli gerinim ölçer sonuçları

		L1	L2	L3	L4	L5
TEST	En Yüksek Değer	1859	1098	1655	1727	1296
	En Düşük Değer	-1630	-1149	-1779	-2071	-1303
MODEL	En Yüksek Değer	3493	659	4935	4940	630
	En Düşük Değer	-3527	-735	-4863	-4796	-699

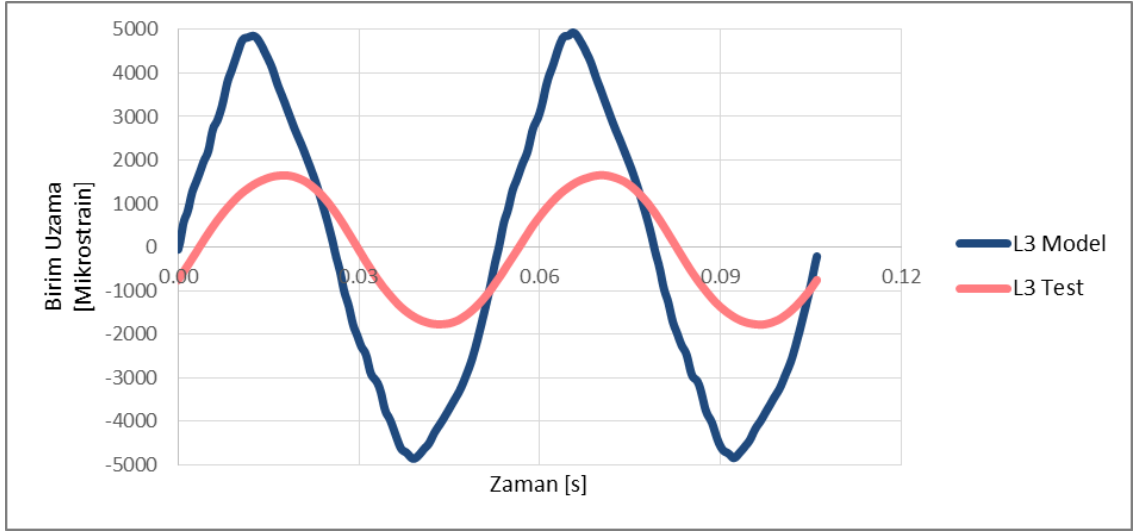
Tek eksenli gerinim ölçerlerden toplanan test verilerinin frekansı incelendiğinde, çamaşır makinesinin 1132 d/d gerçek sıkma devri ile döndüğü görülmektedir. Simülasyon ortamındaki model de S6 yükleme senaryosunda, 1132 d/d ile tahrik edilmiştir. Çamaşır makinesi, bu dönme devriyle ölçümlerin toplandığı kararlı rejimdeki 2 turu 0,106 saniyede tamamlamaktadır. S6 yükleme senaryosunda tek eksenli gerinim ölçer test sonuçları ile simülasyon ortamındaki modelden kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen sonuçların karakteristikleri Şekil 6.27, 6.28, 6.29, 6.30 ve 6.31’de detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



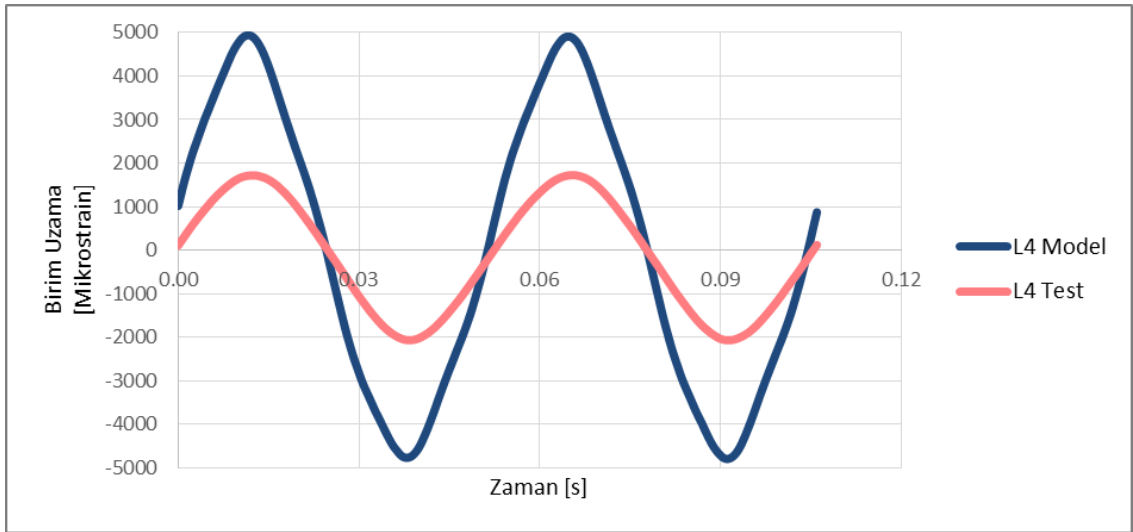
Şekil 6.27 6 Nolu yükleme senaryosu L1 bölgesi model ve test sonuçları



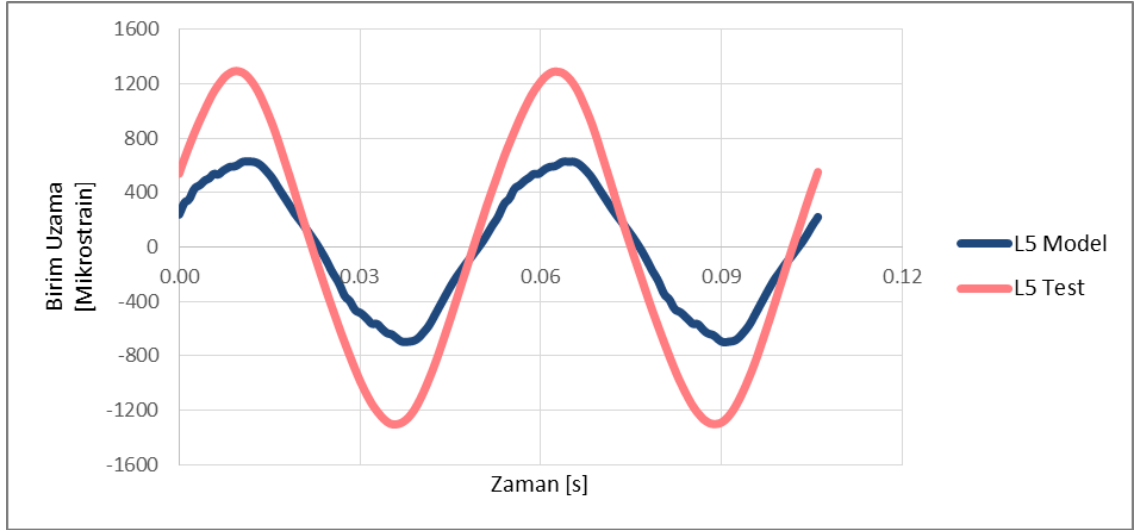
Şekil 6.28 6 Nolu yükleme senaryosu L2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.29 6 Nolu yükleme senaryosu L3 bölgesi model ve test sonuçları



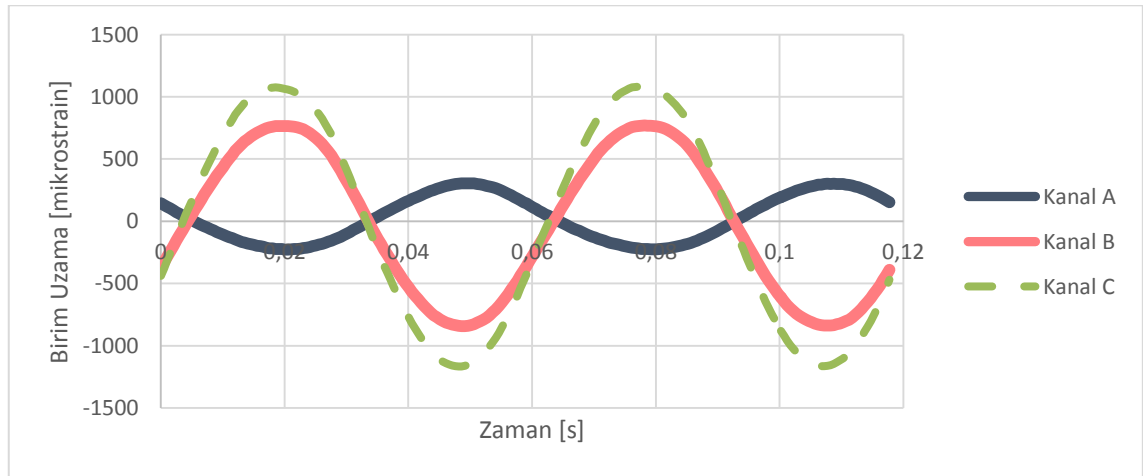
Şekil 6.30 6 Nolu yükleme senaryosu L4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.31 6 Nolu yükleme senaryosu L5 bölgesi model ve test sonuçları

6.3 Üç Eksenli Gerinim Ölçer Bulgularının Değerlendirilmesi

Üç eksenli rozet tip gerinim ölçerlerden, aynı anda tek bir noktadan üç eksendeki birim uzama sonuçları toplanmıştır. Üç kanaldan elde edilen birim uzama ölçümleri, Şekil 6.32’de gösterilmiştir.



Şekil 6.32 Üç eksenli R1 bölgesi gerinim ölçerden toplanan kararlı rejimdeki ölçüm sonuçları

Üç eksenli rozet tip gerinim ölçerden, aynı anda üç kanaldan elde edilen birim uzama ölçümleri ile birlikte, elastisite modülü ve poisson oranının da hesaba katılmasıyla, vonMises gerilmeleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer ile simülasyon modelinden ölçümle, aynı bölgelerden elde edilen vonMises gerilmeleri karşılaştırılmıştır.

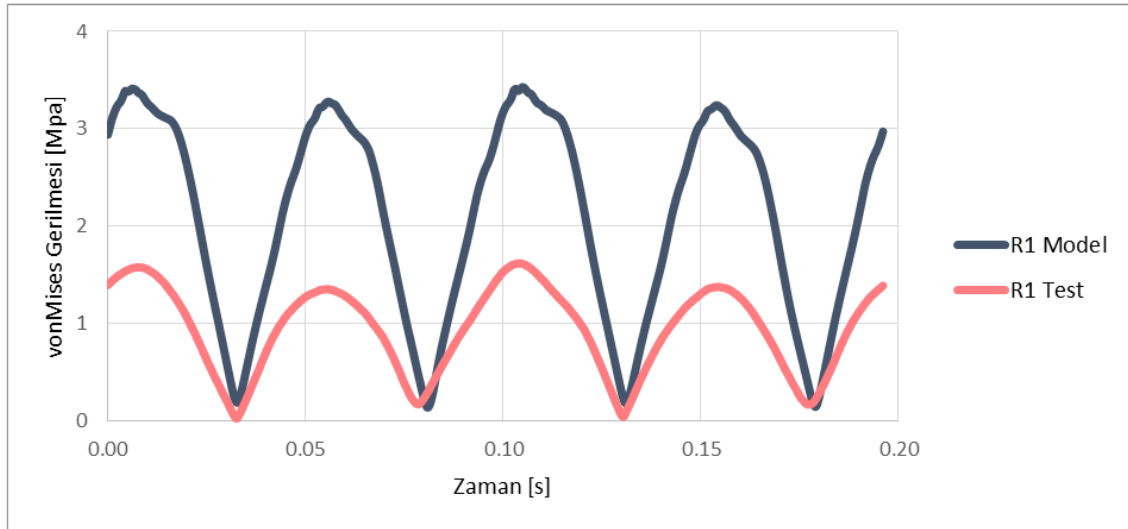
6.3.1 1 Nolu Yükleme Senaryosu (S1)

S1 yükleme senaryosunda 800 gr kütleli lastik blok ve 612 d/d gerçek sıkma devrinde, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerlerden toplanan birim uzama değerlerinden hesaplanan ve simülasyon ortamındaki modelden elde edilen vonMises gerilmelerinin en yüksek değerleri, Tablo 6.7’de karşılaştırılmıştır.

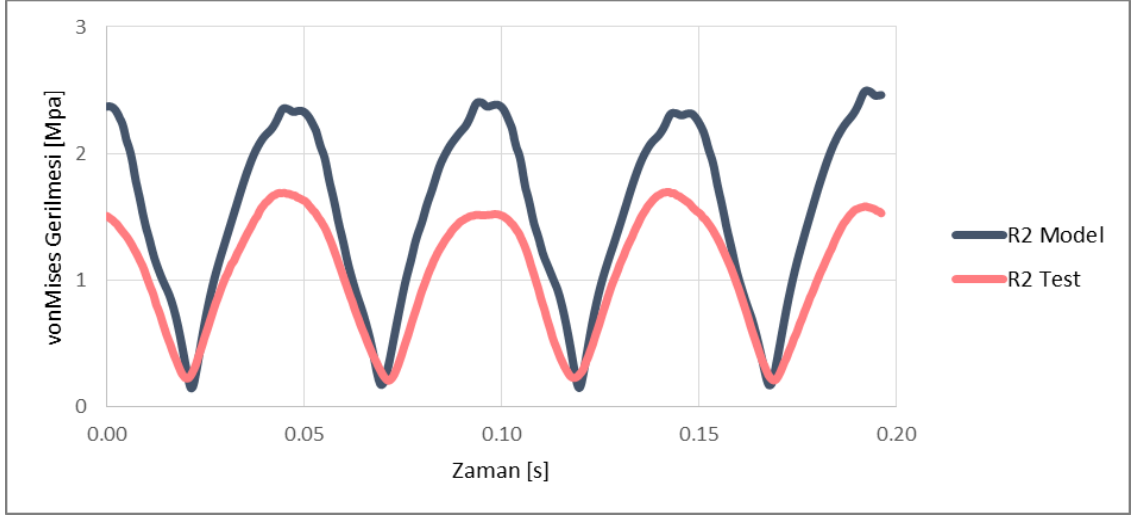
Tablo 6.7 1 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları

	R1	R2	R3	R4	R5
TEST	1.62	1.70	1.81	1.42	1.15
MODEL	3.43	2.50	3.10	1.45	0.22

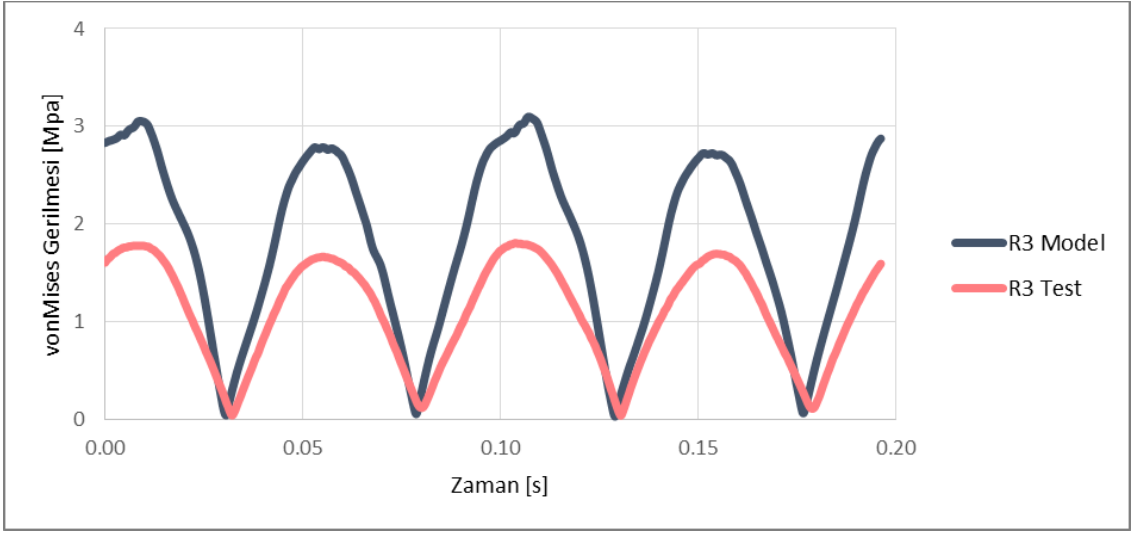
S1 yükleme senaryosunda üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgelerindeki vonMises gerilmelerinin, kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen karakteristikleri Şekil 6.33, 6.34, 6.35, 6.36 ve 6.37’de detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



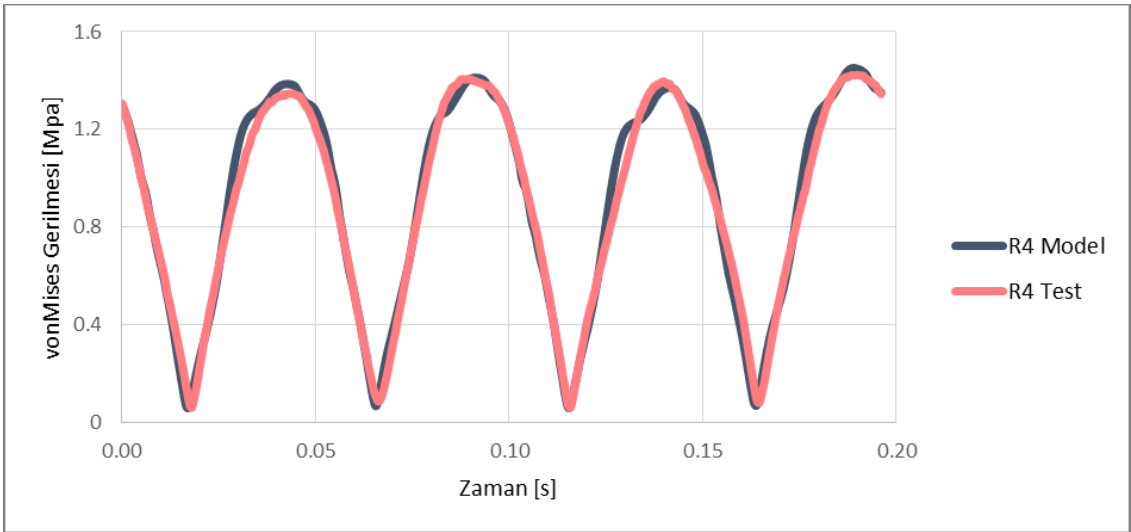
Şekil 6.33 1 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları



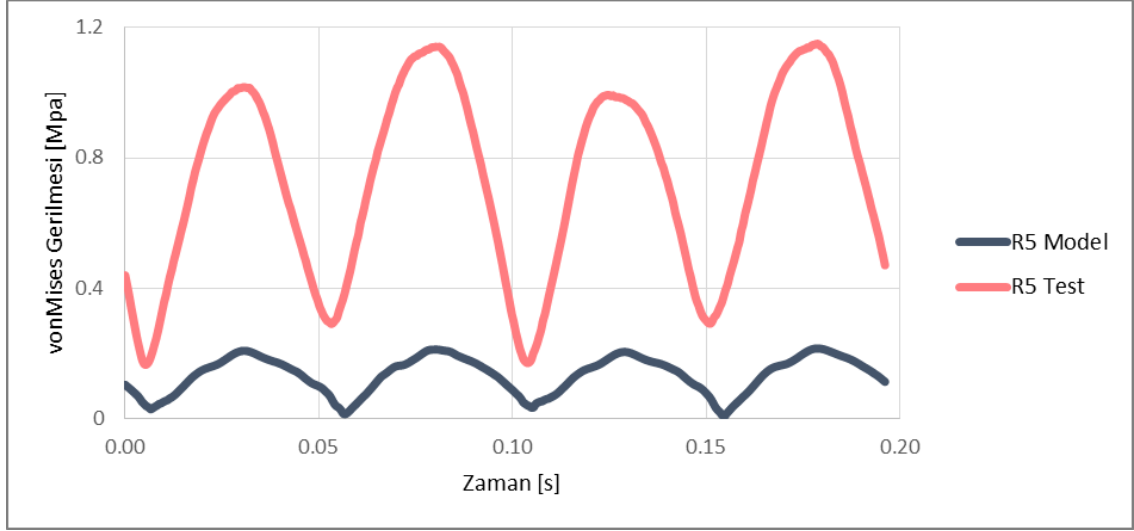
Şekil 6.34 1 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.35 1 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.36 1 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.37 1 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları

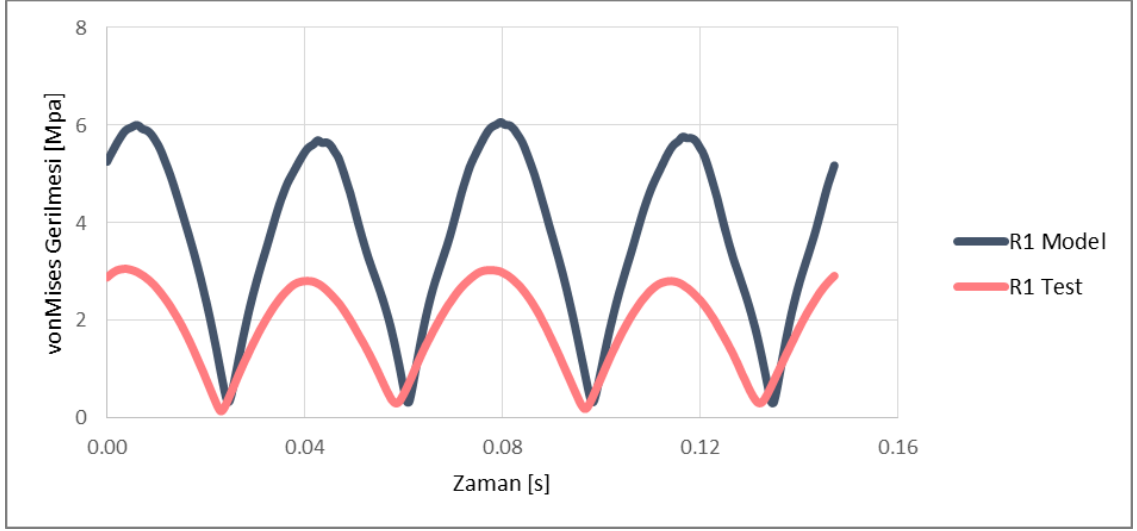
6.3.2 2 Nolu Yükleme Senaryosu (S2)

S2 yükleme senaryosunda 800 gr kütleli lastik blok ve 816 d/d gerçek sıkma devrinde, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerlerden toplanan birim uzama değerlerinden hesaplanan ve simülasyon ortamındaki modelden elde edilen vonMises gerilmelerinin en yüksek değerleri, Tablo 6.8’de karşılaştırılmıştır.

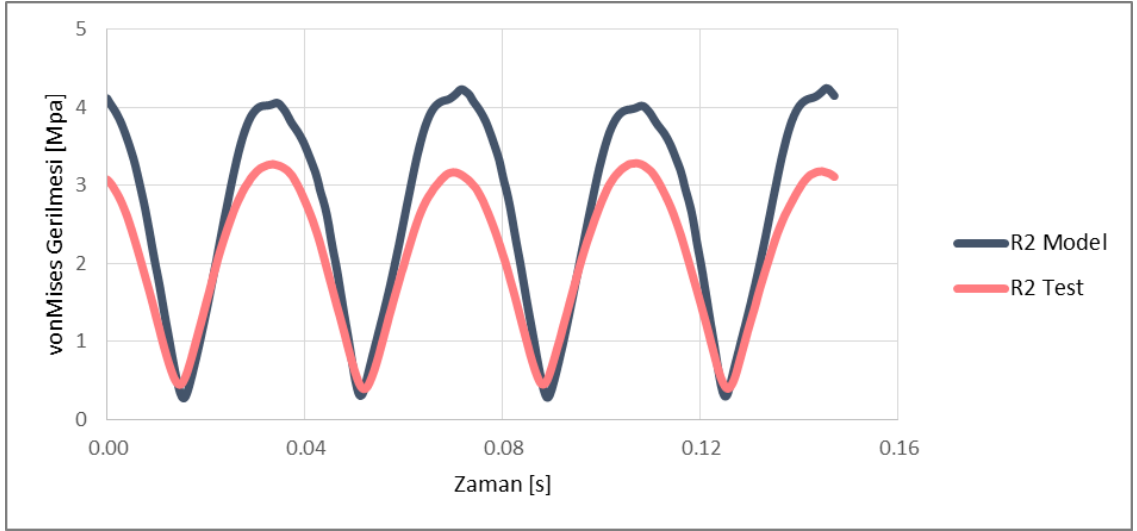
Tablo 6.8 2 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları

	R1	R2	R3	R4	R5
TEST	3.05	3.29	3.61	2.81	2.41
MODEL	6.06	4.25	5.18	2.71	0.40

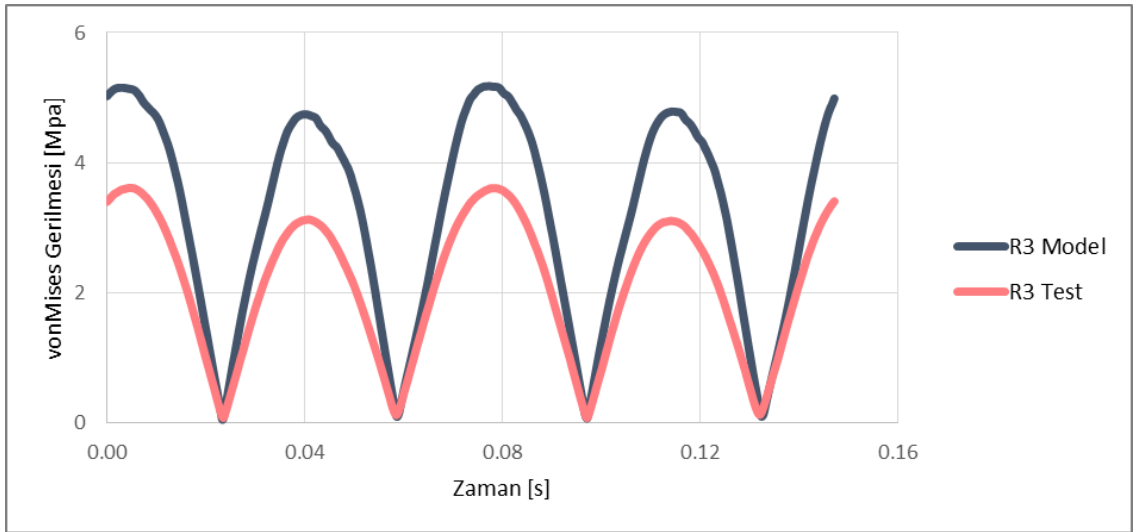
S2 yükleme senaryosunda üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgelerindeki vonMises gerilmelerinin, kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen karakteristikleri Şekil 6.38, 6.39, 6.40, 6.41 ve 6.42’de detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



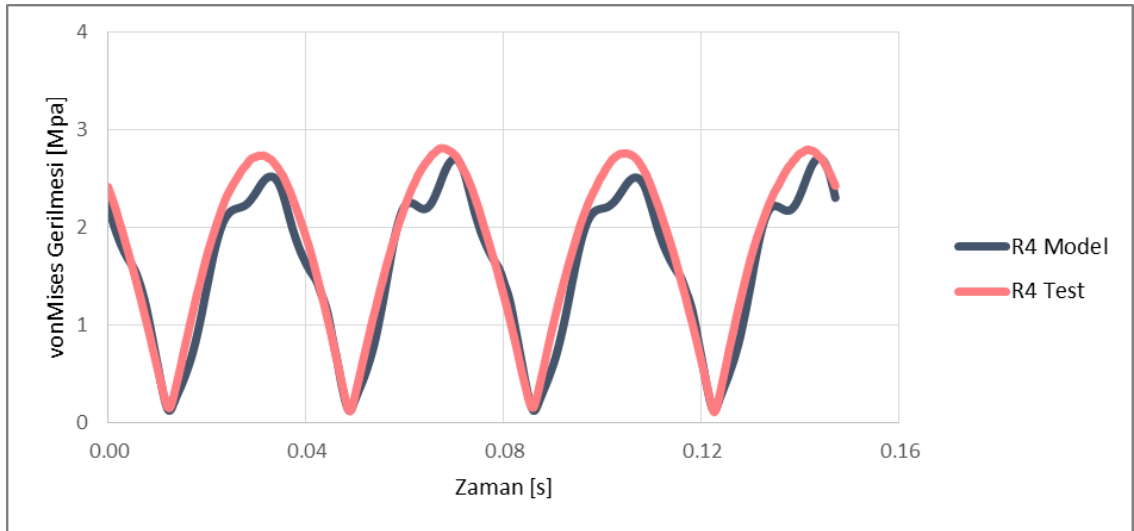
Şekil 6.38 2 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları



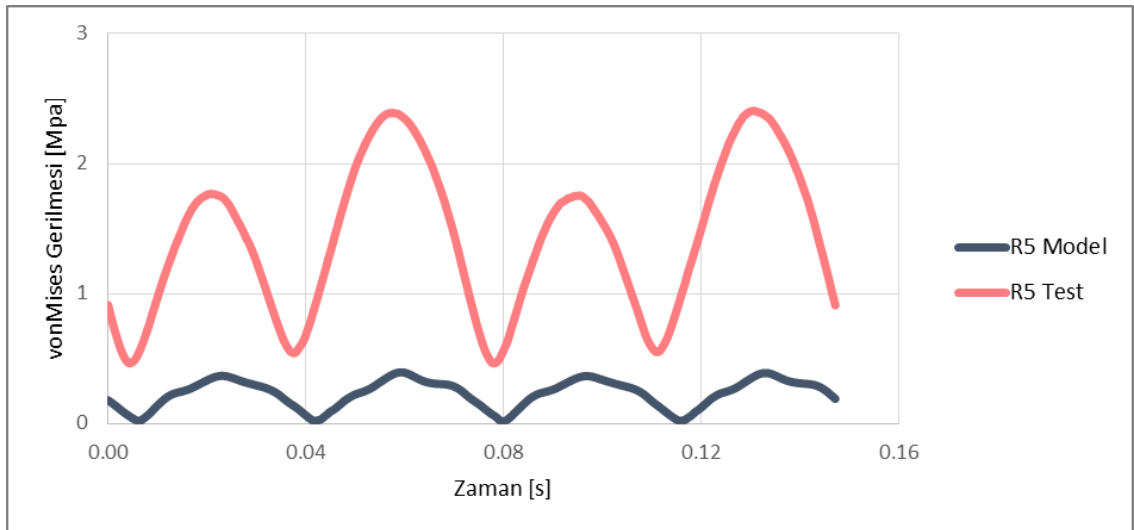
Şekil 6.39 2 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.40 2 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.41 2 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.42 2 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları

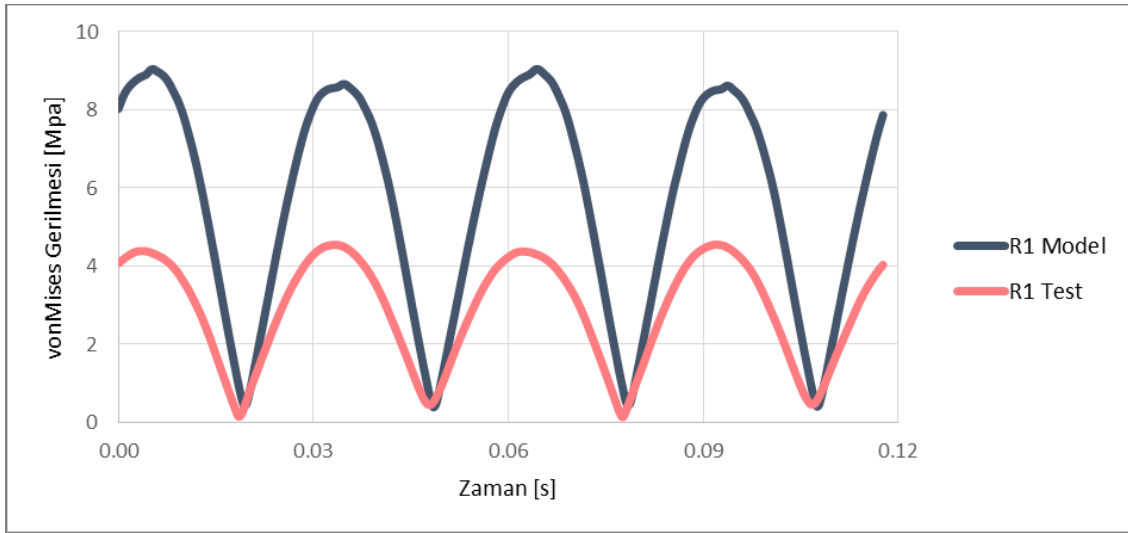
6.3.3 3 Nolu Yükleme Senaryosu (S3)

S3 yükleme senaryosunda 800 gr kütleli lastik blok ve 1020 d/d gerçek sıkma devrinde, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerlerden toplanan birim uzama değerlerinden hesaplanan ve simülasyon ortamındaki modelden elde edilen vonMises gerilmelerinin en yüksek değerleri, Tablo 6.9'da karşılaştırılmıştır.

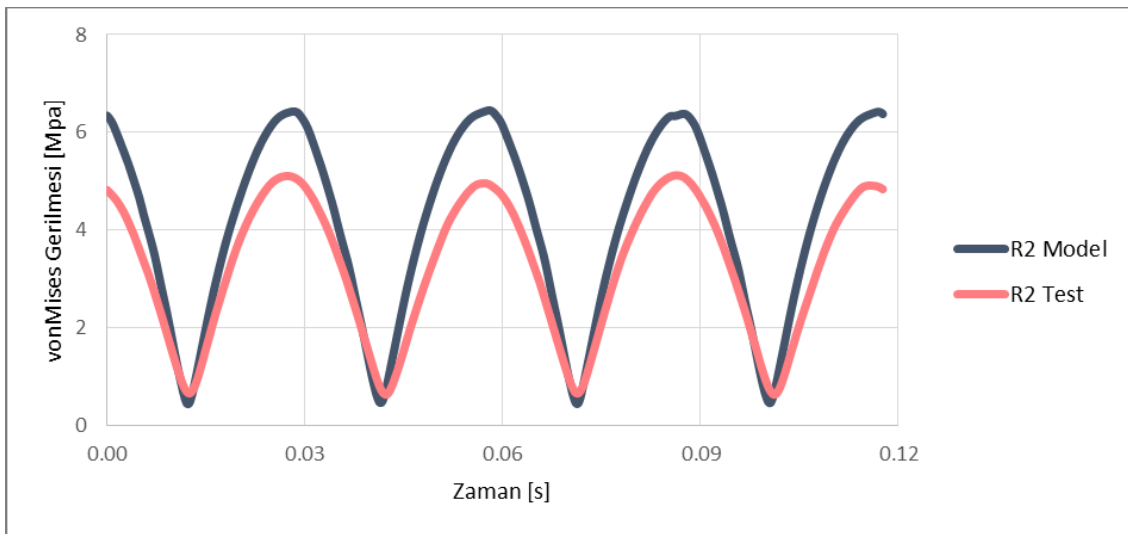
Tablo 6.9 3 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları

	R1	R2	R3	R4	R5
TEST	4.55	5.12	5.39	4.33	3.39
MODEL	9.04	6.45	8.04	3.93	0.57

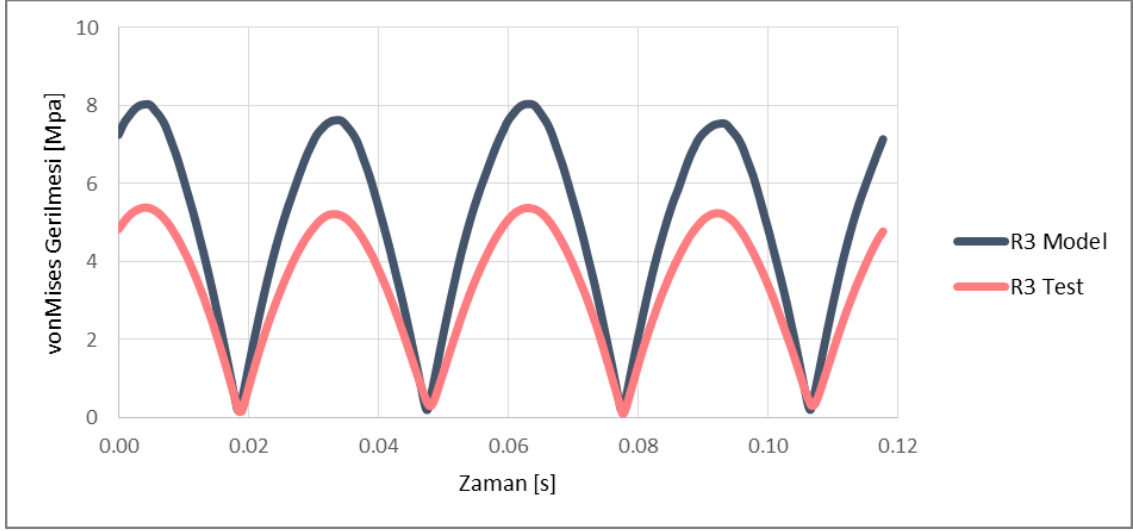
S3 yükleme senaryosunda üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgelerindeki vonMises gerilmelerinin, kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen karakteristikleri Şekil 6.43, 6.44, 6.45, 6.46 ve 6.47’de detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



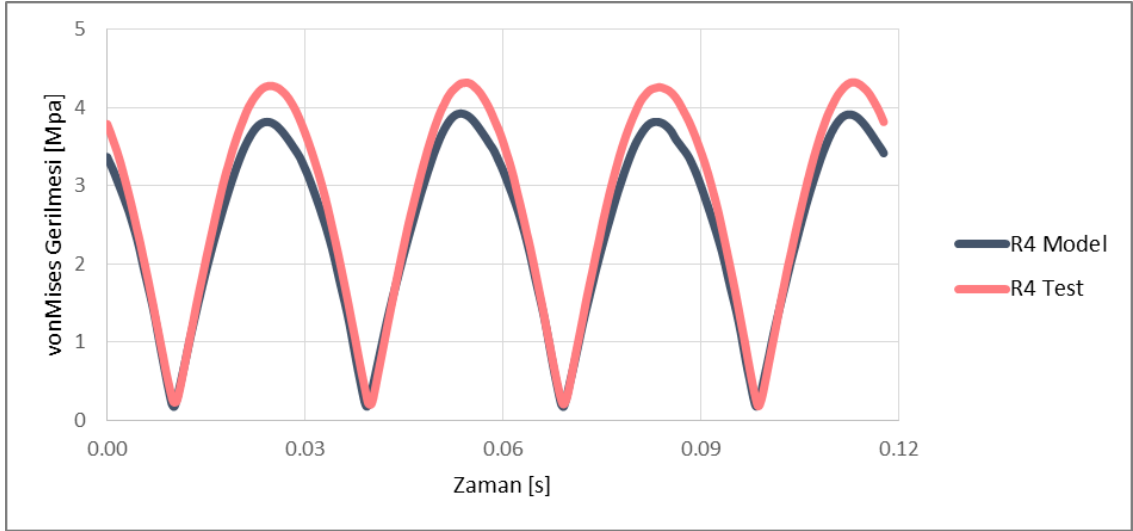
Şekil 6.43 3 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları



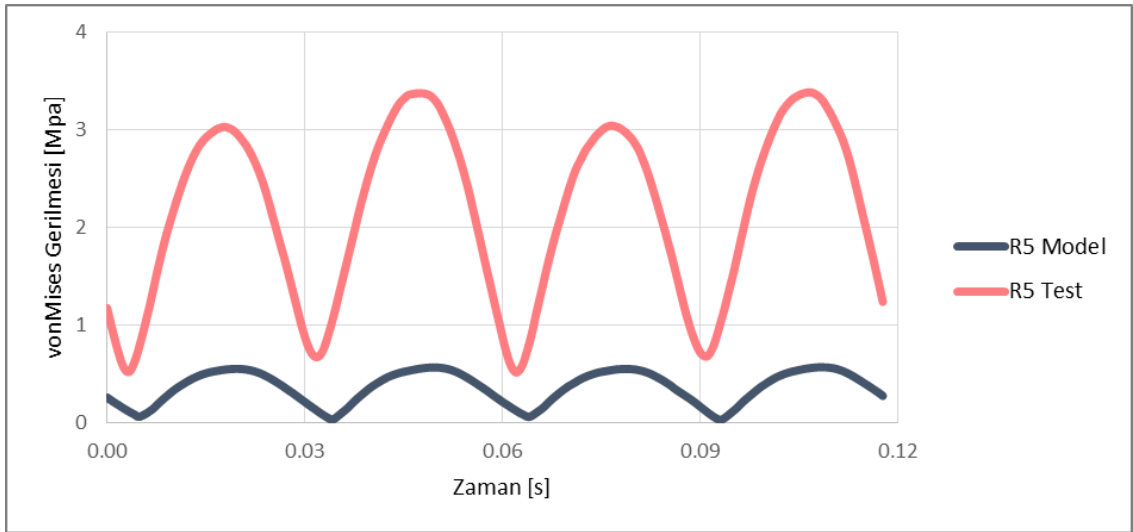
Şekil 6.44 3 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.45 3 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.46 3 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.47 3 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları

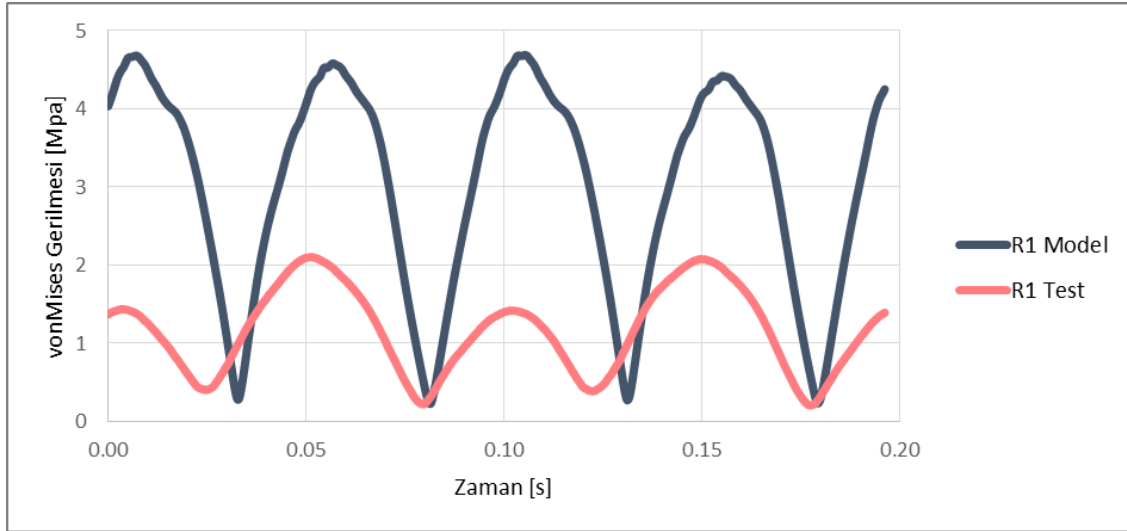
6.3.4 4 Nolu Yükleme Senaryosu (S4)

S4 yükleme senaryosunda 1200 gr kütleli lastik blok ve 612 d/d gerçek sıkma devrinde, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerlerden toplanan birim uzama değerlerinden hesaplanan ve simülasyon ortamındaki modelden elde edilen vonMises gerilmelerinin en yüksek değerleri, Tablo 6.10'da karşılaştırılmıştır.

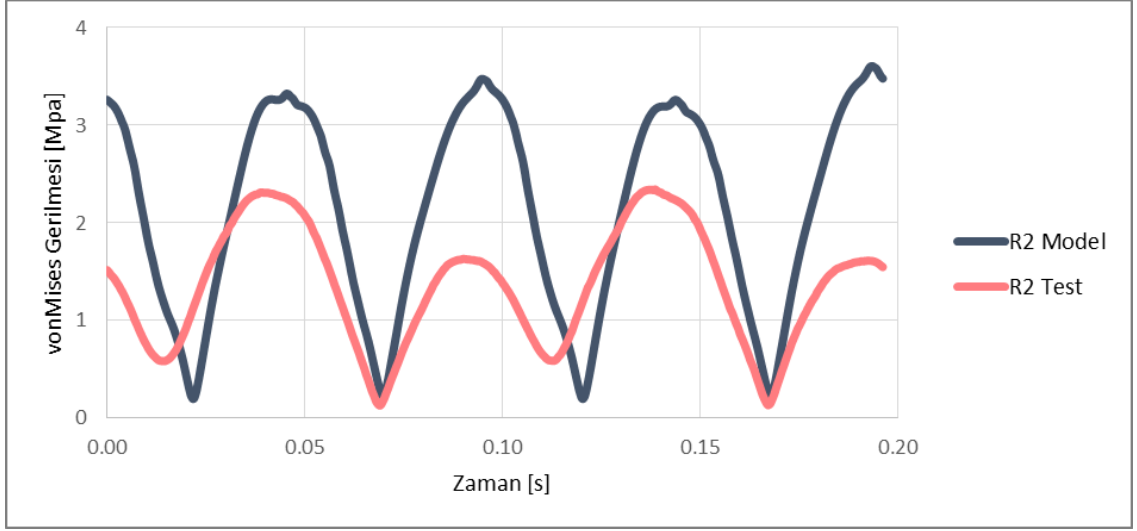
Tablo 6. 10 4 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi

	R1	R2	R3	R4	R5
TEST	2.10	2.34	2.56	1.93	1.69
MODEL	4.69	3.61	4.11	2.08	0.31

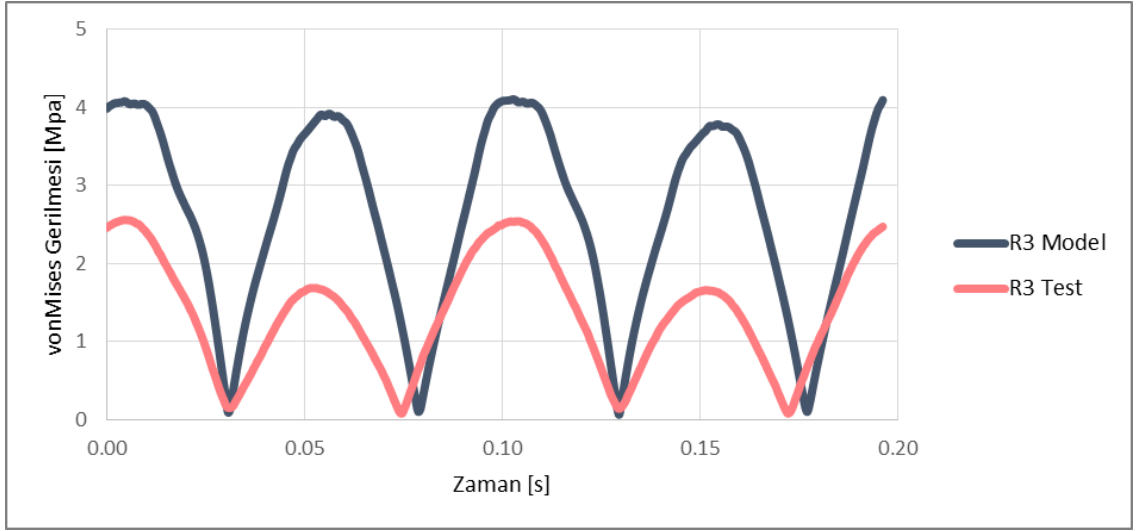
S4 yükleme senaryosunda üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgelerindeki vonMises gerilmelerinin, kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen karakteristikleri Şekil 6.48, 6.49, 6.50, 6.51 ve 6.52'de detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



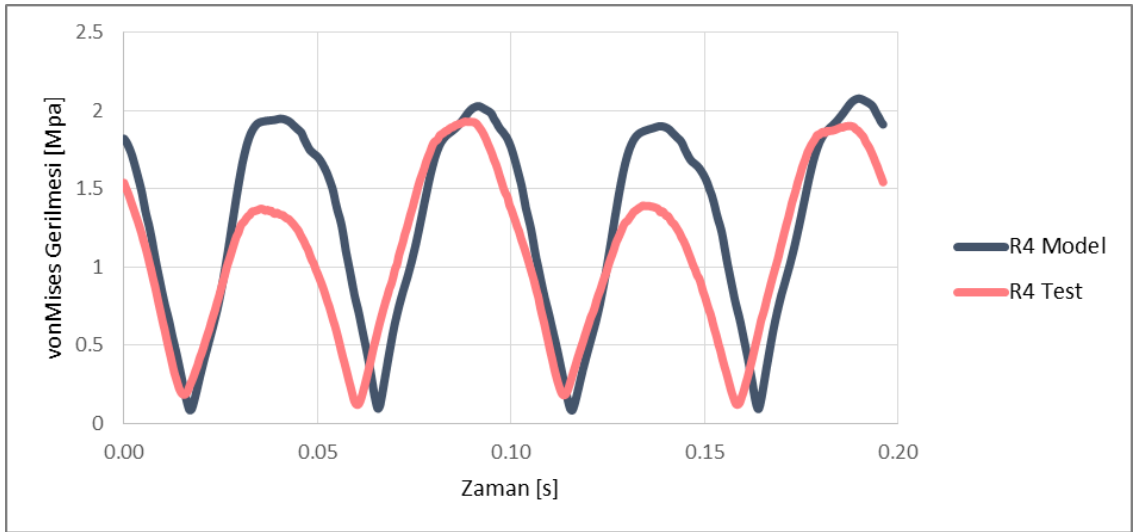
Şekil 6.48 4 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları



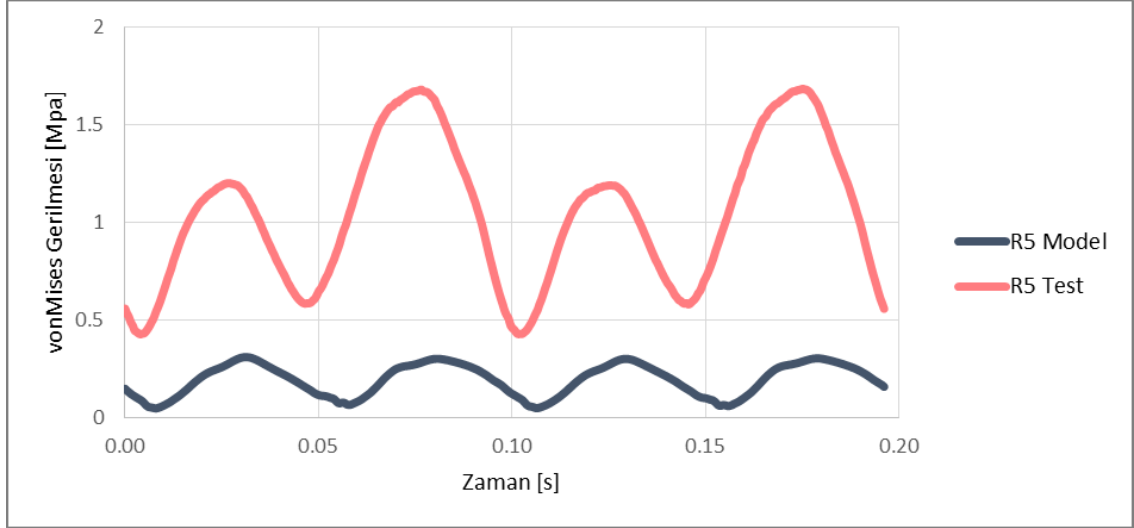
Şekil 6.49 4 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.50 4 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.51 4 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.52 4 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları

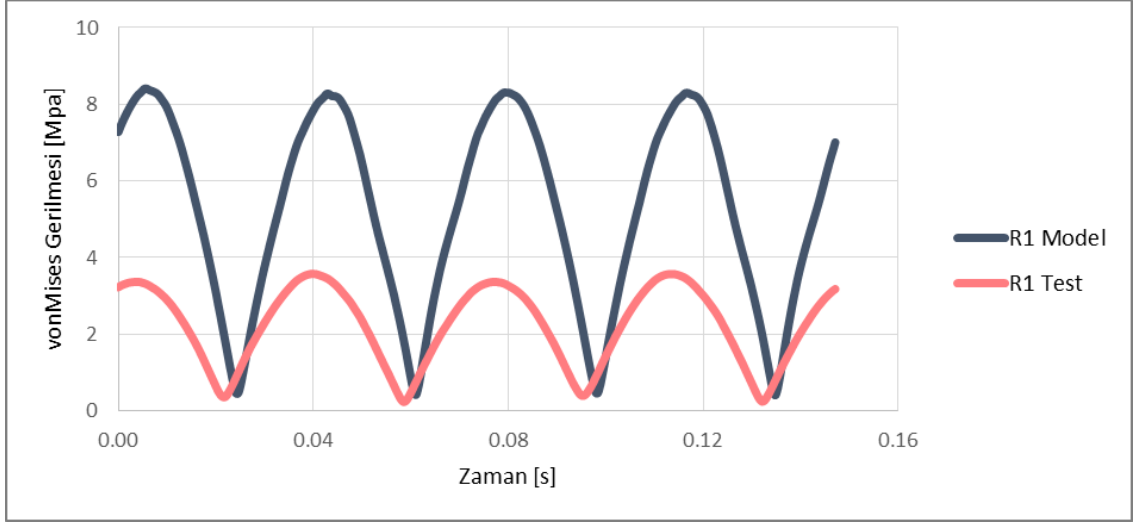
6.3.5 5 Nolu Yükleme Senaryosu (S5)

S5 yükleme senaryosunda 1200 gr kütleli lastik blok ve 815 d/d gerçek sıkma devrinde, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerlerden toplanan birim uzama değerlerinden hesaplanan ve simülasyon ortamındaki modelden elde edilen vonMises gerilmelerinin en yüksek değerleri, Tablo 6.11’de karşılaştırılmıştır.

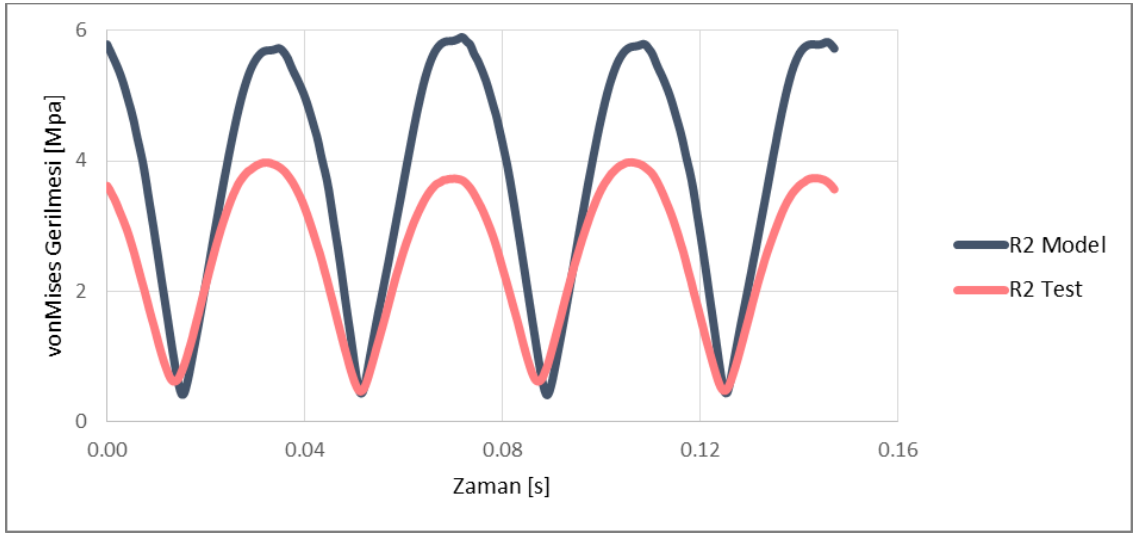
Tablo 6.11 5 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları

	R1	R2	R3	R4	R5
TEST	3.57	3.98	4.74	3.47	3.36
MODEL	8.41	5.90	7.26	3.75	0.56

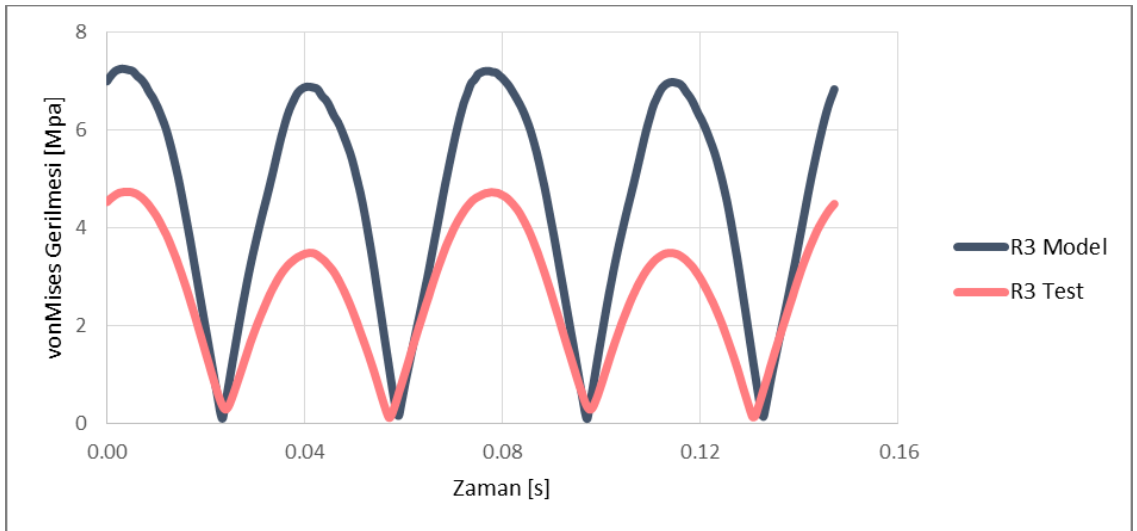
S5 yükleme senaryosunda üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgelerindeki vonMises gerilmelerinin, kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen karakteristikleri Şekil 6.53, 6.54, 6.55, 6.56 ve 6.57’de detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.



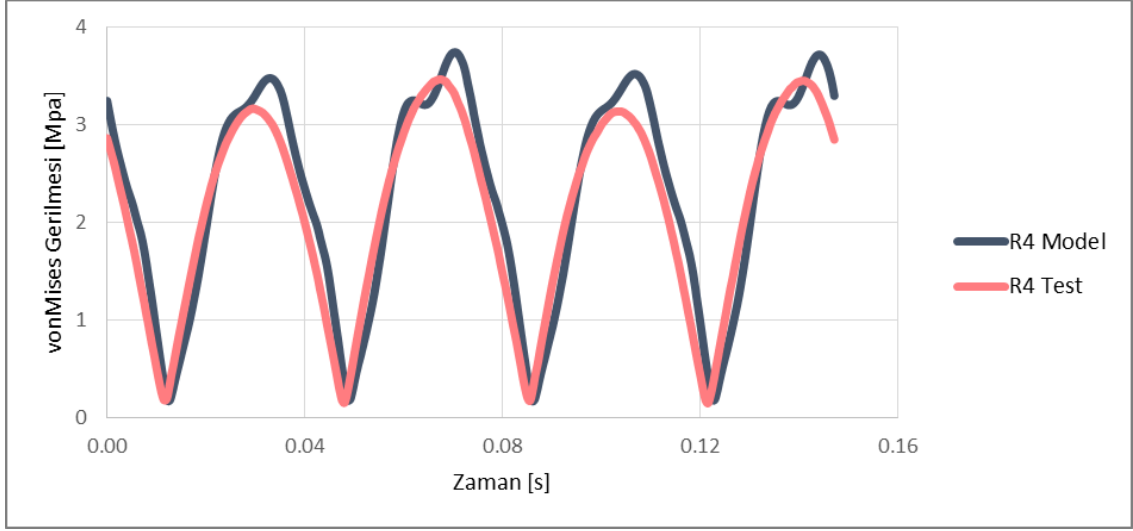
Şekil 6.53 5 Nolu yükleme senaryosu R1 bölgesi model ve test sonuçları



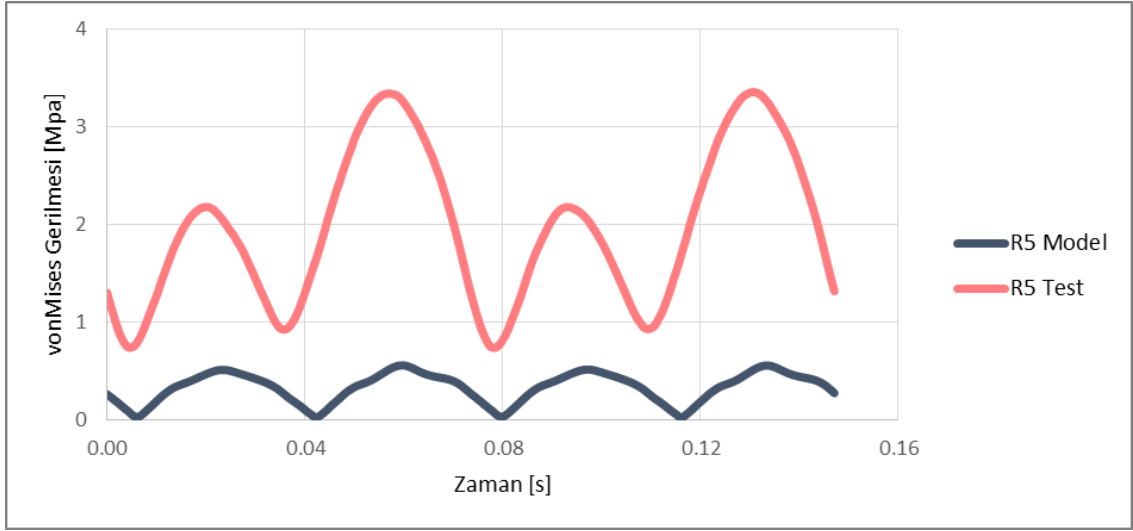
Şekil 6.54 5 Nolu yükleme senaryosu R2 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.55 5 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.56 5 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.57 5 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları

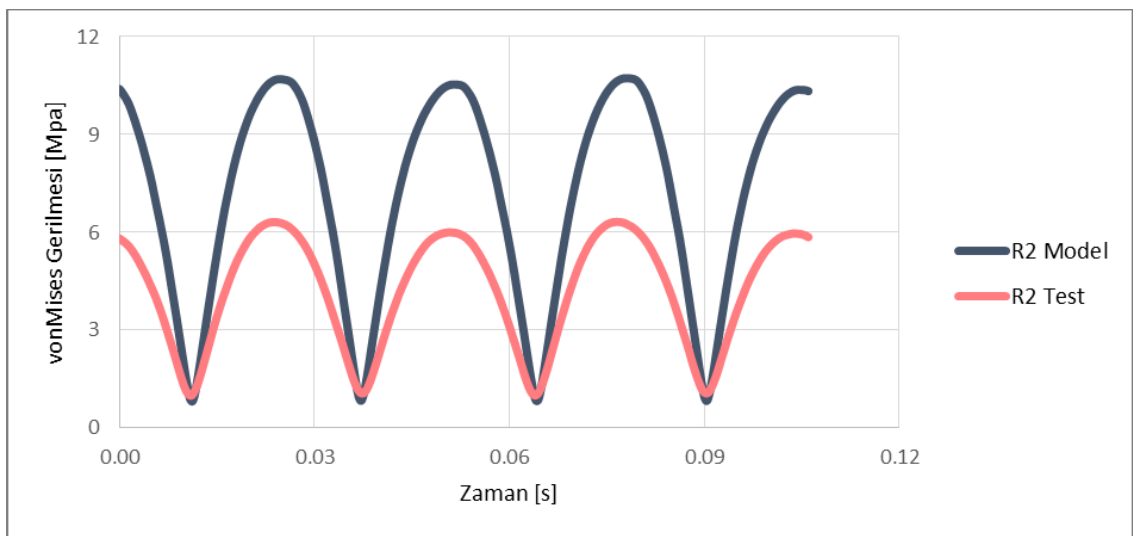
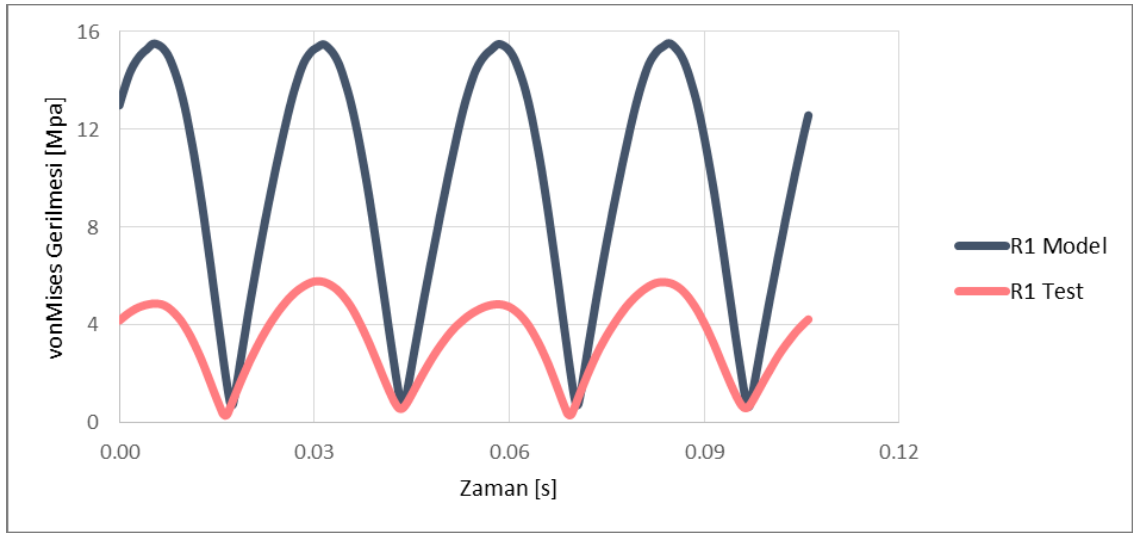
6.3.6 6 Nolu Yükleme Senaryosu (S6)

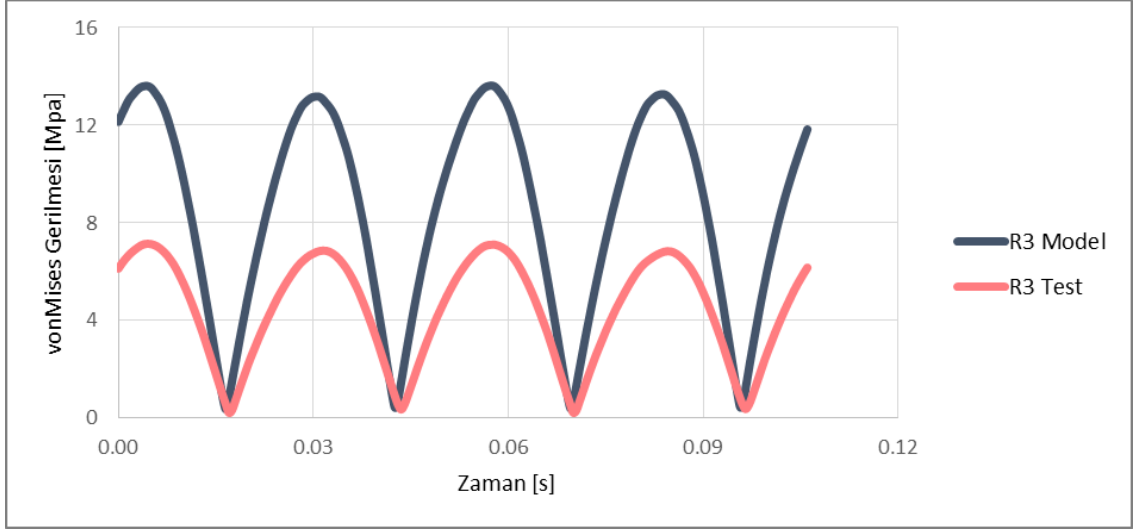
S6 yükleme senaryosunda 1200 gr kütleli lastik blok ve 1132 d/d gerçek sıkma devrinde, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerlerden toplanan birim uzama değerlerinden hesaplanan ve simülasyon ortamındaki modelden elde edilen vonMises gerilmelerinin en yüksek değerleri, Tablo 6.12’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.12 6 Nolu yükleme senaryosu üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgeleri vonMises gerilmesi sonuçları

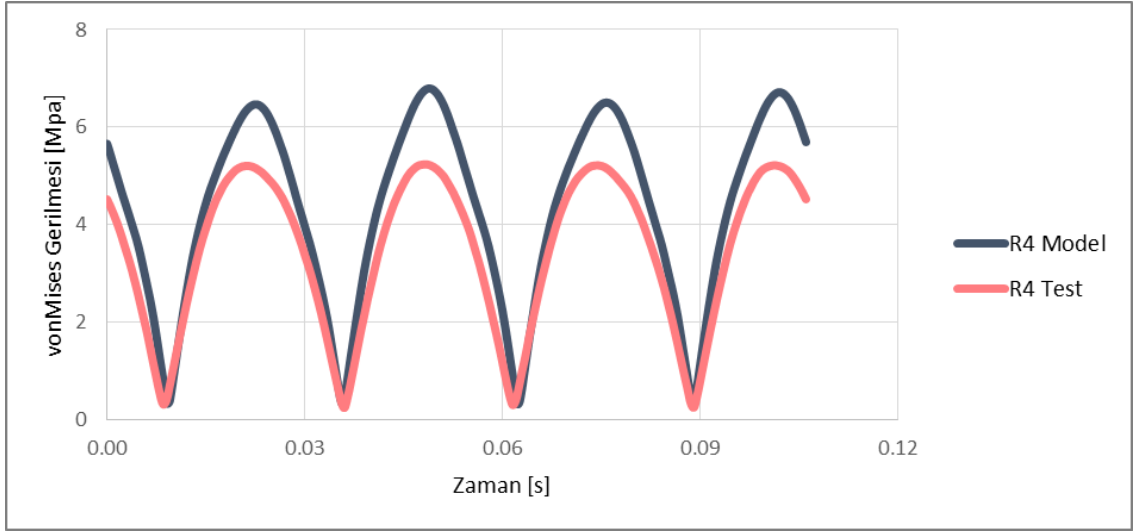
	R1	R2	R3	R4	R5
TEST	5.78	6.31	7.13	5.24	4.81
MODEL	15.53	10.72	13.62	6.79	0.99

S6 yükleme senaryosunda üç eksenli rozet tip gerinim ölçer bölgelerindeki vonMises gerilmelerinin, kararlı rejimdeki iki tur boyunca elde edilen karakteristikleri Şekil 6.58, 6.59, 6.60, 6.61 ve 6.62’de detaylı bir şekilde paylaşıldığı gibidir.

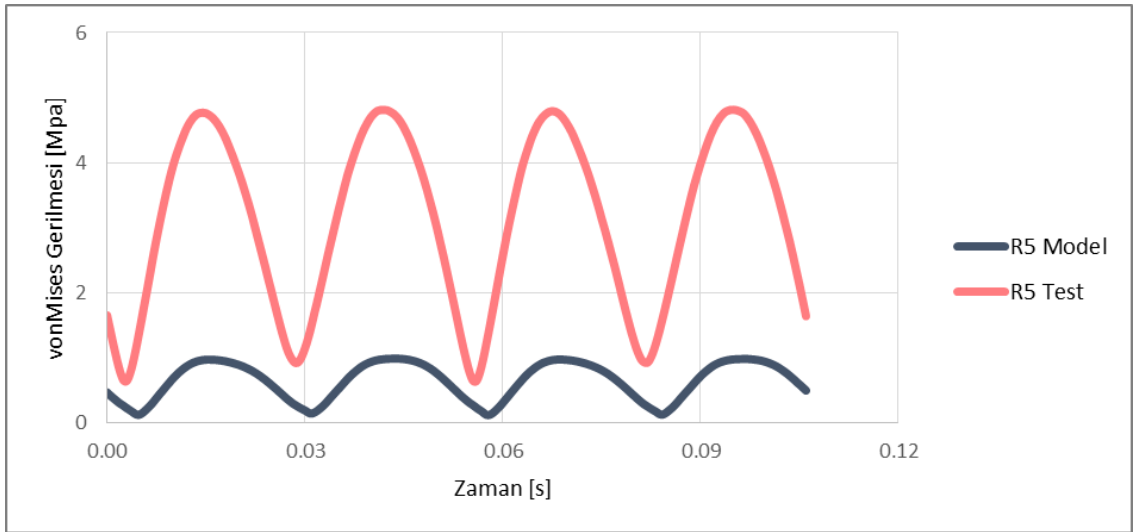




Şekil 6.60 6 Nolu yükleme senaryosu R3 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.61 6 Nolu yükleme senaryosu R4 bölgesi model ve test sonuçları



Şekil 6.62 6 Nolu yükleme senaryosu R5 bölgesi model ve test sonuçları

Bu çalışmada, çamaşır makinesi tahrik grubunun esnek cisim modelinin kurulması ve tercih edilen test yöntemiyle elde edilen sonuçların tutarlılığı karşılaştırılmıştır. Çamaşır makinesinde kazan plastiği üzerine daha önceden belirlenmiş bölgelere, gerinim ölçer uygulaması yapılmış ve kararlı rejim anında ölçümler toplanmıştır. Hesaplamalı mühendislik araçları ile test sırasındaki aynı şartlar simülasyon ortamında modele uygulanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre tek eksenli gerinim ölçer bölgelerinde, test ve model sonuçlarının karakteristik davranışında yüksek bir tutarlılık görülmüştür. Kazan plastiğinin merkezine göre simetrik konumlarda bulunan L1 ile L3 bölgeleri ve L2 ile L5 bölgeleri arasında aynı korelasyon faktörü yakalanmıştır. Modelden elde edilen sonuçların, eleman eksen takımı üzerinden okunması ve tek eksenli gerinim ölçer ekseninin, bu eksenden kaçıklığı gerinim değerlerinin karşılaştırmasında farklılıklara sebep olmaktadır.

Uygulanan yükün büyüklüğünün ve yönünün sürekli değişmesi, ölçüm yapılacak bölgenin böylesine karmaşık olduğu durumlarda, üç eksenli rozet tip gerinim ölçerler kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu uygulamada, 45 derecelik üç eksenli rozet tip gerinim ölçerler tercih edilmiştir. Bu tip gerinim ölçerler, asal gerinim yönlerinin tahmin edilemediği durumlarda, uygulama rotasyonunun önemi olmaksızın, asal gerinim ve asal gerilme yönleri ile değerini elde etmekte kullanılır. Ayrıca, asal gerilmelerden vonMises gerilmesi de hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada, beş bölgeden ve üç eksenden toplanan birim uzama değerlerinden gerekli dönüşümler yapılarak, vonMises gerilmesi hesaplanmıştır. Testle aynı bölgelerden okunan vonMises gerilmesi model sonuçları ile test sonuçları karşılaştırıldığında, sonuçların karakteristiği bakımından yüksek bir tutarlılık görülmektedir.

R1, R2 ve R3 bölgelerinde modelden elde edilen sonuçlar, test sonuçlarına göre daha yüksek değerlerdedir. Modeldeki gerilme dağılımı sonuçlarının okunduğu

köşe noktalarında, kabuk modelleme tekniğinden kaynaklı yuvarlatmalar temsil edilememektedir. Bu sebeple, o bölgelerde gerilme yığılmaları oluşmakta ve gerilme tekilliğine sebep olabilmektedir. Bundan dolayı, modeldeki vonMises gerilme sonuçları, test sonuçlarından daha yüksek değerlerdedir.

R5 bölgesindeki test ve modelden elde edilen gerilme sonuçlarının uyuşmadığı görülmektedir.

R4 bölgesinde test sonuçları ile model sonuç arasında çok yüksek bir korelasyon görülmüştür. Bunun sebebi, rozet uygulaması yapılan bölgede, modelin tekillikten uzak bir şekilde hazırlanıp, homojen bir gerilme dağılımı elde edilmesidir. Bu bölgede gözlemlenen yüksek korelasyon, gerinim ölçer uygulamasının yapılacağı bölge seçiminin önemli olduğunu göstermektedir. Ölçüm alınacak bölgenin, modelleme açısından tasarımın bire bir veya en yakın şekilde yansıtılabileceği bölgelerden tercih edilmesi, korelasyon sorgulaması bakımından en doğru sonucu vereceği görülmüştür.

Ayrıca dengesiz yük değişmeden sıkma devrinin arttığı tüm yükleme senaryolarında, gerinim ölçerlerde okunan gerinim değerlerinin de arttığı görülmüştür. Bununla birlikte dengesiz yükün değişmemesine rağmen sıkma devrinin arttığı yükleme senaryolarında vonMises gerilmelerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın devamı olarak aşağıdaki çalışmaların yapılmasının da yararlı olacağı düşünülmektedir.

- Kazan plastiği malzemesinden üretilmiş çekme numunesi hazırlanıp, asal gerinim yönünde gerinim ölçer uygulanabilir. Çekme testi standartları altında toplanan ölçüm sonuçları ile aynı şartları temsil edecek şekilde hazırlanan modelden de elde edilecek sonuçların yüksek seviyede tutarlılığı elde edilebilir.
- Kazan plastiği, kabuk elemanlar yerine uygun seçilmiş katı elemanlar(çözüm ağı tutarlılığı sorgulaması yapılmış) ile modellenip yuvarlatma bölgeleri gerçeğe daha yakın modellenebilir. Bu modelleme yöntemi ile kabuk modelleme yöntemi sonuçları arasındaki tutarlılık karşılaştırılabilir.

- Çamaşır makinesinin sıkma devirlerinde çalışması sırasında, artan dönme devirleriyle birlikte kazan plastiği üzerinde sıcaklık artışı da olmaktadır. Gerinim ler uygulaması yapılacak bölgelerin her biri için sıcaklık değerleri tespit edilip, modelde tanımlanacak elastisite modülü gibi malzemenin mekanik özelliklerinin de o sıcaklıklardaki değerleri kullanılabilir. Söz konusu malzemenin, sıcaklık etkisiyle değişen mekanik özellikleri de modele yansıtılmış olabilir.

- [1] Ö. Uysal, Çamaşır Makinası Dinamik Davranışının Modellenmesi ve Dinamik Bileşenlerinin Testi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [2] F. Bayraktar ve T. Belek, Çamaşır Makinası Dinamik Davranışının Deneysel ve Teorik İncelenmesi, İTÜ Dergisi, Cilt:5, Sayı:2, Sayfa:135-144, 2006.
- [3] K. Aktaş, Yatay Eksenli Bir Çamaşır Makinesinin Dinamik Modellenmesi ve Titreşim Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [4] M. Aksoy, Ticari Yarı Römork Tanker Şasi Yorulma Dayanımının Gerçek Yol Sinyalleri İle Bilgisayar Ortamında İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [5] M. Mitsuishi ve Y. Nagao, Washing Machine Dehydration Dynamics Analysis, Nihon Kikai Gakkai Nenji Taikai Koen Ronbunshu, Cilt:5, Sayfa:209-216, 2002.
- [6] F. Wagner, Dynamics of Washing Machine, Doktora Tezi, Technische Universität München, 2000.
- [7] M. Öztürk, Çamaşır Makinasının Dinamik Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [8] W. L. Sun, S. Zhang, W. W. Ge ve Y. Y. Li, "Structure Analysis of Inner Cylinder Components of Drum Washing Machine Based on Ansys/Workbench," Applied Mechanics and Materials, Cilt:385-386, Sayfa:137-140, 2013.
- [9] Beyaz Eşya Sektörü Hakkında, TÜRKBESE, Türkiye Beyaz Eşya Sanayicileri Derneği, URL: <http://www.turkbesd.org/bilgiler.php> (Erişim zamanı; Mart, 2019)
- [10] R. Hibbeler, Mechanics of Materials, 8. Baskı, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [11] J. W. Dally ve W. F. Riley, Experimental Stress Analysis, 3. Baskı, New York: McGraw-Hill, 1991.
- [12] Gerilme ve Basınç Algılayıcıları, URL: <http://www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/alg/2strain.pdf> (Erişim zamanı, Ocak, 2019)
- [13] Abaqus/CAE User's Guide, URL: <http://www.dassault.fr/> (Erişim zamanı, Mart 2018)
- [14] HyperMesh 2017 User Guide, URL: <https://altairhyperworks.com/> (Erişim zamanı, Mart 2018)
- [15] M. Shahzad, A. Kamran, M. Z. Siddiqui ve M. Farhan, Mechanical Characterization and FE Modelling of a Hyperelastic Material, Materials Research, Cilt:18, Sayı:5, Sayfa:918-924, 2015.

- [16] OptiStruct 2017 User's Guide, URL: <https://altairhyperworks.com/> (Erişim zamanı, Mart 2018)
- [17] Practical Aspects of Multi-Body Simulation With Hyperworks, URL: <https://altairuniversity.com/free-ebooks-2/practical-aspects-of-multi-body-simulation-with-hyperworks/> (Erişim zamanı, Nisan 2018)
- [18] Learn Dynamic Analysis with Altair OptiStruct, URL: <https://altairuniversity.com/free-ebook-learn-dynamic-analysis-with-altair-optistruct/> (Erişim zamanı, Haziran 2018)

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: ozanule@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. Ozan Ule ve Rahmi Güçlü, Çamaşır Makinesi Tahrik Grubunun Esnek Cisim Modelinin Deneysel Olarak Doğrulanması, Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON BAHAR 2019), Sakarya, 2019.