

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNESİ ADAPTİF SIKMA ALGORİTMASI



YÜKSEK LİSANS TEZİ

İpek TERZİOĞLU

Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ata Muğan

EKİM 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNESİ ADAPTİF SIKMA ALGORİTMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İpek TERZİOĞLU
518161012**

Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ata Muğan

EKİM 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 518161012 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İpek TERZİOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇAMAŞIR MAKİNESİ ADAPTİF SIKMA ALGORİTMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ata Muğan**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Şeniz ERTUĞRUL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Öğr. Gör. Dr. Merve ACER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İlker ÜSTOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **12 Eylül 2018**
Savunma Tarihi :





Aileme ve arkadaşlarıma,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Arçelik A.Ş. bünyesinde, ‘Çamaşır Makinesi Adaptif Sıkma Algoritması’ başlıklı TÜBİTAK TEYDEB projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Proje süresince benden desteğini esirgemeyen ve değerli katkıları için danışman hocam Prof.Dr. Ata Muğan ve Merve Acer’e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Arçelik A.Ş. firmasında çalıştığım proje süresi bana her türlü konuda yardımcı olan firma mühendislerinden Erdem Postoğlu’na ve Caner Germiyanlıoğlu’na, kıdemli uzman mühendis Asuman Fırat’a, projede ortak olarak çalıştığım Ali Furkan Aktaş ve Yakup Aktaş’a, yaptığım deneysel çalışmalarda bana her zaman yardımcı olan Ar-Ge Teknisyenleri Kadriye Uzuner Kiraz, Ali Karaca ve Cem Tuzla’ya ve motivasyonumu her zaman güçlü tutan çalışma arkadaşlarımdan Nergis Yılmaz, Özge Demirel ve Irmak Özkan’a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca beni bu noktaya getirene kadar her türlü desteği veren ailerime de sonsuz saygı ve sevgilerimi sunarak teşekkür ederim.

Eylül 2018

İpek Terzioğlu



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. ÇAMAŞIR MAKİNESİ MODELİ VE ANALİZİ	7
3.1. Çamaşır Makinesi Modellemesi Literatür Araştırması.....	7
3.2. Öncül Modellerin Elde Edilmesi	12
3.2.1. Öncül amortisör modeli	12
3.2.2. Öncül yay modeli	17
3.2.3. Öncül amortisör bağlantısı modeli.....	21
3.3. Deneysel Sonuçlara Göre Çamaşır Makinesi Modeli	25
3.3.1. Amortisör modeli	25
3.3.1.1. Deney düzeneği ve deneysel sonuçlar	25
3.3.1.2. Kuru sürtünme esaslı amortisör modeli	30
3.3.2. Yay modeli.....	34
3.3.3. Tambur modeli	39
3.3.4. Diğer komponentlerin modeli.....	40
3.3.5. Amortisör bağlantısı modeli	42
3.3.5.1. Deneysel deplasman sonuçları	42
3.3.5.2. Amortisör bağlantısı parametrelerinin optimize edilmesi	44
3.3.6. Sıkma profili	46
3.4. Çamaşır Makinesi Modelinde Deplasman Sonuçları.....	47
4. ADAPTİF SIKMA VE BULANIK MANTIK ALGORİTMASI	51
4.1. Adaptif Sıkma Profillerinin Oluşturulması.....	51
4.1.1. Deney planı ve deney düzeneği	53
4.1.2. Deney sonuçları.....	55
4.1.3. Deney sonuçlarının analizi	57
4.2. Yük ve Dengesiz Yük Algılama Deneyleri	61
4.2.1. Deney planı ve deney düzeneği	61
4.2.2. Deney sonuçları.....	63
4.2.3. Deney sonuçlarının analizi	64
4.3. Bulanık Mantık Algoritması.....	67
4.3.1. Algoritmanın oluşturulması.....	68

4.3.2. Algoritma sonuçları	72
4.4. Rulman Ömür Hesabı.....	75
4.5. Bulanık Algoritma ile Algılanan Yük ve Dengesiz Yükün Modele Aktarılması	86
4.6. Hız Salmımı ile Algılanan Dengesiz Yükün Modele Aktarılması	89
4.6.1. 7 kg yük için farklı dengesiz yükler ile elde edilen sonuçlar	90
4.6.2. 3.5 kg yük için farklı dengesiz yükler ile elde edilen sonuçlar	93
4.6.3. 1 kg yük için farklı dengesiz yükler ile elde edilen sonuçlar	97
4.7. Çamaşır Makinesi Modelinde Adaptif Sıkma Profilleri ile Deplasman Sonuçları	99
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
EKLER	107
ÖZGEÇMİŞ.....	117



KISALTMALAR

RPM	: Dakika Başına Devir Sayısı
VTS	: Veri Toplama Sistemi
DR5	: Direkt Rampa Tipinde 5 rpm/s İvme
DR10	: Direkt Rampa Tipinde 10 rpm/s İvme
DR15	: Direkt Rampa Tipinde 15 rpm/s İvme
KR5	: Kademeli Rampa Tipinde 5 rpm/s İvme
KR10	: Kademeli Rampa Tipinde 10 rpm/s İvme
KR15	: Kademeli Rampa Tipinde 15 rpm/s İvme
DOE	: Deney Tasarımı



SEMBOLLER

x_max	: En büyük x değeri
x_sat	: Saturasyon x değeri
y_max	: En büyük y değeri
y_sat	: Saturasyon y değeri
u[1]	: x eksenî yönündeki yer değıştirme
u[2]	: y eksenî yönündeki yer değıştirme
f, F, f_0	: Kuvvet
e_a	: Birim vektör
r_rel_a	: Mevcut yer değıştirme vektörü
s	: Amortisör silindirinî mevcut boyu
v, der(s)	: Amortisör silindir hızı
v_0	: Ertelenen amortisör silindir hızı
F_0	: Yay ön gerilme kuvveti
c	: Yay katsayısı
d	: Sönüm katsayısı
doner_eklem_x	: x eksenî yönünde amortisör gövde bağlantısı
doner_eklem_y	: y eksenî yönünde amortisör gövde bağlantısı
doner_eklem_z	: z eksenî yönünde amortisör gövde bağlantısı
doner_eklem_x1	: x eksenî yönünde amortisör kazan bağlantısı
doner_eklem_y1	: y eksenî yönünde amortisör kazan bağlantısı
doner_eklem_z1	: z eksenî yönünde amortisör kazan bağlantısı
tau_c	: Yay torku
tau_d	: Sönümleme torku
phi_bagl	: Mevcut bağıl açısı
phi_bagl0	: İlk bağıl açısı
w_bagl	: Açılal bağıl hızı
x_adezyon	: Silindirin yapışma anındaki hızı
x_kayma	: Silindirin kayma anındaki hızı
y_adezyon	: Yapışma anındaki sürtünme katsayısı
y_kayma	: Kayma anındaki sürtünme katsayısı

$V_{\text{bağlı}}, V_{\text{rel}}$: Bağlı çizgisel hız
$S_{\text{amortisör}}$: Amortisör çizgisel yer değiştirmesi
$\text{bağlantı}_{\text{gövde}}$: Amortisör gövde bağlantısı çizgisel yer değiştirmesi
$\text{bağlantı}_{\text{kazan}}$: Amortisör kazan bağlantısı çizgisel yer değiştirmesi
S_{rel}	: Mevcut yay boyu
$S_{\text{rel}0}$: İlk yay boyu
S_{govde}	: Gövde bağlantısında yer değiştirme
S_{kazan}	: Kazan bağlantısında yer değiştirme
f_{govde}	: Gövde bağlantısında kuvvet
f_{kazan}	: Kazan bağlantısında kuvvet
a	: Küçük rulman ile kasnak göbek eksenini arası uzaklık
a'	: Kayış eksenini ile kasnak göbek bölgesi arası uzaklık
b	: Rulman eksenleri arası uzaklık
c	: Büyük rulman ile flanş orta noktası arası uzaklık
d	: Tambur orta noktası ile flanş ortası arası uzaklık
m_k	: Kasnak kütlesi
m_t	: Tambur kütlesi
m_f	: Flanş kütlesi
r	: Tambur yarıçapı
$F_{\text{ç}}$: Islak çamaşırdan kaynaklanan kuvvet
F_k	: Kasnak ağırlığından gelen kuvvet
F_t	: Tambur ağırlığından gelen kuvvet
F_f	: Flanş ağırlığından gelen kuvvet
T_k	: Kayış gerginliğinden kaynaklanan kuvvet
M_a	: Kasnak momenti
M_t	: Tambur momenti
F_{dy}	: Dengesiz yükten oluşan kuvvet
m_{dengesiz}	: Dengesiz yük
R_b	: Büyük rulmana gelen kuvvet
R_k	: Küçük rulmana gelen kuvvet
$F_{\text{eş}}$: Eşdeğer kuvvet

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Amortisör Bağlantı Parametreleri.....	46
Çizelge 3.2 : x, y ve z eksenini için 500 gr yük ile maksimum deplasman sonuçları ...	49
Çizelge 3.3 : x, y ve z eksenini için 600 gr yük ile maksimum deplasman sonuçları ...	49
Çizelge 3.4 : x, y ve z eksenini için 300 gr yük ile maksimum deplasman sonuçları ...	49
Çizelge 4.1 : Deneş Parametreleri.	53
Çizelge 4.2 : Sıkma profili belirleme deneşleri planı.	53
Çizelge 4.3 : Yük algılama testleri planı.	62
Çizelge 4.4 : Yük algılama deneşleri sonuçları.	64
Çizelge 4.5 : 7 kg KR15 sıkma profili için ortalama devir tablosu.	76
Çizelge 4.6 : Çamaşır makinası için bazı uzunluk ve kütle değerleri.	77
Çizelge 4.7 : Kuvvet ve moment değerleri.	78
Çizelge 4.8 : Ortalama açısal hızlara göre hesaplanan kuvvet ve moment değerleri.	78
Çizelge 4.9 : Makina içerisindeki toplam dönme sayısı ve güvenlik faktörleri.	79
Çizelge 4.10 : 7 kg için farklı dengesiz yüklerde hız salınımı deneşsel ve analiz sonuçları.	93
Çizelge 4.11 : 3.5 kg için farklı dengesiz yüklerde hız salınımı deneşsel ve analiz sonuçları.	96
Çizelge 4.12 : 1 kg için farklı dengesiz yüklerde hız salınımı deneşsel ve analiz sonuçları.	98
Çizelge 4.13 : Çamaşır makinesi modelinde dengesiz yükler için belirlenen hız salınımı değerleri.	99



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Amortisör modeli. [14].....	7
Şekil 3.2 : Dengesiz yükün Matlab/Simulink ortamında modellenmesi. [15].....	8
Şekil 3.3 : Çamaşır makinesi Modelica/Dymola modeli. [16].....	9
Şekil 3.4 : Üniversal motor modeli. [16].....	10
Şekil 3.5 : Çamaşır makinesi üç boyutlu simülasyon görüntüsü. [16].....	11
Şekil 3.6 : F-v karakteristiğinin s fonksiyonu. [17].....	11
Şekil 3.7 : Öncül amortisör modeli.....	13
Şekil 3.8 : İkinci amortisör modeli.....	14
Şekil 3.9 : Üçüncü amortisör modeli.....	15
Şekil 3.10 : Çamaşır makinesinde yayın yerleşimi. (1) Kazan (2) Yay (3) Gövde....	17
Şekil 3.11 : Öncül yay modeli.....	19
Şekil 3.12 : Yay modeli.....	21
Şekil 3.13 : Çamaşır makinesinde amortisör ve bağlantıları.....	22
Şekil 3.14 : Amortisör bağlantı modeli.....	23
Şekil 3.15 : Amortisör bağlantı modeli son hali.....	23
Şekil 3.16 : MTS cihazı amortisör deney düzeneği.....	25
Şekil 3.17 : 15 mm strok 1, 2, 3 Hz frekans için kuvvet deplasman ölçümleri.....	26
Şekil 3.18 : 20 mm strok 1, 2, 2.5 Hz frekans için kuvvet deplasman ölçümleri.....	27
Şekil 3.19 : 25 mm strok 1, 1.5 Hz frekans için kuvvet deplasman ölçümleri.....	28
Şekil 3.20 : 15 mm strok 1 Hz frekans deney sonucu.....	29
Şekil 3.21 : Deney düzeneği Modelica/Dymola modeli.....	29
Şekil 3.22 : Modelica/Dymola modeli ile kuvvet – deplasman ve kuvvet – hız.....	30
Şekil 3.23 : Kuru sürtünme esaslı amortisörün Modelica/Dymola programında deney düzeneği modeli.....	32
Şekil 3.24 : Kuru sürtünme esaslı amortisörün Modelica/Dymola modeli ile kuvvet – deplasman ve kuvvet – hız sonuçları.....	33
Şekil 3.25 : Deneysel sonuçlar ile Modelica/Dymola sonuçları.....	34
Şekil 3.26 : Yay modeli.....	35
Şekil 3.27 : Yay kuvvet (N)-zaman (s) Modelica/Dymola sonuçları.....	37
Şekil 3.28 : Kazanın çamaşır makinesindeki yerleşimi.....	37
Şekil 3.29 : Kazan modeli.....	38
Şekil 3.30 : Tamburun çamaşır makinesindeki yerleşimi.....	39
Şekil 3.31 : Tambur modeli.....	40
Şekil 3.32 : Rulman yuvası, kanat, kasnak, flanş modeli.....	41
Şekil 3.33 : Motor, üst beton ağırlık, alt beton ağırlık modeli.....	41
Şekil 3.34 : İvmeölçerin kazan üzerinde yerleşimi.....	42
Şekil 3.35 : 500 gr sabit dengesiz yükün tambur ön bölümüne sabitlenmesi.....	43
Şekil 3.36 : Deneysel deplasman sonuçları.....	44
Şekil 3.37 : Minitab Parametre Analizi Sonuçları.....	45
Şekil 3.38 : Modelica/Dymola sıkma profili.....	46
Şekil 3.39 : Modelde hareket iletimi.....	47

Şekil 3.40 : Modelica/Dymola analizi deplasman sonuçları.	48
Şekil 4.1 : Rampa tipleri ve ivme değerleri.	52
Şekil 4.2 : Sıkma profili belirleme deney düzeneği.	54
Şekil 4.3 : Deney yapılan çamaşır makinesi.	55
Şekil 4.4 : Debi ölçer.	55
Şekil 4.5 : 1 kg – Çeyrek yük deney sonuçları.	56
Şekil 4.6 : 3,5 kg – Yarım yük deney sonuçları.	56
Şekil 4.7 : 7 kg – Tam yük deney sonuçları.	57
Şekil 4.8 : 7 kg yük deneyleri için atılan toplam su miktarları.	58
Şekil 4.9 : Direkt rampalarda belirlenen aralıklardaki atılan su debileri.	59
Şekil 4.10 : Kademeli rampalarda belirlenen aralıklardaki atılan su debileri.	59
Şekil 4.11 : Yük algılama deneyleri örnek modeli.	62
Şekil 4.12 : Dengeli ve dengesiz yüklerden oluşan örnek deney düzeneği.	63
Şekil 4.13 : Kademeli rampalarda belirlenen aralıklardaki atılan su debileri.	65
Şekil 4.14 : Tüm deneylerin 400 rpm'den serbest iniş grafiği.	66
Şekil 4.15 : Farklı dengesiz yük değerlerinin 100 RPM etrafındaki salınımı.	67
Şekil 4.16 : Yük algılama bulanık mantık diyagramı.	68
Şekil 4.17 : İniş sürelerinin üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.	68
Şekil 4.18 : Ortalama akım değerlerinin üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.	69
Şekil 4.19 : Hedef hızdan sapma değerlerinin üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.	69
Şekil 4.20 : Çıkış değişkeni olan yük miktarının dilsel değişkenleri.	70
Şekil 4.21 : Dengesiz yük algılama bulanık mantık diyagramı.	70
Şekil 4.22 : Giriş değişkeni yük miktarının üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.	71
Şekil 4.23 : İniş süresinin üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.	72
Şekil 4.24 : Çıkış değişkeni olan dengesiz yük miktarının dilsel değişkenleri.	72
Şekil 4.25 : Yük algılama algoritmasının Sugeno yöntemine göre kural-sonuç çıktısı.	73
Şekil 4.26 : Dengesiz yük algılama algoritmasının Sugeno yöntemine göre kural-sonuç çıktısı.	74
Şekil 4.27 : Rulmanların bulunduğu mil üzerindeki yük ve momentler.	77
Şekil 4.28 : Rulman hesabı program arayüzü.	80
Şekil 4.29 : Farklı sıkma profilleri için 7 kg yüklü makinede 1150 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.	81
Şekil 4.30 : Farklı sıkma profilleri için 7 kg yüklü makinede 850 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.	82
Şekil 4.31 : Farklı sıkma profilleri için 7 kg yüklü makinede 400 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.	83
Şekil 4.32 : Farklı sıkma profilleri için 3.5 kg yüklü makinede 1100 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.	84
Şekil 4.33 : Farklı sıkma profilleri için 3.5 kg yüklü makinede 800 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.	85
Şekil 4.34 : Farklı sıkma profilleri için 3.5 kg yüklü makinede 500 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.	86
Şekil 4.35 : Tambur dinamik modeli.	87
Şekil 4.36 : Dengeli-dengesiz yük değerlerinin Excel dosyasından okunması.	88
Şekil 4.37 : Tambura hız profilinin girilmesi.	88
Şekil 4.38 : 1150 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.	91
Şekil 4.39 : 850 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.	92
Şekil 4.40 : 400 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.	93

Şekil 4.41 : 1100 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.	94
Şekil 4.42 : 800 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.	95
Şekil 4.43 : 500 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.	96
Şekil 4.44 : 700 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.	97
Şekil 4.45 : 400 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.	98
Şekil 4.46 : 1 kg yük, 700 gr dengesiz yük için DR15 profilinin deplasman sonucu.	99
Şekil 4.47 : 1 kg yük, 700 gr dengesiz yük için KR15 profilinin deplasman sonucu.	100
Şekil 4.48 : 3.5 kg yük, 825 gr dengesiz yük için DR10 profilinin deplasman sonucu.	100
Şekil 4.49 : 3.5 kg yük, 825 gr dengesiz yük için DR15 profilinin deplasman sonucu.	101
Şekil 4.50 : 7 kg yük, 1075 gr dengesiz yük için KR15 profilinin deplasman sonucu.	101
Şekil 4.51 : 7 kg yük, 1075 gr dengesiz yük için KR10 profilinin deplasman sonucu.	102
Şekil A.1 : Hız Sapmaları, İniş Süresi ve Yük Miktarının 3 Boyutlu Uzay Grafiği.	108
Şekil A.2 : Hız Sapmaları, Ortalama Akım ve Yük Miktarının 3 Boyutlu Uzay Grafiği.	108
Şekil A.3 : Ortalama Akım, İniş Süresi ve Yük Miktarının 3 Boyutlu Uzay Grafiği.	109
Şekil A.4 : Yük Miktarı, İniş Süresi ve Dengesiz Yük Miktarının 3 Boyutlu Uzay Grafiği.	109



ÇAMAŞIR MAKİNESİ ADAPTİF SIKMA ALGORİTMASI

ÖZET

Teknolojideki hızlı ilerleme ülkelerin ve buna bağlı olarak üreticilerin teknolojik ilerlemeleri takip etme zorunluğunu getirmektedir. Teknolojik ilerlemelere yapılan yatırımlar üreticilere rekabette söz sahibi olma hakkını sunmaktadır.

Beyaz eşya kullanıcıları için enerji ve maliyet konusu en büyük taleplerden bazılarıdır. Beyaz eşya üreticileri bu talep için teknolojilerini geliştirmektedirler. Fakat zaman ve maliyet kaybı bazı uygulamalarda üreticilere engel teşkil etmektedir. Bu kaybı ortadan kaldırmak için deneysel metotların yerini alacak bilgisayar uygulamaları öne çıkmaktadır. Bu uygulamalar kısa zaman içinde maliyet kaybı yaşanmadan çalışmalarını belirli sapma aralıklarında gerçekleyebilmektedir.

Çamaşır makineleri su ve enerji kullanımını dolayısıyla devamlı değişim halinde olan bir üründür. Bunun sebebi dünya nüfusunun artması ile enerji kaynaklarının daha kısıtlı hale gelmesi olarak gösterilebilir. Çamaşır makinesi üreticilerinin teknolojiyi yakından takip etmesi zorunlu hale gelmektedir. Deneysel yöntemlerle yapılan uygulamalar su ve enerji kullanımını sebebiyle gelişmeyi kısıtlamaktadır.

Tez kapsamında çamaşır makinesinde deneysel olarak incelenebilecek olan çalışmalar, çamaşır makinesi modelinde incelenerek üretici açısından zaman ve maliyet, dünya kaynakları açısından su ve enerji kullanımının azaltılması hedeflenmektedir.

Çamaşır makinesinde çamaşır yıkama, durulama ve sıkma aşamalarından geçmektedir. Sıkma aşamasında çamaşır makinesinin sıkma kapasitesine bağlı olarak farklı yüksek devirlere çıkmaktadır. Yüksek devirlerde çamaşır makinesinde istenmeyen mekanik etkilerle görülmektedir. Bu etkiler bazı durumlarda makine içerisindeki parçalara zarar vermekte ve kullanıcı tarafından hoş karşılanmamaktadır. Bu sebeple çamaşır makinesi sıkma adımı belirli parametrelere bağlı olarak optimize edilmesi amaçlanmaktadır.

Tez kapsamında sıkma profillerini optimize etmek için sıkma verimi yeterli olan farklı profillerin çamaşır makinesi modeli üzerinde deneyerek deplasman değişimleri incelenmektedir. Buna bağlı olarak çamaşır makinesinde yük miktarı özelinde en uygun sıkma profilinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

Bu hedefe ulaşmak için bir deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneğinde farklı sıkma profilleri farklı yük miktarları için tek makinede uygulanmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda farklı çamaşır makineleri için farklı profiller oluşturulabilir ve optimum sıkma verimine ulaşmak için çalışma genişletilerek bir adaptif sıkma algoritması oluşturulabilir.

Tez kapsamında deney düzeneği ile yük miktarına bağlı olarak çamaşırdan sıkılan su miktarları ölçülmüştür. En iyi sıkma profili bahsedilen şekilde belirlenmektedir. Fakat makinenin ömrü, titreşim düzeyinin belirli bir seviyede tutulması için üç eksen

kazan deplasman değişimleri önem kazanmaktadır. Bu amaçtan yola çıkılarak elde edilen çamaşır makinesi modelinde sıkma profilleri uygulanmıştır.

Uygulanan sıkma profilleri ile kazan deplasmanları çamaşır makinesi modelinde elde edilmiştir. En iyi sıkma profili, atılan su miktarının en fazla olduğu ve çamaşır makinesi titreşimlerinin minimum düzeyde elde edilen profil olmaktadır.

Çamaşır makinesinde kullanıcının makineye attığı çamaşır miktarının tahmin edilmesi yıkama aşamasında fazla su harcanmaması için önemli bir kriterdir. Bazı çamaşır makinelerinde otomatik deterjan dozajlama sistemi bulunmaktadır. Çamaşır makinesinde bulunan yük miktarının algılanması ile otomatik dozajlama sistemi tahmin edilen çamaşır miktarına göre dozajlama yapmaktadır.

Tezin ilk bölümünde literatürde çamaşır makinesi içindeki çamaşır yükünün algılanması konuları ile alakalı literatür ve patent araştırmalarına yer verilmiştir.

Sıkma aşamasında çamaşırın yüksek devirlerde dengesiz dağıldığı durumlarda tambur çepherine yapışarak dengesiz kuvvet oluşturmaktadır. Dengesiz kuvvet tez çalışmasında bahsedilen kazann üç eksendeki deplasman değişimini etkilemektedir. Çamaşır makinesi farklı yöntemler ile sıkma durumundaki dengesiz yükü algılamaktadır ve bu duruma göre yükü dağıtmak için farklı bir sıkma algoritması uygulamaktadır.

Tezin ilk bölümünde dengesiz yükün algılanması konuları ile alakalı literatür ve patent araştırmalarına da yer verilmiştir.

Çamaşır makinesi modeli elde edilirken farklı programlar kullanılmaktadır. Tez kapsamında Modelica/Dymola programı tercih edilmiştir. Modelica uygun model için açık kaynaklı, nesne yönelimli ve denklem tabanlı bir dildir. Dymola ise Modelica dilinde yazılan modellerin derlenerek analizinin yapılmasını sağlayan farklı disiplinler ile çalışılabilen bir dinamik çözümleyicidir.

Tezin ikinci bölümünde ilk olarak çamaşır makinesi modeli oluşturulurken önem verilecek komponentlerin seçilmiş ve komponentlerin doğru matematiksel denklemler ile modellenebilmesi için literatür araştırmalarına yer verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde Modelica/Dymola ile çamaşır makinesi için yapılan çeşitli çalışmaların literatür araştırmasına yer verilmiştir. Ayrıca seçilen komponentlerin Modelica/Dymola ile öncül model haline getirilmesi anlatılmış ve öncül modelleme aşamasından sonra elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Çalışmanın öncül modelleme bölümünde gerçek sonuçlar ile model sonuçları arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Sonuçların geliştirilmesi ve doğrulanması için deneysel ölçümlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaca yönelik farklı deney düzenekleri kurulmuştur ve model sonuçlarının optimizasyonunda kullanılacak deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

Modelin doğrulanması için yapılan deneysel ölçümlere ve bu deneysel ölçümler ile modeldeki komponent parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Son olarak modelin sonuçlara bağlı olarak güncellenmesi anlatılmaktadır.

Mevcut çamaşır makinesinde tek sıkma algoritması bulunmaktadır. Sıkma algoritması çamaşır yüküne, yükün oluşturduğu dengesiz yüke ve yaratacağı deplasman değişimlerine göre farklı kademeler ya da süreler kullanmamaktadır.

Tezin dördüncü bölümünde sıkma devirlerine farklı sürelerde ulaşılması, devirler arasında kademe olması ya da olmaması ve bu devirlerde farklı sürelerde beklenmesi

için birbirinden farklı sıkma profilleri oluşturulmuştur. Bu profiller çalışılan çamaşır makinesinde farklı yük miktarları ile uygulanmıştır. Buna bağlı olarak deney düzeneği kurulmuş ve veri toplanmıştır. Ayrıca bu bölümde çamaşır makinesinde çamaşır yükünün algılanmasına yönelik incelenmesi gereken parametreler ve sonuçların elde edilmesi için oluşturulan deney planına yer verilmiştir.

Ayrıca bu bölümde adaptif sıkma profillerinin deney sonuçlarına yer verilmiştir. Bu sıkma profilleri bu bölümde en iyi su atan sıkma profili olarak seçilmektedir. Ayrıca bu bölüm çamaşır yükü algılama deneysel sonuçlarını içermektedir. Bulanık mantık algoritması kullanılarak Matlab programında yük algılanması da bu bölümde anlatılmaktadır.

Tezin bu bölümünde rulman hesabı yer almaktadır. Rulman hesabı yapılarak diğer verilerin de sonucuyla adaptif sıkma profili seçimine yer verilmektedir.

Tezin beşinci ve son bölümünde yapılan tez çalışmasının sonuç ve önerilere yer verilmiştir.





WASHING MACHINE ADAPTIVE SPINNING ALGORITHM

SUMMARY

Rapid progress in technology brings with it the obligation of countries and their manufacturers to follow technological advances accordingly. Investments made in technological progress offer the right to have a say in the producers.

For white goods users, energy and cost are some of the greatest demands. White goods manufacturers are developing technologies for this demand. But loss of time and cost is an obstacle to the producers in some applications. Computer applications that take experimental methods to remove this loss come to the forefront. These applications can be performed within a short period of time without any cost loss.

Washing machines are constantly changing due to the use of water and energy. This can be attributed to the increase in the world population and the limited availability of energy resources. It is becoming imperative that washing machine manufacturers follow technology closely. Experimental practices restrict the development of water and energy.

Within the scope of the thesis, it is aimed to reduce the time and cost in terms of producers and the use of water and energy in terms of world resources by examining the studies which can be experimentally examined in the washing machine in the washing machine model.

The washing machine goes through the stages of washing, rinsing and spinning. Depending on the spinning capacity of the washing machine during the spinning stage, it rises to different high speeds. At high speeds, unwanted mechanical effects are seen in the washing machine. These effects in some cases damage the parts inside the machine and are not welcomed by the user. For this reason, the aim of the washing machine is to optimize the spinning stage depending on certain parameters.

In order to optimize the spinning profiles within the thesis, displacement profiles are examined by testing different profiles which are sufficient to spinning on the washing machine model. Accordingly, it is aimed to determine the most suitable spinning profile in the washing machine in terms of the amount of load.

An experimental setup was established to achieve this goal. The different spinning profiles in the test setup were applied to the single machine for different load quantities. In future work, different profiles can be created for different washing machines and an adaptive spinning algorithm can be created by expanding the work to achieve optimum spinning efficiency.

Within the scope of the thesis, the amount of water squeezed from the laundry was measured according to the experimental setup and the load amount. The best spinning profile is determined as mentioned. However, in order to keep the washing machine's life and obtain the vibration level at a certain level, three-axis tub displacement

changes become important. For this purpose, the spinning profiles have been applied in the model of washing machine obtained from the way.

The washing machine tub displacements were obtained in the washing machine model with the applied spinning profiles. The best spinning profile is the maximum amount of water being squeezed and the profile of the washing machine vibrations to a minimum value.

Estimating the amount of laundry in the washing machine is an important criterion for not spending too much water in the washing stage. Some washing machines have an automatic detergent dosing system. By sensing the amount of load in the washing machine, the automatic dosing system is dosing according to the estimated amount of laundry.

In the first part of the thesis, literature and patent research related to the perception of the laundry estimation in the washing machine are included in the literature.

When the laundry is unevenly dispersed at high speeds during the spinning stage, the laundry sticks to the drum and creates unbalanced force. In thesis study, the unbalanced force affects the displacement of the three axes of the tub. The washing machine detects the unbalanced load in the early spinning state by different methods and applies a different spinning algorithm to distribute the load accordingly.

In the first part of the thesis, related literature and patent researches are also included in the topics of perception of unbalanced load.

Different programs are used when obtaining the washing machine model. Within the scope of the thesis, Modelica / Dymola program was preferred. Modelica is an open-source, object-oriented and equation-based language for the appropriate model. Dymola is a dynamic analyzer that can be worked on with different disciplines which enables compilation and analysis of models written in Modelica language.

In the second part of the thesis, the components to be given importance were selected while the washing machine, and literature researches were made to model the components with correct mathematical equations.

In the third part of the thesis, a literature search of various studies for the washing machine with Modelica / Dymola was given. In addition, it is explained that the selected components are modeled with Modelica / Dymola and the results obtained after the modeling phase are examined.

The results obtained after the preliminary modeling phase are examined. There were differences between the actual results and the model results. Experimental measurements were needed to develop and validate the results. Different experimental setups for this purpose have been established and experimental results have been obtained which will be used in optimizing the model results.

The model parameters were optimized by the experimental measurements and the experimental measurements made to validate the model. Finally, it is explained that the model is updated depending on the results.

The existing washing machine has a single spinning algorithm. The clamping algorithm does not use different stages or durations according to the load of laundry, the unbalanced load generated by the load and the displacement changes that it will create.

In the fourth part of the thesis different spinning profiles were established for reaching the spinning cycles at different times, between or without stages between the cycles, and waiting at different times in these cycles. These profiles were applied with different laundry load quantities in the washing machine. In addition to this, in this section, the parameters and results to be examined for the detection of the laundry load in the washing machine.

Experimental results of different adaptive spinning profiles are included. These adaptive spinning profiles are selected as the best water extrusion profile in this section. This section also contains the experimental results of laundry load detection. Load detection in Matlab program using fuzzy logic algorithm is also explained.

Bearing force calculation according to the experimental results. Load, unbalanced load and many parameters are used in the bearing calculation. After the forces coming into the bearings are calculated, the adaptive speed profile is selected with the water data which is thrown according to the profile.

The conclusion and suggestions of the thesis in the fifth and last chapter of the thesis.



1.GİRİŞ

Gelişen teknoloji, enerji ve doğal kaynak kullanımının günümüzde daha fazla önem kazanması ile endüstriyel üreticiler arasında bu sebeplere bağlı olarak rekabet artmaktadır. Beyaz eşya üreticileri de bu rekabet içerisinde olup müşterinin enerji ve doğal kaynak kullanım talebini en uygun seviyede tutacak ürünler tasarlama ve üretme mecburiyetindedirler. Beyaz eşya ürünler sınıfında çamaşır makinesi su ve enerji tüketimi sebebiyle bu mecburiyette ilk sıradaki ürünlerdendir.

Çamaşır makinesi üretiminde artan rekabetten dolayı enerji kullanımının düşürülmesi, makinanın daha verimli çalıştırılması ve kullanım konforunun artırılması gibi çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ancak gerekli geliştirmeleri çamaşır makinesi üzerinde deney düzeneği kurarak incelemek üreticiler tarafından maliyet ve zaman kaybına yol açmaktadır. Bu kaybın önüne geçilebilmek için ürünlerin matematiksel ve dinamik modelleri elde edilerek yapılmak istenen analizlerin belirli bir kısmı hızlandırılarak maliyet ve zaman kaybı engellenmiş olacaktır.

Çamaşır makinesi çalışma sistemi temel olarak üç ana programa dayanmaktadır. Bunlar çamaşırın su ve deterjan ile temizlendiği ana kısım yıkama, çamaşırın yıkama adımından sonra deterjandan arındırıldığı kısım durulama ve durulanan suyun çamaşır üzerinden atıldığı kısım sıkmadan oluşmaktadır. Çamaşır makinesi birbirini takip eden her üç kısımda farklı hızlarda dönmektedir. Bunlar programların amacına bağlı olarak üreticiler tarafından belirlenmektedir. Yıkama ve durulama aşamalarında makineler ortalama olarak 0 ve 80 devir/dakika hız ile dönmektedir. Bu hızlar aralığında çamaşır makinesinde herhangi bir mekanik sorun ile karşılaşılmamaktadır. Fakat sıkma aşamasında çamaşır makineleri yüksek devirlere ulaşmaktadır, yüksek devir hızlarında çamaşır makinesinde titreşim ve gürültü ortaya çıkmaktadır. Hatta zorlayıcı durumlarda yer değiştirmelerin büyüklüğüne bağlı olarak çamaşır makinelerinde istenmeyen hareketler görülmektedir. [14].

Çamaşır makineleri sıkma aşamasında 80 devir/dakika hızı aştıkları zaman tambur içindeki çamaşır merkezkaç kuvveti etkisi ile tambur çepherine yapışmaktadır.

Yapışan çamaşır bazı durumlarda çamaşır makinesinde bulunana çamaşıra göre dengeli bir kuvvet oluşturabilir, fakat bazı durumlarda çepherin belirli bir bölümüne yapışarak dengesiz bir kuvvet oluşturmaktadır. Çamaşır makinelerinde yüksek devirlerde istenmeyen titreşim, gürültü ve hareketlerin sebebi bu dengesiz kuvvetlerdir. Sıkma aşamasında yüksek devirlerde tambur çepherine yapışarak dengesiz kuvvet oluşturan çamaşır dengesiz yük olarak adlandırılır ve çamaşır makinesi rezonans bölgesinden geçerken makinede maksimum yer değiştirme genliklerine sebep olur. Çamaşır makinelerinde istenmeyen yürüme hareketleri bu genliklere bağlı olmaktadır [14]. Ayrıca bu durum çamaşır makinasının ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı çamaşır makinasını daha verimli kullanılabilmesi için her dengesiz kuvvet altında sabit yıkama/sıkma algoritmalarının kullanılması yerine adaptif yıkama/sıkma algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Bu projenin amacı, çamaşır makinesini oluşturan parçaların dinamik modellerinin çıkarılıp birbirleri ile fiziksel ilişkileri kurularak deneysel verilerle örtüşen bir çamaşır modelinin çıkarılması, mevcut sıkma profiline bağlı olarak üç eksen için oluşan maksimum deplasmanların incelenmesi, farklı sıkma profillerinin deneysel metot kullanılmadan oluşturulan model üzerinde deneyerek en uygun sıkma profilinin elde edilmesi ve buna bağlı olarak adaptif sıkma algoritmasının oluşturulmasıdır. Bu çalışma sonucu ile çamaşır makinesinde deneysel olarak uygulanmak istenen ancak zaman ve maliyet kaybı göz önüne alınarak vazgeçilen farklı profiller çamaşır makinesi modeli üzerinde uygulanabilecektir. En verimli sıkma performansı elde edilen sıkma profillerinin çamaşır makinesi modeli üzerinde farklı parametreler incelenerek maliyet ve zaman kaybının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu parametreler çamaşır makinesinde dengesiz yük ve yük miktarı, atılan su miktarı ve rulman ömrüdür.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, çamaşır makinesinde geliştirilecek adaptif sıkma profilleri için kullanılacak yük miktarı ve dengesiz yük miktarı algılama ile ilgili literatür ve patent incelemesine yer verilmiştir.

Rischke ve Rahfoth'un (2016) çamaşır makinesinde çamaşır yük miktarı algılama çalışması amortisör pistonunun eksenel ve açılma yer değiştirme miktarını algılayan sensörler ile yapılmıştır. Amortisörde konumlanan deplasman sensörü ile amortisörün eksenel yer değiştirmesi, ivme sensörü ise açılma yer değiştirmesi elde edilir. Daha önce deneysel veriler ile elde edilen sonuçlardan bu yer değiştirme girdileri belirli bir çamaşır yükü miktarına eşit olmaktadır. Böylece amortisörde sensör kullanımı ile yük algılama yapılmıştır [1].

Leitert ve Mcallister'in (2016) yük algılama çalışmasında görüntü işleme ile çamaşır yüzeyinin topolojisi çıkarılmaktadır. Tambur önceden belirlenen hızlara çıkarıldığında çamaşırın farklı açılardan görüntüsü alınır. Görüntü işlenerek daha önce deney düzeneğinde çıkarılan referans görüntü ile kıyaslanacak hale getirilir. Bu uygulamanın sonucunda çamaşırın yüksekliği, kapladığı alan verileri ile yük algılanır [2].

Obregon (2015) çamaşır makinesinde yük algılama uygulamasında tamburdaki mevcut su seviye verisini kullanmıştır. Yıkama programının başında tambura bilinen bir seviyede su alınır. Tambur belirli bir devirde döndürülerek çamaşırın bu suyu absorbe etmesi sağlanır. Bu aşamadan sonraki su seviye sensöründen okunan su seviye değeri ile çamaşırın bilinen bir sürede ne kadar su absorbe ettiği belirlenmiş olur. Yıkama programı için sonraki aşamalarda ne kadar suya ihtiyaç olduğu hesaplanır ve tamburdaki çamaşırın yükü tahminlerde ne kadar suya ihtiyaç olduğu hesaplanır ve tamburdaki çamaşırın yükü tahmin edilebilir [3].

Wofgang (2006) çamaşır makinesinde dengesiz yük algılama uygulamasında yıkama programının ilk adımında değerlendirme ünitesinde hareket sensöründen aldığı sinyal ile izin verilmeyen bir hareket olduğu takdirde yıkama programı durdurulmakta ve dengesiz yük düzeltilmeye çalışılmaktadır. Hareket sensörü içerisinde bir hız, hareket, ivme, basınç, kuvvet veya torsiyon sensörünü barındırır. Bu hareket

düzeltilmediğinde kapak kendiliğinden açılır ve kullanıcı sesli ve görsel olarak uyarılır [4].

Colombo, Francesco ve diğ. (2010) çamaşır makinesinde dengesiz yük algılama uygulamasında dengesiz yük hızın dalgalanması, hedef hız ve motor karakteristiklerini kullanan bir algoritma sistemi aracılığıyla geri beslemesi ile algılanmaktadır. Sadece hız ve ivme değişimleri esas alarak değil aynı zamanda sistem üzerindeki voltaj değeri ve sistemdeki sürtünme kayıplarını da dahil ederek sonuç bulunmaktadır [5].

Yasunori (2013) çamaşır makinesinde dengesiz yük algılama çalışmasında motorun dönüş hızını algılamak için farklı hızlarda voltaj değişimini ölçen bir algılama ünitesinden bahsetmektedir. Algılama ünitesi, motor hızı değişimine bağlı olarak değişen voltaj değişimini de ölçerek motorun rezonans durumu yaratan hızdan daha düşük bir hızda çalışmasını sağlamaktadır [6].

Kyunghoon (2016) bu çalışmasında, çamaşır makinesinde dengesiz yük algılandığı andaki su alma algoritmasından bahsetmektedir. Tamburun dönme hızının belirli bir aralıkta düştüğü bir durumda motora uygulanan bir akım değeri ve tambur sabit ivme ile döndürülürken algılanan çamaşır miktarına dayalı dengesizlik belirlenmektedir. Dengesizlik bir referans değerden büyük olduğunda tambura su tedarik edilir, dengesizlik referanstan daha düşük olduğunda birinci su tedarik seviyesinden daha yüksek ikinci bir su tedarik seviyesinde su tedarik edilmektedir [7].

Chen, Zhang ve Wu (2015) çamaşır makinesinde algılanan dengesiz yüke göre bir dengeleme sistemi tasarlanmışlardır. Dengeleme sistemi, bilyalardan oluşan tamburun arka bölümüne yerleştirilmiş bir tasarımdan oluşmaktadır. Bu çalışmada dengeleme sistemi ile çalışan çamaşır makinesinin matematiksel modeli çıkartılarak çamaşır makinesinde yük dengesizlik oluşturduğu zaman bilyalı pasif sistem ile tersi yönde bir dengesizlik oluşturulmaktadır ve dengeleme sağlanmaktadır [8].

Chen, Ji ve diğ. (2011) bu çalışmasında, çamaşır makinesinde algılanan dengesiz yükü dengeleyecek pasif bir dengeleme sistemi tasarlamışlardır. Dengeleme sistemi farklı dengesiz yüklere göre merkezkaç kuvvetleri ve torkların hesaplanması ile farklı devirlerde hidrolik olarak dengelemeyi sağlamaya yöneliktir. Çalışmada aynı zamanda hidrolik pasif dengeleyecinin amortisör kuvvetine olan etkisinin simülasyonu ve çözümünü kapsamaktadır [9].

Papadopoulos ve Papadimitriou (2001) dengesiz yük bulunan çamaşır makinesinin dinamik modelini çalışmalarında elde etmişlerdir. Çalışmada elde edilen dinamik modele göre aktif dengeleme sistemi tasarlanmıştır. Aktif dengeleme sistemi tek ve iki dengeleme kütesine sahip sistem olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek kütleli sistemde, dengeleme kütlesi radyal yönde ve çamaşır yönün tersine dönerek hareket edebilmektedir. Bu iki yönlü hareket için iki aktüatör gerekmektedir. Çift kütleli sistemde, iki aktüatör dengeleme kütlelerine tambur dönüş yönünde hareket vererek dengesiz yükü aktif olarak dengeleyebilmektedir. Çalışmanın sonucuna göre iki sistemde dengesiz yükün dengelenmesi ve dengesizlikten gelen titreşimlerin azaltılması konusunda başarılı olmuştur [10].

Mahmud ve Mondragon (2010) çalışmalarında makine içindeki yük dağılımının optimize edilmesini sağlayan yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu algoritmanın amacı önden yüklemeli çamaşır makinelerinde yük dağılımının istenen aşamada olmadığı durumlardaki titreşime bağlı ses değerlerini düzenlemek ve bu süredeki performans kaybını geri kazanmaktır [11].

Oo ve Soe (2016) çalışmalarında çamaşır makinelerinde uygun yıkama, durulama ve sıkma süreleri için otomatik su ve deterjan alımını bulanık mantık algoritması ile geliştirmişlerdir. Algoritmada kumaş cinsi, yük miktarı ve kirlilik miktarı girdi olarak, yıkama, durulama ve sıkma süreleri çıktı olarak alınmaktadır. Algoritmada girilen verilere göre optimum süre ile optimum su ve deterjan miktarının çamaşır makinesinde kullanılmasını amaçlamaktadır [12].

Demetgül, Ulkir ve Waqar (2014) ise çalışmalarında makinenin performansını arttırmak amacıyla bulanık mantık algoritması oluşturmuştur. Çalışmada Matlab programının “Bulanık Mantık” uygulaması kullanılmıştır. Kir tipi, miktarı, çamaşırın miktarı ve kumaş hassasiyeti veri olarak girilmiştir. Buna göre yıkama süresi, yıkama hızı, deterjan ve su miktarı, su sıcaklığının çıktı olarak alındığı bir algoritma elde edilmiştir [13].



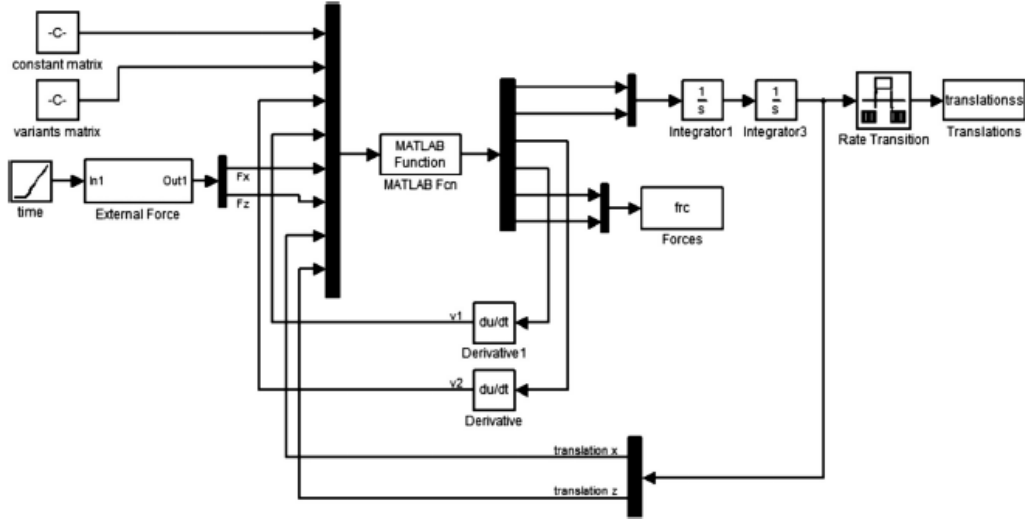
3. ÇAMAŞIR MAKİNESİ MODELİ VE ANALİZİ

Bu bölümde, çamaşır makinesinin dinamik modeli için literatürde yapılan araştırmalar incelenmiş ve yapılan çalışmaların öncülüğünde çamaşır makinesi dinamik modeli Modelica/Dymola programı kullanılarak elde edilmiştir. Çamaşır makinesi modeli için incelenen komponentler, komponentlerin deneysel ölçümü, modellenmesi ve çamaşır makinesi modelinin simülasyon sonuçları ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

3.1. Çamaşır Makinesi Modellemesi Literatür Araştırması

Boyras ve Mutlu (2013) yaptıkları çalışmada Matlab/Simulink ortamında oluşturdukları çamaşır makinesi dinamik modeli ve çamaşır makinesinin titreşim karakteristiğinin genetik algoritma kullanarak optimizasyonuna yer vermişlerdir [14].

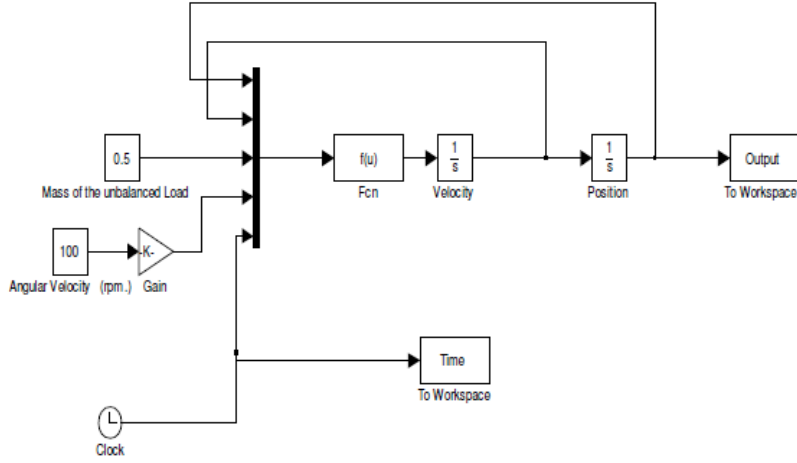
Çamaşır makinesinde dengesiz yüke bağlı olarak hareket denklemleri elde edilmiştir. Dengesiz yükün etkisinden sonra hareket denklemlerine en etkili değişenler doğrusal olmayan yay ve amortisör kuvvetleridir. Şekil 3.1'de amortisör modeli Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir [14].



Şekil 3.1 : Amortisör modeli. [14]

DeneySEL ölçümler ile simülasyon sonucunda elde edilen deplasman sonuçları karşılaştırılmış, mevcut titreşimlerin optimizasyonu için genetik algoritma kullanılmıştır [14].

Yörükoğlu ve Altuğ (2009) çamaşır makinesindeki dengesiz yükün konum ve miktarının kestirilmesi için yaptıkları çalışmalarında modellemede Matlab/Simulink programını kullanmışlardır. Bu çalışmada çamaşırın tambura yapışıp dengesizlik yarattığı hızlardan sonra matematiksel olarak modellenmesinden bahsedilmektedir [15].



Şekil 3.2 : Dengesiz yükün Matlab/Simulink ortamında modellenmesi. [15]

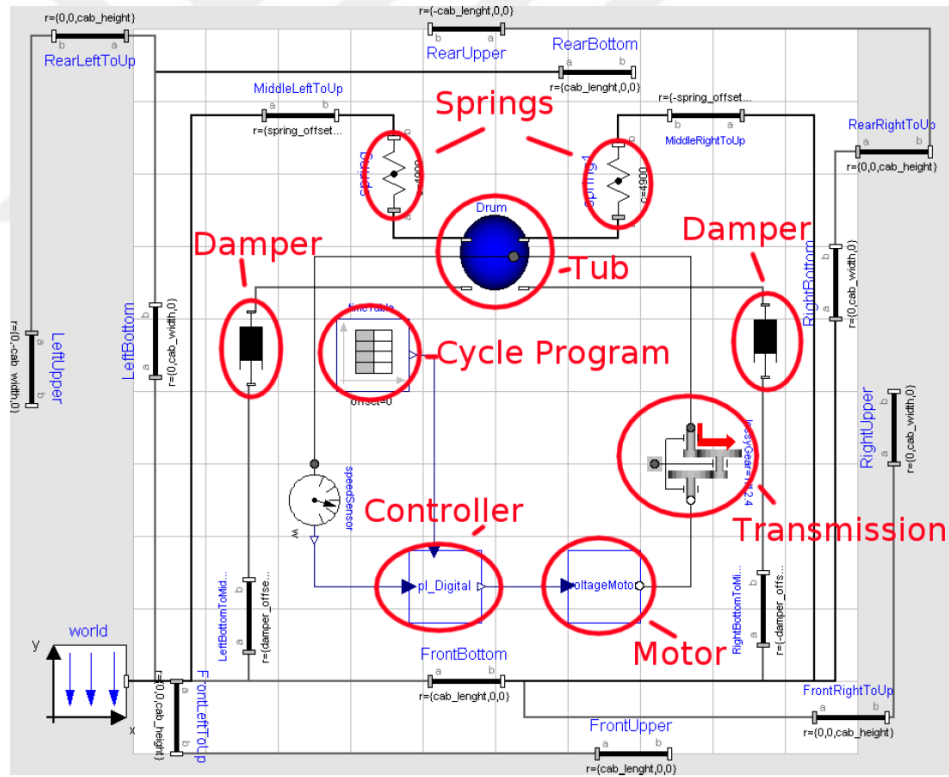
Matematiksel modelin elde edilmesinden sonra yapılan çalışmalarda farklı miktardaki dengesiz yüklerin farklı konumlarda tambura olan etkisi incelenmiştir. Bu etkilerin karşılaştırılması için makine üzerinde titreşim sensörü ve hall sensörü ile deneysel sonuç elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, modelin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılarak dengesiz yükün konumuna ulaşılmıştır [15].

Çamaşır makinesi modeli Modelica açık kaynak dilini kullanan Dymola programında derlenmekte ve modeli oluşturulan sistemin benzetim sonuçları elde edilmektedir. Modelica/Dymola çok disiplinli bir program olmak üzere elektriksel, mekanik, termal vb. değişimleri modellemeye olanak vermektedir. Modelica/Dymola programında komponentler farklı disiplinlere ait kütüphanelerde hazır olarak blok halinde çekilip kullanılabilir. Modellemenin amacına uygun hazır blok olmaması durumunda o amaç ile kullanıcı kendi blokunu oluşturabilmektedir. Arçelik'te daha önce Modelica/Dymola programı kullanılarak analiz yapılmamıştır. Programın şirkete

sağladığı en büyük avantaj çamaşır makinesinin mekanik, elektriksel ve akışkan sistemlerin aynı anda modellenebilir olması ve farklı disiplinlere yönelik farklı çıktılarını tek bir modelde elde edilmesidir. Ayrıca daha farklı disiplinlere yönelik kütüphanelere de ulaşılabilir.

Modelica/Dymola programını Matlab/Simulink'ten ayıran ve Arçelik'in bu programı kullanmasının sebebi açık kaynaklı program olduğu için bir çok geliştiricisi bir çok amaca uygun kütüphane oluşturmuştur. Bu kütüphaneler kullanıcının kendi faydasına göre kullanılabilir ya da kullanıcı kendi kütüphanesini oluşturabilmektedir. Bu bölümün devamında Modelica/Dymola ile çalışılan çamaşır makinesi literatür araştırmalarına yer verilmiştir.

Donida, Ferretti ve Schiavo (2006) çamaşır makinesi modelini Modelica/Dymola programını kullanarak elde etmişlerdir. Modelin Modelica/Dymola programı arayüzünde gösterimi Şekil 3.3'deki gibidir.



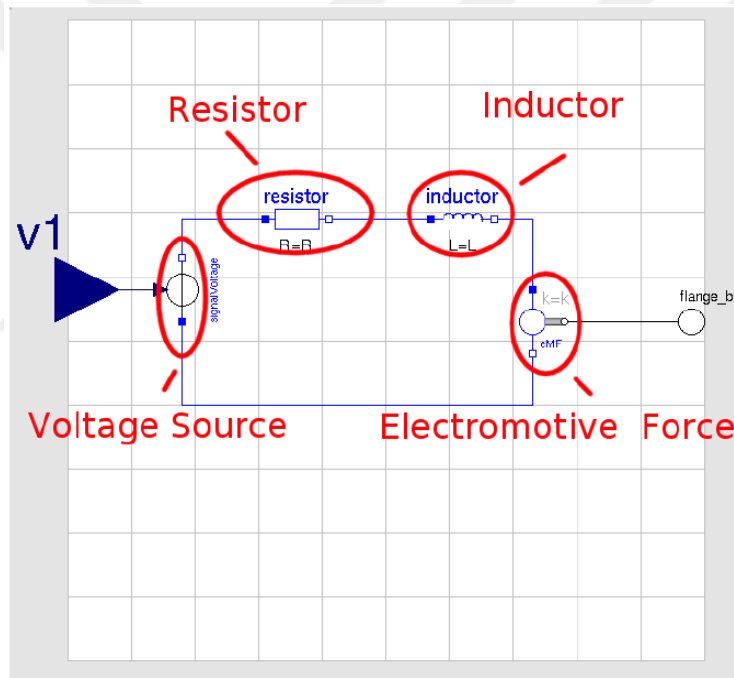
Şekil 3.3 : Çamaşır makinesi Modelica/Dymola modeli. [16]

Modelde yay, damper, tambur, kazan, motor ve kayış kasnak modellenmiştir. Modelde hız profili verilerek 500 gr dengesiz yükün olduğu çamaşır makinesinin hız profili deneysel olarak çıkarılmış ve model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre

seçilen PI kontrollör katsayıları hız profilini düzelterek motora girdi girilmektedir. Motordan çıkış sinyali kayış kasnak kaybının modellendiği bloka aktarılmaktadır. Belirtilen çevrim oranı ile dönüş hızı tambura verilmektedir [16].

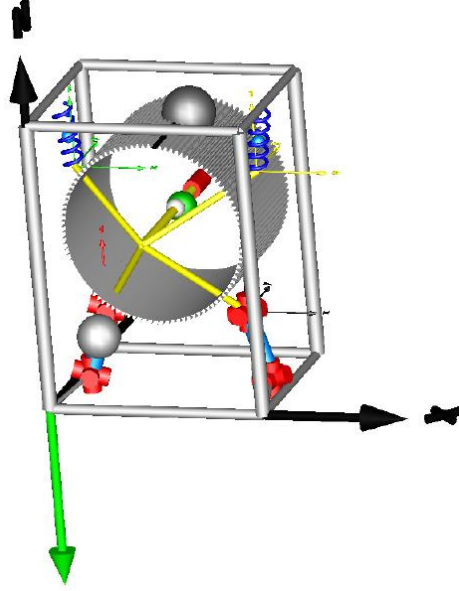
Tamburun yarattığı ve içinde bulunan 500 gr dengesiz yük ile kazanda titreşimlere bağlı deplasman gözlenmektedir. Amortisör modeli oluşturulurken bu deplasmanlara yer verilmiştir. Deneysel deplasman ölçümleri model sonuçları ile karşılaştırılarak amortisör modeli elde edilmiştir. Yay modeli, fiziksel yayın teknik özellikleri kullanılarak Modelica kütüphanesinden blok halinde alınmıştır [16].

Çalışmada üniversal motorun modellenmesine de yer verilmiştir. Şekil 3.4'te Modelica/Dymola programında elde edilen üniversal motorun elektriksel modeli gösterilmektedir [16].



Şekil 3.4 : Üniversal motor modeli. [16]

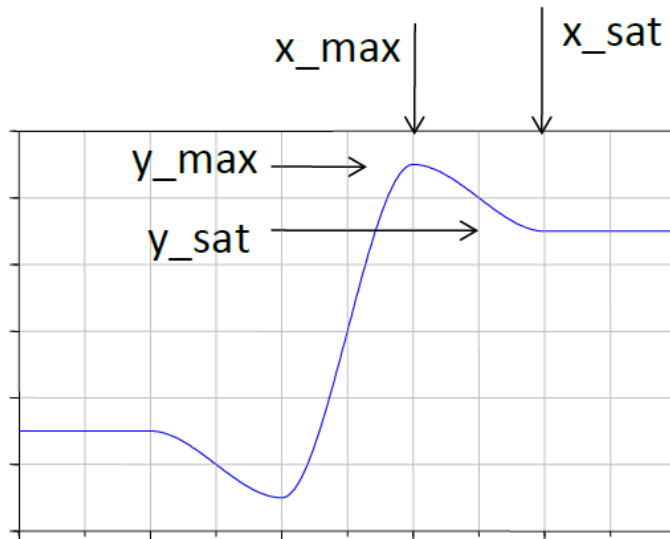
Modelica/Dymola programında modellenen sistemin üç boyutlu animasyonu elde edilir. Böylece animasyonda verilen hareketin sistem üzerindeki etkileri görülebilir. Yapılan çalışmanın üç boyutlu çıktısı Şekil 3.5'te gösterilmektedir [16].



Şekil 3.5 : Çamaşır makinesi üç boyutlu simülasyon görüntüsü. [16]

Dr. Dirk (2014) çalışmasında kuru sürtünme esaslı amortisör modellemesini Modelica/Dymola programında gerçekleştirmiştir [17].

Kuru sürtünme esaslı amörtisörün (Coulomb amörtisör) deneysel kuvvet-hız karakteristiğinden yola çıkarak amortisör modelini Modelica programlama dilini kullanarak modellemiştir. Modelde kuru sürtünme esaslı amörtisörün süreksizlik bölgelerini ihmal edilmiştir ve böylece kuvvet-hız karakteristiğinde s fonksiyonuna ulaşılmıştır. S fonksiyonunu üç parçaya ayırarak üç durum için modelleme gerçekleştirilmiştir [17].



Şekil 3.6 : F-v karakteristiğinin s fonksiyonu. [17]

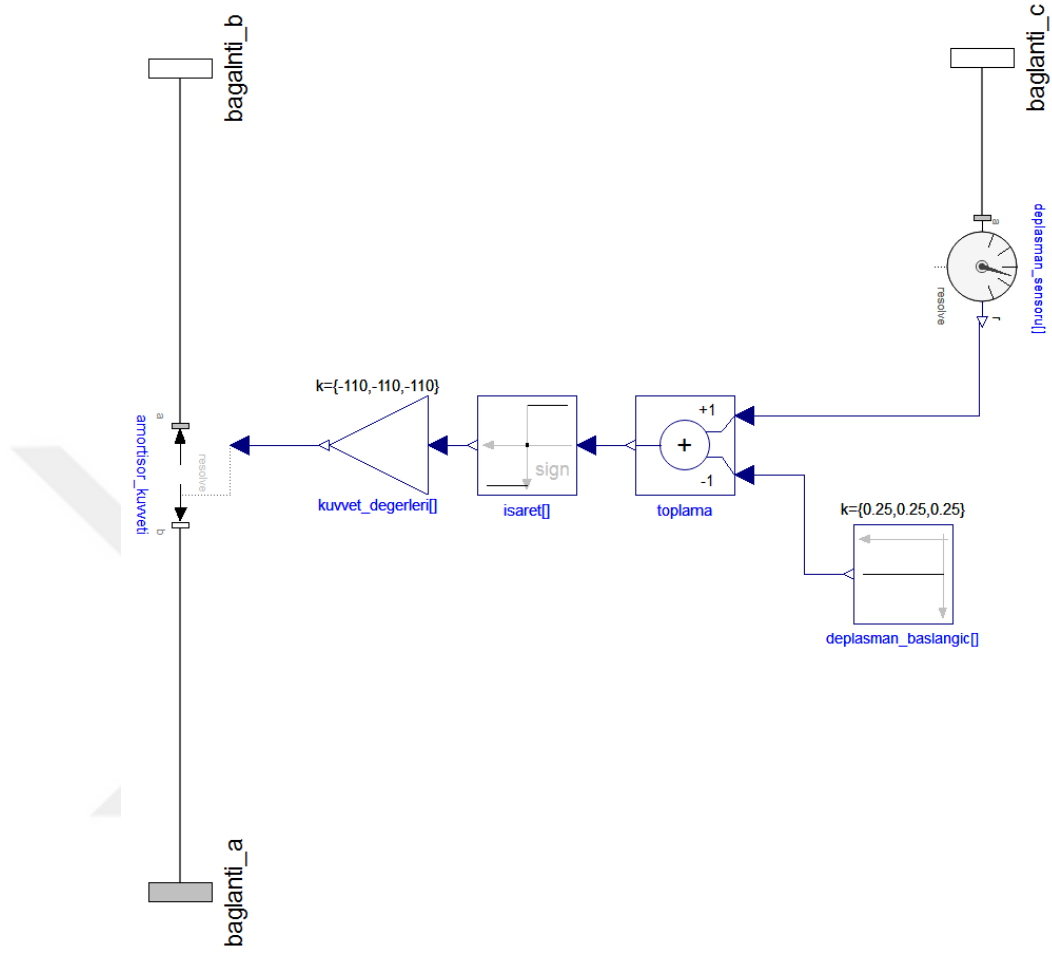
Şekil 3.6'da belirtilen s fonksiyonu için x_{max} , x_{sat} , y_{max} ve y_{sat} sınır değerleri belirlenmiştir. Bu değerler için amortisör karakteristiğine etki eden parametreler tanımlanmıştır. Bu parametreler amortisör silindirin sürtünmeyi yendiği ve yemediği andaki hızlar, silindirin kayma ve sıkışma durumundaki sürtünme katsayılarından oluşmaktadır [17].

3.2. Öncül Modellerin Elde Edilmesi

3.2.1. Öncül amortisör modeli

Öncül amortisör modeli Modelica/Dymola programında, amortisörün teknik verisi ve elde edilen matematiksel denklemler yardımı ile elde edilmiştir. İlk modelde amortisörün üç eksendeki anlık deplasman değerleri deplasman_sensörü bloğu ile üç eksen için alınarak toplama bloğuna girmektedir. Başlangıç deplasman değerleri teknik verilerden elde edilmiştir. Bu değerler – işaretli toplama bloğuna girmektedir. Toplama bloğunun çıktısı amortisörün mevcut deplasman değişimidir. Değişim verisi işaret bloğuna girmektedir. İşaret bloğundan çıkışta başlangıç değerlerine göre kısalan silindir boyu için deplasman değişimleri eksi işaretli, uzayan silindir boyu için deplasman değişimleri artı işaretli olmaktadır. Deplasman değişimine göre elde edilen işaretler, teknik veriden elde edilen kuvvet (N) bilgisi ile kuvvet_degerleri bloğuna aktarılmaktadır. Amortisörün kazan ve gövde bağlantıları arasında kuvvet uygulaması

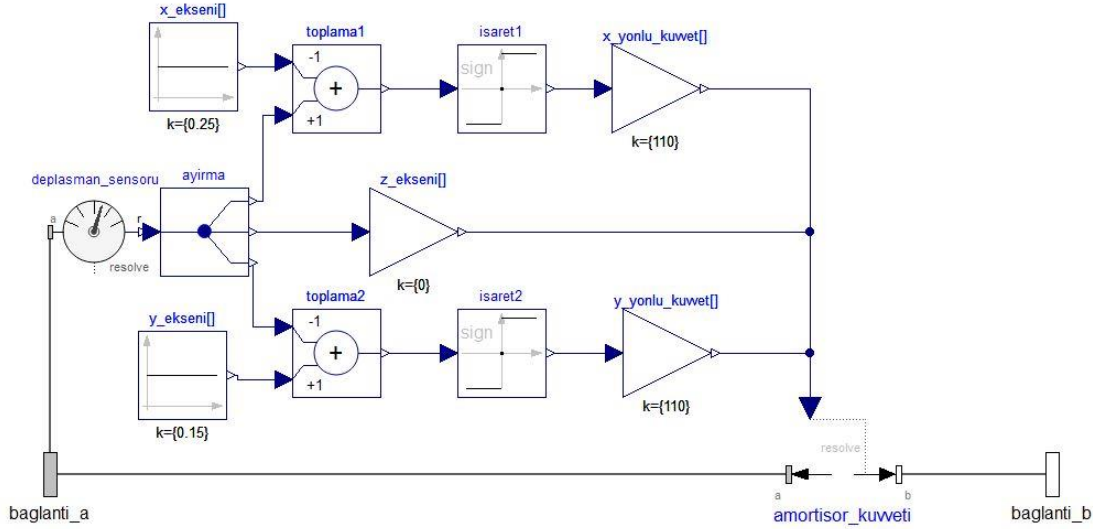
için amortisör_kuvveti bloğu kuvvet_degerleri bloğundan üç eksen için kuvvet girdisi almaktadır. Öncül amortisör modeli Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7 : Öncül amortisör modeli.

Şekil 3.7’de gösterilen modelde x,y ve z yönleri için 110 N değerindeki amortisör kuvveti üç eksen için *kuvvet_degerleri* bloku ile verilmiştir. Fakat amortisörde z yönlü bir kuvvet bulunmamaktadır ve bu model için *deplasman_sensörü* blokundan üç eksenli çıkış alınmaktadır. Bu sebeple model yenilenmiştir. Diğer amortisör modelinde *deplasman_sensörü* blokundan elde edilen üç eksen için deplasman çıktısı x,y ve z eksenleri için ayrı ayrı ele alınmıştır. Amortisör x ve y eksenini için ilk konum değerleri *toplama* bloku ile anlık konum elde edilmektedir. x yönlü kuvvet için *x_yonlu_kuvvet*

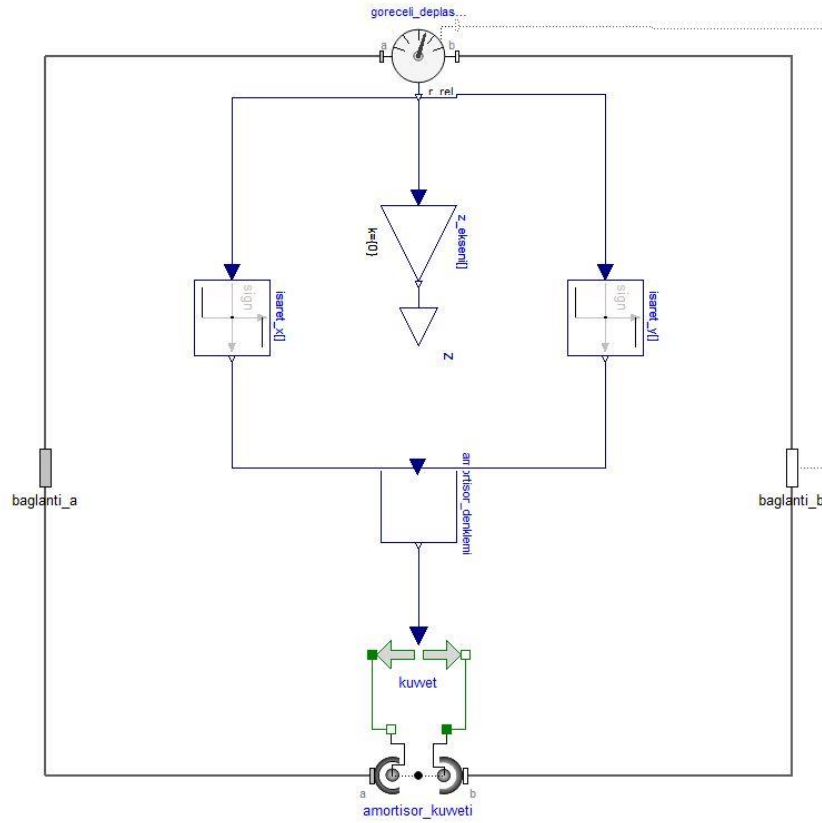
bloku, y yönlü kuvvet için *y_yonlu_kuvvet* bloku ile 110 N değerindeki kuvvet uygulanmaktadır. Yenilenen model Şekil 3.8 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : İkinci amortisör modeli.

İkinci amortisör modeli sonuçları incelendiğinde x ve y yönlü kuvvetlerin ayrı olarak verilmesinin doğru olmadığı görülmüştür. Amortisörün teknik bilgilerinde 110 N değerindeki kuvvet bileşke kuvvet olarak verilmiştir. Bu teknik veriye dayanarak bir sonraki amortisör modeli elde edilmiştir. Bu modelde *goreceli_deplasman* bloku kullanılmıştır. Bu blok ve tanımlanan fonksiyon ile bloğun bağlı olduğu *baglanti_a* ve *baglanti_b* arasında göreceli deplasman verisi elde edilmektedir. *baglanti_a* amortisörün gövdeye bağlı olduğu sabit bağlantı, *baglanti_b* ise amortisörün hareketli olduğu kazan bağlantısını temsil etmektedir. Elde edilen bağıl deplasman verisi x, y ve z eksenleri için ayrı ayrı ele alınmaktadır. *amortisor_denklemleri* olarak tanımlanan blok için girdi oluşturmaktadırlar. Bu bloktan alınan çıkış işarete bağlı değişen 110 N

değerindeki kuvvet verisidir ve amortisör kuvveti olarak modele verilmektedir. Tanımlanan amortisör modeli Şekil 3.9 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.9 : Üçüncü amortisör modeli.

Şekil 3.9’da gösterilen modelde kuvvet değeri ve yönü *amortisor_denklemleri* bloku ile tanımlanmaktadır. Bloкта tanımlanan fonksiyon için girdiler *isaret_x* ve *isaret_y* ile elde edilen amortisör hareketinin yönleridir. x eksenini için *u[1]*, y eksenini için *u[2]*

girdileri, kuvvet değeri için f çıktısı tanımlanmıştır. *amortisor_denkleme* bloku aşağıdaki gibidir:

eger u[1]>0 ve u[2]<0 ise

$$F=f \quad (3.1)$$

değil ise F=-f

Bir diğer öncül amortisör modeli Modelica/Dymola kütüphanesi kullanılarak değil Modelica dili kullanılarak oluşturulmuştur. Bir önceki modelde üç eksen için ayrı ayrı 110 N tanımlanmıştır. Fakat amortisör teknik verisinde kuvvetin uygulandığı kazan ve gövde bağlantısı arasında 110 N kuvvet etkimektedir. Bu nedenle farklı bir amortisör modeli oluşturulmuştur. Bu model Modelica/Dymola blokları kullanılmadan Modelica dili ile elde edilmiştir.

Amortisör modeli için kod oluşturulurken, amortisörün yönünü belirleyen birim vektör tanımlanmıştır.

$$e_a = r_{rel_a}/s \quad (3.2)$$

r_{rel_a} amortisör silindirin mevcut yer değiştirme vektörü, s ise silindirin mevcut boyudur. Amortisör silindirin hızı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$v = der(s) \quad (3.3)$$

Amortisör silindirin yönünü bulmak için programda ayarlanan simülasyon zaman aralığı kadar geriden hız verisi alınmaktadır. Bu hız verisi mevcut hız ile

karşılaştırıldığında amortisörün hareket yönü belirlenebilmektedir. Modelica kodunda gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$v_0 = \text{delay}(v, 0.01) \quad (3.4)$$

$$f_0 = \text{amortisor_kuvveti} * \text{sign}(v - v_0) \quad (3.5)$$

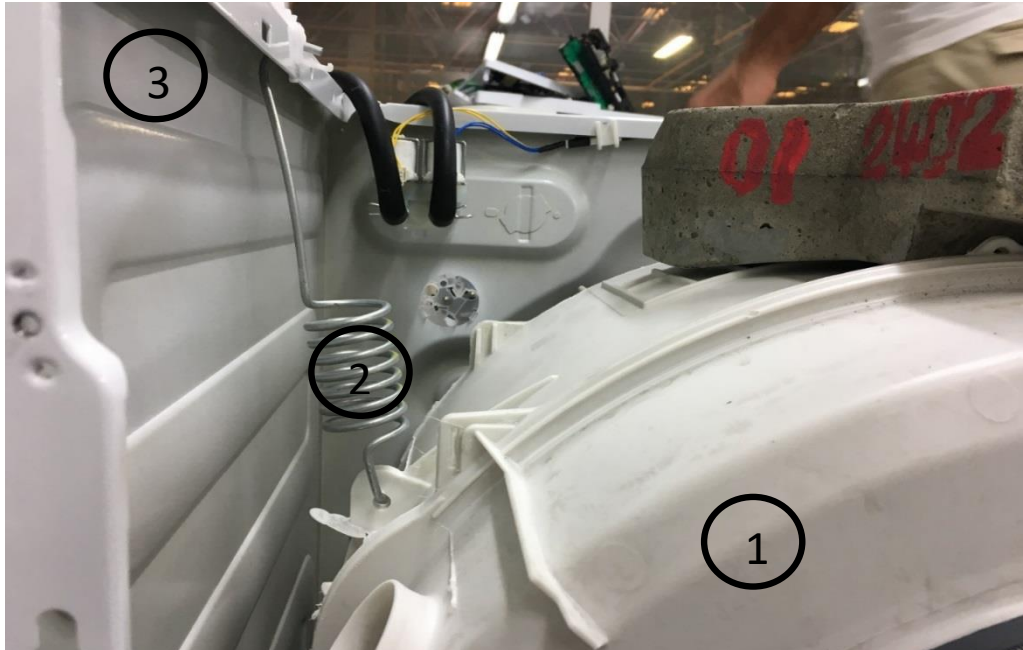
Amortisörün kazan ve gövdeye uyguladığı kuvvet ise Modelica kodunda gösterimi,

$$F = e_a * f_0 \quad (3.6)$$

formülündeki gibidir.

3.2.2. Öncül yay modeli

Yay, çamaşır makinesinin tahrik grubunda yer alan bir komponenttir. Çamaşır makinesinde kazan ile gövde arasında bağlantı kurmaktadır. Yayın çamaşır makinesindeki gösterimi Şekil 3.10 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.10 : Çamaşır makinesinde yayın yerleşimi. (1) Kazan (2) Yay (3) Gövde.

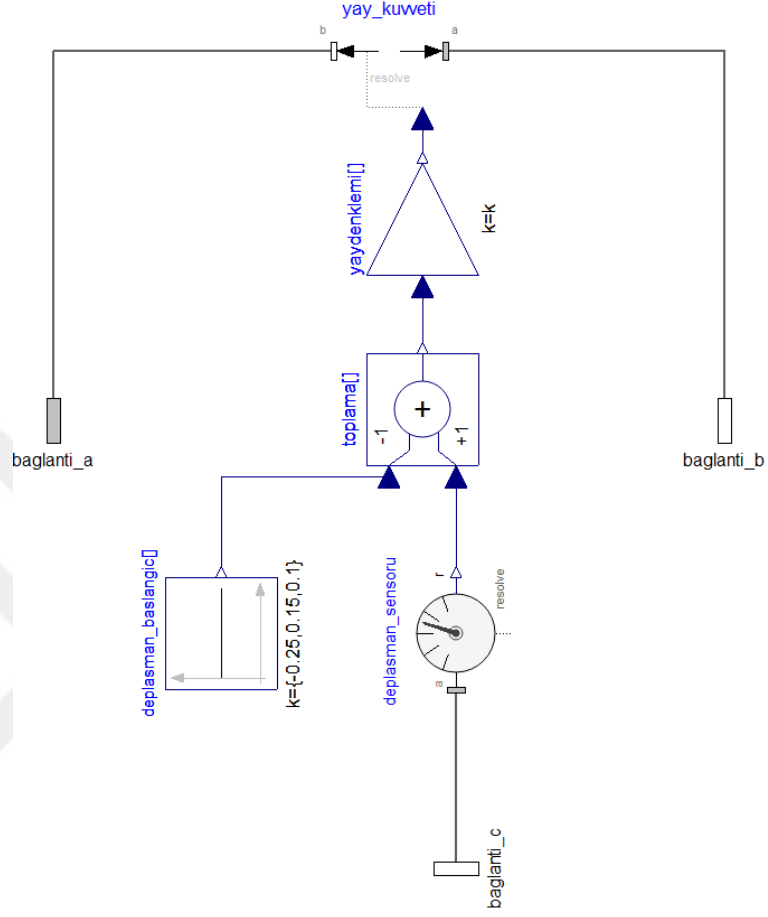
Öncül yay modeli Modelica/Dymola programında, çamaşır makinesindeki yayın teknik verisi ve elde edilen matematiksel denklemler yardımı ile elde edilmiştir.

İlk modelde, öncül amortisör modeline benzer bir model oluşturulmuştur. *Başlangıç deplasman* bloğunda, yayın kazana bağlı olan bağlantısının üç eksen için ilk konumlarının teknik verileri tanımlanmıştır. Aynı bağlantıdan anlık deplasman verisi alan *deplasman_sensoru* bloğunun çıktısı ve ilk deplasman değerleri toplama bloğuna giderek yay denklemleri bloğu için giriş yaratırlar. Giriş incelendiğinde z eksenini için simülasyon süresince bir değişim gözlenmemektedir. Modeldeki yay hareketi iki eksen üzerinde tanımlanmıştır. *yaydenklemleri* bloğu aşağıdaki denklem ile tanımlanmıştır:

$$F = F_0 + c \times \sqrt{(u[1]^2 + u[2]^2)} \quad (3.7)$$

Denklemlerde verilen F_0 yay öngerilme kuvveti olarak tanımlanmıştır. $u[1]$ ve $u[2]$, *toplama* bloğundan elde edilen x ve y eksenine bağlı deplasman değişimleridir. c ise

yay katsayısı olarak verilmiştir. İlk oluşturulan yay modelinin Modelica/Dymola programında gösterimi Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 : Öncül yay modeli.

Elde edilen ilk öncül yay modelinde, yay kuvveti her zaman pozitif olmaktadır. Denklemden herhangi bir yön belirtilmemiştir. Bu sebeple model güncellenerek ikinci

bir yay denklemi Modelica dilinde yazılarak yeni bir *yaydenklemleri* bloğu oluşturulmuştur. Bu denklem aştğıdaki gibidir:

eğer u[1] < 0 ve u[2] > 0 ise

$$F = F_0 + c \times \sqrt{(u[1]^2 + u[2]^2)} \quad (3.8)$$

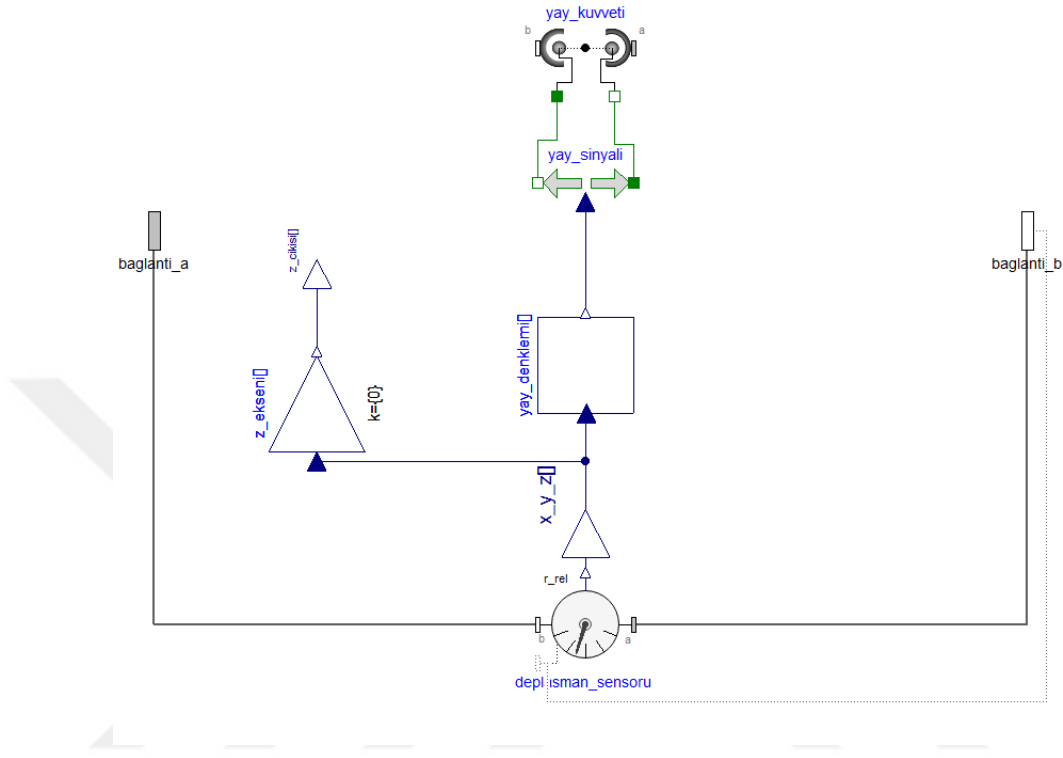
eğer u[1] > 0 ve u[2] < 0 ise

$$F = -(F_0 + c \times \sqrt{(u[1]^2 + u[2]^2)})$$

(3.8)'e göre yay kuvvetinin yönü, yayın x ve y eksenlerindeki deplasman değişimlerine bağlı olarak değişmektedir.

Bir diğer oluşturulan öncül yay modelinde bir önceki modelden farklı bir kuvvet bloğu kullanılmıştır. Kullanılan kuvvet bloğunda, yay kuvveti x ve y eksenini olarak ayrılmamaktadır ve çıkış yay bağlantıları için yay kuvveti birbirinden ters işaretli olarak tanımlanmaktadır. Yönler'e göre yay kuvvetinin tanımlanması yay kuvveti

bloğu ile verilmektedir. Buna göre oluşturulan yay modelinin Modelica/Dymola programında gösterimi Şekil 3.12’de verilmektedir.

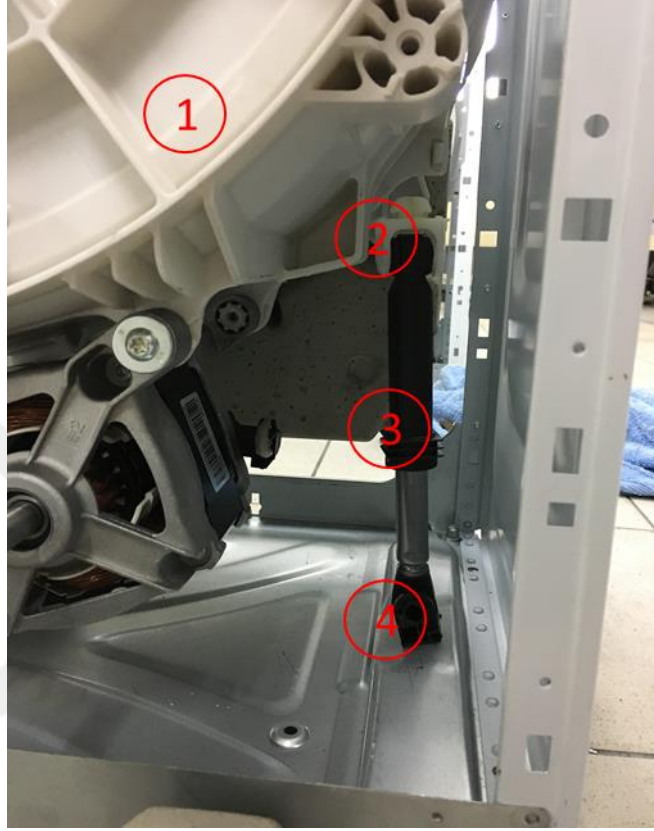


Şekil 3.12 : Yay modeli.

3.2.3. Öncül amortisör bağlantısı modeli

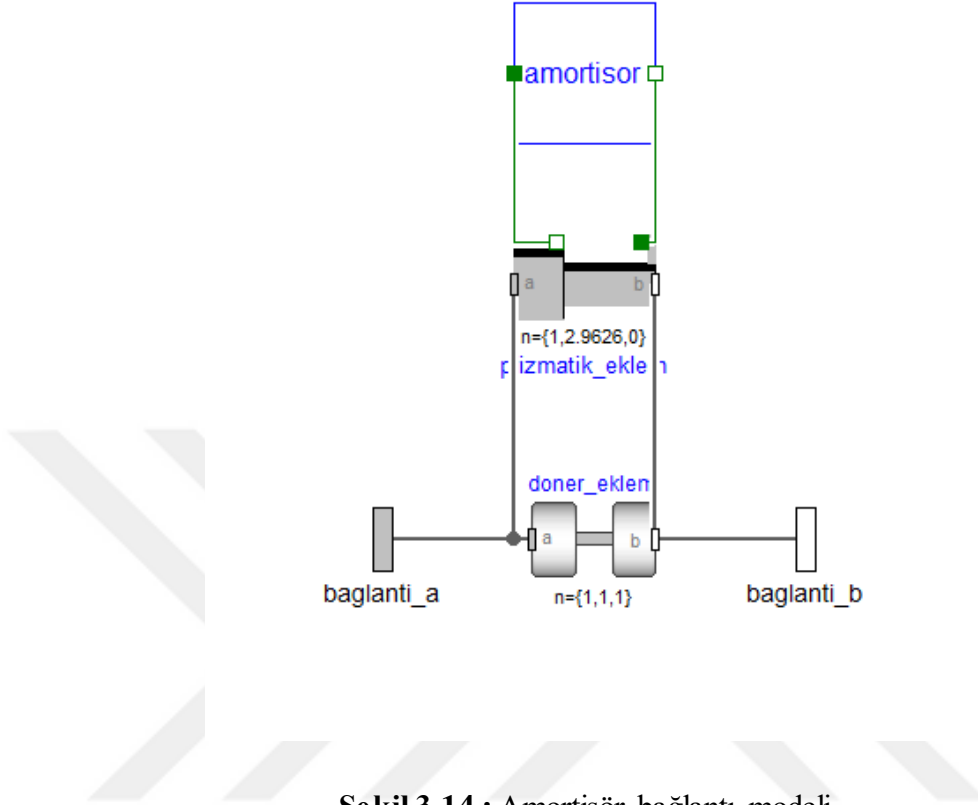
Çamaşır makinesinde amortisörün kazan ve gövdeye bağlantısı bulunmaktadır. Bağlantılar amortisörün x,y ve z eksenlerindeki hareketlerinin belirli bir kısıt altında

olması için önemli elemanlardır. Bağlantıların çamaşır makinesindeki yerleşimi Şekil 3.13 ile gösterilmektedir.



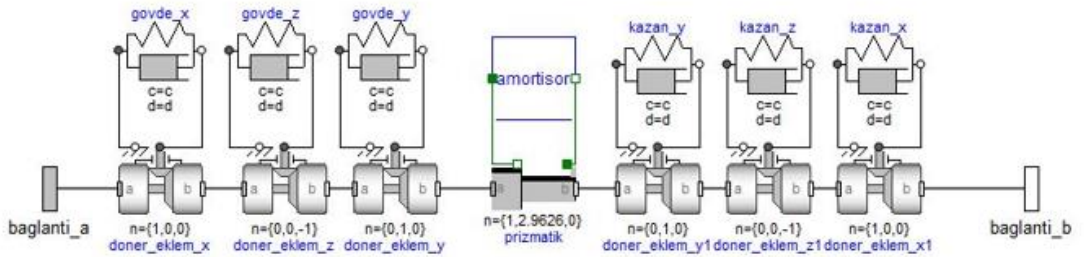
Şekil 3.13 : Çamaşır makinesinde amortisör ve bağlantıları. (1) Kazan (2) Amortisör kazan bağlantısı (3) Amortisör (4) Amortisör gövde bağlantısı.

Bağlantılar için yapılan ilk modelleme Şekil 3.14 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.14 : Amortisör bağlantı modeli.

Şekil 3.14 ile gösterilen modelde amortisörün x ve y eksenlerindeki izdüşümü ve ilk uzunluk değeri *prizmatik_eklem* bloku ile tanımlanmaktadır. *doner_eklem* bloku ile amortisör için üç eksende hareket tanımlanmıştır. Fakat amortisör, bağlantı noktasında üç eksen için aynı deplasmanı yapmamaktadır. Bağlantıların belirli değerlerde yay ve sönüm katsayıları bulunmaktadır. Her eksen için bir sönüm ve yay katsayısı elde edilmelidir. Bu katsayıları deneysel olarak ulaşmak yerine parametre optimizasyonu yapılmıştır. Amortisör bağlantı modeli Şekil 3.15 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.15 : Amortisör bağlantı modeli son hali.

Parametre optimizasyonu tezin ilerleyen aşamalarında bahsedilen deneysel deplasman sonuçları ile yapılmıştır. Parametre optimizasyonu için Minitab programı kullanılarak DOE çalışması yapılmıştır. DOE çalışması ile Şekil 3.15 ile gösterilen amortisör bağlantı modelinde *doner_eklem_x*, *doner_eklem_y* ve *doner_eklem_z* için hangi değerlerin modelde analiz edilmesi gerektiğine karar verilmiştir. Sonuçlar bölüm 3.3.5'te bahsedilen deneysel deplasman sonuçları ile karşılaştırılarak optimum parametreler elde edilmiştir.

Şekil 3.15 ile gösterilen amortisör bağlantı modelinde *doner_eklem_x*, *doner_eklem_y* ve *doner_eklem_z* amortisörün gövde bağlantısı, *doner_eklem_x1*, *doner_eklem_y1* ve *doner_eklem_z1* amortisörün kazan bağlantısı olarak tanımlanmaktadır. Döner eklemlere bağlı olan yay ve sönüm katsayısı bloku, döner eklemlerin dönüş açısı ve açısal hızlarına bağlı olarak tork üretmektedir. Tanımlanan torklar (3.8) ile gösterilmektedir.

$$\tau_c = c * (\phi_{bagil} - \phi_{bagilo})$$

$$\tau_d = d * w_{bagil} \quad (3.8)$$

$$\tau = \tau_c + \tau_d$$

τ_c , c yay katsayısı ve ϕ_{bagil} ile hesaplanan yay torku; τ_d ise d sönüm katsayısı ve w_{bagil} açısal bağıl hız ile hesaplanan sönümlenme torku olarak tanımlanmaktadır. τ ise döner eklem ile belirlenen eksendeki toplam tork olarak tanımlanmaktadır.

Amortisör bağlantısı, yay ve amortisör ile kazan deplasmanını en çok etkileyen çamaşır makinesi komponentlerinden biridir. Çamaşır makinesinin modelde kullanılan koşullar altında deneysel deplasman sonuçları ile amortisör bağlantıları bulunmaktadır.

3.3. Deneysel Sonuçlara Göre Çamaşır Makinesi Modeli

3.3.1. Amortisör modeli

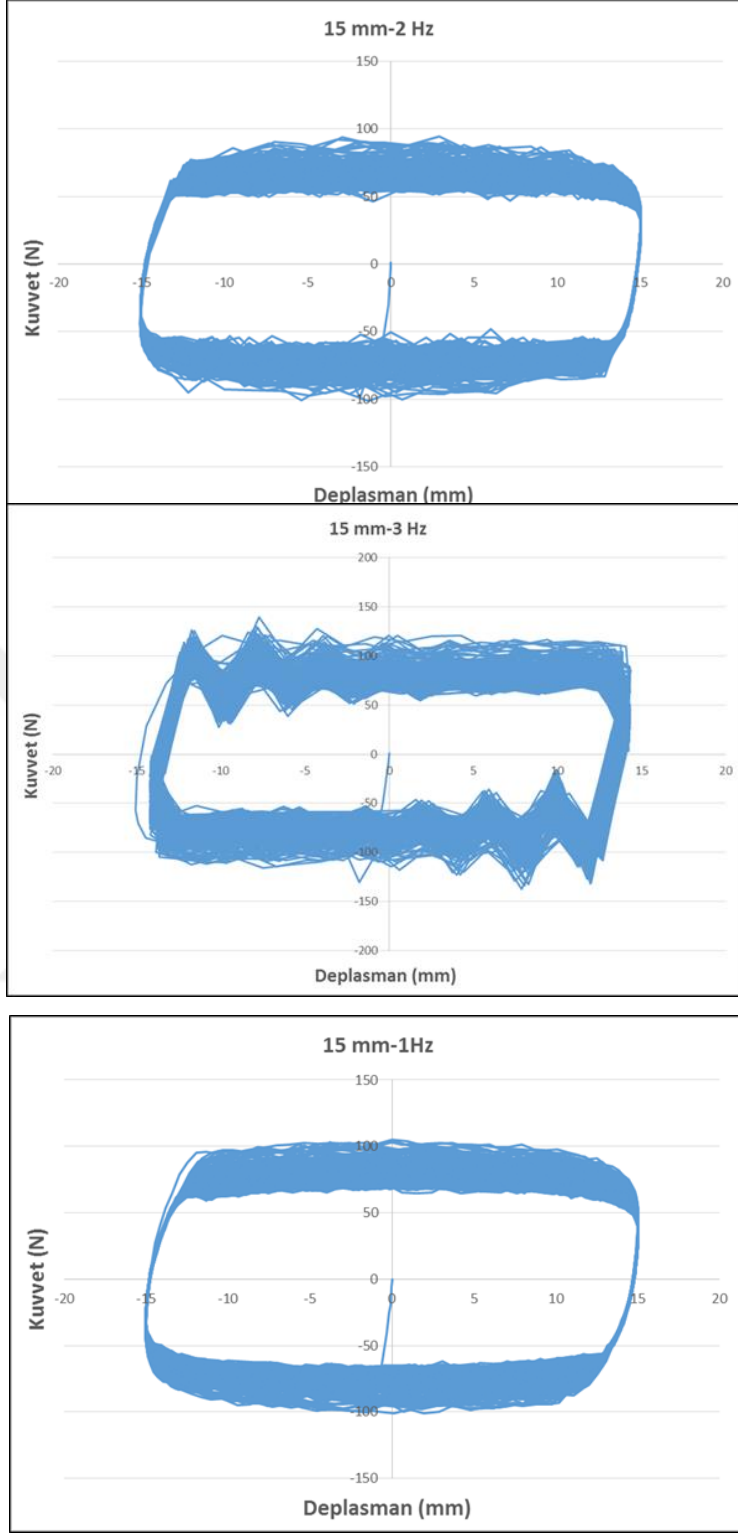
3.3.1.1. Deney düzeneği ve deneysel sonuçlar

Elde edilen amortisör modellerinden uygun olana karar vermek için referans amortisör ölçümüne ihtiyaç vardır. Bunun için İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Uzay Bilimleri Fakültesi laboratuvarında MTS cihazı ile çamaşır makinesinde kullanılan amortisör ile deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney düzeneği Şekil 3.16 ile gösterilmektedir.

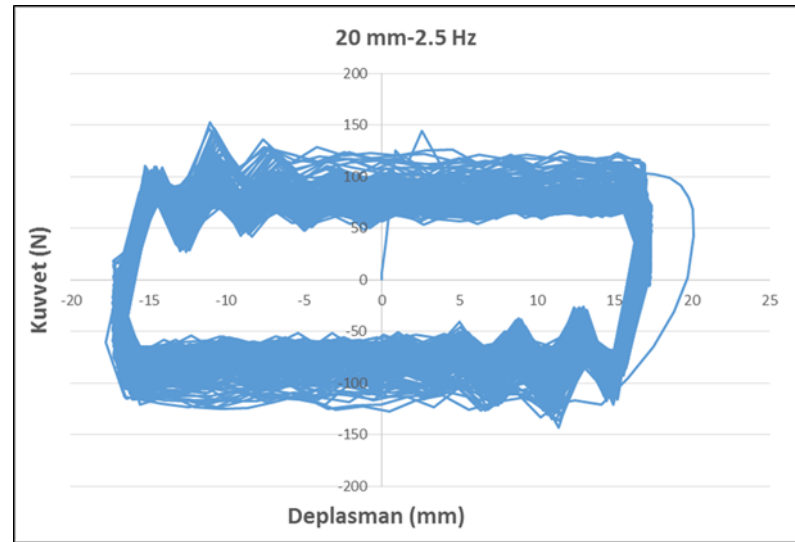
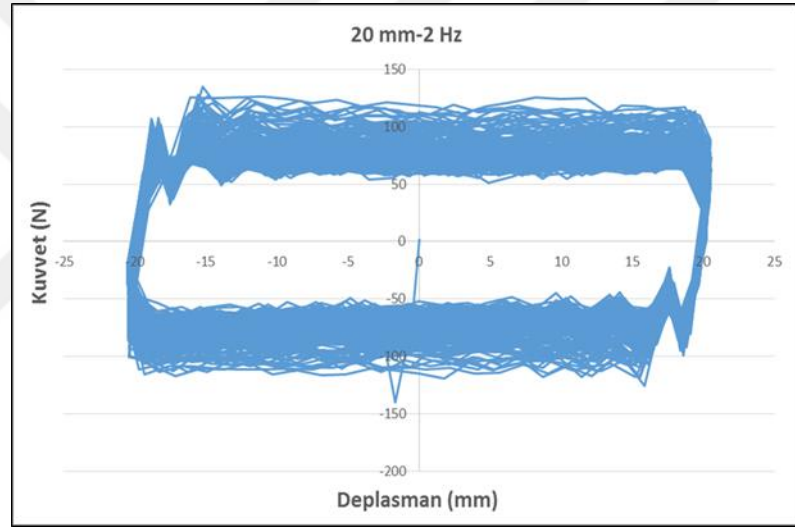
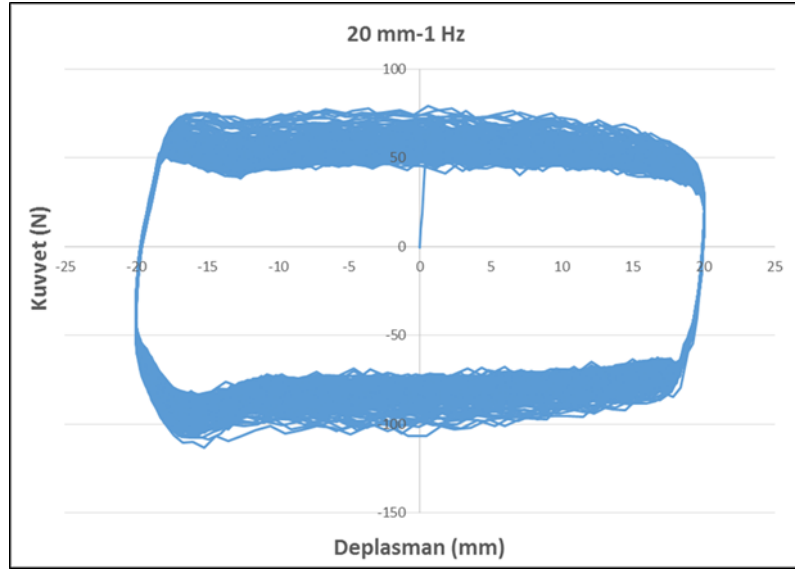


Şekil 3.16 : MTS cihazı amortisör deney düzeneği.

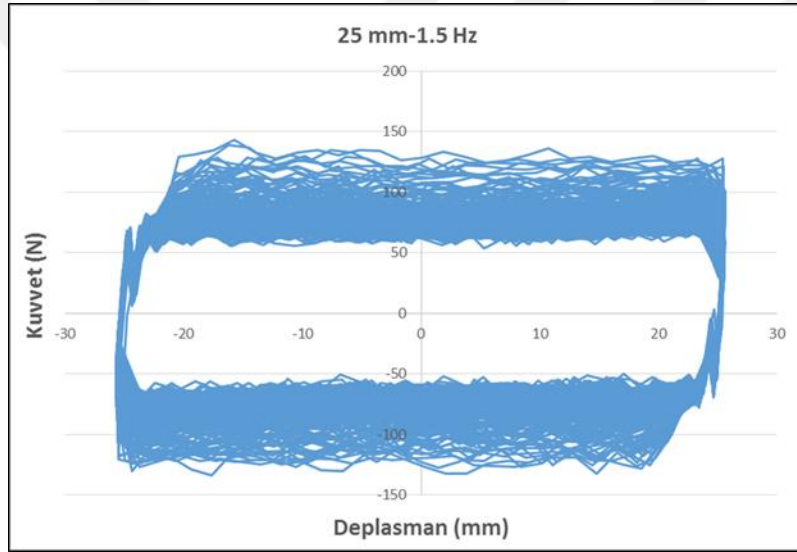
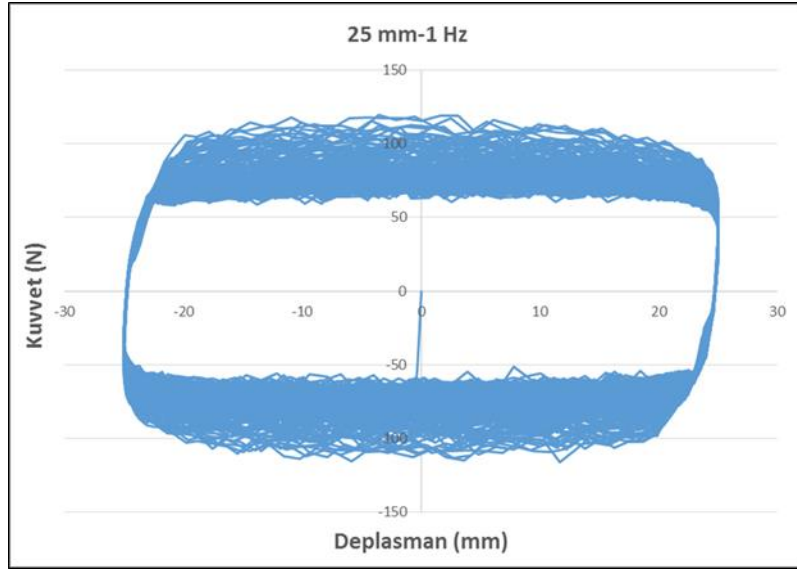
Yapılan ölçümlerde 15 mm strok için 1, 2, 3 Hz frekans, 20 mm strok için 1, 2, 2.5 Hz frekans, 25 mm strok için 1 ve 1.5 Hz frekans ile 200 çevrim için kuvvet deplasman verileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 3.17, 3.18, 3.19 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.17 : 15 mm strok 1, 2, 3 Hz frekans için kuvvet deplasman ölçümleri.



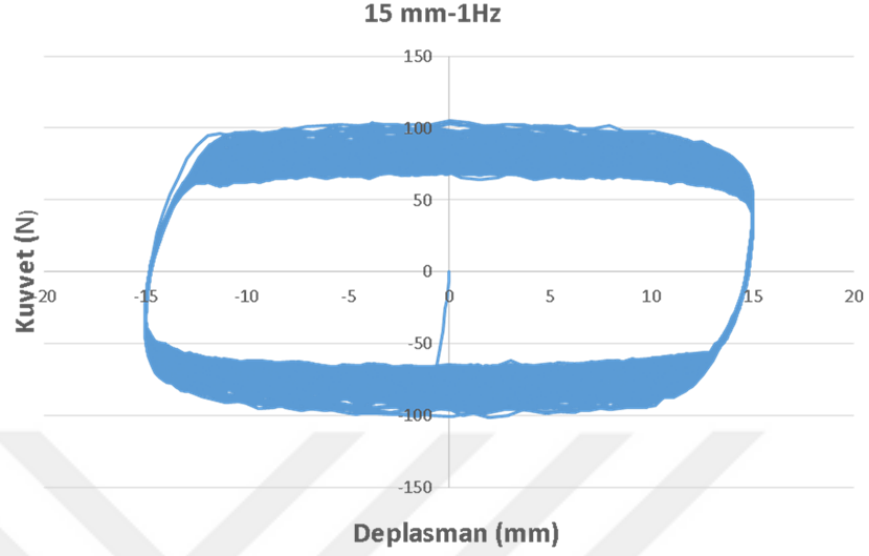
Şekil 3.18 : 20 mm strok 1, 2, 2.5 Hz frekans için kuvvet deplasman ölçümleri.



Şekil 3. 19 : 25 mm strok 1,1.5 Hz frekans için kuvvet deplasman ölçümleri.

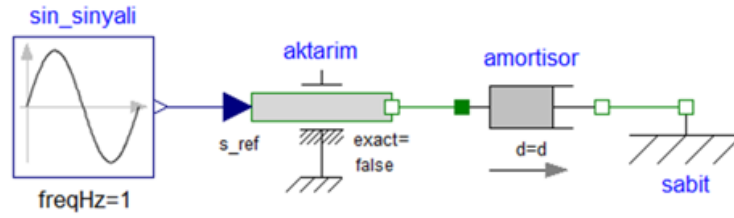
Şekil 3.17, 3.18 ve 3.19'da gösterilen kuvvet-deplasman grafiklerinde amortisörün teknik verisinde olduğu gibi ilk çevrimlerde 110 N kuvvet elde edilebilmektedir. Sonraki çevrimlerde amortisör kuru sürtünmeli yapıda olduğu için sürtünmeye bağlı sıcaklık değişiminden amortisör malzemesi etkilenmektedir ve kuvvet ortalama 80 N değerine düşmektedir. Grafiklerde frekans arttıkça cihaza bağlı olarak bozulma

görülmektedir. Bu nedenle amortisör modeli için 15 mm strok 1 Hz frekans ile yapılan ölçüm referans olarak alınmıştır.



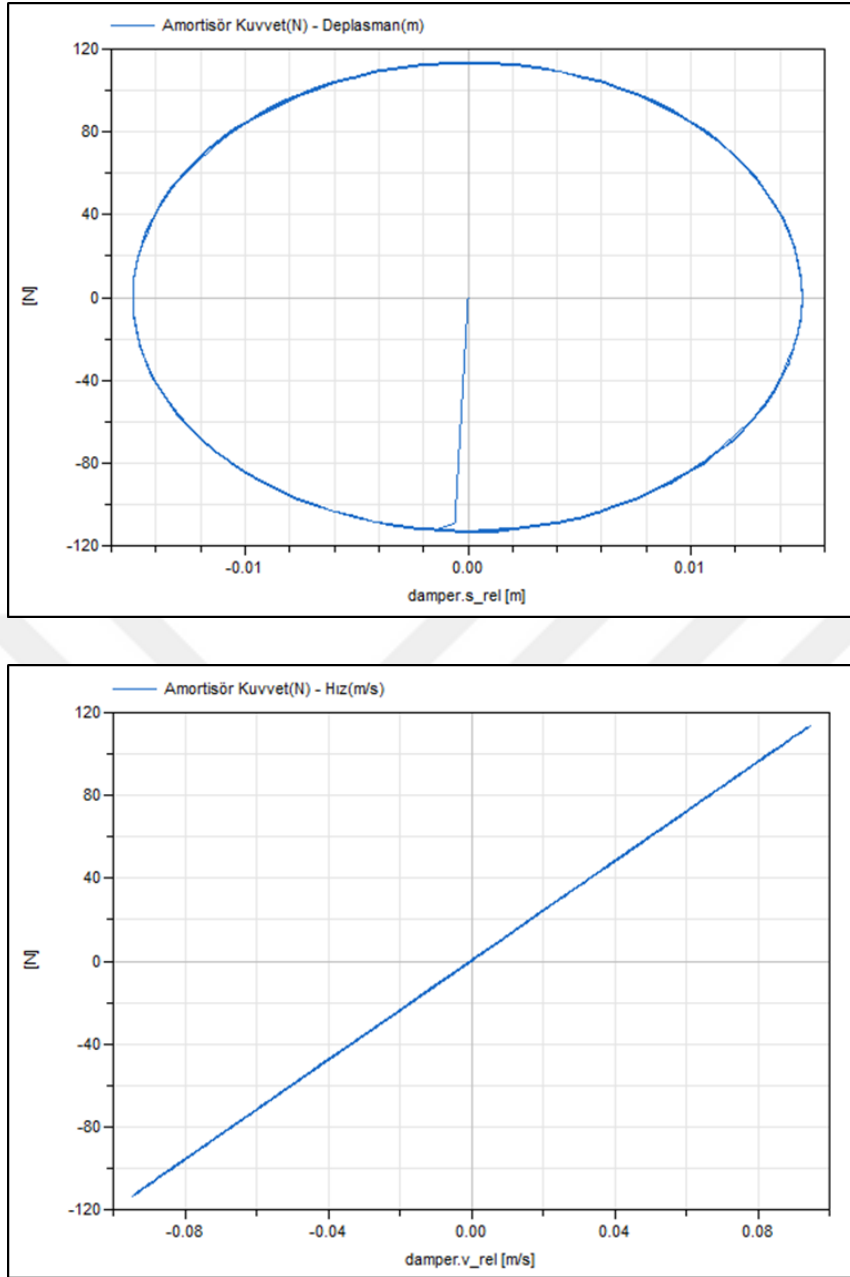
Şekil 3.20 : 15 mm strok 1 Hz frekans deney sonucu.

Modelica/Dymola ile elde edilen amortisör modelinin çamaşır makinesi amortisörüne uygunluğu incelemek için deney düzeneğinin gerçeğe uygun olarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Referans ölçüm 15 mm strok 1 Hz frekansta elde edilen ölçüm olduğundan dolayı 15 mm genlikte 1 Hz frekans ile çalışan sinüs sinyali amortisöre verilmektedir. Analiz, 200 çevirimde tamamlanmaktadır. Modeldeki deney düzeneği Şekil 3.21 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.21 : Deney düzeneği Modelica/Dymola modeli.

Deney düzeneği modelinden Modelica/Dymola programında elde edilen kuvvet deplasman ve kuvvet hız sonuçları Şekil 3.22 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.22 : Modelica/Dymola modeli ile kuvvet – deplasman ve kuvvet – hız

3.1.1.2. Kuru sürtünme esaslı amortisör modeli

Deney düzeneği modelinden elde edilen sonuçlar ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında amortisör modelinin uygun olmadığı görülmektedir. Dr. Dirk (2014) çalışması referans alınarak amortisör modeli son haline getirilmiştir [12].

Dr. Dirk (2014) çalışmasına göre amortisör kuvvet-hız verisi için s fonksiyonu elde edilmiştir. Modelica dilinde s fonksiyonunu oluşturmak için bir algoritma yazılmıştır. Yazılan ilk algoritma s fonksiyonunu elde etmek için kullanılmaktadır.

Algoritmaya göre y eksenini -1 ve 1 arasında sınırlandırılmış, x ve y eksenini için maksimum ve minimum değerler tanımlanmıştır. Tanımlanan değerler son algoritmada girdi olarak verilecektir. Buna göre x değerleri iterasyon ile bulunmaktadır. Oluşturulan s fonksiyonu Modelica dilinde EK B.1 ile gösterilmektedir.

Bu aşamadan sonra oluşturulan s fonksiyonunu algoritmasında kullanan bir fonksiyon daha elde edilmiştir. Bu fonksiyon son algoritmada girdi olarak girilecek parametrik değerler ile s fonksiyonunda elde edilen x değerinin karşılaştırılması görevini görmektedir. Karşılaştırmaya göre kuvvetin yönü aşağıdaki EK B.1 ile $s_fonksiyonu$ ismi ile tanımlanan algoritma ile belirtilmektedir. Verilen algoritmada $x_adezyon$ ile belirtilen parametre silindirin yapışma anındaki hızı, x_kayma ile belirtilen parametre silindirin kayma anındaki hızı, $y_adezyon$ ile belirtilen parametre yapışma anındaki sürtünme katsayısı, y_kayma ile belirtilen parametre ise kayma anındaki sürtünme katsayısı olarak tanımlanmaktadır. $v_bağlı$ ile tanımlanan değişken amortisörün bağlı hızı olarak tanımlanmaktadır. Denklemin Modelica dilinde gösterimi (3.9)'daki gibidir.

$$f = F * s_fonksiyonu(x_adezyon, x_kayma, y_adezyon, y_kayma, v_bağlı) \quad (3.9)$$

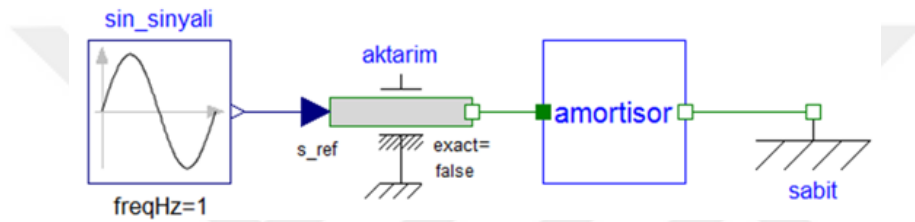
(3.9) ile tanımlanan modelde F , amortisöre gelen normal kuvvet olmaktadır ve $x_adezyon$, x_kayma , $y_adezyon$, y_kayma ile birlikte parametrik bir değerdir. Amortisörde deneysel olarak bu parametrik değerlerin bulunması yerine bulunan referans sonuçlara göre parametre optimizasyonu yapmak tercih edilmiştir. (3.9)'e göre amortisör kuvveti elde edilirken $v_bağlı$ değişkeninin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için amortisörün

sistemde bağılı olduğu sabit ve hareketli gövde ve kazan konumlarına göre yer değişimi (3.10) ve (3.11) ile hesaplanmaktadır.

$$s_{amortisör} = baglanti_{gövde} - baglanti_{kazan} \quad (3.10)$$

$$v_{rel} = der(s_{amortisör}) \quad (3.11)$$

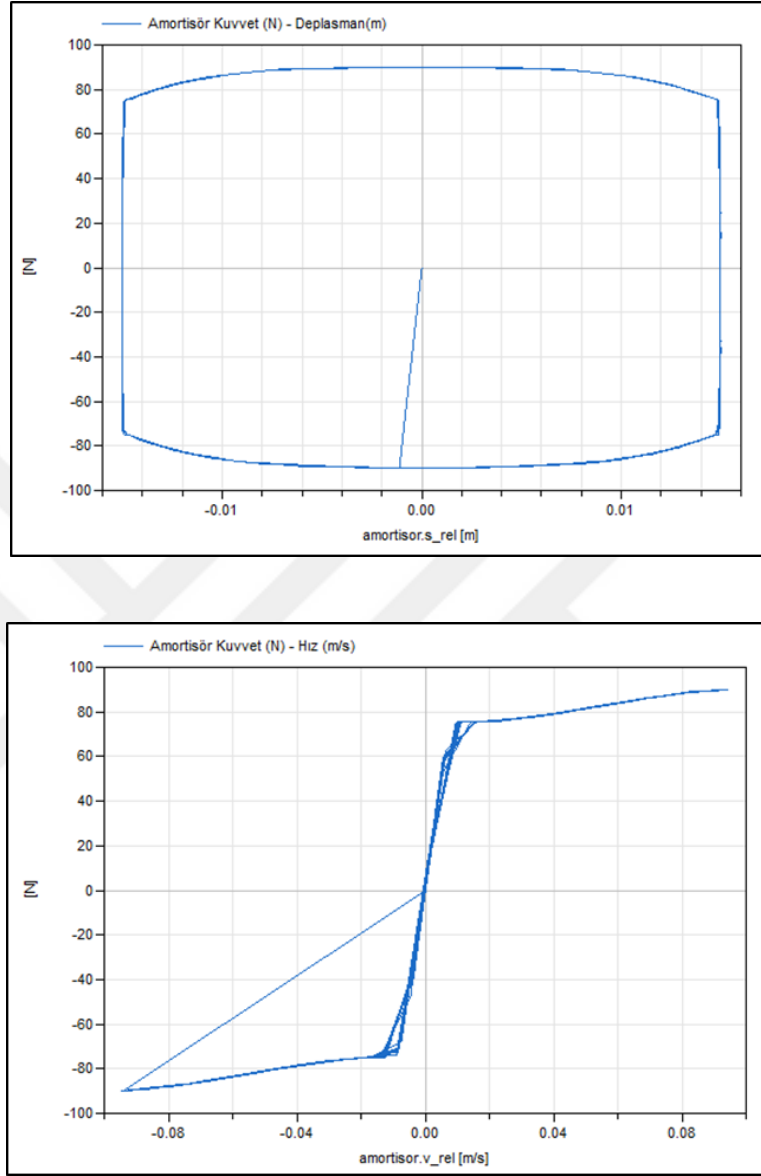
Amortisör modeli elde edildikten sonra referans kuvvet deplasman ölçümü ile sonuçları doğrulamak için, amortisör modelinin son hali ile deney düzeneği modeli yeniden elde edilmiştir. Modeldeki deney düzeneği Şekil 3.23 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.23 : Kuru sürtünme esaslı amortisörün Modelica/Dymola programında deney düzeneği modeli.

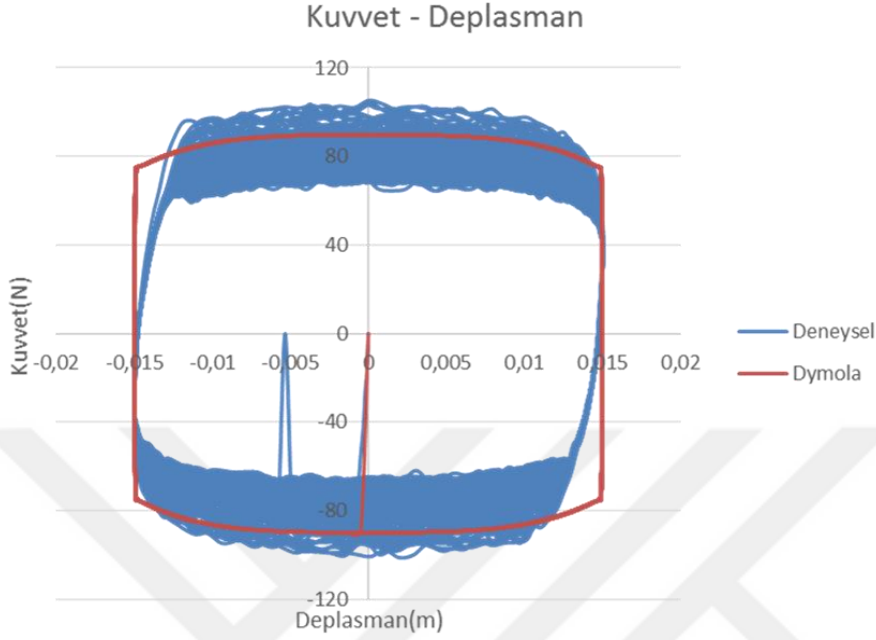
Referans ölçüm 15 mm strok 1 Hz frekansta elde edilen ölçüm olduğundan dolayı 15 mm genlikte 1 Hz frekans ile çalışan sinüs sinyali amortisöre verilmektedir. Analiz, 200 çevirimde tamamlanmaktadır.

Şekil 3.23’de gösterilen deney düzeneği modelinden Modelica/Dymola programında elde edilen kuvvet deplasman ve kuvvet hız sonuçları Şekil 3.24 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.24 : Kuru sürtünme esaslı amortisörün Modelica/Dymola modeli ile kuvvet – deplasman ve kuvvet – hız sonuçları.

Kuru sürtünme esaslı amortisör modeli ile 15 mm strok 1 Hz ile elde edilen deneysel ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 3.25 ile gösterilmektedir.



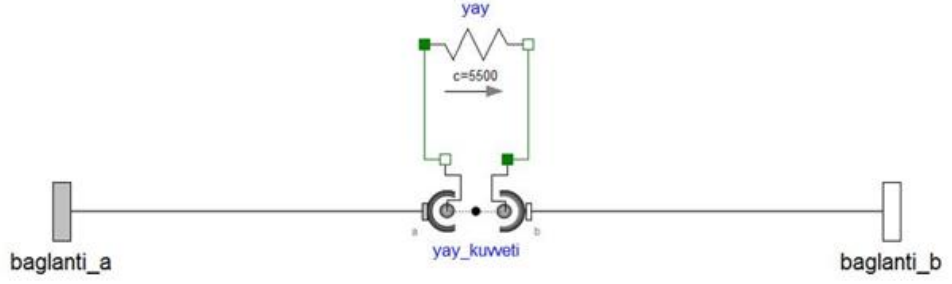
Şekil 3.25 : Deneysel sonuçlar ile Modelica/Dymola sonuçları.

Şekil 3.25 ile gösterilen sonuçlarda Modelica/Dymola programı ile elde edilen kuvvet deplasman değişimleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Modelde elde edilen amortisör modeli için deneysel sonuçların ortalama kuvvet değeri kabul edilmiştir. Deneysel sonucun model sonucuna göre deplasman yönünden 0.005 mm farklı olmasının sebebi ölçüm yapılan MTS cihazının kalibrasyonu ile ilgilidir ve tolerans dahilindedir.

3.3.2. Yay modeli

Öncül yay modellerinde yay kuvveti x,y ve z eksenleri için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Elde edilen son yay modelinde ise yay kuvveti yayın bağlı olduğu sabit gövde bağlantısı ve hareketli kazan bağlantısı yönlerine göre işaret değiştirmektedir. Kuvvet

değeri ise (4.6) ile elde edilmektedir. Sistemde kullanılacak olan yay modeli Şekil 3.26 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.26 : Yay modeli.

Yay kuvveti değeri ve yay ön gerilme kuvvet değeri yay blokunda tanımlanmaktadır. İlk yay boyu s_{rel0} ile mevcut yay boyu s_{rel} ile tanımlanmaktadır. Yay teknik bilgilerinde yay katsayısı 5500 N/m, ön gerilme kuvveti 70 N olarak verilmektedir. Modelica kodunda yay katsayısı c , ön gerilme kuvveti F_0 ile tanımlanmaktadır. Yay kuvvetinin elde edildiği yay bloku kodu (3.12) ile gösterilen denklem ile elde edilmektedir.

$$f = F_0 + c \times (s_{rel} - s_{rel0}) \quad (3.12)$$

Modelde yay_kuvveti olarak tanımlanan blok yayın kazan ve gövde bağlantısı arasında kuvvetin hangi yöne uygulanacağını belirtmek üzere tanımlanmıştır. Denklem (3.12) ile elde edilen yay kuvveti f , yay kuvveti bloku ile sisteme kuvvet

değerini vermektedir. Kuvvetin uygulanacağı yönler $yay_kuvveti$ blokunda (3.18)'de gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

eğer $s_{gövde} > 0$ ve $s_{kazan} > 0$ ise

$$f_{gövde} = f$$

$$f_{kazan} = f$$

değil $s_{gövde} > 0$ ve $s_{kazan} = 0$ ise

$$f_{gövde} = f$$

$$f_{kazan} = -f$$

(3.18)

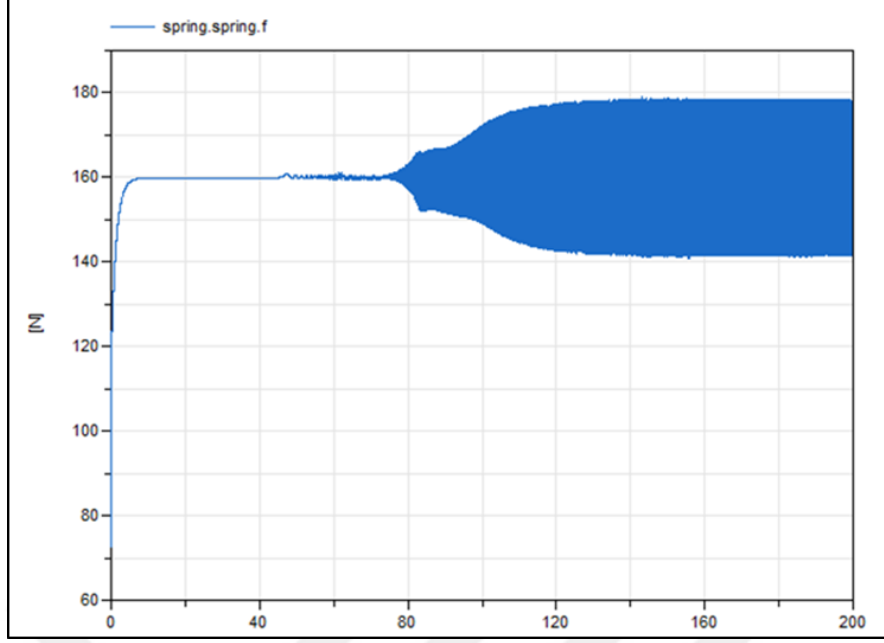
değil $s_{gövde} = 0$ ve $s_{kazan} > 0$ ise

$$f_{gövde} = -f$$

$$f_{kazan} = f$$

değil ise $f_{gövde} = 0$ ve $f_{kazan} = 0$

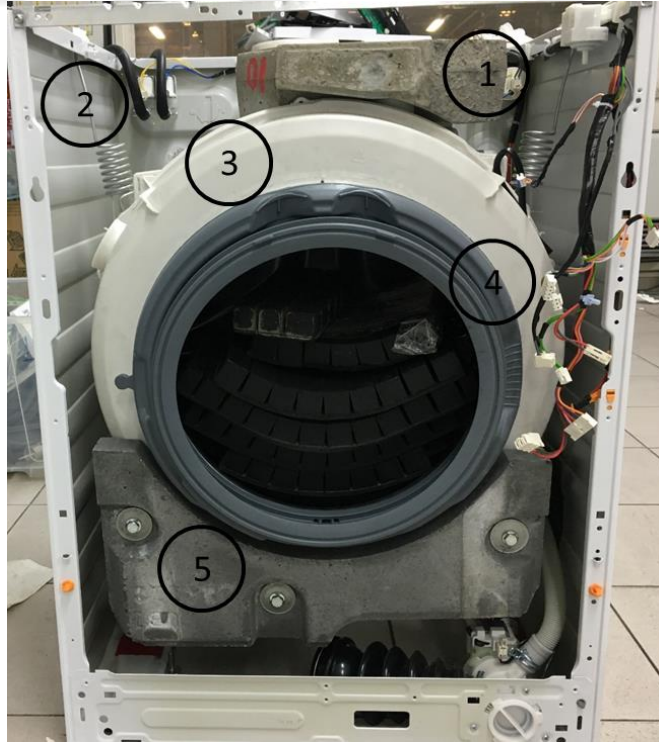
Sistemde tanımlanan yay modeli ile Modelica/Dymola programında 200 saniye süreli 0.016 adım zaman tanımlı analiz ile elde edilen yay kuvvet-zaman grafiği Şekil 3.27 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.27 : Yay kuvvet (N)-zaman (s) Modelica/Dymola sonuçları.

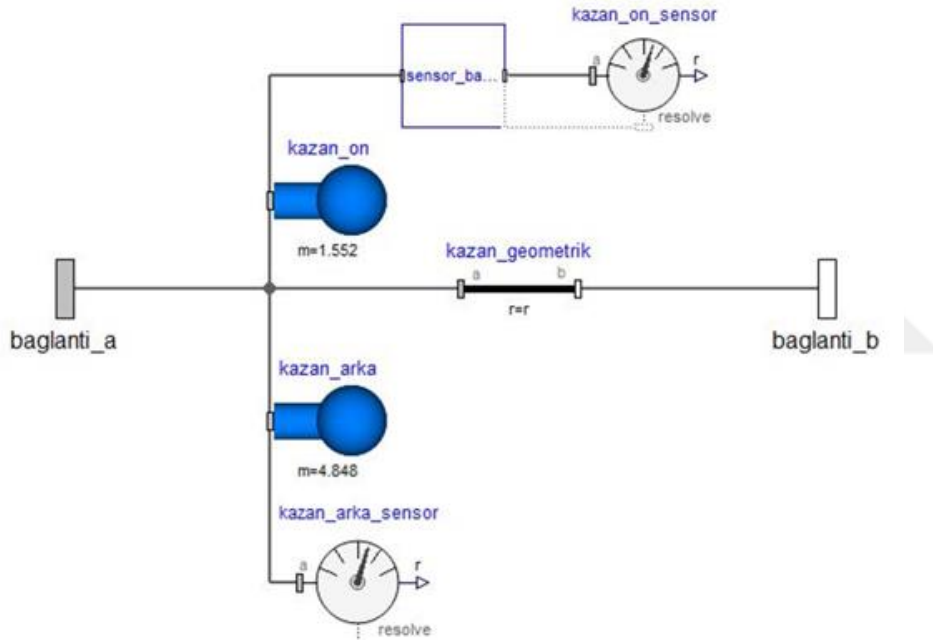
4.3. Kazan Modeli

Kazan, çamaşır makinesinin tahrik grubunda yer alan bir komponenttir. Kazanın çamaşır makinesindeki gösterimi Şekil 3.28 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.28 : Kazanın çamaşır makinesindeki yerleşimi. (1) Üst denge ağırlığı (2) Yay (3) Kazan (4) Körük (5) Ön denge ağırlığı.

Kazan modeli Modelica/Dymola programında, çamaşır makinesindeki kazan modelinin geometrik verileri ve elde edilen matematiksel denklemler yardımı ile elde edilmiştir. Aynı zamanda kazan modelinde deneysel deplasman ölçümünde kullanılacak olan sensörlerin yerleşimi de düşünülmüştür. Kazan modeli kazan ön ve kazan arka olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Kazan ön parçaya yerleştirilecek olan kazan_on_sensor, sensor_baglantisini bloku ile konumlandırılmaktadır. kazan_on ve kazan_arka ile tanımlanan bloklar kazana ait kütle merkezi, kütle ve atalet tensörü değerlerin tanımlandığı bloklardır. Kazanın geometrik özellikleri kazan_geometrik bloku ile tanımlanmıştır. Kazanın Modelica/Dymola programında elde edilen modeli Şekil 3.29 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.29 : Kazan modeli.

3.3.3. Tambur modeli

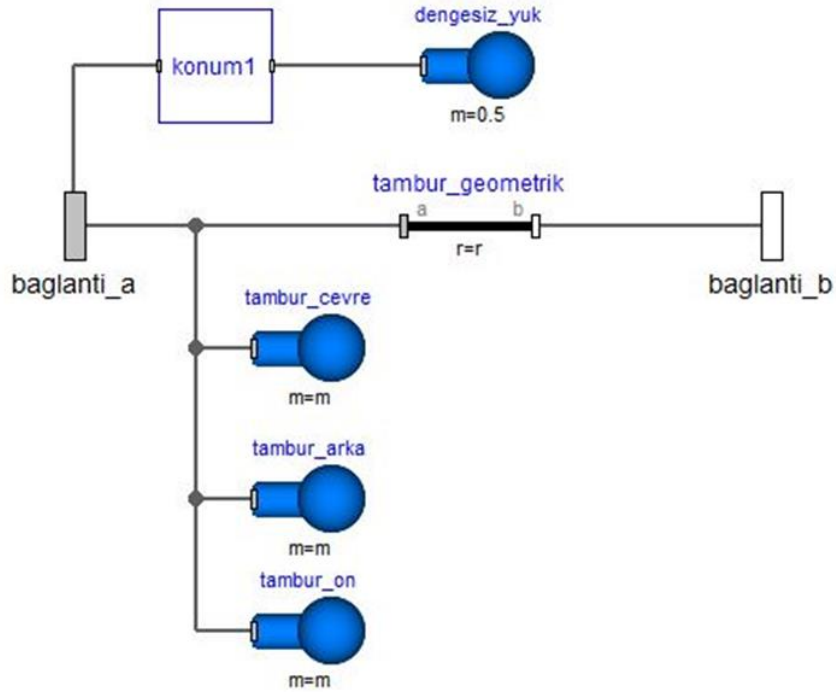
Tambur, amaşır makinesinin tahrik grubunda yer alan mile bağlı olup hareketli olan bir komponenttir. Tamburun amaşır makinesindeki gösterimi Şekil 3.30'da 1 numara ile gösterilmektedir.



Şekil 3.30 : Tamburun amaşır makinesindeki yerleşimi.

Tambur modeli Modelica/Dymola programında, çamaşır makinesindeki kazan modelinin geometrik verileri ve elde edilen matematiksel denklemler yardımı ile elde edilmiştir. Tambur modeli tambur n, tambur evre ve tambur arka olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır. Çamaşır makinelerinde yüksek devirlerde çamaşırın dengesiz olarak tambur çepherine yapışması ile dengesiz yük oluşur. Dengesiz yük çamaşır makinesinde istenmeyen bir sonuçtur. Yapılan çalışmanın amaçlarından biri dengesizliğin yarattığı deplasmanı kazan üzerine yerleştirilen sensörler ile x, y ve z eksenleri için ölçmek ve kritik deplasman değerlerine ulaşmaktır. Bu sebeple tambur modelinde 500 gr değerinde sabit dengesiz yük tanımlanmaktadır. Dengesiz yük tamburun orta bölümünde konumlandırılmıştır ve modelde dengesiz_yuk olarak tanımlanmaktadır. tambur_on, tambur_cevre ve tambur_arka ile tanımlanan bloklar tambura ait kütle merkezi, kütle ve atalet tensörü değerlerin tanımlandığı bloklardır.

Tamburun geometrik özellikleri tambur_geometrik bloku ile tanımlanmıştır. Tamburun Modelica/Dymola programında elde edilen modeli Şekil 3.31 ile gösterilmektedir.

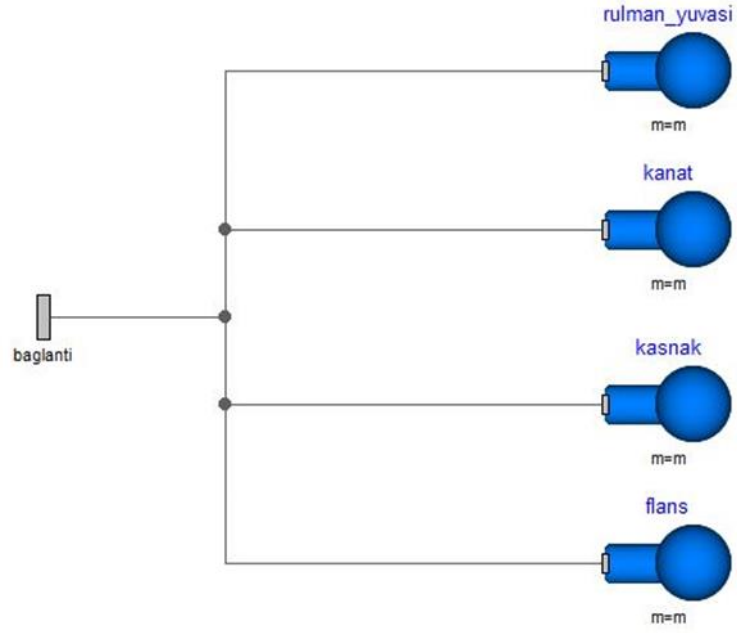


Şekil 3.31 : Tambur modeli.

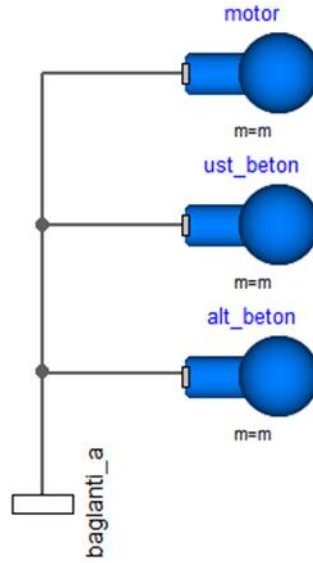
3.3.4. Diğer komponentlerin modeli

Çamaşır makinesindeki rulman yuvası, kanat, kasnak, flanş, üst beton ağırlık, alt beton ağırlık ve motorun kütleli modellenmesi için bu komponentlerin sistemin ataletine etkisi, kütle merkezlerinin konumları ve kütle değerleri göz önüne alınmıştır. Model, Modelica/Dymola programında çamaşır makinesindeki rulman yuvası, kanat, kasnak, flanş, üst beton ağırlık, alt beton ağırlık ve motorun kütleli modelinin geometrik verileri ve elde edilen matematiksel denklemler yardımı ile

elde edilmiştir. Bahsedilen komponentlerin Modelica/Dymola programında elde edilen modeli Şekil 3.32 ve Şekil 3.33 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.32 : Rulman yuvası, kanat, kasnak, flanş modeli.



Şekil 3.33 : Motor, üst beton ağırlık, alt beton ağırlık modeli.

3.3.5. Amortisör bağlantısı modeli

3.3.5.1. Deneysel deplasman sonuçları

Çamaşır makinesinin tambura yerleştirilen sabit dengesiz yük ile üç eksendeki deplasman davranışları incelenmek istenmektedir. Eksenlerdeki deplasman değişimi sonuçlarına göre Modelica/Dymola çamaşır makinesi modelinde amortisör gövde ve kazan bağlantısı için üç eksenle optimum sönüm ve yay parametreleri seçilebilir. Bu çalışma için deney düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneğinde üç eksenli ivme ölçer kazanın üst bölümünde ön kısmına yerleştirilmiştir. Sensör yerleşiminde sonuç doğruluğunun artması için üst beton ağırlığın olmadığı kazan ön bölümü tercih edilmiştir. Çamaşır makinesinde dengesiz yük oluşumunu deneysel olarak gözlemleyebilmek için sabit bir dengesiz yük tambura sabitlenmektedir ve sıkma devirlerinden kazanın değişen ve kritik deplasmanları incelenmektedir. Sabit dengesiz yük olarak 500 gram yük seçilmiş, tamburun ön bölümünde sabitlenmiştir. Deney düzeneğinde ivme ölçerin yerleşimi ve sabit dengesiz yükün sabitlenmesi Şekil 3.34 ve 3.35 ile gösterilmektedir.

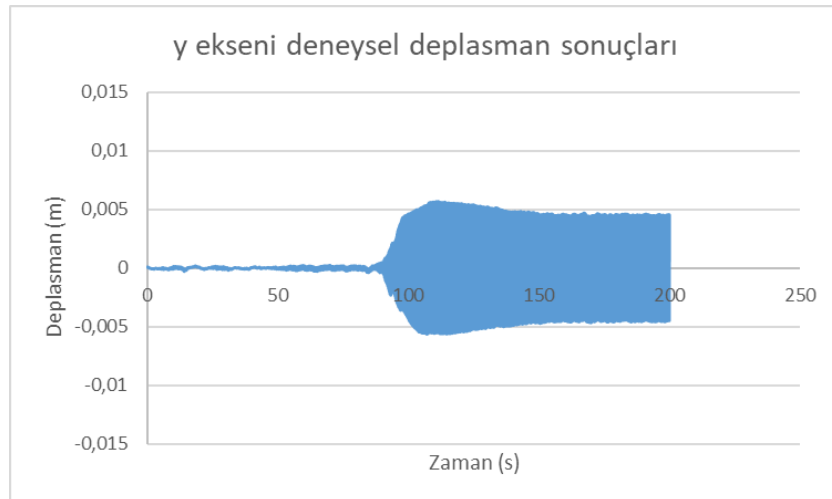
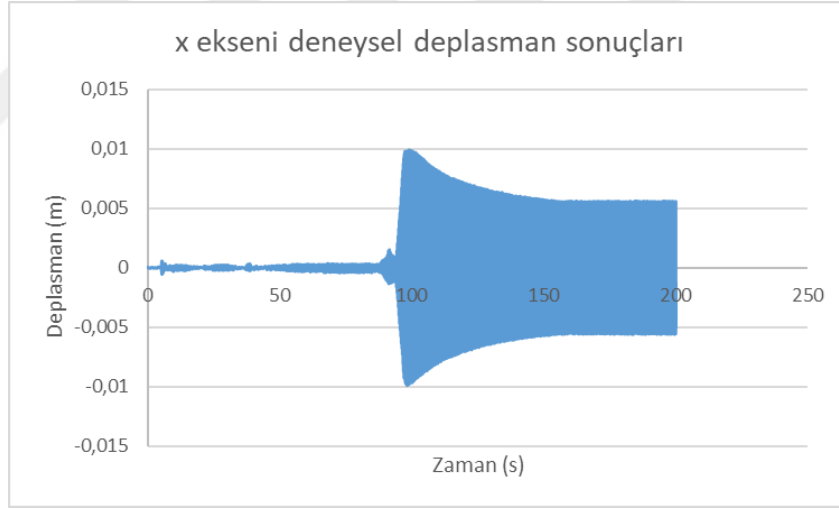


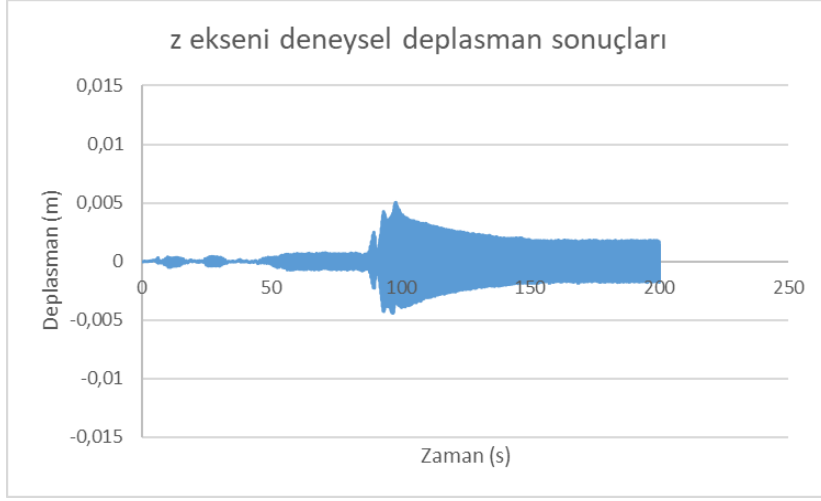
Şekil 3.34 : İvmeölçerin kazan üzerinde yerleşimi.



Şekil 3.35 : 500 gr sabit dengesiz yükün tambur ön bölümüne sabitlenmesi.

Üç eksen için kazana bağlı ivmeölçer ile alınan deplasman sonuçları Şekil 3.36 ile gösterilmektedir.





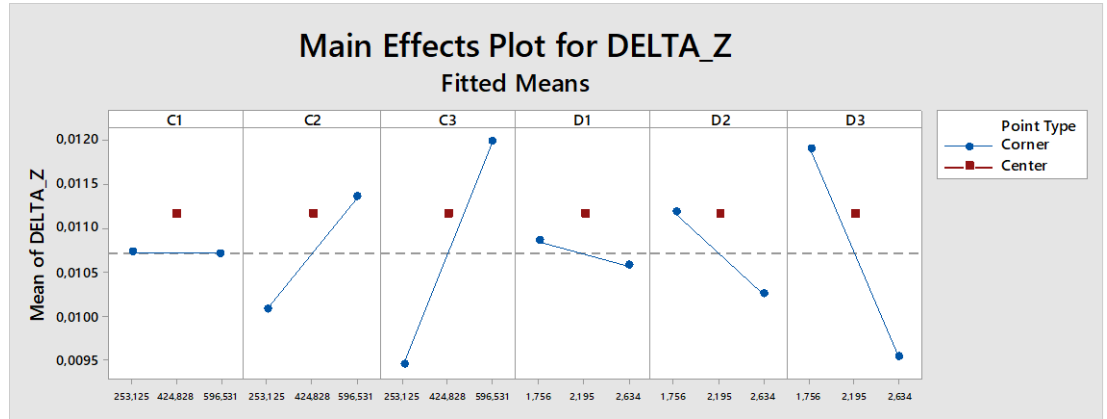
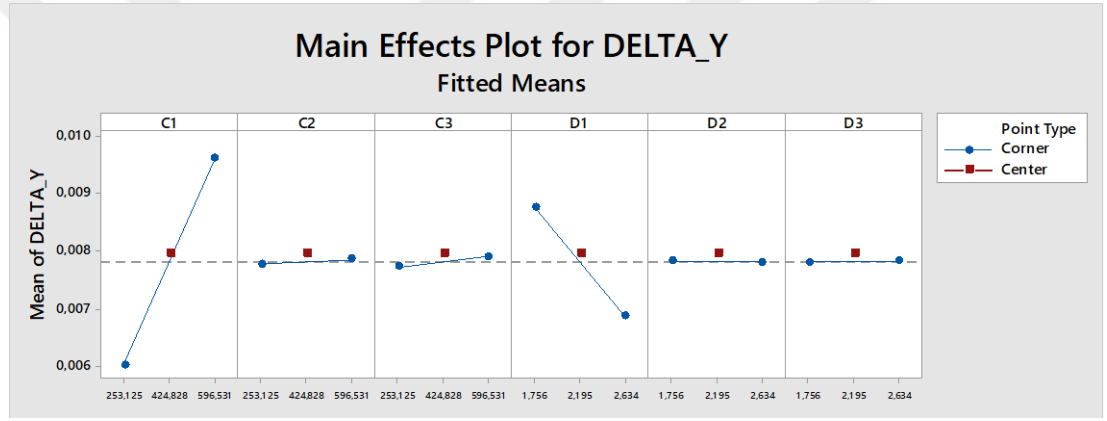
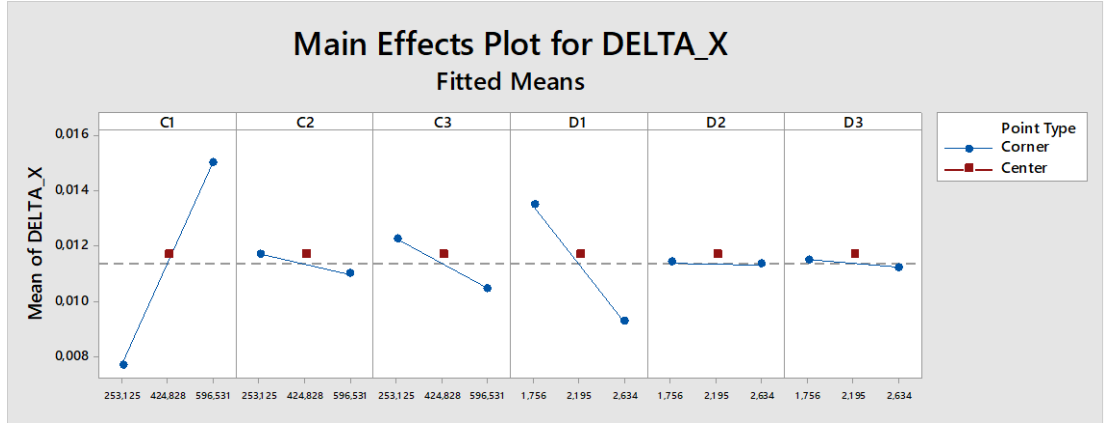
Şekil 3.36 : Deneysel deplasman sonuçları.

3.3.5.2. Amortisör bağlantısı parametrelerinin optimize edilmesi

Üç eksenle alınan deplasman değişimi sonuçlarına göre amortisör bağlantılarını parametreleri optimize edilmelidir. Her eksen için sönüm ve yay katsayısı bulunmaktadır, üç eksen için toplam altı parametre elde edilmelidir. Parametreler için deplasman sonuçlarını minimum ve maksimum yapabilecek başlangıç değerleri atanmıştır. Bu değerler arasında Modelica/Dymola programında deplasman analizi yapılmış ve maksimum deplasmanlar elde edilmiştir.

Elde edilen deplasman verileri ile Minitab programında veri analizi yapılmıştır. Minitab'ın DOE için kullanılan eklentisi ile simulasyon planı oluşturulmuştur. Optimize edilmek istenen parametreler için hangi değerlerin analiz edilmesi gerektiği elde edilmektedir. Modelica/Dymola programı kullanılarak bu değerler analiz edilmiştir ve sonuçlar, deneysel deplasman sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre

optimum parametre aralığı daraltılmıştır. Minitab programı ile elde edilen veri analizi Şekil 3.37 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.37 : Minitab Parametre Analizi Sonuçları.

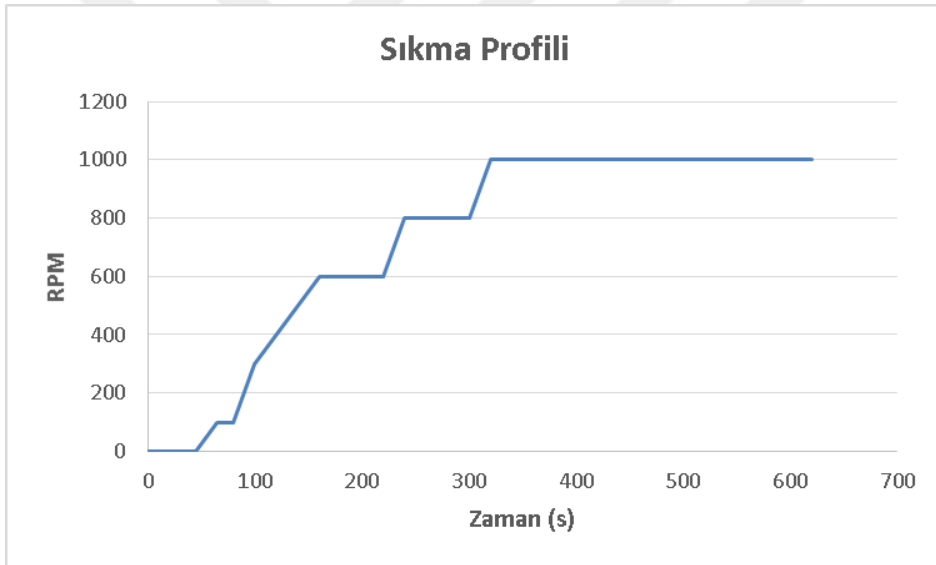
Parametre analizine göre her parametrenin üç eksen üzerinde farklı değerlerdeki etki katsayıları elde edilmiştir. Bu analize göre optimum parametrelere ulaşılmıştır. Optimum amortisör bağlantıları parametreleri Çizelge 3.1 ile gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 : Amortisör Bağlantı Parametreleri.

	x eksen	y eksen	z eksen
Yay katsayısı (Nm/rad)	412.53	379.9875	298
Sönüm Katsayısı (Nms/rad)	6.53	2.634	1.68

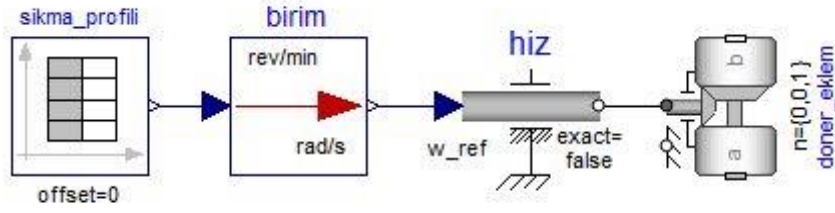
3.3.6. Sıkma profili

Modelin doğruluğu için deneysel deplasman ölçümü ile Modelica/Dymola programında deplasman analizi incelenmiştir. Model analizinde, deneysel ölçümlerde kullanılan sıkma profili kullanılmıştır. Kullanılan sıkma profili Şekil 3.38 ile gösterilmektedir.



Şekil 3.38 : Modelica/Dymola sıkma profili.

Kullanılan sıkma profili devir/dakika – zaman birimindedir. Sıkma profili modelde tambura iletilmektedir ve Şekil 3.39 ile gösterilmektedir.

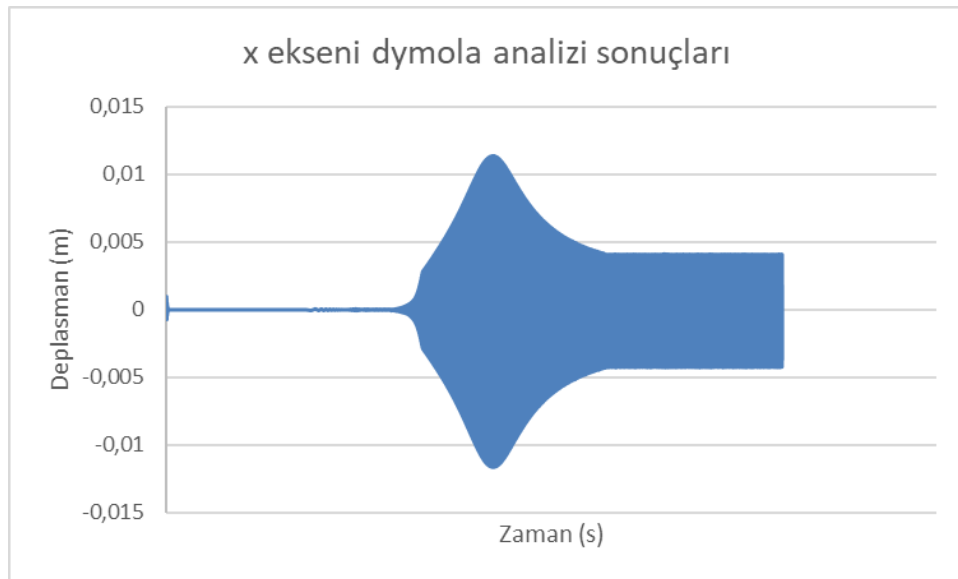


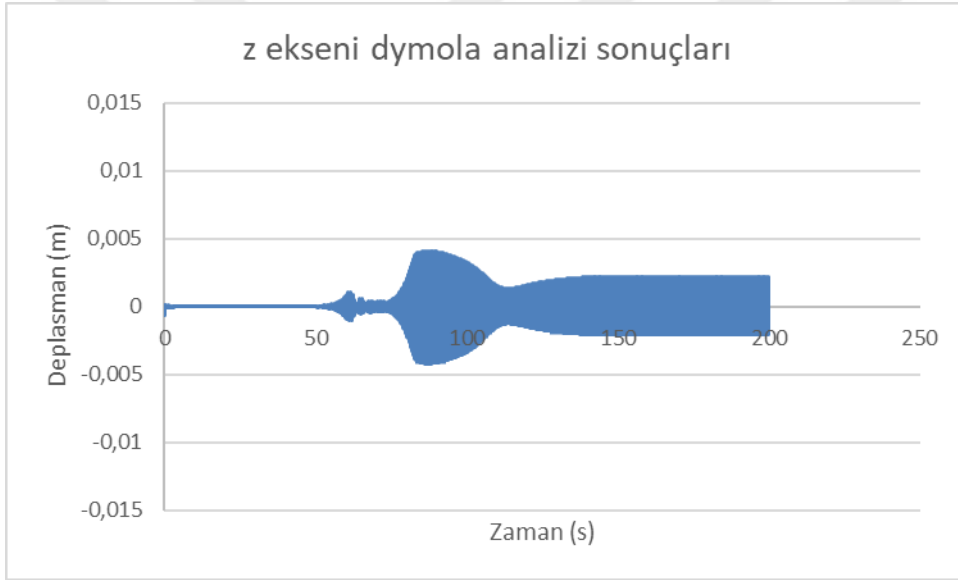
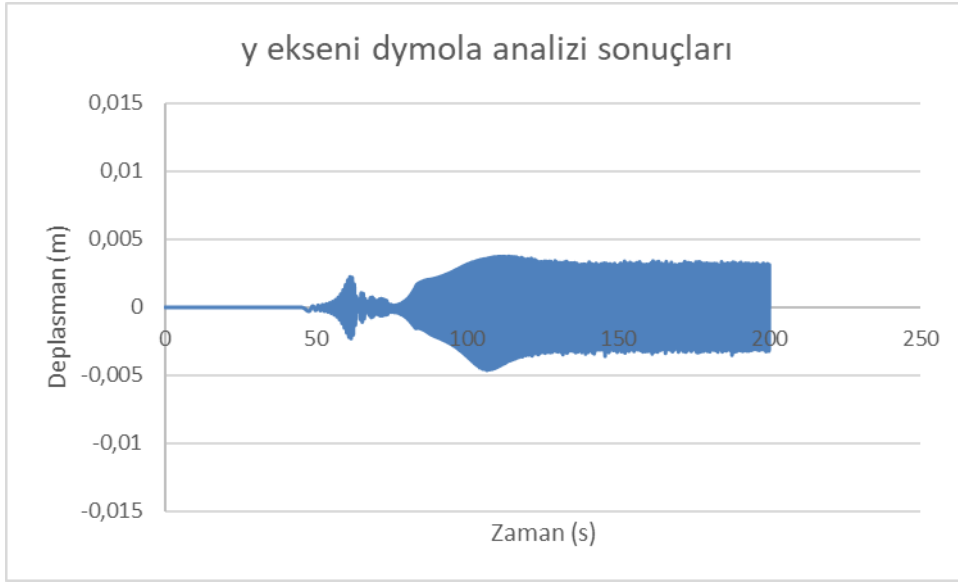
Şekil 3.39 : Modelde hareket iletimi.

Sıkma profili devir/dakika biriminden radyan/saniyeye çevrilmiştir. Çevrim birim bloğu ile elde edilmiştir. Radyan/saniye biriminde sıkma profili hız blokuna aktarılmıştır. Tambur ile kazan arasında bağlantı olarak doner_eklem bloğu tanımlanmıştır. Döner eklem blokunda radyan/saniye birimi ile aktarılan sıkma profili z ekseninde dönüşü sağlamaktadır.

3.4. Çamaşır Makinesi Modelinde Deplasman Sonuçları

Çamaşır makinesi modeline göre elde edilen deplasman Şekil 3.40 ile gösterilmektedir.





Şekil 3.40 : Modelica/Dymola analizi deplasman sonuçları.

Çamaşır makinesinde en kritik deplasman değişimi x eksen yönündedir. Bu bilgi ile model ve deneysel sonuç arasındaki hata payının x ekseninde olmasına önem verilmiştir. Bununla birlikte çamaşır makinesinde deplasman değişiminde maksimum deplasman önemli olmakta ve aşağıda analiz edilen hata oranları maksimum deplasman baz alınarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar ve analiz sonuçları için her üç ekseninde elde edilen 500 gr için maksimum deplasman sonuçları Çizelge 3.2 ile gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 : x, y ve z eksenini için 500 gr yük ile maksimum deplasman sonuçları.

	x eksenini	y eksenini	z eksenini
Deneyisel	0.001	0.0052	0.00485
Dymola	0.0113	0.00446	0.00415
Hata Oranı	% 10.3	% 14.2	% 14.4

300 gr ve 600 gr için üç ekseninde deney sonuçları ve dymola analizi sonuçları ise Çizelge 3.3 ve 3.4 ile verilmektedir.

Çizelge 3.3 : x, y ve z eksenini için 600 gr yük ile maksimum deplasman sonuçları.

	x eksenini	y eksenini	z eksenini
Deneyisel	0.0104	0.0055	0.006
Dymola	0.012	0.0047	0.0052
Hata Oranı	% 15.3	% 14.5	% 13.3

Çizelge 3.4 : x, y ve z eksenini için 300 gr yük ile maksimum deplasman sonuçları.

	x eksenini	y eksenini	z eksenini
Deneyisel	0.0062	0.0033	0.0027
Dymola	0.07	0.00375	0.00236
Hata Oranı	% 12.9	% 13.6	% 12.59

Farklı dengesiz yükler için incelenen sıkma profiline bağlı deplasman değişimleri, sıkma profilinde 0-600 rpm arasında rezonans bölgesinde gerçekleşen maksimum deplasmanlardır.



4. ADAPTİF SIKMA VE BULANIK MANTIK ALGORİTMASI

4.1. Adaptif Sıkma Profillerinin Oluşturulması

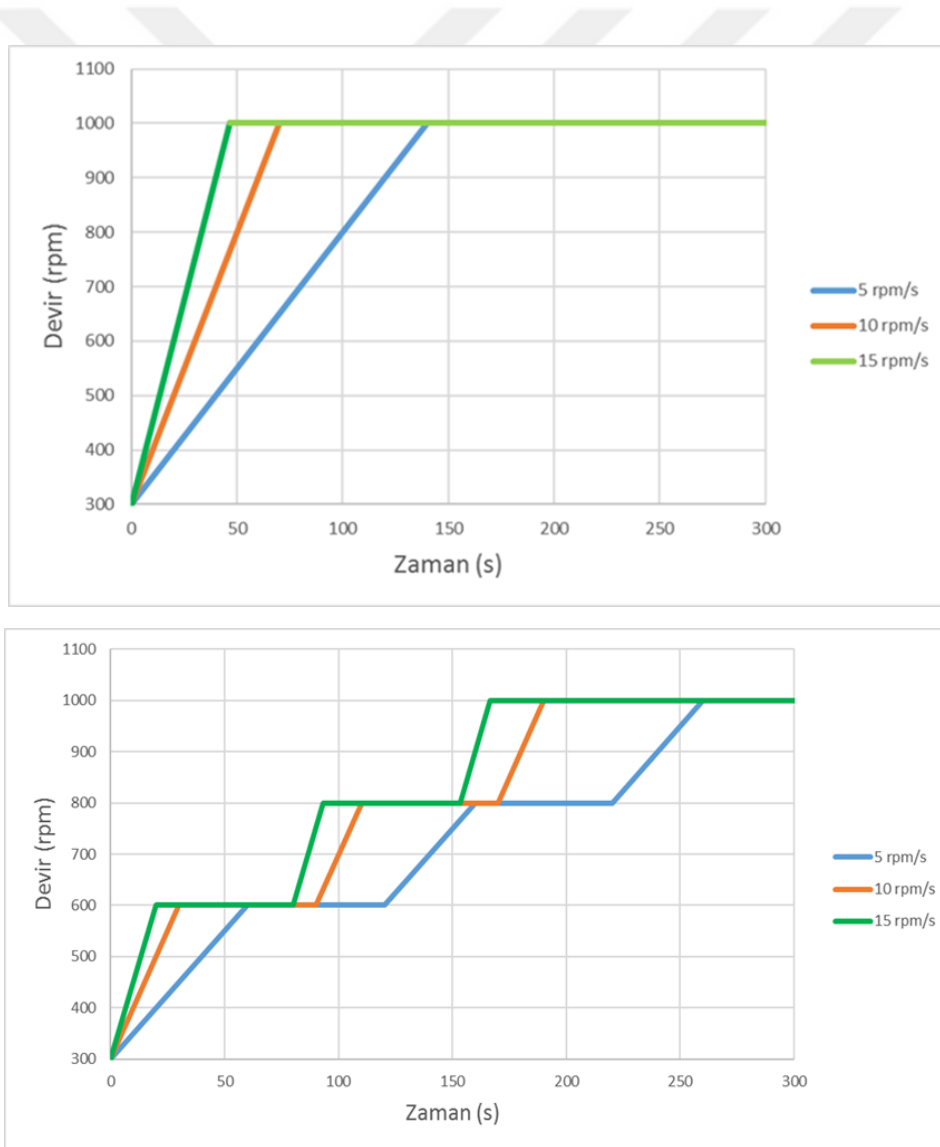
Elde edilen modelde belirlene sabit dengesiz yük için tanımlanan sıkma profilinde sistemin kritik deplasman değişimleri elde edilmiştir. Çamaşır makinesinde sıkma verimini arttırmak için farklı sıkma profilleri denenmelidir. Fakat bu amaca ulaşmak için farklı deneyler yapılmalıdır. Bu sonuç da zaman ve maliyet kaybı yaratmaktadır. Farklı sıkma profillerinin denenmesi ve mevcut sabit dengesiz yük için en uygun sıkma profilinin bulunması model üzerinde gerçekleştirilebilir. Bu amaç ile sıkma profillerinin belirlenmesi öncelikle deneysel olarak çalışılmıştır. Bu sayede sıkma verimini arttırmak ve farklı dengesiz yük koşullarına uygun adaptif sıkma profil oluşturmak hedeflenmiştir. Bunun için bir deney düzeneği kurulmuş ve deneylerde çıktı olarak sıkma sonrası çamaşır makinesinden tahliye edilen su miktarı baz alınmıştır. Tahliye edilen su miktarı hassas terazi ile birim zaman için ölçülmüştür. Deneylerdeki değişkenler ise yük miktarı, rampa değeri ve rampa tipidir. Çamaşırlar her yıkama ve sıkma sonrası kumaşlarda sıklık azalmaktadır ve çamaşırda daha çok su tutulmaktadır. Buna yük yaşı denmektedir. Deneysel düzeneğinde çamaşırın yük yaşına da dikkat edilmiştir ve ortalama bir değer belirlenmiştir.

Çamaşır yükü miktarı standartlara göre çeyrek, yarım ve tam yük olarak belirlenmiştir. Çalışılan çamaşır makinesi 7 kg kapasiteli olduğun için standartlara göre çeyrek yük 1 kg, yarım yük 3,5 kg ve tam yük 7 kg olarak alınmıştır.

Rampa değerleri 5 rpm/s, 10 rpm/s ve 15 rpm/s olarak belirlenmiştir. Makine son sıkma adımında ilk olarak 100 rpm'e çıkmakta, buradan da 300 rpm'e 20 rpm/s ivme ile çıkmaktadır. Bu aralığın rezonans bölgesi olmasından dolayı hızlı geçilmek adına yüksek ivme seçilmiştir. Bu adım tüm deneylerde aynıdır,

değişkenler 300 rpm'den sonrası için oluşturulmuştur. Maksimum devir olan 1000 rpm'e 5, 10 ve 15 rpm/s ivmelerle direkt ve kademeli olarak çıkılmaktadır.

Rampa tipleri de bahsedildiği gibi direkt ve kademeli olarak oluşturulmuştur. Direkt rampa tipinde 300-1000 rpm aralığı durmaksızın sabit ivmeler ile çıkılmaktadır. 1000 rpm'e ulaşıldıktan sonra deneylerde 10 dk beklenilmektedir. Kademeli rampa tipinde ise 300 rpm'den 600 rpm'e sabit ivmeler ile çıkılıp 600 rpm değerinde 1 dk beklenilmektedir. Daha sonra 600 rpm değerinden 800 rpm değerine aynı ivme değeri ile çıkılıp 800 rpm'de de 1 dk beklenir. Son olarak 800 rpm'den de 1000 rpm değerine aynı ivme ile çıkılıp 1000 rpm'de yine 10 dk beklenilmektedir. Rampa tipleri ve değerleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Rampa tipleri ve ivme değerleri.

Deneyler arasında karşılaştırma yapabilmek için süreleri eşit tutmak gerekmektedir. 300 rpm'den başlamak üzere 5 dk sonrası hedef alınarak bu aralıkta atılan su miktarları karşılaştırılmıştır. Bunun sebebi her rampa tipi ve değeri için maksimum devir olan 1000 rpm'de belirli bir süre kalınmasına izin vermektir. Deneylerde çamaşır yükünün yaşı ise ortalama 41 yaş olarak belirlenmiştir. Sıfır yük 30 yaşında olduğundan bu noktadan başlamak üzere bu ortalama seçilmiştir. Belirlenen deney parametreleri Çizelge 4.1 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Deney Parametreleri.

Yük Miktarı	1 kg	3.5 kg	7 kg	
Rampa	5 rpm/s	10 rpm/s	15 rpm/s	
Profil	Direkt		Kademeli	
Kademeler	300 rpm	600 rpm	800 rpm	1000 rpm
Yük Yaşı	Ortalama 41 yaş			

4.1.1. Deney planı ve deney düzeneği

Deneylerin, saçınıklığı engelleme ve doğruluğu artırma açısından 2 tekrar olarak yapılmasına karar verilmiştir. Buna göre 36 adet sıkma profili belirleme testi yapılmıştır. Belirlenen parametrelere göre oluşturulan test planı Çizelge 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 : Sıkma profili belirleme deneyleri planı.

Test No	Değişken	Tablo	Yük	Rampa	Rampa Tipi	Yük Yaşı	Test No	Değişken	Tablo	Yük	Rampa	Rampa Tipi	Yük Yaşı
1	7kg	DR5	Tam	5	Direkt	31	19	1kg	KR15	Çeyrek	15	Kademeli	41
2	7kg	KR5	Tam	5	Kademeli	32	20	1kg	DR15	Çeyrek	15	Direkt	41
3	7kg	DR10	Tam	10	Direkt	33	21	1kg	KR10	Çeyrek	10	Kademeli	42
4	7kg	KR10	Tam	10	Kademeli	34	22	1kg	DR10	Çeyrek	10	Direkt	42
5	7kg	DR15	Tam	15	Direkt	35	23	1kg	KR5	Çeyrek	5	Kademeli	42
6	7kg	KR15	Tam	15	Kademeli	36	24	1kg	DR5	Çeyrek	5	Direkt	42
7	3kg	DR5	Yarım	5	Direkt	37	25	3kg	KR15	Yarım	15	Kademeli	43
8	3kg	KR5	Yarım	5	Kademeli	37	26	3kg	DR15	Yarım	15	Direkt	43
9	3kg	DR10	Yarım	10	Direkt	38	27	3kg	KR10	Yarım	10	Kademeli	44
10	3kg	KR10	Yarım	10	Kademeli	38	28	3kg	DR10	Yarım	10	Direkt	44
11	3kg	DR15	Yarım	15	Direkt	39	29	3kg	KR5	Yarım	5	Kademeli	45
12	3kg	KR15	Yarım	15	Kademeli	39	30	3kg	DR5	Yarım	5	Direkt	45
13	1kg	DR5	Çeyrek	5	Direkt	40	31	7kg	KR15	Tam	15	Kademeli	46
14	1kg	KR5	Çeyrek	5	Kademeli	40	32	7kg	DR15	Tam	15	Direkt	47
15	1kg	DR10	Çeyrek	10	Direkt	40	33	7kg	KR10	Tam	10	Kademeli	48
16	1kg	KR10	Çeyrek	10	Kademeli	40	34	7kg	DR10	Tam	10	Direkt	49
17	1kg	DR15	Çeyrek	15	Direkt	41	35	7kg	KR5	Tam	5	Kademeli	50
18	1kg	KR15	Çeyrek	15	Kademeli	41	36	7kg	DR5	Tam	5	Direkt	51

Sıkma profillerini uygulamak için elde edilen deney düzeneği Şekil 4.2 ile gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : Sıkma profili belirleme deney düzeneği: (1) Çamaşır Makinesi (2) Terazi Verisi Toplama ve Yazılım Yükleme Bilgisayarı (3) UDAQ Verisi Toplama Bilgisayarı (4) Veri Toplama Sistemi (VTS) Ünitesi (5) Veri Toplama Sistemi İstasyonu (6) Yazılım Yükleme Cihazı (7) Terazi Monitörü ve Kalibrasyonu Cihazı (8) Hassas Terazi.

Deney için kullanılacak çamaşır makinesi 7 kg kapasiteli, maksimum devri 1000 rpm olan, UMAC motorlu bir çamaşır makinesidir.



Şekil 4.3 : Deney yapılan çamaşır makinesi.

Deneyde aynı zamanda, makine içerisine alınan su miktarını belirlemek amacıyla VTS ile entegre çalışan Şekil 4.4'teki debi ölçer kullanılmıştır.

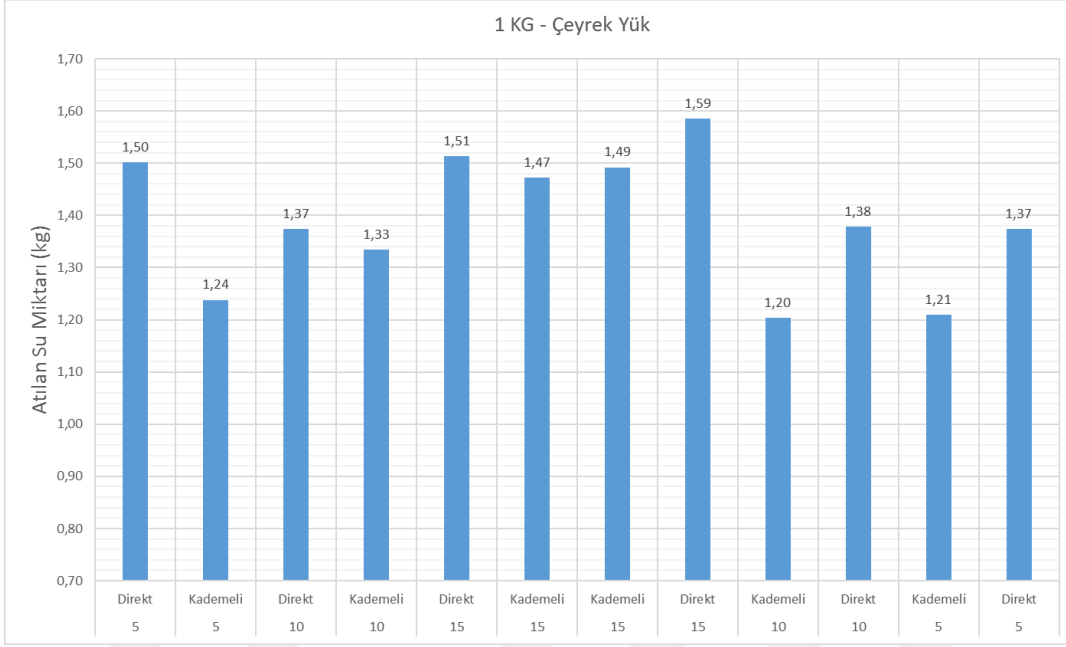


Şekil 4.4 : Debi ölçer.

4.1.2. Deney sonuçları

Hassas terazi ile birim zamanda atılan su miktarlarına bakılarak yapılan deneylerde, bütün profil tiplerinde 300 rpm'e ulaşılan zaman referans alınarak 5 dakika sonra atılan su miktarları (kg) kıyaslanarak sonuçlar incelenmiştir. Çeyrek, yarım ve tam yük (1kg, 3,5 kg ve 7 kg) için ayrı ayrı en iyi profiller belirlenmiştir.

1 kg çeyrek yük için Şekil 4.5'e bakıldığında 5 dk sonunda atılan su miktarlarına göre en iyi iki profil DR15 ve KR15 olarak belirlenmiştir.



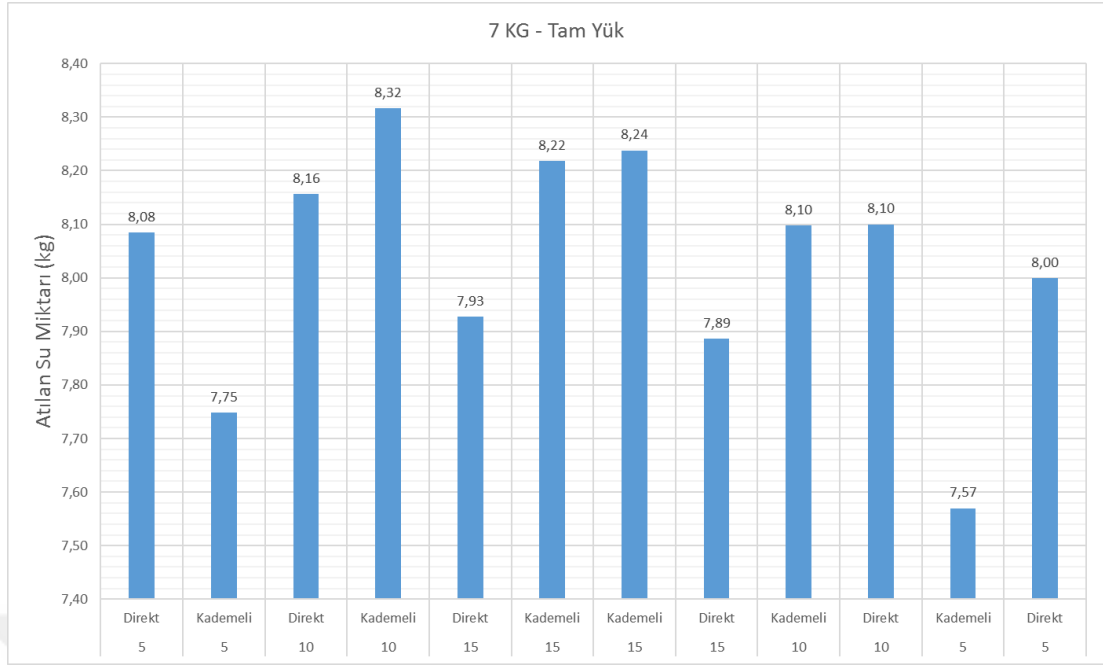
Şekil 4.5 : 1 kg – Çeyrek yük deney sonuçları.

3,5 kg yarım yük için Şekil 4.6'ya bakıldığında 5 dk sonunda atılan su miktarlarına göre en iyi iki profil DR10 ve DR15 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6 : 3,5 kg – Yarım yük deney sonuçları.

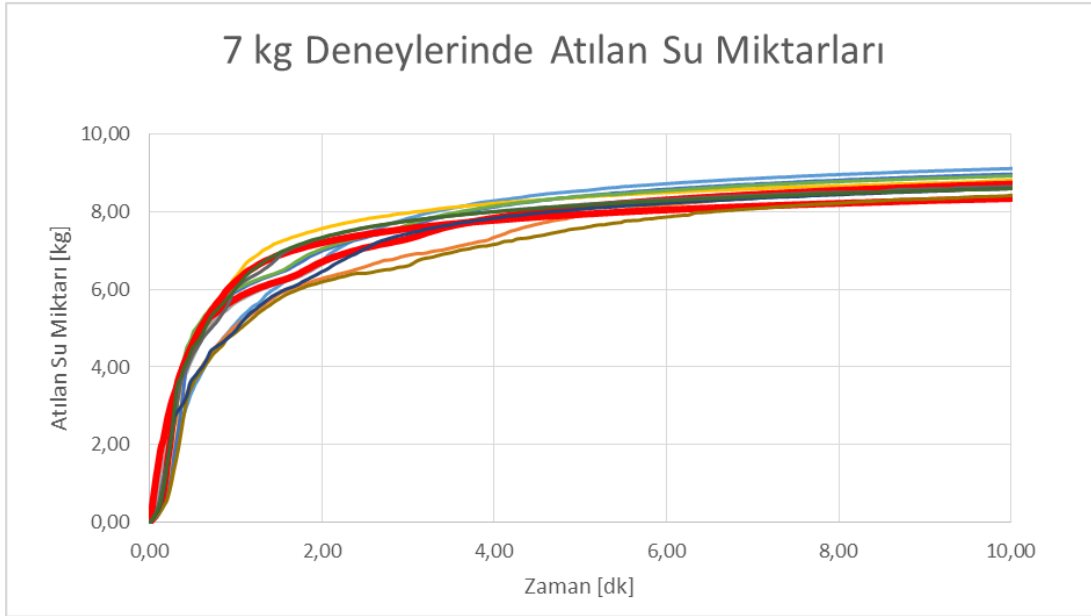
7 kg tam yük için ise Şekil 4.7'ye bakıldığında 5 dk sonunda atılan su miktarlarına göre en iyi iki profil KR15 ve KR10 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7 : 7 kg – Tam yük deney sonuçları.

4.1.3. Deney sonuçlarının analizi

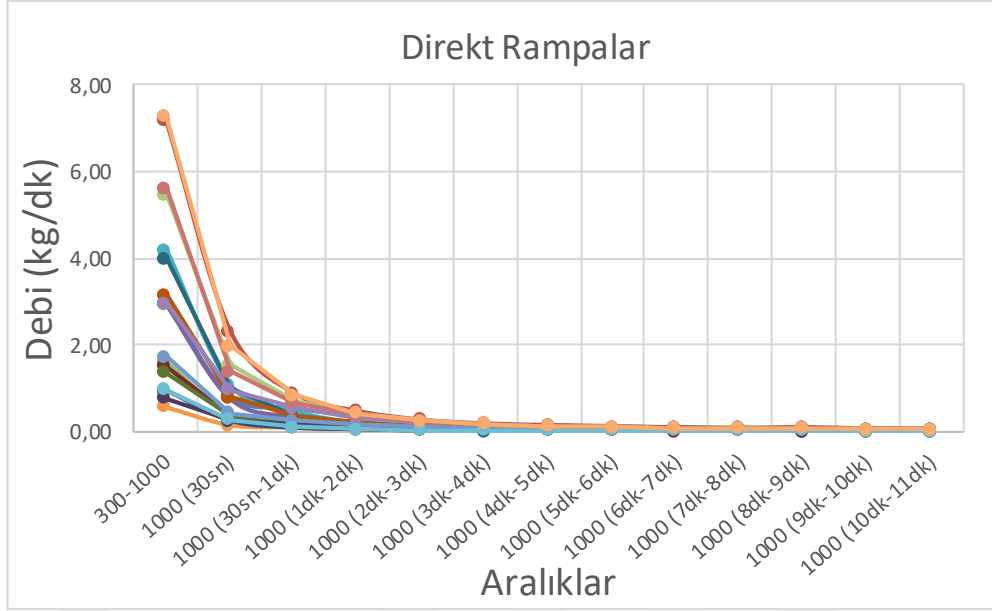
Sıkma adımında atılan su miktarı sıkma verimini ifade eden en önemli parametredir. Atılan su miktarı ulaşılan RPM değerinin ne olduğuna ve nasıl o değere ulaşıldığına bağlı olmakla birlikte bu adımda geçirilen toplam süre de oldukça önemlidir. Kullanılan çamaşırın tipi ve ortam sıcaklığının da bir faktör olduğu bu durumda geçirilen toplam süre belirli bir noktadan sonra önemini yitirmeye başlar. Atılan su miktarı sistemin denge noktasına ulaşmasıyla birlikte düşmeye başlar ve bu değer asimptota girer. Çamaşırın yapısı da bunun en büyük etkenlerinden biridir çünkü çamaşırın lif yapıları ve içerisinde bulunan su, makinenin döndüğü hızda dengeye ulaşmıştır. Şekil 4.8’de 7 kg tam yük deneyleri için çıkarılmış olan atılan toplam su miktarı sonuçları vardır ve görüldüğü gibi bu asimptot açıkça görülmektedir.



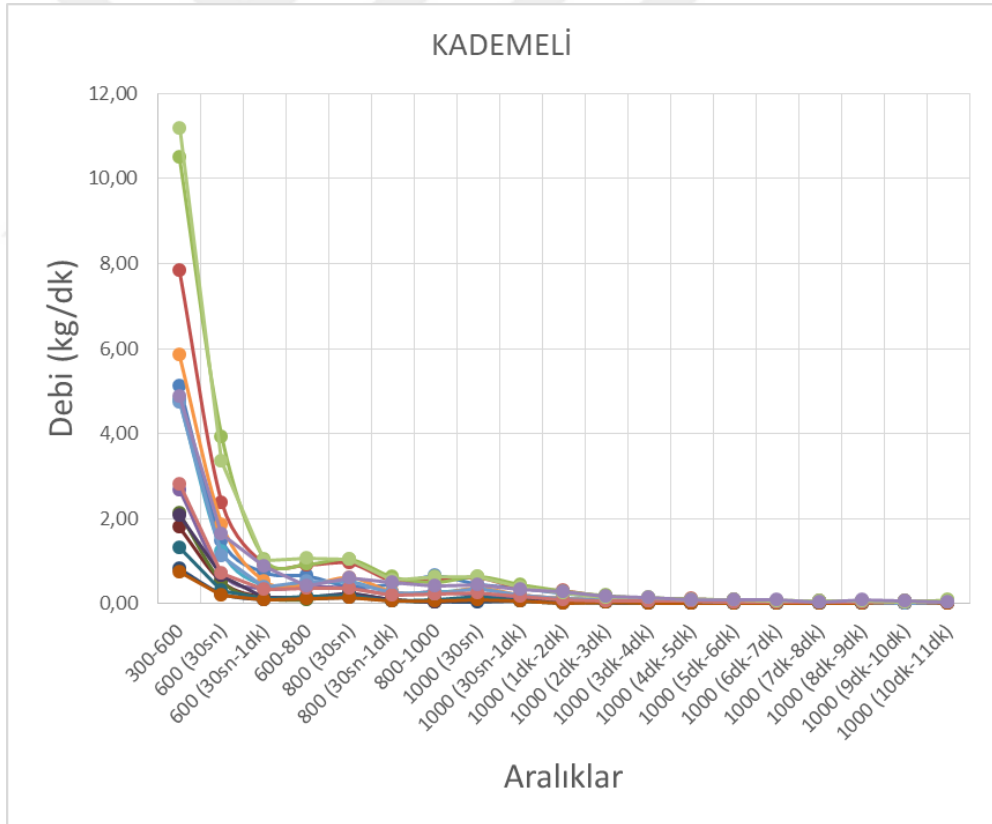
Şekil 4.8 : 7 kg yük deneyleri için atılan toplam su miktarları.

Belirlenen parametrelerden olan sistemin 5 dakika boyunca attığı su miktarı bu açıdan önemlidir. Çünkü bütün deneylerde 5 dakika sonra sistem bütün deneyi yapılan profiller için doyum noktasına yaklaşmaktadır.

Belirlenen parametre olarak 5 dakika yerine 12 dakika alınsaydı bütün deney sonuçlarında atılan su miktarı yaklaşık olarak birbirinin aynısı olacaktı. Fakat sıkma adımını bu kadar uzun tutmak harcanan enerjiyi arttırır, motoru gereğinden fazla zorlar ve halihazırda asimptota girmiş profiller için bir enerji israfı oluşturur. Şekil 4.9 ve 4.10'da sırasıyla direkt ve kademeli rampalarda belirlenen anlarda atılan su miktarı gösterilmiştir.



Şekil 4.9 : Direkt rampalarda belirlenen aralıklardaki atılan su debileri.



Şekil 4.10 : Kademeli rampalarda belirlenen aralıklardaki atılan su debileri.

Daha öncede açıklandığı gibi yukarıdaki grafikler incelendiğinde sistemde belirtilen anlarda atılan su miktarları belirli bir noktadan sonra 0 noktasına yakınsamaktadır. Belirtilen anlar iki farklı hız değeri arasında atılan su miktarları ile hız değerine

ulaşıldıktan sonra parantez içerisinde belirtilen geçirilen süre aralığını belirtmektedir. Direkt rampalarda herhangi bir kademe adımı olmadığı için sadece rampa anı ve hız değerinde geçirilen anlar gösterilmekte ve asimptot görülmektedir. Ancak kademeli rampaların gösterildiği grafikte asimptotun yanı sıra atılan suyun çok büyük bir kısmını kademe hızlarına çıkarken ve bu hızlardaki ilk 30 saniyelik anlarda atıldığı görülmüştür. Bu durum bize suyun atıldığı esas noktaların sistemin dengede olmadığı geçiş cevabı sırasında atıldığını ve içerideki sıvı miktarı fazla olsa da sistemin orta kademelerde bile asimptota doğru gidebileceğini gösterir. Bu da sonuç olarak daha yüksek RPM değerlerinde belirli bir rampa ivme değerinde süresinin uzamasıyla atılacak olan su miktarının artacağını gösterir.

1 kg çeyrek yük deneylerinde açıkça görülmekte ki ivmenin 15 RPM/s olduğu DR15 ve KR15 profillerinde en iyi verim alınmaktadır. Oysaki bu yük değerinde atılan su miktarlarının profil ne olursa olsun birbirine yakın olması beklenen bir durumdur. Makinenin program başlamadan önce içerisine aldığı su miktarı belirlidir. Ayrıca yük miktarının az olması yükün içerisinde hapsolmuş su miktarını da minimize eder. Buna rağmen en verimli durum yüksek rampadan alınmıştır. Bu da sonuçlar birbirine yakın olsa da düşük yük miktarlarında en önemli parametrenin rampa tipi fark etmeksizin rampa anlarında değil belirlenen RPM değerlerinde kalma sürelerinin etkili olduğunu gösterir.

3.5 kg yarım yük deneyleri sonuçları incelendiğinde en iyi sonuç profillerin DR10 ve DR15 olduğu durumlar olarak gözlemlenmiştir. Aynı ivme değerleri ile direkt ve kademeli rampalar arasında atılan su miktarları arasında fark ihmal edilemeyecek kadar fazladır. Bu sonuca bakarak orta miktarda yüklerde etkili olan faktörün ivme değil rampa tipi olduğu belirlenmiştir. 1000 RPM değerine kadar atılan su miktarı kademeli profillerde daha fazla olsa da yüksek hızda geçirdiği süre direkt profillerin daha fazla olması atılan su miktarı olarak direkt profilleri öne çıkarmıştır. Direkt profiller kademelilerin aksine 1000 RPM değerinde 2 dakika daha uzun süre durmaktadır.

7 kg tam yük deneylerinde ise 5 dakika sonunda atılan su miktarlarına göre en iyi iki profil KR15 ve KR10 olarak belirlenmiştir. Yüksek yük değerleri için de etkili faktör rampa tipi olmuştur. Yük miktarının ve su miktarının fazla olması sistemin denge konumuna ulaşmasını geciktirmiştir. Bu da hem iki rampa tipi için de denge konumuna ulaşma zamanlarını uzatmıştır. Fakat ara kademelerde bu sürenin uzaması ara kademe zamanlarının daha verimli kullanılmasını sağlamıştır.

3 farklı yük durumu için 3 farklı basınç parametreleri bulunmuştur. Bu bilgiler ışığında deneysel olarak elde edilen en verimli profillerin makine üzerindeki etkisi kontrol edilerek teorik olarak bütün yük durumları için maksimum verimle ve güvenlikle çalışan profil seçilecektir. Makine çalışma performansı için belirlenen parametre profillerin rulman ömürlerine olarak belirlenmiştir.

4.2. Yük ve Dengesiz Yük Algılama Deneyleri

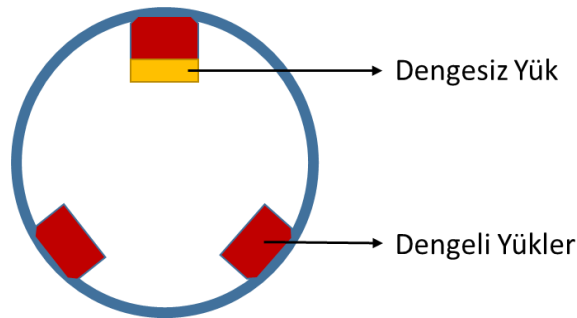
4.2.1. Deney planı ve deney düzeneği

Yük ve dengesiz yük algılama deneyleri için de sağlıklı sonuçlar elde edebilmek adına sıkma profili deneylerinin yapıldığı aynı makine seçilmiştir. Deneyler yine saçmıklığı engellemek ve doğruluğu arttırmak adına 2 tekrar olarak yapılacaktır. Farklı yük ve dengesiz yük değerleri için oluşturulan 44 deneyin planı Çizelge 4.3 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Yük algılama testleri planı.

Toplam Yük	Test No	Dengesiz Yük	Dengeli Yük	Yükleme Durumu
7 KG	Test 1-2	100	6900	2300+2300+2400
	Test 3-4	250	6750	2250+2250+2500
	Test 5-6	400	6600	2200+2200+2600
	Test 7-8	550	6450	2150+2150+2700
	Test 9-10	700	6300	2100+2100+2800
	Test 11-12	850	6150	2050+2050+2900
	Test 13-14	1000	6000	2000+2000+3000
	Test 15-16	1150	5850	1950+1950+3100
3,5 KG	Test 17-18	50	3450	1150+1150+1200
	Test 19-20	200	3300	1100+1100+1300
	Test 21-22	350	3150	1050+1050+1400
	Test 23-24	500	3000	1000+1000+1500
	Test 25-26	650	2850	950+950+1600
	Test 27-28	800	2700	900+900+1700
	Test 29-30	950	2550	850+850+1800
	Test 31-32	1100	2400	800+800+1900
1 KG	Test 33-34	100	900	300+300+400
	Test 35-36	250	750	250+250+500
	Test 37-38	400	600	200+200+600
	Test 39-40	550	450	150+150+700
	Test 41-42	700	300	100+100+800
BOŞTA	Test 43-44	0	0	0

Deneyler makine içerisindeki yük ve dengesiz yük miktarlarının kesin olarak bilenebilmesi adına farklı ağırlıklardaki metal yüklerin tambur çevresine yerleştirilmesiyle yapılmıştır. Çamaşır yapılacak olan deneylerde dengesiz yük değerinin kontrol edilememesinden dolayı bu yöntem seçilmiş olup deney düzeneği örnek modeli ve yüklerin yerleştirilmiş hali sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Yük algılama deneyleri örnek modeli.

Öncelikle tambur 120 derece aralıklarla 3 eşit parçaya bölünmüş ve dengeli yükler yerleştirilmiştir. Daha sonra dengesizlik yaratmak adına sadece bir bölmeye belirlenen miktarlarda dengesiz yükler yerleştirilerek sıkma esnasında oluşabilecek muhtemel çamaşır modellemesi yapılmış olmaktadır.



Şekil 4.12 : Dengeli ve dengesiz yüklerden oluşan örnek deney düzeneği.

4.2.2. Deney sonuçları

Deneyle yapılırken makinanın yazılım kartından 500 ms'de bir hız değerleri, veri toplama sisteminden ise her saniyede akım değerleri toplanmıştır. Ayrıca makinanın yazılım kartında bulunan hesaplama ile 400 rpm değerine çıkmadan önce 100 rpm'deki hız değerlerinin hedef hızdan farklarının kareleri toplamı alınmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.4 'te gösterilmiştir.

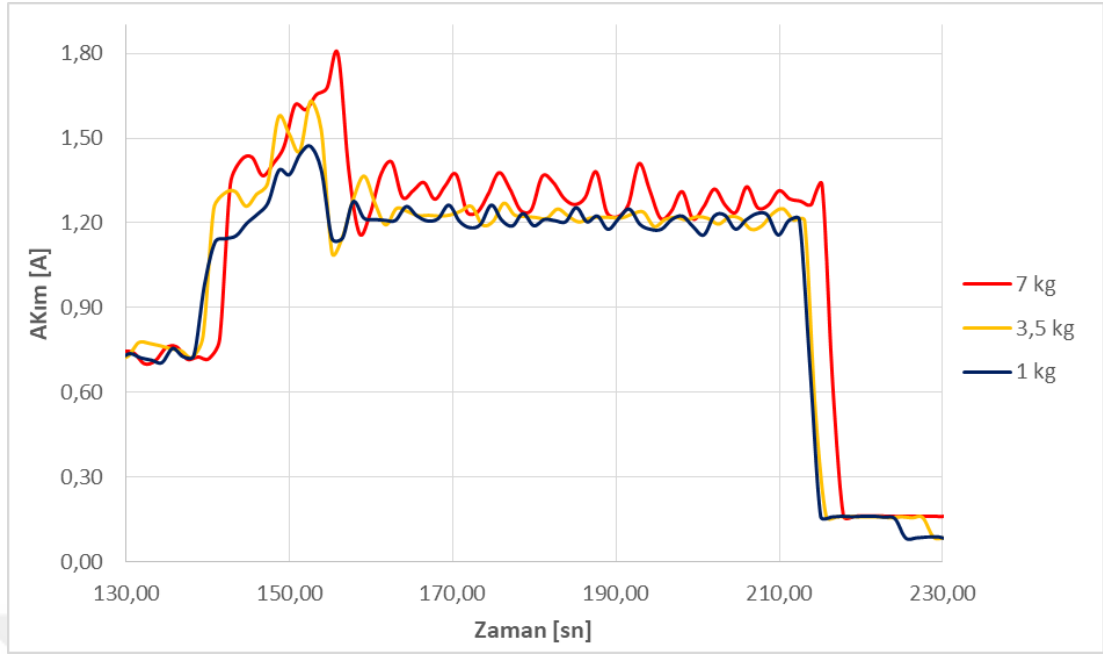
Çizelge 4.4 : Yük algılama deneyleri sonuçları.

Toplam Yük	Test No	Dengesiz Yük (g)	Dengeli Yük (g)	400 rpm'de Ortalama Akım Değeri (A)	390-100 iniş Zamanı (s)	Hedef Hızdan Sapma Değeri (rpm ²)
7 KG	Test 1	100	6900	1,31	14,00	8091
	Test 2			1,29	14,00	8070
	Test 3	250	6750	1,29	14,00	8767
	Test 4			1,25	14,00	9888
	Test 5	400	6600	1,33	13,00	8820
	Test 6			1,30	13,00	10361
	Test 7	550	6450	1,35	13,00	9374
	Test 8			1,33	13,00	10135
	Test 9	700	6300	1,37	12,50	12588
	Test 10			1,37	12,50	10130
	Test 11	850	6150	1,39	12,00	12050
	Test 12			1,41	12,00	13200
	Test 13	1000	6000	1,51	11,00	16785
	Test 14			1,48	11,00	16047
3,5 KG	Test 15	1150	5850	1,51	10,50	16672
	Test 16			1,49	10,50	17678
	Test 17	50	3450	1,24	10,50	9904
	Test 18			1,21	11,00	8498
	Test 19	200	3300	1,24	10,50	9895
	Test 20			1,24	10,50	7819
	Test 21	350	3150	1,33	10,00	11145
	Test 22			1,34	10,00	9935
	Test 23	500	3000	1,36	9,50	12183
	Test 24			1,34	9,50	12888
	Test 25	650	2850	1,44	9,00	18248
	Test 26			1,41	9,50	17344
	Test 27	800	2700	1,41	8,50	18169
	Test 28			1,42	8,50	19774
1 KG	Test 29	950	2550	1,42	8,50	20667
	Test 30			1,42	8,50	21887
	Test 31	1100	2400	1,51	7,50	24543
	Test 32			1,48	7,50	25777
	Test 33	100	900	1,22	8,00	6851
	Test 34			1,21	7,50	7728
	Test 35	250	750	1,27	7,00	10502
	Test 36			1,26	7,00	8909
	Test 37	400	600	1,32	7,00	14630
	Test 38			1,32	7,00	15034
BOŞTA	Test 39	550	450	1,37	6,50	21609
	Test 40			1,37	6,50	21192
	Test 41	700	300	1,49	5,50	25239
	Test 42			1,43	6,00	25551
	Test 43	0	0	1,22	6,00	8438
	Test 44			1,21	6,00	11529

4.2.3. Deney sonuçlarının analizi

Yük algılama deneylerinde sonuca etkiyecek olan parametreler için 400 RPM'de ortalama akım değeri, 390-100 RPM arasındaki serbest iniş süresi ve 100 RPM'de ortalama hız değerinden sapma değerleri toplamı belirlenmiştir. Makina içinde toplam yük miktarının ve dengesiz yük miktarının artması bu değerleri değiştirir.

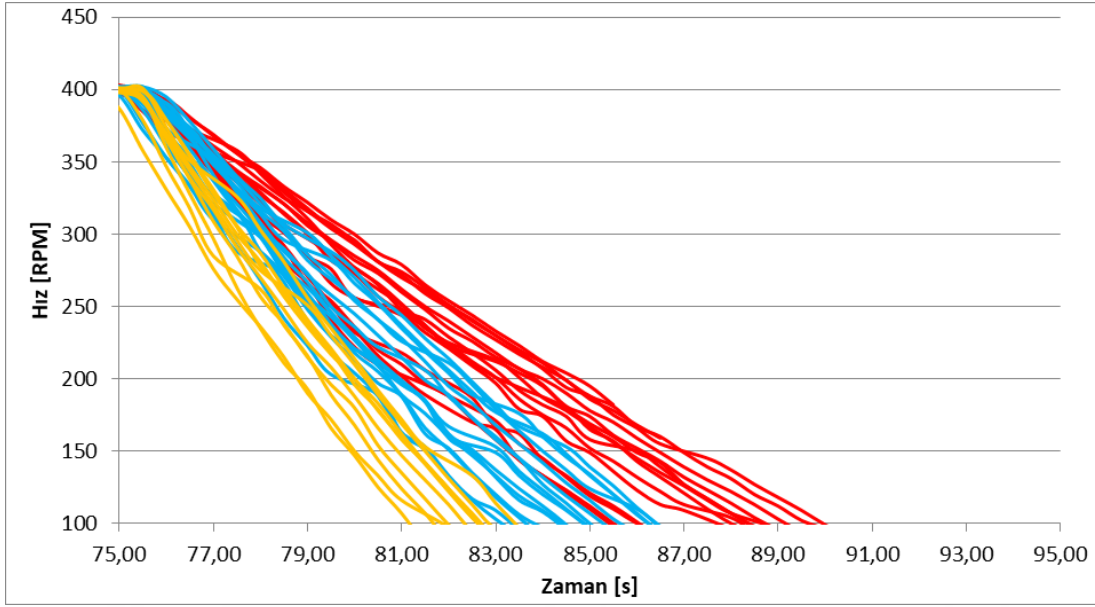
Makina profilde 100 RPM'den 400 RPM'e çıkarken şebekeden çektiği akımı artırır. Fakat sistemin zorlanma durumuna göre çekeceği akım değeri değişir. İçerideki yük miktarı arttıkça makinanın içerideki yüke uygulaması gereken tork değeri artar. Bu durum çekilen akımı artırır. Şekil 4.13'te 3 farklı yük değeri fakat aynı dengesiz yük miktarı için çekilen akımın davranışı gösterilmektedir.



Şekil 4.13 : Kademeli rampalarda belirlenen aralıklardaki atılan su debileri.

Grafikte görülebileceği üzere yük miktarı arttıkça çekilen akım artar. Ayrıca 400 RPM'e ulaşıldıktan sonra akım değeri bir ortalama değer arasında salınım yapar. Bu salınımın nedeni dengesiz yüküdür. Dengesiz yük ağırlığından dönme yönünde moment yaratıp dönmeye yardımcı olduğunda ihtiyaç duyulan tork değeri azaldığı için çekilen akım azalırken dönme yönünün tersinde moment yarattığı anlarda ise tam tersi etki yaratıp çekilen akımı arttırır. Bu nedenle toplam yük ve dengesiz yük değeri değiştikçe akım değerleri kendi içinde farklılık oluşturacaktır. 400 RPM'e ulaşıldıktan sonra akımın ortalama değeri hesaplanarak bu farklılıkların gözle görülebilir hale getirilmesi sağlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde hem yük hem de dengesiz yükün neden olduğu salınımlar dolayısıyla ortalama akımlar değişir. Hem toplam yük hem de dengesiz yük arttıkça ortalama akım değeri artar.

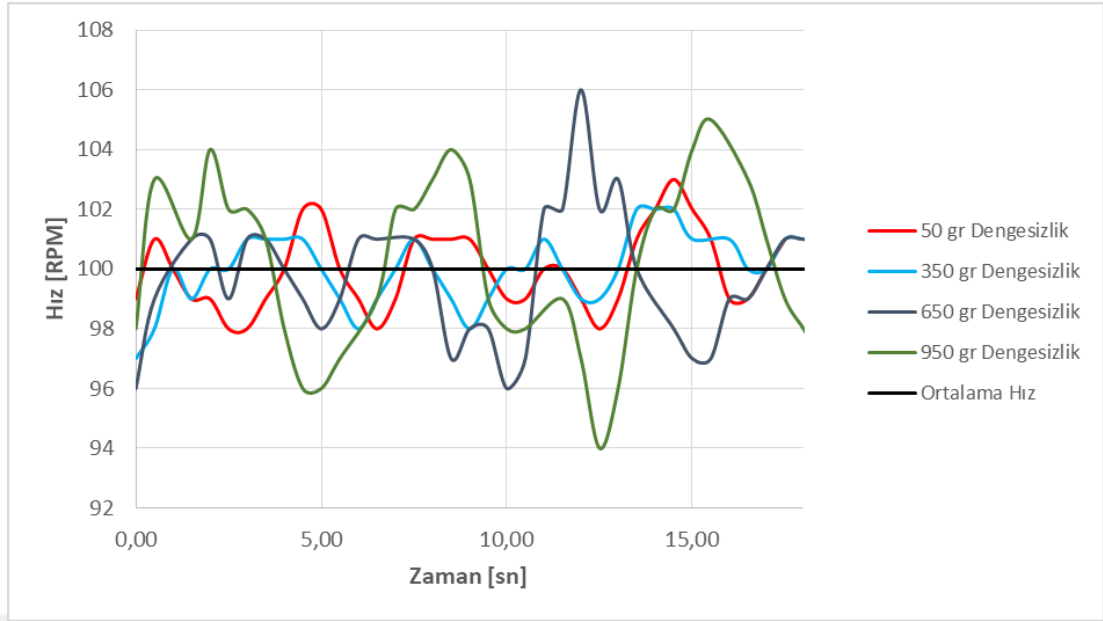
İncelenen bir başka parametre ise 390-100 RPM hızları arasındaki serbest iniş süresidir. Toplam yük ve dengesiz yük arttıkça makinanın tambur-kazan-amortisör-yay mekanik sistem modelindeki parametre değerleri değişecektir. Dönen yük miktarının artması, serbest iniş yapan bir sistemde volan etkisi yaratıp sistemin daha uzun sürede iniş yapmasına neden olacaktır. Şekil 4.14'te kırmızı renkteki profiller 7 kg, mavi renktekiler 3.5 kg, sarı renktekiler ise 1 kg yükler için iniş durumlarını gösterir.



Şekil 4.14 : Tüm deneylerin 400 rpm'den serbest iniş grafiği.

Şekil 4.14'te iniş sürelerinin aynı yük değerleri için aynı sürelerde değil dağınık bir görüntü göstermesinin nedeni dengesiz yük değerleridir. Dengesiz yük değeri arttıkça sistemin yapacağı deplasman salınımlarının artması amortisör ve yaylardaki enerji sönümünü artırır ve bu da hali hazırda dönmeye neden olan potansiyel enerjiyi olağana göre daha çabuk azaltarak sistemin iniş süresini azaltır. İniş noktasının başlangıcının 400 RPM yerine 390 RPM alınmasının nedeni daha önce anlatılan akım salınımları gibi hızlarda da bir dalgalanma olması ve 390 RPM değerinin bu salınım bölgesinin dışarısında olmasıdır.

Son olarak bakılan parametre ise 100 RPM'deki ortalama hız değerinden sapmalardır. Daha önce bahsedildiği gibi akımlardaki salınımlar hızlarda da olmaktadır. Fakat bu salınımların olması ortalama hızı değiştirmez. 100 RPM'de hızların dalgalanması yine dengesiz yükün sonucudur. Şekil 4.15'te 50, 350, 650 ve 950 gr dengesiz yük miktarları için 100 RPM'deki salınımlar gösterilmiştir.



Şekil 4.15 : Farklı dengesiz yük değerlerinin 100 RPM etrafındaki salınımı.

Dengesiz yük arttıkça bu salınımların artması grafikte de görülebilir. Bunun için 100 RPM değerine ulaştıktan sonra yarım saniye de bir alınan ölçümler ortalama değer olan 100 RPM'den çıkarılır ve çıkan değerlerin kareleri alınıp toplanır. Salınımların dengesiz yük ile artması karelerinin alınmasıyla aradaki farkı daha da artırır. Dengesiz yükün toplam yüke oranı ile bu sayı değişmektedir. 400 RPM'de de hız salınımına değil akıma bakılmasının nedeni akım ortalaması yük ve dengesiz yüke göre değişirken, ortalama hız sabit kalır.

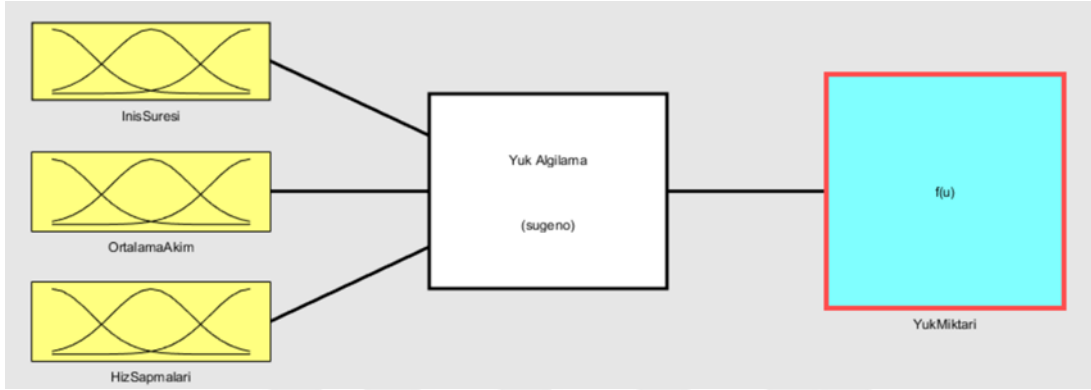
Çıkarılan 3 farklı parametre de toplam yük ve dengesiz yükten etkilenmektedir. Bu parametreler ışığında toplanan datalar ile sistemdeki toplam ve dengesiz yük miktarının bulmamıza yaracak olan bir bulanık mantık sistemi oluşturulmuştur.

4.3. Bulanık Mantık Algoritması

Yük algılama deneylerinin çıktılarına göre bulanık mantık algoritması ile çamaşır makinası içerisindeki dengeli ve dengesiz yük miktarlarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Buna göre öncelikle makina içerisindeki yük miktarı algılanıp yük miktarına göre dengesiz yük sınıfı da belirlenmiş olacaktır.

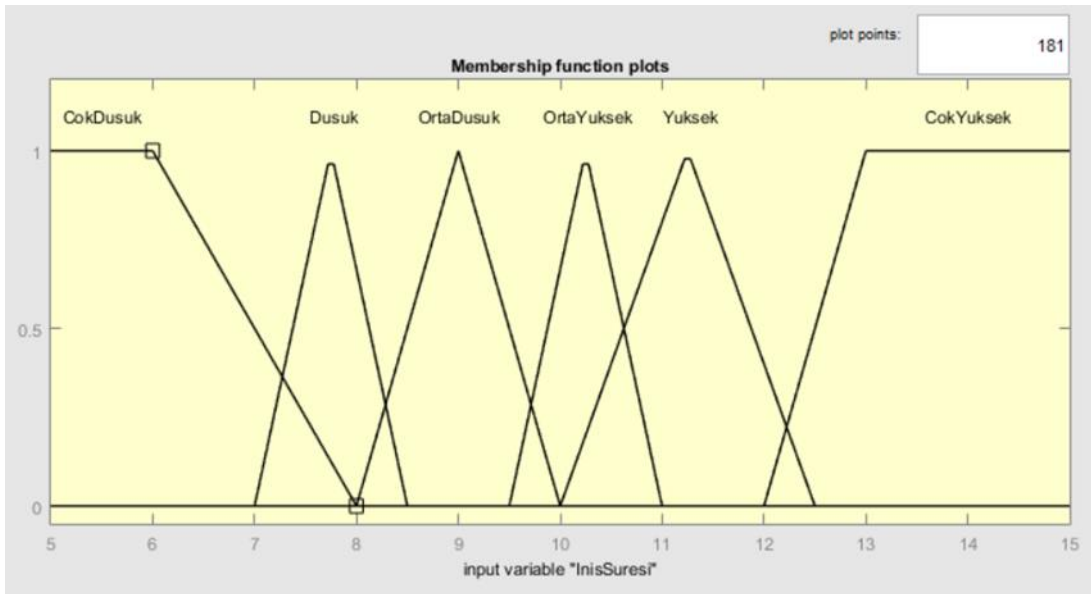
4.3.1. Algoritmanın oluşturulması

Yük algılama deneylerinden elde edilen sonuçlardan hareketle 400 rpm'den serbest iniş süreleri, 400 rpm de kalman süre boyunca çekilen ortalama akım değeri ve bu süredeki hedef hızdan sapma değerlerinin kareleri toplamı yük algılama için oluşturulan bulanık mantık algoritmasının girdileri olarak belirlenmiştir. Yük algılama için 'Sugeno' metoduna göre oluşturulan bulanık mantık diyagramı Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



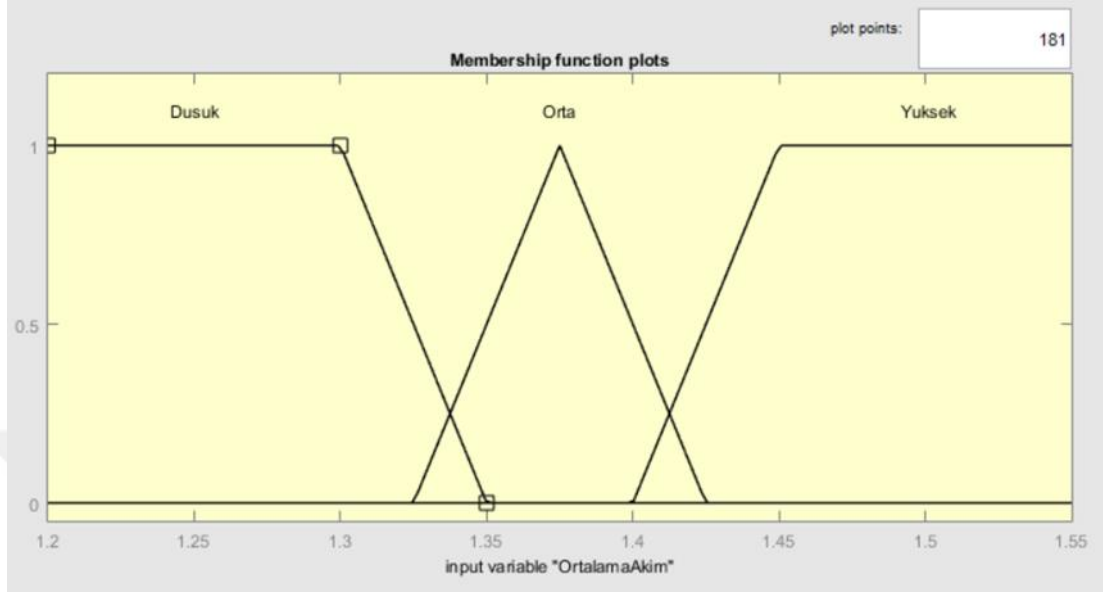
Şekil 4.16 : Yük algılama bulanık mantık diyagramı.

Girdilerden biri olan 400 rpm'den iniş süresi için 'çok düşük, düşük, orta düşük, orta yüksek, yüksek, çok yüksek' olmak üzere 6 adet dilsel değişken belirlenmiş ve üyelik dereceleri Şekil 4.17'deki gibi ayarlanmıştır.



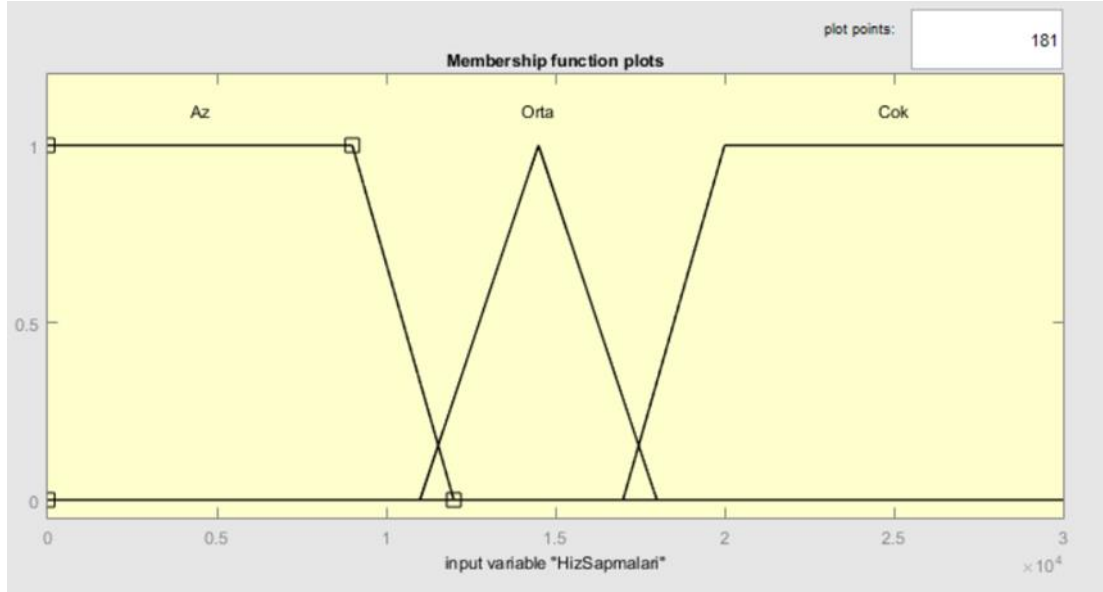
Şekil 4.17 : İniş sürelerinin üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.

400 rpm'de bulunan süre içerisindeki ortalama akım değeri için ise 'düşük, orta, yüksek' olmak üzere 3 adet dilsel değişken girilmiş ve üyelik dereceleri Şekil 4.18'deki gibi ayarlanmıştır.



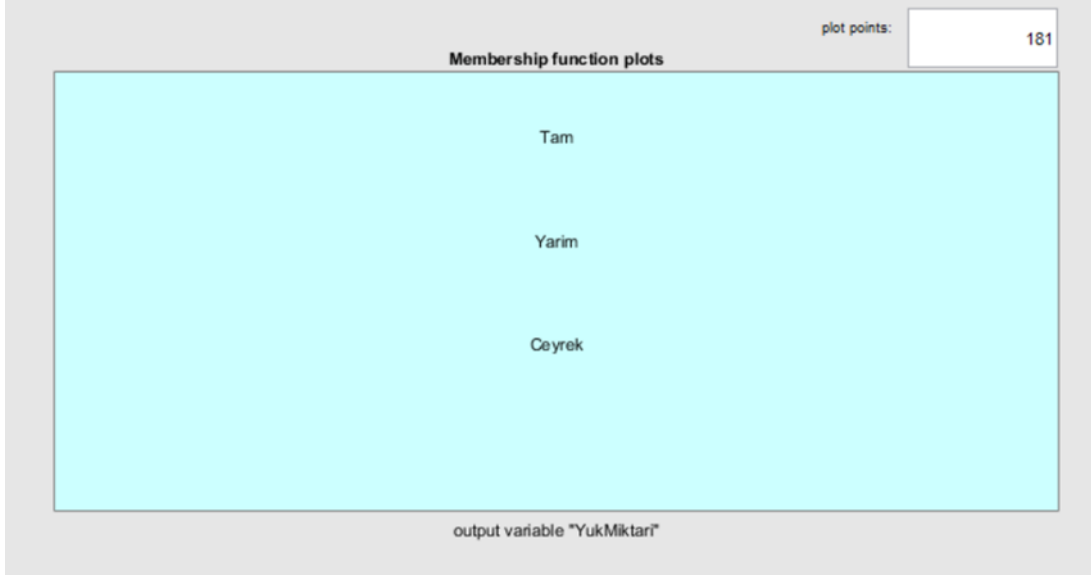
Şekil 4.18 : Ortalama akım değerlerinin üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.

Son girdi olan 400 rpm'de geçirilen süre içerisindeki hedef hızdan sapma değerleri için de 'az, orta, çok' olmak üzere 3 tane dilsel değişken belirlenmiş ve üyelik dereceleri Şekil 4.19'daki gibi verilmiştir.



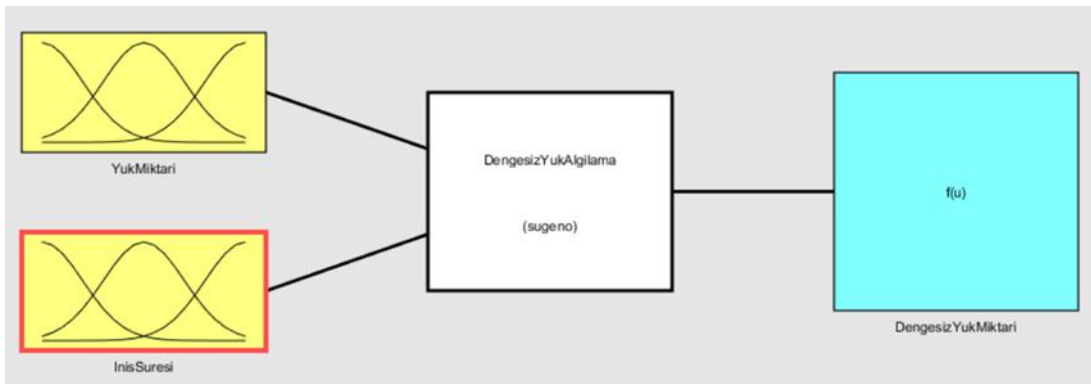
Şekil 4.19 : Hedef hızdan sapma değerlerinin üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.

Çıktı olarak elde edilen yük miktarı için ise dilsel değişkenler Şekil 4.20'deki gibi yeni çamaşır makinası standartlarına uygun olarak 'çeyrek, yarım, tam' olarak 3 gruba ayrılmıştır. Burada makinanın kapasitesine uygun olarak deneylerde de belirlendiği üzere çeyrek yük için 1kg, yarım yük için 3,5 kg ve tam yük için 7 kg değerleri referans alınmıştır.



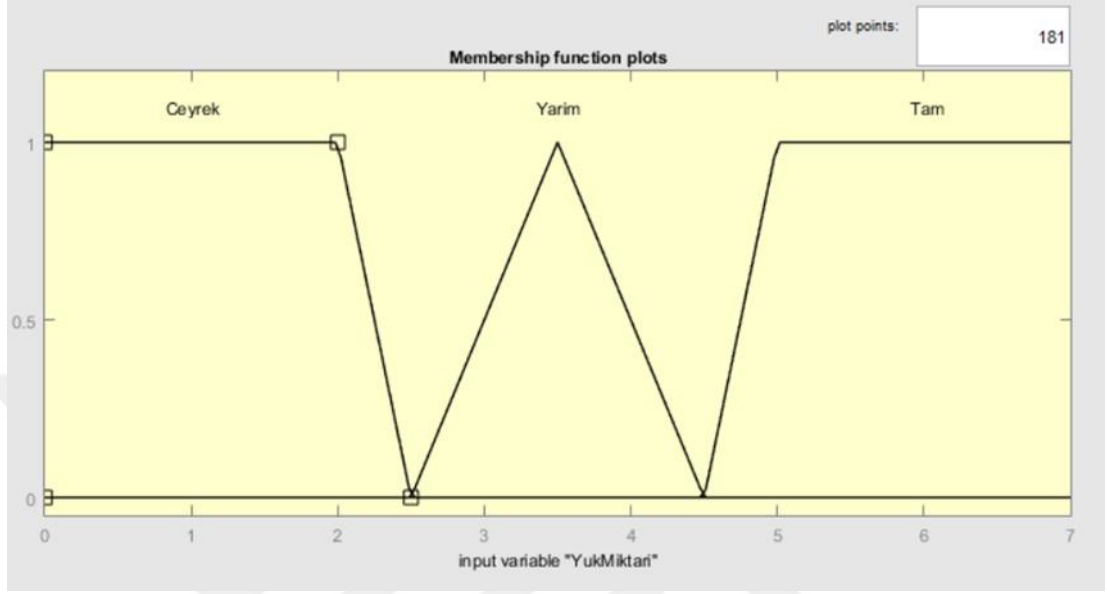
Şekil 4.20 : Çıkış değişkeni olan yük miktarının dilsel değişkenleri.

Dengesiz yük algılama için oluşturulan bulanık mantık algoritmasında ise girdiler ilk algoritmanın çıktısı olan yük miktarı ve yine ilk algoritmada kullanılan girdi olan 400 rpm değerinden serbest iniş süresidir. Dengesiz yük algılama için oluşturulan bulanık mantık diyagramı Şekil 4.21'deki gibidir.



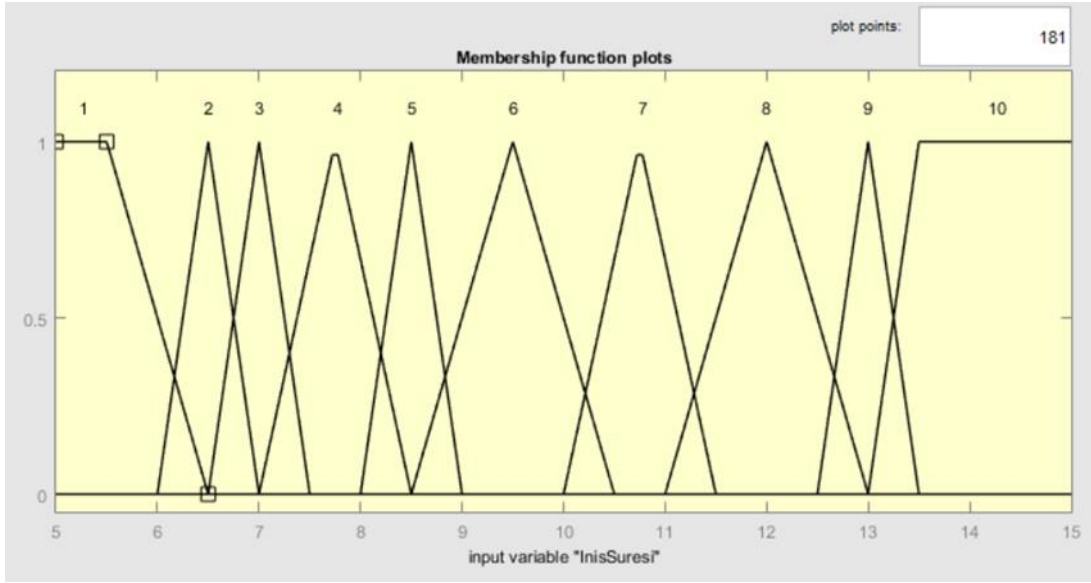
Şekil 4.21 : Dengesiz yük algılama bulanık mantık diyagramı.

Yük algılama için oluşturulan bulanık mantık algoritmasının çıktısı olan yük miktarı değeri, dengesiz yük algılama bulanık mantık algoritması için girdi olarak kullanılmıştır. ‘Çeyrek, yarım, tam’ olarak 3 adet dilsel değişkenden oluşan girdi, üyelik dereceleri ile birlikte Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22 : Giriş değişkeni yük miktarının üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.

Diğer girdi ise yine yük algılama algoritmasında kullanılan 400 rpm değerinden serbest iniş süresidir. İniş süresinin dilsel değişkenleri bu sefer grup olarak ‘1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10’ şeklinde ayrılmış ve üyelik dereceleriyle birlikte Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



Şekil 4.23 : İniş süresinin üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri.

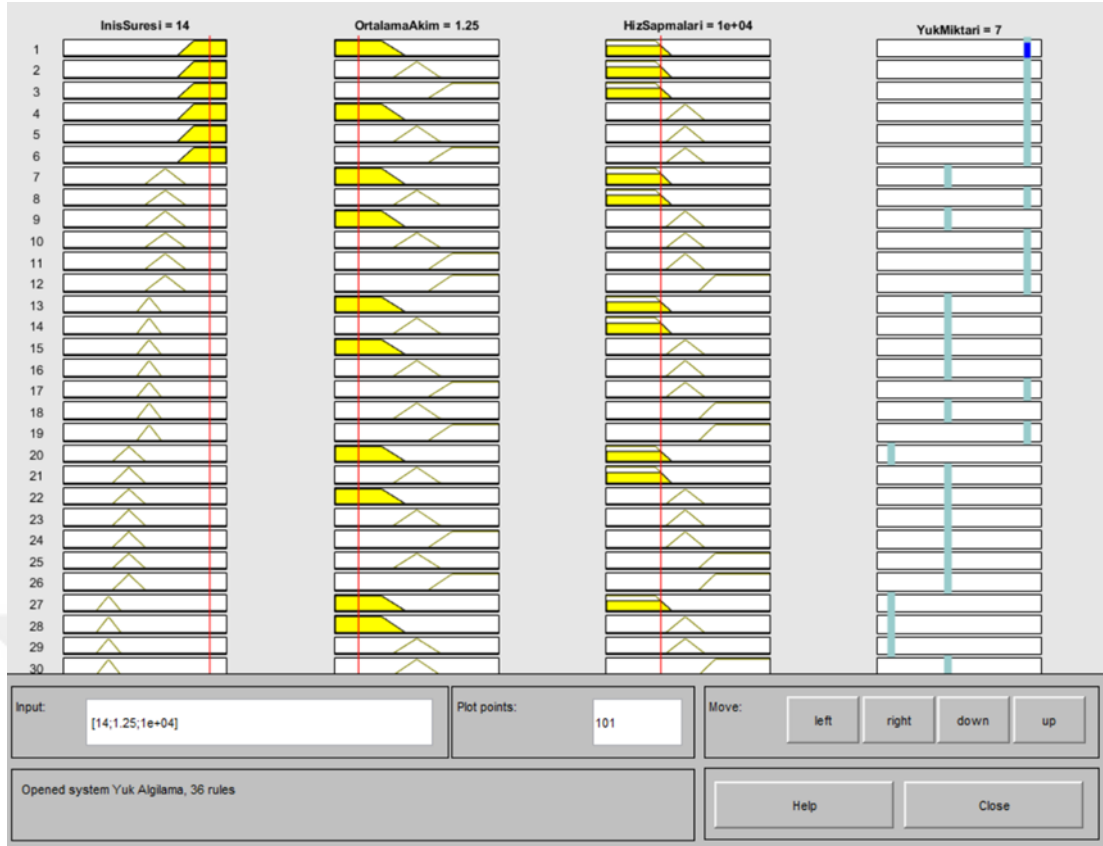
Çıkış değişkeni olan dengesiz yük miktarının dilsel değişkenleri ise Şekil 4.24'deki gibi 'düşük, orta, yüksek, çok yüksek' olarak 4'e ayrılmıştır.



Şekil 4.24 : Çıkış değişkeni olan dengesiz yük miktarının dilsel değişkenleri.

4.3.2. Algoritma sonuçları

Yük algılama algoritması Sugeno yöntemine göre ve girişler arasında 'AND' ifadesi kullanılarak oluşturulmuştur. 3 girişe göre değerlendirilen algoritmanın Matlab programı tarafından 'Rule Viewer'da oluşturulan kural-sonuç çıktısı Şekil 4.25'deki gibidir.



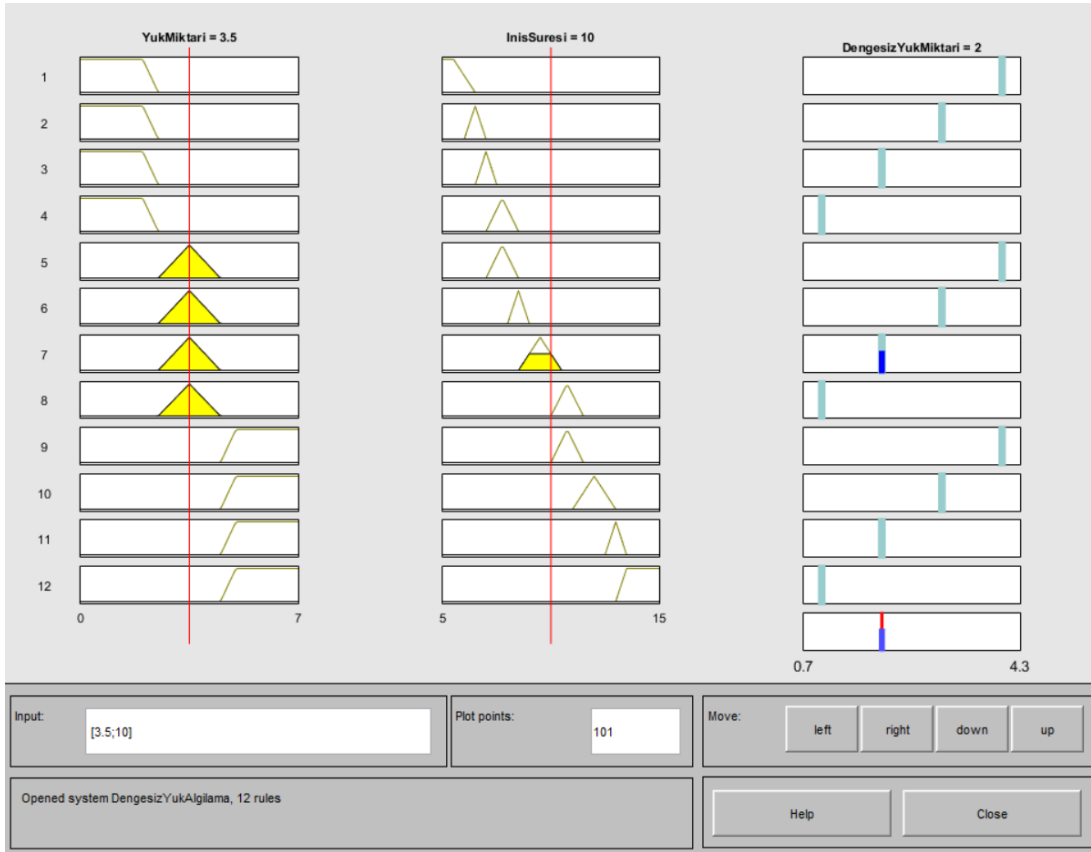
Şekil 4.25 : Yük algılama algoritmasının Sugeno yöntemine göre kural-sonuç çıktısı.

Bu çıkarım bölümünde girişten alınan değerler alan-merkez metoduna göre hesaplanarak son sayısal değer elde edilir ve çıktı olarak verilir. Bu çıktılar üyelik derecelerine göre dilsel değişkenlerle eşleştirilir ve sonuç olarak verilir.

Örneğin; Şekil 4.25'e bakıldığında, 400 rpm değerinden serbest iniş süresi 14 saniye, 400 rpm'de durduğu süre içerisinde çekilen ortalama akım 1.25 Amper ve yine bu sürede hedef hızdan sapma değerlerinin kareleri toplamı 10000 olarak girildiğinde sonuç olarak tıpkı Şekil 4.24'te gösterilen yük algılama deney sonuçları tablosundaki gibi 7 kg 'Tam Yük' sonucu elde edilmektedir.

Ayrıca giriş değerlerinin, çıkış değeri olan yük miktarı ile oluşturduğu 3 boyutlu uzay grafikleri de eklere sunulmuştur. EK A.1'de hız sapmaları ve iniş süresi girdileri ile yük miktarı çıktısının, EK A.2'de hız sapmaları ve ortalama akım girdileri ile yük miktarı çıktısının, EK A.3'te de ortalama akım ve iniş süresi girdileri ile yük miktarı çıktısının 3 boyutlu uzay grafikleri verilmiştir.

Dengesiz yük algılama algoritması da tıpkı yük algılama algoritması gibi Sugeno yöntemine göre ve girişler arasında 'AND' ifadesi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu sefer 2 girişe göre değerlendirilen algoritmanın, Matlab programı tarafından 'Rule Viewer'da oluşturulan kural-sonuç çıktısı Şekil 4.26'daki gibidir.



Şekil 4.26 : Dengesiz yük algılama algoritmasının Sugeno yöntemine göre kural-sonuç çıktısı.

Bu çıkarım bölümünde de girişten alınan değerler alan-merkez metoduna göre hesaplanarak son sayısal değer elde edilir ve çıktı olarak verilir. Bu çıktılar üyelik derecelerine göre dilsel değişkenlerle eşleştirilir ve sonuç olarak verilir.

Örneğin; Şekil 4.26'ya bakıldığında, 400 rpm değerinden serbest iniş süresi 10 saniye, ve yük algılama algoritmasının çıktısı olan yük miktarı değeri 3,5 kg olarak girildiğinde sonuç olarak 'az, orta, yüksek, çok yüksek' olarak 4'e ayrılan dengesiz yük sınıflarından 2. sınıf olan 'Orta' sonucu elde edilmektedir.

Ayrıca yük miktarı ve iniş süresi girdileri ile dengesiz yük miktarı çıktısının 3 boyutlu uzay grafiği EK A.4'de verilmiştir.

Yük miktarı ve dengesiz yük miktarı için oluşturulan bulanık mantık Matlab kodları sırasıyla EK B.2 ve EK B.3'te verilmiştir. Bu kodların çağırılmasıyla oluşturulan adaptif sıkma algoritması arayüzünün Matlab kodları da EK B.4'te verilmiştir. Oluşturulan algoritmada öncelikle çamaşır makinasının yazılım kartından okunan iniş süresi, ortalama akım ve hız sapmaları değerleri girdi olarak alınıp, yük algılama bulanık mantık algoritması ile yük miktarı belirlenir. Belirlenen yük miktarı değeri daha sonra iniş süresi ile birlikte girdi olarak, dengesiz yük algılama bulanık mantık algoritmasına girer ve dengesiz yük miktarı belirlenir. Belirlenen yük ve dengesiz yük miktarlarına göre, oluşturulan sıkma profili tablolarından yükleme durumu için belirlenmiş olan profil seçilerek makinaya girdi olarak verilir.

Ayrıca Matlab-Dymola entegrasyonu için de belirlenen yük ve dengesiz yük miktarları ile sıkma profili tablosu, Matlab'm oluşturduğu Excel dosyası aracılığıyla, Dymola tarafından okunarak girdi olarak alınır. Daha sonra Dymola modelinde başka bir işlem ya da giriş yapmaksızın simülasyon başlatılarak çamaşır makinasının dinamik davranışı elde edilmiş olur.

4.4. Rulman Ömür Hesabı

Mekanizmanın hangi açısal hız değerinde ve bu hızda ne kadar süre kaldığı rulman ömrünü belirleyen en önemli parametrelerdir. Çamaşır makinası için sistemin hız profili belirlidir. Bu proje kapsamında son sıkma adımı değiştirilecektir ve bu yüzden de sadece son sıkma adımının etkileri incelenecektir. Bunun için daha önce sıkma deneylerinden elde edilen adaptif sıkma profilleri kullanılacaktır.

Profillerin değişmesi ile sistemin yüksek devirde kalma süresi, ara devirlerde kalma süresi ve dolayısıyla ortalama hız değerleri değişecektir. Her bir hız değerindeki mil üzerinde rulmana gelen kuvvetler hesaplanarak eşdeğer yatak yükü hesabı yapılacaktır. Bu hesap sonucu rulmanın dinamik yük sayısı hesaplanacaktır. Dinamik yük sayısının minimum olduğu durum ömür açısından en verimli profildir.

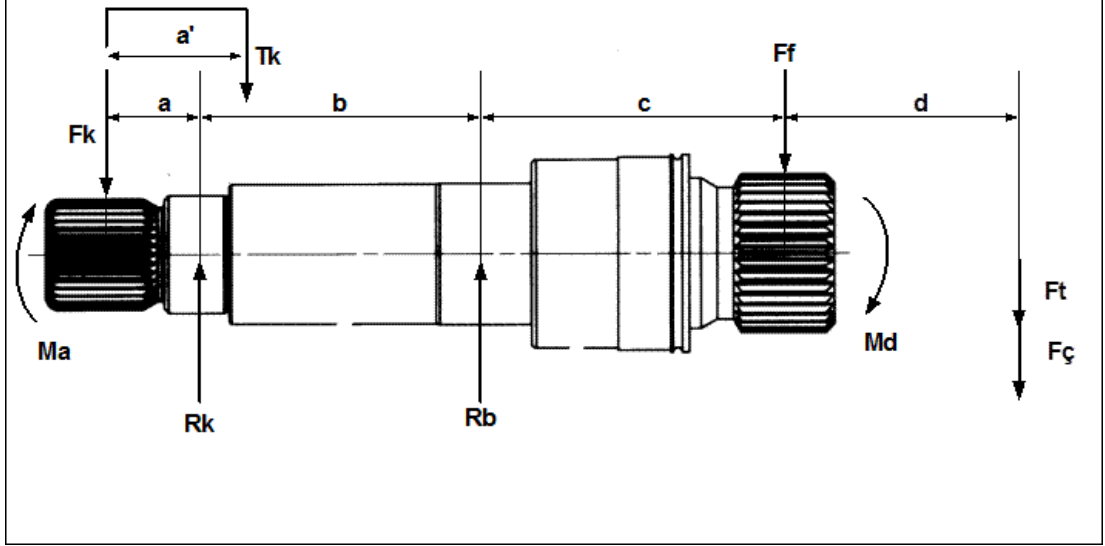
Örnek olarak Çizelge 4.5'te 7 kg yük için KR15 hız profili için olan durum gösterilmiştir. Hangi hız değerlerinde ne kadar süre kalındığı ve bu yük değerlerinde kabul edilen dengesiz yük değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : 7 kg KR15 sıkma profili için ortalama devir tablosu.

Son ve Ara Sıkmalar Çevrimi						
Hız [rpm]	Zaman [s]	Zaman [dk]	%t	Kabul edilen dengesiz yük (gram)	Bir pamuklu programdaki toplam dönme sayısı (sıkma aşamasında)	%t*Hız [rpm]
300	10	0,17	0,01	450	50	2,82
600	65	1,08	0,06	450	650	36,62
1000	130	2,17	0,12	550	2167	122,07
300	10	0,17	0,01	450	50	2,82
600	65	1,08	0,06	450	650	36,62
1000	130	2,17	0,12	550	2167	122,07
300	10	0,17	0,01	450	50	2,82
600	65	1,08	0,06	450	650	36,62
1000	130	2,17	0,12	550	2167	122,07
600	65	1,08	0,06	450	650	36,62
50	15	0,25	0,01	450	13	0,70
100	60	1,00	0,06	450	100	5,63
200	10	0,17	0,01	450	33	1,88
450	20	0,33	0,02	450	150	8,45
600	60	1,00	0,06	450	600	33,80
700	13	0,22	0,01	450	156	8,76
800	60	1,00	0,06	550	800	45,07
900	13	0,22	0,01	550	200	11,27
1000	133	2,22	0,13	550	2222	125,20
TOPLAM:		17,75			13524	761,89

Rampalarda, ilk ve son hızın ortalaması ve toplam süre alınmıştır. 0-100 RPM değerlerini 15 saniyede çıkmıştır. Bunun için 50 RPM değerinde 15 saniye kalınmış olarak kabul edilmiştir. Daha sonra o hız değerinde kalma süresi toplam süreye bölünerek %t değerleri bulunmuştur. %t*Hız [rpm] değerlerinin toplamı ise ortalama hız değerini vermektedir.

Şekil 4.27’de rulmanların üzerinde bulunduğu mil ve üzerlerine gelen yük ve momentler gösterilmiştir.



Şekil 4.27 : Rulmanların bulunduğu mil üzerindeki yük ve momentler.

$$\text{Sıkma Verimi [\%]} = \frac{\text{Islak Yük} - \text{Kuru Yük}}{\text{Kuru Yük}} * 100 \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'e göre içerideki kuru yük değeri 7 kg ve sıkma verimi %60 olarak belirlenmiştir. Bu durumda içerideki çamaşır yükü 11,2 kg olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6'da milin ve kayış kasnak düzeneğinin boyutlandırılması verilmektedir. Dengesiz yükten oluşan merkezci kuvvet, ıslak çamaşırın ve tamburun ağırlığından oluşan moment değerleri M_d olarak gösterilmiştir. Kasnak üzerinde kayış gerginliğinden kaynaklanan kuvvetten dolayı oluşan moment M_a olarak gösterilmiştir. R_b ve R_k sırasıyla büyük ve küçük rulmana gelen kuvvetler, değeri 1,1 olan dengesiz yük emniyet katsayısı s ile çarpılmıştır.

Çizelge 4.6 : Çamaşır makinası için bazı uzunluk ve kütle değerleri.

a	0,0137	m	Küçük rulman ile kasnak göbek eksenleri arası
a'	0,0065	m	Kayış eksenleri ile kasnak göbek bölgesi arası
b	0,057	m	Rulman eksenleri arası
c	0,046	m	Büyük rulman ile flanş orta noktası arası
d	0,0785	m	Tambur orta noktası ile flanş ortası arası
mk	0,3	kg	Kasnak kütlesi
mt	3,5	kg	Tambur kütlesi
mf	0,7	kg	Flanş kütlesi
r	0,251	m	Tambur yarıçapı

Çizelge 4.6 ile 4.7’de ve denklem 4.2’de grafik üzerinde gösterilen kuvvet ve momentlerin hesaplanması ve sayısal değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 : Kuvvet ve moment değerleri.

F_ç	109,87	N	Islak çamaşırdan kaynaklanan kuvvet
F_k	2,94	N	Kasnak ağırlığından gelen kuvvet
F_t	34,34	N	Tambur ağırlığından gelen kuvvet
F_f	6,87	N	Flanş ağırlığından gelen kuvvet
T_k	408,17	N	Kayış gerginliğinden kaynaklanan kuvvet
M_a	2,65	Nm	Kasnak momenti
M_t	2,70	Nm	Tambur momenti

$$F_{dy} = m_{dengesiz} * w^2 * r \quad [N]$$

$$M_d = M_t + F_{dy} * d \quad [Nm]$$

$$R_b = \frac{M_a + M_d + ((F_f + F_t + F_{dy} + F_c) * (b + c)) - (F_k + T_k) * a}{b} \quad [N] \quad (4.2)$$

$$R_k = - \frac{M_a + M_d + (F_f + F_t + F_{dy} + F_c) * c - (F_k + T_k) * (a + b)}{b} \quad [N]$$

Çizelge 4.8 : Ortalama açısızlızlara göre hesaplanan kuvvet ve moment değerleri

Hız [rpm]	Devir w (rad/s)	Dengesiz Yük m_{dengesiz} [kg]	F_{dy} (Dengesiz Yükten Oluşan Kuvvet)	M_d [Nm]	R_b [kN]	R_k [kN]
300	31,42	0,50	122,62	20,95	0,81	-0,12
600	62,83	0,50	490,50	49,82	1,98	-0,93
1000	104,72	0,61	1665,28	142,04	5,72	-3,49
300	31,42	0,50	122,62	20,95	0,81	-0,12
600	62,83	0,50	490,50	49,82	1,98	-0,93
1000	104,72	0,61	1665,28	142,04	5,72	-3,49
300	31,42	0,50	122,62	20,95	0,81	-0,12
600	62,83	0,50	490,50	49,82	1,98	-0,93
1000	104,72	0,61	1665,28	142,04	5,72	-3,49
600	62,83	0,50	490,50	49,82	1,98	-0,93
50	5,24	0,50	3,41	11,59	0,43	0,14
100	10,47	0,50	13,62	12,39	0,46	0,11
200	20,94	0,50	54,50	15,60	0,59	0,02

450	47,12	0,50	275,91	32,98	1,30	-0,46
600	62,83	0,50	490,50	49,82	1,98	-0,93
700	73,30	0,50	667,62	63,73	2,55	-1,32
800	83,78	0,61	1065,78	94,98	3,81	-2,19
900	94,25	0,61	1348,87	117,21	4,71	-2,80
1000	104,72	0,61	1665,28	142,04	5,72	-3,49

Rulman hesapları için her bir hıza ve bu hızda kalma süresine göre eşdeğer bir kuvvet bulunması gerekmektedir. Denklem 4.3'te bu eşdeğer kuvvetin hesaplanması için kullanılan formül gösterilmiştir.

$$F_{eş} = \sqrt[3]{\sum \left(F^3 * \%t * \frac{Devir}{Ortalama Devir} \right)} \quad [N] \quad (4.3)$$

Büyük ve küçük rulmanlara gelen R_b ve R_k kuvvetleri bu formülde "F" yerine yazılır, hız ve süre değerleri için yukarıdaki parametreler girilirse büyük ve küçük rulmanlara gelen eşdeğer yatak yükü bulunur. Buna göre;

$$F_b = 5,04 \text{ kN}$$

$$F_k = 3,06 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Makina içerisindeki toplam dönme sayısı ve güvenlik faktörleri Çizelge 4.9 ile verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Makina içerisindeki toplam dönme sayısı ve güvenlik faktörleri.

Makineden beklenen ömür (yıkama sayısı olarak)	2500
Ömür boyunca yapılacak toplam dönme sayısı	33.809.028
Dönme güvenlik katsayısı	1,2
Güvenebilirlik katsayısı	1,004

Denklem, rulman ömür hesaplama formülü denklem 4.4 kullanılırsa;

$$L = \left(\frac{C}{F} \right)^p \quad (4.4)$$

$$C_b = 17.28 \text{ kN}$$

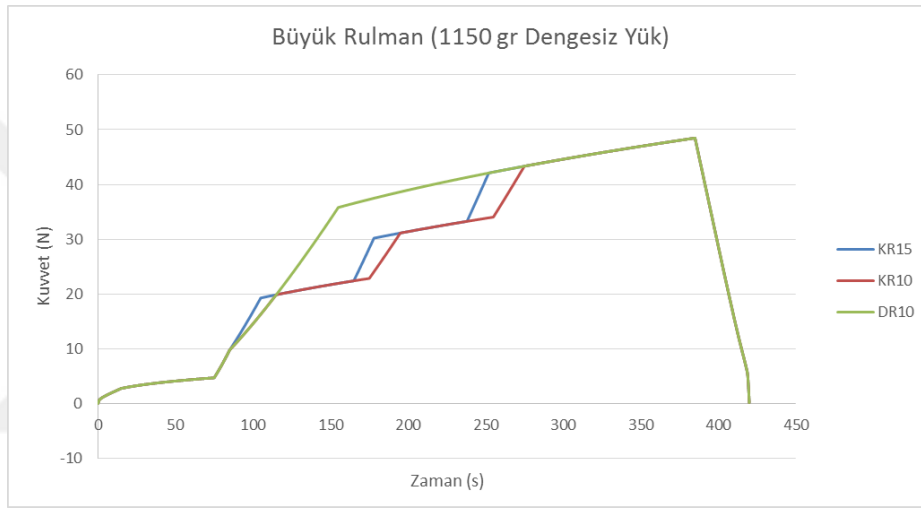
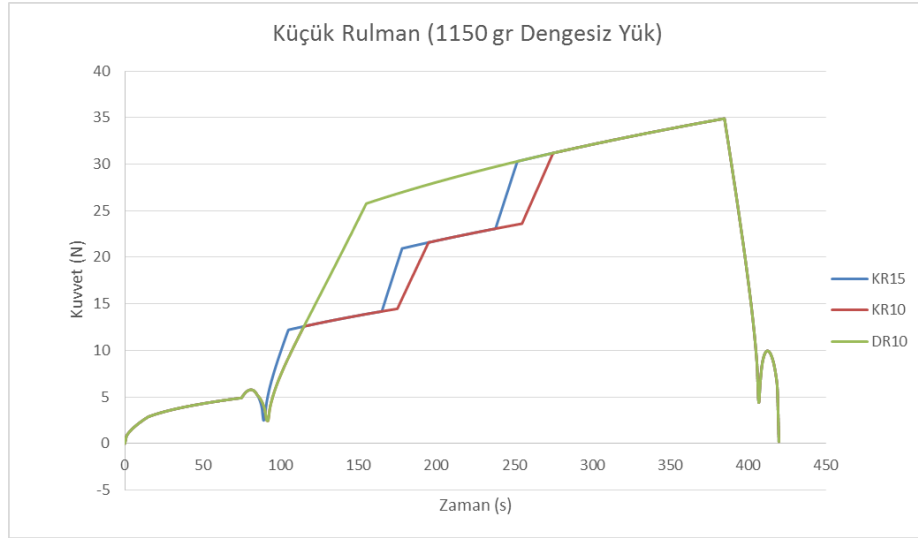
$C_k = 10.5 \text{ kN}$ olarak bulunur.

Modelica/Dymola programı kullanılarak modeldeki dengesiz yük hesabında bulunan veri, rulman ömrünün hesaplanmasında kullanılır. Modelica/Dymola programında rulman ömrünün hesaplanması için kullanılan arayüz Şekil 4.28'deki gibidir.

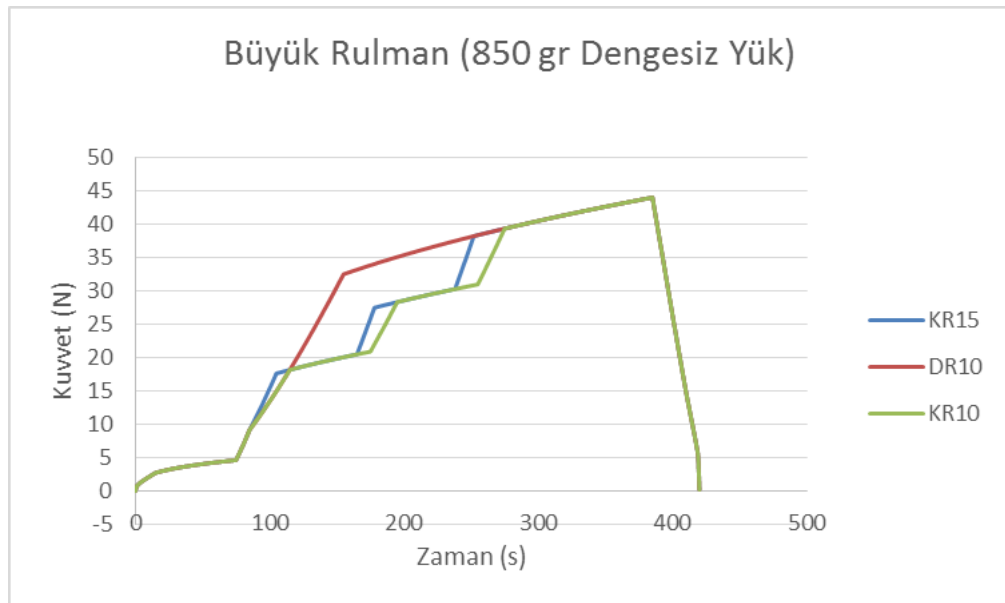
Parameter	Value	Unit	Description
g	9.81	m/s ²	
mk	0.3	kg	Kasnak kütlesi(kg)
m_tam	3.5	kg	Tambur kütlesi(kg)
mf	0.7	kg	Flanş kütlesi(kg)
mkuru	3.5	kg	Kuru çamaşır kütlesi(kg)
r_tam	0.251	m	Tambur yarıçapı
b	0.057	m	Rulman eksenleri arası uzaklık(m)
c	0.046	m	Büyük rulman ile flanş orta noktası arası(m)
a	0.0137	m	Küçük rulman ile kasnak göbek eksenini arası(m)
d	0.0000785	m	Tambur orta noktası ile flanş ortası arası uzunluk(m)
aa	0.0065	m	Kayış eksenini ile kasnak göbek bölgesi arası uzunluk(m)
Lspan	0.281	m	Kayış span uzunluğu
fr	140	Hz	Kayış gerginliği(Hz)
sv	0.6	1	% sıkma verimi
t_toplam	420	s	Sıkma profilinin toplam süresi(s)
omur	2500	1	Makineden beklenen ömür (yıkama sayısı olarak)
k_g	1.2	1	Dönme güvenlik katsayısı
rf	0.9	1	Reliability faktörü

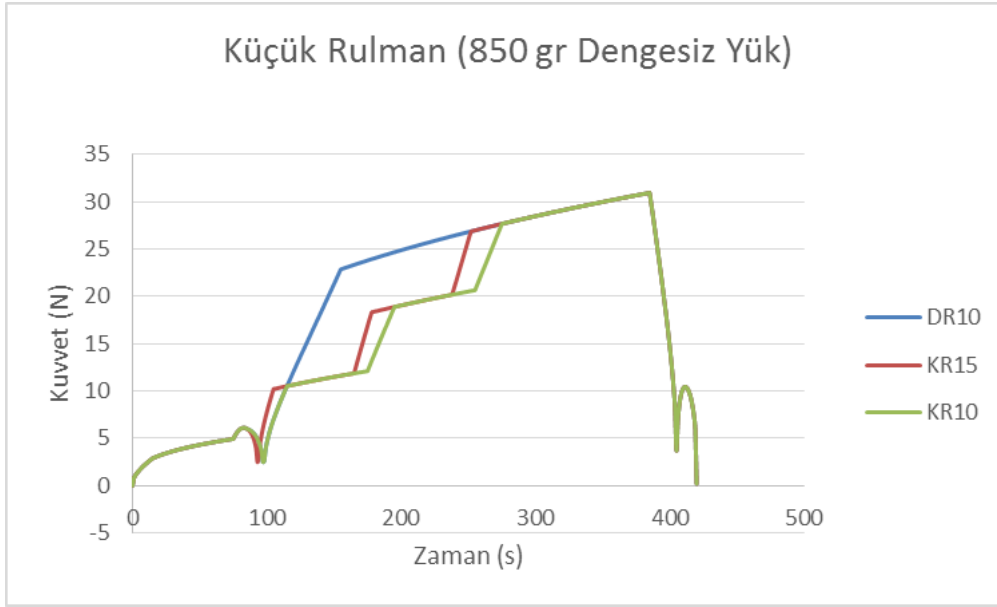
Şekil 4.28 : Rulman hesabı program arayüzü.

Buna göre 7 kg tam yükte 1150, 850, 400 gr dengesiz yük oluşma durumunda rulmanlara gelen dinamik yük Modelica/Dymola programında hesaplanmış, sonuçları Şekil 4.29, 4.30 ve 4.31'deki gibi olmaktadır.

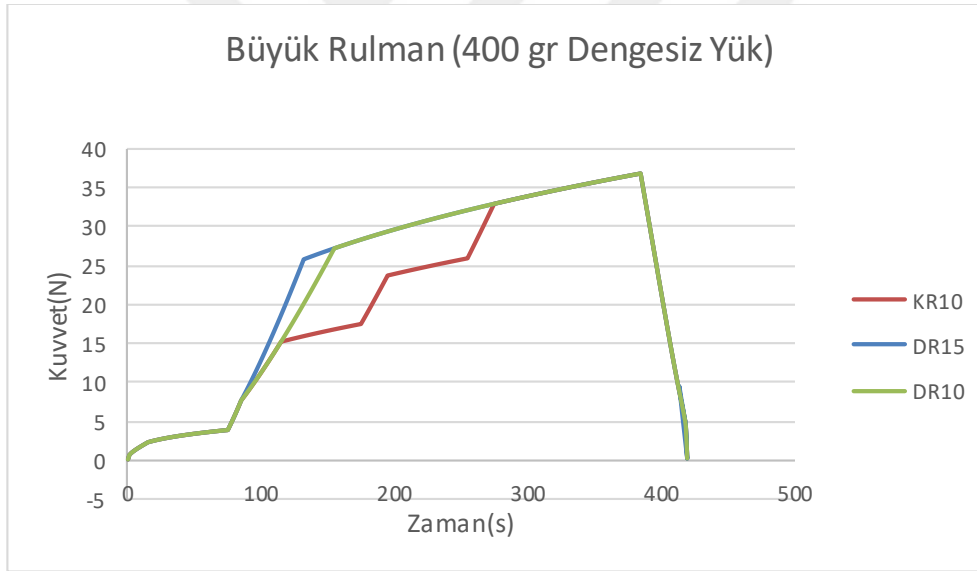


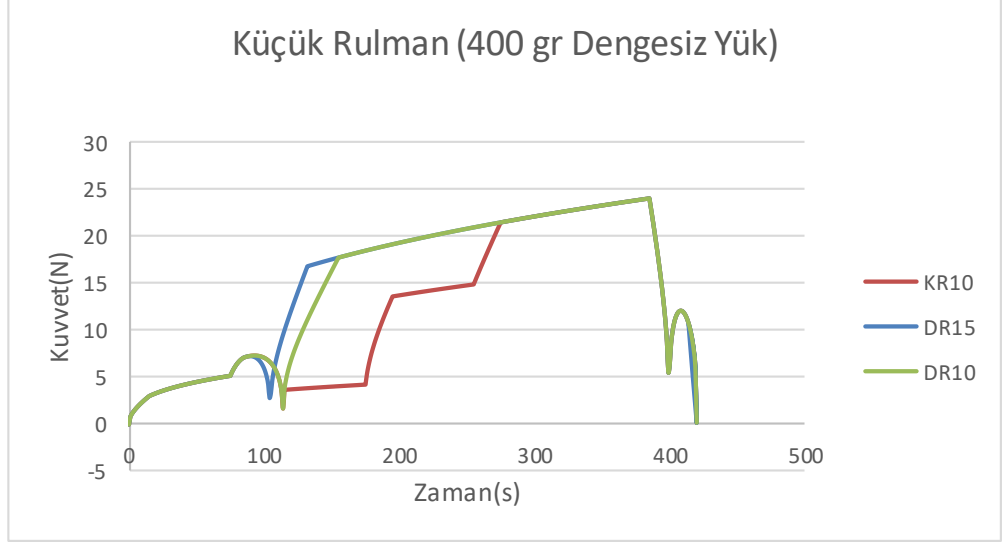
Şekil 4.29 : Farklı sıkma profilleri için 7 kg yüklü makinede 1150 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.





Şekil 4.30 : Farklı sıkma profilleri için 7 kg yüklü makinede 850 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.



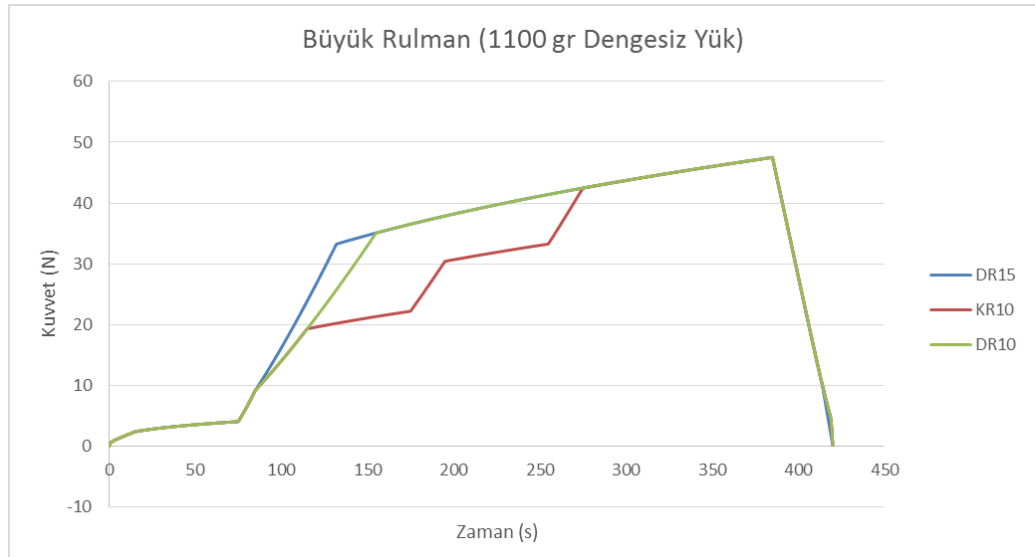


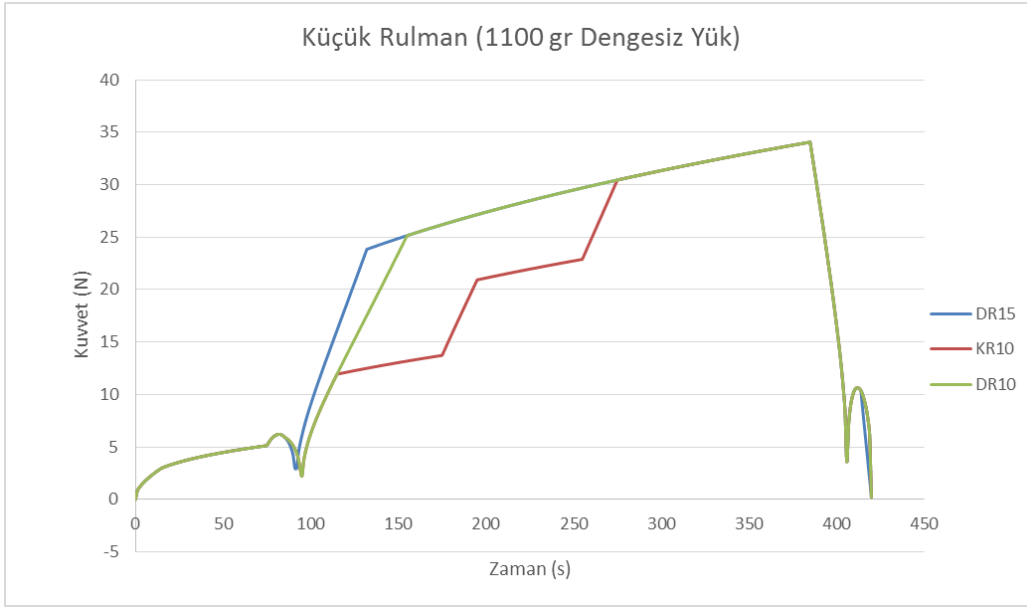
Şekil 4.31 : Farklı sıkma profilleri için 7 kg yüklü makinede 400 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.

7 kg yükte farklı sıkma profilleri ile atılan ortalama su miktarları, KR 15 için 8.23 lt, KR10 için 8.21 lt, DR10 için 8.13 lt olmaktadır.

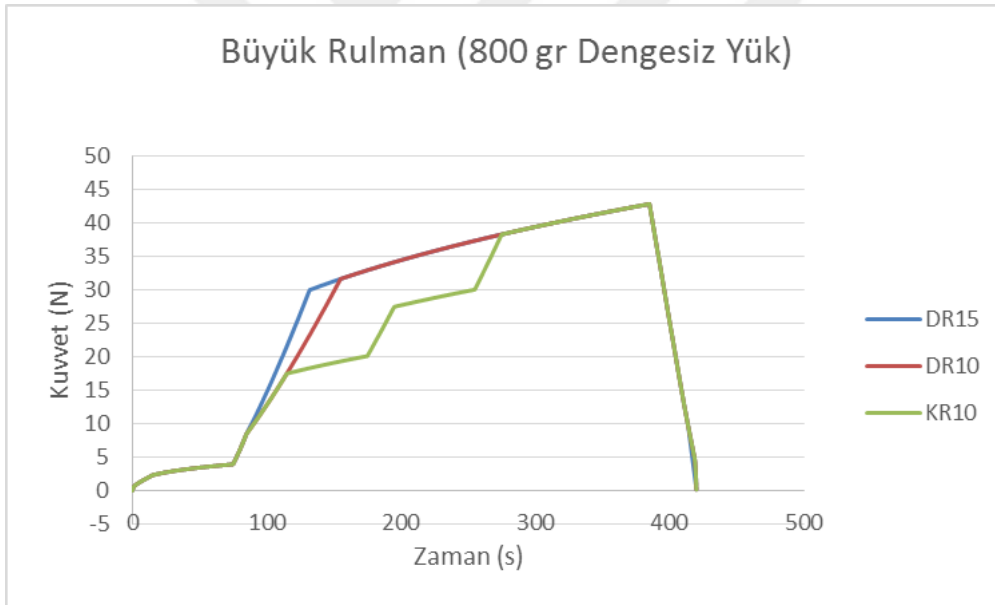
7 kg yüklü makinenin rulmanlarına gelen kuvvet sonuçlarına göre, farklı dengesiz yüklerde makine KR15 profili ile daha fazla su atabilmesine rağmen rulmanların maruz kaldığı kuvvet dikkate alındığında seçim KR10 profilinden yana kullanılmıştır.

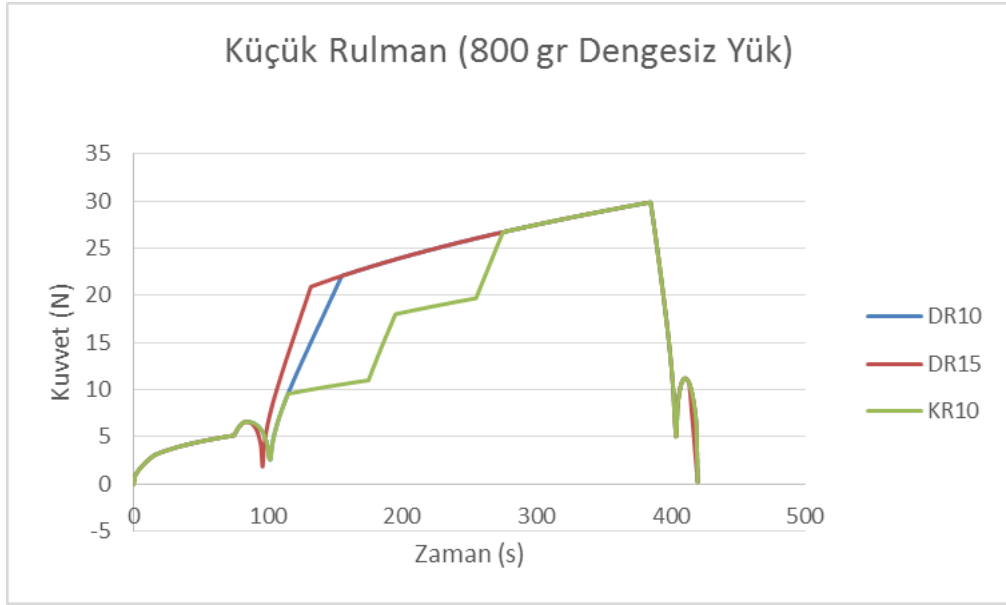
Aynı şekilde rulman hesabı 3.5 kg yükte 1100, 800, 500 gr dengesiz yük oluşma durumunda Modelica/Dymola programında yapılmış olup, sonuçları Şekil 4.32, 4.33 ve 4.34'teki gibi olmaktadır.



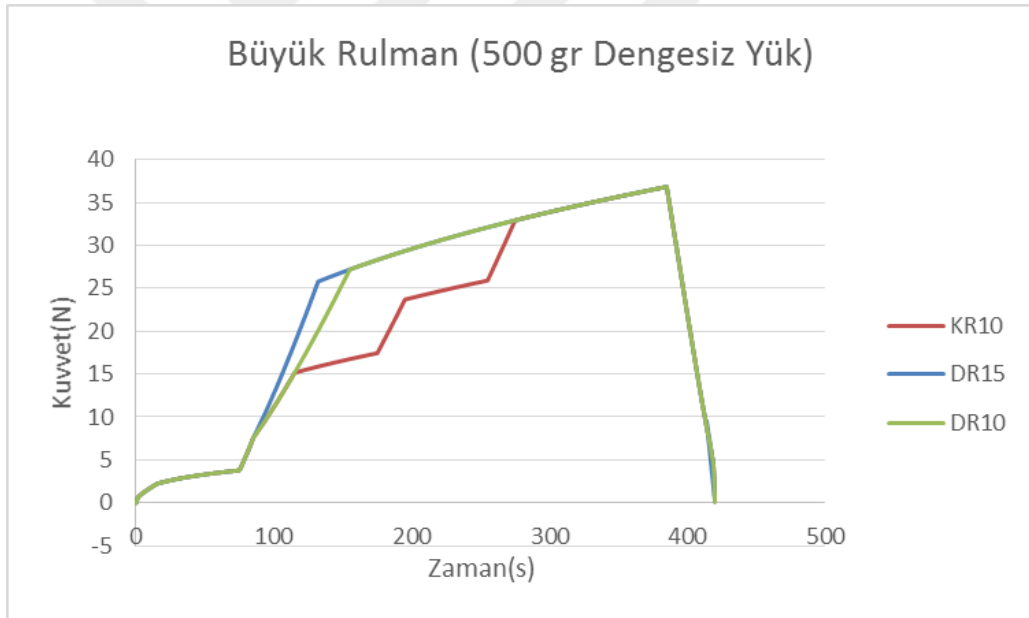


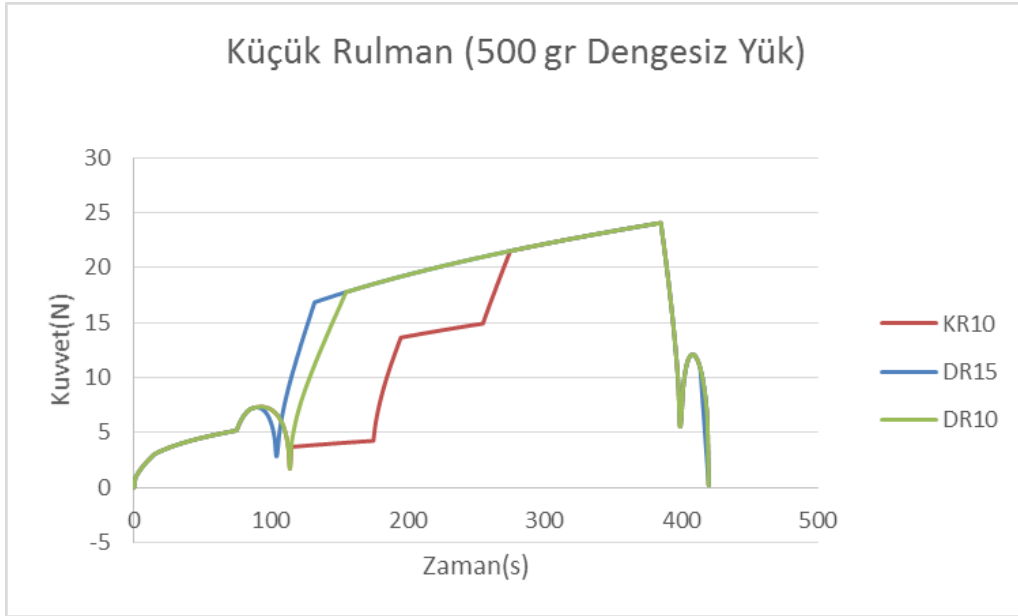
Şekil 4.32 : Farklı sıkma profilleri için 3.5 kg yüklü makinede 1100 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.





Şekil 4.33 : Farklı sıkma profilleri için 3.5 kg yüklü makinede 800 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.





Şekil 4.34 : Farklı sıkma profilleri için 3.5 kg yüklü makinede 500 gr dengesiz yük ile rulmanlara gelen kuvvetler.

3.5 kg yükte farklı sıkma profilleri ile atılan ortalama su miktarları, DR 10 için 4.63 lt, DR15 için 4.43 lt, KR10 için 4.35 lt olmaktadır.

3.5 kg yüklü makinenin sonuçlarına göre, farklı dengesiz yüklerde makine KR10 profili ile rulmanlara gelen kuvvet daha az olmasına rağmen DR10 profili ile makine daha fazla su atabilmektedir. DR10 profili ile rulmanlara gelen kuvvet makine için uygun olduğu için seçim DR10 profilinden yana kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ışığında Matlab’da oluşturulmuş olan bulanık mantık algoritmasında ve Dymola’da oluşturulmuş olan dinamik modelde belirlenen yük durumları için yukarıda seçilen bu profiller kullanılacaktır.

4.5. Bulanık Algoritma ile Algılanan Yük ve Dengesiz Yükün Modele

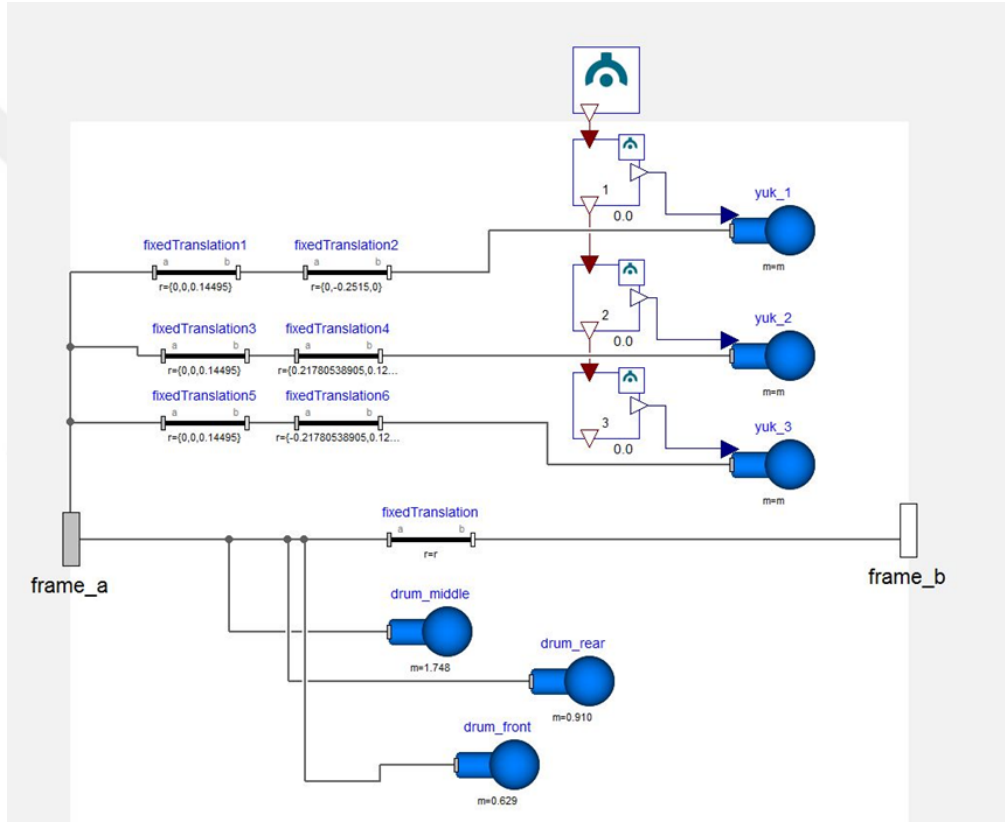
Aktarılması

Dymola’da oluşturulan dinamik modele sıkma profili belirleme deneylerinden elde edilen en iyi sonuçlar koyularak model sonuçları alınmaktadır. Deneylerde elde edilen verilere göre çeyrek, yarım ve tam yük koşulları için elde edilen sıkma profilleri farklı olduğu için öncelikle makina içerisindeki yükleme durumu bilinmelidir.

Bu bölümde Matlab ile yük algılanma Modelica/Dymola programında kurulan çamaşır makinesi modeline aktarılarak adaptif sıkma profilinin uygulanması ve buna göre çamaşır makinesinin davranışı analiz edilmiştir.

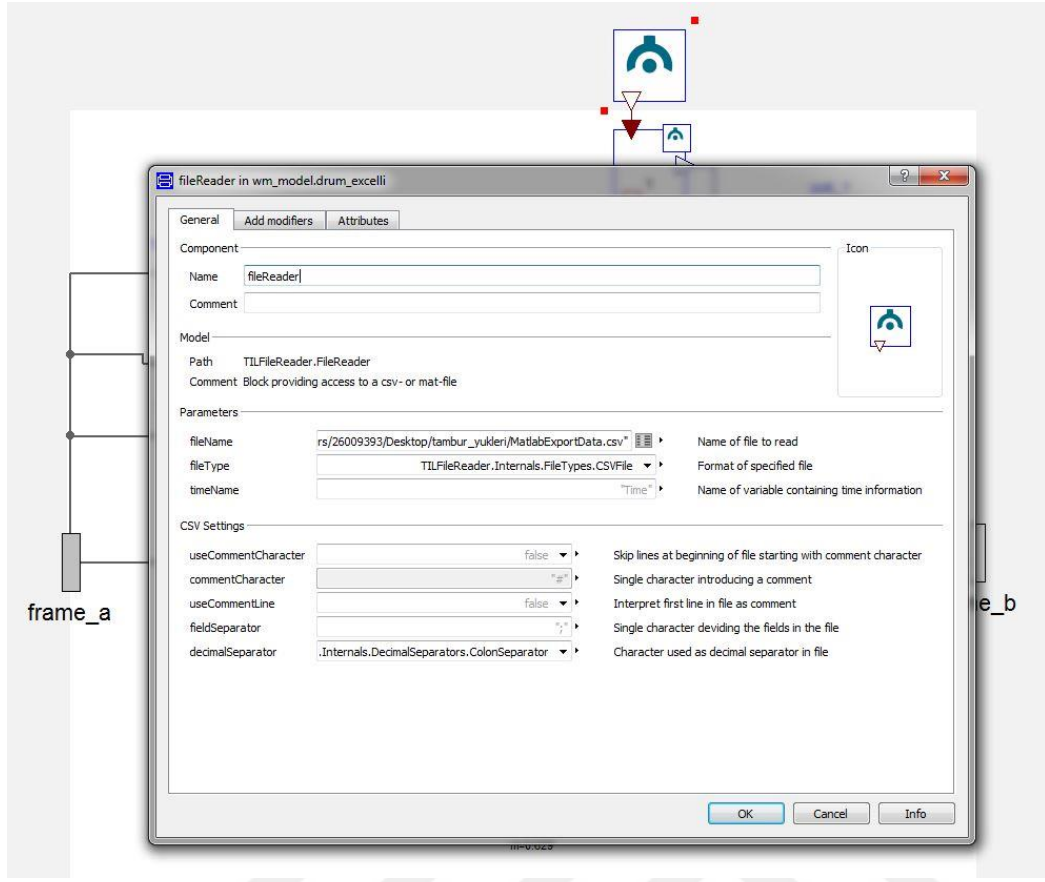
Matlab'da oluşturulan algoritma sonucundan elde edilen dengeli-dengesiz yükleme durumu, Microsoft Excel programı aracılığıyla Dymola ile entegre çalışabilecek ve Dymola tarafından okunabilecektir.

Makina içerisindeki dengeli ve dengesiz yükler sıkma esnasında merkezkaç kuvvetinin etkisiyle tambur çeperine yapıştığı için dinamik modelde de tambur içinde modellenmiştir. Tambur modeli Şekil 4.35'de gösterilmiştir. Burada tamburun kütlesi ön, orta ve arka olaran modellenmiş, makina içerisindeki dengeli ve dengesiz yükler de tambur çevresine merkez ile 120 derecelik eşit açılarla yapacak şekilde yerleştirilmiştir.



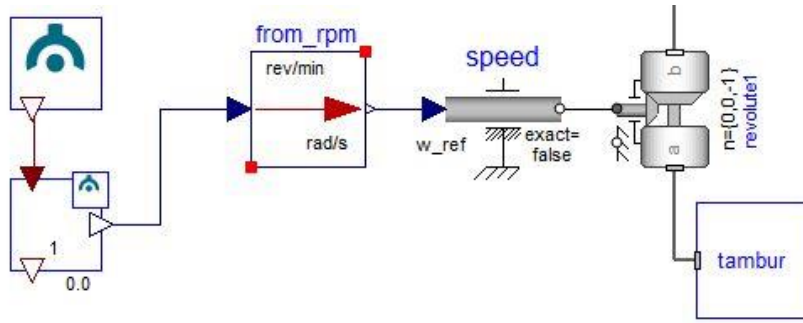
Şekil 4.35 : Tambur dinamik modeli.

Matlab'da oluşturulan bulanık mantık algoritmalarından elde edilen çıktı değerleri olan toplam yük ve dengesiz yük miktarları, tambur modeli içerisindeki yük değerlerine girilmelidir. Bunun için, Şekil 4.36'da da görüldüğü gibi, Matlab'ın çıktı olarak oluşturduğu Excel dosyasından Dymola, okuma yaparak bu yük değerlerini kütle bloklarına girmektedir.



Şekil 4.36 : Dengeli-dengesiz yük değerlerinin Excel dosyasından okunması.

Ayrıca Şekil 4.37’de verilen dinamik modelde görüldüğü üzere makinaya sıkma profili dışarıdan okunan değerler ile girilmektedir. Burada değerler rpm cinsinden girilip, programda rad/s’ye dönüştürülerek tambura iletilir.



Şekil 4.37 : Tambura hız profilinin girilmesi.

Sıkma profili Excel programına kullanıcı tarafından girilip Modelica’nın *filereader* .cvs uzantılı dosya okuyucu eklentisi ile modele verilebileceği gibi yapılan çalışmada belirlenen yük, dengesiz yük ve profillerin su atma kapasitesine göre seçilen adaptif profiller halinde modele verilmesi uygun görülmüştür.

Buna göre bulanık mantık algoritması ile makina içerisindeki yük ve dengesiz yük durumu ile bu yük değerleri için oluşturulmuş en iyi sıkma profilleri deneysel sonuçlar halinde oluşturulmuştur ve modelde yer almaktadır. Dymola programında model simülasyonu çalıştırıldığında bu değerleri her seferinde elle girmeksizin okuyarak çamaşır makinasının davranışını kolayca takip edebilmeyi sağlamaktadır. Bu sayede çamaşır makinasının deplasman ve titreşim ölçümleri için ekstra maliyet ve zaman gerektiren deneysel testler yapılmayıp model üzerinden hızlı bir şekilde, istenilen değerler için makine davranışının analizi için sonuçlar elde edilmektedir.

4.6. Hız Salınımı ile Algılanan Dengesiz Yükün Modele Aktarılması

Tez çalışmasındaki bir diğer yük algılama yöntemi Modelica/Dymola programında girilen yüke göre dengesiz yükün 100 devir/dakika çevresinde hız salınım farkından algılanması ve adaptif sıkma profili ile çamaşır makinesinin davranışı analiz edilmesidir.

100 devir/dakika çevresinde hız salınımı ile makinede mevcut dengesiz yükün algılanması Arçelik Çamaşır Makinesi İşletmesinde kullanılan bir yöntemdir.

Çamaşır makinesinde yıkama ve durulama programları 0-80 devir/dakika arasındadır. Bu hızlarda çamaşır makinesinde mekanik ya da elektriksel bir sorun görülmez. Fakat sıkma programında çamaşır makinesi 0-1600 devir/dakika arasında çalışmaktadır. Makinelerde 80 devir/dakika aşılma hızı aşıldığında istenmeyen ve riskli titreşimler ortaya çıkmaktadır.

80 devir/dakika ve daha üst devirlerde dönen tamburdaki çamaşır lar merkezkaç kuvveti etkisiyle tambur çeperine yapışmaktadır. Bu merkezkaç kuvvetinin şiddeti ile çamaşır lar tambur çeperinde düzgün dağılamaz ve bu da dengesiz yük oluşumuna sebep olmaktadır.

Bu sebeplerden yola çıkarak çamaşır makinesinin dengesiz yük sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Algılama testleri sıkma programında motorun 100 devir/dakika'da dönerken oluşan sapsmalardan elde edilen bir değere ulaşılmasıdır. Bu değerler makinenin mekanik olarak zarar görmemesi için kabul edilebilir dengesiz yük sınırlarının (class değerleri) belirlenerek maksimum devire ulaşıp ulaşılmayacağına karar verilmesi için önem arz etmektedir [18].

7 kg, 3.5 kg ve 1 kg için farklı dengesiz yükler için deney düzeneği Bölüm 4.2’de verilmiştir. Deneylerde farklı yük ve dengesiz yükler için çamaşır makinesine aynı hız profilleri verilmiştir. Çamaşır makinesindeki farklı dengesiz yüklerden dolayı hız salınımları farklı olmuştur.

7, 3.5 ve 1 kg için farklı dengesiz yüklerde 100 devir/dakika boyunca hız salınımları denklem 4.5’de verilen formül ile hesaplanmaktadır.

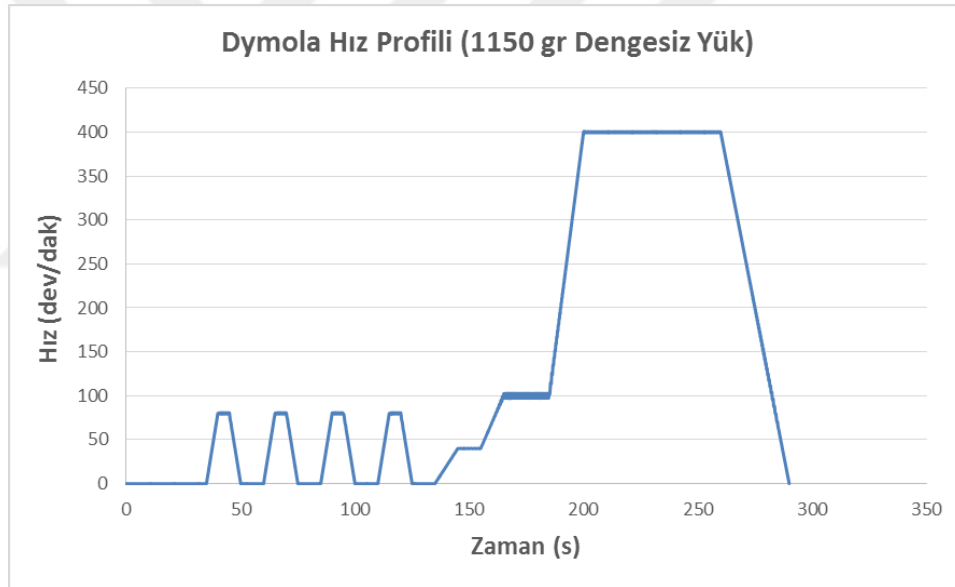
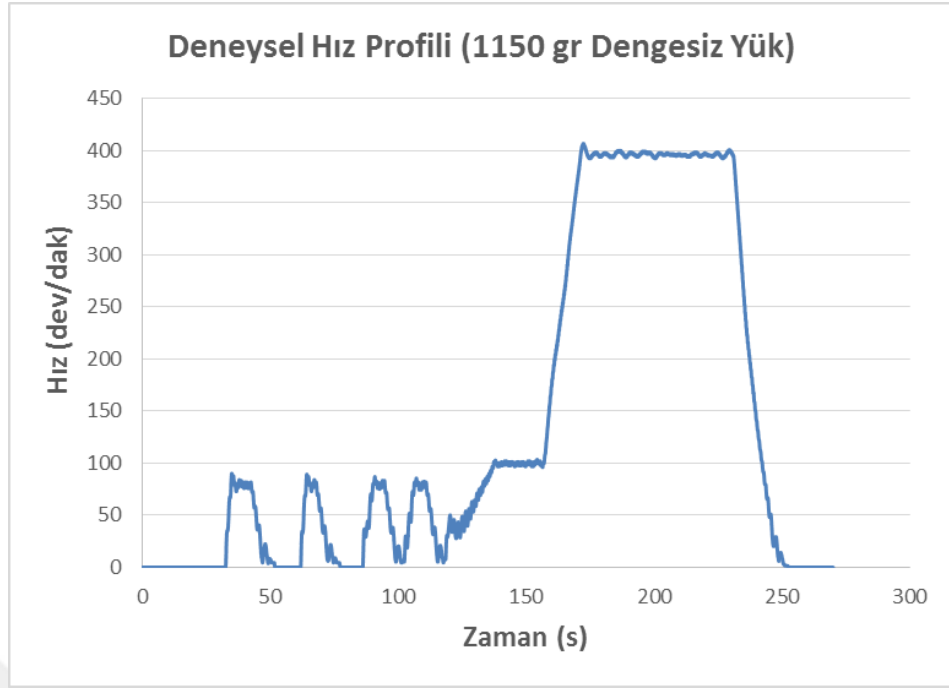
$$hız\ salınımı = \sum \left(100 \frac{devir}{dak} - mevcut\ hız\right)^2 \quad (4.5)$$

Bu salınımların dengesiz yükler ile ilişkilendirilmesi, deney ve model analizi sonuçları aşağıda verilmiştir.

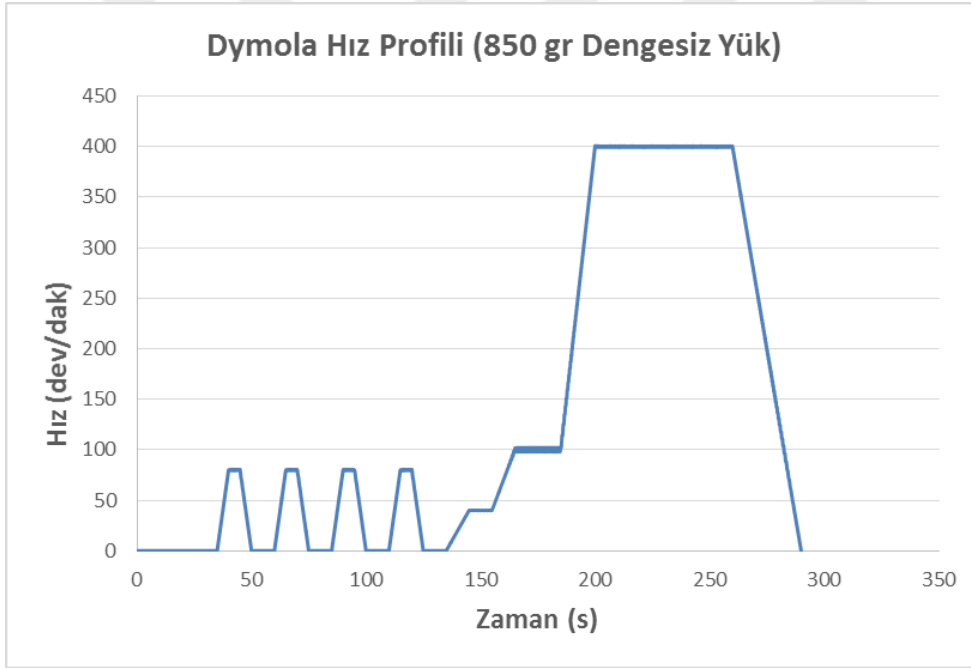
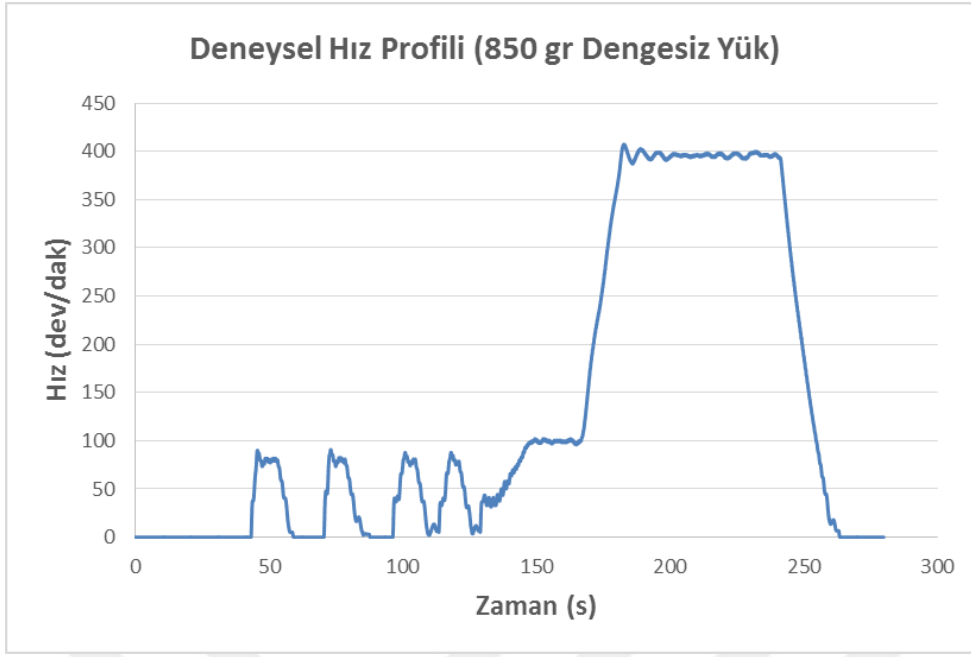
4.6.1. 7 kg yük için farklı dengesiz yükler ile elde edilen sonuçlar

7 kg yük için modele sırasıyla 1950-1950-3100 gr (1150 gr dengesiz yük), 2050-2050-2900 gr (850 gr dengesiz yük) ve 2200-2200-2600 gr (400 gr dengesiz yük) yük tanımlanmış olup 100 devir/dakikada hız salınımları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre dengesiz yükler için modelde belirli aralık değerleri oluşturulmuştur.

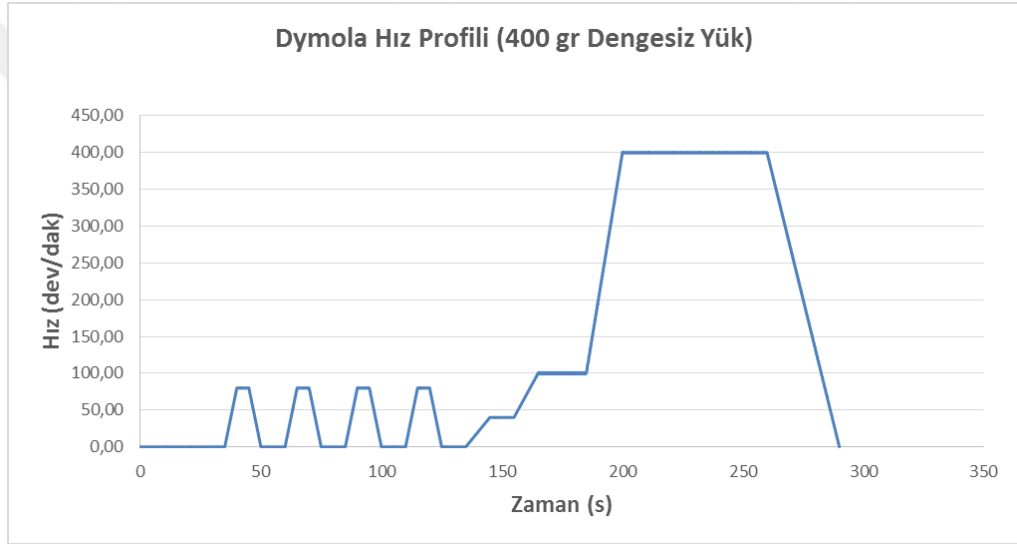
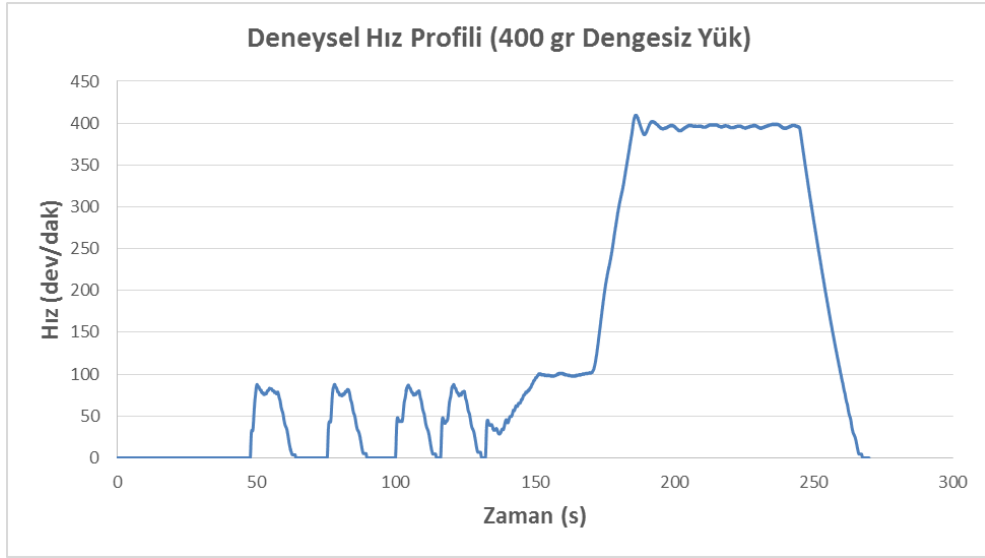
1150 gr, 850 gr ve 400 gr dengesiz yük koşulu için sonuçlar Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’da verilmiştir.



Şekil 4.38 : 1150 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.



Şekil 4.39 : 850 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.



Şekil 4.40 : 400 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.

7 kg için farklı dengesiz yüklerde hız salınımları Çizelge 4.10 ile verilmiştir.

Çizelge 4.10 : 7 kg için farklı dengesiz yüklerde hız salınımı deneysel ve analiz sonuçları.

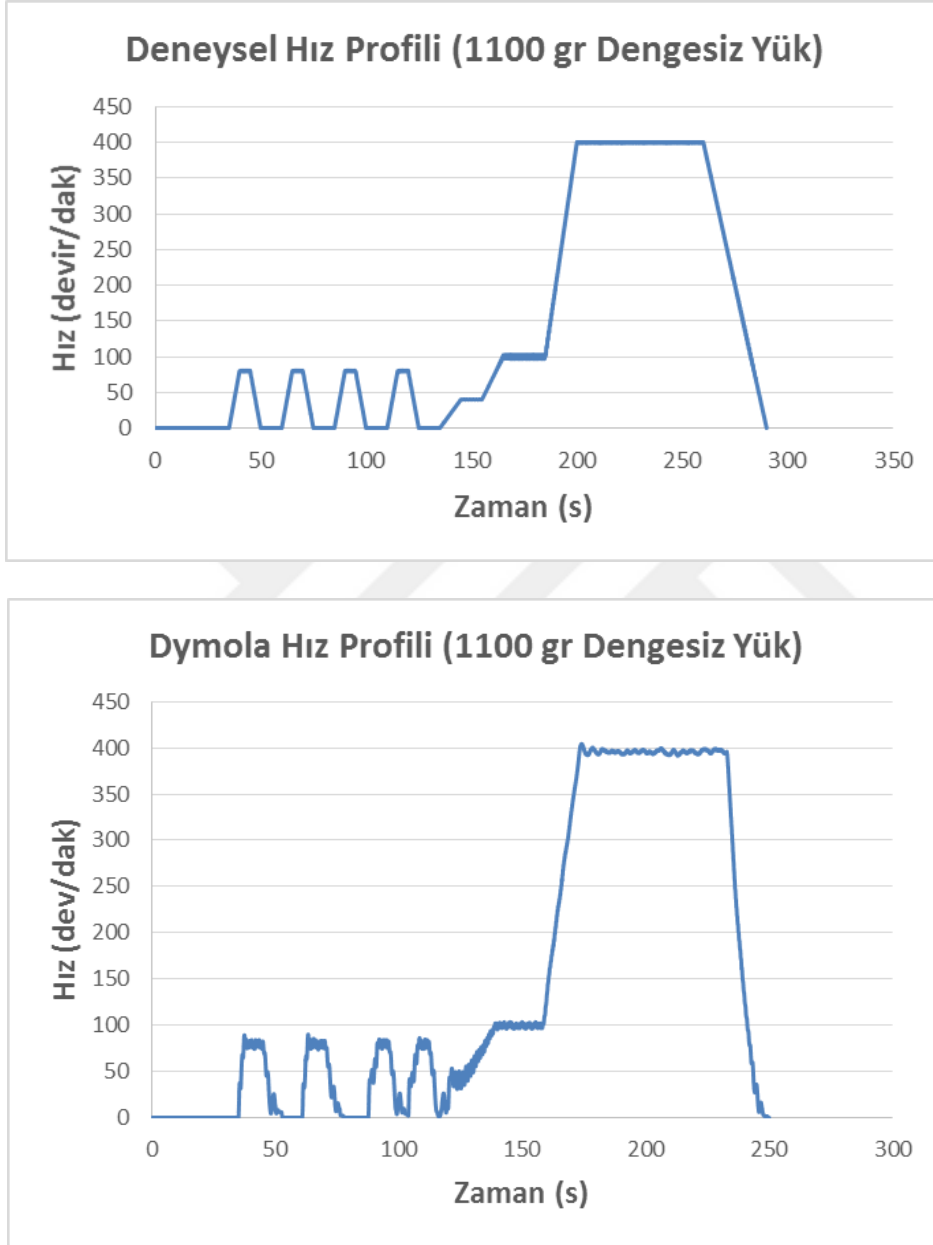
Yük Dağılımı (gr)	Dengesiz Yük (gr)	Hız Salınımı Deneysel Sonuç	Hız Salınımı Modelica Analiz Sonucu
1950-1950-3100	1150	3314,188	4881,494
2050-2050-2900	850	2202,438	2700,388
2200-2200-2600	400	1200,138	611,4148

4.6.2. 3.5 kg yük için farklı dengesiz yükler ile elde edilen sonuçlar

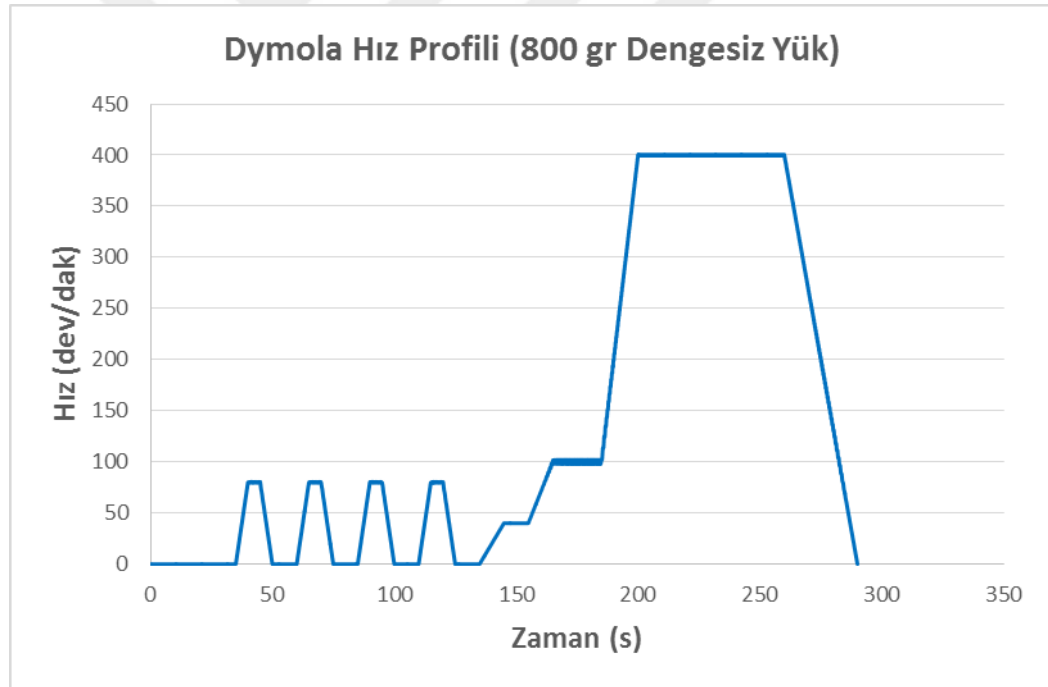
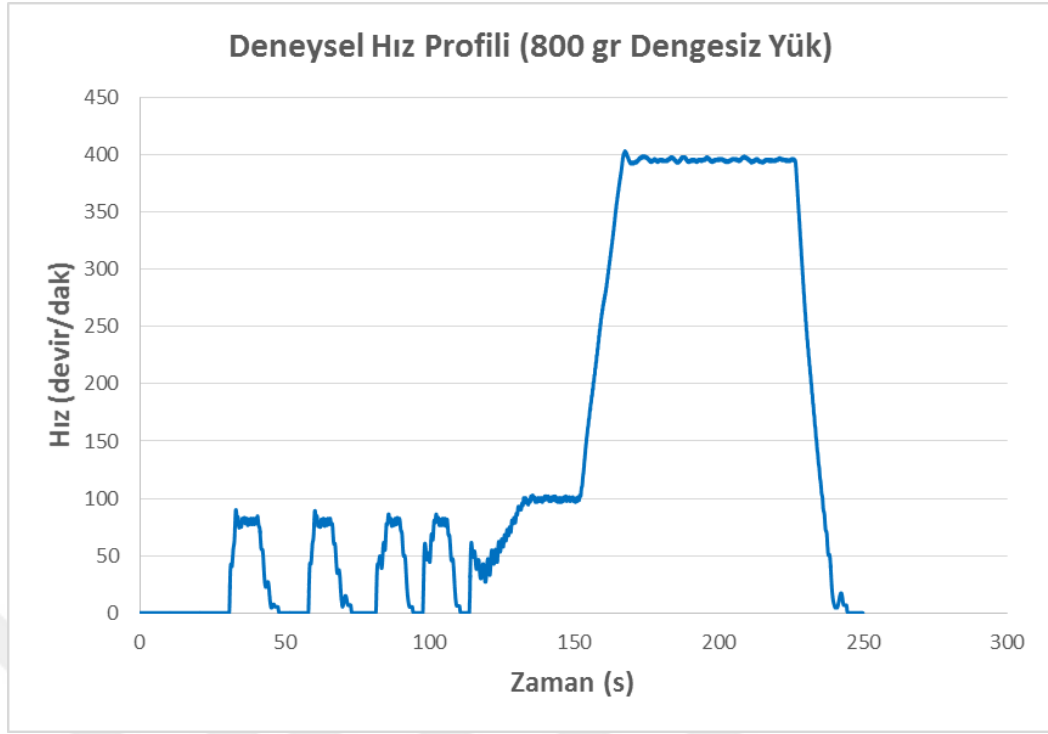
3.5 kg yük için modele sırasıyla 800-800-1900 gr (1100 gr dengesiz yük), 900-900-1700 gr (800 gr dengesiz yük) ve 1000-1000-1500 gr (500 gr dengesiz yük) yük tanımlanmış olup 100 devir/dakikada hız salınımları deneysel sonuçlar ile

karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre dengesiz yükler için modelde belirli aralık değerleri oluşturulmuştur.

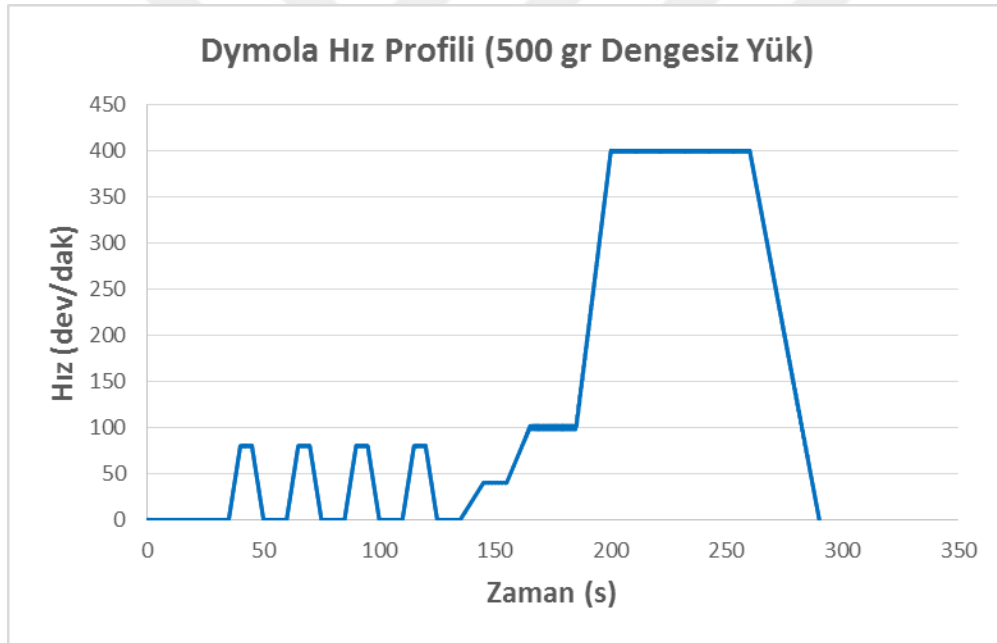
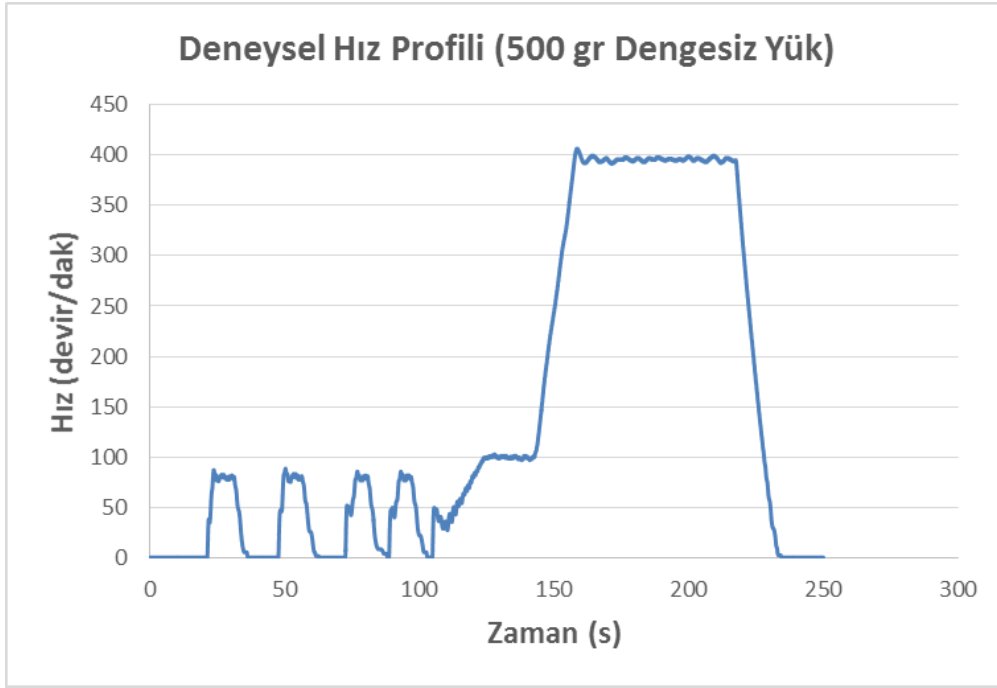
1100 gr, 800 gr ve 500 gr dengesiz yük koşulu için sonuçlar Şekil 4.41, 4.42 ve 4.43 ile verilmiştir.



Şekil 4.41 : 1100 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.



Şekil 4.42 : 800 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.



Şekil 4.43 : 500 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları. 3.5 kg için farklı dengesiz yüklerde hız sınımları Çizelge 4.11 ile verilmiştir.

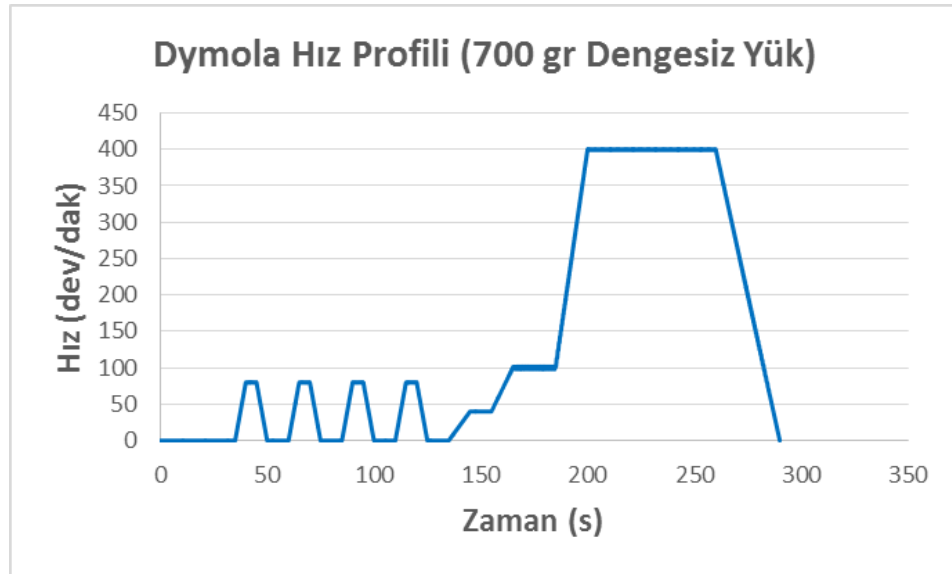
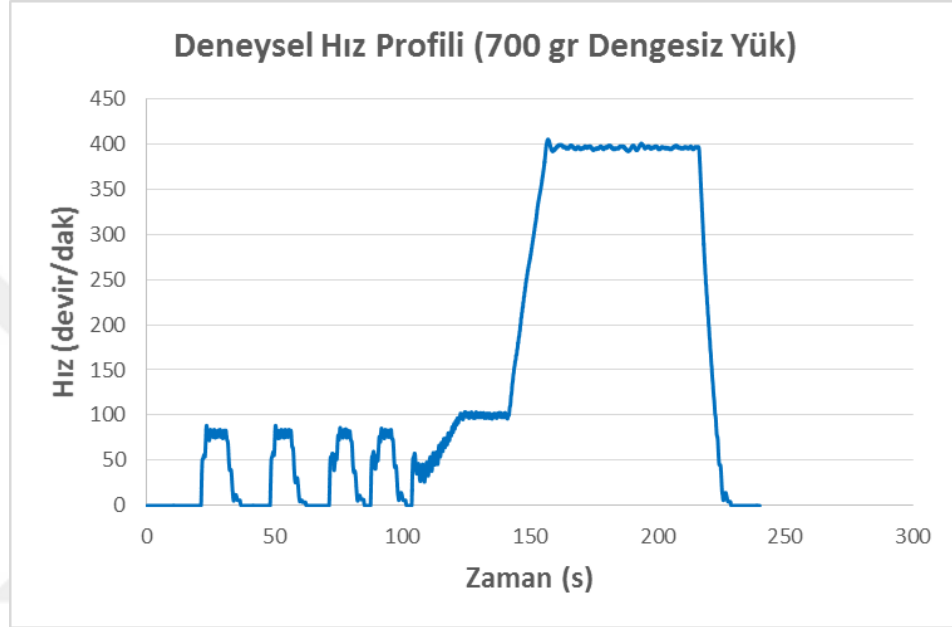
Çizelge 4.11 : 3.5 kg için farklı dengesiz yüklerde hız sınımları deneysel ve analiz sonuçları.

Yük Dağılımı (gr)	Dengesiz Yük (gr)	Hız Sınımları Deneysel Sonuç	Hız Sınımları Modelica Analiz Sonucu
800-800-1900	1100	4413,125	5130,924
900-900-1700	800	2561,938	2784,988
1000-1000-1500	500	1608,688	1102,58

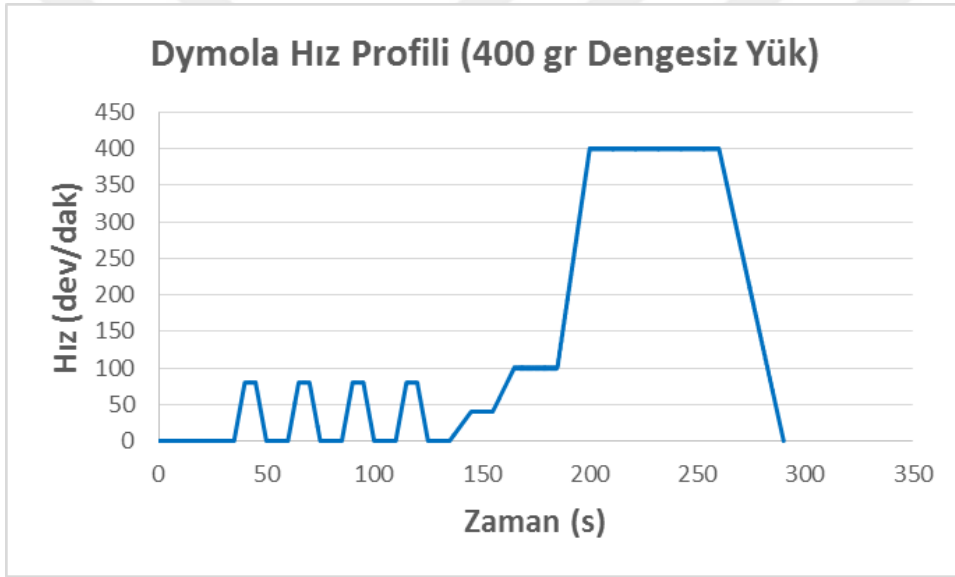
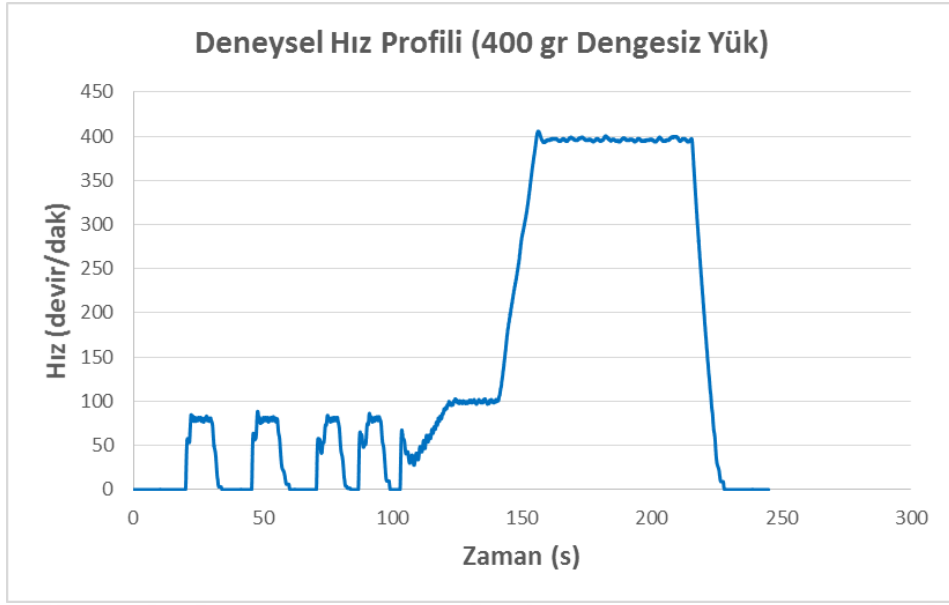
4.6.3. 1 kg yük için farklı dengesiz yükler ile elde edilen sonuçlar

1 kg yük için modele sırasıyla 100-100-800 gr (700 gr dengesiz yük), 200-200-600 gr (400 gr dengesiz yük) yük tanımlanmış olup 100 devir/dakikada hız salınımları deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre dengesiz yükler için modelde belirli aralık değerleri oluşturulmuştur.

700 gr ve 400 gr dengesiz yük koşulu için sonuçlar Şekil 4.44 ve 4.45 ile verilmiştir.



Şekil 4.44 : 700 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.



Şekil 4.45 : 400 gr dengesiz yük koşulunda deneysel ve analiz sonuçları.

1 kg için farklı dengesiz yüklerde hız salınımları Çizelge 4.12 ile verilmiştir.

Çizelge 4.12 : 1 kg için farklı dengesiz yüklerde hız salınımı deneysel ve analiz sonuçları.

Yük Dağılımı (gr)	Dengesiz Yük (gr)	Hız Salınımı Deneysel Sonuç	Hız Salınımı Modelica Analiz Sonucu
100-100-800	700	3161,813	2183,289
200-200-600	400	1607,813	724,4039

7, 3.5 ve 1 kg çamaşır ile yapılan dengesiz yük algılama testlerinin sonucunda Dymola/Modelica programında oluşturulan çamaşır makinesi modeline dengesiz yük

için bazı hız sapması değerleri verilmiştir. Buna göre farklı dengesiz yüklerde hız sapması değerleri Çizelge 4.13 ile verilmiştir. Model sonuçları belirlenmiş aralıklarda hız sapma değerlerini elde ettiği zaman ona karşılık gelen dengesiz yük miktarına ulaşılmış olur.

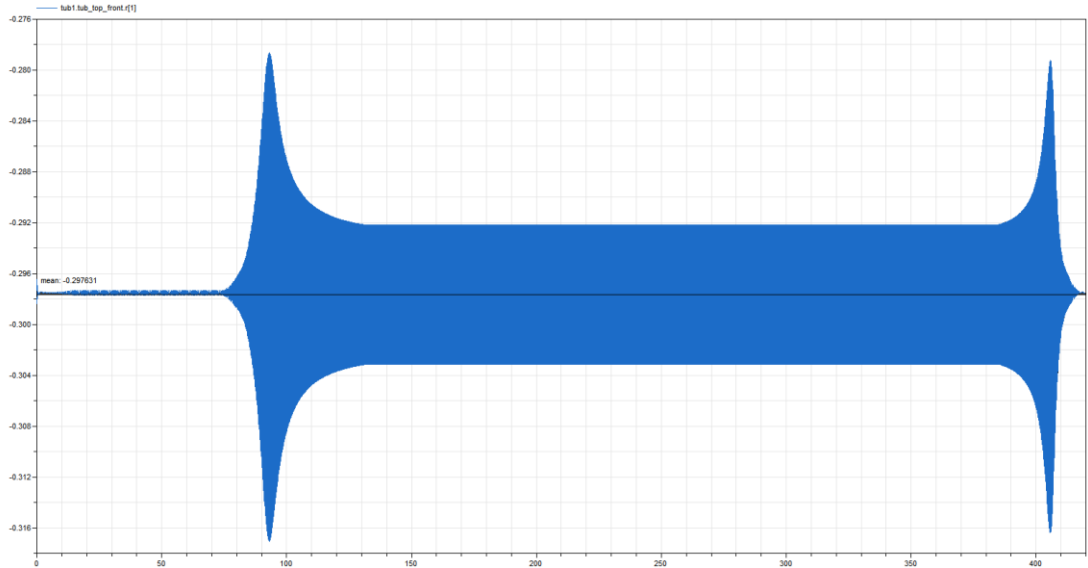
Çizelge 4.13 : Çamaşır makinesi modelinde dengesiz yükler için belirlenen hız salınımı değerleri.

Hız Salınımı Değerleri	Dengesiz Yük (gr)
5200-4800	1100-1150
2800-2000	850-700
1200-600	500-400

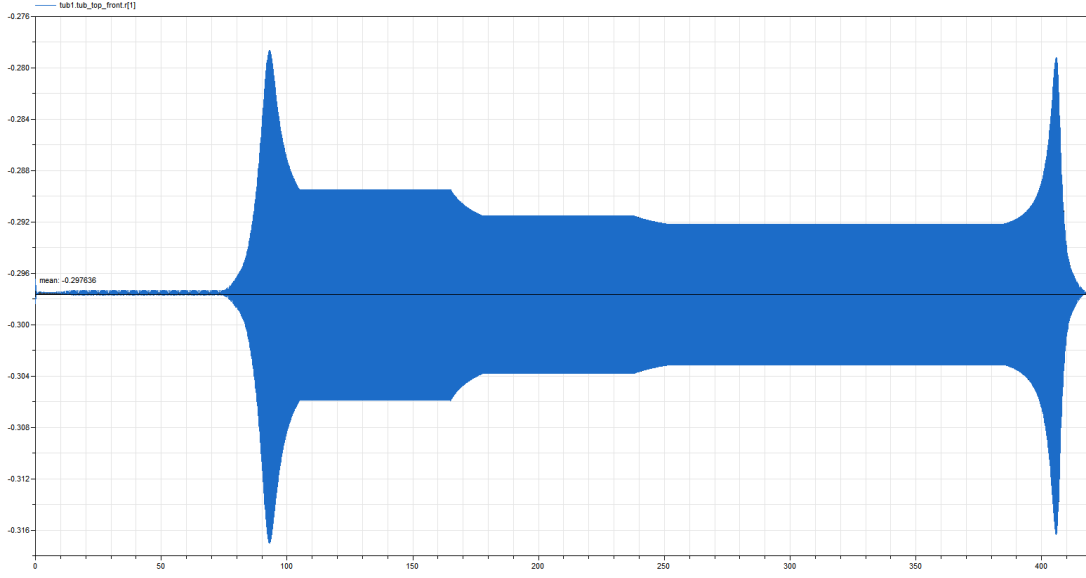
4.7. Çamaşır Makinesi Modelinde Adaptif Sıkma Profilleri ile Deplasman Sonuçları

Çamaşır makinesi modelinin bir diğer amacı, modele elde edilen sonuçların girilerek adaptif sıkma profilleri için makinenin dinamik davranışının analiz edilmesidir. Aşağıda her yük koşulu için adaptif sıkma profili belirleme deneylerinden elde edilen en iyi 2 profil için deplasman sonuçları verilmiştir.

1 kg çamaşır yükünün var olduğu durumda belirlenen en iyi profiller olan DR15 ve KR15 sıkma profilleri için 700 gr dengesiz yük varlığında dinamik modelden elde edilen deplasman sonuçları, sırasıyla Şekil 4.46 ve 4.47 ile verilmiştir.

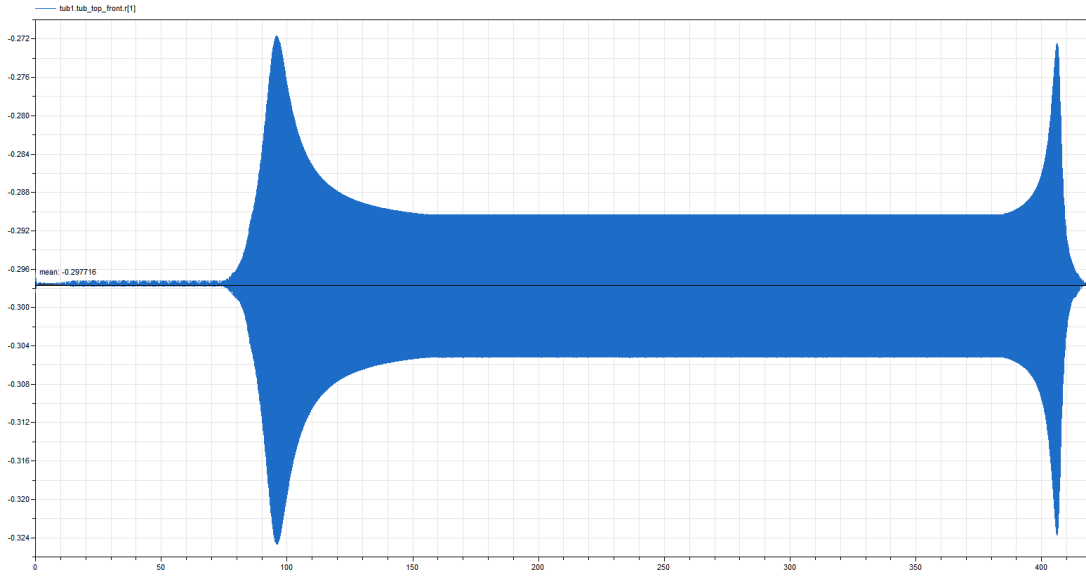


Şekil 4.46 : 1 kg yük, 700 gr dengesiz yük için DR15 profilinin deplasman sonucu.

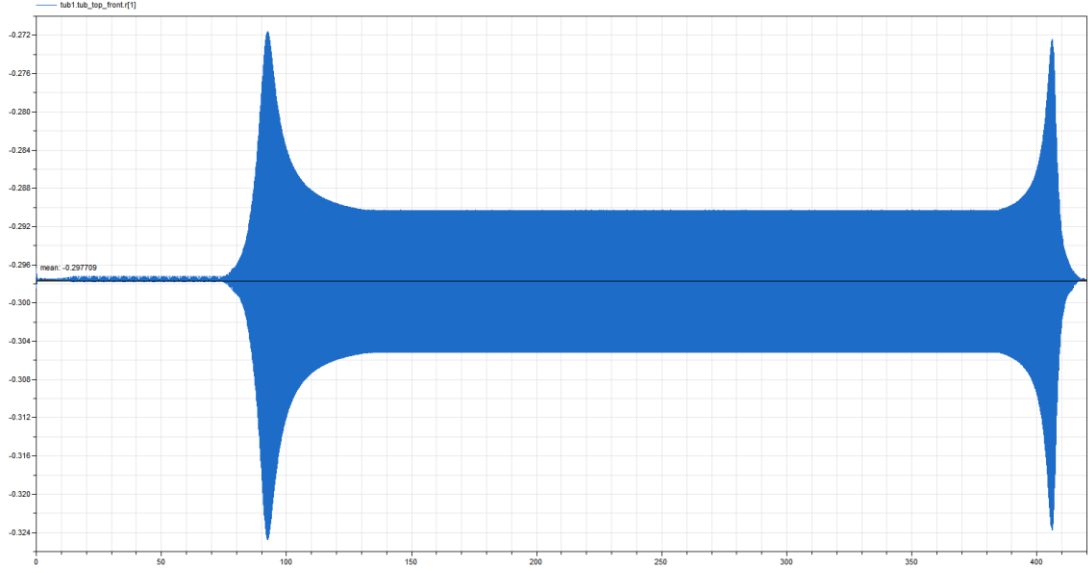


Şekil 4.47 : 1 kg yük, 700 gr dengesiz yük için KR15 profilinin deplasman sonucu.

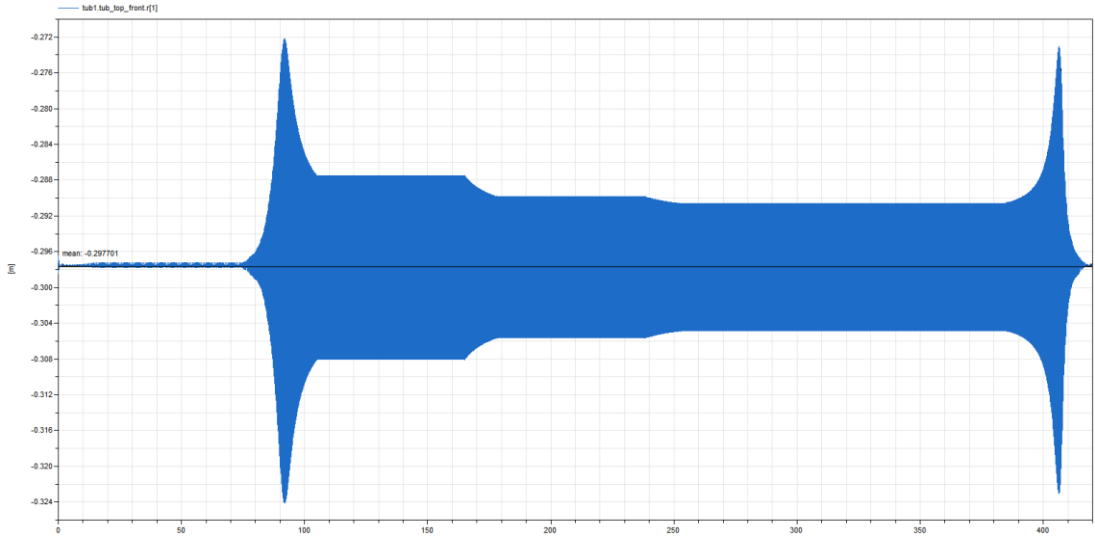
3,5 kg çamaşır yükünün var olduğu durumda ise belirlenen en iyi profiller olan DR10 ve DR15 sıkma profilleri için 825 gr dengesiz yük varlığında dinamik modelden elde edilen deplasman sonuçları, sırasıyla Şekil 4.48 ve 4.49 ile verilmiştir.



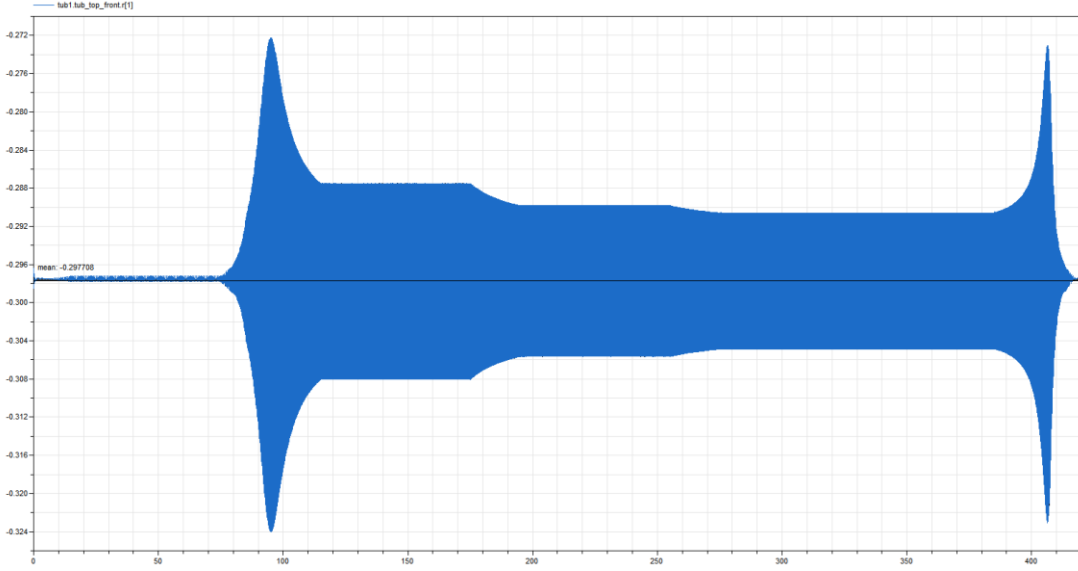
Şekil 4.48 : 3.5 kg yük, 825 gr dengesiz yük için DR10 profilinin deplasman sonucu.



Şekil 4.49 : 3.5 kg yük, 825 gr dengesiz yük için DR15 profilinin deplasman sonucu. Son olarak 7 kg çamaşır yükünün var olduğu durumda ise belirlenen en iyi profiller olan KR15 ve KR10 sıkma profilleri için 1075 gr dengesiz yük varlığında dinamik modelden elde edilen deplasman sonuçları, sırasıyla Şekil 4.50 ve 4.51 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.50 : 7 kg yük, 1075 gr dengesiz yük için KR15 profilinin deplasman sonucu.



Şekil 4.51 : 7 kg yük, 1075 gr dengesiz yük için KR10 profilinin deplasman sonucu. Makinanın rezonans bölgesinde maksimum deplasman değerine ulaşması beklenmektedir. Grafiklere bakıldığında da makinanın rezonans bölgesinin gerçekte olduğu gibi 250-300 rpm civarlarında çıktığı gözükmemektedir. Zaten oluşturulan sıkma profillerinde de bu aralığı hızlı geçmek adına 100-300 rpm bölgesi 20 rpm/s ivme ile çıkmıştır. Rezonans bölgesinden sonraki aralıklarda ise kademeli profillerde 600 ve 800 rpm de 1 dk kaldığı için buradaki deplasman miktarları direkt profillere göre, rezonans bölgesine daha yakın olmalarından dolayı, biraz daha fazladır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çamaşır makinalarında şirketler arasındaki rekabeti belirleyen en önemli unsur makinaların performanslarıdır. Bu çalışmada Arçelik A.Ş. bünyesinde, ‘Çamaşır Makinesi Adaptif Sıkma Algoritması’ başlıklı TÜBİTAK TEYDEB projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir ve çamaşır makinalarının sıkma performansının iyileştirilmesine yer verilmiştir.

Arçelik A.Ş. bünyesinde yer alan çamaşır makinalarında sıkma profilleri yapılan tez çalışmasında incelenen profillerin su atma miktarı, çamaşır yükü ve rulman ömrü verilerine göre değişmemektedir. Yapılan tez çalışmasında bu parametrelere göre optimum sıkma profili elde edilmiştir ve her veri değiştiğinde farklı sıkma profili seçimi yapılmaktadır.

Sıkma performansı makinanın son sıkma adımı sırasında attığı su miktarıyla orantılıdır. Çalışma boyunca bu fenomen incelenmiştir. Sıkma verimine etkiyen çeşitli mekanik ve yazılımsal faktörler vardır. Makinanın motorunun karakteristiği, tahrik grubunun verimliliği, içerideki toplam yükün miktarı, bu yükün neden olacağı dengesiz yük miktarı, dengesizliğin sistem üzerinde yaratacağı ekstra kuvvetler ve dolayısıyla kazanın yapacağı deplasman miktarı mekanik etki olarak sayılabilir. Motorun sıkma adımı sırasındaki ulaştığı hız değerleri, bu hız değerlerine hangi rampalarla çıktığı ve bu hız değerlerinde kalma süreleri yazılımsal etkiler olarak belirlenmiştir. Bu tez kapsamında hem mekanik hem de yazılımsal faktörler incelenmiştir.

Öncelikle içerideki yük miktarı değişikçe sistemin davranışının değiştiği fark edilmiş ve bunun için 3 farklı yük değeri için 6 farklı sıkma profili uygulanmıştır. Yapılan deneyler max hızı 1000 RPM olan makinada yapılmıştır. 6 farklı sıkma profili içinde 2 farklı rampa tipi ve 3 farklı ivme mevcuttur. Rampa tipleri direkt ve kademeli olarak ikiye ayrılır. Direkt rampalarda hız değeri 300 RPM'den 1000 RPM'e herhangi bir ara hız değerinde durmadan çıkılır. Kademeli rampalarda ise 1000 RPM hız değerine sırasıyla 600 ve 800 RPM hızlarında birer dakika durularak çıkılır. Yapılan deneyler 3 farklı yük durumu için her birine en iyi performanslarını veren ikişer rampa tipi ve ivmesi bulunmuştur. Daha sonraki aşama ise makine içerisindeki yükleme durumunu bilip bu yükleme durumuna göre makinanın otomatik olarak sıkma profilini kendisinin belirlemesidir. Bunun için yük algılanma testleri yapılmıştır. Amaç içerideki yük durumu herhangi bir ekstra sensör kullanılmadan makinanın kendi koşulları içerisinde belirli bir profildeki hız - akım dalgalanmaları ve belirli bir hız değerinden serbest iniş sürelerine bakılarak bulunmasıdır. Elde edilen sonuçlar ışığında makina içerisindeki toplam yük 3, dengesizlik ise 4 farklı gruba ayrılabilmiştir. Dengesizlik değeri ± 75 gr tolerans aralığı ile ölçülebilmektedir. Bu işlemler deneysel sonuçlara bakılarak bir bulanık mantık algoritması oluşturularak yapılmıştır. Bu bulanık mantık algoritması MATLAB üzerinden yazılmıştır.

MATLAB üzerinden elde edilen sonuçlar ile Dymola arasında bağlantı kurularak verilen girdilere göre dinamik model üzerinde bulunan dengeli-dengesiz yük ve sıkma profili sonuçları otomatik olarak Dymola'ya aktarılır. Dymola programında çamaşır makinesi modeli oluşturulmuştur. Bağlantı MATLAB üzerinde belirlenen ortalama hız, akım ve iniş süreleri değerleri girilerek yapılmaktadır. Elde edilen değerler ile Dymola otomatik olarak çalışırken MATLAB'tan aldığı dengeli-dengesiz yük değerlerini yerleştirir ve seçilen sıkma adımını uygular. Bu dinamik analiz ile makinede adaptif sıkma profili ile oluşan üç eksenli kritik deplasmanlar incelenmektedir.

Dengesiz yük değerleri MATLAB bulanık mantık algoritması ile elde edilirken aynı zamanda Dymola'da bir başka yöntem olan çamaşır makinesi modelinde tambur hız sapmaları sonucundan da elde edilebilmektedir.

Çalışmada modelleme konusuna önem verilmesinin sebebi sonraki süreçlerdeki Arçelik A.Ş. bünyesinde yapılan deney yükünü azaltmaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Rischke, A., Rahfoth, A. R. J. & See, L. (2016). *European Patent No. WO 2016180608 (A1)*. European Patent Office.
- [2] Leitert, A., Mcallister K. D. (2016). *European Patent No. US 2016305058 (A1)*. European Patent Office.
- [3] Obregon, R. (2015). *European Patent No. US 2015000047 (A1)*. European Patent Office.
- [4] Wolfgang, H. (2006). *European Patent No. EP1645676 (A2)*. European Patent Office.
- [5] Colombo, D., Francesco ve diğ. (2010). *European Patent No. EP2148430 (A1)*. European Patent Office.
- [6] Yasunori, K. (2013). *European Patent No. JP2013118897(A)*. European Patent Office.
- [7] Kyunghoon, K. (2016). *European Patent No. US2016237610 (A1)*. European Patent Office.
- [8] Chen, H. W., Zhang, Q. J., Wu, X. Q. 2015. Stability and dynamic analyses of a horizontal axis washing machine with a ball balancer. *Mechanism and Machine Theory*, 87, 131-149. doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2015.01.001
- [9] Chen, H. W., Ji, W. X., Zhang, Q. J., Cao, Y. & Fan, S. Y. 2011. A method for vibration isolation of a vertical axis automatic washing machine with a hydraulic balancer. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26(2), 335-343. doi: 10.1007/s12206-011-0812-2
- [10] Papadopoulos, E., Papadimitriou, I. (2001). Modeling, Design and Control of a Portable Washing Machine during the Spinning Cycle, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings, Como, Italy, 2001.
- [11] Mahmud, A., Mondragon, E. C. (2010). *Optimization of load distribution in washing machines using bio-inspired computational methods*. (Unpublished master's thesis). Chalmers University Of Technology, Göteborg, Sweden.
- [12] Oo, K. T., Soe, T. Z. (2016). Operation system of washing machine with fuzzy logic control system and construction of detergent box. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, 5(9).
- [13] Demetgöl, M., Ulkir, O., Waqar, T. (2014). Washing machine using fuzzy logic. *Automation, Control and Intelligent Systems*, 2(3), 27-32. doi: 10.11648/j.acis.20140203.11

- [14] **Boyraz, P., Gündüz M.** (2013). Dynamic modeling of a horizontal washing machine and optimization of vibration characteristics using genetic algorithms. *Mechatronics*, 23(6), 581-593. doi: 10.1016/j.mechatronics.2013.05.006
- [15] **Yörükoğlu, A., Altuğ, E.** (2009). Determining the mass and angular position of the unbalanced load in horizontal washing machines. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. Singapore, July 14-17, 2009.
- [16] **F. Donida, G. Ferretti, F. Schiavo.** (2006). Modelling and simulation of a washing machine, ANIPLA International Congress on Methodologies for Emerging Technologies in Automation, Rome, November 13-15, 2006.
- [17] **Dr. Zimmer, D.** (2014). Virtual Physics Equation-Based Modeling [pdf]. Retrieved from:[http://rmc.dlr.de/sr/en/staff/dirk.zimmer/Virtual Physics](http://rmc.dlr.de/sr/en/staff/dirk.zimmer/Virtual%20Physics)
- [18] **Yörükoğlu, A., Altuğ, E.** (2009). Determining the mass and angular position of the unbalanced load in horizontal washing machines. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. Singapore, July 14-17, 2009.

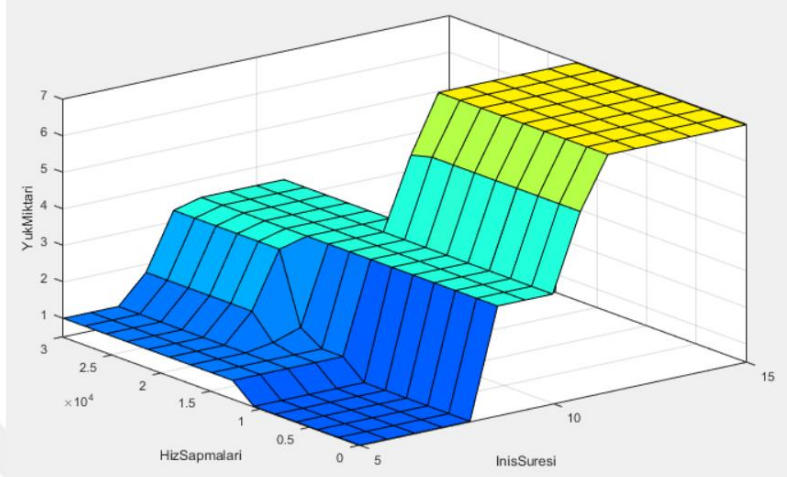
EKLER

EK A : Bulanık Mantık Algoritması

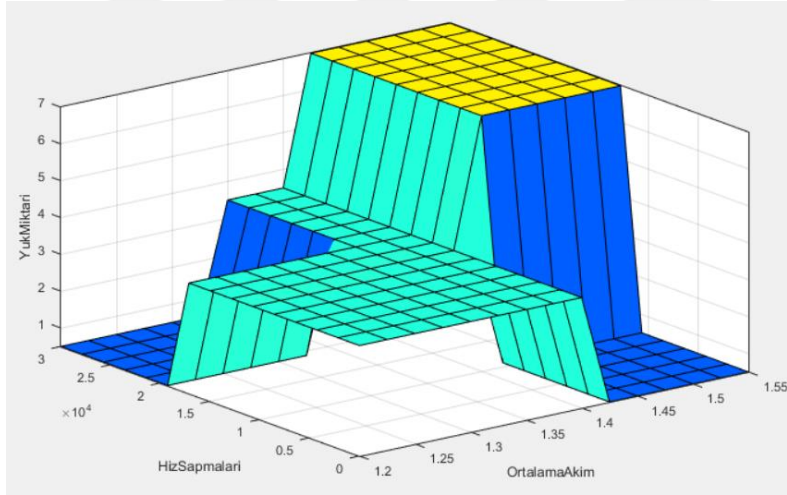
EK B : Amortisör Modeli Modelica Kodları Ve Çeşitli Bulanık Mantık Algoritmaları



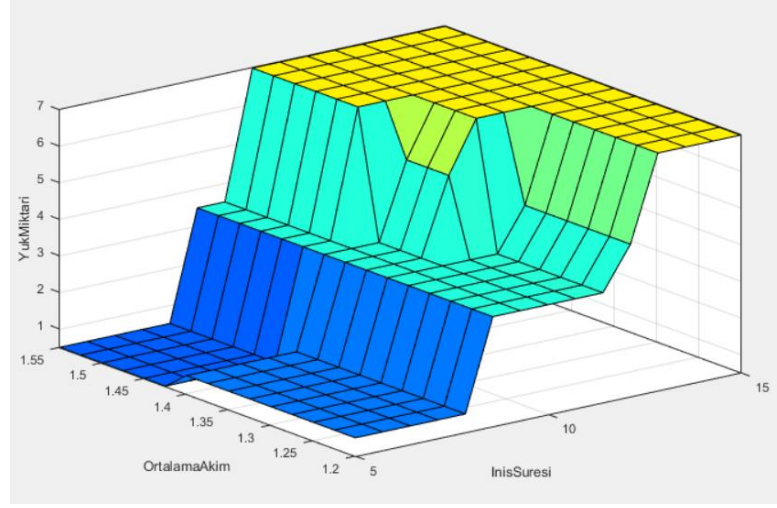
EKA



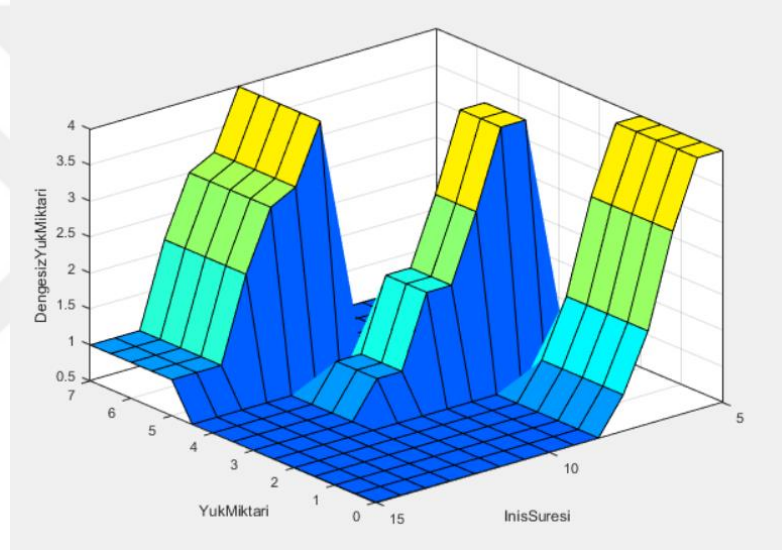
Şekil A.1 : Hız Sapmaları, İnş Süresi ve Yük Miktarının 3 Boyutlu Uzay Grafiği.



Şekil A.2 : Hız Sapmaları, Ortalama Akım ve Yük Miktarının 3 Boyutlu Uzay Grafiği.



Şekil A.3 : Ortalama Akım, İniş Süresi ve Yük Miktarının 3 Boyutlu Uzak Grafiği.



Şekil A.4 : Yük Miktarı, İniş Süresi ve Dengesiz Yük Miktarının 3 Boyutlu Uzak Grafiği.

EK B : Amortisör Modeli Modelica Kodları Ve Çeşitli Bulanık Mantık Algoritmaları

EK B.1 : Amortisör Modeli Modelica Kodu

$$x_{itere} := x - \frac{x_{max}}{2} - \frac{x_{min}}{2}$$

$$x_{itere} := x_{itere} * \frac{2}{x_{max} - x_{min}}$$

eğer $x_{itere} > 1$ ise

$$y := 1$$

değil $x_{itere} < -1$ ise

$$y := -1$$

değil ise

$$y := -0.5 * x_{itere}^3 + 1.5 * x_{itere}$$

eğerin sonu

$$y := y * \frac{y_{max} - y_{min}}{2}$$

$$y := y + \frac{y_{max}}{2} + \frac{y_{min}}{2}$$

eğer $x > x_{max}$ ise

$$y := s_fonksiyonu(x_{adezyon}, x_{kayma}, y_{adezyon}, y_{kayma}, v_{bağıl})$$

eğer $x < -x_{max}$

$$y := s_fonksiyonu(-x_{adezyon}, -x_{kayma}, -y_{adezyon}, -y_{kayma}, v_{bağıl})$$

değil ise

$$y := s_fonksiyonu(-x_{adezyon}, x_{kayma}, -y_{adezyon}, y_{kayma}, v_{bağıl})$$

EK B.2 : Yük Algılama Matlab Bulanık Mantık Algoritması

```
%Yük Algılama Fuzzy Logic Algoritması
```

```
[System]
Name='Yük Algılama'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=3
NumOutputs=1
NumRules=36
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]
Name='InisSuresi'
Range=[5 15]
NumMFs=6
MF1='CokDusuk':'trapmf',[0 0 6 8]
MF2='Dusuk':'trimf',[7 7.75 8.5]
MF3='OrtaDusuk':'trimf',[8 9 10]
MF4='OrtaYukse':'trimf',[9.5 10.25 11]
MF5='Yukse':'trimf',[10 11.25 12.5]
MF6='CokYukse':'trapmf',[12 13 15 15]

[Input2]
Name='OrtalamaAkim'
Range=[1.2 1.55]
NumMFs=3
MF1='Dusuk':'trapmf',[1 1.2 1.3 1.35]
MF2='Orta':'trimf',[1.325 1.375 1.425]
MF3='Yukse':'trapmf',[1.4 1.45 1.55 1.6]

[Input3]
Name='HizSapmalari'
Range=[0 30000]
NumMFs=3
MF1='Az':'trapmf',[0 0 9000 12000]
MF2='Orta':'trimf',[11000 14500 18000]
MF3='Cok':'trapmf',[17000 20000 30000 30000]

[Output1]
Name='YükMiktari'
Range=[0 1]
NumMFs=3
```

```
MF1='Ceyrek': 'constant', [1]
MF2='Yarim': 'constant', [3.5]
MF3='Tam': 'constant', [7]
```

```
[Rules]
```

```
6 1 1, 3 (1) : 1
6 2 1, 3 (1) : 1
6 3 1, 3 (1) : 1
6 1 2, 3 (1) : 1
6 2 2, 3 (1) : 1
6 3 2, 3 (1) : 1
5 1 1, 2 (1) : 1
5 2 1, 3 (1) : 1
5 1 2, 2 (1) : 1
5 2 2, 3 (1) : 1
5 3 2, 3 (1) : 1
5 3 3, 3 (1) : 1
4 1 1, 2 (1) : 1
4 2 1, 2 (1) : 1
4 1 2, 2 (1) : 1
4 2 2, 2 (1) : 1
4 3 2, 3 (1) : 1
4 2 3, 2 (1) : 1
4 3 3, 3 (1) : 1
3 1 1, 1 (1) : 1
3 2 1, 2 (1) : 1
3 1 2, 2 (1) : 1
3 2 2, 2 (1) : 1
3 3 2, 2 (1) : 1
3 2 3, 2 (1) : 1
3 3 3, 2 (1) : 1
2 1 1, 1 (1) : 1
2 1 2, 1 (1) : 1
2 2 2, 1 (1) : 1
2 2 3, 2 (1) : 1
2 3 3, 2 (1) : 1
1 1 1, 1 (1) : 1
1 1 2, 1 (1) : 1
1 2 2, 1 (1) : 1
1 2 3, 1 (1) : 1
1 3 3, 1 (1) : 1
```

EK B.3 : Dengesiz Yük Algılama Matlab Bulanık Mantık Algoritması

```
%Dengesiz Yuk Algılama Fuzzy Logic Algoritmasi
```

```
[System]
Name='DengesizYukAlgılama'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=12
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]
Name='YukMiktari'
Range=[0 7]
NumMFs=3
MF1='Ceyrek':'trapmf',[0 0 2 2.5]
MF2='Yarim':'trimf',[2.5 3.5 4.5]
MF3='Tam':'trapmf',[4.5 5 7 8]

[Input2]
Name='InisSuresi'
Range=[5 15]
NumMFs=10
MF1='1':'trapmf',[4 5 5.5 6.5]
MF2='2':'trimf',[6 6.5 7]
MF3='3':'trimf',[6.5 7 7.5]
MF4='4':'trimf',[7 7.75 8.5]
MF5='5':'trimf',[8 8.5 9]
MF6='6':'trimf',[8.5 9.5 10.5]
MF7='7':'trimf',[10 10.75 11.5]
MF8='8':'trimf',[11 12 13]
MF9='9':'trimf',[12.5 13 13.5]
MF10='10':'trapmf',[13 13.5 15 15]

[Output1]
Name='DengesizYukMiktari'
Range=[0 1]
NumMFs=4
MF1='Dusuk':'constant',[1]
MF2='Orta':'constant',[2]
MF3='Yuksek':'constant',[3]
MF4='CokYuksek':'constant',[4]
```

[Rules]

1 1, 4 (1) : 1
1 2, 3 (1) : 1
1 3, 2 (1) : 1
1 4, 1 (1) : 1
2 4, 4 (1) : 1
2 5, 3 (1) : 1
2 6, 2 (1) : 1
2 7, 1 (1) : 1
3 7, 4 (1) : 1
3 8, 3 (1) : 1
3 9, 2 (1) : 1
3 10, 1 (1) : 1



EK B.4 : Dengesiz Yük Algılama Matlab Bulanık Mantık Algoritması

```
%Sikma Profilleri
```

```
ProfilTam = xlsread('Profiller', 'KR15', 'A2:B13');  
ProfilYarim = xlsread('Profiller', 'KR10', 'A2:B13');  
ProfilCeyrek = xlsread('Profiller', 'KR15', 'A2:B13');  
syms Profil;
```

```
%Algoritma Arayuzu
```

```
fis1 = readfis('Yuk Algilama.fis');  
fis2 = readfis('DengesizYukAlgilama.fis');  
InisSuresi = input('Inis Zamani Gir =');  
OrtalamaAkim = input('Ortalama Akim Degeri Gir =');  
HizSapmalari = input('Hiz Sapma Değerini Gir =');  
YukMiktari = evalfis([InisSuresi OrtalamaAkim HizSapmalari], fis1);  
DengesizYukMiktari = evalfis([YukMiktari InisSuresi], fis2);
```

```
if YukMiktari<2.5  
    YukMiktari='Ceyrek Yuk'  
    Profil = ProfilCeyrek;
```

```
elseif YukMiktari>4.5  
    YukMiktari='Tam Yuk'  
    Profil = ProfilTam;
```

```
else  
    YukMiktari='Yarim Yuk'  
    Profil = ProfilYarim;
```

```
end
```

```
if DengesizYukMiktari==1  
    DengesizYukMiktari='Dusuk'
```

```
elseif DengesizYukMiktari==2  
    DengesizYukMiktari='Orta'
```

```
elseif DengesizYukMiktari==3  
    DengesizYukMiktari='Yukse'
```

```
elseif DengesizYukMiktari==4  
    DengesizYukMiktari='CokYukse'
```

```
end
```

```
xlswrite('MatlabExportDataRpmProfile.xlsx', Profil, 'Sayfa1');
```



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : İpek Terzioğlu
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.03.1992 - Eskişehir
E-posta : terzioglui@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakóltesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016 yılında Arçelik A.Ş.'de çalışmaya başladı.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Canbay D. E., Yolal E., Şahan Ö. F. , Terzioğlu İ., Sezer V.** (2017). Design and implementation of fire fighter autonomous robot. Paper presented at Türk Otomatik Kontrol, İstanbul.