

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA DENGESİZLİĞİN
ALGILANMASI KONUM VE MİKTARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Selçuk ÇELİKEL

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Makine Dinamiği, Titreşim&Akustiği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA DENGESİZLİĞİN ALGILANMASI KONUM
VE MİKTARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selçuk ÇELİKEL

503061413

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04 MAYIS 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 09 HAZİRAN 2010

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kenan Yüce ŞANLITÜRK

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. H. Temel BELEK

Prof. Dr. Zahit MECİTOĞLU

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışması SAN-TEZ kapsamında yapılmıştır. Bu sebeple çalışmanın yapılması için maddi kaynak sağlayan SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI ‘na ve ARÇELİK A.Ş. ‘ye teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının danışmanı olan değerli hocam Prof. Dr. Kenan Y. ŞANLITÜRK’e verdiği tavsiyeler, yaptığı olumlu eleştiriler ve bu çalışmaya yön veren düşünceleri için teşekkür ederim.

Çalışmanın yapılması için imkan sağlayan ve desteğini esirgemeyen ARÇELİK A.Ş. ARGE Titreşim ve Akustik Teknolojileri Ailesi lideri Sn. Metin GÜL ‘e, ARGE mühendisleri Sn. Aleks KUYUMCUOĞLU ve Sn. Ahmet A. USLU ‘ya ve çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen tüm bölüm çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili arkadaşlarım Sn. Araş. Gör. Hasan KÖRÜK ‘e, Sn. Resul ŞAHİN’ e ve Sn. Gözde SOYGÜZEL ‘e çalışmam boyunca verdikleri destekten ötürü teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, elde ettiğim başarılarımı borçlu olduğum, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili AİLEME, yine bu günlere gelmemde emeği olan tüm HOCALARIMA ve tüm DOSTLARIMA teşekkür ederim.

MAYIS 2010

Selçuk ÇELİKEL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	V
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problem	1
1.2. Amaç	3
1.3. Kapsam.....	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI, TEORİ VE ÇAMAŞIR	
MAKİNALARINDA MEVCUT DURUMUN TESPİTİ	7
2.1. Giriş.....	7
2.2. Makinalarda Dengesizlik.....	8
2.2.1. Giriş.....	8
2.2.2. Dengesizliğin Titreşim Spektrumuna Etkisi	10
2.2.3. Dengesizlik Çeşitleri	10
2.2.3.1. Statik Dengesizlik	11
2.2.3.2. Moment Dengesizliği.....	12
2.2.3.3. Dinamik Dengesizlik	13
2.2.4. ISO Standart 1940: Rotor Sınıflandırması	13
2.2.5. ISO Standart 1940: Dengesizlik Nomogramı	14
2.3. Rijit Rotorlarda Dengesizliğin Konum ve Miktarının Belirlenmesi	16
2.3.1. Teorik Esaslar.....	16
2.3.2. Tek Düzlemde Dengesizlik	18
2.3.2.1. Tek Düzlemde Dengeleme Prosedürü	19
2.3.2.2. Deneme Kütlesinin Hesaplanması	21
2.3.2.3. Vektör Diyagramının Çizimi	21
2.3.2.4. Tek Düzlemde Dengeleme Teorisi	23
2.3.3. İki Düzlemde Dengesizlik.....	24
2.3.3.1. İki Düzlemde Dengeleme Prosedürü	24
2.3.3.2. İki Düzlemde Dengeleme Teorisi	26
2.4. Mevcut Çamaşır Makinalarındaki Durum.....	27
2.4.1. Giriş.....	27
2.4.2. Birinci Deneğin İncelenmesi.....	31
2.4.3. İkinci Deneğin İncelenmesi.....	36
2.4.4. Üçüncü Deneğin İncelenmesi	40
2.4.5. Dördüncü Deneğin İncelenmesi.....	46
2.4.6. Beşinci Deneğin İncelenmesi.....	49

2.4.7. Deneklerin Karşılaştırılması.....	53
2.5. Çamaşır Makinalarının Dengelenmesine Yönelik Patent Araştırması Özeti	56
3. ÇAMAŞIR MAKİNASI İÇİN TEORİK MODEL GELİŞTİRİLMESİ.....	59
3.1. Giriş.....	59
3.2. Teorik Model Geliştirilmesi	61
3.2.1. Giriş.....	61
3.2.2. Teorik Modeli Oluşturacak Gruplar ve Parçalar	61
3.2.3. Teorik Modelin Oluşturulması	62
3.3. Model Parametrelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi.....	69
3.3.1. Giriş.....	69
3.3.2. Ölçüm Düzenegi.....	69
3.3.3. Ölçüm Parametrelerinin Belirlenmesi.....	71
3.3.3.1. Deplasman ve İvme Verilerinin Karşılaştırılması.....	71
3.3.3.2. İvmeölçer Tipinin Belirlenmesi	77
3.3.4. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	78
3.4. Modelin Bilinen Dengesiz Yüklerle Sınanması Düzeltilmesi	89
3.4.1. Giriş.....	89
3.4.2. Teorik Model ile Deneysel Verilerin Karşılaştırılması	89
3.4.3. Teorik Modelin Düzeltilmesi ve Deneysel Verilerle Karşılaştırılması	95
3.5. Çamaşır Makinası Toplu Parametre Modeli.....	103
3.5.1. Giriş.....	103
3.5.2. Teorik Modelin Oluşturulması	103
3.5.2.1. Giriş.....	103
3.5.2.2. Hareket Denklemleri	107
3.5.2.3. Zorlanmış Titreşimler	111
3.5.3. Sonuçlar.....	115
4. ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA DENGESİZLİĞİN ALGILANMASI...	121
4.1. Giriş.....	121
4.2. Dengesizliği Algılama Metodlarının Detaylı olarak İncelenmesi	121
4.2.1. Giriş.....	121
4.2.2. İvmeölçer.....	121
4.2.3. Deplasman Ölçer	122
4.2.4. Kuvvet Ölçer	123
4.2.5. Gerinim Sensörü (Strain Gauge).....	123
4.3. Çamaşır Makinalarında Dengesizliğin ve Açısız Konumun Algılanması.	126
4.3.1. Giriş.....	126
4.3.2. Dengesizlik Algılama Yönteminin Geliştirilmesi	126
4.3.3. Dengesizliğin Algılanması ve Konumunun Belirlenmesi İçin Prototip Geliştirilmesi	135
4.3.4. Geliştirilen Yöntemin Makina Üzerinde Denenmesi ve Doğrulanması	137
4.3.4.1. Giriş.....	137
4.3.4.2. Yay Sensörü Kullanılarak Dengesizliğin Algılanması ve Konumunun Belirlenmesi	139
4.3.4.3. Kuvvet Sensörü Kullanılarak Dengesizliğin Algılanması ve Konumunun Belirlenmesi	141
4.3.4.4. Deplasman Sensörü Kullanılarak Dengesizliğin Algılanması ve Konumunun Belirlenmesi	147

5. ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA DENGESİZLİĞİN KONUM VE MİKTARININ BELİRLENMESİ	151
5.1. Giriş	151
5.2. Dengesizliğin Belirlenmesi ve Alternatiflerin Kıyaslanması	151
5.2.1. Giriş.....	151
5.2.2. Tek Düzlemde Ölçüm Alınarak Dengesizliğin Belirlenmesi.....	152
5.2.2.1. Sabit Frekans Metodu ile Dengesizliğin Miktarının Belirlenmesi	152
5.2.2.2. Sabit Genlik Metodu ile Dengesizliğin Miktarının Belirlenmesi	155
5.2.2.3. Teorik Model Kullanılarak Dengesizliğin Miktarının Belirlenmesi	157
5.2.3. Birden Çok Düzlemde Dengesizliğin Belirlenmesi	160
5.3. Çamaşır Makinalarına Özel Açısal Konum Algılama Yönteminin Geliştirilmesi	167
5.3.1. Giriş.....	167
5.3.2. Özel Açısal Konum Algılama Sensörü ve Özellikleri	167
5.3.3. Özel Açısal Konum Algılama Sensörünün Mevcut Lazer Takometre ile Karşılaştırılması	169
5.3.4. Geliştirilen Açısal Konum Algılama Sensörünün Çamaşır Makinasına Uygulanması	171
6. GENEL DEĞERLENDİRME VE İLERİDE YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR	175
6.1. Genel Değerlendirme	175
6.2. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar.....	177
KAYNAKLAR	179
ÖZGEÇMİŞ.....	183

KISALTMALAR

FTF	: Frekans Tepki Fonksiyonu
A.Ş.	: Anonim Şirket
ISO	: International Standards Organization

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Avrupa’da beyaz eşya üretimi	2
Çizelge 2.1: ISO 1940 Rotor sınıflandırması örnekleri	14
Çizelge 2.2: Denek çamaşır makinalarının bazı genel özellikleri	30
Çizelge 2.3: Titreşimi azaltma görevi üstlenen bazı elemanların özellikleri.....	31
Çizelge 2.4: Motor özellikleri.....	31
Çizelge 2.5: Denek 1 için sıkma çizelgesi	35
Çizelge 2.6: Denek 2 için sıkma çizelgesi	38
Çizelge 2.7: Denek 3 için sıkma çizelgesi	43
Çizelge 2.8: Denek 4 için sıkma çizelgesi	47
Çizelge 2.9: Denek 5 için sıkma çizelgesi	51
Çizelge 2.10: Deneklerde mevcut sensör tipleri ve dengesizlik algılama kabiliyetleri	54
Çizelge 2.11: Sıkma yapılabilen maksimum dengesiz yükler	54
Çizelge 3.1: Çamaşır makinası parçaları ve kütleleri	62
Çizelge 3.2: Deplasman ve ivme parametrelerinin karşılaştırılması	72
Çizelge 3.3: 100g için A/F-Frekans-Faz çizelgesi.....	84
Çizelge 3.4: 200g için a/F-Frekans-Faz çizelgesi.....	85
Çizelge 3.5: 300g için A/F-Frekans-Faz çizelgesi.....	87
Çizelge 3.6: 400g için A/F-Frekans-Faz çizelgesi.....	88
Çizelge 3.7: Sönümsüz ve sönümlü modelin doğal frekansları.....	116
Çizelge 5.1: ADAMS modeli kullanılarak dengesiz kütleün hesaplanması.....	160
Çizelge 5.2: Ön genlik çizelgesi (Titreşim genlikleri: mm)	162
Çizelge 5.3: Orta genlik çizelgesi (Titreşim genlikleri: mm).....	162
Çizelge 5.4: Arka genlik çizelgesi (Titreşim genlikleri: mm)	163
Çizelge 5.5: φ_1 çizelgesi	164
Çizelge 5.6: φ_2 çizelgesi	164

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Yıllara göre Arçelik tarafından üretilen çamaşır makinası sayısı (milyon), 2008 rakamları tahmini miktarı.....	1
Şekil 1.2: Bir çamaşır makinasında dengesiz yük olmadan ve dengesiz yük ile ölçülen titreşim spektrumları.	3
Şekil 2.1: Titreşim sınıflandırılması	9
Şekil 2.2: Örnek bir rotorda dengeleme yapılmadan önceki titreşim spektrumu	10
Şekil 2.3: Örnek bir rotorda dengeleme yapıldıktan sonra titreşim spektrumu	10
Şekil 2.4: Statik dengesizlik	12
Şekil 2.5: Moment dengesizliği	12
Şekil 2.6: Dinamik dengesizlik.....	13
Şekil 2.7: Dengesizlik nomogramı	15
Şekil 2.8: Ayrıntılı bir dengesizlik nomogramı örneği	15
Şekil 2.9: Dönen katı cisim.....	17
Şekil 2.10: Tek düzlemde dengeleme düzeneği	19
Şekil 2.11: Dengeleme prosedürünün şematik olarak gösterilişi.....	20
Şekil 2.12: Vektör diyagramı çizimi	23
Şekil 2.13: İki düzlemde dengeleme düzeneği.....	25
Şekil 2.14: (a)Tambur ek yeri, (b) dengesiz yük pozisyonu.....	28
Şekil 2.15: Ölçüm düzeneği.....	29
Şekil 2.16: İvmeölçer bağlantı noktaları.....	30
Şekil 2.17: Birinci deneğin önden görünüşü.....	32
Şekil 2.18: Birinci deneğin üstten görünüşü.....	32
Şekil 2.19: Birinci deneğin üstten görünüşü.....	33
Şekil 2.20: Birinci deneğin arkadan görünüşü.....	34
Şekil 2.21: Çamaşır makinasının üstten görünüşü.....	34
Şekil 2.22: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı.....	35
Şekil 2.23: İkinci deneğin önden görünüşü	36
Şekil 2.24: İkinci deneğin üstten görünüşü.....	36
Şekil 2.25: İkinci deneğin arkadan görünüşü	37
Şekil 2.26: Pompa ve sönüm elemanı bağlantıları	37
Şekil 2.27: İkinci deneğin üstten görünüşü.....	38
Şekil 2.28: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı, (d) 400g dengesiz yük bağlı, (e) 500g dengesiz yük bağlı, (f) 600g dengesiz yük bağlı, (g) 700g dengesiz yük bağlı	39
Şekil 2.29: Üçüncü deneğin önden görünüşü	40
Şekil 2.30: Üçüncü deneğin üstten görünüşü	41
Şekil 2.31: Üçüncü deneğin arkadan ve yandan görünüşü	41
Şekil 2.32: Yay ve sönüm elemanı bağlantıları	42
Şekil 2.33: Motor ve kasnak	42

Şekil 2.34: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı, (d) 400g dengesiz yük bağlı, (e) 500g dengesiz yük bağlı, (f) 600g dengesiz yük bağlı, (g) 700g dengesiz yük bağlı, (h) 800g dengesiz yük bağlı, (i) 900g dengesiz yük bağlı, (j) 1000g dengesiz yük bağlı, (k) 1100g dengesiz yük bağlı, (l) 1200g dengesiz yük bağlı, (m) 1300g dengesiz yük bağlı, (n) 1400g dengesiz yük bağlı, (o) 1500g dengesiz yük bağlı.....	45
Şekil 2.35: Dördüncü deneğin önden görünüşü.....	46
Şekil 2.36: Dördüncü deneğin üstten görünüşü	46
Şekil 2.37: Dördüncü deneğin arkadan görünüşü	46
Şekil 2.38: Dördüncü deneğin üstten görünüşü	47
Şekil 2.39: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı, (d) 400g dengesiz yük bağlı, (e) 500g dengesiz yük bağlı.	48
Şekil 2.40: Beşinci deneğin önden görünüşü.....	49
Şekil 2.41: Beşinci deneğin üstten görünüşü	50
Şekil 2.42: Beşinci deneğin arkadan görünüşü.....	50
Şekil 2.43: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı, (d) 400g dengesiz yük bağlı, (e) 500g dengesiz yük bağlı, (f) 600g dengesiz yük bağlı, (g) 700g dengesiz yük bağlı, (h) 800g dengesiz yük bağlı, (i) 900g dengesiz yük bağlı, (j) 1000g dengesiz yük bağlı, (k) 1100g dengesiz yük bağlı, (l) 1200g dengesiz yük bağlı	53
Şekil 2.44: Dikey Yöndeki Deplasman- Yük Miktarı Grafiği.....	55
Şekil 2.45: Dikey Yöndeki Deplasman- Yük Miktarı Grafiği.....	55
Şekil 3.1: Teorik yaklaşımla sistemin değişik türden modellerinin ortaya konması .	60
Şekil 3.2: Deneysel yaklaşımla model uzaysal modelin oluşturması	60
Şekil 3.3: Çamaşır makinası kazanının modellenmesi	63
Şekil 3.4: Çamaşır makinası tamburunun modellenmesi.....	64
Şekil 3.5: Kazan ve tamburun eş eksenli dönme yapması için mafsallı modellenmesi	64
Şekil 3.6: Tamburun kazan içerisinde dönmesi için hareketin modellenmesi.....	65
Şekil 3.7: Çamaşır makinası askı yaylarının modellenmesi	65
Şekil 3.8: Çamaşır makinası körüğünün modellenmesi.....	66
Şekil 3.9: Çamaşır makinası amortisörlerinin modellenmesi	67
Şekil 3.10: Dengesiz yükün modellenmesi.....	67
Şekil 3.11: Dengesiz yükün tambura sabitlenmesinin modellenmesi.....	68
Şekil 3.12: Teorik model	68
Şekil 3.13: Ölçüm düzeneği	69
Şekil 3.14: (a) Varyak, (b) ivmeölçerler ve pozisyonları, (c) charge tipi yükselteç, (d) analizör ve bilgisayar, (e) lazer takometre, (f) çamaşır makinesinin arkadan görünüşü, (g) Takometre için ışık yansıtıcı şerit.....	70
Şekil 3.15: Dengesiz kütlelerin montaj şekli ve pozisyonu	71
Şekil 3.16: Deplasman-frekans grafiği	73
Şekil 3.17: 200g Dengesiz yük altında 11.8 Hz deki deplasman sinyali	73
Şekil 3.18: 200g Dengesiz yük altında 11.9 Hz deki deplasman sinyali	74
Şekil 3.19: 200g Dengesiz yük altında 12.1 Hz deki deplasman sinyali	74
Şekil 3.20: 200g Dengesiz yük altında 19.8 Hz deki deplasman sinyali	74
Şekil 3.21: İvme-frekans grafiği	75
Şekil 3.22: 200g Dengesiz yük altında 11.8 Hz deki ivme sinyali	75
Şekil 3.23: 200g Dengesiz yük altında 11.9 Hz deki ivme sinyali	76
Şekil 3.24: 200g Dengesiz yük altında 12.1 Hz deki ivme sinyali	76

Şekil 3.25: 200g Dengesiz yük altında 12.1 Hz deki, (a) charge tipi, (b) CCLD tipi ivmeölçerlerden toplanan veriler	78
Şekil 3.26: 100g Dengesiz yük altında, (a) zaman ekseninde ölçümlen sinyallerinin genel görünüşü, (b) genel ölçümün 1 saniyesine zoom yapılmış görüntüsü	79
Şekil 3.27: Sinyal koşullandırıcının ivme sinyalini 180° çevirmesi	80
Şekil 3.28: Frekans ekseninde, (a) ivme, (b) takometre sinyallerinin görünüşü	80
Şekil 3.29: Faz bilgisinin okunması	81
Şekil 3.30: 100g Dengesiz yük altında, doğal frekansta, (a)ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiği, (b) frekans ekseninde ivme sinyalinin görünüşü	82
Şekil 3.31: Harmonik titreşim durumunda kuvvet, deplasman ve ivme sinyalleri. a) takrik frekansının doğal frekansdan küçük olması durumu, b) tahrik frekansın doğal frekansa eşit olması durumu, c) tahrik frekansının doğal frekansdan çok yüksek olması durumu	83
Şekil 3.32: 100g için Frekans Tepki Fonksiyonu ve faz açısı grafiği	85
Şekil 3.33: 200g için Frekans Tepki Fonksiyonu ve faz açısı grafiği	86
Şekil 3.34: 100g 1. kademe (a)ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiği, (b) ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiğinin zoom edilmiş şekli	86
Şekil 3.35: 200g 1. kademe (a)ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiği, (b) ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiğinin zoom edilmiş şekli	87
Şekil 3.36: 300g için Frekans Tepki Fonksiyonu ve faz açısı grafiği	88
Şekil 3.37: 400g için Frekans Tepki Fonksiyonu ve faz açısı grafiği	89
Şekil 3.38: 100g, 11.2 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)	90
Şekil 3.39: 200g, 10.7 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)	90
Şekil 3.40: 300g, 10.7 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)	91
Şekil 3.41: 400g, 10.6 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)	91
Şekil 3.42: 500g, 11 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)	91
Şekil 3.43: 100g için deneysel – teorik modelin Frekans Tepki Fonksiyonları	92
Şekil 3.44: 200g için deneysel – teorik Frekans Tepki Fonksiyonları	93
Şekil 3.45: 300g için deneysel – teorik Frekans Tepki Fonksiyonları	93
Şekil 3.46: 400g için deneysel – teorik Frekans Tepki Fonksiyonları	94
Şekil 3.47: 500g için deneysel – teorik Frekans Tepki Fonksiyonları	94
Şekil 3.48: (a) Düzeltilmiş teorik modelin genel görünüşü, (b) düzeltilmiş teorik modelin önden görünüşü, (c) düzeltilmiş teorik modelin yandan görünüşü.....	96
Şekil 3.49: 100g, 11.2 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik).....	97
Şekil 3.50: 200g, 10.7 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik).....	97
Şekil 3.51: 300g, 10.7 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik).....	98
Şekil 3.52: 400g, 10.6 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik).....	98

Şekil 3.53: 500g, 11 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. model teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik).....	99
Şekil 3.54: 100g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları.....	99
Şekil 3.55: 200g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları.....	100
Şekil 3.56: 300g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları.....	100
Şekil 3.57: 400g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları.....	101
Şekil 3.58: 500g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları.....	101
Şekil 3.59: 100g, 3.4 Hz (204 dev/dak) için, Düzeltilmiş teorik model verileriyle ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik).....	102
Şekil 3.60: 200g, 2.9 Hz (174 dev/dak) için, Düzeltilmiş teorik model verileriyle ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik).....	102
Şekil 3.61: 300g, 1.7 Hz (102 dev/dak) için, Düzeltilmiş teorik model verileriyle ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik).....	103
Şekil 3.62: Çamaşır makinasının kazan-tambur ve denge ağırlıklarının rijid bir kütle olarak basitleştirilmesi ve kullanılan koordinat sistemi	104
Şekil 3.63: Basitleştirilmiş çamaşır makinası modelinin önden görünüşü	105
Şekil 3.64: Basitleştirilmiş çamaşır makinesi modelinin yandan görünüşü	106
Şekil 3.65: Basitleştirilmiş çamaşır makinası modelinin üstten görünüşü	106
Şekil 3.66: Modele dengesiz yükün ilave edilmesi.....	112
Şekil 3.67: Çamaşır makinasına dengesiz yük uygulanması: önden görünüşü	113
Şekil 3.68: Çamaşır makinasına dengesiz yük uygulanması: yandan görünüş.....	114
Şekil 3.69: Çamaşır makinasına dengesiz yük uygulanması: üstten görünüş.....	114
Şekil 3.70: 100g dengesiz yük için sayısal ve deneysel orbitlerin karşılaştırılması.....	117
Şekil 3.71: 300g dengesiz yük için sayısal ve deneysel orbitlerin karşılaştırılması.....	117
Şekil 3.72: 500g dengesiz yük için sayısal ve deneysel orbitlerin karşılaştırılması.....	118
Şekil 4.1: Brüel & Kjaer DC İvmeölçer – Tip 4573.....	122
Şekil 4.2: HBM WA Plunger Deplasman ölçer	122
Şekil 4.3: HBM U9B Kuvvetölçer.....	123
Şekil 4.4: Tokyo Sokki Kenkyujo Strain Gauge.....	124
Şekil 4.5: Çeyrek wheatstone köprüsü.....	125
Şekil 4.6: Temsili çamaşır makinası ve dengesizliğin konum ve miktarının algılanması düzeneği	127
Şekil 4.7: Nyquist çizimi ile kuvvet ve deplasman arasındaki faz ilişkisinin gösterimi	127
Şekil 4.8: Tako sinyali ile sensör sinyalinin arasında 0 derece faz farkı olması durumu	129
Şekil 4.9: Dengesiz yük ile takometre yansıtıcısı arasında 0 derecelik faz farkı olması halinde elde edilecek sinyaller	129
Şekil 4.10: Dengesiz yük ile takometre yansıtıcısı arasında,dönme yönünde, 90 derecelik faz farkı olması halinde elde edilecek sinyaller.....	130
Şekil 4.11: Tako sinyali ile sensör sinyalinin arasında 90 derece faz farkı olması durumu	131
Şekil 4.12: Dengesiz yük ile takometre yansıtıcısı arasında,dönme yönünde, 180 derecelik faz farkı olması halinde elde edilecek sinyaller.....	132

Şekil 4.13: Tako sinyali ile sensör sinyalinin arasında 180 derece faz farkı olması durumu	132
Şekil 4.14: Dengesiz yük ile takometre yansıtıcısı arasında,dönme yönünde, 270 derecelik faz farkı olması halinde elde edilecek sinyaller	133
Şekil 4.15: Tako sinyali ile sensör sinyalinin arasında 270 derece faz farkı olması durumu	133
Şekil 4.16: Kuvvet sensörü ve gerinim sensörü in çamaşır makinasına uygulanması	134
Şekil 4.17: Gerinim sensörü ve askı yayı üzerine yapıştırılmış şekli	135
Şekil 4.18: (a) Prototipin denenmesi için hazırlanan test düzeneği, (b) prototip askı yayı.....	136
Şekil 4.19: (a) Prototipin denenmesi için hazırlanan test düzeneği, (b) Yay sensörüne 10 kg 'lık yükün uygulanması.....	136
Şekil 4.20: Yay sensöründen elde edilen statik veriler.....	137
Şekil 4.21: Yay sensöründen elde edilen dinamik veriler	137
Şekil 4.22: Deney Düzeneği	138
Şekil 4.23: Deney düzeneği elemanları, (a) varyak, (b) bilgisayar-analizör, (c) takometre yansıtıcısı, (d) lazer takometre, (e) kuvvet sensörü, (f) yay sensörü, (d) dengesiz yük ve pozisyonu	138
Şekil 4.24: Çamaşır makinasına dengesiz yük bağlanmamışken yay sensörlerinden alınan ölçüm, (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler	139
Şekil 4.25: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 0° olması durumunda elde edilen sinyal, , (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler	140
Şekil 4.26: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 90° olması durumunda elde edilen sinyal, , (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler	140
Şekil 4.27: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 180° olması durumunda elde edilen sinyal, (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler	140
Şekil 4.28: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 270° olması durumunda elde edilen sinyal, (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler	141
Şekil 4.29: Çamaşır makinasına dengesiz yük bağlanmamışken kuvvet sensörlerinden alınan ölçüm, (a) 1. ayaktan toplanan veriler , (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler	142
Şekil 4.30: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 0° olması durumunda elde edilen sinyal (a) 1. ayaktan toplanan veriler , (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler	143
Şekil 4.31: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 90° olması durumunda elde edilen sinyal (a) 1. ayaktan toplanan veriler , (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler	144
Şekil 4.32: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 180° olması durumunda elde edilen sinyal (a) 1. ayaktan toplanan veriler , (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler	145

Şekil 4.33: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 270° olması durumunda elde edilen sinyal (a) 1. ayaktan toplanan veriler, (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler	146
Şekil 4.34: (a) Deney düzeneği, (b) deplasman sensörü.....	147
Şekil 4.35: Deplasman sensörünün bağlantı şekli	148
Şekil 4.36: Çamaşır makinasında dengesiz yük yokken deplasman sensörlerinden alınan ölçüm	149
Şekil 4.37: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 0° olması durumunda elde edilen sinyal	149
Şekil 4.38: Dengesiz yük pozisyon ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 90° olması durumunda elde edilen sinyal	149
Şekil 4.39: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 180° olması durumunda elde edilen sinyal.....	150
Şekil 4.40: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 270° olması durumunda elde edilen sinyal	150
Şekil 5.1: (a) Deney düzeneği, (b) deplasman sensörü.....	152
Şekil 5.2: Deplasman sensörünün bağlantı şekli	153
Şekil 5.3: Deplasman ölçer kullanılarak elde edilen dengesiz kütle – deplasman grafiği	154
Şekil 5.4: Yay sensörü kullanılarak oluşturulan dengesiz kütle – gerinim eğrisi....	154
Şekil 5.5: Deplasman ölçer kullanılarak +/- 0,5mm deplasman oluşturulan dengesiz kütle – frekans eğrisi	156
Şekil 5.6: Gerinim ölçer kullanılarak oluşturulan dengesiz kütle – frekans eğrisi ..	156
Şekil 5.7: 500g için ivme/kuvvet – frekans grafiği.....	158
Şekil 5.8: Çamaşır makinasının teorik gösterilişi	161
Şekil 5.9: Z eksenı boyunca dengesizliğin belirlenebilmesi için hazırlanan ölçüm düzeneği	161
Şekil 5.10: Deplasman ölçer pozisyonlarının sembolik görünüşü.....	162
Şekil 5.11: Çamaşır makinasının teorik gösterilişi	164
Şekil 5.12: Birinci adım	165
Şekil 5.13: İkinci adım.....	165
Şekil 5.14: Üçüncü adım.....	166
Şekil 5.15: Dördüncü eleme.....	166
Şekil 5.16: Photomicrosensor çeşitleri.....	167
Şekil 5.17: Seçilen Photomicrosensor ve fiziksel özellikleri.....	168
Şekil 5.18: Photomicrosensor ve iç yapısı	168
Şekil 5.19: Photomicrosensor çalışma prensibi	168
Şekil 5.20: Karşılaştırma için hazırlanan ölçüm düzeneği	169
Şekil 5.21: (a) Lazer takometre sinyali, (b) photomicrosensor (ucuz tako) sinyali, (c) Ucuz tako-Lazer Tako karşılaştırılması	170
Şekil 5.22: (a) 108 dev/dak için, (b) 456 dev/dak için karşılaştırma	170
Şekil 5.23: Ucuz takonun kazan üzerine bağlantı şekli	171
Şekil 5.24: Ucuz takonun slot boşluğundan geçecek metal şeridin bağlantı şekli ..	172
Şekil 5.25: Ucuz takonun denenmesi için hazırlanan ölçüm düzeneği.....	172
Şekil 5.26: (a) Lazer takometreden toplanan veriler, (b) ucuz takodan toplanan veriler, (c) lazer-ucuz tako karşılaştırılması, (d) lazer takometrenin spekturumu, (e)Lazer takonun spekturumu (d) ucuz takonun spektrumu.....	173

Şekil 5.27: (a) Lazer-ucuz tako karşılaştırılması, (b) Kısa zaman aralığında karşılaştırma, (c) ucuz takonun spekturumu 174

SEMBOL LİSTESİ

A_0	:Dengesiz yükten dolayı meydana gelen titreşim genliği
A_1	:Deneme kütlesi eklendikten sonra meydana gelen titreşim genliği
a	:XY düzleminde yay bağlantı noktasının Y eksenine uzaklığı
b	:XY düzleminde yay bağlantı noktasının X eksenine uzaklığı
c	:XY düzleminde amortisör bağlantı noktasının Y eksenine uzaklığı
c_d	:Amortisör sönüm katsayısı
c_{d_x}	:Amortisör sönüm katsayısı X bileşeni
c_{d_y}	:Amortisör sönüm katsayısı Y bileşeni
c_{k_x}	:Körük sönüm katsayısı X bileşeni
c_{k_y}	:Körük sönüm katsayısı Y bileşeni
c_{k_z}	:Körük sönüm katsayısı Z bileşeni
d	:XY düzleminde amortisör bağlantı noktasının X eksenine uzaklığı
e	:Silindir boy uzunluğunun yarısı
f	:Yükün Z ekseninde cisim merkezine uzaklığı
F	:Kuvvet
k_a	:Askı yayı yay sabiti
k_{a_x}	:Askı yayı yay sabiti X bileşeni
k_{a_y}	:Askı yayı yay sabiti Y bileşeni
k_{k_x}	:Körük yay sabiti X bileşeni
k_{k_y}	:Körük yay sabiti Y bileşeni
k_{k_z}	:Körük yay sabiti Z bileşeni

k_{kb}	:Körük burulma yayı sabiti
k_{d_z}	:Amortisör yay sabiti Z bileşeni
M	:Dengesiz kütle
M	:Modelin kütlesi, Moment
m_t	:Deneme kütlesi
m_c	:Dengeleme kütlesi
q	:Genelleştirilmiş koordinat
Q	:Titreşim genliği
S_{ij}	:i. yataktaki titreşimlerin j. düzlemdeki dengesizliğe duyarlılığı/hassasiyeti
r	:Kazan-tambur takımının yarı çapı
$\vec{u}$	:Spesifik dengesizlik
x	:X eksenindeki genelleştirilmiş koordinat
y	:Y eksenindeki genelleştirilmiş koordinat
z	:Z eksenindeki genelleştirilmiş koordinat
α	:Frekans Tepki Fonksiyonu
ω	:Frekans
Ω	:Devir hızı
θ	:Z ekseni etrafındaki dönme açısı
φ	:X ekseni etrafındaki dönme açısı
β	:Y ekseni etrafındaki dönme açısı
Φ_0	:İlk durumda takometre sinyali ile titreşim sinyali arasında oluşan faz açısı
Φ_1	: Deneme kütlesi monte edildikten sonra takometre sinyali ile titreşim sinyali arasında oluşan faz açısı
Φ_c	: Dengeleme açısı

ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA DENGESİZLİĞİN ALGILANMASI KONUM VE MİKTARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Türkiye’deki çamaşır makinası üreticilerinin dünya pazarlarında oldukça kuvvetli rakipleri mevcuttur. Rekabet hem kalite ve ekonomik üretim hem de teknolojik alanda yapılmaktadır. Çamaşır makinalarında oluşan titreşimler bu makinaların gürültülü çalışmasına neden olmaktadır. Ayrıca, aşırı titreşimlere maruz kalan çamaşır makinaları daha sık arıza yapmakta ve bu makinaların ekonomik ömürleri azalmaktadır. Bunlara ilave olarak, çamaşır makinalarındaki titreşimlerin bu makinaları yürütebileceği bile bilinmektedir. Belirtilen sonuçlar bu makinaların rekabet gücünü azaltan en önemli unsurlar arasındadır.

Çamaşır makinalarında sözü edilen titreşimlerin en önemli kaynağı bu makinalarda yıkanan çamaşırların sıkılması esnasında oluşan dengesizliktir. Genel makinalarda dengesizlik ve dengesizliğin kabul edilebilir seviyelere düşürülme yöntemleri iyi biliniyor olmasına rağmen, bu problem çamaşır makinaları için henüz tatmin edici bir şekilde çözülememiştir. Çamaşır makinalarına özel yaklaşımların ve tekniklerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Türkiye’de üretilen çamaşır makinalarında hassasiyeti düşük olan bir dengesizlik algılanması yapılmaktadır. Eğer kabul edilebilir bir dengesizlik algılanmış ise istenen devirde sıkma işlemi gerçekleştirilmekte, değilse çamaşır tekrar karıştırılmakta ve dengesizlik seviyesi tekrar belirlenmeye çalışılmaktadır. Eğer dengesizlik kabul edilebilir seviyede değilse sıkma işlemi düşük bir devirde gerçekleştirilmekte ve istenen performans elde edilememektedir. Türkiye’de üretilen çamaşır makinalarında dengesizliğin konum ve miktarını belirlemeye yönelik bir işlem henüz yapılmamaktadır. Ancak, bu alanda yapılan patent taramalarından çamaşır makinalarındaki dengesizliğin algılanması ve kontrol edilmesine yönelik önemli araştırmaların yapılmakta olduğu anlaşılmaktadır. Yabancı bazı üreticilerin dengesizliğin daha hassas algılanmasına yönelik bazı uygulamalara başladığı da bilinmektedir.

Bu tez çalışmasının temel hedefi çamaşır makinalarındaki dengesizlik probleminin kontrol altına alınabilmesi için bir ön aşama olan dengesizliğin algılanması ve belirlenmesine yönelik ekonomik ve uygulanabilir araçlar geliştirmek, yerli üreticilerin dünyadaki rekabet güçlerini artırmalarına yardım etmektir. Önerilen araştırma çamaşır makinaları için aşağıda belirtilen 2 ana adımdan oluşmaktadır, *dengesizliğin algılanması, dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi*

Bu adımlar çamaşır makinalarındaki dengesizlik probleminin kontrol altına alınabilmesi için ön aşamaları oluşturmaktadır. Bu projedeki çalışmalar genellikle deneysel yöntemlere dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Ancak; teorik modelleme ve analiz metotları ve sinyal işleme teknikleri de etkin bir şekilde kullanılmıştır.

DETECTION AND IDENTIFICATION OF IMBALANCE IN WASHING MACHINES

SUMMARY

Washing machine manufacturers in Turkey have strong competitors in the world. The competition is in the areas of quality and economic manufacturing as well as in the technological field. Vibrations in washing machines cause these machines to generate noise. Also, washing machines subjected to severe vibrations break down more frequently and their economic life is reduced significantly. Furthermore, it is known that the vibrations in washing machines can even make these machines “walk”. These are some of the most important factors reducing the competitiveness of the washing machines.

The most important cause of vibrations in washing machines is due to the unbalance during the spinning cycle. Although the problem of unbalance in general machines and the methods for reducing the unbalance to acceptable levels are well known, the unbalance problem has not been solved satisfactorily for washing machines. There is a need for special approaches and techniques applicable to washing machines.

The accuracy of the method used for determining the level of unbalance in washing machines manufactured in Turkey is low. If the level of unbalance detected is within the acceptable limit, the spinning cycle is started with a prescribed speed. Otherwise the laundry in the washing machine is mixed once more and the level of unbalance is estimated again. If the level of unbalance is still too high, the spinning is performed at a lower speed, resulting in lower than expected performance. Nothing is done for the determination of the position and the amount of unbalance in washing machines manufactured in Turkey. However, patent search in this area imply that important research activities are currently undertaken abroad for the detection and controlling of unbalance in washing machines. It is also known that some foreign washing machine manufacturers have already started using some sensors in their machines for better detection of unbalance in their machines.

The main purpose of this thesis is to develop economical and applicable tools for the detection and identification of the unbalance in washing machines, hence, helping to increase the competitiveness of the washing machines manufactured in Turkey. The proposed research on washing machines has two main steps; *detection of the unbalance, determination of the position and the amount of unbalance.*

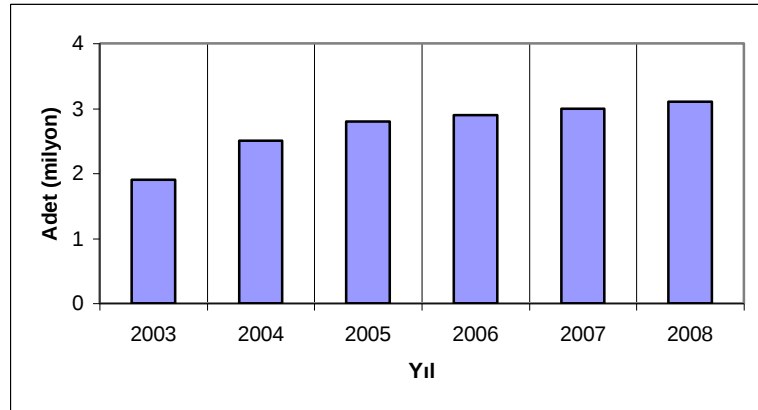
Developments of such tools are essential steps for controlling the unbalance in washing machines. The majority of the research work in this proposal based on experimental approach. However, theoretical modelling and analysis methods as well as signal processing techniques was used extensively.

1. GİRİŞ

Bu tez çalışması, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ve Arçelik A.Ş. tarafından desteklenen, 00053.STZ.2007-1 nolu ‘Çamaşır Makinalarında Dengesizliğin Algılanması Konum ve Miktarının Belirlenmesi’ başlıklı SAN-TEZ projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

1.1. Problem

Çamaşır makinası her evin vazgeçilmez beyaz eşyalarından biridir ve Türkiye bu makinaların üretimine yönelik olarak güçlü bir yerli sanayi sektörüne sahiptir. Örnek olarak Şekil 1.1 de Türkiye’deki en önemli beyaz eşya üreticilerinden biri olan Arçelik A.Ş.’nin son 2003–2008 yıllarında ürettiği çamaşır makinası sayısı gösterilmektedir. 2009 yılı için tahmini üretim miktarı 3 milyon civarındadır ve bu rakamın yaklaşık yarısı 100’ün üzerinde ülkeye ihraç edilmektedir.



Şekil 1.1: Yıllara göre Arçelik tarafından üretilen çamaşır makinası sayısı (milyon), 2008 rakamları tahmini miktarı

Aşağıda verilen Çizelge 1.1 de Avrupa’daki beyaz eşya üretiminin ürün ve ülkeler bazında miktarını göstermektedir [1]. Otomatik çamaşır makinalarının üretim sayıları dikkate alınırsa Türkiye’nin İtalya ve Almanya’dan sonra 3. sırada yer aldığı ve ülkemizin çamaşır makinası üretiminde güçlü bir sektöre sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.1: Avrupa’da beyaz eşya üretimi

2004 European Appliance Production (000s of units)										
	France	Germany	Italy	Poland	Russia	Slovenia	Spain	Sweden	Turkey	United Kingdom
Cooking Appliances*	1,700	3,800	9,000	1,200	500	900	2,960	—	1,400	1,400
Dishwashers	217	3,523	2,735	378	—	—	794	150	664	—
Dryers, Tumble	735	1,123	690	270	—	200	40	30	50	1,515
Refrigerators/ Freezers	100	2,000	8,900	1,200	1,700	1,100	2,023	—	4,904	1,100
Washers, Automatic	1,305	3,440	8,793	800	325	550	2,453	200	3,275	1,245

*Includes built-in ovens, cookers and hobs.

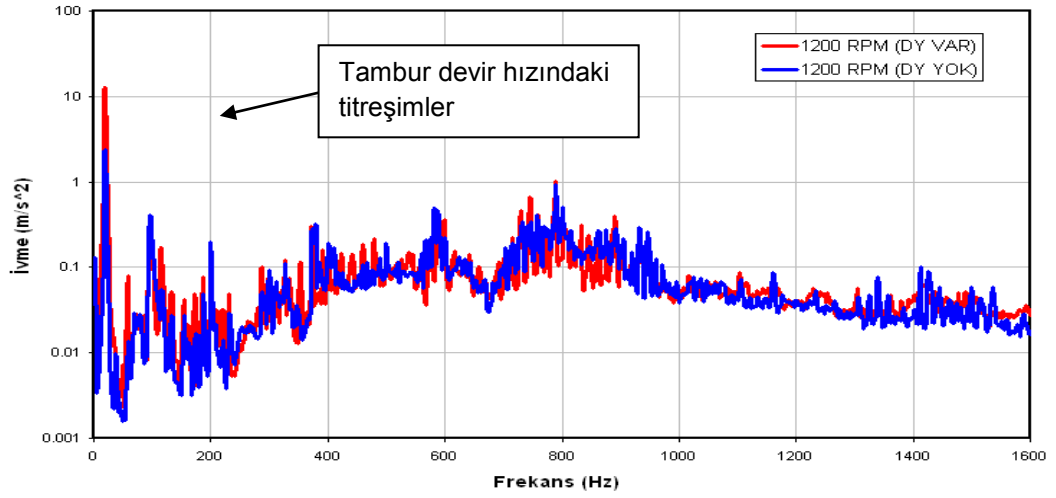
Source: APPLIANCE magazine

Türkiye’deki çamaşır makinası üreticilerinin dünya pazarlarında oldukça kuvvetli rakipleri mevcuttur. Rekabet hem kalite ve ekonomik üretim hem de teknolojik alanda yapılmaktadır. Çamaşır makinalarında oluşan titreşimler bu makinaların gürültülü çalışmasına neden olmaktadır. Ayrıca, aşırı titreşimlere maruz kalan çamaşır makinaları daha sık arıza yapmakta ve bu makinaların ekonomik ömürleri azalmaktadır. Bunlara ilave olarak, çamaşır makinalarındaki titreşimlerin bu makinaları yürütebileceği bile bilinmektedir. Belirtilen sonuçlar bu makinaların rekabet gücünü azaltan en önemli unsurlar arasındadır. Kaliteli makinayı ekonomik fiyatlarla üretebilmek ve pazara sunabilmek rekabet edebilmek için şarttır. Dolayısı ile Türkiye’deki yerli çamaşır makinası teknolojisini geliştirmek, yerli üreticilerin rekabet gücünü artırmak ve ihracat miktarını daha da yüksek düzeylere çıkarmak ülkemiz açısından önem arz etmektedir.

Çamaşır makinalarında sözü edilen titreşimlerin en önemli kaynağı bu makinalarda yıkanan çamaşırların sıkılması esnasında oluşan dengesizliktir. Genel makinalarda dengesizlik ve dengesizliğin kabul edilebilir seviyelere düşürülme yöntemleri iyi biliniyor olmasına rağmen, bu problem çamaşır makinaları için henüz tatmin edici bir şekilde çözülememiştir. Çamaşır makinalarına özel yaklaşımların ve tekniklerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Şekil 1.2 de tipik bir ölçüm sonucu verilmiştir. Bir çamaşır makinası 1200 devir/dakika hızda, boş iken ve belli bir miktar dengesiz kütlenin yerleştirilmesi sonucu titreşimler ölçülmüş ve ölçüm verileri titreşim spektrumu olarak sunulmuştur. Sonuçlar, en yüksek titreşimlerin dengesizlik nedeni ile dönme hızında oluştuğunu,

makina boş iken bile bir miktar dengesizliğin mevcut olduğunu, dengesiz yük altında ise titreşimlerin yaklaşık olarak 10 kat arttığını göstermektedir.



Şekil 1.2: Bir çamaşır makinasında dengesiz yük olmadan ve dengesiz yük ile ölçülen titreşim spektrumları.

Türkiye’de üretilen çamaşır makinalarında hassasiyeti düşük olan bir dengesizlik algılanması yapılmaktadır. Eğer kabul edilebilir bir dengesizlik algılanmış ise istenen devirde sıkma işlemi gerçekleştirilmekte, değilse çamaşır tekrar karıştırılmakta ve dengesizlik seviyesi tekrar belirlenmeye çalışılmaktadır. Eğer dengesizlik kabul edilebilir seviyede değilse sıkma işlemi düşük bir devirde gerçekleştirilmekte ve istenen performans elde edilememektedir. Türkiye’de üretilen çamaşır makinalarında dengesizliğin konum ve miktarını belirlemeye yönelik bir işlem henüz yapılmamaktadır.

1.2. Amaç

Bu tez çalışmasının temel amacı çamaşır makinalarında özellikle sıkma aşamasında ıslak çamaşırların tambur içerisinde geliş güzel konumlanmaları nedeniyle oluşan dengesiz yüklerin algılanması, konum ve miktarlarının belirlenmesidir. Belirlenen bu amaç oluşan dengesiz yüklerin kontrol edilebilmesi için bir ön hazırlık niteliğindedir. Bu bağlamda tezin ulaşmayı hedeflediği ana çıktılar aşağıda özetlenmiştir:

i) Dengesizliğin Algılanması

Türkiye’de şu anda üretilen çamaşır makinalarında dengesizlik algılanması sadece motordan alınan voltaj ve akım bilgilerine dayanmakta ve bu algılanmanın arzu edilen

hassasiyette olmadığı belirtilmektedir. Bu tezin bir çıktısı dengesizlik algılamasına yönelik olarak ekonomik boyutları da incelenmiş en az bir alternatif yöntem sunmaktır. Bu yöntem veya yöntemlerin titreşim ölçümlerine dayanması, ancak maliyeti düşük, çamaşır makinalarına uyarlanabilecek araçlarla yapılması planlanmaktadır. Tezin bu çıktısı, ekonomik şartlar elverdiği takdirde çamaşır makinalarına hemen uygulanabilecektir.

ii) Dengesizliğin Konum ve Miktarının Belirlenmesi

Türkiye’de şu anda üretilen çamaşır makinalarında dengesizliğin konum ve miktarını belirlemeye yönelik herhangi bir sistem bulunmamaktadır. Bu adım dengesizliğin kontrol edilmesi ve olumsuz etkilerinin azaltılması için bir ön şarttır. Bu tezin ikinci çıktısı dengesizliğin konum ve miktarını belirlemeye yönelik olarak yine ekonomik boyutları irdelenmiş en az bir yöntem sunmak ve prototip(ler) üzerinde uygulamaktır. Buradaki anahtar yaklaşım tako sensörünün yaptığı işlemi yapacak, çamaşır makinasına özgün, gerekirse bu çalışma çerçevesinde geliştirilecek bir sensörle yapılması olacaktır.

1.3. Kapsam

Bu tez çalışmasının kapsamı 4 ana başlık altında toplanabilir:

1. Literatür araştırması, teori ve çamaşır makinalarında mevcut durumun tespiti.
2. Çamaşır masinası için teorik model geliştirilmesi.
3. Çamaşır makinalarında dengesizliğin algılanması.
4. Çamaşır makinalarında dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi.

Tezin başlangıcında çamaşır makinalarında dengesizliğin algılanması konusu ile ilgili olarak detaylı bir literatür araştırması yapılacaktır. Bu çalışmaya paralel olarak yerli ve yabancı üreticilerin örnek teşkil edecek çamaşır makinaları temin edilecek, bu makinaların dengesizlik algılama kabiliyetleri belirlenecektir. Ayrıca mevcut dengesizlik sınırları ve titreşim performansları tespit edilecektir. Bu başlık altında yapılacak çalışmalar tezin başlangıcında referans alınacak durumu belirleyecektir.

Tezin 1. adımı ile paralel yürütülmesi planlanan ikinci adımda yerli üretim olmak üzere örnek bir çamaşır makinasının deneysel verilerle doğrulanmış rotor modeli ortaya konacaktır. Bu model, tezin ilerleyen aşamalarında değişik simülasyonlar için kullanılacaktır.

Tezin 3. kısmında, sıkma adımında dengesizliğin algılanmasına yönelik olarak çamaşır makinasına özgün, ekonomik yöntem veya yöntemler geliştirilecektir. Buradaki temel yaklaşım çamaşır makinasının dönmeyen parça veya alt sistemleri üzerinden ekonomik metotlarla titreşim ölçümleri gerçekleştirmek, elde edilen sinyallerin işlenmesi ile dengesizliğin algılanmasını sağlamaktır. Bu adımda dengesizliğin şiddetini belirlemeye yarayacak algılama sistemi geliştirilecektir. Bu aşamada algılama sisteminin çamaşır makinalarına uygulanabilmesi için algılama sisteminin ekonomik yönü ön planda tutulacaktır. Burada en önemli avantaj olarak kullanılabilecek faktör, çamaşır makinalarının yapısı gereği sensörün küçük veya hafif olmasının gerekmediğidir. Geliştirilecek olan yöntem prototip bir çamaşır makinasında denenecek, performansı maksimize edilecektir. Tezin bu aşamasındaki çıktılar mevcut duruma alternatif olarak sunulacaktır.

Tezin 4. adımını çamaşır makinası sıkma aşamasında iken oluşan dengesizliğin tambur üzerindeki açısal konum ve miktarının belirlenmesi çalışması oluşturacaktır. Bu adım gerçekleştirilmeden başarılı bir dengeleme yapabilmek mümkün gözükmemektedir. Genel makinalarda dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi genelde deneme kütleleri yardımı ile yapılmaktadır. Bu yaklaşım tamamen tez kapsamı dışında tutulmamakla birlikte, çamaşır makinalarında deneme kütleleri ile yapılacak bir dengesizlik konum ve miktar belirleme yönteminin pratik olmayacağı düşünülmektedir. Bu nedenle amaçlanan hedef; dengesizliğin, makina çalışırken titreşim verileri ve rotorun açısal konumunun ölçülerek hesaplanmasıdır. Tezin bu adımında yine çamaşır makinasına özel, ekonomik boyutları düşünülmüş, mümkünse yerli olarak üretililecek tako benzeri sensör veya sensörler kullanmak gerekecektir. Ölçüm sistemi geliştirilmesine paralel olarak dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi için yöntem ve gerekli yazılım geliştirilecektir. Bu aşamada mevcut yazılımlardan da yararlanılacaktır. Bu çalışmaları prototip geliştirilmesi izleyecek, bunun ardından deneysel olarak gerçekleştirilecek simülasyonlarla geliştirilen metodun çamaşır makinalarının sıkma aşamasında oluşan dengesizliklerin açısal konum ve miktarının belirlenmesindeki performansı

sınanacaktır. Deneysel simülasyonlarla birlikte metodun optimizasyonu da gerçekleştirilecektir. Ayrıca dengesizliğin konum ve miktarının tambur üzerinde kaç düzlemde belirlenmesi gerektiği de bu aşamada kesinleştirilecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI, TEORİ VE ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA MEVCUT DURUMUN TESPİTİ

2.1. Giriş

Dönen makinalardaki dengesizlik, makinaların performansını olumsuz etkileyen önemli parametrelerden birisi olup, dengesizliğin kabul edilebilir sınırları aşmamasını sağlamak titreşim seviyelerinin kontrol altında tutulması için şarttır. Bu gerekliliğin temel nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Oluşan gürültüyü azaltmak,
- Makinaların ve makina alt sistemlerinin performansını ve ömürlerini arttırmak,
- Düşük enerji tüketimi sağlamak,
- Ürün kalitesini artırmak,
- Müşteri memnuniyetini sağlamak [2]

Günümüzde çamaşır makinalarında, özellikle çamaşırların yıkanması esnasında oluşan dengesiz yükler yüksek genlikli titreşimlere sebep olurlar. Bu titreşimler aynı zamanda makinanın gürültülü çalışmasına neden olur. Ayrıca yüksek genlikli titreşimlere maruz kalan çamaşır makinalarında daha sık arızalar oluşur. Hatta bu titreşimler, çamaşır makinalarının yürümesine bile sebep olabilmektedir. Belirtilen problemler bu makinaların piyasadaki rekabet gücünü azaltan en önemli nedenler arasındadır. Çamaşır makinalarında yıkanan çamaşırların sıkılması esnasında oluşan dengesizliklerin, bu makinalarda oluşan titreşimlerin en önemli nedeni olduğu bilinmektedir.

Bu bölümün devam eden kısımlarında, genel makinalarda oluşan dengesizliklerin konum ve miktarlarının nasıl belirlenebileceği teorik ve pratik olarak açıklanmıştır. Bunu takiben, temin edilen deneklerdeki mevcut durum irdelenmiştir.

2.2. Makinalarda Dengesizlik

2.2.1. Giriş

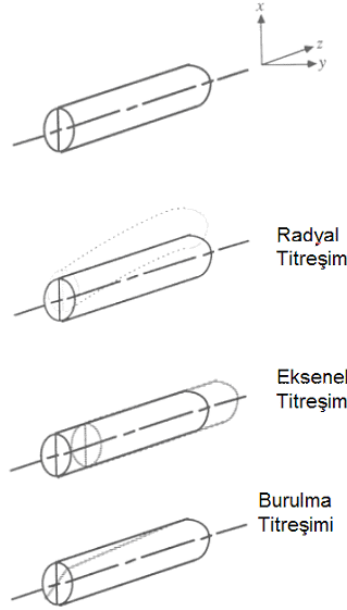
Dönen cisimlerde, yüksek devir hızları nedeniyle, dengelenmemiş küçük yükler dahi önemli atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olabilmektedir. Bu atalet kuvvetleri, çeşitli parametrelere ve koşullara bağlı olarak titreşimlerin meydana gelmesine neden olurlar. Genelde istenmeyen bu titreşimlerin oluşmaması için, dengesizliklerin, yani istenmeyen atalet kuvvetlerinin ortadan kaldırılması veya şiddetinin azaltılması gereklidir. İşte bu problem atalet kuvvetlerinin dengelenmesi veya kütle dengelemesi adıyla anılmaktadır. [3,4]

Dengesiz yükler genellikle tasarım hataları, malzemenin homojen olmayışı, montaj hatası, imalat hatası gibi sebeplerden dolayı meydana gelir. Aşınma da önemlidir; dengelenmiş bir makina parçası, belirli bir kullanımdan sonra aşınmadan veya sistemde meydana gelebilecek bazı değişimlerden dolayı tekrar dengesiz hale gelebilir. Kütle dengelenmesiyle elde edilmek istenen sonuç, makinaların hareketli kısımlarında oluşan atalet kuvvetlerinin bileşkesinin ve bir noktaya nazaran momentlerinin bileşkesinin sıfır olmasıdır. [2,3,5]

Makinalardaki dönen parçalar genelde ‘rotor’ diye isimlendirilir, dönmeyen kısımlara ise ‘stator’ denir. Rotorlar esnek ve rijit olmak üzere ikiye ayrılabilir. Rotorun devir hızının rotorun en küçük kritik hızına yaklaşması veya daha yüksek olması durumunda rotor esnek olarak kabul edilir, bunun dışındaki diğer durumlarda rotor rijit olarak kabul edilebilir.

Rotorlarda titreşimler, şekil 2.1 de gösterildiği gibi, radyal titreşimler, eksenel titreşimler ve burulma titreşimleri olarak sınıflandırılabilir. Radyal yönde titreşimlerin oluşması için, titreşim sonucu oluşan yer değiştirmenin radyal doğrultuda olması gerekir. Burada bir bükülme söz konusu olabilir. Eksenel titreşimler, parça eksenine paralel yönde olan yer değiştirmeler sonucu meydana gelir. Burulma titreşimleri ise adından da açıkça anlaşılacağı gibi, teğetsel yöndeki yer değiştirmeler sonucu oluşur. Rotorların dönme frekansından dolayı meydana gelen titreşimlere de eş zamanlı, yada başka bir ifadeyle, senkronize titreşimler denir. Özellikle radyal senkronize titreşimler dengesiz yüklerin varlığından dolayı ortaya çıkarlar ve makinalarda yaygın olarak istenmeyen düzeyde gürültülü çalışmaya sebep

olurlar. Rotorlarda dengesizliğin giderilmesi, dengesiz yükün ortadan kaldırılması veya dengelenmesiyle olur.



Şekil 2.1: Titreşim sınıflandırılması

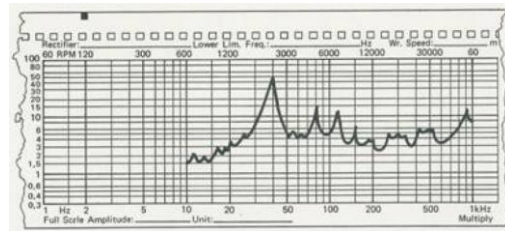
Rotorlar, daha önceden de belirtildiği gibi, rijit ve esnek olmak üzere iki gruba ayrılır. Eğer rotor rijit ise, rotorun merkeziden geçen eksenin, dönme hareketi sırasında da sabit kaldığı kabul edilir, bu bilgi ışığında dengeleme işlemleri gerçekleştirilir. Eğer rotor esnek ise, rotor ekseni sabit değildir ve bunun dengesiz yük miktarına ve rotorun dönme hızına bağlı olan bir fonksiyon olduğu göz önüne alınır ve de dengeleme işlemleri buna göre yapılır. Rijit rotor kabulünde rotor ekseni sabit olduğu için, eksende herhangi bir eğilme olmadığı düşünülür.

Esnek rotorların dengelenmesi için ise, modal dengeleme ve etki katsayılarıyla dengeleme olmak üzere iki temel yaklaşım vardır. Modal dengeleme, her bir titreşim modundaki dengesizliğin giderilmesi prensibine dayanır. Etki katsayılarıyla dengeleme ise, dengesiz yükün mil eksenindeki bir çok yerde etkilerinin saptanmasını ve seçilen küçük dengeleme kütlelerinin mil ekseninde boyuna bir çok bölgeye yerleştirilip titreşim genliklerinin azaltılmaya çalışıldığı metottur. Bu iki metodun birleştirilmesi ile elde edilen ve birleştirilmiş dengeleme yaklaşımı olarak da bilinen bir üçüncü metod da literatürde mevcuttur. [5]

Çamaşır makinası için rijit rotor kabulü yapılabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle rijit rotorların dengelenmesi konusunun burada daha ayrıntılı bir biçimde ele alınması uygun olacaktır.

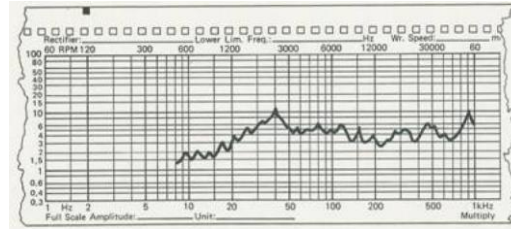
2.2.2. Dengesizliğin Titreşim Spekturumuna Etkisi

Titreşim spektrumu dikkatlice incelenirse, dengesizlik dönme frekansında yüksek titreşim olarak kendini gösterir. Şekil 2.2’te, dengesizlik problemi olan bir rotorun hız spektrumu örnek olarak gösterilmiştir. Bu eğride, en yüksek olan genlik değeri hangi devirde dengesiz yüklerin etkin olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.2: Örnek bir rotorda dengeleme yapılmadan önceki titreşim spektrumu

Dengeleme yapıldıktan sonra ölçülen spektrum, Şekil 2.3, titreşim genliklerinin Şekil 2.2’ye göre azaldığını açıkça göstermektedir. [6]



Şekil 2.3: Örnek bir rotorda dengeleme yapıldıktan sonra titreşim spektrumu

2.2.3. Dengesizlik Çeşitleri

Genelde üç çeşit dengesizlikten bahsedilebilir. Bunlar;

- Statik Dengesizlik
- Moment Dengesizliği
- Dinamik Dengesizlik

2.2.3.1. Statik Dengesizlik

Şekil 2.4' teki gibi, normal koşullarda dengeli ve kütlesi **M** olan bir disk ele alınsın. Bu diskin dengesiz hale gelmesi için **m** [g] lik bir kütle, rotor ekseninden **r** [mm] uzaklıkta bir yere aşağıdaki şekilde olduğu gibi sabitlenmiştir. Son durumda rotorun kütle merkezi bir miktar yer değiştirecektir ve rotorun dönme eksenini üzerinde olmayacaktır. İşte bu rotorun üzerine eklenen **m** [g] ağırlığı sebebiyle kütle merkezinin yer değiştirmesine statik dengesizlik veya tek düzlemde dengesizlik denir. Bu durumda, Merkez kaç kuvveti, disk ω açısal hızıyla döndüğü taktirde;

$$\vec{F}_m = m \vec{r} \omega^2 \quad (2.1)$$

olarak yazılır. Bu merkezkaç kuvveti ve kütle merkezinin yeni pozisyonundan (e) dolayı oluşan merkezkaç kuvveti birbirine eşittir. Bu kuvvet,

$$\vec{F} = M \vec{e} \omega^2$$

şeklinde ifade edilir. Dengesizlik;

$$\vec{U} = m \vec{r} \quad [\text{g mm}] \quad (2.3)$$

olarak yazılabilir ve ‘Spesifik dengesizlik’, dengesizliğin rotor kütlesine oranı olarak tanımlanmaktadır:

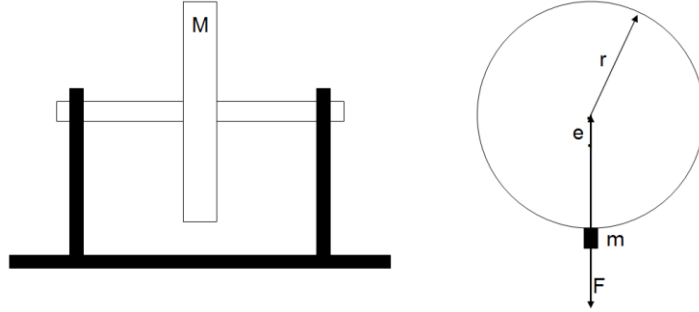
$$\text{Spesifik dengesizlik} = \frac{m \vec{r}}{M} \quad (2.4)$$

Egzantiriklik ($\vec{e}$), merkez kaç kuvveti ve kütle merkezinin yeni pozisyonundan dolayı oluşan kuvvetin eşitlenmesi sonucu olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\vec{e} = \frac{m \vec{r}}{M} \quad [\text{mm}] \quad (2.5)$$

Statik dengesizlik, dengesiz yük nedeni ile kütle merkezinin yer değiştirmesi ve bir egzantiriklik oluşması şeklinde de tanımlanabilir. Eğer rotora, dengesiz yükten 180° derece dönülerek, aynı mesafede ve dengesiz yük kadar kütle monte edilirse dönme

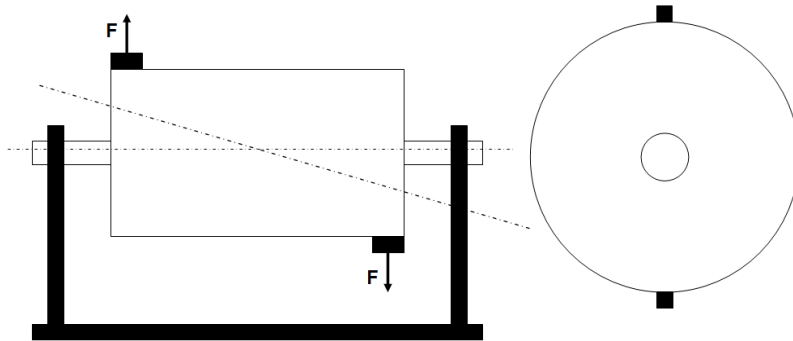
sırasında merkez kaç kuvvetleri birbirini dengeleyecek ve sistemin kütle merkezi tam dönme ekseninde oluşacaktır. Bu da sistemin dengede olduğu anlamına gelecektir. Bir başka deyişle, rotor tek düzlemde dengelenmiş olacaktır. [7]



Şekil 2.4: Statik dengesizlik

2.2.3.2. Moment Dengesizliği

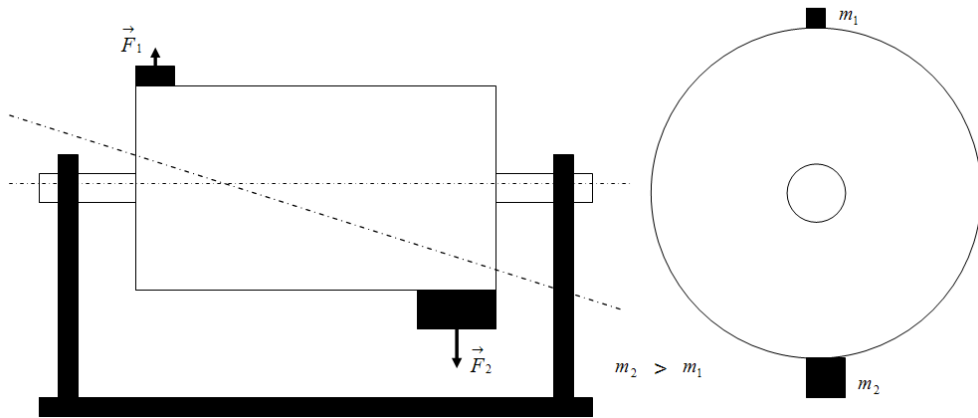
Şekil 2.5’da silindir şeklinde bir rotor görülmektedir. Burada iki adet dengesiz yük birbirine simetrik olarak yerleştirilmiş ve sisteme sabitlenmiştir. Bu iki yük, aynı düzlem üzerinde, rotor kütle merkezine yatay ve düşey ekseninde aynı mesafedir fakat pozisyonları arasında 180° ’lik açı mevcuttur. Bu durumda rotorun statik olarak dengede olduğu açıktır; kütle merkezinin yeri değişmemiş ve bir egzantiriklik oluşmamıştır. Ancak, dönme sırasında oluşacak atalet kuvvetleri dönme ekseninin değişmesine sebep olacaktır. Dolayısı ile bir dengesizlik söz konusudur ve bu tür dengesizlikler moment dengesizliği olarak adlandırılmaktadır. Bu tür dengesizliğin giderilmesi iki düzlemde denge yüklerinin doğru pozisyonlarda ve miktarda yerleştirilmesiyle giderilebilmektedir.



Şekil 2.5: Moment dengesizliği

2.2.3.3. Dinamik Dengesizlik

Genelde rotorlarda dengesiz yükler, statik ve moment dengesizliklerinin kombinasyonu olarak oluşurlar ve buna dinamik dengesizlik adı verilir. Aşağıdaki şekilde tipik bir dinamik dengesizlik görülmektedir. İki düzlemde farklı büyüklüklerde dengesiz yükler sabitlenmiştir. Bu dengesiz yüklerin giderilmesi, iyi bir titreşim ölçümü yaparak, iki düzlemde denge yüklerinin doğru pozisyonlarda ve miktarda yerleştirilmesiyle giderilir.[2]



Şekil 2.6: Dinamik dengesizlik

2.2.4. ISO Standart 1940: Rotor Sınıflandırması

Dönen bir cismin dengesizlik sınırları ISO 1940 standartları ile belirlenmiştir. İdeal olarak, tamamen dengelenmiş rotorda dengesiz yükten dolayı oluşan titreşim genliği görülmez. Fakat uygulamada, toleranslar sebebiyle mükemmel dengeleme yapılması mümkün değildir ve farklı tip ve boyutlardaki rotorlar için değişik düzeylerde titreşimler dikkate alınmalıdır [4].

Aşağıdaki çizelgede - ISO 1940: 'Dönen Rijit Cisimlerde Dengeleme Kalite Standardı' - na göre, bazı rotor sınıflandırmaları gösterilmektedir. Bu rotor sınıflandırmasına göre her sınıfın kendine ait bir numarası vardır, bu numara *rotor sınıf numarası* olarak adlandırılır. Büyük rotorlar, yüksek sınıf numarası değerleriyle belirtilmiştir. Sınıf numarası, rotorların kabul edilebilen titreşim miktarının mm/s cinsinden değerini göstermektedir.

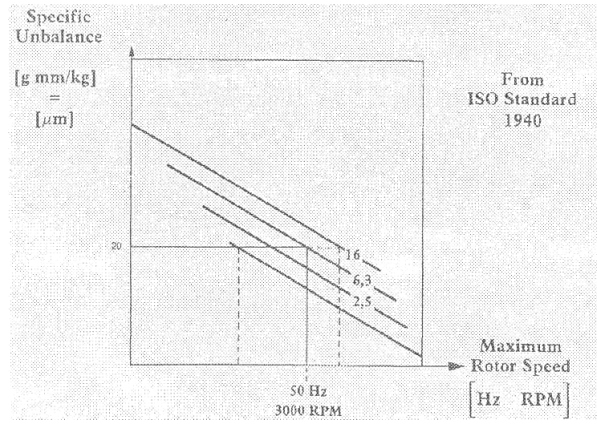
Çizelge 2.1: ISO 1940 Rotor sınıflandırması örnekleri

Sınıf Numarası	Rotor Örnekleri
630	Büyük, yavaş operasyonlar için kullanılan, 4 zamanlı motorlar için, krank mili
250	Hızlı, 4 silindirli dizel motorlar için krank mili
100	Hızlı, 6 veya daha fazla silindirli motorlar için krank mili
40	Araç tekerlekleri. Araç motorları için krank milli
16	Genel kritik olmayan kardan milileri ve rotorlar
6,3	Pervane&Fan rotorları. Çarklar. Genel makina parçaları. Elektrik motorları ve jeneratör armatürleri
2,5	Tribün rotorları, küçük elektrikli motor armatürleri
1	Gramofon ve ses kayıt aygıtı milleri. Değirmen milleri.
0,4	Yüksek hassasiyette öğütücü rotorları. Cirooskop

2.2.5. ISO Standart 1940: Dengesizlik Nomogramı

ISO 1940 standartlarına göre hazırlanan dengesizlik nomogramı, farklı rotor tipleri için kabul edilebilen maksimum spesifik dengesizliklerin bulunması için kullanılır. Şekil 2.7’de basitleştirilmiş bir ISO nomogramı verilmiştir. Nomogramın yatay eksenini milin dönüş hızını Hz veya dev/dk (rpm) cinsinden göstermekte, dikey eksenini ise spesifik dengesizlikleri [g-mm/kg] veya [μm] cinsinden ifade etmektedir.

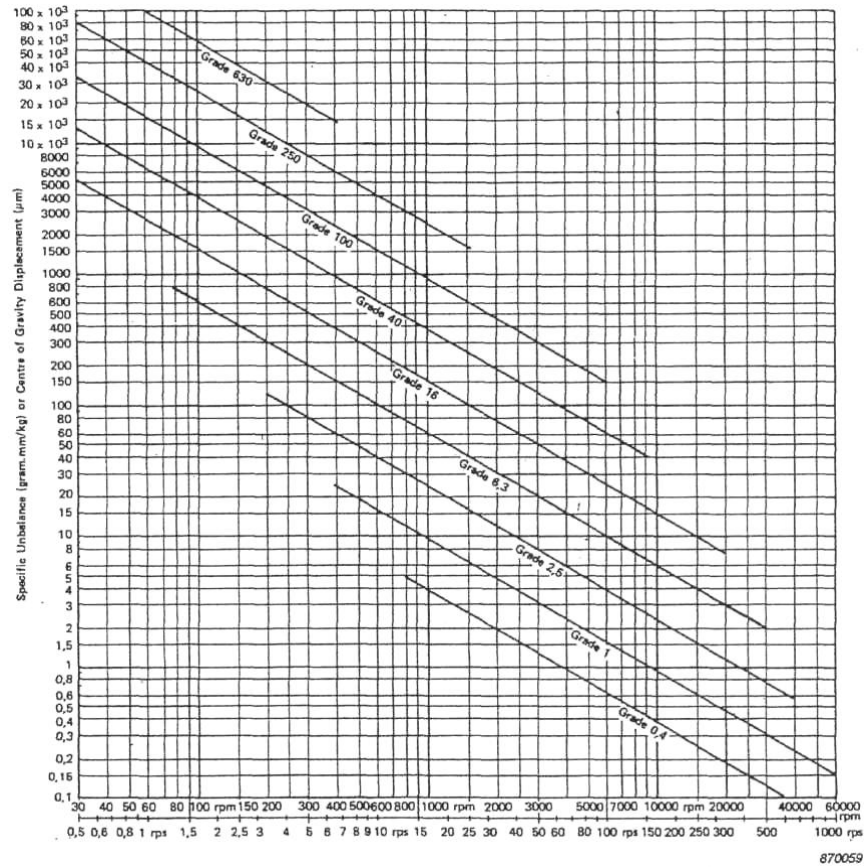
Bu nomogramı kullanabilmek için ilk adım, rotor sınıflandırmasını yapmak ve rotorun sınıf numarasını belirlemektir. Rotorun sınıf numarasını belirlendikten sonra rotor devir sayısından bir dikme çizilir ve bu dikme rotorun sınıf numarası olan çizgisiyle karşılaştırılır. Daha sonra sınıf numarası çizgisi ile dikmenin kesiştiği noktadan yatay eksene paralel bir çizgi çizilerek spesifik dengesizlik belirlenir. Belirlenen spesifik dengesizlik bu rotor için kabul edilebilen maksimum spesifik dengesizlik miktarını verir.



Şekil 2.7: Dengesizlik nomogramı

Şekil 2.7, sınıf numarası 6.3 olan bir rotorun, dengesiz yükten dolayı oluşacak egzantirikliğin $20 \mu\text{m}$ den fazla olmaması gerektiğini göstermektedir. $20 \mu\text{m}$ değeri, sadece serbest çalışma koşullarındaki rijit rotorlar ve statik dengesizlik göz önünde bulunduğu zaman kullanılmalıdır.

Şekil 2.8’ de daha ayrıntılı bir nomogram görülmektedir [5].



Şekil 2.8: Ayrıntılı bir dengesizlik nomogramı örneği

2.3. Rijit Rotorlarda Dengesizliğin Konum ve Miktarının Belirlenmesi

2.3.1. Teorik Esaslar

Rijit rotorların dengelenmesi üç gruba ayrılmasına rağmen burada moment dengesizliğini dinamik dengesizliğe dahil ederek iki grupta incelenecektir; *statik dengeleme* ve *dinamik dengeleme*. Şimdi dinamik ve statik dengelemenin tanımını daha ayrıntılı bir şekilde inceleyelim.

Sekil 2.9'da görüldüğü gibi, $O'Z$ -dönme eksenini olmak üzere, $O'-XYZ$ sabit eksen takımı, $S-x'y'z'$ ve $O-xyz$ dönen cisme bağlı birbirine paralel eksen takımları olsunlar. Atalet kuvvetlerinin bileşkesi

$$\vec{T} = -m \vec{a} \quad (2.6)$$

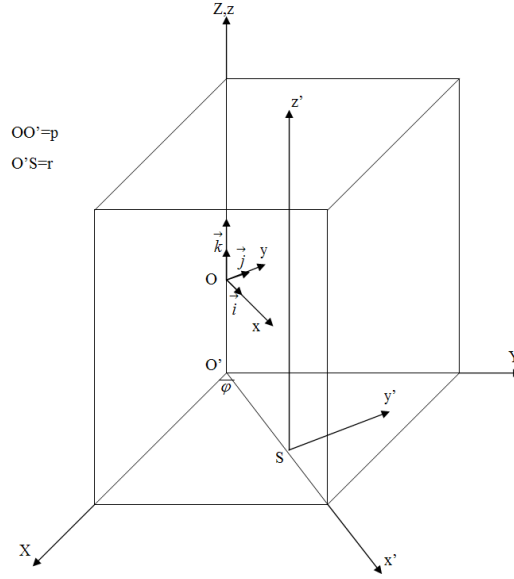
olarak hesaplanır. Buradaki işaretlerle

$$\vec{T} = mr\omega^2 \vec{i} - mr\alpha \vec{j} \quad (2.7)$$

yazılabilir. ω ve α , açısal hız ve ivmeyi, $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ ise hareketli eksenlerin birim vektörlerini göstermektedir. Atalet kuvvetlerinin S kütle merkezine göre momentleri

$$\vec{M}_s = -\alpha I_{z'z'} \vec{k} + \omega^2 (I_{z'x'} \vec{j} - I_{y'z'} \vec{i}) + \alpha (I_{z'x'} \vec{i} + I_{y'z'} \vec{j}) \quad (2.8)$$

olarak bulunur.



Şekil 2.9: Dönen katı cisim

Dönme eksenini üzerinde bulunan herhangi bir nokta olan O ya göre moment ise

$$\vec{M}_o = \vec{M}_s + OS \wedge T = \vec{M}_s + (-p \vec{k} + r \vec{i}) \wedge (mr\omega^2 \vec{i} - mr\alpha \vec{j}) \quad (2.9)$$

dir. Gerekli işlemlerden sonra,

$$\vec{M}_o = -\alpha(I_{z'z'} + mr^2) \vec{k} + \omega^2[(I_{z'x'} - pmr) \vec{j} - I_{y'z'} \vec{i}] + \alpha[(I_{z'x'} - pmr) \vec{i} + I_{y'z'} \vec{j}] \quad (2.10)$$

ve

$$I_{zz} = I_{z'z'} + mr^2 \quad (2.11)$$

$$I_{zx} = \int (z' - p)(x' + r) dm = I_{z'x'} - pmr \quad (2.12)$$

$$I_{yz} = I_{y'z'} \quad (2.13)$$

olduğu dikkate alınarak

$$\vec{M}_o = -\alpha I_{zz} \vec{k} + \omega^2(I_{zx} \vec{j} - I_{yz} \vec{i}) + \alpha(I_{zx} \vec{i} - I_{yz} \vec{j}) \quad (2.14)$$

bulunur.

(2.6) denklemi dikkate alınırsa, $r=0$ olduğu zaman, yani kütle merkezi dönme eksenini üzerinde ise, atalet kuvvetlerinin bileşkesinin sıfır olduğu görülür. Bu halde

rotor *statik olarak dengelenmiştir*, denir. Böyle bir rotor dönme eksenini yatay olarak, iki yerden yine yatay duran raylar üzerine konursa, konulduğu her konumda dengede kalır. Kendi ağırlık kuvveti rotoru raylar üzerinde yuvarlayacak bir moment vermez. Bu yüzden statik dengelemeden söz edilir. $R=0$ dan başka $I_{zx} = I_{yz} = 0$ ise, bu takdirde $T=0$, yani atalet kuvvetlerinin bileşkesinin sıfır olmasının yanın da, atalet kuvvetlerinin O ya göre momenti için

$$M_o = -\alpha I_{zz} \vec{k} \quad (2.14)$$

sonucu bulunur. Bu takdirde dönen cisim *dinamik olarak dengelenmiştir*, denir.

Bu duruma göre dinamik dengelenme için kütle merkezinin dönme eksenini üzerinde bulunması ve ayrıca dönme ekseninin bir asal atalet eksenini olması gerekir.

Bu şartları sağlayan bir rijit cisim düzgün hızla döndüğü takdirde, $\alpha = 0$ olduğundan, meydana gelen atalet kuvvetlerinin ve momentlerinin bileşkeleri sıfır olur :

$$\vec{T} = 0 \quad \vec{M}_o = 0 \quad (2.15)$$

Böyle bir cisim ivmeli olarak döndüğü takdirde, sadece dönme eksenini etrafında bir moment söz konusu olur ki, bu da ivmelenme için gerekli momentle dengelenir. Bu halde, dönme hareketine rağmen dönme eksenini etrafındaki momentten başka herhangi bir atalet etkisi ortaya çıkmadığından, cismin yataklarında herhangi bir yatak kuvveti söz konusu olmaz. Bu yüzden dinamik dengeleme vardır, denir.

Sonuç olarak, rotorlarda kütle dengelenmesi kütle merkezinin dönme eksenini üzerine getirilmesi ve dönme ekseninin bir asal atalet eksenini olmasının sağlanması esasına dayanır. [3]

2.3.2. Tek Düzlemde Dengesizlik

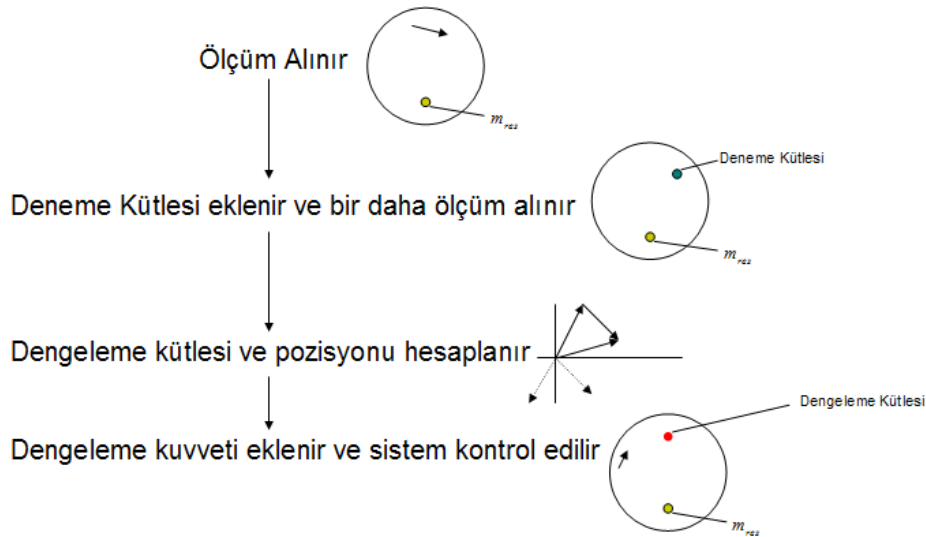
Dengeleme kütlesi, dengesiz yük miktarı ve pozisyonu tespit edildikten sonra, belirlenen pozisyon ile aralarında 180° açı yapacak ve aynı genlikte merkezkaç kuvveti yaratacak şekilde konumlandırılmalıdır. Sonuç olarak dengeleme işlemi için gerekli olan iki tane bilgi vardır. Bunlar;

Yeni şartlar altında deneme kütesinin etkileri belirlenmiştir, bu değişiklikten dolayı dengesiz yük miktarı hesaplanabilir ve pozisyonu, dengesiz yükün pozisyonuna göre 180° döndürülerek bulunabilir. Dengesiz yük miktarı kadar kütle bulunan pozisyona eklenir ve rotor dengelenmiş olur. Bu hesaplama, vektör diyagramı veya uygun bir bilgisayar yazılım programıyla gerçekleştirilebilir. Bu işlemler sonucunda;

- Dengeleme kütlesi, m_c
- Dengeleme açısı, Φ_c

elde edilir.

Dengeleme kütlesi rotor üzerine sabitlenir ve tekrar ölçüm yapılarak titreşim değerlerinin istenilen düzeye gelip gelmediği kontrol edilir. Eğer titreşim istenilen düzeye gelmediyse dengeleme prosedürü tekrar edilir. (Şekil 2.11)



Şekil 2.11: Dengeleme prosedürünün şematik olarak gösterilişi

Yukarıdaki şemada tek düzlemde dengelemenin nasıl gerçekleştirildiği özetlenmiştir, fakat bu dengelemenin gerçekleştirilmesi için bilinmesi gereken başka prosedürlerde vardır. Bunlar:

- Uygun deneme kütesinin seçimi
- Vektör diyagramının çizimi
- Uygun bir ölçüm yapıldığına karar verilmesi
- Dengeleme kütesinin montaj biçimi.

2.3.2.2. Deneme Kütlesinin Hesaplanması

Dengeleme kütlesinin değeri deneme kütlesinin rotora olan etkisi ile hesaplanır. ISO 1940 standart nomogramlarını kullanarak deneme kütlesi hesaplanabilir. Daha önceden de belirtildiği gibi spesifik dengesizlik $\vec{e}$ aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

$$\vec{e} = \frac{m \vec{r}}{M} \quad [\text{mm}] \quad (2.16)$$

Burada M rotorun kütlesini, m dengesiz kütleyi ve $\vec{r}$ ise dengesiz kütlenin rotorun merkezinden uzaklığını temsil etmektedir. Bu denklem m nin belirlenmesi için düzenlenirse;

$$m = \frac{M \vec{e}}{\vec{r}} \quad (2.17)$$

şeklinde elde edilir. Bu denklem, kabul edilebilen maksimum deneme kütlesinin hesaplanması için kullanılabilir[1,9]. Spesifik dengesizlik $\vec{e}$, rotor sınıfına ve dönme hızına göre ISO 1940 nomogramından belirlenebildiği için denklem 2.17 kullanılarak rotorun merkezinden belli bir uzaklıkta kabul edilebilir en büyük dengesizlik miktarını (artık dengesizlik kütlesi) belirlemek mümkündür. Pratik uygulamada deneme kütlesinin bu şekilde belirlenen artık kütlenin 5 ila 10 katı olması tavsiye edilir.

2.3.2.3. Vektör Diyagramının Çizimi

Aşağıdaki ölçümlerin yapıldığını varsayalım;

1. A_0 ve Φ_0 , başlangıç titreşim genliği ve faz açısı
2. A_1 ve Φ_1 , deneme ağırlığı eklendikten sonraki titreşim genliği ve faz açısı

Bundan sonra takip edilecek adımlar aşağıda açıklanmış ve Şekil 2.12’de gösterilmiştir:

(a) Başlangıç koşullarını temsil etmek üzere, A_0 uzunluğunda ve yatay eksenle Φ_0 derece yapacak şekilde bir vektör çizilmiştir ($\vec{V}_0$).

(b) Deneme kütlesi eklendikten sonraki koşulları temsil etmek üzere, A_1 uzunluğunda ve yatay eksenle Φ_1 derece yapacak şekilde vektör çizilmiştir ($\vec{V}_1$).

(c) $\vec{V}_0$ ve $\vec{V}_1$ vektörleri arasına, başlangıç noktası $\vec{V}_0$ vektörü, bitiş noktası ise $\vec{V}_1$ vektörü olan bir $\vec{V}_t$ vektörü çizilmiştir. $\vec{V}_t$ vektörü, dengeleme kütlesinin sisteme olan etkisini göstermektedir.

(d) $\vec{V}_t$ vektörü, doğrultusunu, yönünü ve şiddetini değiştirmemek suretiyle, başlangıç noktasını eksen orjinine, yani (0,0) noktasına taşınır.

(e) Başlangıç koşulları için belirlediğimiz $\vec{V}_0$ vektörünün, doğrultusu ve şiddetini değiştirmemek koşuluyla, 180 derece döndürerek çizilir. Bu durumda $\vec{V}_0$ vektörünün sadece yönü değişmiş olmaktadır. Bu vektöre de $\vec{V}_c$ densin. Burada $\vec{V}_c$ vektörü, uygulanması istenen dengeleme kütlesinin pozisyonunu ve genliğini göstermektedir.

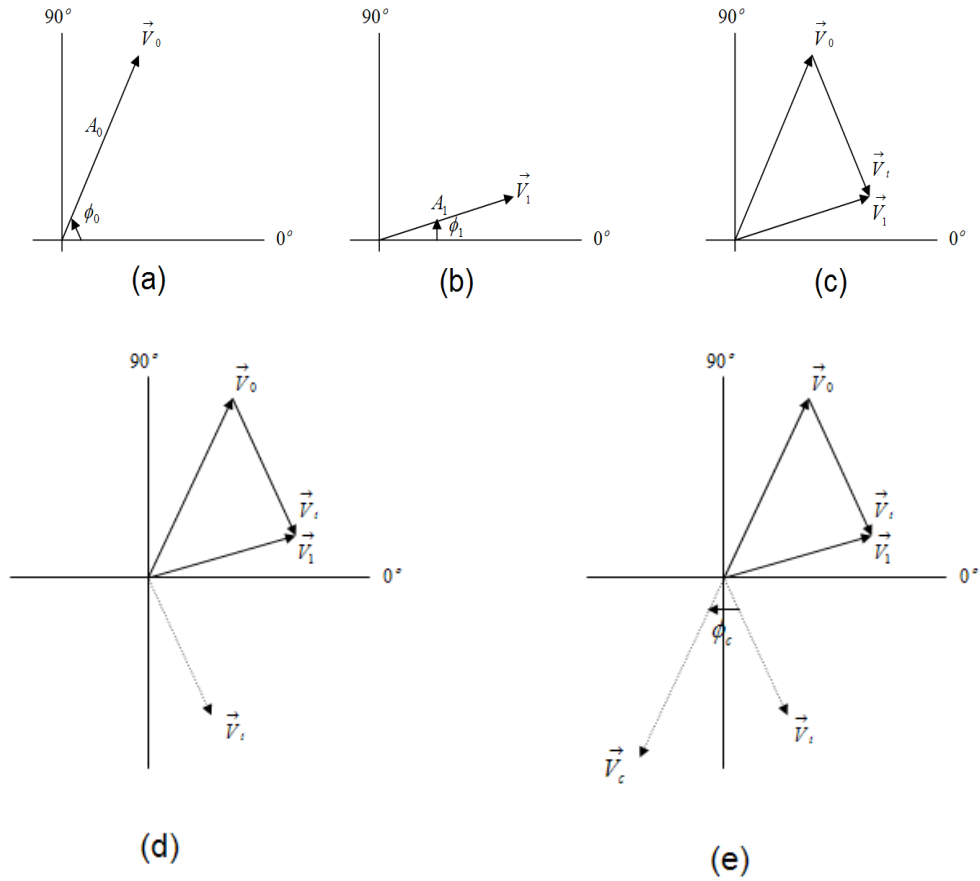
Kesikli çizgiyle gösterilen $\vec{V}_t$ ile $\vec{V}_c$ vektörü arasındaki açıya Φ_c olsun. Φ_c ve $\vec{V}_c$ dengeleme kütlesinin pozisyonunu belirlemektedir.

$\vec{V}_t$ vektörü, Φ_c kadar döndürülürse, $\vec{V}_c$ ile aynı yön ve doğrultuda olur. Fakat dengeleme yapılabilmesi için, $\vec{V}_t$ nin $\vec{V}_c$ ile aynı genlik değerine sahip olması gerekir. Bu yüzden, bir sonraki adım olarak $\vec{V}_t$ nin genliği ayarlanarak, $\vec{V}_c$ ile aynı değerde olması sağlanacaktır. Bu da titreşim genliklerinin, dengesiz yüke bölünmesi ile yapılabilir. Bu nedenle;

$$\frac{m_t}{\vec{V}_t} = \frac{m_c}{\vec{V}_c} = \frac{m_o}{\vec{V}_o} \Rightarrow m_c = m_t \frac{\left| \vec{V}_o \right|}{\left| \vec{V}_t \right|} \quad (2.18)$$

Bu hesaplama sayesinde m_c , ‘dengeleme kütlesi’ bulunmuş olur. Bu denklemde m_t deneme kütlesini göstermektedir.

Dengeleme kütlesi yerleştirilirken dengeleme kütlelerinin açısının pozitif veya negatif olabileceğine dikkat edilmelidir. Eğer faz açısı, Φ_c , pozitif ise rotorun dönme yönünde deneme kütlelerinden Φ_c kadar dönerek dengeleme kütlesi yerleştirilmelidir. Negatif ise bunun tam tersi yapılmalıdır.



Şekil 2.12 Vektör diyagramı çizimi

2.3.2.4. Tek Düzlemde Dengeleme Teorisi

Tek düzlemde dengeleme teorisi, ‘duyarlılık metodu’ ile açıklanabilir. Bu raporun başka bir bölümünde de verildiği gibi bu metod çok düzlemde dengeleme için de geçerlidir.

Dengesizliğe karşı duyarlılık S_{11} şeklinde gösterilecektir. Burada S_{11} ; 1. yatakdaki tireşimlerin 1. düzlemde bulunan dengesizliğe hassasiyetini (duyarlılığını) ifade etmektedir ve aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$S_{11} = \frac{\vec{V}_1 - \vec{V}_0}{m_t} \quad (2.19)$$

Burada:

$\vec{V}_0$: Başlangıç koşullarını temsil etmek üzere A_0 uzunluğunda ve yatay eksenle Φ_0 derece yapacak olan vektör,

$\vec{V}_1$: Deneme kütlesi eklendikten sonraki koşulları temsil etmek üzere A_1 uzunluğunda ve yatay eksenle Φ_1 derece yapacak olan vektör,

m_t : Deneme kütesidir.

Eğer U_c bilinmeyen dengesizlik olarak tanımlanırsa, bu dengesizliğin yarattığı titreşim seviyesi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$S_{11} \cdot U_c = V_0 \quad (2.20)$$

Eğer sisteme dengesizliği giderecek bir dengeleme kütlesi (V_c) doğru pozisyona yerleştirilirse bu dengeleme kütlesi ile titreşimlerin sifıra yaklaşması beklenir ve bu durumda aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$S_{11} \cdot U_c + S_{11} \cdot V_c = 0 \quad (2.21)$$

(3.16) ve (3.17) numaralı denklemlerden de aşağıdaki sonuca ulaşılır;

$$S_{11} \cdot V_c = -V_0 \quad (2.22)$$

ve dengeleme kütlesi duyarlılık ve titreşim genliği kullanılarak belirlenebilir:

$$V_c = -S_{11}^{-1} \cdot V_0 \quad (2.23)$$

2.23 denklemi kompleks sayılardan meydana gelmektedir. Dolayısı ile genliği dengeleme kütesinin miktarını, açısı ise bu kütenin konumlandırılacağı yeri belirtmektedir.

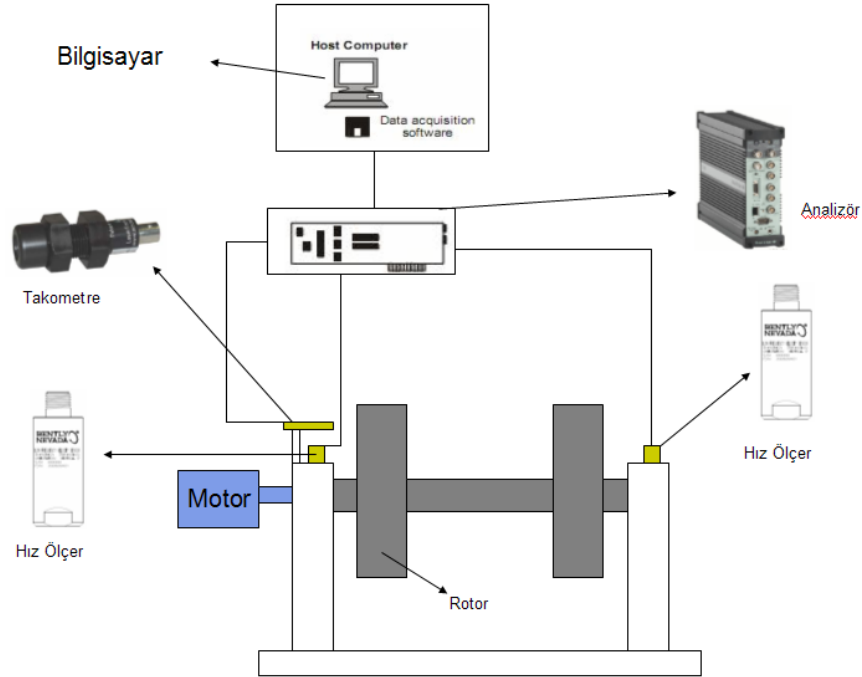
2.3.3. İki Düzlemde Dengesizlik

2.3.3.1. İki Düzlemde Dengeleme Prosedürü

Başlıktan da anlaşılacağı gibi buradaki amaç iki düzlemde dengelem yapmaktır.

Şekil 2.13 de gösterilen şematik bir rotorda 2 düzlemde dengeleme yapılması hedeflenirse, bu durumda iki düzlemde dengeleme yapılabilmesi için yapılması gereken işlemler aşağıda sıralanmıştır:

1. 2 yatak üzerinden de ayrı ayrı ölçümlerin alınması ve frekans analizlerinin yapılması.
2. İki yatak üzerindeki titreşim genliklerinin ve faz açılarının belirlenmesi.
3. Bir deneme kütlelerinin 1. düzleme monte edilmesi.
4. 1. deneme kütlesi ile her 2 yatak üzerinden de titreşimlerin ölçülmesi
5. 1. deneme kütlelerinin rotor üzerinden çıkartılması.
6. 2. deneme kütlelerinin 2. düzleme monte edilmesi.
7. 2. deneme kütlesi ile her 2 yatak üzerinden de titreşimlerin ölçülmesi.
8. 2. deneme kütlelerinin üzerinden çıkartılması.
9. Dengeleme kütleleri ve konumlarının hesaplanması
10. Dengeleme kütlelerinin her iki düzlemde yerleştirilmesi
11. Titreşimlerin tekrar ölçülmesi ve kontrol edilmesi.
12. Titreşim seviyeleri istenilen düzeylerde değilse bütün işlemlerin yeniden tekrarlanması.



Şekil 2.13 İki düzlemde dengeleme düzeneği

2.3.3.2. İki Düzlemde Dengeleme Teorisi

İki düzlemde dengeleme yapabilmek için her iki düzleme karşılık gelen duyarlılıkların belirlenmesi gerekir. Bu durumda duyarlılık matrisi ile titreşim genlikleri arasında kiilişki aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{Bmatrix}_0 \quad (2.24)$$

Burada:

S_{ij} = j düzlemindeki dengesizliğin i. yataktan alınan ölçümle hesaplanan duyarlılığı

U_i = i düzlemindeki mevcut dengesiz yükü

V_{i0} = i. yataktan ölçülen başlangıç titreşim değerlerini

göstermektedir.

Dengelemenin amacı dengeleme kütlelerini (V_i) rotora ekleyerek titreşim genliklerini kabul edilebilir seviyelere (ideal olarak sıfıra) düşürmektir. Bu durumda aşağıdaki denklem yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{Bmatrix}_c + \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.25)$$

Bundan sonra denklem (2.24) denklem (2.25) de yerine konur ve dengeleme kütleleri belirlenirse aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$\begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{Bmatrix}_c = - \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{Bmatrix}_0 \quad (2.26)$$

Duyarlılık matrisinin elemanları tanım gereği ilgili düzlemlerde deneme kütleleri varken ve yokken yataklarda titreşimlerin ölçülmesi ile hesaplanabilir. Örnek olarak S_{21} ve S_{22} duyarlılıklarının nasıl hesaplanacağı aşağıda verilmiştir.

$$S_{21} = \frac{V_{21} - V_{20}}{m_{t1}} \quad (2.27)$$

$$S_{22} = \frac{V_{22} - V_{20}}{m_{t2}} \quad (2.28)$$

Hassaslık matrisi oluşturulduktan sonra, denklem (2.26) kullanılarak dengeleme kütlesinin yeri ve miktarı hesaplanır.

Yukarda özetlenen duyarlılık metodu ikiden fazla düzlemde dengeleme yapmak için de kullanılabilir.

2.4. Mevcut Çamaşır Makinalarındaki Durum

2.4.1. Giriş

Daha öncede belirtildiği gibi, Türkiye’deki çamaşır makinası üreticilerinin dünya pazarlarında oldukça kuvvetli rakipleri mevcuttur. Rekabet hem kalite ve ekonomik üretim hem de teknolojik alanda yapılmaktadır. Bu bölümde, temin edilen yerli ve yabancı makinaların (deneklerin) mevcut ekipmanları ve dengesiz yük altındaki performansları karşılaştırılacaktır.

Genelde çamaşır makinaları elemanları iki grupta toplanmaktadır. Bunlar ‘tahrik grubu’ ve ‘gövde grubu’ diye adlandırılmaktadır. Çamaşır makinasının kazana bağlı olan tüm elemanları – hem gövde hem de kazana bağlı olsa dahi – tahrik grubuna ait olarak kabul edilir. Gövdeye bağlı olan çamaşır makinası elemanları – kontrol paneli, deterjan kutusu, su pompası vb...- da gövde grubu olarak adlandırılır. Bundan sonraki bölümlerde her bir denek ayrı ayrı incelenecektir. Ancak, ilk denek incelenirken makina parçaları ve görevleri tanımlanacak, daha sonraki denekler için bu tanımlar tekrarlanmayacaktır, sadece parça isimleri belirtilecek ve farklı bir eleman mevcut ise işlevi belirtilecektir.

Her bir denek çamaşır makinası için aşağıdaki bilgilerin elde edilmesi amaçlanmıştır;

- Denekteki sensör tipleri ve sayıları
- Dengesizliğin miktarının algılanması için kullanılan sensör tipleri ve sayıları
- Dengesizliğin konumunun algılanması için kullanılan sensör tipleri ve sayıları
- Varsa dengesizliğin algılanması için kullanılan algoritma ve özellikleri
- Askı yaylarının sayıları

- Sönüm elemanı özellikleri ve sayıları
- Sıkma yapabildiği maksimum ve minimum devir sayıları
- Maksimum ne kadar dengesiz yük altında sıkma yapabildiği
- Denge kütlelerinin pozisyonları
- Motor pozisyonu ve özellikleri

Denek çamaşır makinalarının maksimum ne kadar dengesiz yük altında sıkma yapabileceğini belirlemek için çamaşır makinasının içine deneme kütleleri yerleştirilmiştir. Tüm çamaşır makinalarına, tamburun ekleme (birleştirme) kısmından 180° derece dönerek, kapak kısmından 100 mm geride olacak şekilde dengesiz yükler yerleştirilmiştir (Şekil 2.14). Dengesiz yükler 100 g ‘dan başlamak üzere 100’er gram artırılarak, sürekli aynı pozisyona yerleştirilmiştir.

Bu deney ile aynı zamanda dengesizliğin algılanması için algoritma olup olmadığı da belirlenecektir. Eğer makinada bir dengesiz yük algılama algoritması yoksa, çamaşır makinasının kaldırabileceği kadar olmak şartıyla, ne kadar dengesiz yük olursa olsun makinanın sıkma işlemini yapmaya başlaması beklenmektedir.

Çamaşır makinası, sıkma programına ayarlanacaktır ve makinaya göre 600 veya 700 devirle sıkma yapması istenecektir.



(a)

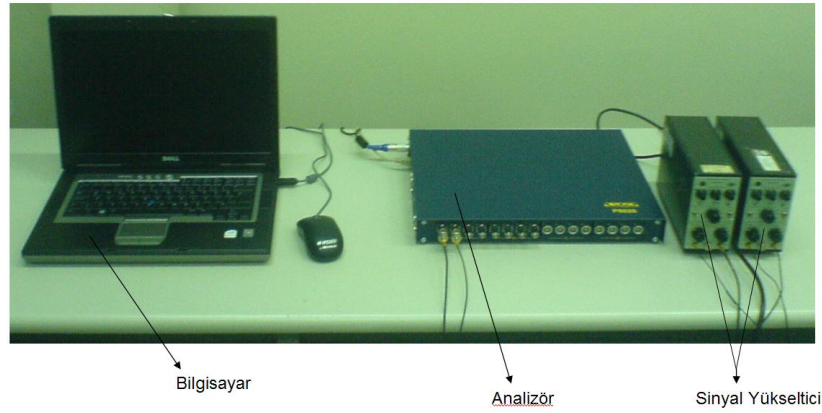
(b)

Şekil 2.14: (a)Tambur ek yeri, (b) dengesiz yük pozisyonu

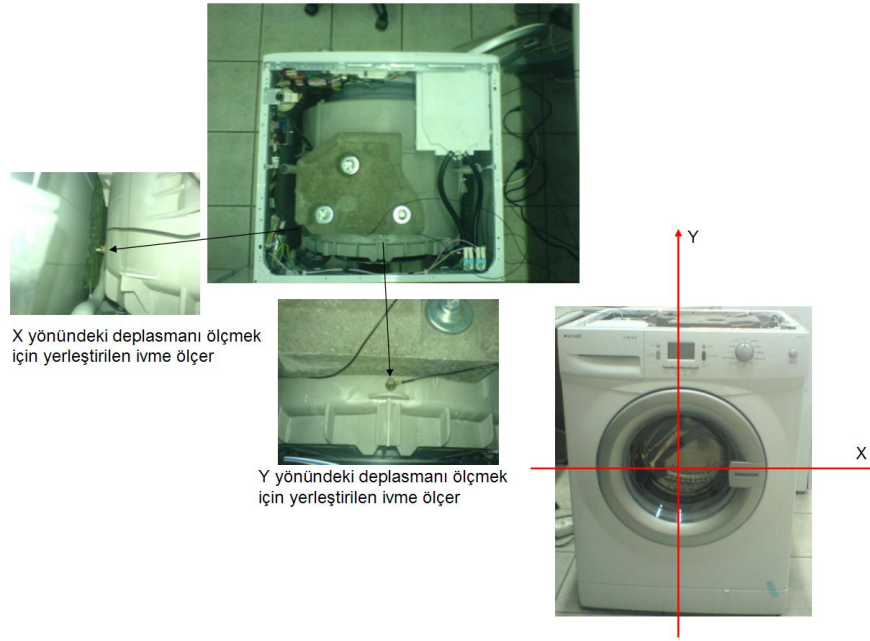
Deneklerin karşılaştırılması için belirlenen diğer bir yol ise, çamaşır makinası kazanının, x ve y (yatay ve dikey) yönlerinde yaptıkları deplasmanları ölçmek ve bunları bir orbit olarak çizerek kazanın yaptığı hareketleri incelemektir. Bu amaç için Şekil 2.15 deki gibi bir düzenek kurulmuştur. Düzenek, bir adet bilgisayar, bir adet analizör, iki adet sinyal yükseltici ve iki adet ivme ölçerden oluşmaktadır.

İvme ölçerlerden biri, yatay ekseninde oluşacak deplasmanı ölçmek için, çamaşır makinasının kapak kısmına göre saat 3 yönüne, kazanın arka tarafına, diğeri ise, dikey ekseninde oluşacak deplasmanı ölçmek için, çamaşır makinasının kapak kısmına göre saat 12 yönüne, kazanın arka tarafına yerleştirilmiştir (Şekil 2.16).

İki adet ivme ölçer, 'charge type' ivme ölçer sınıfından olduğu için sinyal yükseltici de kullanılmıştır. İvme verileri iki defa integre edilerek deplasman verilerine dönüştürülmüştür. Bu veriler analizör tarafından toplanmış ve kaydedilmesi için bilgisayara aktarılmıştır. Veri toplama yazılımında örnekleme hızı 2500 Hz olup, 50 saniye boyunca her bir orbit ölçümü için 125000 adet veri toplanmıştır. Toplanan veriler MATLAB formatına çevrilerek orbitler elde edilmiştir.



Şekil 2.15: Ölçüm düzeneği



Şekil 2.16: İvmeölçer bağlantı noktaları

Belirlenen deneklerin genel özellikleri çizelge 2.2, 2.3 ve 2.4 'te verilmiştir.

Çizelge 2.2: Denek çamaşır makinalarının bazı genel özellikleri

	Yıkama kapasitesi	Sıkma yapabildiği maksimum ve minimum devir sayıları	~Tambur Çapı	~Tambur Derinliği
Denek 1	8 kg	Min. 400 rpm Max. 1200rpm	475 mm	330 mm
Denek 2	8 kg	Min. 500 rpm Max. 1400 rpm	500 mm	295 mm
Denek 3	6 kg	Min. 400 rpm Max. 1600 rpm	475 mm	280 mm
Denek 4	5 kg	Min. 500 rpm Max. 800rpm	450 mm	260 mm
Denek 5	8 kg	Min. 400 rpm Max. 1600rpm	485 mm	330 mm

Çizelge 2.3: Titreşimi azaltma görevi üstlenen bazı elemanların özellikleri

	Askı Yayı Sayısı	Sönüm Elemanı Sayısı ve Tipi	Denge Ağırlıklarının Pozisyonları
Denek 1	2 Adet	2 Adet (Tek Etkili)	Kazanın üstünde ve altında
Denek 2	2 Adet	2 Adet (Tek Etkili)	Kazanın ön çevresinde ve altında
Denek 3	4 Adet	2 Adet (Tek Etkili)	Kazanın ön ve arka çevresinde
Denek 4	2 Adet	2 Adet (Tek Etkili)	Kazanın ön ve arka çevresinde
Denek 5	2 Adet	3 Adet (Çift Etkili)	Kazanın üstünde ve ön çevresinde

Çizelge 2.4: Motor özellikleri

	Motor Özellikleri
Denek 1	UMDC tipi
Denek 2	UMDC tipi
Denek 3	CIM tipi
Denek 4	UMAC tipi
Denek 5	UMAC tipi

2.4.2. Birinci Deneğin İncelenmesi

Birinci denek, 8 kg çamaşır kapasiteli, yıkanacak çamaşır türüne göre 400-1200 dev/dak arası sıkma yapabilen yerli bir çamaşır makinası üreticisine aittir.

Bu çamaşır makinasının dijital gösterge panelinde değişik çamaşır türleri için yıkama programları mevcuttur. Şekil 2.17 ‘da Gövde grubuna ait deterjan kutusu ve elektronik kontrol paneli görülmektedir.

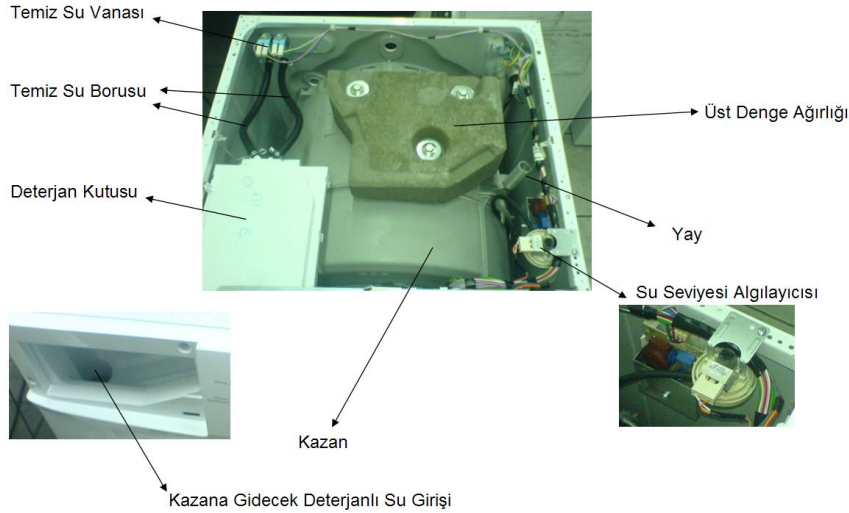
Şekil 2.18 ‘de denek çamaşır makinasının üstten görünüş şekli verilmiştir. Gövde grubuna bağlı olan temiz su boruları ve vanaları, deterjan kutusu ve su seviye algılayıcısı görülmektedir. Temiz su vanasının açılmasıyla, su borulardan geçerek deterjan kutusuna ulaşır, burada deterjanla karışan su deterjan kutusunun altında bulunan kanal vasıtası ile kazan içerisine girer. Su seviye algılayıcısı kazan

içerisindeki su seviyesini ölçer, su yeterli seviyeye gelince vanalar kapanma komutu alır ve su akışını keser.



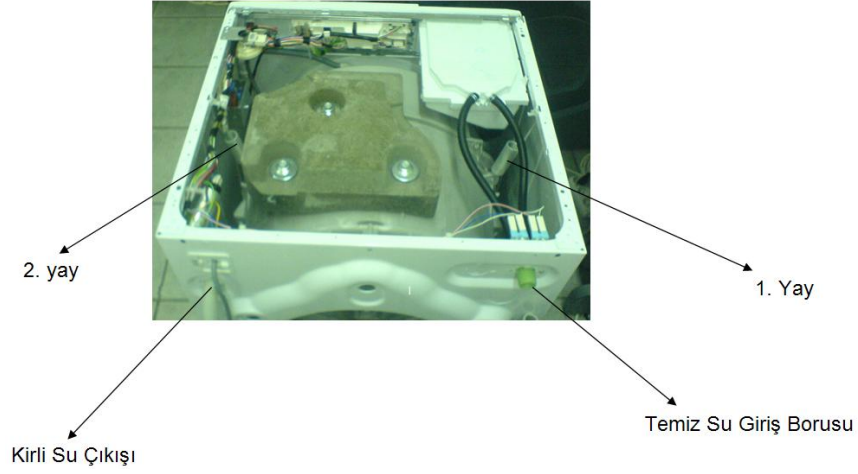
Şekil 2.17: Birinci deneğin önden görünüşü

Şekil 2.19 'de yine tahrik grubunun bazı elemanları görülmektedir, bunlar üst denge ağırlığı, yay ve kazandan oluşmaktadır. Kazan, içerisinde tamburun döndüğü ve çamaşırın yıkandığı kovadır. Üst denge ağırlığı çamaşır makinasının ağırlığını arttırarak makinanın doğal frekansını düşürür, çamaşır makinasının titreşim genliklerini azaltır, makinanın ayaklarında oluşan sürtünme kuvvetini arttırır. Yaylar makina kazanının gövdeye asılmasını ve gövdeye çarpmasını engeller.



Şekil 2.18: Birinci deneğin üstten görünüşü

Şekil 2.19 'de görüldüğü gibi üretici firma, kazanı iki yay ile gövdeye mesnetlemiştir.

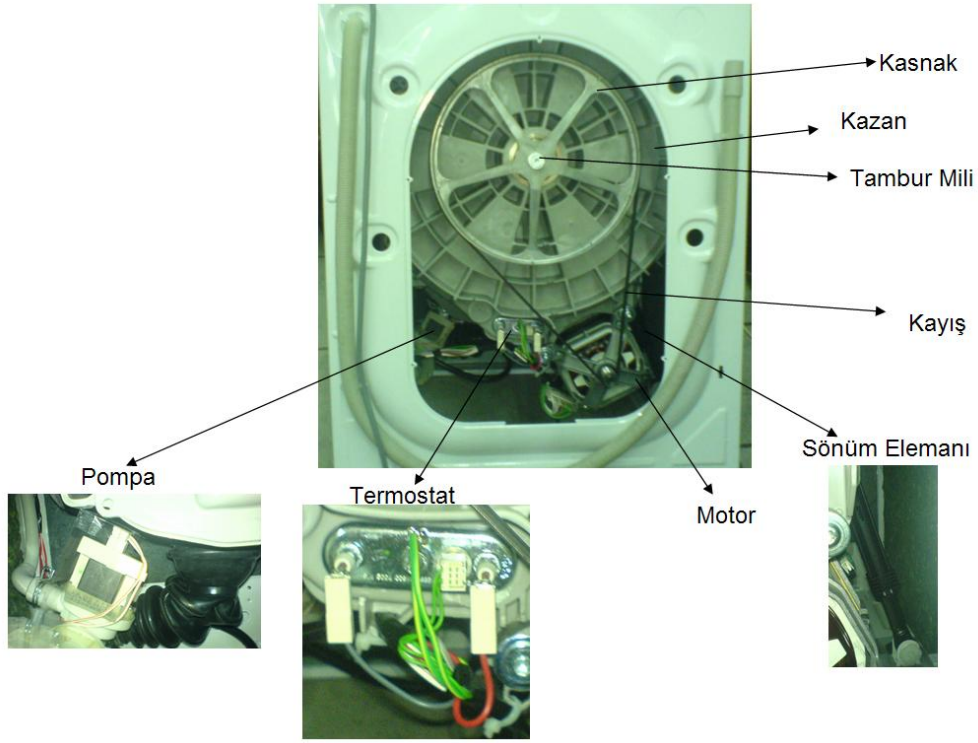


Şekil 2.19: Birinci deneğin üstten görünüşü

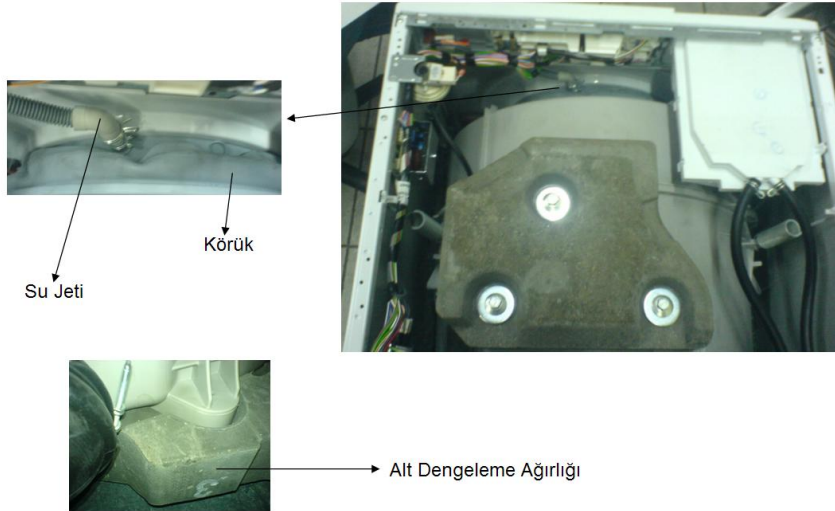
Şekli 2.20 'da denek çamaşır makinasının arkadan fotoğrafı verilmiştir. Burada pompa hariç tüm elemanlar tahrik grubuna aittir, pompa ise gövde grubunun elemanıdır. Kasnak bir mil yardımıyla tambura bağlanır ve motordan alınan tahrik kayış yardımıyla kasnağa iletilir, kasnağa tespit edilmiş tambur, kasnakla beraber döner. Motor kazana monte edilmiştir. Motor da kütlesi nedeni ile kazanın doğal frekansını azaltır. Sönüm elemanı makinanın gövdeye çarpmasını, titreşim genliklerin azalmasını sağlar. Bu denekte iki adet tek etkili sönüm elemanı vardır. Bunlar karşılıklı olarak gövdenin iki yanına yerleştirilmiştir. Pompa su jetine su gönderilmesi ve kirli suyun makinadan dışarı atılması görevini üstlenir.

Çamaşır makinası kapağı ile kazan arasında körük olarak adlandırılan bir eleman vardır. Bu elemanın asıl görevi sızdırmazlık sağlamaktır (Şekil 2.21). Pompa kazan içerisindeki suyu su jetine aktarır ve su jeti de suyu tekrar çamaşırın üzerine gönderir. Su jeti çamaşırın ıslanmasını kolaylaştıran aygıttır. Körüğün hemen altında ikinci bir dengeleme ağırlığı mevcuttur.

Bu denekte, dengesizliğin konum ve miktarını algılayacak herhangi bir sensör yoktur.



Şekil 2.20: Birinci deneğin arkadan görünüşü



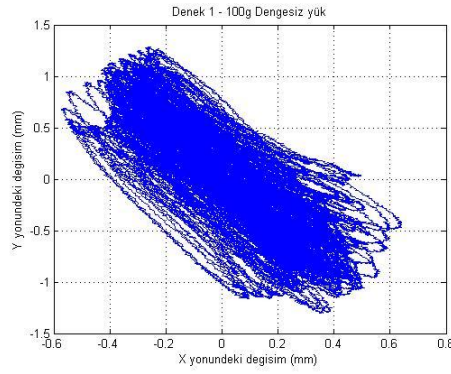
Şekil 2.21: Çamaşır makinasının üstten görünüşü

Çamaşır makinası, sıkma programına ayarlanmıştır ve maksimum 600 devirle sıkma yapması istenmiştir. Bu şartlar altında değişik dengesiz yükler altında bu denek için çizelge 2.5 'deki sonuçlar elde edilmiştir.

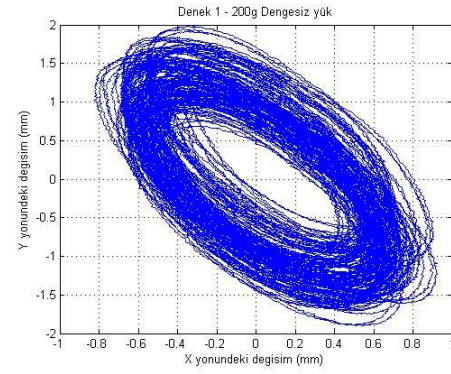
Çizelge 2.5: Denek 1 için sıkma çizelgesi

Dengesiz Yük	Açıklama
100g	Sıkma Yaptı
200g	Sıkma Yaptı
300g	Sıkma Yaptı
400g	<i>Sıkma Yapmadı</i>

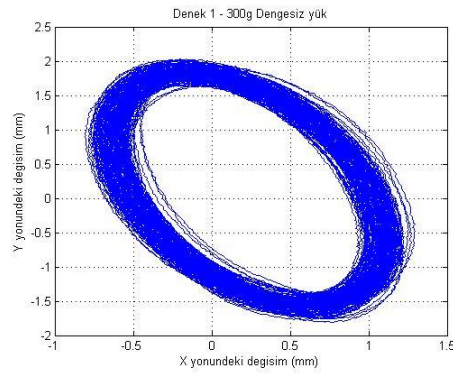
Deneme sonucu 400g dengesiz yük altında makinanın sıkma yapmadığı anlaşılmıştır. Bu durumda, maksimum sıkma yapabileceği dengesiz yük miktarı 300g olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.22 ‘de makina 600 devirde ve stabil haldeyken elde edilen orbitler verilmiştir.



(a)



(b)

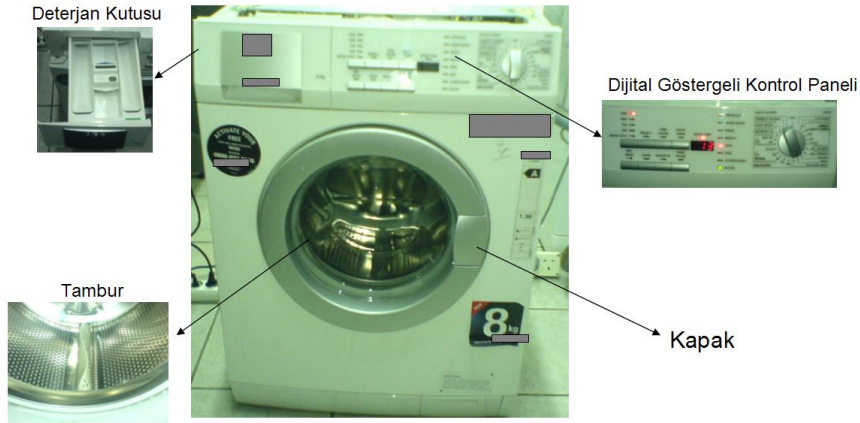


(c)

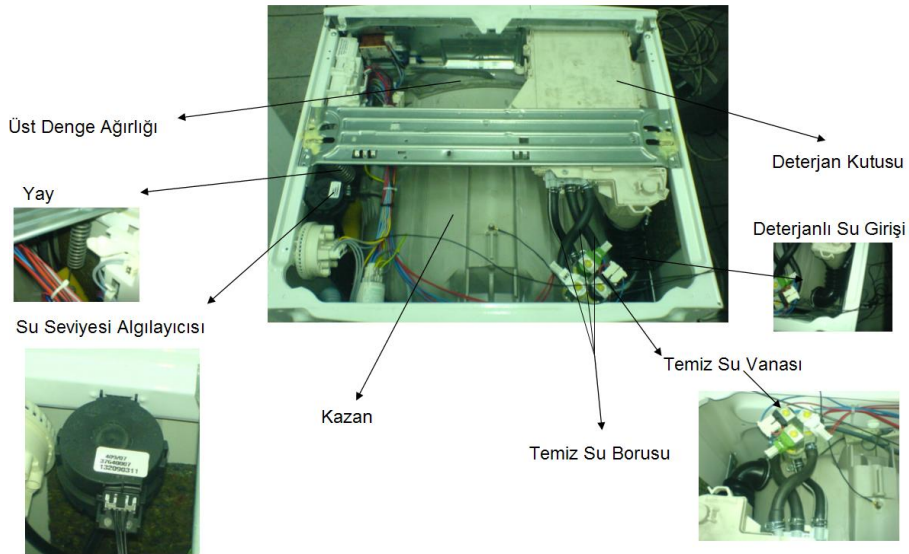
Şekil 2.22: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı

2.4.3. İkinci Deneğin İncelenmesi

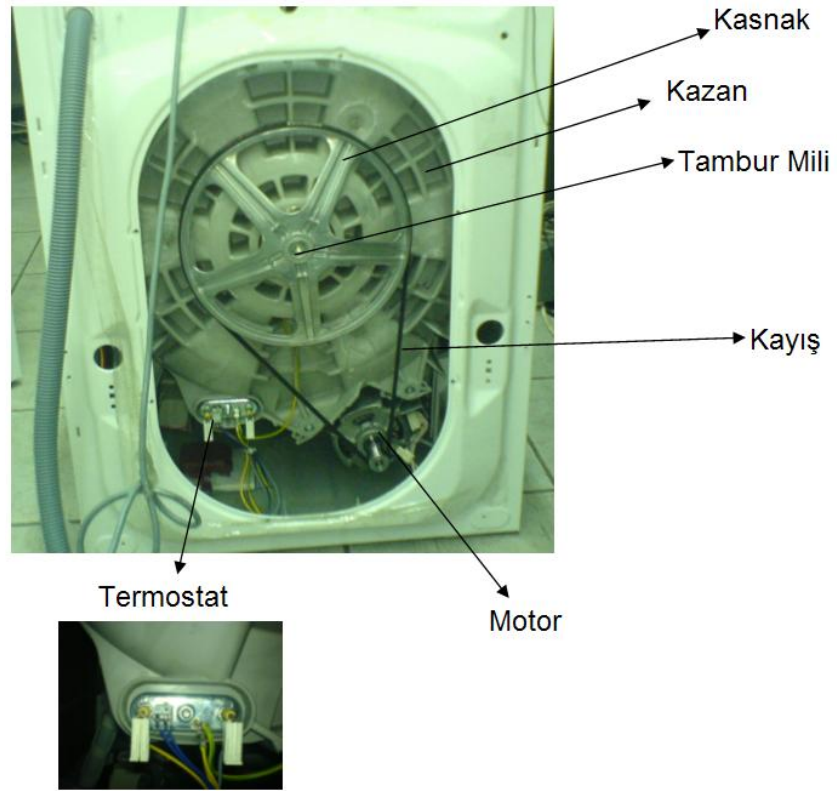
İkinci Denek, 8 kg çamaşır kapasiteli, yıkanacak çamaşır türüne göre 500-1400 dev/dak arası sıkma yapabilen yabancı bir çamaşır makinası üreticisine aittir. Makina ile ilgili bazı ayrıntılar Şekil 2.23, 2.24, 2.25, 2.26 ve 2.27 ‘da verilmiştir.



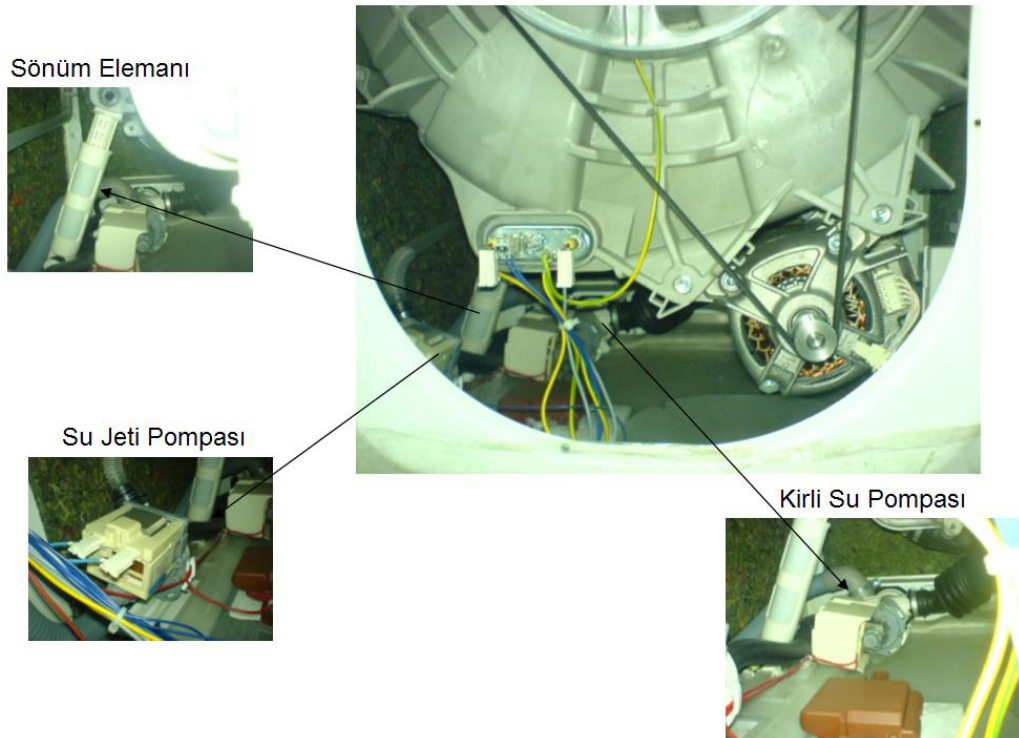
Şekil 2.23: İkinci deneğin önden görünüşü



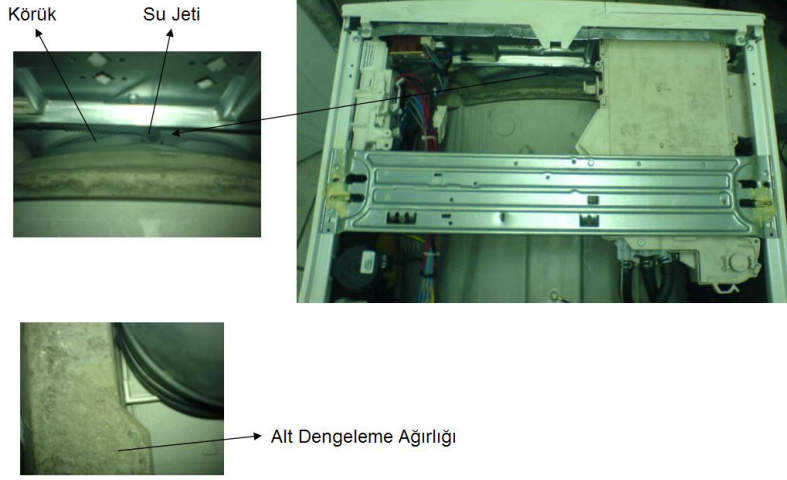
Şekil 2.24: İkinci deneğin üstten görünüşü



Şekil 2.25: İkinci deneğin arkadan görünüşü



Şekil 2.26: Pompa ve sönüm elemanı bağlantıları



Şekil 2.27: İkinci deneğin üstten görünüşü

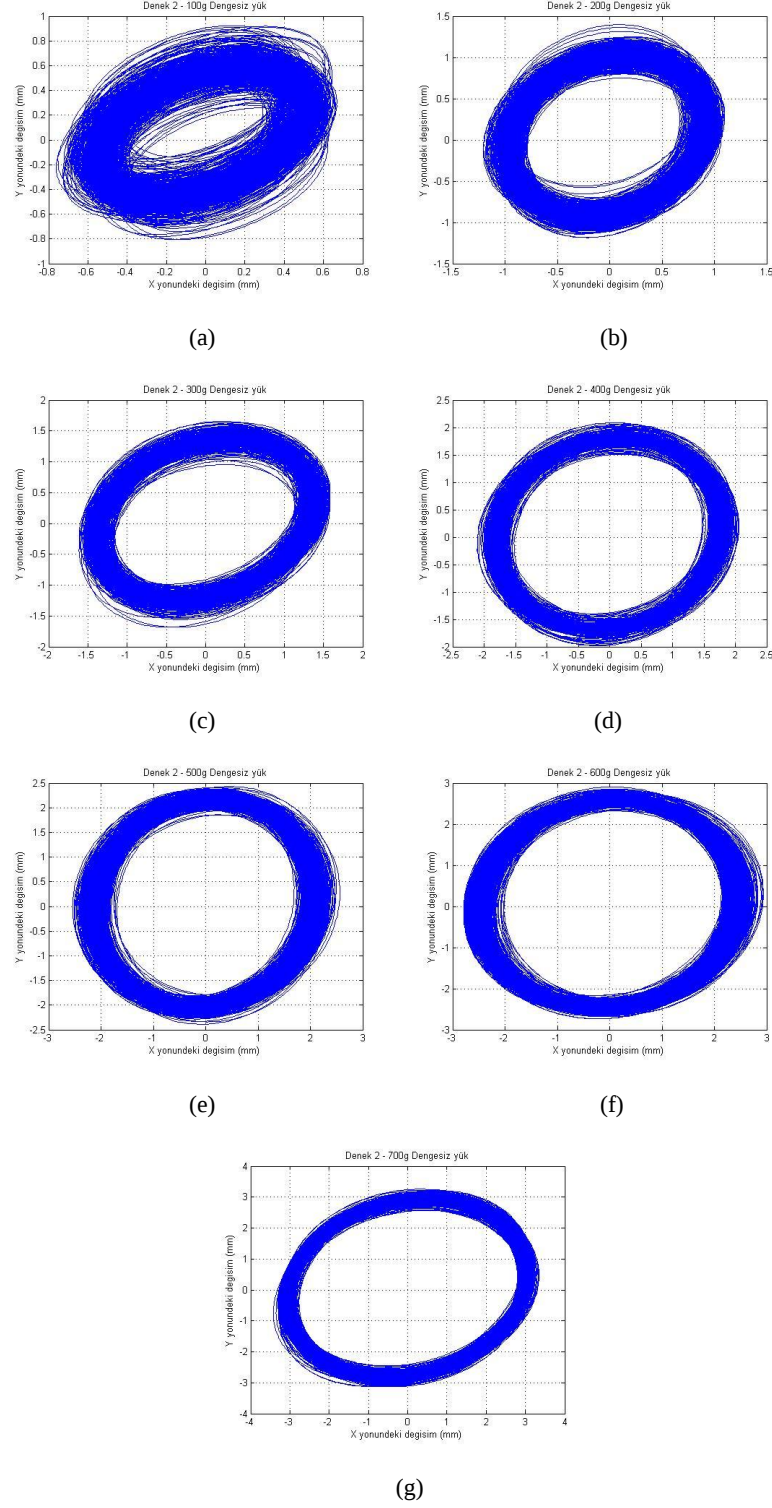
Denekte, dengesizliğin konum ve miktarını algılayacak herhangi bir sensör yoktur.

Çamaşır makinası, sıkma programına ayarlanmıştır ve maksimum 600 devirle sıkılma yapması istenmiştir. Bu şartlar altında bu denek için aşağıda, çizelge 2.6 ‘daki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 2.6: Denek 2 için sıkma çizelgesi

Dengesiz Yük	Açıklama
100g	Sıkma Yaptı
200g	Sıkma Yaptı
300g	Sıkma Yaptı
400g	Sıkma Yaptı
500g	Sıkma Yaptı
600g	Sıkma Yaptı
700g	Sıkma Yaptı
800g	<i>Sıkma Yapmadı</i>

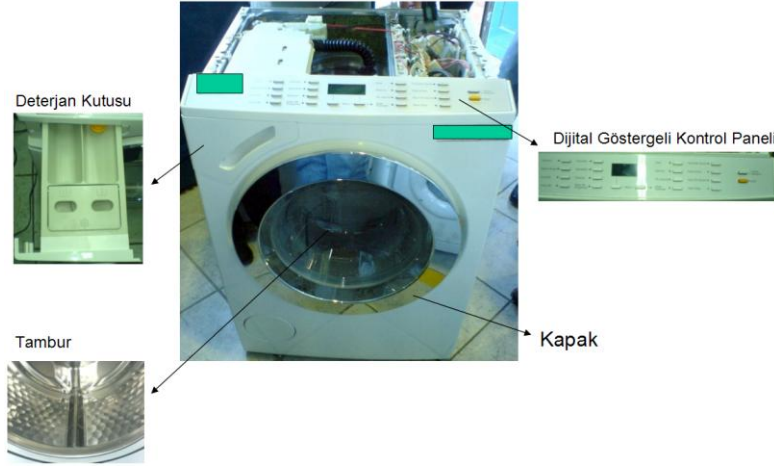
Deneme sonucu 800g dengesiz yük altında makinanın sıkma yapmadığı anlaşılmıştır. Maksimum sıkma yapılabilecek dengesiz yük miktarı 700g kabul edilmiştir. İlgili orbitler şekil 2.28 'de verilmiştir.



Şekil 2.28: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı, (d) 400g dengesiz yük bağlı, (e) 500g dengesiz yük bağlı, (f) 600g dengesiz yük bağlı, (g) 700g dengesiz yük bağlı

2.4.4. Üçüncü Deneğin İncelenmesi

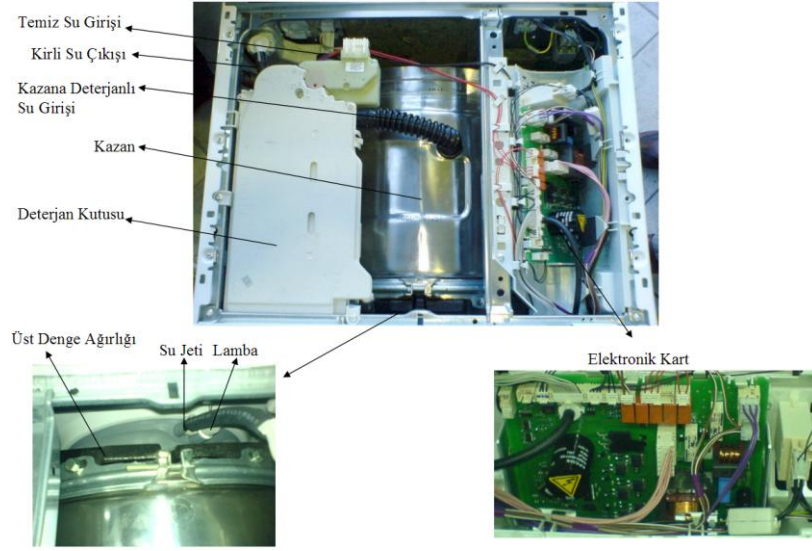
Bu denek, 6 kg çamaşır kapasiteli, yıkanacak çamaşır türüne göre 400-1600 dev/dak arası sıkma yapabilen yabancı bir çamaşır makinası üreticisine aittir. Bu makinanın değişik özelliklerini gösteren resimler Şekil 2.29 - 2.33 arasında verilmiştir.



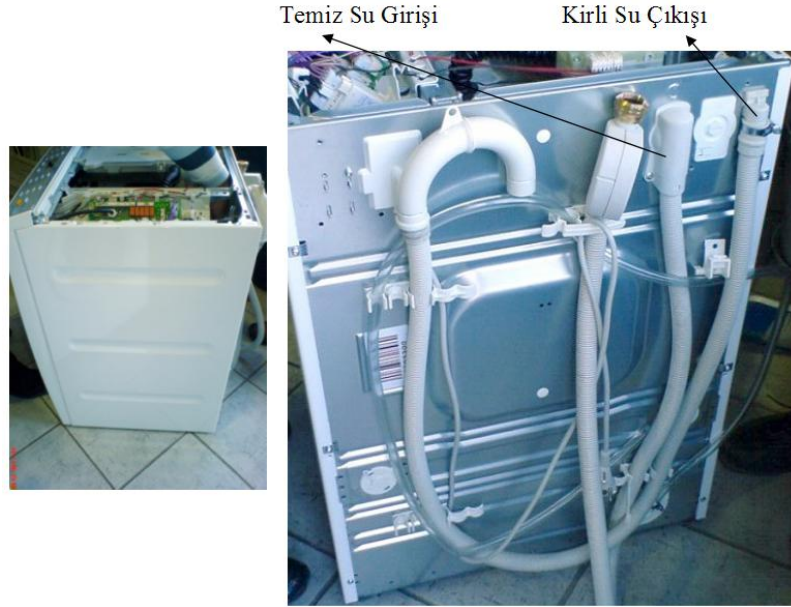
Şekil 2.29: Üçüncü deneğin önden görünüşü

Bu denekte kazan diğer deneklerden farklı olarak metaldir. Bu nedenle, diğerlerine göre daha kütleli olan kazanın, makinanın titreşim genliklerini azaltmada ve makina ayaklardaki sürtünme kuvvetini artırmada pozitif etki yapması beklenmektedir.

Bu denekte, şimdiye kadar incelenen diğer deneklerden farklı olarak bir adet ağırlık algılayıcı sensör bulunmaktadır. Bu sensör, içerideki kuru çamaşırın ağırlığını algılayarak bu çamaşırlara yetecek kadar su değerinin hesaplanmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede sudan tasarruf sağlanmaktadır.

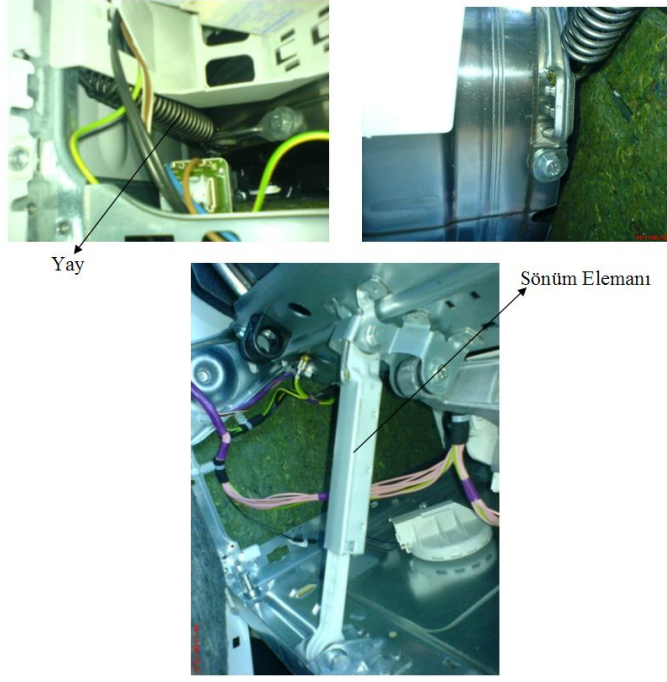


Şekil 2.30: Üçüncü deneğin üstten görünüşü

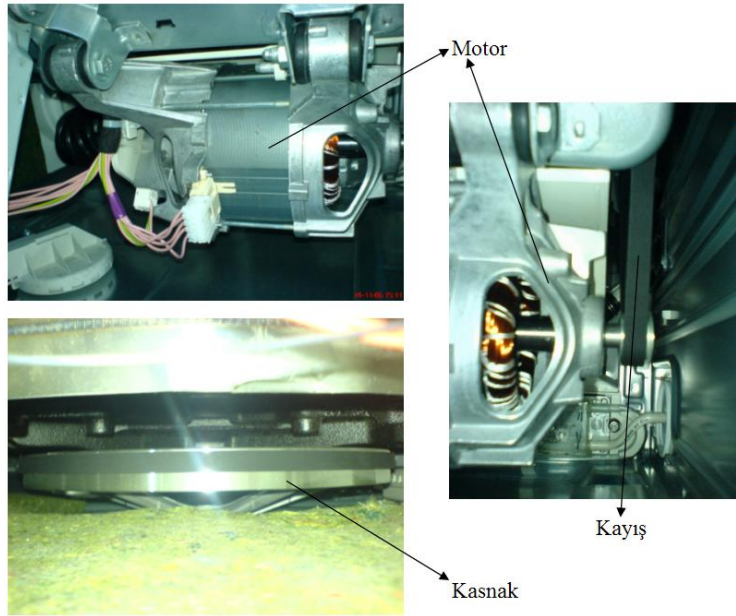


Şekil 2.31: Üçüncü deneğin arkadan ve yandan görünüşü

Üretici firma, kazanı 4 adet yay ile kasaya mesnetlemiştir ve 2 adet sönüm elemanı kullanmıştır (Şekil 2.32).



Şekil 2.32: Yay ve sönüm elemanı bağlantıları



Şekil 2.33: Motor ve kasnak

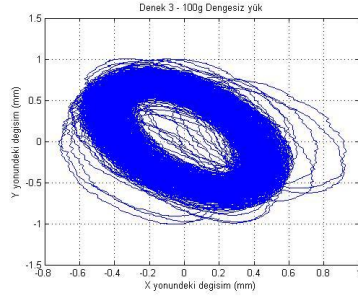
Çamaşır makinası sıkma programına ayarlanmıştır ve maksimum 600 devirle sıkma yapması istenmiştir. Bu şartlar altında bu denek için çizelge 2.7 'de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 2.7: Denek 3 için sıkma çizelgesi

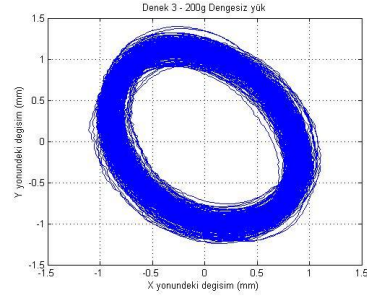
Dengesiz Yük	Açıklama
100g	Sıkma Yaptı
200g	Sıkma Yaptı
300g	Sıkma Yaptı
400g	Sıkma Yaptı
500g	Sıkma Yaptı
600g	Sıkma Yaptı
700g	Sıkma Yaptı
800g	Sıkma Yaptı
900g	Sıkma Yaptı
1000g	Sıkma Yaptı
1100g	Sıkma Yaptı
1200g	Sıkma Yaptı
1300g	Sıkma Yaptı
1400g	Sıkma Yaptı
1500g	Sıkma Yaptı
1600g	<i>Sıkma Yapmadı</i>

Deneme sonucu 1600g dengesiz yük altında makinanın sıkma yapamadığı anlaşılmıştır. Maksimum sıkma yapılabilecek dengesiz yük miktarı 1500g kabul edilmiştir.

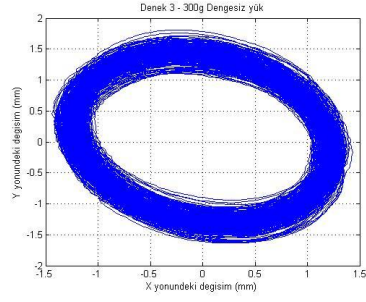
Şekil 2.34, değişik dengesiz yükler altında ve 600 devirde makina stabil haldeyken elde edilen orbitleri göstermektedir.



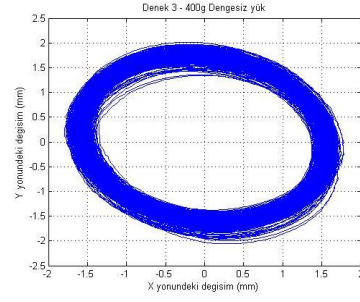
(a)



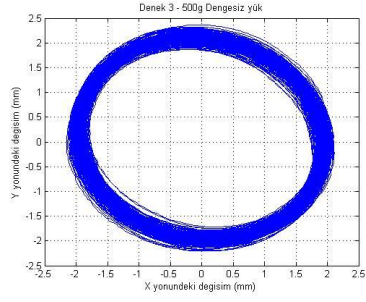
(b)



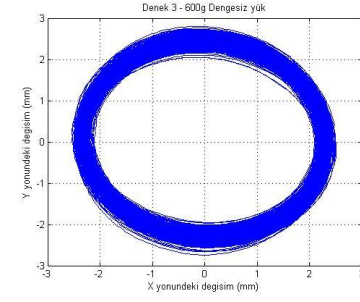
(c)



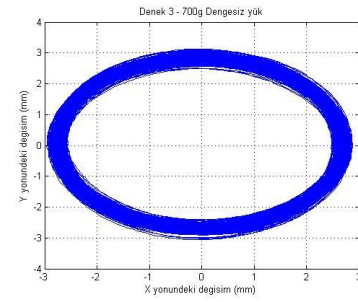
(d)



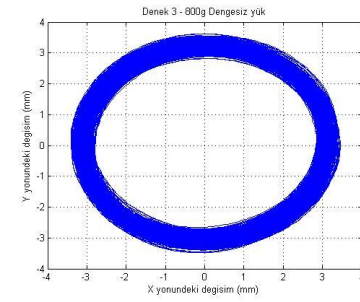
(e)



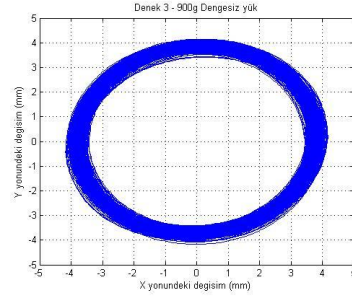
(f)



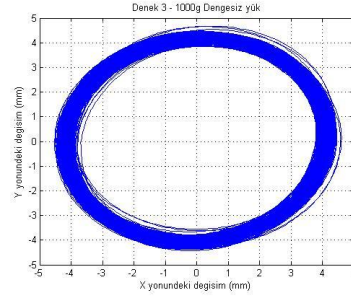
(g)



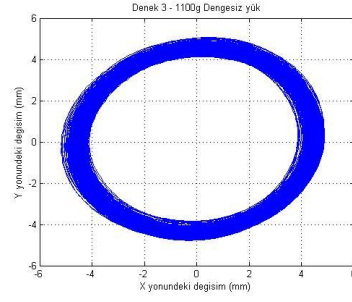
(h)



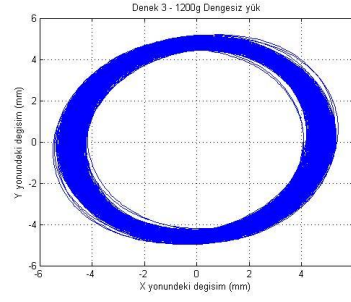
(i)



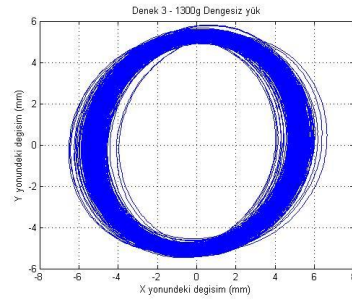
(j)



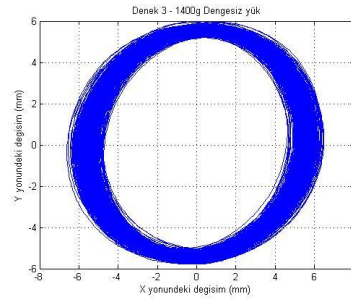
(k)



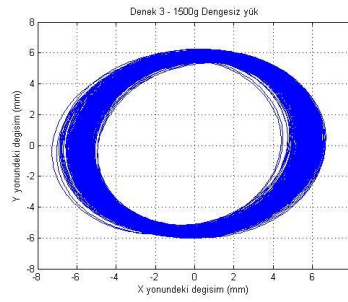
(l)



(m)



(n)

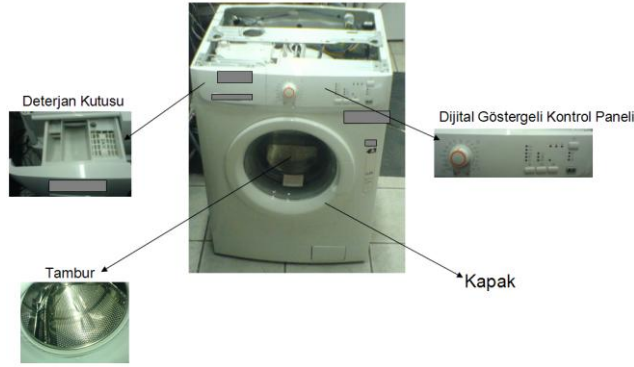


(o)

Şekil 2.34: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı, (d) 400g dengesiz yük bağlı, (e) 500g dengesiz yük bağlı, (f) 600g dengesiz yük bağlı, (g) 700g dengesiz yük bağlı, (h) 800g dengesiz yük bağlı, (i) 900g dengesiz yük bağlı, (j) 1000g dengesiz yük bağlı, (k) 1100g dengesiz yük bağlı, (l) 1200g dengesiz yük bağlı, (m) 1300g dengesiz yük bağlı, (n) 1400g dengesiz yük bağlı, (o) 1500g dengesiz yük bağlı

2.4.5. Dördüncü Deneğin İncelenmesi

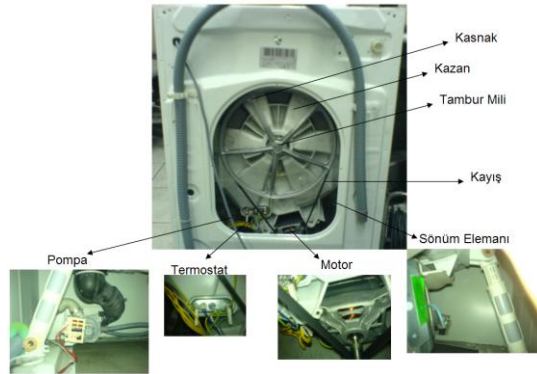
Bu denek, 5 kg çamaşır kapasiteli ve yıkanacak çamaşır türüne göre 500-800 dev/dak arası sıkma yapabilen yabancı bir çamaşır makinası üreticisine aittir. Deneğin değişik yönlerden görüntüsü ve bazı detayları Şekil 2.35, 2.36, 2.37 ve 2.38 ‘de verilmiştir.



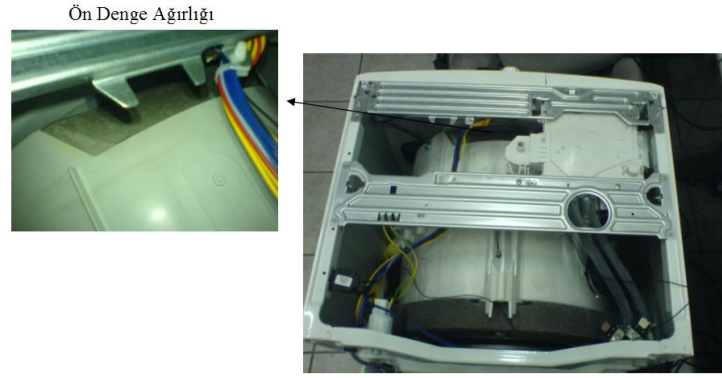
Şekil 2.35: Dördüncü deneğin önden görünüşü



Şekil 2.36: Dördüncü deneğin üstten görünüşü



Şekil 2.37: Dördüncü deneğin arkadan görünüşü



Şekil 2.38: Dördüncü deneğin üstten görünüşü

Bu denekte dengesizliğin konum ve miktarını algılayacak herhangi bir sensör yoktur.

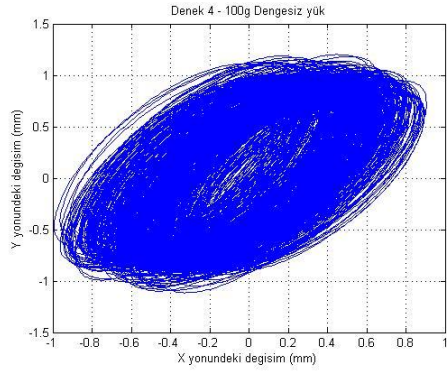
Diğer makinalar gibi bu çamaşır makinası da sıkma programına ayarlanmıştır ve maksimum 600 devirle sıkılma yapması istenmiştir. Bu şartlar altında bu denek için Çizelge 2.8 ‘deki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 2.8: Denek 4 için sıkma çizelgesi

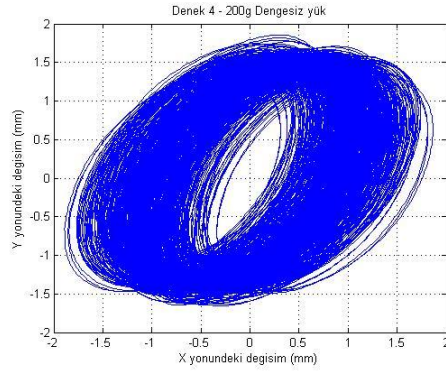
Dengesiz Yük	Açıklama
100g	Sıkma Yaptı
200g	Sıkma Yaptı
300g	Sıkma Yaptı
400g	Sıkma Yaptı
500g	Sıkma Yaptı
600g	<i>Sıkma Yapmadı</i>

Deneme sonucu 600g dengesiz yük altında makinanın sıkma yapamadığı anlaşılmıştır. Maksimum sıkma yapılabilecek dengesiz yük miktarı 500g kabul edilmiştir.

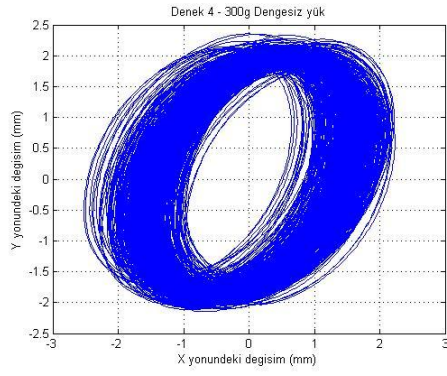
Şekil 2.39 ‘da, 700 devirde makina stabil haldeyken elde edilen orbitleri göstermektedir.



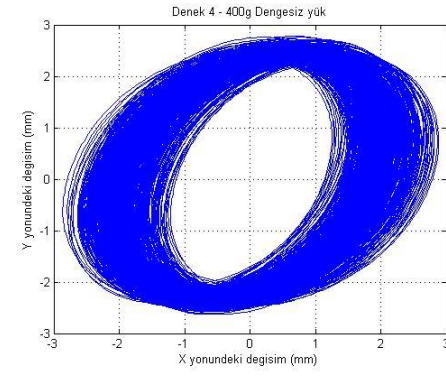
(a)



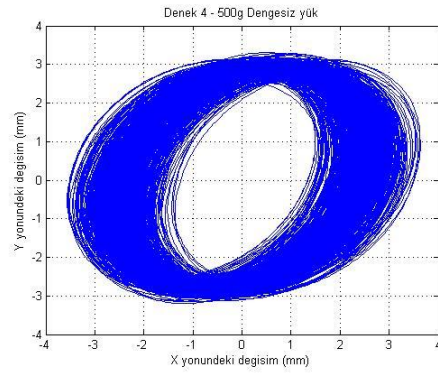
(b)



(c)



(d)

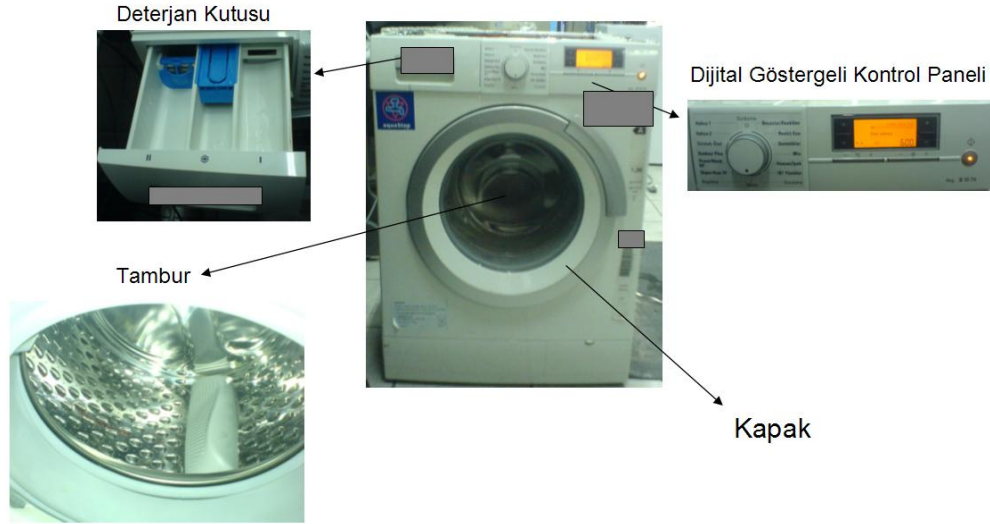


(e)

Şekil 2.39: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı, (d) 400g dengesiz yük bağlı, (e) 500g dengesiz yük bağlı

2.4.6. Beşinci Deneğin İncelenmesi

Bu denek, 8 kg çamaşır kapasiteli ve yıkanacak çamaşır türüne göre 400-1600 dev/dak arası sıkma yapabilen yabancı bir çamaşır makinası üreticisine aittir. Diğer deneklerde olduğu gibi bu makinanında değişik yönlerden görüntüleri ve makinanın değişik parçaları şekil 2.40, 2.41 ve 2.42 'de verilmiştir.



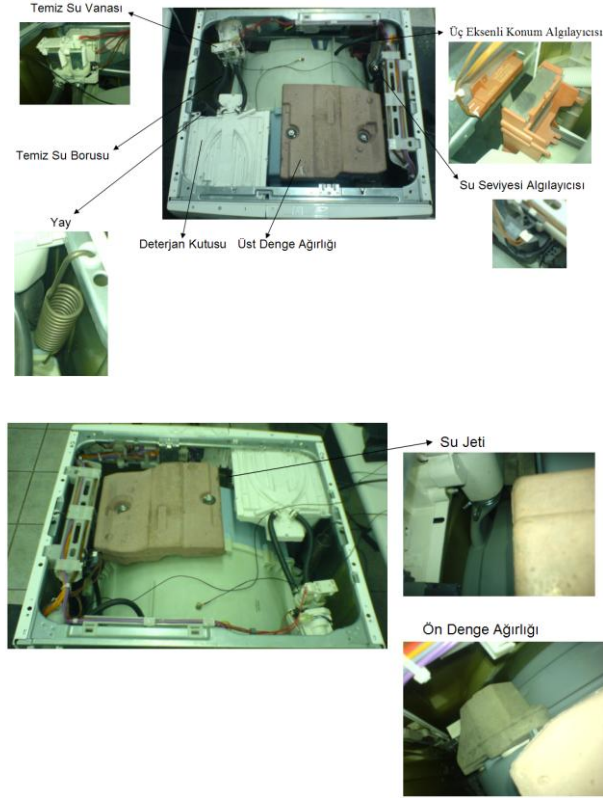
Şekil 2.40: Beşinci deneğin önden görünüşü

Sekil 4.54 de tahrik grubunun denge ağırlığı, yay, kazan gibi bazı elemanları görülmektedir. Ayrıca, diğer deneklerden farklı olarak bu makinada 3 eksenli bir konum algılayıcısı mevcuttur. Bu algılayıcıdan elde edilen bilgiler doğrultusunda

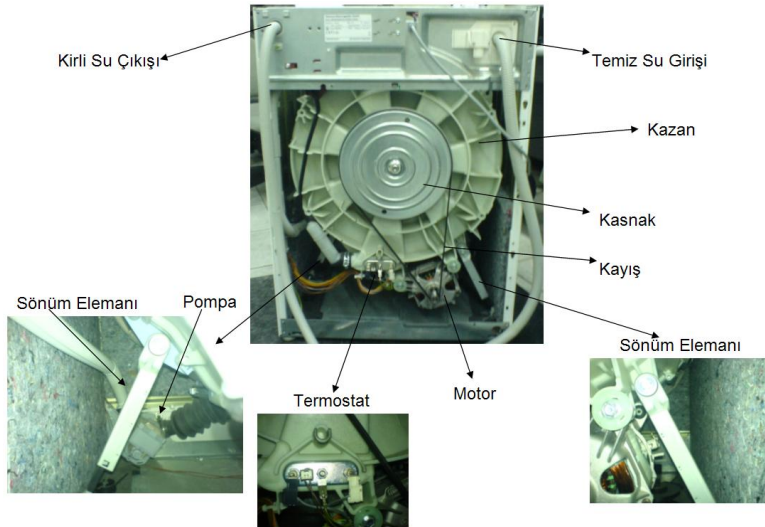
- Çamaşırların ağırlığı,
- Makinanın içerisindeki çamaşırı yıkamak için ne kadar su gerektiği,
- Makinanın içerisindeki çamaşırı yıkamak için ne kadar deterjan gerektiği

hesaplanabilmektedir.

Diğer deneklerden farklı olarak bu denekteki en önemli unsur bu makinanın 3 eksenli bir konum algılayıcısına sahip olmasıdır. Bu sensörden elde edilebilecek bilgiler sayesinde dengesizliğin miktarını belirlemek mümkün gözükmeyle birlikte makinada böyle bir algoritmanın olup olmadığı henüz kesinlik kazanmamıştır.



Şekil 2.41: Beşinci deneğin üstten görünüşü



Şekil 2.42: Beşinci deneğin arkadan görünüşü

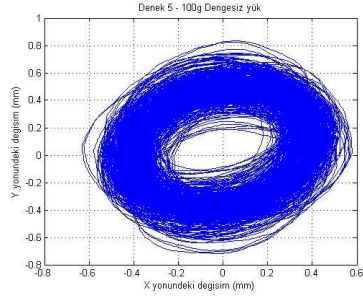
Beşinci denek makinada diğer makinalardan farklı olarak üç adet çift etkili sönüm elemanı mevcuttur.

Diğer makinalar gibi bu denek de sıkma programına ayarlanmış ve maksimum 600 devirle sıkma yapması istenmiştir. Bu şartlar altında bu denek için çizelge 2.9 ‘da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

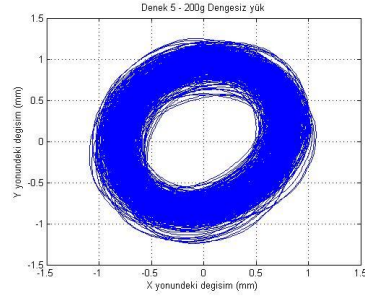
Çizelge 2.9: Denek 5 için sıkma çizelgesi

Dengesiz Yük	Açıklama
100g	Sıkma Yaptı
200g	Sıkma Yaptı
300g	Sıkma Yaptı
400g	Sıkma Yaptı
500g	Sıkma Yaptı
600g	Sıkma Yaptı
700g	Sıkma Yaptı
800g	Sıkma Yaptı
900g	Sıkma Yaptı
1000g	Sıkma Yaptı
1200g	Sıkma Yaptı
1300g	<i>Sıkma Yapmadı</i>

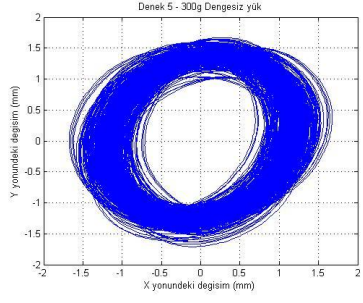
Görüldüğü gibi 1300g dengesiz yük altında makinanın sıkma yapamadığı anlaşılmıştır. Maksimum sıkma yapabileceği dengesiz yük miktarı 1200g kabul edilmiştir.Şekil 2.43 'de, 600 devirde makina stabil haldeyken elde edilen orbitleri göstermektedir.



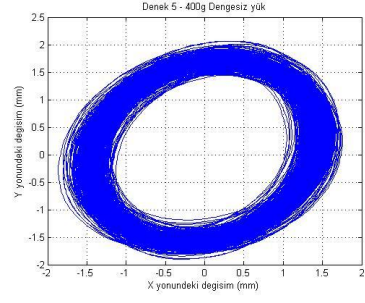
(a)



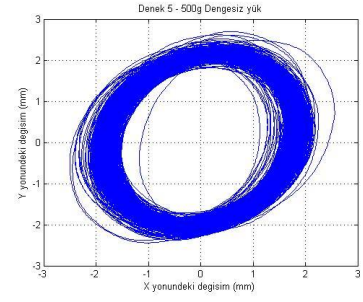
(b)



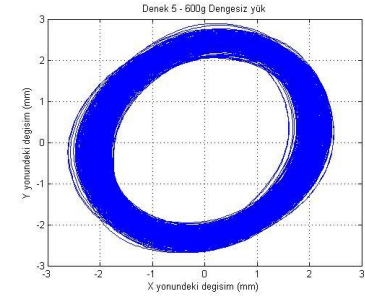
(c)



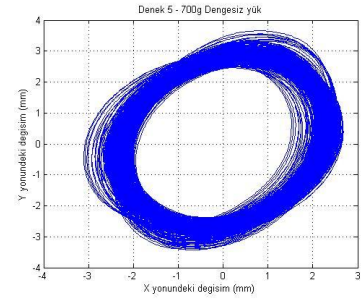
(d)



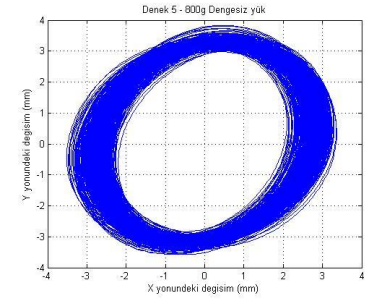
(e)



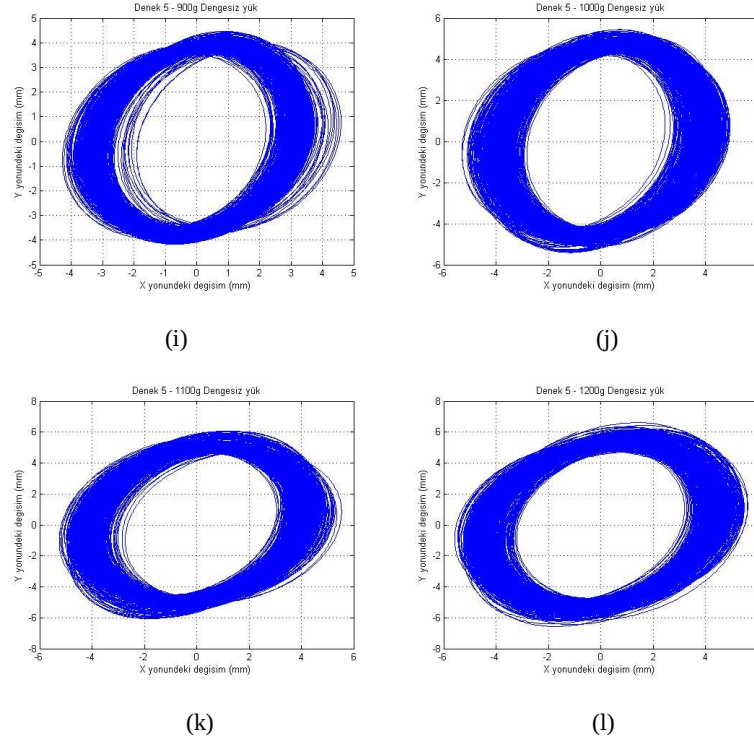
(f)



(g)



(h)



Şekil 2.43: Orbit, (a) 100g dengesiz yük bağlı, (b) 200g dengesiz yük bağlı, (c) 300g dengesiz yük bağlı, (d) 400g dengesiz yük bağlı, (e) 500g dengesiz yük bağlı, (f) 600g dengesiz yük bağlı, (g) 700g dengesiz yük bağlı, (h) 800g dengesiz yük bağlı, (i) 900g dengesiz yük bağlı, (j) 1000g dengesiz yük bağlı, (k) 1100g dengesiz yük bağlı, (l) 1200g dengesiz yük bağlı

2.4.7. Deneklerin Karşılaştırılması

Deneklerin kabiliyetleri, dengesizlik sınırları ve dengesiz yüke karşı kabiliyetleri karşılaştırılmış ve sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde özetlenmiştir.

Çizelge 2.10 'da belirtildiği gibi bütün deneklerde dengesizlik algılama algoritması olduğu anlaşılmaktadır. Bütün denekler dengesizliği algılama algoritmaları sayesinde aşırı dengesizlik durumunu algılamış ve sıkma işlemini gerçekleştirmemiştir.

Denek 5 hariç, diğer makinalarda dengesizliğin konum ve miktarının belirlenebileceği bir sensör bulunmamaktadır. Denek 5 deki sensörde farklı amaçlar için kullanılmakta olup, bu sensörün dengesizliğin algılanması amacına yönelik olarak da kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Çizelge 2.10: Deneklerde mevcut sensör tipleri ve dengesizlik algılama kabiliyetleri

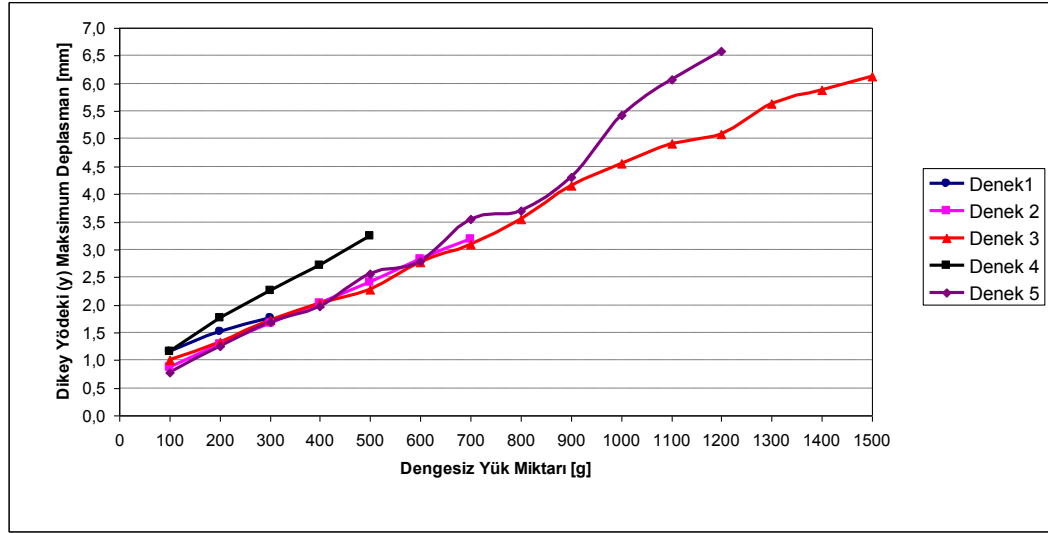
	Sensör tipleri ve adetleri	Dengesizliğin konumunun ve miktarının algılanması için kullanılan veya kullanılabilecek sensörler ve adetleri	Dengesizliğin algılanması için kullanılan algoritma
Denek 1	1 Adet 'Termostat', 1 Adet 'Su Seviyesi Algılayıcısı', 1 Adet 'Devir Sayacı'	Yok	Algoritma var.
Denek 2	1 Adet 'Termostat', 1 Adet 'Su Seviyesi Algılayıcısı', 1 Adet 'Devir Sayacı'	Yok	Algoritma var.
Denek 3	1 Adet 'Termostat', 1 Adet 'Su Seviyesi Algılayıcısı', 1 Adet 'Devir Sayacı', 1 Adet 'Ağırlık Algılayıcısı'	Yok	Algoritma var.
Denek 4	1 Adet 'Termostat', 1 Adet 'Su Seviyesi Algılayıcısı', 1 Adet 'Devir Sayacı'	Yok	Algoritma var.
Denek 5	1 Adet 'Termostat', 1 Adet 'Su Seviyesi Algılayıcısı', 1 Adet 'Devir Sayacı', 1 Adet 'Üç eksenli Konum Algılayıcı'	1 Adet 'Üç eksenli Konum Algılayıcı'	Algoritma var.

Çizelge 2.11: Sıkma yapılabilen maksimum dengesiz yükler

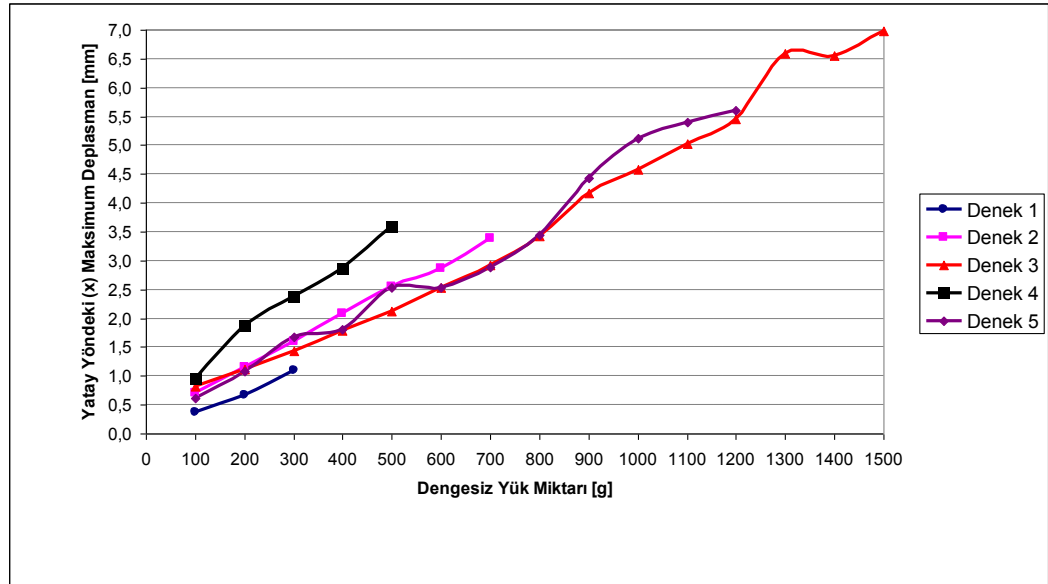
	Ölçüm Alınan Sıkma Değeri	Sıkma yapılabilen maksimum dengesiz yük
Denek 1	600 rpm	300 g
Denek 2	700 rpm	700 g
Denek 3	600 rpm	1500 g
Denek 4	700 rpm	500 g
Denek 5	600 rpm	1200 g

Çamaşır makinalarının, maksimum sıkabildikleri dengesiz yük miktarına göre karşılaştırılmaları çizelge 2.11 de verilmiştir. Görüldüğü gibi *Denek 3* ve *Denek 5* diğerlerine göre oldukça yüksek dengesiz yük altında sıkma işlemini gerçekleştirebilmektedir. Ancak, 1200 g dengesiz yük altında *Denek 5* 'te aşırı titreşim gözlenmiştir, hatta bir miktar yürüme eylemi de gerçekleşmiştir. *Denek 3* 'te böyle bir durum gözlenmemiştir. *Denek 3* 'ün kazanının metal olması ve kasasının da diğer deneklere göre daha ağır olması bu makinaya avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, *denek 3* 'de tahrik grubu 4 yayla gövdeye mesnetlenmiştir. *Denek 1* 'in sıkabileceği maksimum dengesiz yük 300 g olup, denekler arasında maksimum dengesiz yük sınırı en düşük olan makinadır.

Şekil 2.44 ve 2.45 'de, deneklere uygulanan farklı dengesiz yükler için yatay ve düşey ekseninde oluşan maksimum deplasman miktarları gösterilmiştir.



Şekil 2.44: Dikey Yöndeki Deplasman- Yük Miktarı Grafiği



Şekil 2.45: Dikey Yöndeki Deplasman- Yük Miktarı Grafiği

2.5. Çamaşır Makinalarının Dengelenmesine Yönelik Patent Araştırması Özeti

Çamaşır makinalarının çalışma döngüsünde en fazla titreşim sıkma işlemi esnasında ortaya çıkmaktadır ve yapılan patent araştırmalarından bu problem ile ilgili olarak yoğun araştırmaların yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmalar sonucu çok sayıda patent başvurusu yapılmış ve çok çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur. Bu çalışmalarda genelde öncelikli hedef kazan içerisindeki dengesiz yükün algılanmasıdır. Dengesiz yükü algılamak için çeşitli algılayıcılar önerilmiş veya motorun dengesiz yük altında çalışırken farklı davranışlarından yararlanılmaya çalışılmıştır.

Motordan algılama yöntemlerinde temel olarak motorun düzenli çalışmasından sapmaları gözlemlenerek belirli sınırlar aşıldığında durma, yavaşlama gibi yaklaşımlar önerilmektedir. Ayrıca motor sıkma işlemi için hızlanırken özel bir ivmelenme ile çamaşırların düzgün bir şekilde dağıtılması üzerine çalışmalar da mevcuttur. Motorun hız ve akım bilgisinin birlikte değerlendirilmesi veya durma, yön değiştirme, hızlanma sırasında motorun çektiği akımdaki değişiklikler ile çamaşır makinesindeki yük miktarının tahmin edilmesi ile ilgili yöntemler mevcuttur [16,17].

Dengesiz yükün varlığını ve miktarını tespit etmek için sisteme çeşitli sensörler ekleyen yöntemler de mevcuttur [18-20]. Kimi çalışmalarda, sistemde hazır bulunan ve başka bir amaçla kullanılan sensörlerin dengesiz yükün algılanması için de kullanılması önerilmiştir [21]. Sensörlerin konulduğu yerler incelendiğinde amortisörlerin [22] ve kazanın üzerindeki boş alan [23] öne çıkan uygulama önerileridir. Ayrıca, ilk yük miktarını belirleyip farklı yük miktarları için farklı yıkama döngüleri önerenler [17], ıslak yük miktarını belirleyip aynı yöntemi uygulayanlar [19] veya bunu ön yıkama sırasında tespit edip aynı şekilde yıkama programını değiştirerek farklı yükler için farklı yıkama hızları seçen patentler de vardır [24]. Ayrıca çamaşır yükünü sıkma sırasında belirlemeyi hedefleyen yöntemlerde önerilmiştir [25].

Dengeleme işlemini ek yüklerle [26–28] veya dengesizliğin yol açtığı ivmelenmeler nedeni ile yer değiştiren kütleler ile yapmayı öneren çalışmalar da mevcuttur [29–32]. Bu çalışmalarda yer değiştiren yük çeşidi ve yer değiştirme mekanizmaları farklı olmasına rağmen temel olarak sistemin kendiliğinden dengeyi yakalaması öngörülmektedir [33–36].

Bir başka yaklaşım ise dengesizliğe müdahale etmeden yıkamanın farklı aşamalarında farklı yay ve sönüm özellikli izolatörler kullanarak dengesiz yükten kaynaklanan titreşimleri minimize etmeyi amaçlamaktadır. Bunu yaparken sadece yük miktarlarını göz önünde bulunduranlar [37,38] olduğu gibi dengesiz yük miktarını da dikkate alan çalışmalar da vardır [39,40].

Son olarak dengesiz yük miktarını ve yerini çeşitli sensörler ve yöntemler ile algılayıp bunu dengeleyecek yükü bilinçli bir şekilde istenilen konuma getirmek şeklinde açıklanabilecek çalışmalar da yapılmıştır. Bu çalışmalar kullanılan sensör teknolojileri ve kullanılan yük değiştirme yöntemleri ile birbirinden ayrılmaktadır [41-43].

3. ÇAMAŞIR MAKİNASI İÇİN TEORİK MODEL GELİŞTİRİLMESİ

3.1. Giriş

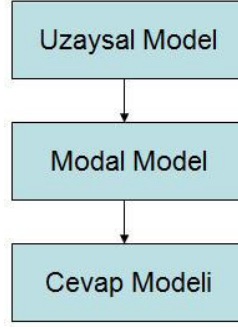
Bu bölümde, çamaşır makinası için basit bir modelin ortaya konması ve bu modeli kullanarak dengesiz yükler nedeni ile sistemde oluşacak titreşimleri kabul edilebilir seviyede tahmin edebilmek amaçlanmıştır.

Yukarıda sözü edilen model geliştirildikten sonra bu modelin tez kapsamında kullanım amacı daha farklı olacaktır. Deneysel veriler ile doğrulanan bu model, titreşimlerin ölçülerek dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi için kullanılabilecektir. Dolayısı ile dengesizliğin belirlenmesinde sıkça kullanılan deneme kütlelerinin kullanılması ihtiyacının da ortadan kaldırılması beklenmektedir.

Yapıları temsil edecek modellerin ortaya konması için iki farklı yaklaşım izlenilebilir. Bunlar, *teorik yaklaşım* ve *deneysel yaklaşım* olarak adlandırılmaktadırlar [44]. Teorik yaklaşım *uzaysal model* 'in oluşturulmasıyla başlar, *modal model* denilen modelin oluşturulmasıyla devam eder ve bir ileri aşamada da sistemin *cevap modeli* elde edilir. Uzaysal model, sistemin yapısına ait fiziksel karakteristikler olan kütle, rijitlik ve sönüm özelliklerini içinde barındıran modeldir. Modal model ise yapının davranışlarını; doğal frekanslar, sönüm faktörü ve titreşim modlarıyla tanımlayan modeldir. Cevap modeli ise, sistemin bir tahrik altında nasıl cevap vereceği ile ilişkilidir ki, cevap modeli sadece sistemin özelliklerine bağlı değil aynı zamanda sisteme uygulanan tahrik ile de ilgilidir. Cevap modeli, sistemi Frekans Tepki Fonksiyonları ile temsil eder.

Teorik yaklaşımın kademeleri Şekil 3.1 'de de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, bu tür modelden diğer bir tür modeli elde edebilmek mümkündür. Teorik yaklaşımda izlenen sıra önce uzaysal modeli elde etmek, bu modeli kullanarak modal modeli oluşturmak ve bunun ardından da cevap modeline ulaşmaktır.

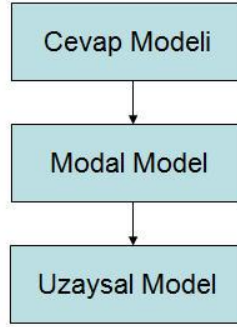
TEORİK YAKLAŞIM



Şekil 3.1: Teorik yaklaşımla sistemin değişik türden modellerinin ortaya konması

Şekil 3.1 'deki akış şeması tam tersi şeklinde de olabilir ve bunada deneysel yaklaşım denilmektedir. Bu yaklaşımda öncelikle cevap modeli oluşturulmakta ve bu model kullanılarak Modal Model ve Uzaysal Model elde edilebilmektedir. Şekil-3.2 'de deneysel yaklaşımın adımları gösterilmektedir.

DENEYSEL YAKLAŞIM



Şekil 3.2: Deneysel yaklaşımla model uzaysal modelin oluşturması

Bu bölümde teorik ve deneysel yaklaşım adımları beraberce kullanılacaktır. Bu bağlamda, öncelikle basit bir çamaşır makinesi modeli proje destekçisi firmanın (ARÇELİK A.Ş.) kullandığı bir bilgisayar programıyla oluşturulacaktır. Bu teorik modelin ilk adımıdır. Aynı makina için deneysel yaklaşım da izlenecek, makina üzerinde bilinen tahrikler altında ölçümler yapılarak sistemin cevap modeli oluşturulacaktır. Bunların hangisinin önce yapıldığının bir önemi olmadığından iki yaklaşımda paralel olarak yapılabilmektedir. Daha sonra teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılacak, teorik model deneysel model doğrultusunda düzeltilecek/güncellenecektir.

Bu tez kapsamında, dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi amacı için geliştirilecek modelin mümkün olduğunca basit olması hedeflenmektedir. Bunun

nedeni ileride böyle bir modelin çamaşır makinası işletim sistemi hafızasına yerleştirilmesi ihtiyacının oluşması söz konusudur ve sözü edilen hafızanın oldukça sınırlı olduğu/olacağıdır. Bu sebeple çamaşır makinası için bir toplu parametre modeli geliştirilecek ve bu model de bilinen dengesiz yüklerler sınavıdır.

3.2. Teorik Model Geliştirilmesi

3.2.1. Giriş

Bu kısımda, çamaşır makinasını temsil edebilecek basit bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Belirtildiği gibi bu modelin dengesizliğin neden olduğu titreşimlerin uygun bir sensörle ölçülebilmesi durumunda, tako sinyali de dikkate alınarak dengesizliğin konum ve miktarını belirlemek için kullanılacaktır. Bu modelin amaca hizmet edecek nitelikte, ancak mümkün olduğu kadar basit olması hedeflenmektedir. Bu amaçla Adams-View 2007 r1 programı [45] kullanılarak modelleme, sonuçların deneysel veriler ile karşılaştırılması ve model düzeltme çalışmaları yapılmıştır.

3.2.2. Teorik Modeli Oluşturacak Gruplar ve Parçalar

2. Bölümde çamaşır makinasının, tahrik ve gövde grubu olarak iki gruba ayrıldığı belirtilmişti. Modelin mümkün olduğunca basitleştirilmesi amacıyla dış gövdenin modellenmemesine karar verilmiştir (dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi amacı kapsamında dış gövdenin esnekliği ihmal edilmiştir). Bu nedenle, buradaki gruplandırma tahrik grubu ve tambur grubu olarak yapılmıştır. Tahrik grubu olarak kazan ve kazanla beraber hareket eden parçalar, tambur grubu olarak da tambur, tamburla beraber hareket eden ve tambura bağlı parçalar göz önüne alınmıştır. Çizelge 3.1’de bu gruplar, gruplara ait olan parçalar ve bu parçaların kütleleri görülmektedir. Bu çizelge ışığında, modelin hazırlanması ve geliştirilmesi gerçekleştirilecektir.

Çizelge 3.1: Çamaşır makinası parçaları ve kütleleri

	Parça Adı	Parçanın Kütlesi (g)
Tahrik Grubu	Motor	6200
	Üst denge kütlesi	10300
	Alt denge kütlesi	12200
	Rulman yuvası	1370
	Kazan ön parça	1820
	Kazan arka parça	3330
	Insert L12	2390
	Kayış	52
	Kasnak	320
	Amortisör silindiri+2 adet pim	120
	Körük	300
	Rulman1 (6206)	200
	Rulman2 (6206)	130
	Tambur ön sacı	721
Tambur Grubu	Tambur arka sacı	933
	Tambur çevre sacı	2610
	Mil	726
	Flanş	668
	Burç	76
	Tambur kanatları	201

Çizelge 3.1 de verilen tüm tahrik grubu elemanlarının toplamı 38.74 kg ve tüm tambur grubu elemanları toplamı 5.94 kg'dır.

3.2.3. Teorik Modelin Oluşturulması

Model oluşturulurken, modelin mümkün olabilecekler arasında en basiti olması gerektiği daha önce belirtilmişti. Aşağıda teorik modelin nasıl oluşturulduğu aşama aşama açıklanmıştır.

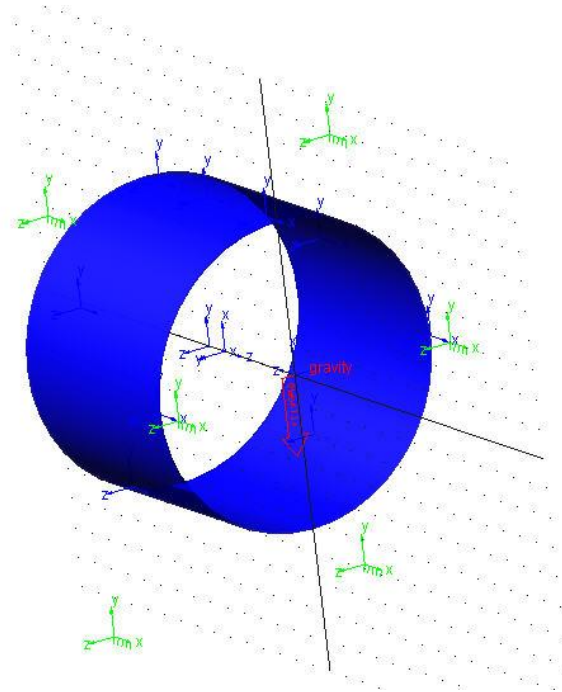
İlk aşamada gövde, kazan ve kazana bağlanacak ivmeölçer konumları araştırılmıştır ve modele dahil edilmiştir. Gövdenin sadece bağlantı noktaları dikkate alınmış ve daha önce de bahsedildiği gibi gövde rijid olatrak varsayılmıştır. Şekil 3.3'deki yeşil renkli eksen-takımları(noktalar) gövde üzerindeki bağlantı noktalarını temsil etmektedir. Şekil 3.3 'ün üst kısmındaki yeşil renk ile gösterilen noktalar yay bağlantıları için, aşağıdaki yeşil noktalar amortisör bağlantıları için ve öndeki yeşil noktalar ise körük bağlantıları içindir. Kazan, Şekil 3.3 'de mavi renkli ve silindir olarak gösterilmiştir. Kazan ile ilgili kütleler çizelge 3.1 de verilmiştir ve tahrik grubunun tüm elemanlarını kapsamaktadır (38.73 kg). Kazanın üzerinde, karşıdan

bakıldığında saat 12 konumunda 3 nokta vardır: bu noktalar, bölümün ilerleyen kısımlarında belirtilecek olan deneysel ölçüm noktalarını sembolize etmektedir. Yine kazan üzerinde yay, amortisör ve körük bağlantı noktaları da belirlenmiştir ve bu noktaların hareketi modele dahil edilmiştir.

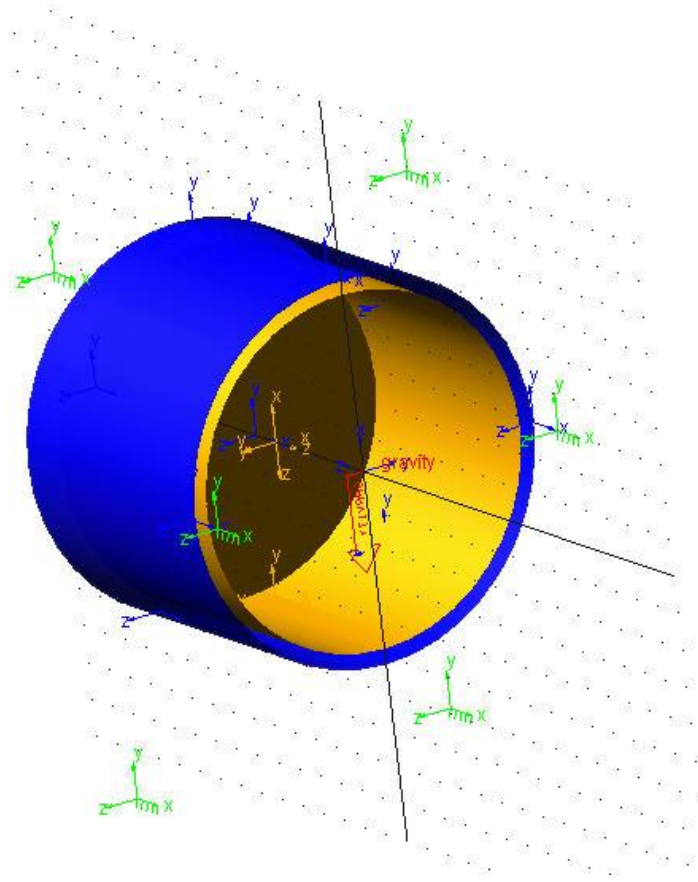
İkinci adımda çamaşır makinasının tamburu modellenmiştir. Şekil 3.4 'de tambur, yine rijid olarak modellenmiş ve sarı renkli silindir şeklinde gösterilmiştir. Kütlesi ise çizelge 3.1 'de verilen, tambur grubunun tüm elemanları olarak kabul edilmiştir (5.935 kg). Tamburun dönme eksenini çamaşır makinasındaki dönme eksenine uyumlu olacak şekilde modellenmiştir.

Üçüncü adımda kazan ile tamburun yaptığı eş eksenli hareketi sağlamak amacıyla döner mafsallı modellenmiştir. Şekil 3.5 'de merkezde görülen menteşe şekli döner mafsallı temsil etmektedir.

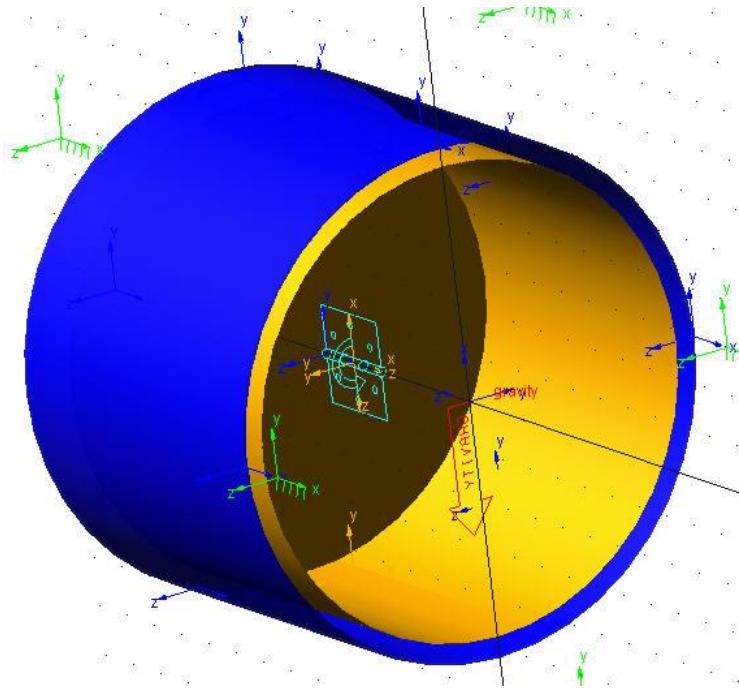
Dördüncü adımda, tamburun kazan içerisinde döndürülebilmesi için modele bir hareket eklenmiştir. Şekil 3.6 da döner mafsallı etrafında görünen döner ok, dönme hareketini temsil etmektedir. Bu hareket özelliği sayesinde, teorik modeldeki tambur istenilen devir sayılarında döndürülebilecektir.



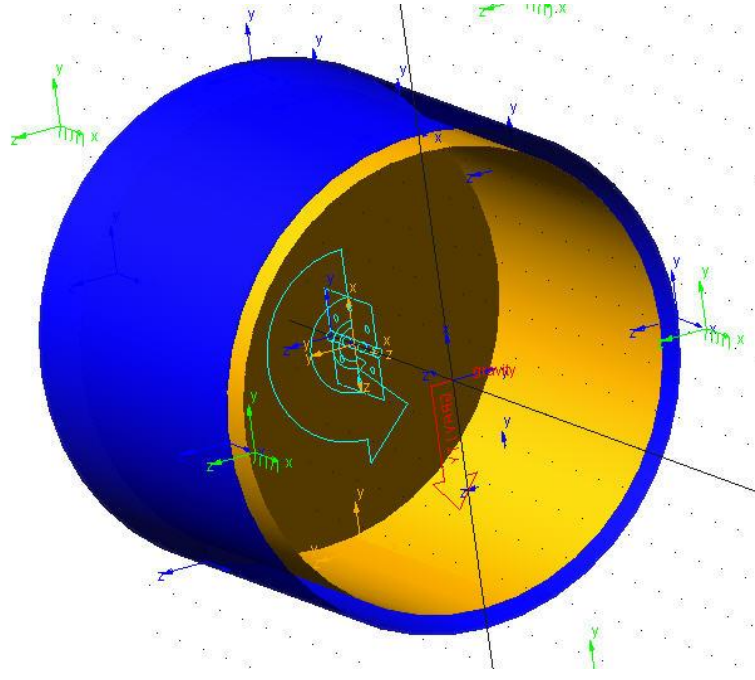
Şekil 3.3: Çamaşır makinası kazanının modellenmesi



Şekil 3.4: Çamaşır makinası tamburunun modellenmesi

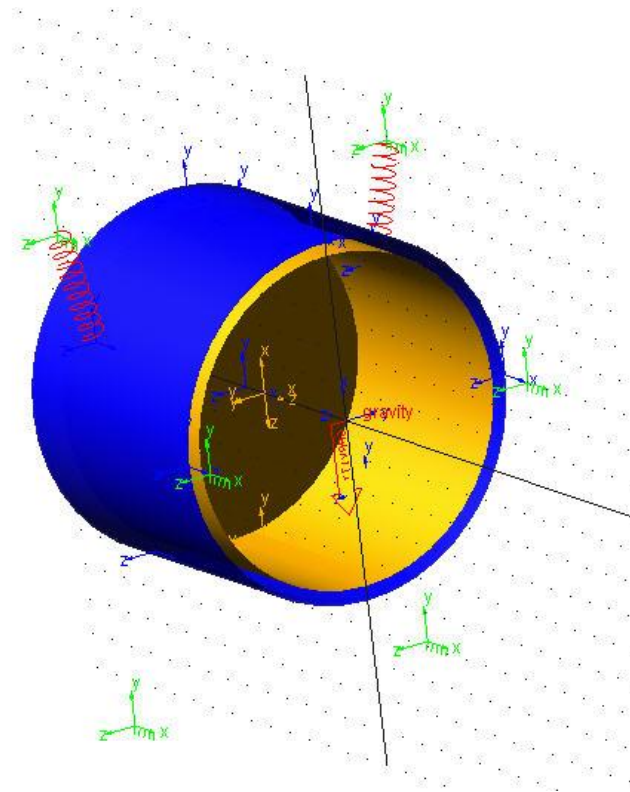


Şekil 3.5: Kazan ve tamburun eş eksenli dönme yapması için mafsalsal modellenmesi



Şekil 3.6: Tamburun kazan içerisinde dönmesi için hareketin modellenmesi

Beşinci adımda askı yayları modellenmiştir. Şekil 3.7 'de görülen askı yaylarının yay katsayıları deneysel veriler dikkate alınarak belirlenmiştir.

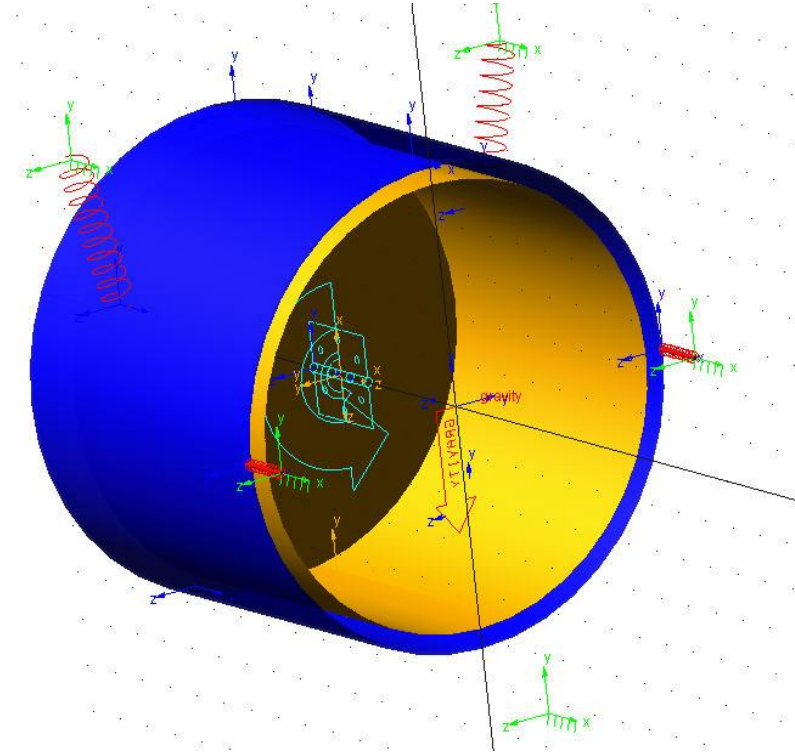


Şekil 3.7: Çamaşır makinası askı yayların modellenmesi

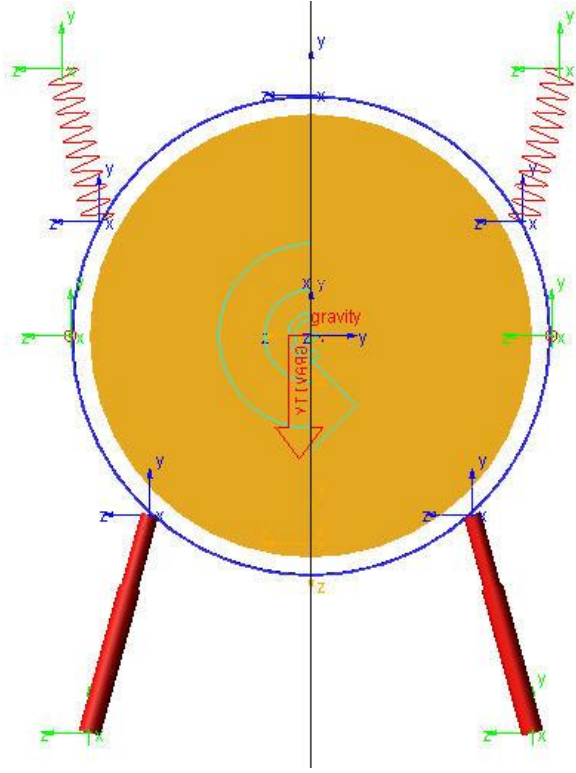
Altıncı adımda körük modele dahil edilmiştir. Körük, şekil 3.8 ‘de de görüldüğü gibi, çamaşır makinasına ‘x’ yönünde etki edecek şekilde, saat 3 ve 9 yönünde gövdeye bağlanmış iki adet yay şeklinde modellenmiştir.

Yedinci adımda amortisörler çamaşır makinası modeline eklenmiştir. Şekil 3.9 da kazanı zemine bağlayan 2 adet eleman amortisörleri temsil etmektedir. Amortisörlerin kuvvet-deplasman özellikleri deneysel veriler göz önüne alınarak belirlenmiştir.

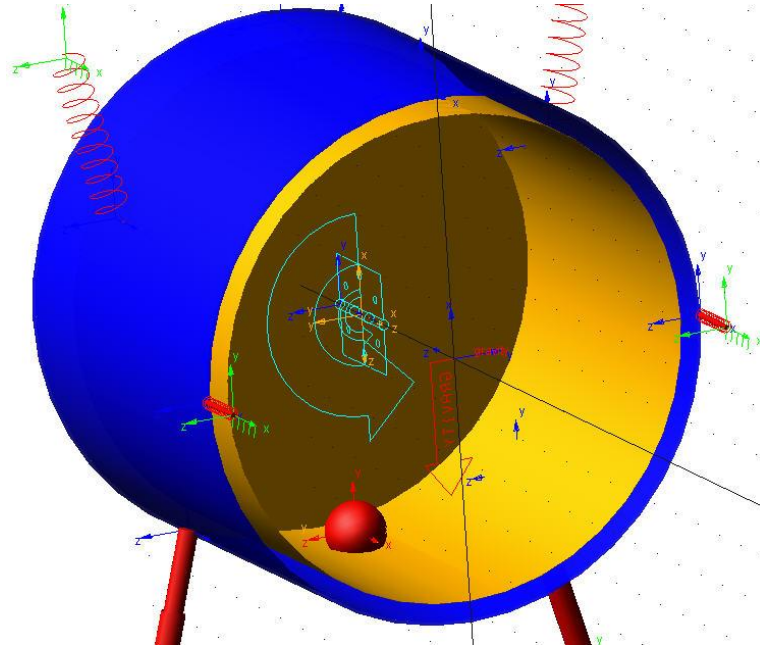
Sekizinci adımda dengesiz yük modele dahil edilmiştir. Şekil 3.10 ‘da da görüldüğü gibi, dengesiz yükü temsilen, tambur üzerine kırmızı renk ile gösterilen bir küre yerleştirilmiştir. Dengesiz yük, tambur çeperini, ‘x’ yönünde ortalayacak şekilde pozisyonlandırılmıştır.



Şekil 3.8: Çamaşır makinası körüğünün modellenmesi

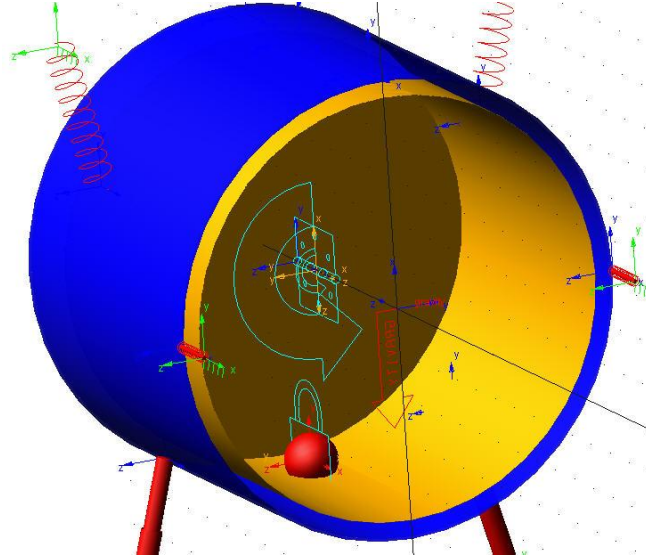


Şekil 3.9: Çamaşır makinası amörtisörlerinin modellenmesi



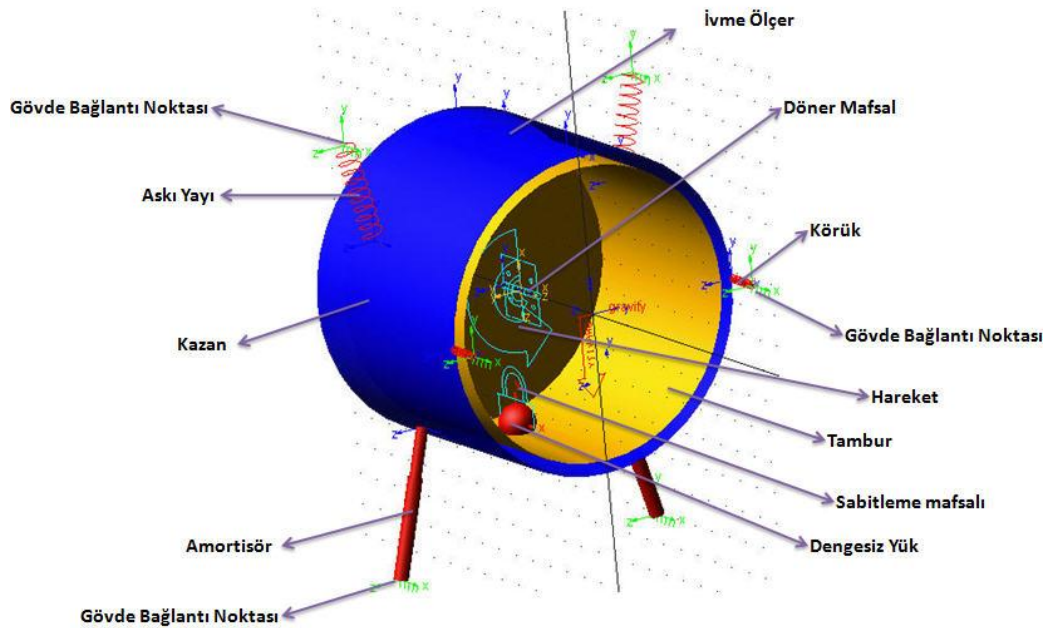
Şekil 3.10: Dengesiz yükün modellenmesi

Dokuzuncu adımda dengesiz yükün tambura sabitlenmesi modellenmiştir. Şekil 3.11’de kilit sembolü ile gösterilen işaret dengesiz yükün tambura sabitlendiğini göstermektedir.



Şekil 3.11: Dengesiz yükün tambura sabitlenmesinin modellenmesi

Bu aşamada elde edilen çamaşır makinası teorik modelinin genel görünüşü şekil 3.12 ‘de verilmiştir. Oluşturulan çamaşır makinası modeli deneysel verilerle karşılaştırmak için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.12: Teorik model

3.3. Model Parametrelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi

3.3.1. Giriş

Teorik olarak geliştirilmiş olan çamaşır makinası modelinin düzeltilmesi için çamaşır makinası üzerinden, ölçümler alınması ve teorik sonuçlar ile karşılaştırılması gerekmektedir. Öncelikle ölçümün gerçekleşmesi için ölçüm düzeneği kurulmuş, ardından uygun ölçüm parametreleri belirlenmiş, belirlenen bu parametrelere göre ölçümler yapılarak çamaşır makinasının dinamik davranışının deneysel olarak ortaya konması amaçlanmıştır. Aşağıda bu adımlar açıklanmıştır.

3.3.2. Ölçüm Düzeneği

Şekil 3.13 'de model parametrelerinin deneysel olarak belirlenmesi için kurulan ölçüm düzeneği, şekil 3.14 'de de ölçüm düzeneğinin elemanları görülmektedir.



Şekil 3.13: Ölçüm düzeneği

Şekil-3.14 de gösterilen donanımlar ve fonksiyonları özetle şu şekilde açıklanabilir. *Varyak (a)*, çamaşır makinesine sabit elektrik akımı göndererek, motorun sabit devirde dönmesini sağlamaktadır. Ölçüm için 4 adet *ivmeölçer (b)* kullanılmıştır.

Bunlardan üç tanesi ‘charge tipidir’ ve ikisi kazanın ön ve arka kısmına, diğeri ise üst denge ağırlığının üstüne, kazanın tam orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Dördüncü ivme ölçer ise CCLD tipidir ve bu tiplerin içinde sinyal yükseltici bulunur; ayrıca dışardan bir yükselteçle sinyallerin yükseltilmesi gerekmez. CCLD tipi ivmeölçer kazan üzerindeki denge kütesinin (beton kütle) üzerindeki charge tipi ivmeölçerin hemen yanına yerleştirilmiştir. *Yükselteç (c)*, charge tipi ivmeölçerden gelen sinyallerin yükseltilmesi için kullanılmaktadır. *Analizör ve bilgisayar (d)*, sensörlerden gelen sinyalin kaydedilmesi ve işlenmesi için kullanılmaktadır. Yine *Lazer takometre (e)*, çamaşır makinasının arka tarafındaki (f) kasnak üzerine yerleştirilen bir yansıtıcı şerit sayesinde (g) devir sayısının hesaplanması ve referans sinyali olarak kullanılmaktadır. *Lazer takometre*, esas olarak çamaşır makinasında oluşan dengesiz kütlelerin konumunu belirlemek için kullanılacaktır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 3.14: (a) Varyak, (b) ivmeölçerler ve pozisyonları, (c) charge tipi yükselteç, (d) analizör ve bilgisayar, (e) lazer takometre, (f) çamaşır makinesinin arkadan görünüşü, (g) Takometre için ışık yansıtıcı şerit

Şekil 3.15 'de dengesiz yüklerin montaj şekli ve pozisyonu gösterilmektedir. Dengesiz yükler tamburun tam orta noktasına monte edilmiştir. Deneysel ölçümlerde çamaşır makinasına karşıdan bakıldığında saat '3' doğrultusu 'x', saat 12 doğrultusu 'y' eksenini olarak kabul edilmiştir. z eksenini ise x ve y eksenlerine dik olan yöndür. Tambur z eksenini etrafında dönmektedir. (NOT: ADAMS modelinde ve deneysel çalışmada kullanılan eksen takımlarında farklılık vardır. Ancak sonuçlar bu farklılık dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.)



Şekil 3.15: Dengesiz kütlelerin montaj şekli ve pozisyonu

Şekil 3.15 (b) 'deki dengesiz kütle, Şekil 3.14 (g) 'deki ışık yansıtıcı şerit ile 0 derecelik bir açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır. Dolayısı ile tako sinyali alındığı zaman dengesiz kütleinin karşıdan bakıldığında saat 12 pozisyonunda olduğu anlaşılmaktadır. (Takometre, ışık yansıtıcı şeridi, saat 12 yönünde görececek şekilde konumlandırılmıştır.)

3.3.3. Ölçüm Parametrelerinin Belirlenmesi

Daha önce de belirtildiği gibi burada sunulan ölçümler sırasında ivmeölçerler kullanılmıştır. Bu ivmeölçerlerden bazıları 'charge' tipi, bir tanesi de CCLD tipidir. Ayrıca, ölçülen ivme sinyalinin ön yükseltici ve sinyal koşullandırıcılar sayesinde integre edilmesi ile hız ve deplasman verisi elde etmek de mümkündür. Aşağıda hangi tür verilerin ve ivmeölçer tipinin kullanılmasının daha uygun olacağı irdelenmiştir.

3.3.3.1. Deplasman ve İvme Verilerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde ilk önce deplasman verileriyle ivme verileri karşılaştırılacak ve hangi ölçüm parametresinin daha iyi olduğu saptanacaktır. Bunu için 200g 'lık bir dengesiz yük, şekil 3.15 (b) de gösterildiği gibi, tamburun üzerine monte edilmiştir. Şekil 3.14

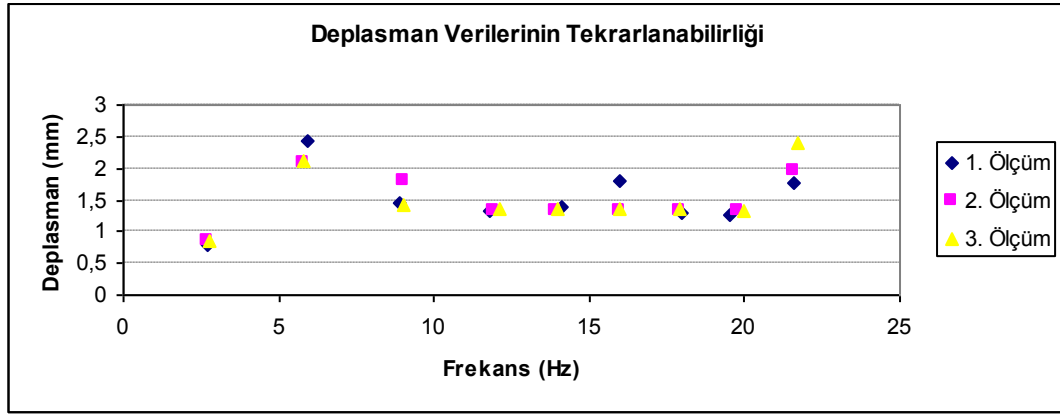
(a) ‘daki varyaktan tamburu değişik hızlarda çevirmek için sırayla 44V, 66V 88V, 110V, 132V, 154V, 176V, 198V ve 220V voltaj gönderilmiştir. Yollanan her bir voltaj değerine karşılık üç defa ölçüm alınmıştır. Üç defa yapılan ölçüm, bu ölçümlerin tekrarlanabilirliğinin sınanması içindir. Bu ölçümler sırasında charge tipi ivmeölçer kullanılmıştır ve çizelge 3.2 ‘de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Çizelgede, 200g-1, 200g dengersiz yük altında 44V gönderildiği anlamına gelmektedir, yani ‘1’ voltaj sıralamasındaki ilk basamak olan 44 Voltu işaret etmektedir. Aynı şekilde, 3: 66V , 5: 88V, 7: 110V, 9: 132V, 11: 154V, 13: 176V, 15: 198V ve 17: 220V ’tu temsil etmektedir.

Çizelge 3.2: Deplasman ve ivme parametrelerinin karşılaştırılması

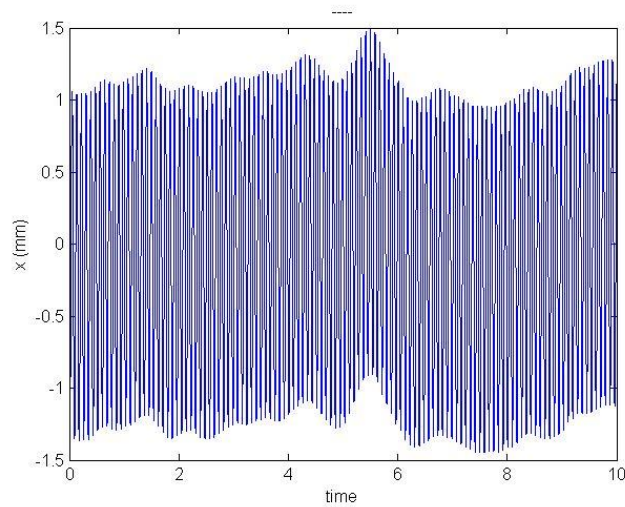
Verilen Voltaj		Ölçüm Sırası	Frekans (Hz)	Frekans (RRM)	X (mm)	a (m/sn ²)
44 V	200g-1	1	2,7	162	0,796	1,1881
		2	2,7	162	0,8472	1,2452
		3	2,8	168	0,8611	1,1018
66 V	200g-3	1	5,9	354	2,4388	3,3028
		2	5,8	348	2,0899	3,0616
		3	5,8	348	2,1166	3,0802
88 V	200g-5	1	8,9	534	1,4437	4,699
		2	9	540	1,8045	4,6963
		3	9	540	1,4307	4,7191
100 V	200g-7	1	11,8	708	1,3279	7,3037
		2	11,9	714	1,3346	7,5313
		3	12,1	726	1,3652	7,6504
132 V	200g-9	1	14,1	846	1,3855	9,7281
		2	13,9	834	1,3222	9,4858
		3	14	840	1,3422	9,6206
154 V	200g-11	1	16	960	1,8043	12,3093
		2	16	960	1,3269	12,2804
		3	16	960	1,3573	12,4204
176 V	200g-13	1	18	1080	1,2939	15,0757
		2	17,9	1074	1,3268	15,1355
		3	17,9	1074	1,3572	15,1073
198 V	200g-15	1	19,5	1170	1,2731	18,2065
		2	19,8	1188	1,3365	18,5701
		3	20	1200	1,3321	18,6683
220 V	200g-17	1	21,6	1296	1,7708	20,7843
		2	21,6	1296	1,9462	22,663
		3	21,7	1302	2,4016	22,6863

Şekil 3.16, çizelge 3.2 ‘deki veriler kullanılarak çizilmiş deplasman-frekans grafiğini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi aynı frekans değerinde deplasman değerleri farklı olabilmektedir. Buda deplasman cinsinden tekrarlanabilirliğin zayıf olduğunu göstermektedir. Şekil 3.17, 3.18 ve 3.19 ‘da bunun sebebi net bir şekilde

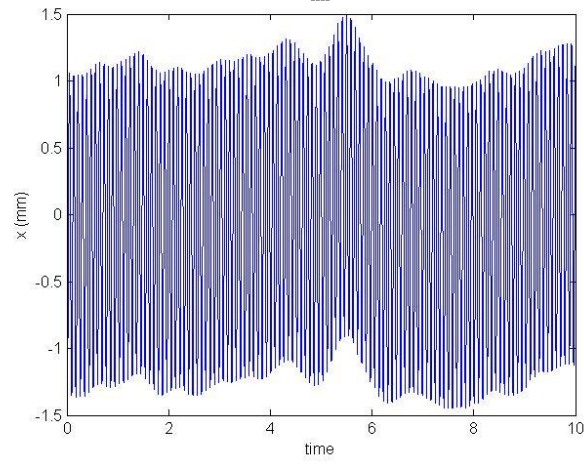
görülmektedir. Sabit voltaj gönderilmesine ve frekansların çok yakın değerlere sahip olmasına rağmen, deplasman-zaman sinyallerinin genlikleri arasında önemli farklar vardır, ayrıca tüm sinyallerde dalgalanma görünmekte ve sabit bir genlik değeri okunamamaktadır. Şekil 3.20 'de görüldüğü gibi, yüksek frekans değerlerine çıkıldıkça bu dalgalanma daha da artmaktadır. İvme sinyalinin iki defa entegre edilmesi ile oluşan bu durumun ivme sinyalinin tek bir harmonik sinyalden oluşmamasından ve sistemin lineer olmayan davranışlar sergilemesinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Çizelge 3.2 de verilen deplasman ve ivme değerleri arasında harmonik tireşimler için geçerli olan $A=\omega^2 X$ ilişkisinin de özellikle çok düşük frekanslarda sağlanmadığı görülmektedir. Kullanılan ivme ölçerlerin düşük frekanslarda güvenilir sinyal üretemeyeceği de bililmektedir.



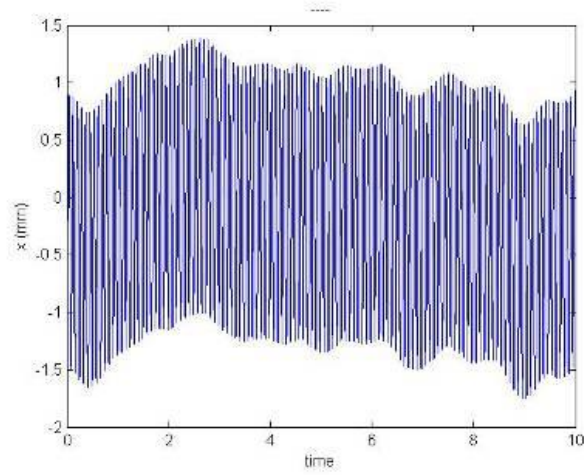
Şekil 3.16: Deplasman-frekans grafiği



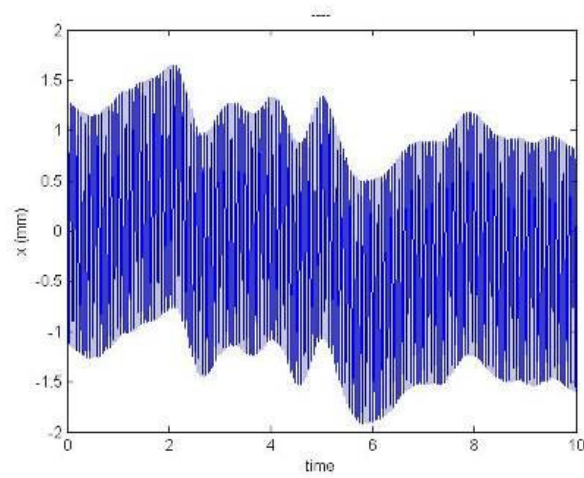
Şekil 3.17: 200g Dengesiz yük altında 11.8 Hz deki deplasman sinyali



Şekil 3.18: 200g Dengesiz yük altında 11.9 Hz deki deplasman sinyali

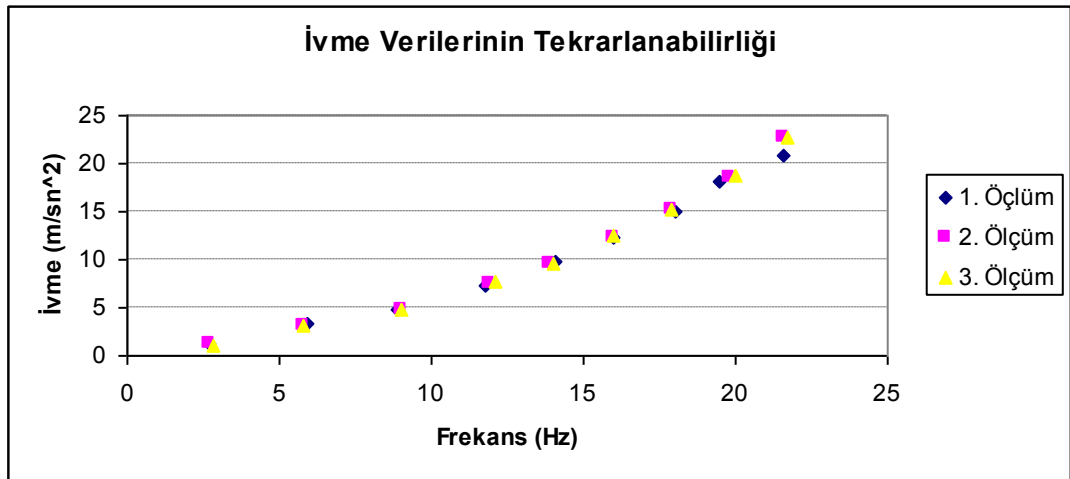


Şekil 3.19: 200g Dengesiz yük altında 12.1 Hz deki deplasman sinyali

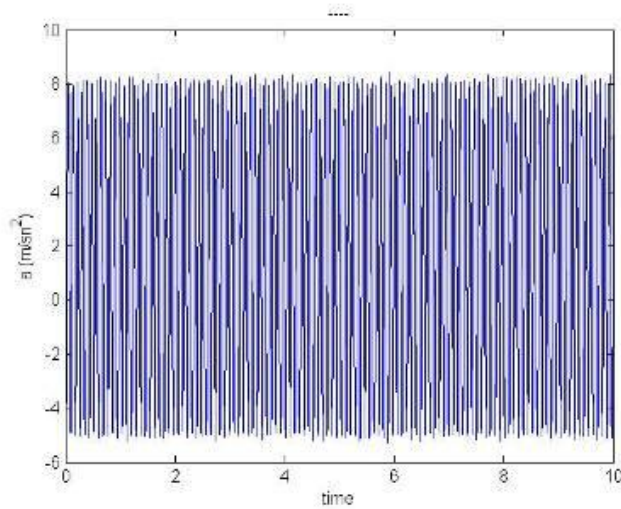


Şekil 3.20: 200g Dengesiz yük altında 19.8 Hz deki deplasman sinyali

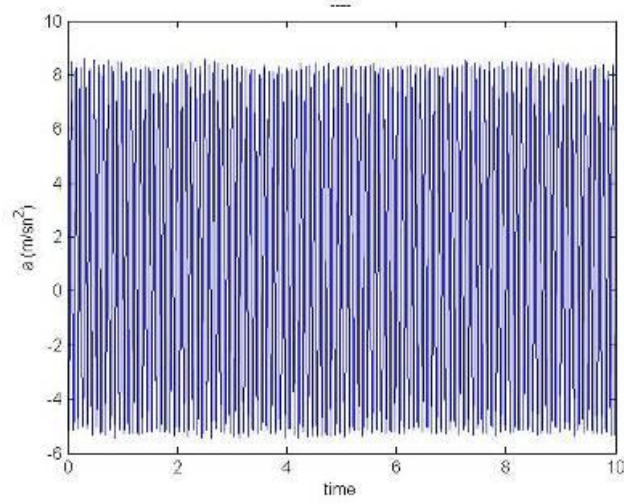
Şekil 3.21 ise, çizelge 3.2 deki ivme verileri kullanılarak çizilmiş ivme-frekans grafiğidir. Görüldüğü gibi aynı frekans değerinde genlik değeri de birbirine çok yakındır. Buda ölçümün ivme genlikleri cinsinden çok daha tekrarlanabilir olduğunu göstermektedir. Şekil 3.22, 3.23 ve 3.24 'de de görüldüğü gibi, ivme-zaman sinyallerinin genlikleri birbirine çok yakındır ve ivme sinyallerinde deplasman sinyallerinde olduğu gibi dalgalanma görülmemektedir.



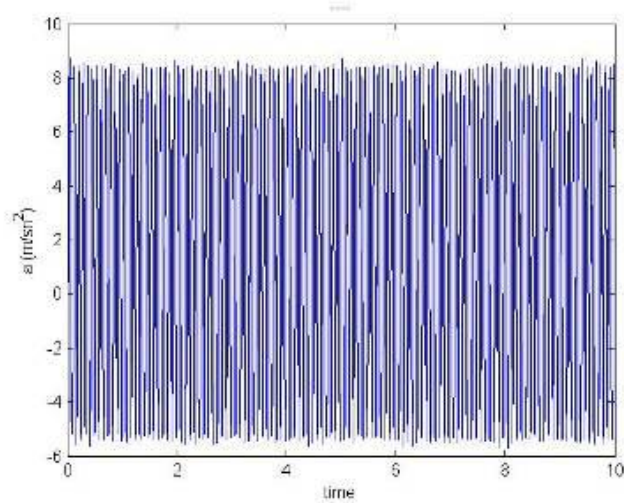
Şekil 3.21: İvme-frekans grafiği



Şekil 3.22: 200g Dengesiz yük altında 11.8 Hz deki ivme sinyali



Şekil 3.23: 200g Dengesiz yük altında 11.9 Hz deki ivme sinyali



Şekil 3.24: 200g Dengesiz yük altında 12.1 Hz deki ivme sinyali

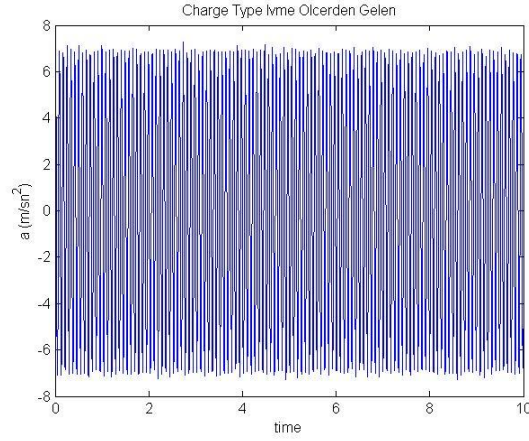
Sonuç olarak, çamaşır makinası için ilgilenilen frekans aralıklarında ve mevcut donanım (ivmeölçer ve sinyal koşullandırıcı) ile tekrarlanabilirlik ve genlik okunabilirliği açısından daha uygun olan ivme verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.3.3.2. İvmeölçer Tipinin Belirlenmesi

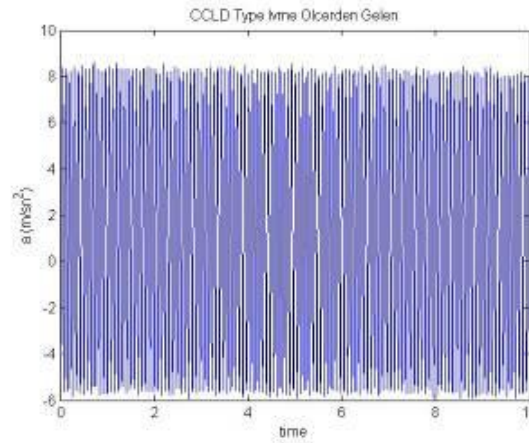
Ölçüm düzeneğine 2 farklı tip ivmeölçer bağlandığından bahsedilmişti. Bunlardan bir tanesi, içerisinde kendi yükselticisi bulunan CCLD tipi dediğimiz ivmeölçer, diğeri ise charge tipi dediğimiz ve sinyalinin okunması için şekil 3.14 (c) deki gibi bir yükselticiye ihtiyaç duyan ivmeölçerlerdir.

Hangi tipin kullanılmasının daha yararlı olacağının anlaşılması için, şekil 3.15 (b) deki gibi bağlanan 200g dengesiz yük kullanılmış ve kazan üzerinden, çamaşır makinasını ortalayacak pozisyondan ölçümler alınmıştır. İki tip ivmeölçerde yanyana bağlanmıştır. Tambur sabit devirde döndürülerek, iki tip ivmeölçerden de aynı anda veri alınmıştır.

Şekil 3.25’de 12.1 Hz de alınan veriler görülmektedir. Charge tipi ivmeölçerden alınan veriler sinyalin DC değerinin sıfır, genliğinin ise yaklaşık olarak $\pm 7 \text{ m/s}^2$ olduğunu göstermektedir. Fakat CCLD tipi ivmeölçerden alınan veriler sinyalin yaklaşık olarak -6 ile +7 m/s^2 arasında bir osilasyon sergilemektedir(sıfırdan farklı bir DC değerine sahiptir. Bu küçük problemin kullanılan sensör ile ilişkili olma ihtimali yüksektir). Bundan dolayı bundan sonra sunulan deneysel sonuçlar charge tipi ivmeölçer kullanılarak elde edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gerek bir başka nokta da şekil 3.15 (b) de gösterilen yükselticinin sinyali 180° döndürdüğüdür. Bu nedenle kontrol amaçlı olarak ölçüm düzeneğine 1 adet CCLD type ivmeölçer eklenmiştir. Bütün bunlara ek olarak, kullanılan ivmeölçerlerin düşük frekanslarda doğru ve güvenilir sinyal üretmediği tekrar hatırlatılmalı ve aşağıda verilen sonuçlar bu çerçevede değerlendirilmelidir.



(a)



(b)

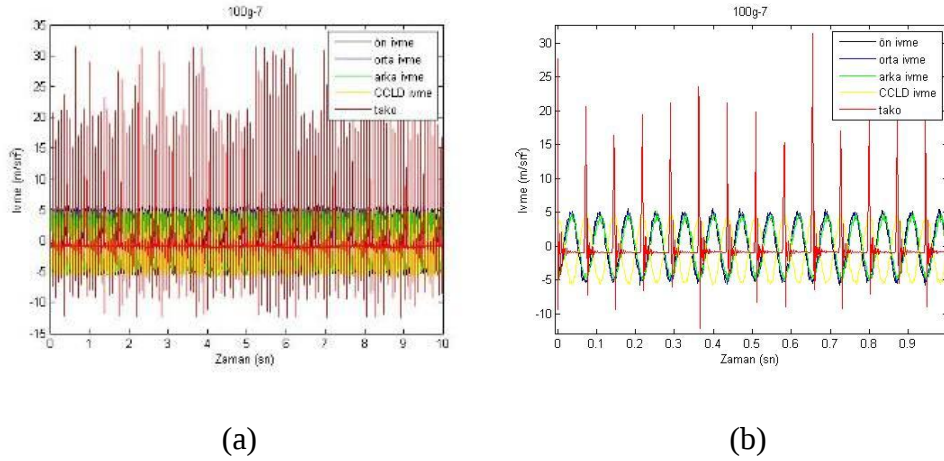
Şekil 3.25: 200g Dengesiz yük altında 12.1 Hz deki, (a) charge tipi, (b) CCLD tipi ivmeölçerlerden toplanan veriler

3.3.4. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ölçümler sırasıyla 100g, 200g, 300g ve 400g olmak üzere dört farklı dengesiz yük altında yapılmıştır. Her dengesiz yük için, varyak ile, voltaj kademeli olarak artırılarak (18 kademe) ölçümler alınmıştır. Alınan bu ölçümler öncelikle zaman ekseninde incelenmiştir. Ölçüm yapılan çamaşır makinasında sönümleme elemanları (amortisörler) sökülüştür. Amortisörsüz ölçüm alınmasındaki amaç, titreşim genliklerinin daha yüksek olmasını sağlayarak alınacak sinyaller için okunma rahatlığı sağlamaktır. Teorik modelden alınacak veriler ile deneysel verilerin karşılaştırılması adımı, amortisörler monte edilip yeniden ölçümler alınacaktır.

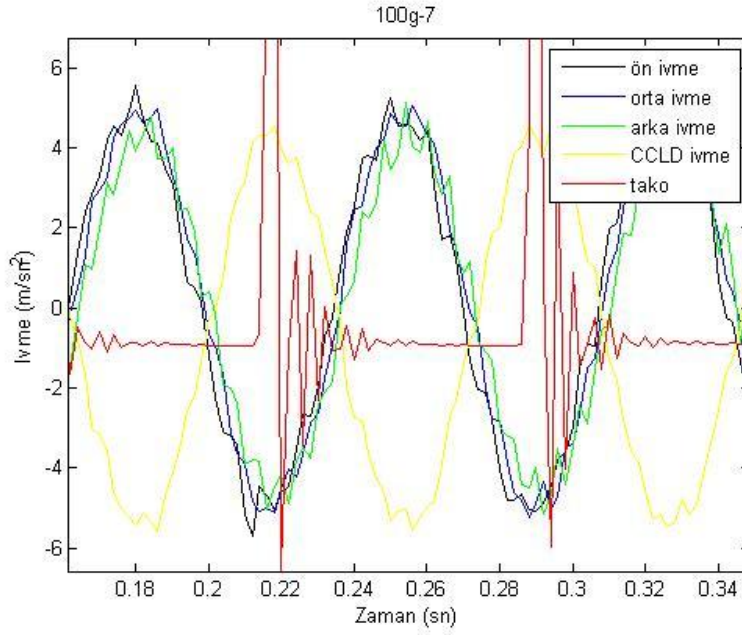
Şekil 3.26 (a)'da, örnekleme frekansı 500 Hz olmak üzere ve 10 saniye boyunca; üç charge tipi ivmeölçer, bir CCLD tip ivmeölçer ve takometreden alınan sinyaller

zamanın faksiyonu olarak verilmiştir. Bu halde karışık olarak görünen sinyallerin daha açık anlaşılabilmesi için 1 sn'lik kısım Şekil 3.26 (b) de görülmektedir. Şekil 3.26 (b)'den, ilk olarak sinyalin frekansı kolayca belirlenebilmektedir. Şöyle ki, şekilde görülen her takometre sinyali tepeciği, tambura bağlı olan kasnağın bir turu tamamladığını göstermektedir. Bu durumda 1 sn'de sinyalden yaklaşık 14 tane tepelik sayılmaktadır. Bu da sinyalin frekansının yaklaşık olarak 14 Hz (840 devir/dakika) olduğunu gösterir. Yani takometre sinyalinin 1sn'lik kısmından direk olarak sinyalin Hz cinsinden frekans değeri okunabilir. Yine Şekil 3.26 (b) 'den, tamburun ve doğal olarak onunla beraber yatay ve dikey yönde hareket eden kazanın, uygulanan dengesizlik durumunda yalpalama hareketi yapmadığı anlaşılmaktadır: kazanın ön, orta ve arka kısımlarına yerleştirilen ivmeölçerler aynı fazda ve genlikte ivmeler sergilemektedir. Bu durum Şekil 3.27'te de net bir şekilde görülmektedir.



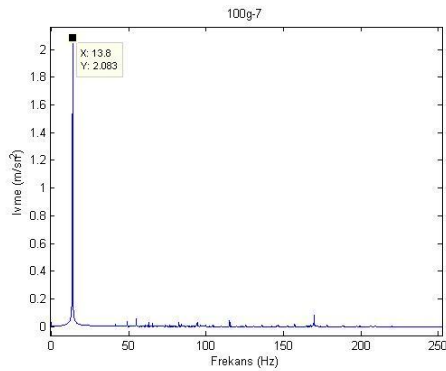
Şekil 3.26: 100g Dengesiz yük altında, (a) zaman ekseninde ölçümlen sinyallerinin genel görünüşü, (b) genel ölçümün 1 saniyesine zoom yapılmış görüntüsü

Şekil 3.27 'de, CCLD tipi ivmeölçerden gelen sinyal ile, charge tipi ivmeölçerlerden gelen sinyaller arasında 180° 'lik bir faz farkı olduğu açıkça görülmektedir. Bunun sebebi, charge tipi ivmeölçerlerden gelen sinyalleri yükseltmek amacıyla kullanılan sinyal koşullandırıcının, ivme sinyalini 180 derece döndürmesidir. Bunun önlenmesi için, charge tipi ivmeölçerlerden alınan tüm veriler -1 ile çarpılacaktır.

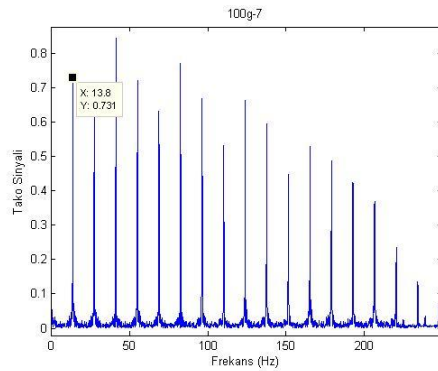


Şekil 3.27: Sinyal koşullandırıcının ivme sinyalini 180° çevirmesi

Şekil 3.28 (a) da, charge tipi ivmeölçerle kazanın orta noktasından alınan ivme verilerinin –bu verilere Fourier Transform uygulanarak- frekans ekseninde çizilmiş hali gösterilmektedir. Burada görülen ilk tepeden, tamburun dönme frekansı Hz cinsinden rahatça okunabilmektedir. Yine şekil 3.16 (b) ‘den, ilk tako sinyali tepeciğine bakarak tamburun dönme frekansı kolayca tespit edilebilir. Yukarıda şekil 3.26 (b)’ye bakılarak 14 Hz olarak hesaplanan dönme frekansı, frekans eksenli çizimde 13,8 Hz olarak görülmektedir.. Frekansların, frekans eksenli grafikten belirlenmesi daha hassas sonuçlar vermektedir.



(a)

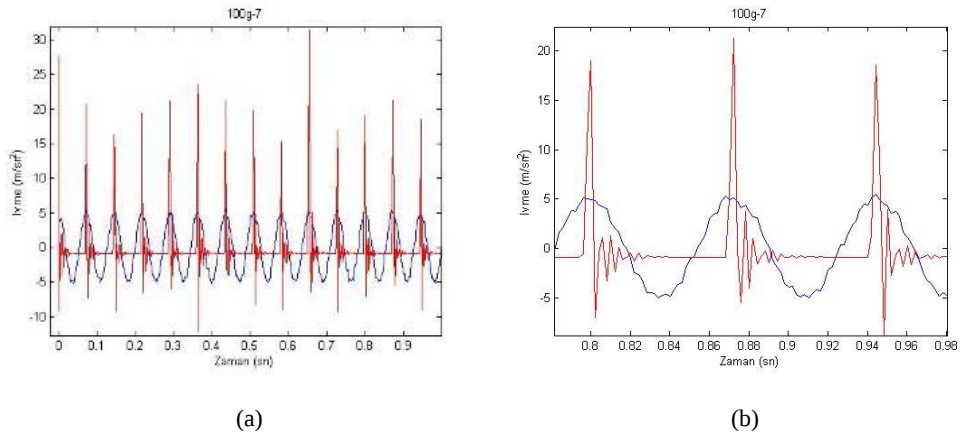


(b)

Şekil 3.28: Frekans ekseninde, (a) ivme, (b) takometre sinyallerinin görünüşü

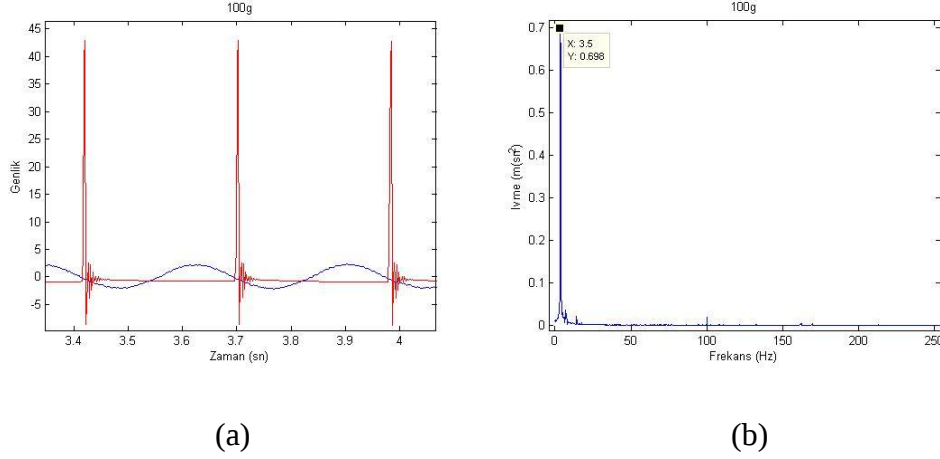
Şekil 3.29, dengesiz yükün pozisyonunun bulunmasında da çok önemli olan, sinyaller arasındaki faz farkının hesaplanması için kullanılacaktır. Daha önce, takometrenin kasnak üzerine yapıştırılmış yansıtıcı şeridi gördüğü anda sinyal ürettiği ve sinyal üretildiği anda dengesiz yükün çamaşır makinasına karşıdan bakıldığında saat 12 yönünde olduğu belirtilmişti. Bu durumdayken, dengesiz yükten dolayı oluşan merkezkaç kuvveti, saat 12 doğrultusunda ve yer çekimi ivmesi ile 180° 'lik açı yapacak şekildedir. *Bu bilgi doğrultusunda, bundan sonra takometre sinyaline sadece kuvvetin pozisyonunu göstermesine rağmen, 'kuvvet sinyali' denecektir.*

Şekil 3.29 (b), şekil 3.29 (a)'nın 1 sn lik kısmını göstermektedir. Şekil 3.29 (b)'de görüldüğü gibi, ivme sinyalinin maksimum noktası ile, kuvvet sinyalinin maksimum noktası aynı anda oluşmaktadır. Bunun anlamı 2 sinyal arasındaki faz farkının 0° olmasıdır. Buda zaten beklenen bir durumdur, çamaşır makinasının doğal frekans değeri yaklaşık olarak 2-3Hz civarındadır. Oysa yukarıda yapılan ölçümler 828 devir/dakika ,(13.8 Hz) da yapılmıştır ve bu frekans askı yaylarında asılı kazan-tambur sisteminin doğal frekansın çok üzerindedir. Bu nedenle ivme verileriyle çalışılması durumunda doğal frekanstan sonra ivme ve kuvvet sinyali arasındaki faz farkı sıfırdır. Tam doğal frekans değerinde bu faz farkı 90° , doğal frekansdan küçük dönme frekanslarında ise faz farkının 180° olması beklenmektedir.



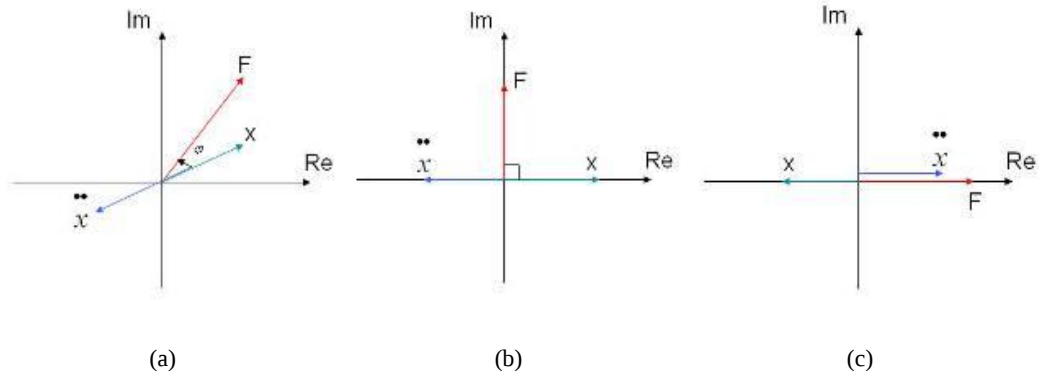
Şekil 3.29: Faz bilgisinin okunması

Şekil 3.20, 100g dengesiz yük altında, çamaşır makinesi doğal frekansında çevrilerek elde edilmiştir. Şekil 3.18 (a)'ya bakıldığında, ivme sinyalinin iki maksimum tepesi arasının 360° derece olduğu göz önüne alındığında, kuvvet ve ivme sinyallerinin arasındaki faz farkı tam da beklendiği gibi 90° 'dir. Şekil 3.30 (b)'de, 100g dengesiz yük altında çamaşır makinasının doğal frekansının 3.5 Hz olduğu görülmektedir.



Şekil 3.30: 100g Dengesiz yük altında, doğal frekansta, (a) ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiği, (b) frekans ekseninde ivme sinyalinin görünüşü

Şekil 3.31' daki Nyquist çizimi, hangi sinyalin hangi sinyalden önce geldiğinin ve faz açısı kavramının anlaşılması için hazırlanmıştır. Şekil 3.31 'da "x" deplasmanı, "F" kuvveti ve " $\ddot{x}$ " ivme sinyalini temsil etmektedir. Şekil 3.31 (a)'da tahrik kuvvetinin frekansının sistemin doğal frekansından küçük olması durumunda deplasman, kuvvet ve ivme sinyallerinin arasındaki faz gösterilmektedir. Bu durumda deplasman ve kuvvet sinyali arasındaki faz farkı ϕ ile gösterilmiştir. Bunun anlamı, kuvvet sinyali deplasman sinyalinden ϕ kadar önde olmasıdır. Şimdi harmonik deplasman sinyalinin iki defa türevini alınırsa ivme sinyali şekildeki gibi olacaktır. Bu durumda, bu sistem için, ivme sinyali kuvvet sinyalinden her zaman önde olacaktır. Eğer tahrik sinyalin frekansı tam doğal frekans değerinde ise, hem ivme sinyali hem de deplasman sinyali kuvvet sinyaliyle 90 derecelik açı yapmaktadır, şekil 3.31 (b). Eğer tahrik kuvvetinin frekansı doğal frekansın çok üzerinde ise, kuvvet sinyaliyle ivme sinyali 180 derecelik açı yapacaktır, şekil 3.31 (c). Bu durumda kuvvet sinyali ile ivme sinyali arasındaki faz açısı sıfır olacaktır.



Şekil 3.31: Harmonik titreşim durumunda kuvvet, deplasman ve ivme sinyalleri. a) tahrik frekansının doğal frekansdan küçük olması durumu, b) tahrik frekansın doğal frekansa eşit olması durumu, c) tahrik frekansının doğal frekansdan çok yüksek olması durumu

Buraya kadar yapılan tüm ölçüm ve çıkarımlar çamaşır makinasının dengesiz yük altında çalışırken makinanın Frekans Tepki Fonksiyonunu (bir başka deyişle Transfer Fonksiyonunu) deneysel olarak belirlemek için kullanılabılır. Elde edilecek bu Frekans Tepki Fonksiyonunu veya fonksiyonları aslında şekil 3.2 de gösterilen sistemin Cevap Modelini oluşturmaktadır.[46] Böyle bir modelin deneysel olarak belirlenebilmesi hem çamaşır makinası için deneysel bir model teşkil edecek, hem de gerektiği zaman teorik modellerin doğrulanması için kullanılabilecektir.

Dengesiz yüke maruz kalan çamaşır makinasında oluşan merkez kaç kuvveti sistemin giriş sinyali olarak kabul edilirse, ivmeölçerden alınan verilerde sistemin çıkış sinyali olurlar. Bu durumda, bu iki veri birbirine oranlanarak sistemin davranışını belirleyen Frekans Tepki Fonksiyonu elde edilebilir. Bu amaç için belirlenmesi gereken parametreler dengesiz yük altında çamaşır makinasının maruz kaldığı kuvvet F ve bu kuvvet nedeni ile belirlenen konumda oluşan ivmedir. Merkez kaç kuvveti aşağıda verildiği şekilde elde edilebilir:

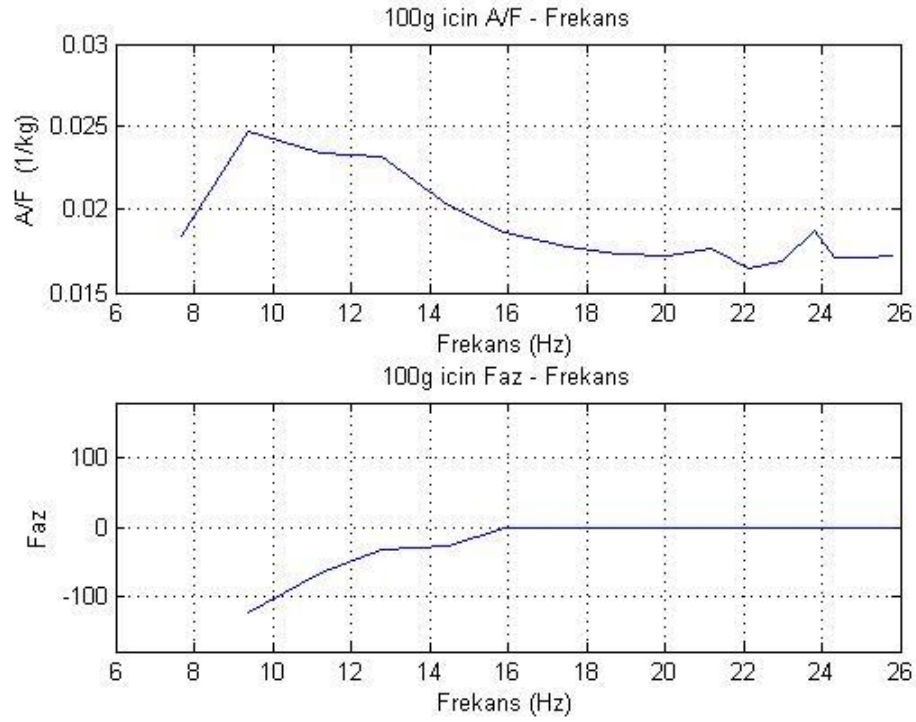
$$F = m.r.\omega^2 \quad (3.1)$$

Burada m dengesiz kütleyi (kg), r dengesiz kütlenin dönme merkezinden uzaklığını (m), ω ise dönme hızını (rad/sn) ifade etmektedir. Bu durumda daha önceden belirlenen ölçüm koşullarına göre aşağıdaki çizelgesiler ve grafikler oluşturulmuştur. Bu çizelge ve şekillerde A ivmenin genliğini ifade etmektedir, fazın birimi ise derecedir.

Çizelge 3.3 ve 3.4 de 100g-1 ve 200g-1 'e ait faz değerleri verilmemiştir. Şekil 3.22 ve 3.23 e bakıldığında bunun sebebi açıkça görülmektedir; bu kademelerde kullanılan ivme ölçerin hassasiyetinin düşük olması sebebiyle, ivme verilerinde sinyalin şekli, faz açısının hesaplanmasını imkansız kılmaktadır. Bunun giderilmesi için daha büyük bir ivme ölçer kullanılması düşünülmüştür. Fakat büyük ivme ölçer kullanılmasına rahmen yinede bu frekans değerlerinde faz açısı hesaplanması gerçekleştirilememiştir. Düşük devirlerde ölçüm yapmak çok önemlidir. Özellikle 80 ila 100 devir/dak değerleri arasında dengesizliğin konum ve miktarının saptanması gerekmektedir. Bunun sebebi, çamaşırın bu devirlerde tambur çeperine tam olarak yapışmasıdır ve sıkma öncesi dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi için son kontrol noktası olarak bu devir hızlarının kullanılması planlanmaktadır.

Çizelge 3.3: 100g için A/F-Frekans-Faz çizelgesi

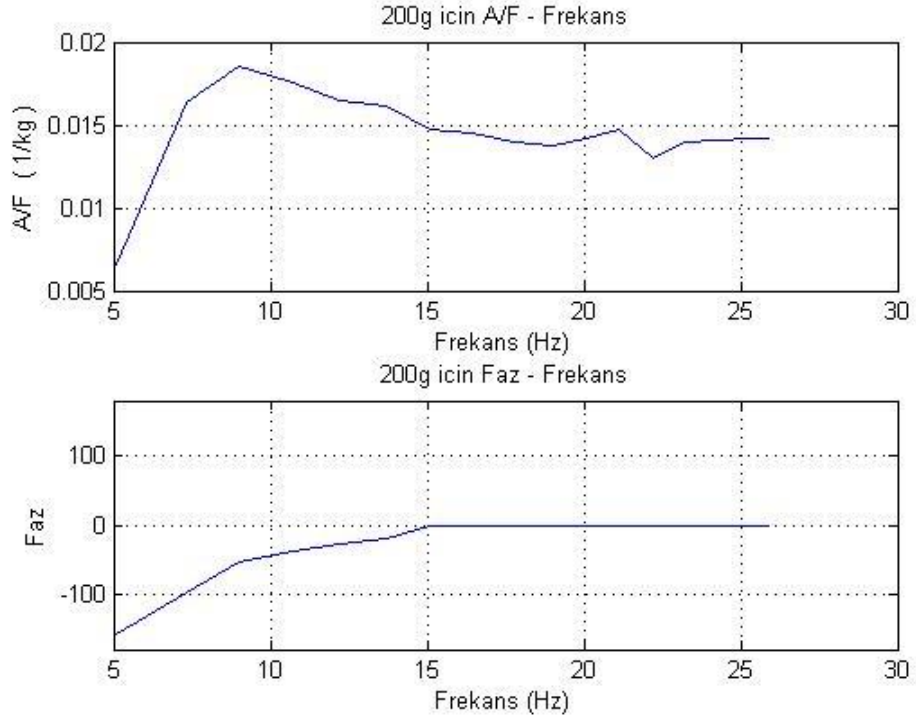
	A/F (1/kg)	Frekans (Hz)	Faz (°)	Frekans (dev/dak)
100g-1	0,024954	1,3	-	78
100g-Doğal	0,10094	3,5	-90	198
100g-2	0,052377	4,3	-37	258
100g-3	0,021589	6,8	0	408
100g-4	0,017644	8,8	0	528
100g-5	0,01712	10,6	0	636
100g-6	0,016348	12,1	0	726
100g-7	0,015804	13,8	0	828
100g-8	0,015271	15,1	0	906
100g-9	0,015194	16,7	0	1002
100g-10	0,014795	18,2	0	1092
100g-11	0,015026	19,3	0	1158
100g-12	0,016962	20,6	0	1236
100g-13	0,015434	22	0	1320
100g-14	0,015456	22,9	0	1374
100g-15	0,016244	23,9	0	1434
100g-16	0,015931	24,9	0	1494
100g-17	0,016074	25,7	0	1542
100g-18	0,016494	26,4	0	1584



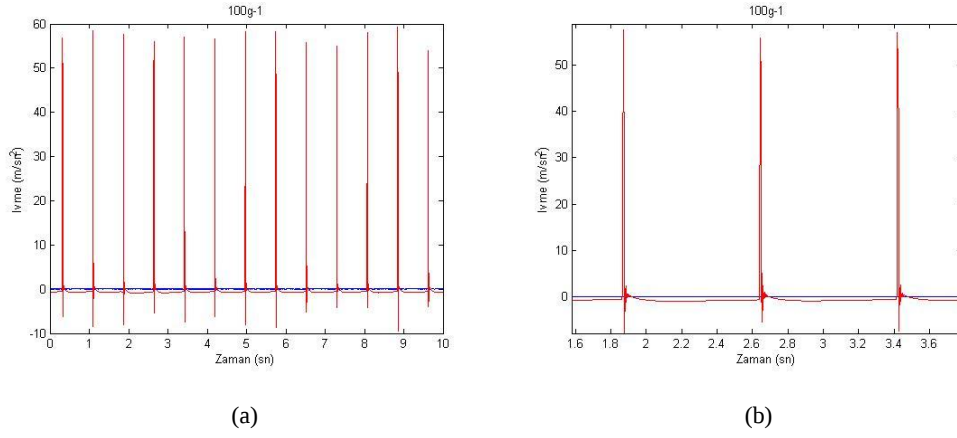
Şekil 3.32: 100g için Frekans Tepki Fonksiyonu ve faz açısı grafiği

Çizelge 3.4: 200g için a/F-Frekans-Faz çizelgesi

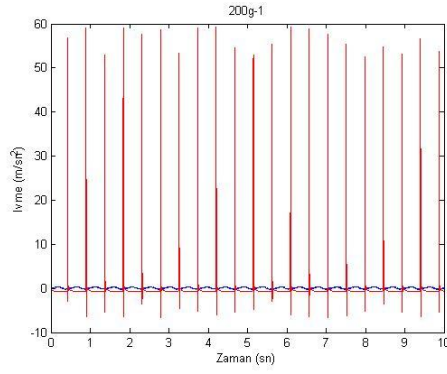
	A/F (1/kg)	Frekans (Hz)	Faz (°)	Frekans (dev/dak)
200g-1	0,020785	2,1	-	126
200g-Doğal	0,095763	3,3	-90	198
200g-2	0,02859	4,9	-28	294
200g-3	0,01836	6,9	0	414
200g-4	0,014687	9	0	540
200g-5	0,013953	10,8	0	648
200g-6	0,013615	12,5	0	750
200g-7	0,013144	14,3	0	858
200g-8	0,013113	15,6	0	936
200g-9	0,013559	17	0	1020
200g-10	0,013153	18,3	0	1098
200g-11	0,013135	19,5	0	1170
200g-12	0,013665	20,5	0	1230
200g-13	0,014183	21,3	0	1278
200g-14	0,013604	22,1	0	1326
200g-15	0,013486	23,1	0	1386
200g-16	0,013679	24,1	0	1446
200g-17	0,013816	25,1	0	1506
200g-18	0,01406	26	0	1560



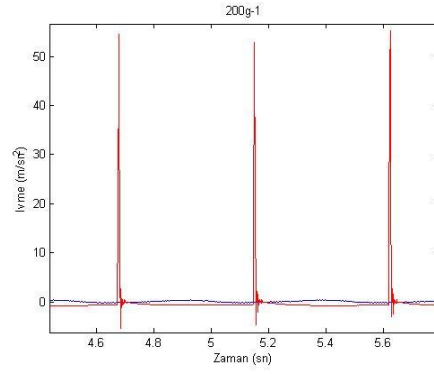
Şekil 3.33: 200g için Frekans Tepki Fonksiyonu ve faz açışı grafiği



Şekil 3.34: 100g 1. kademe (a) ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiği, (b) ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiğinin zoom edilmiş şekli



(a)



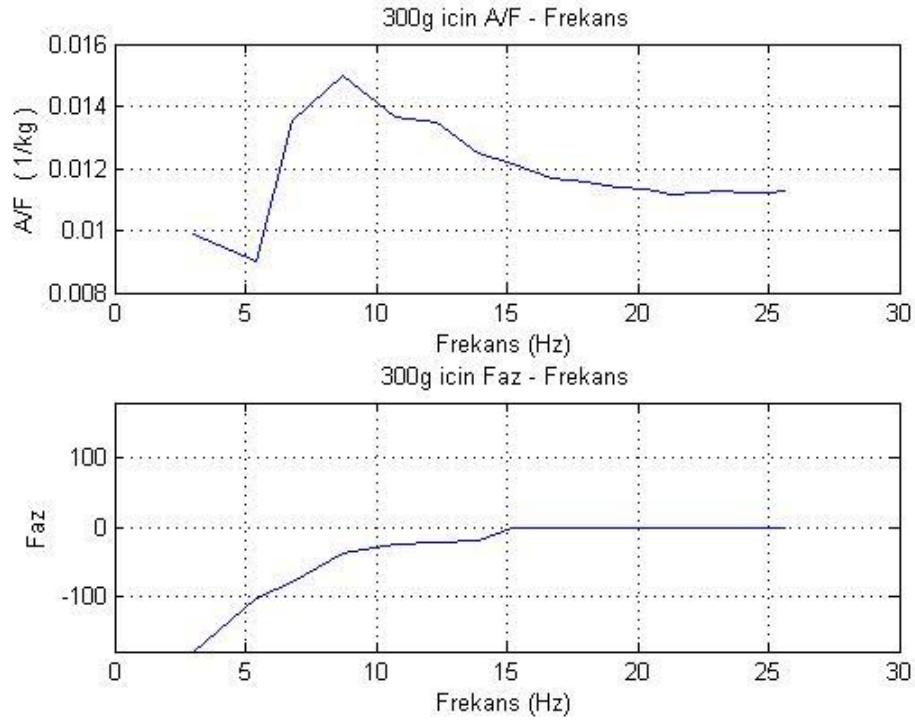
(b)

Şekil 3.35: 200g 1. kademe (a)ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiği, (b) ivme-kuvvet sinyali-zaman grafiğinin zoom edilmiş şekli

Çizelge 3.5 ve 3.6 ‘da dikkat edilirse 300g-1 ve 400g-1 ‘e ait hiçbir değer verilmemiştir. Bu durum, bu dengesiz yükler altında, varyağın belirtilen kademesi kullanılarak çamaşır makinası tamburunun dönmemesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3.5: 300g için A/F-Frekans-Faz çizelgesi

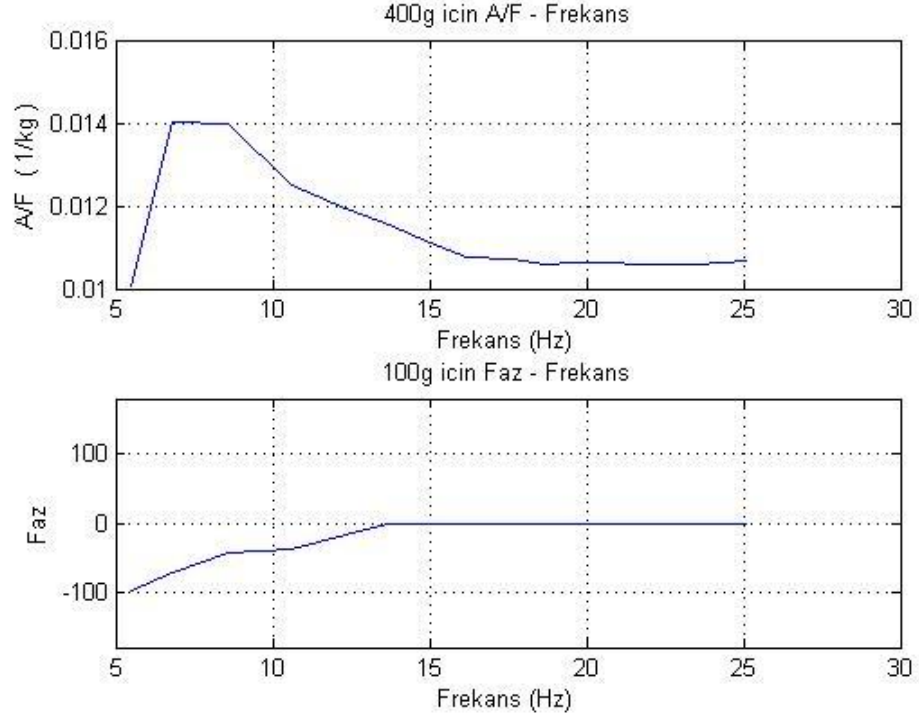
	A/F (1/kg)	Frekans (Hz)	Faz (°)	Frekans (dev/dak)
300g-1	-	-	-	-
300g-Doğal	0,10287	3,3	-90	198
300g-2	0,034	4,2	-40	252
300g-3	0,016296	6,8	0	408
300g-4	0,013519	9,1	0	546
300g-5	0,012673	10,6	0	636
300g-6	0,012707	12,1	0	726
300g-7	0,012309	13,7	0	822
300g-8	0,012145	15,1	0	906
300g-9	0,012324	16,6	0	996
300g-10	0,012231	17,8	0	1068
300g-11	0,01225	19,2	0	1152
300g-12	0,013465	20,2	0	1212
300g-13	0,012804	21,4	0	1284
300g-14	0,012577	22,3	0	1338
300g-15	0,012785	23,2	0	1392
300g-16	0,01304	24,2	0	1452
300g-17	0,01339	25	0	1500
300g-18	0,01338	26,2	0	1572



Şekil 3.36: 300g için Frekans Tepki Fonksiyonu ve faz açısı grafiği

Çizelge 3.6: 400g için A/F-Frekans-Faz çizelgesi

	A/F (1/kg)	Frekans (Hz)	Faz (°)	Frekans (dev/dak)
400g-1	-	-	-	-
400g-2	0,096213	3,2	-132	192
400g-Doğal	0,1032	3,3	-90	198
400g-3	0,013973	7,1	0	426
400g-4	0,012422	9,2	0	552
400g-5	0,011868	11	0	660
400g-6	0,011755	12,3	0	738
400g-7	0,011627	13,7	0	822
400g-8	0,011588	15,2	0	912
400g-9	0,011439	16,8	0	1008
400g-10	0,011595	17,6	0	1056
400g-11	0,011505	18,7	0	1122
400g-12	0,011687	19,8	0	1188
400g-13	0,012227	21,1	0	1266
400g-14	0,012062	22,1	0	1326
400g-15	0,012103	23	0	1380
400g-16	0,012609	23,8	0	1428
400g-17	0,012532	24,8	0	1488
400g-18	0,012617	25,6	0	1536



Şekil 3.37: 400g için Frekans Tepki Fonksiyonu ve faz açısı grafiği

Çamaşır makinası için geliştirilen teorik modeller kullanılarak da sistemin Frekans Tepki Fonksiyonları hesaplanmış ve bu sonuçlar yukarıda elde edilen deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları ile karşılaştırılmıştır. Böyle bir karşılaştırma hem teorik modelin doğruluk derecesi hakkında bilgi verecek, hem de teorik modelin güncellenmesine/düzeltilmesine imkan tanımayacaktır. Bu yaklaşım aşağıdaki bölümde irdelenmiştir.

3.4. Modelin Bilinen Dengesiz Yüklerle Sınanması Düzeltilmesi

3.4.1. Giriş

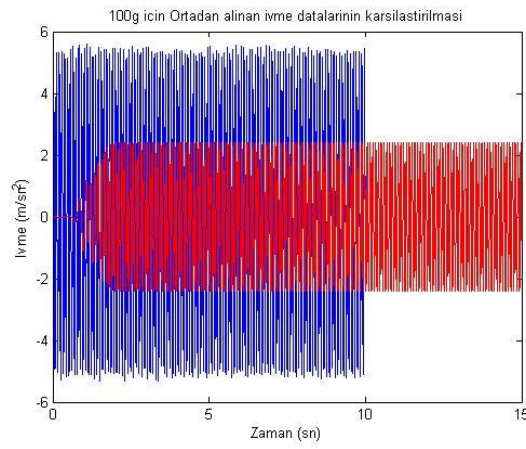
Bu kısımda, teorik model sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırılacak ve teorik modelde gerekli görülen düzeltmeler yapılacaktır

3.4.2. Teorik Model ile Deneysel Verilerin Karşılaştırılması

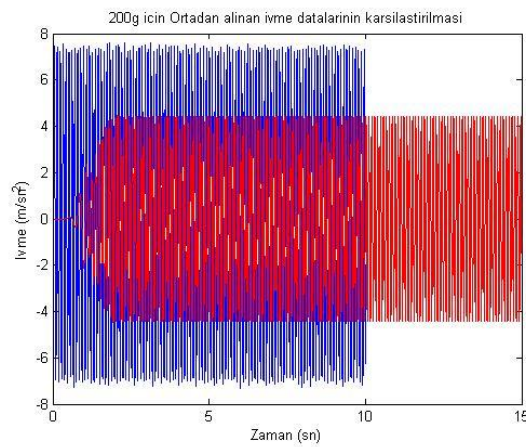
Gerçek çalışma koşullarını yaratmak için teorik modelde amortisörler modellenmişti. Bu nedenle benzer teorik ve deneysel verileri karşılaştırmak için deneysel ölçümler sırasında çamaşır makinasına da amortisör takılmış ve yeni

ölçümler yapılmıştır. Aşağıda sunulan teorik ve deneysel karşılaştırmalar bu durumda yapılmıştır.

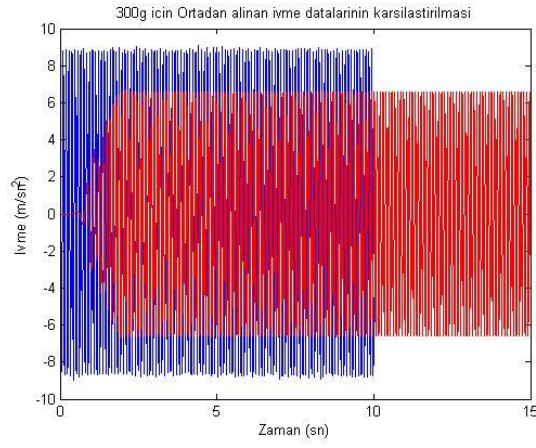
Şekil 3.38 de, 100g dengesiz yük altında ve 11.2 Hz (672 devir/dak) dönme hızında, saat 12 konumundan dikey yönde alınmış ivme verileri görülmektedir. Burada mavi renkli çizgiler deneysel verileri, kırmızı renkli çizgiler ise teorik modelden elde edilen verileri göstermektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi deneysel ve teorik ivme verileri genlikleri birbirinden oldukça farklıdır. Yine Şekil 3.39, 3.40, 3.41 ve 3.42 'de, 200g, 300g, 400g ve 500g dengesiz yük altındada, teorik ve deneysel modeller için ivme verilerin genlikleri farklılıklar göstermektedir.



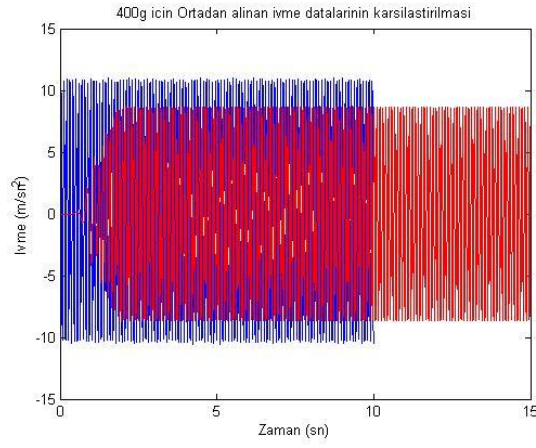
Şekil 3.38: 100g, 11.2 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)



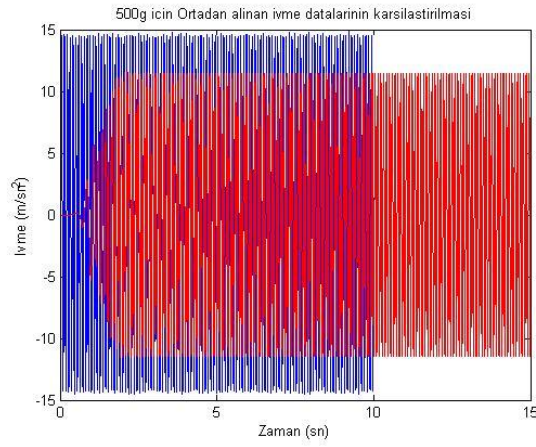
Şekil 3.39: 200g, 10.7 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)



Şekil 3.40: 300g, 10.7 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)

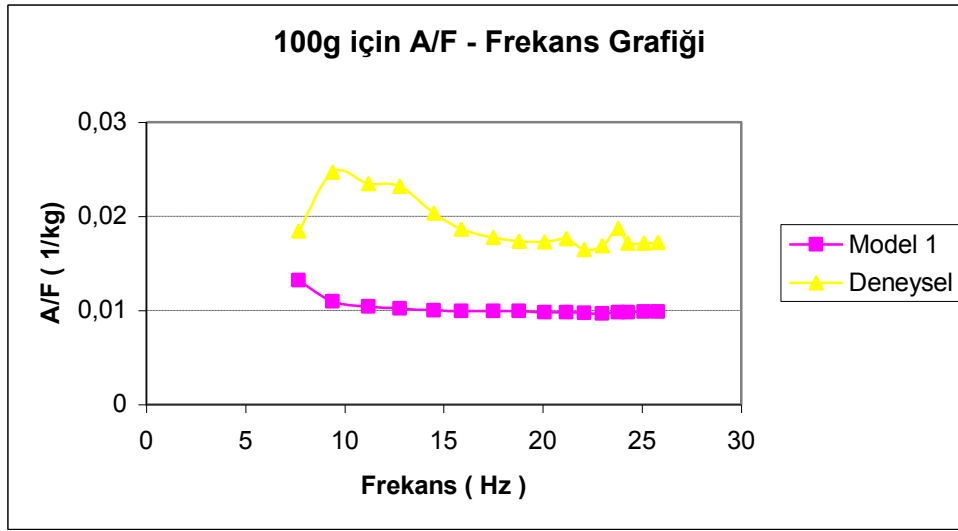


Şekil 3.41: 400g, 10.6 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)

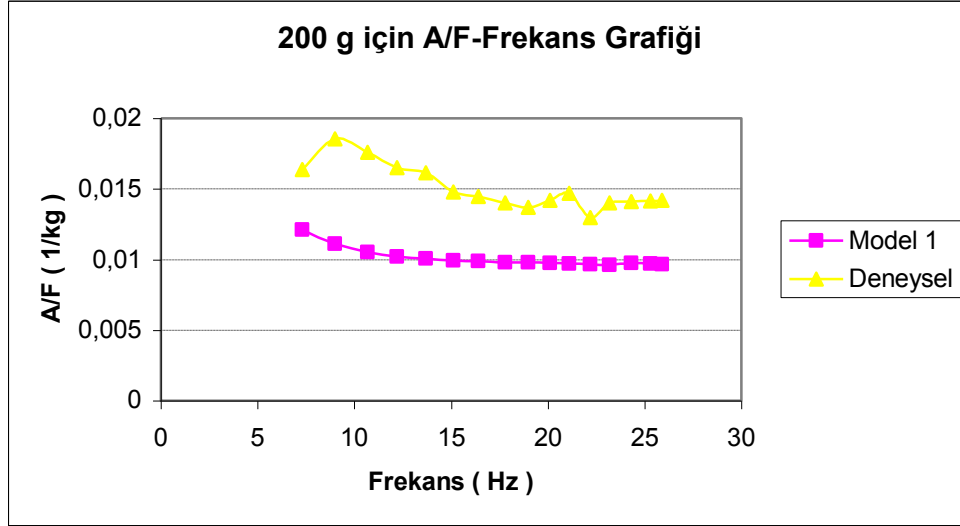


Şekil 3.42: 500g, 11 Hz için teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)

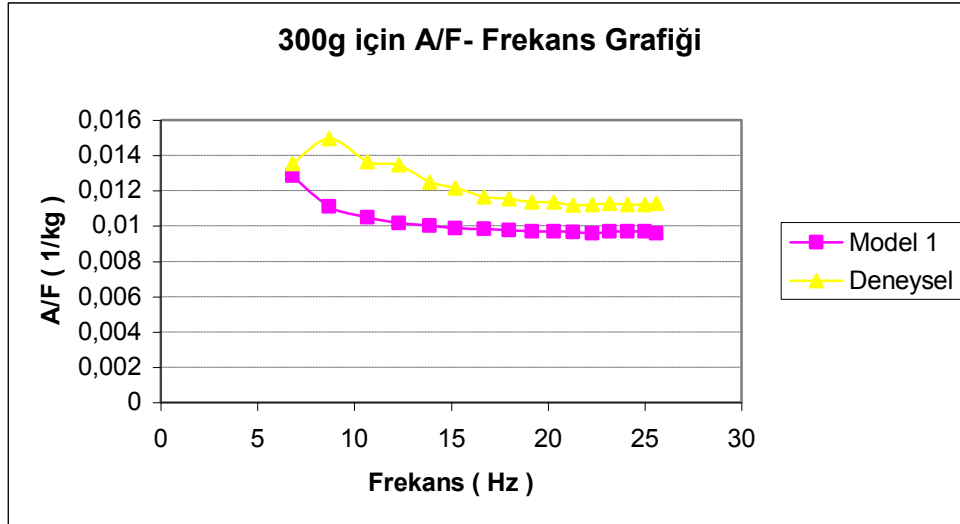
Şekil 3.43 'de 100g dengesiz yük altında, deneysel ve teorik olarak elde edilmiş Frekans Tepki Fonksiyonları verilmiştir. Teorik model grafik üzerinde 'Model 1' olarak tanımlanmıştır. Frekans Tepki Fonksiyonunun sistemi tanımladığı belirtilmiştir. Bu nedenle deneysel model ile teorik modelin Frekans Tepki Fonksiyonlarının, aynı sistemi temsil etmeleri istendiğinden dolayı, birbirlerine çok yakın olması istenmektedir. Ancak, Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, 100g dengesiz yük için deneysel ve teorik modelin sonuçlarının birbirine ile yeterince yakın olmadığı anlaşılmaktadır. Yine, şekil 4.44, 4.45, 4.46 ve 4.47 'da, 200g, 300g, 400g ve 500g dengesiz yükler altında, deneysel ve teorik modelin Frekans Tepki Fonksiyonları grafiklerinin yeterince uyuşmadığı görülmektedir.



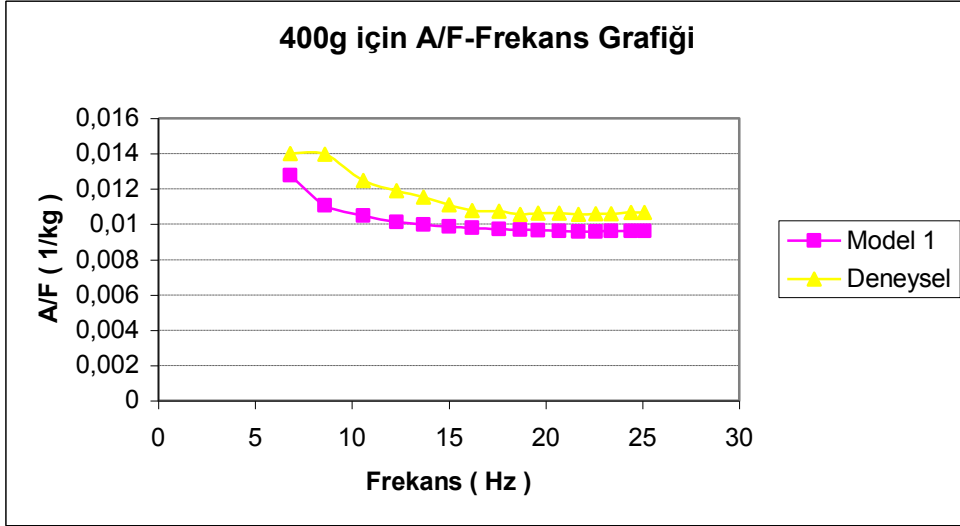
Şekil 3.43: 100g için deneysel – teorik modelin Frekans Tepki Fonksiyonları



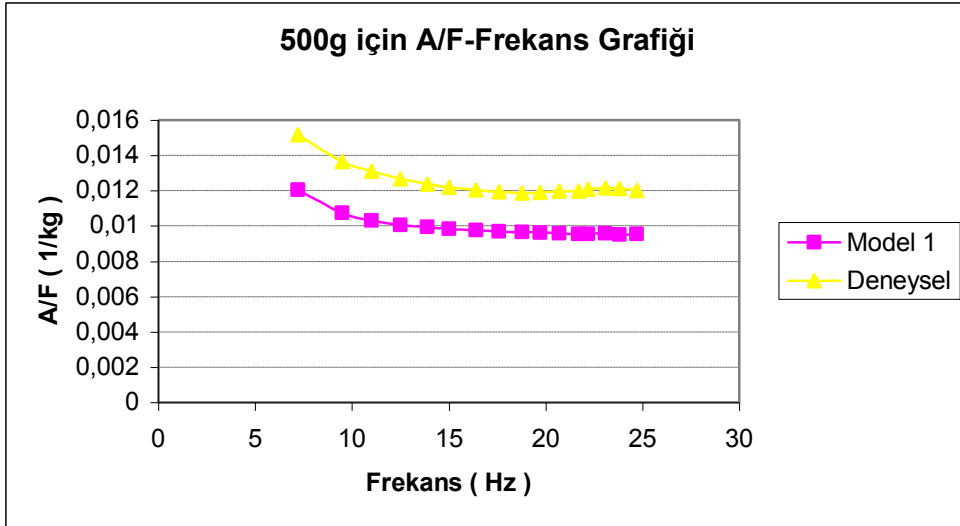
Şekil 3.44: 200g için deneysel – teorik Frekans Tepki Fonksiyonları



Şekil 3.45: 300g için deneysel – teorik Frekans Tepki Fonksiyonları



Şekil 3.46: 400g için deneysel – teorik Frekans Tepki Fonksiyonları



Şekil 3.47: 500g için deneysel – teorik Frekans Tepki Fonksiyonları

Yukarıda sunulan sonuçlar mevcut teorik modelin deneysel verilerle uyumluluğunun iyileştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

3.4.3. Teorik Modelin Düzeltilmesi ve Deneysel Verilerle Karşılaştırılması

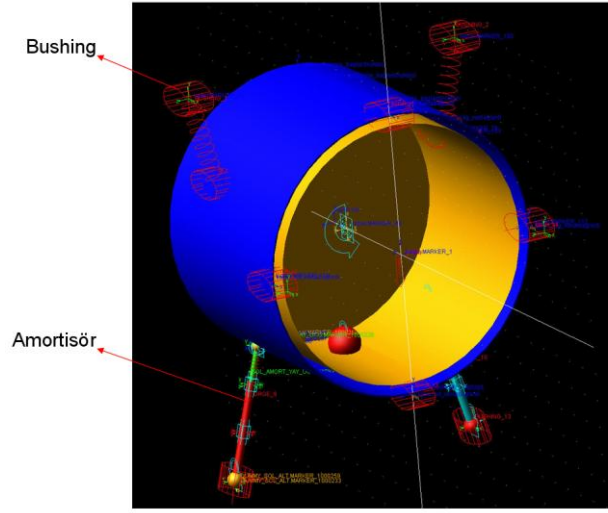
Daha öncede belirtildiği gibi, geliştirilen teorik model deneysel verilerle yeterli seviyede uyumluluk gösterememiştir. Bunun sebepleri ve nedenleri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Askı yaylarının modellenmesinde problem olduğu fark edilmiştir. Adams View 2007 r1 programında iki sabit nokta arasında yay tanımlanırsa yay sadece bu doğrultuda gelen kuvvetleri sönümlemektedir. Bunun anlamı, şuanki modelde yay sadece yz düzleminde (teorik modelde x dönme eksenini olarak seçilmiştir) oluşan kuvvetlere tepki vermektedir. Gerçekte ise bu yaylar diğer yönlerden gelen kuvvetlere de tepki verebilmektedir.
- Körük modellenmesinde eksiklikler vardır. Mevcut modelde, körüğün modellenmesi için kullanılan yaylar sadece dönme eksenini yönünde sönüm etkisi yaratmaktadır. Gerçekte ise körüğün diğer yönlerde de sönüm etkisi vardır. Bu sebeple körük modelinin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Amortisörlerin modellenmesinde de eksiklikler vardır. Üzerinde deney yapılan çamaşır makinasında kuru sürtünmeli amortisörlerler vardır. Fakat 1. modelde viskos sönüm varsayımı yapılmıştır. Bu sebeple amortisör modelinin de geliştirilmesi yararlı olacaktır.

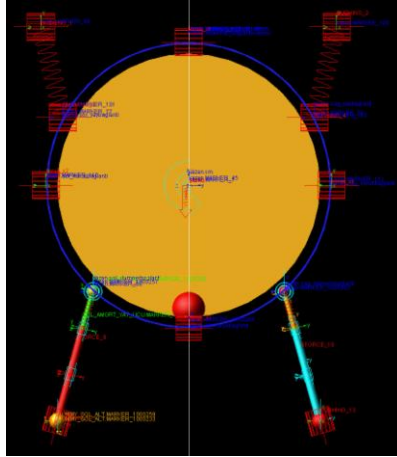
İlk önce askı yaylarındaki modelleme problemi ele alınmıştır. Buradaki problemin giderilmesi için, Şekil 3.48 (a) 'da görülen, kazan üzerindeki askı yay bağlantı noktasına ve daha önce gövde bağlantı noktası olarak tabir edilen noktaya ADAMS programında yatak (bushing) denilen elemanlar eklenmiştir. Bu yatakların özelliği farklı doğrultular ve dönme yönlerinde direngenlik ve sönüm özelliği gösterebilmesidir. Yatak elemanları sayesinde farklı doğrultularda gelen kuvvetler algılanabilecek ve modeldeki askı yayları gerçeğe daha yakın bir şekilde modellenebilecektir.

İkinci olarak körük modelinin iyileştirilmesi ele alınmıştır. Bunun içinde, şekil 3.48 (a) ve (b) 'de de görülen, kazanın üzerinde saat 3, 6, 9 ve 12 konumlarına yine yatak elemanları yerleştirilmiştir. Burada özellikle dönme eksenini haricindeki eksenlerde sönüm etkisini sağlamak hedeflenmiştir.

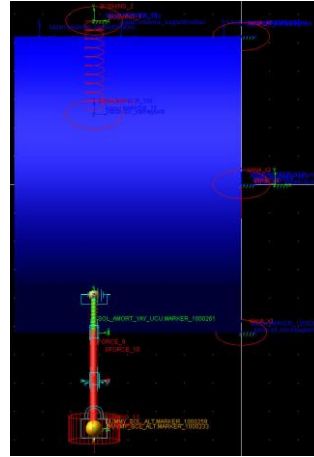
Üçüncü olarak amortisörler modelinin iyileştirilmesi işlemi ele alınmıştır. Bunun için tezi destekleyen firmadan (ARÇELİK A.Ş.) yardım alınmıştır. Bu bağlamda ARÇELİK A.Ş. mühendislerinin ADAMS programında kendilerinin modelledikleri ve deneysel olarak bazı doğrulamalar yaptıkları bir amortisör modeli bu tez çalışması için hazırlanan çamaşır makinası teorik modelinde kullanılmıştır. Detayları burada verilmemekle birlikte amortisör modeli Şekil 3.48 (a), (b) ve (c) 'de görülmekte olup kuru sürtünme prensibine dayanmaktadır.



(a)



(b)

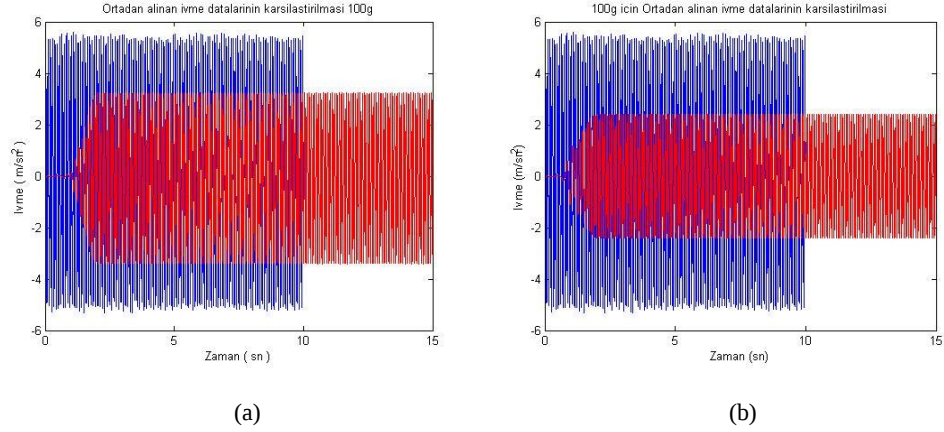


(c)

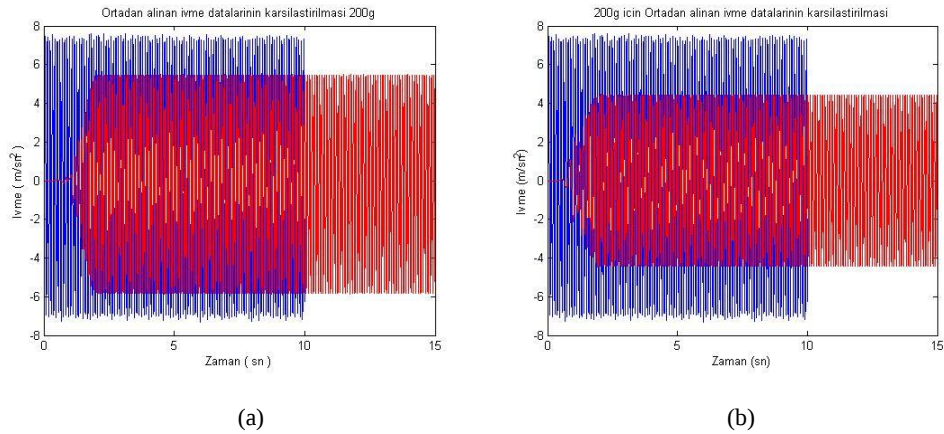
Şekil 3.48: (a) Düzeltilmiş teorik modelin genel görünüşü, (b) düzeltilmiş teorik modelin önden görünüşü, (c) düzeltilmiş teorik modelin yandan görünüşü

Aşağıda düzeltilmiş ve 1. modelden elde edilen teorik sonuçlar ile deneysel verilerin karşılaştırılması verilmiştir. Bu şekilde hem düzeltilmiş modelin deneysel veriler ile uyumluluğunu göstermek hem de bir önceki modele göre gerçekleştirilen

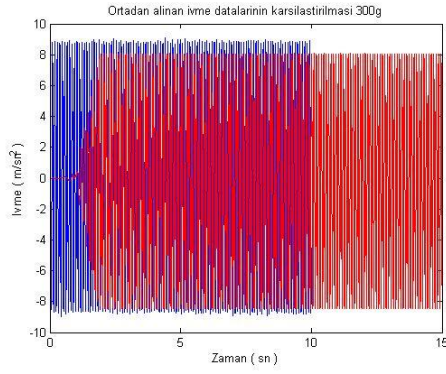
iyileştirmeyi ortaya koymak amaçlanmıştır. Şekil 3.49’de görüldüğü gibi 100g ve 11.2 Hz için teorik modelin genlikleri biraz daha artmış ve deneysel modele yaklaşmıştır. Şekil 3.49 ‘den 3.53 ‘e kadar verilen sonuçlar, özellikle dengesiz yükün kütlesi arttıkça düzeltilmiş teorik model sonuçlarının deneysel verilere daha da yaklaşmakta olduğunu göstermektedir. Özellikle 400g ve 500g için verilen sonuçlar neredeyse birbiri ile tam uyum sergilemektedir.



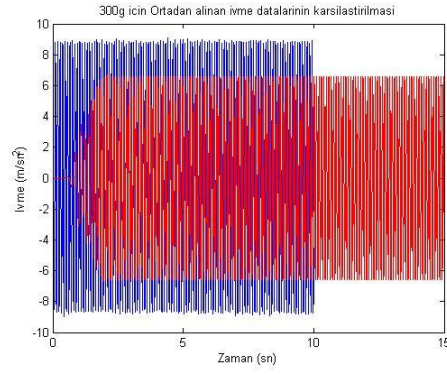
Şekil 3.49: 100g, 11.2 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)



Şekil 3.50: 200g, 10.7 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)

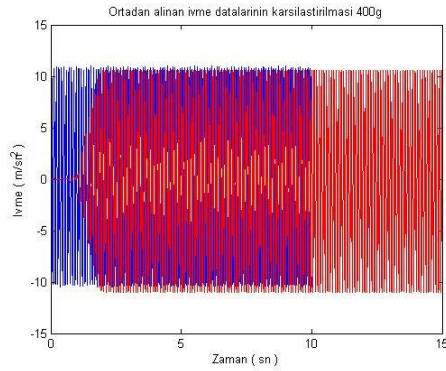


(a)

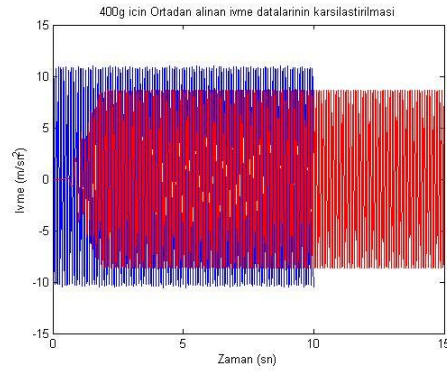


(b)

Şekil 3.51: 300g, 10.7 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)

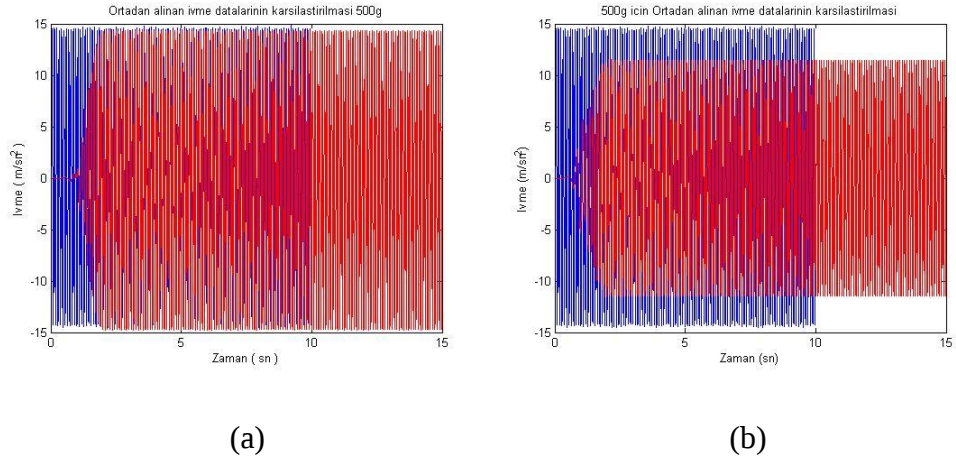


(a)



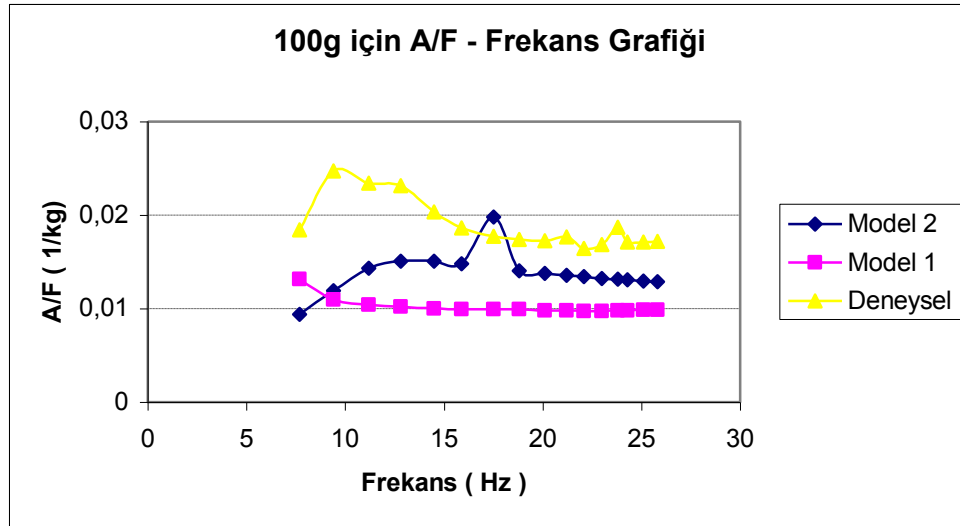
(b)

Şekil 3.52: 400g, 10.6 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)

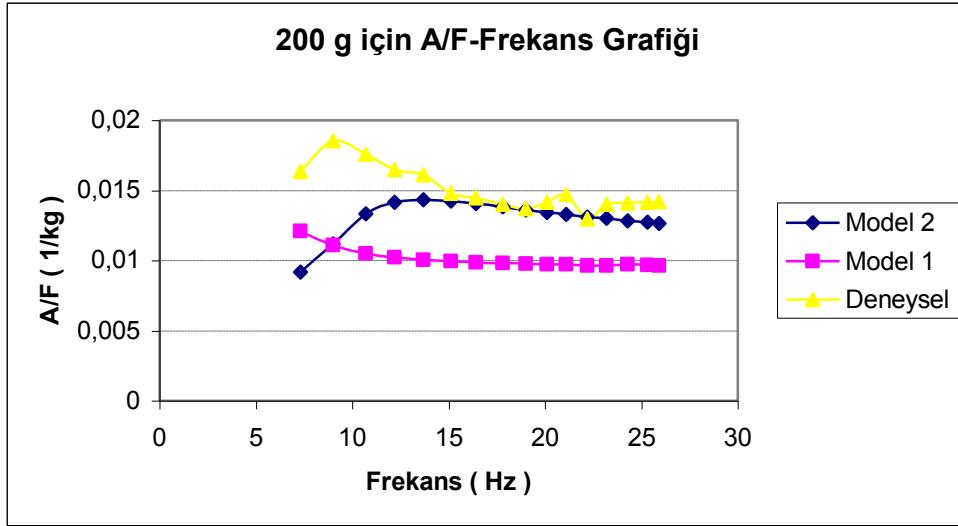


Şekil 3.53: 500g, 11 Hz için, (a) Düzeltilmiş teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması. (b) 1. model teorik model verileri ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)

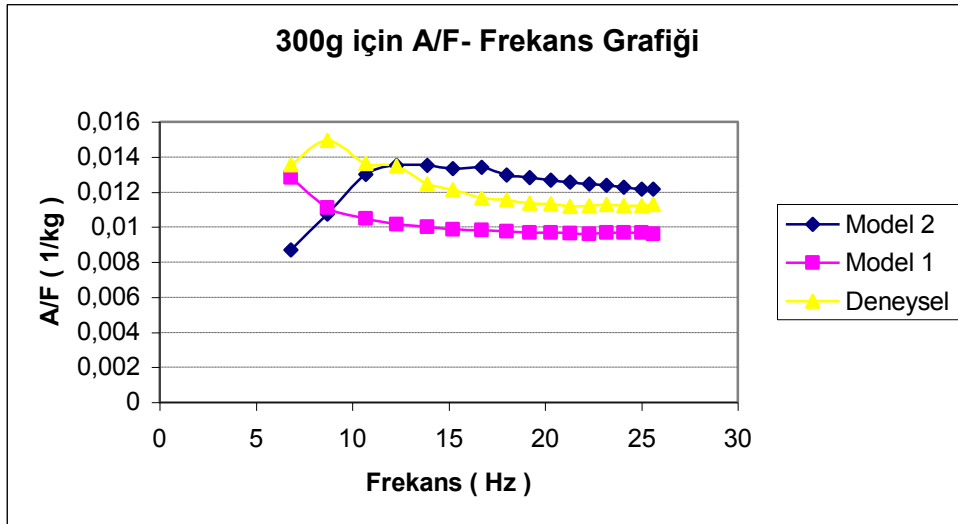
Düzeltilmiş (model 2) ve 1. teorik modelden (model 1) elde edilen Frekans Tepki Fonksiyonlarının deneysel veriler ile karşılaştırılması şekil 3.54 den şekil 3.55' e kadar verilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında özellikle problem yaratan büyük dengesiz yükler altında ve 10 Hz'ün üzerindeki frekanslarda uyumun oldukça iyi olduğu gözükmemektedir. Düzeltilen modelin önceki modele göre daha hassas sonuçlar ürettiği açıkça görülmektedir. Ancak, yeni modelin özellikle düşük frekanslarda geliştirilmeye ihtiyacı vardır.



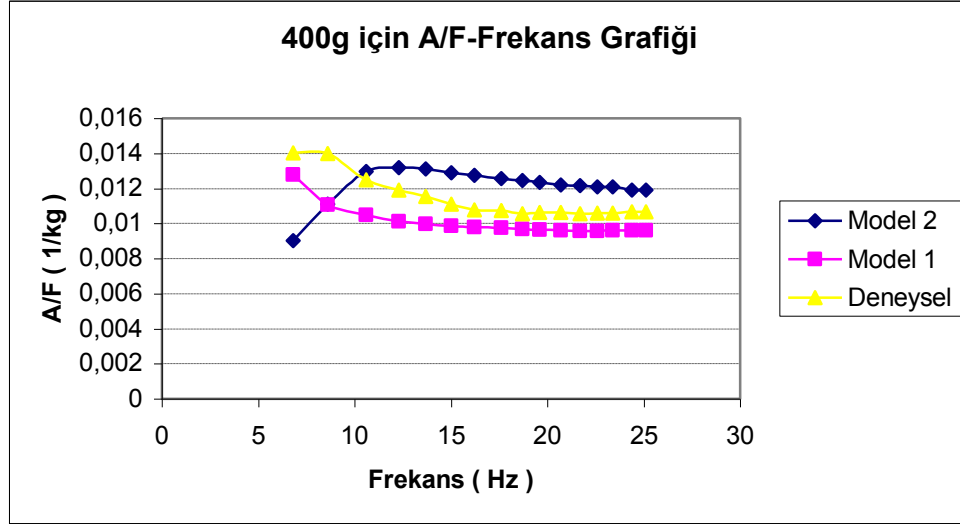
Şekil 3.54: 100g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları



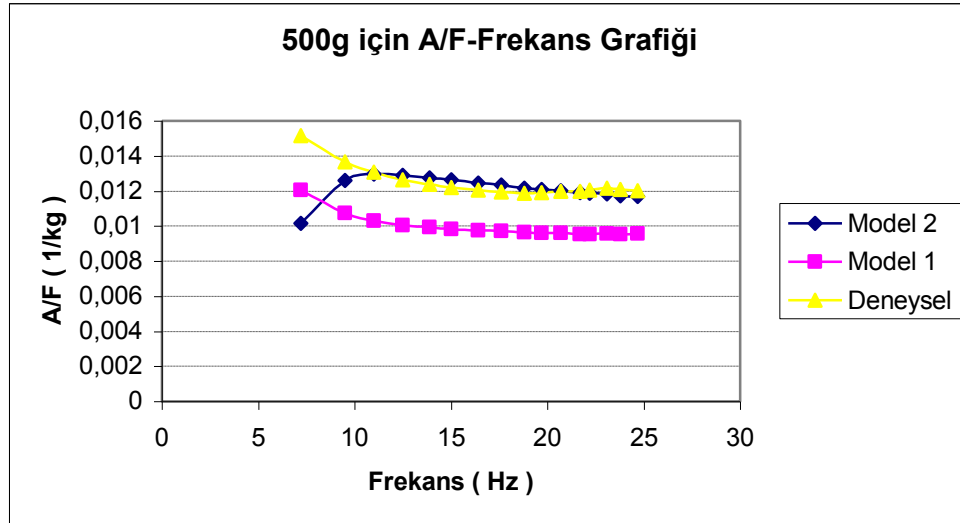
Şekil 3.55: 200g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları



Şekil 3.56: 300g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları



Şekil 3.57: 400g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları

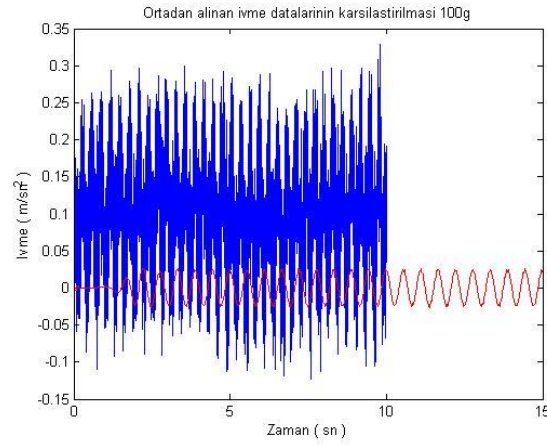


Şekil 3.58: 500g için düzeltilmiş teorik – teorik - deneysel Frekans Tepki Fonksiyonları

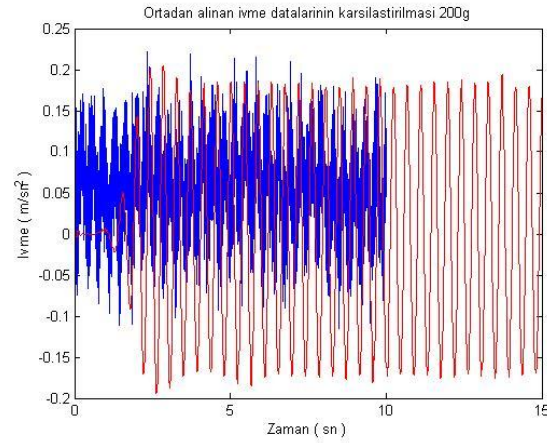
Belirtildiği gibi model revize edilmiş olmasına rağmen, düşük frekanslarda modelden elde edilen sonuçlar ile deneysel veriler arasında önemli ölçüde farklılıklar vardır. Tipik örnekler Şekil 3.59, 3.60 ve 3.61 a gösterilmiştir.

Pratikte dengesizliğin konum ve miktarının özellikle düşük frekanslarda belirlenmesi tercih edilmektedir. Bunun nedeni, belirlenen dengesizlik durumuna göre makinanın hangi devirde sıkma işlemini yapacağına düşük frekanslarda karar vermesi gerekmektedir. Bu nedenle, modelin düşük frekanslarda da deneysel veriler ile uyumlu sonuçlar üretmesi hedeflenmektedir. Burada bir noktaya daha dikkat

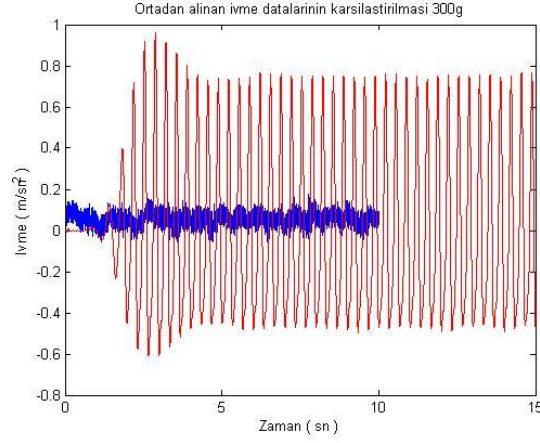
çekmekte fayda vardır: Burada sunulan deneysel sonuçlar küçük ivmeölçerler kullanılarak elde edilmiştir. Oysa küçük ivmeölçerlerin düşük frekanlarda güvenilir sonuçlar üretmediği bilinmektedir. Dolayısı ile şekil 3.59, 3.60 ve 3.61 ‘de verilen deneysel verilerin zaten yeterince hassas olmadığı unutulmamalıdır. Düşük frekanslardaki ölçümlerin ivmeölçer haricindeki sensörlerle tekrarlanması, model sonuçları ile karşılaştırılması ve modelin daha da uyumlu hale getirilmesi devam edilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.59: 100g, 3.4 Hz (204 dev/dak) için, Düzeltilmiş teorik model verileriyle ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)



Şekil 3.60: 200g, 2.9 Hz (174 dev/dak) için, Düzeltilmiş teorik model verileriyle ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)



Şekil 3.61: 300g, 1.7 Hz (102 dev/dak) için, Düzeltilmiş teorik model verileriyle ve deneysel sonuçların karşılaştırılması (Mavi: deneysel, Kırmızı: teorik)

3.5. Çamaşır Makinası Toplu Parametre Modeli

3.5.1. Giriş

Burada çamaşır makinasını temsil edecek 6 serbestlik dereceli bir model oluşturulacaktır. Bu modelin oluşturulmasının amacı, diğer modelde de olduğu gibi, çamaşır makinasının dinamiğini daha iyi anlamak, dengesiz yük ile titreşim genlikleri arasındaki ilişkinin ortaya konmasına ve dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi çalışmalarına katkı sağlamaktır.

Bu çalışmada, Lagrange denklemleri kullanılarak 6 serbestlik derecesine sahip bir modelin hareket denklemleri elde edilmiştir. Bunun ardından, oluşturulan modele dengesiz yük ilave edilmiş ve bu yük altında sistemde oluşan titreşimler tahmin edilmiş ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

3.5.2. Teorik Modelin Oluşturulması

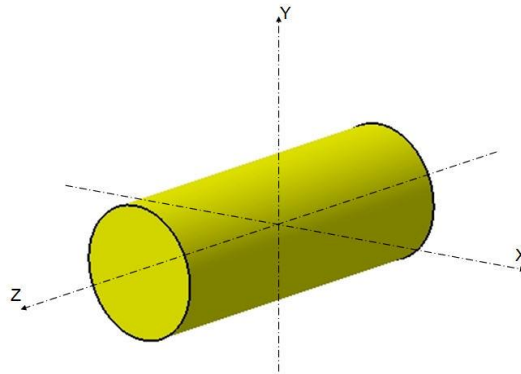
3.5.2.1. Giriş

Çamaşır makinasının teorik modelinin kurulması için bazı varsayımlar ve kabuller yapılmıştır:

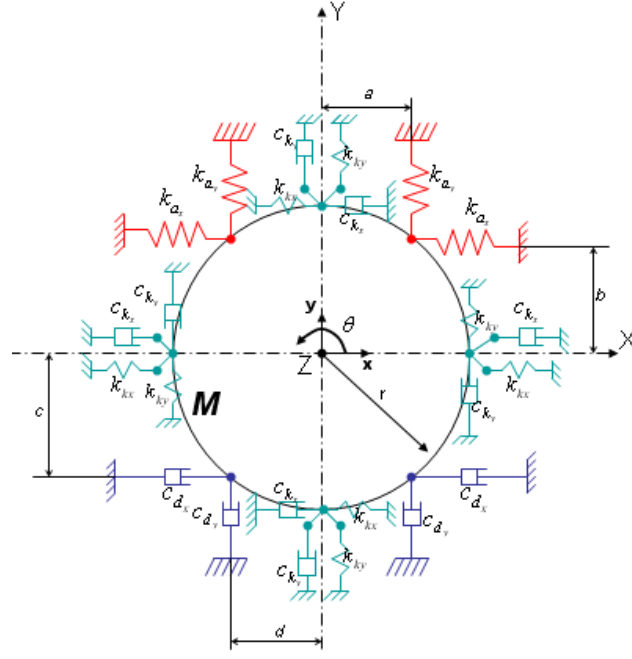
- Çamaşır makinasının gövde, yay, körük ve amortisör kısımları hariç geri kalan tüm elemanları (kazan, tambur, denge ağırlıkları vb...) kazan-tambur

takımı olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.62 de gösterildiği gibi kazan-tambur takımı çamaşır makinasındaki gerçek sistemle aynı atalet özelliklerine sahip bir silindir olarak modellenmiştir. Bu silindir, belli bir kalınlığı olan içi boş bir silindir olarak kabul edilmiştir.

- M kütleli silindirin rijid olduğu varsayılmıştır.
- Çamaşır makinasında kullanılan amortisörler viskos tipi ve lineer kabul edilmiştir.
- Lineer olmayan davranışlar ihmal edilmiştir.
- Çamaşır makinasının gövdesi rijid olarak kabul edilmiştir. Dolayısı ile askı yaylarının, amortisörlerin ve körük elemanlarının gövde tarafındaki bağlantı noktalarında herhangi bir hareket veya esneklik olmadığı kabul edilmiştir.
- Bu varsayımlar altında çamaşır makinasının hareket denklemlerinin çıkarılması için, teorik modelde kullanılacak genelleştirilmiş koordinatların ve serbestlik derecesinin tayin edilmesi gerekmektedir. Kazan-tambur takımının rijid olduğu varsayılmıştır. Bu rijid kütle için altı serbestlik derecesi vardır ve bu serbestlik derecelerinin hepsi teorik modele dahil edilmiştir. Aşağıda bu serbestlik dereceleri ve kullanılan genelleştirilmiş koordinatlar açıklanmıştır.



Şekil 3.62: Çamaşır makinasının kazan-tambur ve denge ağırlıklarının rijid bir kütle olarak basitleştirilmesi ve kullanılan koordinat sistemi



Şekil 3.63: Basitleştirilmiş çamaşır makinası modelinin önden görünüşü

Şekil 3.63 de çamaşır makinası modelinin önden görünüşü, XY düzleminde bağlantı elemanları ile birlikte verilmiştir. Kazan-tambur takımının X ekseninde yapabileceği öteleme hareketi 'x', Y ekseninde yapabileceği ötelenme hareketi 'y' ve Z ekseninde yapabileceği dönme hareketi ' θ ' genelleştirilmiş koordinatıyla tanımlanmıştır. Çözüm kolaylığı açısından askı yayları ve amortisörler X ve Y bileşenlerine ayrılmıştır. Şekil 6 da r yarıçaplı rijid silindirin etrafındaki bağlantı elemanlarının konumları, söz konusu noktaların merkezden X-Y yönlerindeki uzaklıkları (a, b, c ve d) ile belirtilmiştir. Kazan-tambur takımı soldan ve sağdan birer adet askı yayı ile asılmaktadır ve her bir yayın da yatay ve dikey bileşenleri (k_{a_x}, k_{a_y}) mevcuttur. Benzer şekilde iki adet viskos tip sönüm elemanı da yatay ve dikey bileşenleri (c_{d_x}, c_{d_y}) dikkate alınarak modele dahil edilmiştir. Sağ ve solda bulunan yay ve amortisörlerin birbirleri ile aynı olduğu varsayılmıştır. Kazan-tambur takımını temsil eden rijid silindir ön taraftan gövdeye körük ile çepeçevre bağlanmaktadır. Bu durum şekil 3.63 de görüldüğü gibi silindirin 4 noktasından gövdeye hem yatay hem de dikey yönlerde etkiyen yaylar ve sönümleyiciler kullanılarak modellenmiştir ($k_{k_x}, k_{k_y}, c_{k_x}, c_{k_y}$).

3.5.2.2. Hareket Denklemleri

Açıklanan sistemin, hareket denklemlerinin oluşturulması için ‘Lagrange Denklemleri’ kullanılacaktır. Sistemdeki yaylar ve amortisörlerden dolayı potansiyel ve disipasyon enerjilerinin varlığı söz konusudur. Bu durumda, $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$ olmak koşulu ile Lagrange Denklemleri,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} + \frac{\partial V}{\partial q_k} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_k} = F_k \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ‘T’ kinetik enerjiyi, ‘V’ potansiyel enerjiyi, ‘D’ disipasyon enerjisini, ‘ F_k ’ genelleştirilmiş kuvvetleri ve ‘ q_k ’ genelleştirilmiş koordinatları temsil etmektedir [47]. Lagrange denklemleri öncelikle serbest titreşimler için hareket denklemlerinin elde edilmesinde kullanılacaktır. Bir sonraki bölümde dengesizlikten kaynaklanan kuvvetler sisteme eklenecektir.

Lagrange denklemlerinin kullanılması için ilgili enerji terimleri, Şekil 3.63, 3.64 ve 3.65 dikkate alınarak yazılmış ve aşağıda verilmiştir.

Sistemin kinetik enerjisi,

$$T = \frac{1}{2} M \dot{x}^2 + \frac{1}{2} M \dot{y}^2 + \frac{1}{2} M \dot{z}^2 + \frac{1}{2} J_{zz} \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} J_{xx} \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} J_{yy} \dot{\beta}^2 \quad (3.3)$$

sistemin potansiyel enerjisi,

$$\begin{aligned} V = & k_{a_x} (x - b\theta)^2 + \frac{1}{2} k_{a_y} (y + a\theta)^2 + \frac{1}{2} k_{a_y} (y - a\theta)^2 + \frac{1}{2} k_{k_x} (x - r\theta + e\beta)^2 \\ & + \frac{1}{2} k_{k_x} (x + r\theta + e\beta)^2 + k_{k_x} (x + e\beta)^2 + \frac{1}{2} k_{k_y} (y + r\theta - e\varphi)^2 + \frac{1}{2} k_{k_y} (y - r\theta - e\varphi)^2 \\ & + k_{k_y} (y - e\varphi)^2 + \frac{1}{2} k_{k_z} z^2 + \frac{1}{2} k_{kb} \theta^2 + \frac{1}{2} k_{d_z} (z - c\varphi - d\beta)^2 + \frac{1}{2} k_{d_z} (z - c\varphi + d\beta)^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

sistemin disipasyon enerjisi,

$$\begin{aligned} D = & c_{d_x} \left(\dot{x} + c \dot{\theta} \right)^2 + \frac{1}{2} c_{d_y} \left(\dot{y} - d \dot{\theta} \right)^2 + \frac{1}{2} c_{d_y} \left(\dot{y} + d \dot{\theta} \right)^2 + \frac{1}{2} c_{k_x} \left(\dot{x} - r \dot{\theta} + e \dot{\beta} \right)^2 \\ & + \frac{1}{2} c_{k_x} \left(\dot{x} + r \dot{\theta} + e \dot{\beta} \right)^2 + c_{k_x} \left(\dot{x} + e \dot{\beta} \right)^2 + \frac{1}{2} c_{k_y} \left(\dot{y} + r \dot{\theta} - e \dot{\varphi} \right)^2 + \frac{1}{2} c_{k_y} \left(\dot{y} - r \dot{\theta} - e \dot{\varphi} \right)^2 \\ & + c_{k_y} \left(\dot{y} - e \dot{\varphi} \right)^2 + \frac{1}{2} c_{k_z} \dot{z}^2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilir.

Sistem 6 serbestlik dereceli olduğundan, burada ‘ q_k ’ genelleştirilmiş koordinatı olarak, x , y , z , φ , θ , ve β alınacaktır. Genelleştirilmiş kuvvetin sıfır olduğu durumda (3.2) numaralı denklem sırasıyla her bir genelleştirilmiş koordinat için uygulanmıştır. Burada örnek olarak sadece ‘ x ’ genelleştirilmiş koordinatı için hareket denkleminin çıkarılışı gösterilmiştir. Diğer genelleştirilmiş koordinatlar için de benzer işlemler yapılmıştır.

‘ x ’ genelleştirilmiş koordinatı için (3.2) numaralı denklem uygulandığında;

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) = m \ddot{x} \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial x} &= 2k_{a_x}(x - b\theta) + k_{k_x}(x - r\theta + e\beta) + k_{k_x}(x + r\theta + e\beta) + 2k_{k_x}(x + e\beta) \\ &= (2k_{a_x} + 4k_{k_x})x - 2k_{a_x}b\theta + 4k_{k_x}e\beta \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial D}{\partial \dot{x}} &= 2c_{d_x}(\dot{x} + c\dot{\theta}) + c_{k_x}(\dot{x} - r\dot{\theta} + e\dot{\beta}) + c_{k_x}(\dot{x} + r\dot{\theta} + e\dot{\beta}) + 2c_{k_x}(\dot{x} + e\dot{\beta}) \\ &= (2c_{d_x} + 4c_{k_x})\dot{x} + 2c_{d_x}c\dot{\theta} + 4c_{k_x}e\dot{\beta} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Bu durumda ‘ x ’ genelleştirilmiş koordinatı için hareket denklemi

$$M \ddot{x} + (2k_{a_x} + 4k_{k_x})x - 2k_{a_x}b\theta + 4k_{k_x}e\beta + (2c_{d_x} + 4c_{k_x})\dot{x} + 2c_{d_x}c\dot{\theta} + 4c_{k_x}e\dot{\beta} = 0 \quad (3.10)$$

şeklinde elde edilir.

Benzer işlemler diğer genelleştirilmiş koordinatlar için de yapılmış ve hareket denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$M \ddot{y} + (2k_{a_y} + 4k_{k_y})y - 4k_{k_y}e\varphi + (2c_{d_y} + 4c_{k_y})\dot{y} - 4c_{k_y}e\dot{\varphi} = 0 \quad (3.11)$$

$$M \ddot{z} + (k_{k_z} + 2k_{d_z})z - 2k_{d_z}c\varphi + c_{k_z}\dot{z} = 0 \quad (3.12)$$

$$J_{zz} \ddot{\theta} - 2k_{a_x} bx + (2k_{a_x} b^2 + 2k_{a_y} a^2 + 2k_{k_x} r^2 + 2k_{k_y} r^2 + k_{kb})\theta + 2c_{d_x} c \dot{x} + (2c_{d_x} c^2 + 2c_{d_y} d^2 + 2c_{k_x} r^2 + 2c_{k_y} r^2) \dot{\theta} = 0 \quad (3.13)$$

$$J_{xx} \ddot{\varphi} - 4k_{k_y} ey - 2k_{d_z} cz + (4k_{k_y} e^2 + 2k_{d_z} c^2)\varphi - 4c_{k_y} e \dot{y} + 4c_{k_y} e^2 \dot{\varphi} = 0 \quad (3.14)$$

$$J_{yy} \ddot{\beta} + 4k_{k_x} ex + (4k_{k_x} e^2 + 2k_{d_z} d^2)\beta + 4c_{k_x} e \dot{x} + 4c_{k_x} e^2 \dot{\beta} = 0 \quad (3.15)$$

Bu hareket denklemleri kullanılarak, kütle [M], direngenlik [K] ve sönüm [C] matrisleri elde edilmiştir:

$$[M] = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_{zz} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & J_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & J_{yy} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & 0 & 0 & k_{14} & 0 & k_{16} \\ 0 & k_{22} & 0 & 0 & k_{25} & 0 \\ 0 & 0 & k_{33} & 0 & k_{35} & 0 \\ k_{41} & 0 & 0 & k_{44} & 0 & 0 \\ 0 & k_{52} & k_{53} & 0 & k_{55} & 0 \\ k_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{66} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_{11} & 0 & 0 & c_{14} & 0 & c_{16} \\ 0 & c_{22} & 0 & 0 & c_{25} & 0 \\ 0 & 0 & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ c_{41} & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & c_{52} & 0 & 0 & c_{55} & 0 \\ c_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{66} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Bu matrisler simetriktir ve [K] matrisinin ilgili elemanlar denklem (3.19) da verilmiştir.

$$k_{11} = 2k_{a_x} + 4k_{k_x}$$

$$k_{14} = -2k_{a_x} b$$

$$k_{16} = 4k_{k_x} e$$

$$k_{22} = 2k_{a_y} + 4k_{k_y}$$

$$k_{25} = -4k_{k_y} e$$

$$k_{33} = k_{k_z} + 2k_{d_z} \quad (3.19)$$

$$k_{35} = -2k_{d_z} c$$

$$k_{44} = 2k_{a_x} b^2 + 2k_{a_y} a^2 + 2k_{k_x} r^2 + 2k_{k_y} r^2 + k_{kb}$$

$$k_{55} = 4k_{k_y} e^2 + 2k_{d_z} c^2$$

$$k_{66} = 4k_{k_x} e^2 + 2k_{d_z} d^2$$

[C] matrisinin içeriği de denklem (3.20) de verilmiştir.

$$c_{11} = 2c_{d_x} + 4c_{k_x}$$

$$c_{14} = 2c_{d_x} c$$

$$c_{16} = 4c_{k_x} e$$

$$c_{22} = 2c_{d_y} + 4c_{k_y} \quad (3.20)$$

$$c_{25} = -4c_{k_y} e$$

$$c_{33} = c_{k_z}$$

$$c_{44} = 2c_{d_x} c^2 + 2c_{d_y} d^2 + 2c_{k_x} r^2 + 2c_{k_y} r^2$$

$$c_{55} = 4c_{k_y} e^2$$

$$c_{66} = 4c_{k_x} e^2$$

Serbest titreşimler için elde edilen hareket denklemleri yukarıda belirlenen matrisler kullanılarak ifade edilirse:

$$[M]\{q\} + [C]\{q\} + [K]\{q\} = \{0\} \quad (3.21)$$

denklemi elde edilir. Burada $\{q\}$ vektörü daha önce belirtildiği gibi yukarıda açıklanan geliştirilmiş koordinatları $(x, y, z, \theta, \varphi, \beta)$ içermektedir.

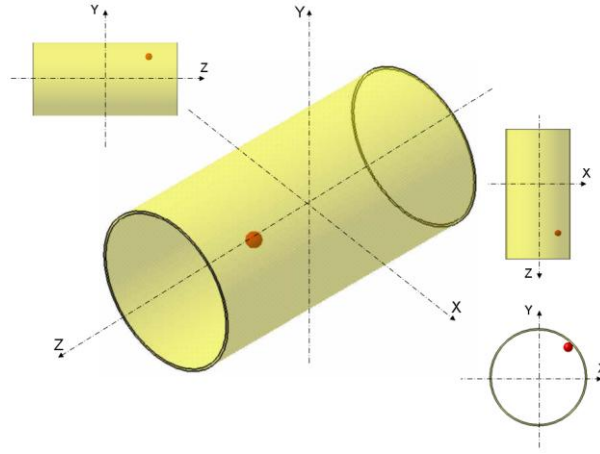
3.5.2.3. Zorlanmış Titreşimler

Bu bölümde, oluşturulan çamaşır makinası modeline dengesiz yükten kaynaklanan tahrikler eklenmiştir. Bu sayede çamaşır makinasının sıkma koşulları altındaki titreşimlerinin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Silindir şeklinde modellenmiş olan kazan tambur takımına şekil 3.66 da şematik olarak gösterilen bir dengesiz yük eklenerek bu durumdaki geliştirilmiş kuvvetler elde edilmiştir.

Dengesiz yük, çamaşır makinasını temsilen hazırlanan kazan-tambur takımını zorlanmış titreşimlere maruz bırakacaktır. Bu dengesiz yük, denklem (3.2) 'de gösterilen geliştirilmiş kuvvetlerinin oluşmasına neden olacaktır. Bu geliştirilmiş kuvvetler matris notasyonu ile yazılmak istenirse ve $\{F\}$ vektörü ile gösterilirse içeriği denklem 3.22 'deki gibi olacaktır.

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_z \\ M_x \\ M_y \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$

Burada F_x , F_y ve F_z sıra ile X, Y ve Z yönlerinde dengesizlik nedeni ile oluşan kuvvetleri, M_x , M_y ve M_z ise dengesizlik nedeni ile X, Y ve Z yönlerinde oluşan momentleri temsil etmektedir.



Şekil 3.66: Modelde dengesiz yükün ilave edilmesi

Şekil 3.67 da, dengesiz yük eklenmiş basitleştirilmiş çamaşır makinesi modelinin önden görünüşü verilmiştir. Burada m dengesiz kütlesi tambur ile beraber dönmektedir ve oluşacak merkez kaç kuvveti F_m denklem 3.23 'deki gibidir.

$$F_m = mr \dot{\psi}^2 \quad (3.23)$$

Burada ψ dengesiz yükün açısal konumunu, $\dot{\psi}$ ise tamburun dönme hızını ifade etmektedir. Tamburun dönme hızı Ω ile ifade edilirse,

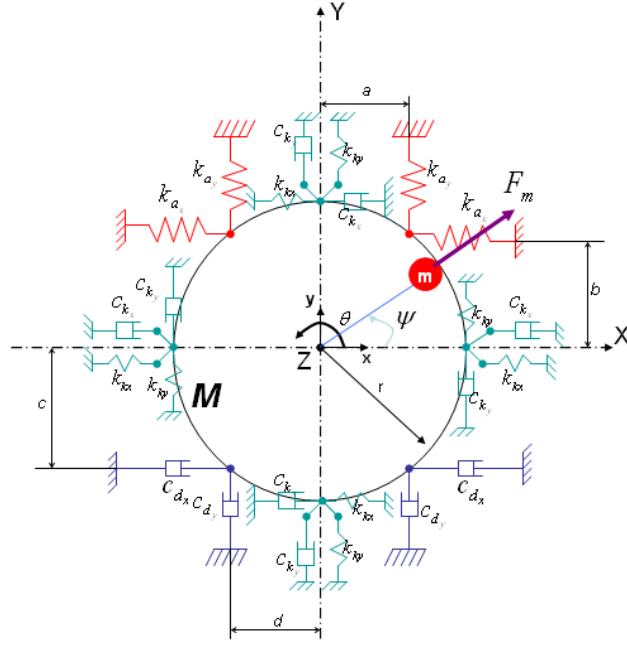
$$F_x = mr\Omega^2 \cos(\Omega t) \quad (3.24)$$

$$F_y = mr\Omega^2 \sin(\Omega t) \quad (3.25)$$

$$F_z = 0 \quad (3.26)$$

$$M_z = 0 \quad (3.27)$$

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 3.67: Çamaşır makinasına dengesiz yük uygulanması: önden görünüşü

Şekil 3.68 ve 3.69 da, çamaşır makinası modelinin yandan ve üstten görünüşü verilmektedir. Pratikte dengesiz yük makinanın kütle merkezinden geçen XY düzleminden uzakta oluşabilmektedir. Bu durum, 3.68 ve 3.69 dan da görülebileceği gibi, dengesiz yükün Z eksenine göre merkezden f ile belirtilen mesafede konumlandırılarak modellenmiştir. Bu konumdaki dengesiz yük, çamaşır makinasının kütle merkezinde, X ve Y yönlerinde moment yaratacaktır ve bu momentler denklem 3.28 ve 3.29 ‘daki şekilde ifade edilebilir.

$$M_x = -mr\Omega^2 \sin(\Omega t) f \quad (3.28)$$

$$M_y = mr\Omega^2 \cos(\Omega t) f \quad (3.29)$$

Belirlenen genelleştirilmiş kuvvetler vektör olarak aşağıda verilmiştir.

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} mr\Omega^2 \cos(\Omega t) \\ mr\Omega^2 \sin(\Omega t) \\ 0 \\ 0 \\ -mr\Omega^2 \sin(\Omega t) f \\ mr\Omega^2 \cos(\Omega t) f \end{Bmatrix} \quad (3.30)$$

3.5.3. Sonuçlar

Yukarıda elde edilen çamaşır makinası modeli, sistemin hem sönümsüz, hem de sönümlü doğal frekanslarının hesaplanması için kullanılmıştır. Daha sonra, dengesiz yük altında kazan-tambur sisteminin X-Y düzlemindeki titreşimleri ve orbitler hesaplanmış ve bu veriler deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Bu hesaplamalar sırasında tipik bir çamaşır makinasının geometrik özellikleri ve deneysel olarak ölçülen yay ve körüğün dinamik özellikleri kullanılmıştır. Gerçek makinada, kuru sürtünme prensibine göre çalışan amortisörün özellikleri belirlenmiş ve belirlenen frekans ve genliklerde eşit enerji disipasyonu için eşdeğer viskos sönüm elemanının özellikleri hesaplanmıştır.

Sönümsüz sistemin doğal frekansları ve mod şekilleri $[C]$ matrisinin sıfır olduğu duruma karşılık gelen ve aşağıdaki özdeğer probleminin çözülmesi ile elde edilmiştir.

$$([K] - \omega^2 [M])\{\Theta\} = \{0\} \quad (3.31)$$

Sistem sönümlü kabul edilerek de özdeğerler ve mod şekilleri hesaplanmıştır. Sönümlü sistemin özdeğer ve özvektörlerini hesaplamak için deplasman ve hız vektörlerini içeren yeni genelleştirilmiş koordinatlar tanımlanmış ve özdeğer problemi denklem 3.32 'deki forma dönüştürülerek çözülmüştür .[44]

$$\left(\begin{bmatrix} [K] & [0] \\ [0] & -[M] \end{bmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} [C] & [M] \\ [M] & [0] \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} \{\Theta\} \\ \{\dot{\Theta}\} \end{Bmatrix} = \{0\} \quad (3.32)$$

Yukarıdaki özdeğer probleminin çözümü, sistemin doğal frekans ve sönüm değerlerini içeren özdeğerleri ve de sistemin mod şeklini kapsayan özvektörleri vermektedir. Ancak, daha önceden de belirtildiği gibi, pek çok çamaşır makinasında

sürtünmeli amortisör kullanılmaktadır ve burada sunulan model lineer viskos sönüm prensibine dayanmaktadır. Dolayısı ile modelde kullanılmak üzere eşdeğer sönüm bilgisine ihtiyaç vardır. Eşdeğer viskos sönüm değerini ise belirlenen bir genlik ve frekans da hesap etmek mümkündür. 2 farklı eşdeğer viskos sönüm değeri için sistemin sönümlü doğal frekansları hesap edilmiştir. Sönümsüz ve sönümlü durum için elde edilen doğal frekanslar çizelge 3.7 de verilmiştir. Çizelge 3.7 de 1. mod için verilen doğal frekans, kazan-tambur sisteminin Z-ekseni boyunca titreşim sergilediği moda karşılık gelmektedir. Bu mod için sadece körük elastik direnç gösterdiği için doğal frekans değeri de en küçük olandır. 2. ve 3. modların doğal frekanslarının da amortisörün sönüm değerinden fazla etkilenmediği anlaşılmaktadır. Bunun nedeni, bu modların X ve Y eksenleri etrafında dönme hareketinin dominant olduğu ve dolayısı ile bu hareketlere karşı amortisörlerin önemli bir direnç göstermemesidir. Ancak, 4. , 5. ve 6. modlara karşılık gelen doğal frekanslar, amortisörlerin sönüm değerinden ciddi oranda etkilenmektedir. Bu frekanslar deneysel olarak henüz doğrulanmamıştır. Ancak, sayısal analizlerde, tambur-kazan sistemine Z yönünde körük haricinde başka elastik direnç dahil edilmediği için 1. doğal frekansın gerçeğe yaklaşmadığı bilinmektedir.

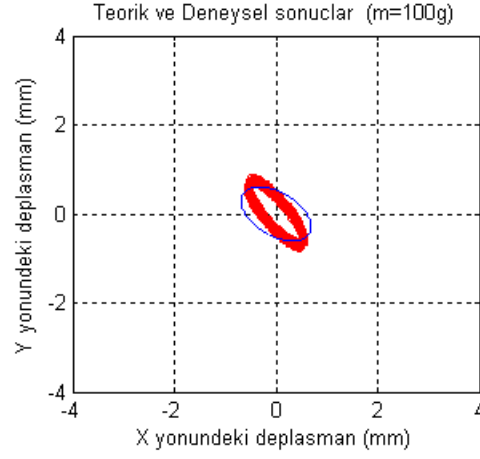
Çizelge 3.7: Sönümsüz ve sönümlü modelin doğal frekansları

Mod No	Doğal Frekans	
	Sönümsüz	Sönümlü
1	0.44	0.44
2	1.15	1.15
3	2.01	2.02
4	3.66	3.68
5	4.03	3.83
6	4.40	4.18

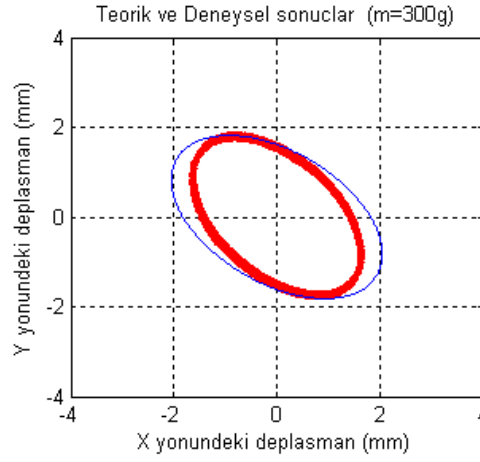
Çamaşır makinasının dengesiz yük altındaki zorlanmış titreşimleri, çamaşır makinasının sıkma devrine karşılık gelen bir frekans da (600 devir/dak , $\Omega = 62.8 \text{ rad/sn}$) ve dengesiz yükün çamaşır makinasının merkezinden Z eksen yönünde belli bir mesafede ($f=0.1 \text{ m}$) olduğu durum için hesaplanmıştır.

Zorlanmış titreşimler 100g, 300g ve 500g dengesiz yük durumunda hesaplanmıştır. Bu sonuçların doğruluğunu kontrol etmek amacı ile aynı koşullarda, X ve Y yönlerinde titreşim ölçümleri yapılmıştır.

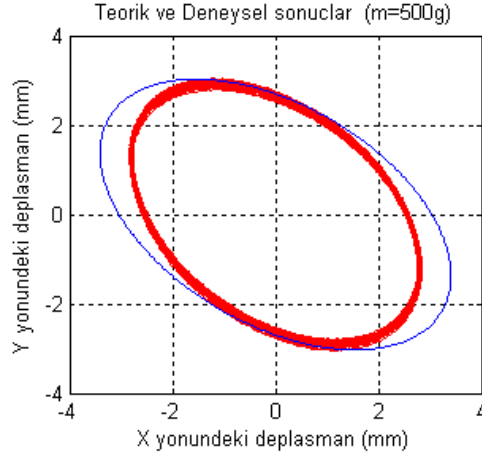
Deneysel ve sayısal olarak elde edilen zorlanmış titreşimler, X-Y düzleminde orbit formatında Şekil 3.70, 3.71 ve 3.72 de karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerde sayısal sonuçlar tek orbit ile, deneysel veriler ise çok sayıda orbitlerin çizdirilmesi ile gösterilmiştir. Sayısal sonuçların deneysel verilerle hem genlik hem de faz olarak uyumlu olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 3.70: 100g dengesiz yük için sayısal ve deneysel orbitlerin karşılaştırılması



Şekil 3.71: 300g dengesiz yük için sayısal ve deneysel orbitlerin karşılaştırılması



Şekil 3.72: 500g dengesiz yük için sayısal ve deneysel orbitlerin karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamında çamaşır makinası için toplu parametre yaklaşımına dayalı, 6 serbestlik derecesine sahip basit bir dinamik model ortaya konmuştur. Tipik bir çamaşır makinasının yapısal parametreleri kullanılarak sistemin doğal frekansları ve dengesiz yük altında oluşan titreşimleri tahmin edilmiş ve deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Tahmin edilen ve ölçülen titreşim orbitlerinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu çalışma sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler de yapılmıştır.

- Basit bir modelin çamaşır makinasının genel dinamiğini yansıtabilmesi mümkündür.
- Oluşturulan bu model, tasarım amacına yönelik olarak parametrik çalışmalar için kullanılabilir ve kullanılması da idealdir.
- Burada sunulan model çok yaylı ve çok amortisörlü sistem için kolayca geliştirilebilir. Geliştirilecek model tasarım amaçlı olarak askı yayı ve amortisör sayılarının ve bu elemanların ideal konumlarının belirlenmesi için kullanılabilir.
- Burada lineer bir model kurulmuştur ve bu durum kuru sürtünmeli amortisör kullanılan çamaşır makinalarının kapsamlı analizleri için yeterli olmayabilir.
- Daha hassas analizler için lineer olmayan modellerin geliştirilmesi gerekmektedir.

6 Serbestlik dereceli toplu parametre modeli kullanılarak titreşim seviyesine bağlı olarak dengesizlik miktarının düşük frekanslarda da başarılı bir şekilde

belirlenebilmesi, eşdeğer lineer parametrelerin ilgilenilen frekansa doğru bir şekilde belirlenebilmesine bağlıdır.

Bu tez kapsamında, teorik modeller düşük frekanslarda deneysel veriler doğrultusunda henüz doğrulanamamıştır. Düşük frekanslarda da yeterince hassas bir modelin kurulabilmesi, özellikle körük ve amortisörlerin lineer olmayan davranışlarının modellenmesi ve deneysel veriler doğrultusunda güncellenmesini gerektirmektedir. Bu tür çalışmalar ileride yapılabilecek çalışmalar olarak belirlenmiştir.

4. ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA DENGESİZLİĞİN ALGILANMASI

4.1. Giriş

Bu bölümde, dengesizliğin algılanması ve algılama işleminin gerçekleşmesi için kullanılabilecek metodlar üzerinde durulmuştur. Özellikle deneme kütlesi kullanmaksızın açısal konumunun belirlenmesi ile ilgili çalışmalar bu bölümde detaylı olarak irdelenecektir. Çamaşır makinalarında dengesizliğin algılanması için kullanılabilecek bir sensör ve prototipi (sensör çamaşır makinası üzerine uygulanmıştır) geliştirilmiştir, bu sensör ve özellikleri tanıtılacaktır.

4.2. Dengesizliği Algılama Metodlarının Detaylı olarak İncelenmesi

4.2.1. Giriş

Bu kısımda, çamaşır makinalarında dengesizliğin algılanabilmesi için ne tip algılama yöntemlerinin kullanılabileceği incelenecektir. Algılama yönteminin belirlenmesinde, algılama işlemi için nasıl bir sensör seçilmeli ve seçilen sensör makina üzerine nasıl uygulanmalı sorularına cevap aranacaktır.

Dengesizliğin konum ve miktarının bir düzlemde belirlenmesi için, bir adet titreşim ölçen sensöre (ivmeölçer, deplasman ölçer, kuvvetölçer vb...) ve bir adet de tako sensörüne ihtiyaç vardır. Bu bağlamda, bu tez kapsamında deplasman ölçer, kuvvetölçer ve gerinim sensörü kullanılarak titreşim ölçümleri yapılacaktır. Bunlar dışında ölçümün yapılabileceği birde ivmeölçer önerilecektir.

4.2.2. İvmeölçer

Hatırlanacağı üzere, dengesizliğin algılanması için, 3. bölümde rotor modeli geliştirme çalışmalarının deneysel ölçümlerinin test düzeneğinde kullanılan ivmeölçerin çok düşük frekanslarda güvenilir algılama yapamadığı gösterilmişti. Fakat şimdi yeni bir ürün olarak karşımıza çıkan DC ivmeölçerler piyasada mevcuttur. Yapılan piyasa araştırmasında *Brüel & Kjaer* firmasının üretmekte olduğu ‘*DC İvmeölçer – Tip 4573*’ sensörünün sıfır Hz de dahil olmak üzere düşük

frekanslarda ivme ölçümü için kullanılabilecek uygun bir ivmeölçer olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Brüel & Kjaer DC İvmeölçer – Tip 4573

Yukarıda sözü edilen DC ivmeölçerlerden tez kapsamında alınamamıştır. Fakat düşük frekanslarda ölçüm yapabildiğinden bir öneri olarak burada sunulmuştur.

4.2.3. Deplasman Ölçer

Dengesizliğin algılanması için kullanılması düşünülen deplasman ölçer yine düşük frekanslarda (1-2 Hz) ölçüm yapabilmelidir. Yapılan piyasa araştırmasında *HBM* firmasının üretmekte olduğu '*WA Plunger Deplasman ölçer*' sensörünün bu frekans değerlerinde ölçüm yapabilmek için uygun bir sensör olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: HBM WA Plunger Deplasman ölçer

Bu deplasman ölçer statik durumda dahil olmak üzere düşük frekanslardaki deplasmanları algılayabilmektedir. Fiziksel özellikleri incelendiğinde, bu sensörün kazanın değişik konumlarına bağlanabileceği anlaşılmaktadır.

Tez kapsamında kullanılmak üzere 4 adet '*HBM WA Plunger Deplasman ölçer*' alınmıştır. Bunlardan ikisi 0...50mm ve diğer ikisi 0...20mm çalışma aralığına sahiptir.

4.2.4. Kuvvet Ölçer

Dengesizliğin algılanması için kullanılabilmesi muhtemel olan bir diğer sensörde kuvvet sensörüdür. Bu tip sensörler diğer bazı sensörlerde de olduğu gibi sıfır ve düşük frekanslarda algılama yapabilmektedir. Yapılan piyasa araştırmasında *HBM* firmasının üretmekte olduğu '*U9B Kuvvetölçer*' sensörünün düşük frekans değerlerinde ölçüm yapabilmek için uygun olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3: HBM U9B Kuvvetölçer

Kuvvet sensörü seçilirken, bu sensörün 0 Hz 'de ölçüm yapabilmesi şartı aranmıştır. Çünkü 0 Hz de ölçüm yapabilen kuvvetölçerler, çamaşır makinasının statik durumdaki ağırlığının da ölçülebilmesini sağlayabilecektir. Bu nedenle özellikle gerinim sensörü tabanlı kuvvetölçerler araştırılmıştır.

Fiziksel özellikleri incelendiğinde, bu sensörün bir aparat vasıtasıyla çamaşır makinası ayaklarına bağlanabileceği açıktır.

Tez kapsamında kullanılmak üzere 4 adet '*HBM U9B Kuvvetölçer*' alınmıştır. Bu sensörler 0..1kN çalışma aralığına sahiptir.

4.2.5. Gerinim Sensörü (Strain Gauge)

Dengesizliğin algılanması için kullanılması düşünülen sensörlerden biri de gerinim sensörüdür (strain gauge). Gerinim sensörleri çok düşük frekanslarda ölçüm yapabildiği gibi, 0 Hz 'de de ölçüm yapabilmektedir. Bu sensörlerin seçimi çok önemlidir ve şunlara dikkat edilmelidir:

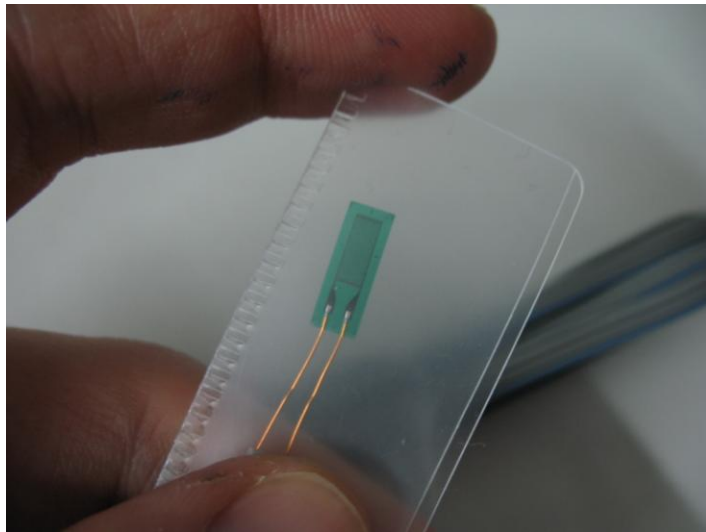
- Gerinim sensörünün yapıştırılacağı malzemenin özellikleri bilinmeli ve gerinim sensörü buna göre seçilmelidir.
- Ölçüm yapılacak konuma da bağlı olarak, gerinim sensörü uçlarının uygun bağlanabileceği bir geometri seçilmelidir.

- Gerinim sensörü malzemesi, taban malzemesi ve yapıştırıcı, ölçüm yapılan cismin ve çevrenin sıcaklığına uygun olarak seçilmelidir.
- Taban malzemesi ve yapıştırıcının yorulma ömrü uygun seçilmesi gerekir.
- Taban malzemesi ve yapıştırıcı ile ölçüm yapılan cismin malzemesi kimyasal reaksiyonlara karşı uygun seçilmelidir.
- Gerinim sensörü telinin termal genleşme katsayısı ile ölçüm yapılan cismin termal genleşme katsayısı birbirine uygun seçilmelidir.
- Ölçüm şartlarına uyan en ucuz gerinim sensörü seçilmelidir.

Gerinim sensöründen beklenen özelliklerde şu şekilde sıralanabilir,

- Kalibrasyon sabiti sıcaklık ve zamanla değişmemelidir.
- Dinamik ve statik ölçümler yapılabilmelidir.
- Ekonomik olmalıdır.
- Gerinim sensörü cevabı lineer olmalıdır.
- Hassas ölçüm yapılabilmelidir.

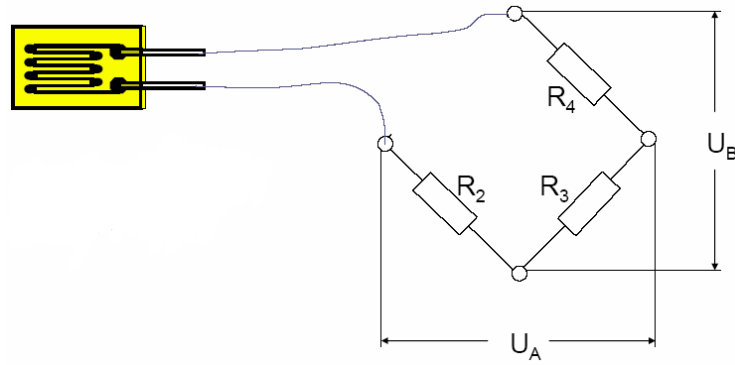
Yapılan piyasa araştırmasında *TOKYO SOKKI KENKYUJO* firmasının üretmekte olduğu gerinim sensörü tez kapsamında kullanılmak üzere alınmıştır. (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Tokyo Sokki Kenkyujo Strain Gauge

Gerinim sensörleri, 'wheatstone' köprüsü olarak adlandırılan elektrik devrelerine bağlanarak çalıştırılmaktadır. Çeyrek wheatstone köprüsü şekil 4.5 de görülmektedir.

Wheatstone köprüsü, elektriksel dirençleri karşılaştırmaya ya da ölçmeye yarayan elektrik devresi olarak tanımlanır. Dört direncin kare oluşturacak biçimde birbirine bağlanmasından oluşur. Karenin karşılıklı iki köşesi üretece, öteki iki köşe arasına da bir galvanometre (bütün ampermetre ve voltmetreler aslında birer galvanometredir) bağlanır. Galvanometreden akım geçmediğinde karşılıklı dirençlerin çarpımı birbirine eşit olacağından, bu yöntemle, üçü bilindiğinde, bilinmeyen dördüncü direncin değeri bulunabilir. Wheatstone köprüsü devresi, bilinmeyen bir direncin ve bunun zamanla değişiminin elde edilmesi için kullanılabilir. [48]



Şekil 4.5: Çeyrek wheatstone köprüsü

Tez kapsamında kullanılması için alınan Prosig R8020 analizörü kendi içerisinde wheatstone köprülerini barındırır. Bu nedenle bu analizör gerinim sensörü ölçümlerinde kullanılması için idealdir.

Tez kapsamında kullanılmak için,

- 1 kutu 20 adet 6mm yumuşak çelik için folyo strain gauge,
- 1 kutu 20 adet 6mm alüminyum strain gauge,
- 1 kutu 10 adet 3mm yumuşak çelik için folyo strain gauge

alınmıştır.

Alınan gerinim sensörülerin çamaşır makinasının neresine nasıl bağlanacağı ileride ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

4.3. Çamaşır Makinalarında Dengesizliğin ve Açısal Konumun Algılanması

4.3.1. Giriş

Bu kısımda, dengesizliğin algılanması ve açısal konumunun belirlenmesi için yapılan çalışmalar özetlenmektedir.

Daha nceki bölümlerde belirtildiği gibi, dengesiz rotorların dengelenmesi için kullanılan 2 yaklaşım vardır. Hassasiyet ve vektör diyagramı metotları olarak adlandırılan bu metotların ortak özelliği, deneme kütlesi diye tabir edilen ve ISO 1940 standardına göre belirlenen bir kütlenin sisteme eklenmesi ve dengeleme kütlesinin pozisyonunun ve miktarının bu deneme kütlesinin yardımı ile belirlenmesidir.

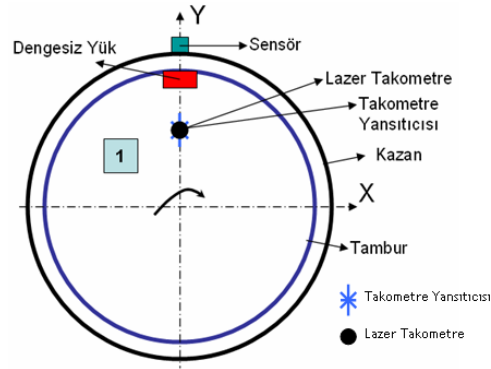
Çamaşır makinası uygulamasında, çamaşırların yıkanma işlemi tamamlandıktan sonra sıkma işlemine geçmeden hemen önce, dengesiz kütlenin pozisyonunun ve miktarının belirlenmesi amaçlanmaktadır ve bu işlemin çamaşırın tambur çeperine yapışma devri olan 80-120 devir/dakika arası belirli bir devir hızında gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Fakat yıkama esnasında veya sıkmadan hemen önce çamaşır makinası içerisine bir deneme kütlesi konulması şimdilik mümkün gözükmemektedir. Bu yüzden dengesizliğin pozisyonunun ve miktarının bulunması için farklı bir yaklaşıma ihtiyaç vardır.

Yapılması gereken bir diğer hususta, 1-2 Hz arası ölçüm yapabilecek titreşim sensörünün seçimidir. Hatırlanacağı gibi, 3. bölümde kullanılan ivmeölçerler bu frekans değerlerinde ölçüm yapamıyordu.

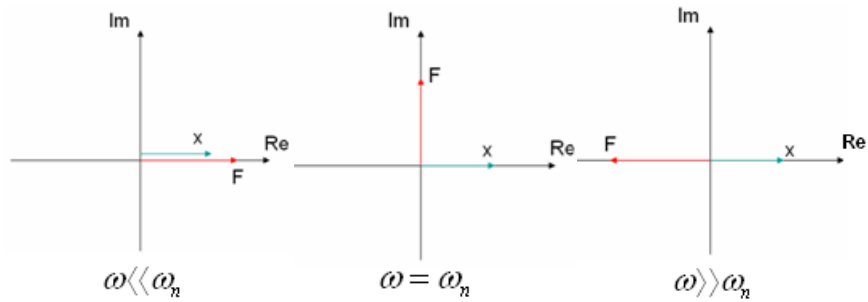
4.3.2. Dengesizlik Algılama Yönteminin Geliştirilmesi

Çamaşır makinalarında dengesizliğin konumunun nasıl algılanacağını daha iyi anlatmak amacıyla, şekil 4.6 'da çamaşır makinasını temsil eden bir çizim hazırlanmıştır. Buradaki büyük siyah çember çamaşır makinası kazanını, lacivert çember ise tamburunu temsil etmektedir. Kırmızı dikdörtgen dengesiz yükü, yeşil kare ise titreşim ölçen sensörü simgelemektedir. Mavi titreş yıldız kasnak üzerine yapıştırılmış takometre yansıtıcısını temsil etmektedir. Siyah daire ise, lazer takometreyi göstermektedir. 3. bölümde de belirtildiği gibi, yansıtıcı, takometre lazerinin önünden her geçişinde, takometre bir sinyal üretmektedir.

Şekil 4.6 da gösterilen sensörün bir deplasman ölçer olduğu düşünülürse ve tamburun dönüş frekansı çamaşır makinasının doğal frekansından yeterince küçük ise, dengesiz yük sebebiyle oluşacak merkez kaç kuvveti ile sensörden okunan deplasman verileri arasındaki faz farkının sıfıra yakın olması gerekir. Bu durumda saat 12 konumunda kazana yerleştirilen deplasman ölçer maksimum değerine ulaştığında, karşıdan bakıldığında dengesiz kütle de saat 12 konumunda olacaktır. Tamburun dönüş frekansı çamaşır makinasının doğal frekansına eşit olursa aradaki faz farkı 90 derece olacaktır. Bunun anlamı ise, dengesiz yük saat 3 konumundayken deplasman sensörünün alabileceği maksimum değere ulaşacağıdır. Tamburun dönüş frekansı çamaşır makinasının dönüş frekansından çok büyük olursa söz konusu faz farkı 180 derece olacaktır. Bunun anlamı, dengesiz yük saat 6 konumundayken deplasman sensörü alabileceği maksimum değere ulaşacaktır. Bu üç durum şekil 4.7 'de Nyquist çizimi ile gösterilmiştir.



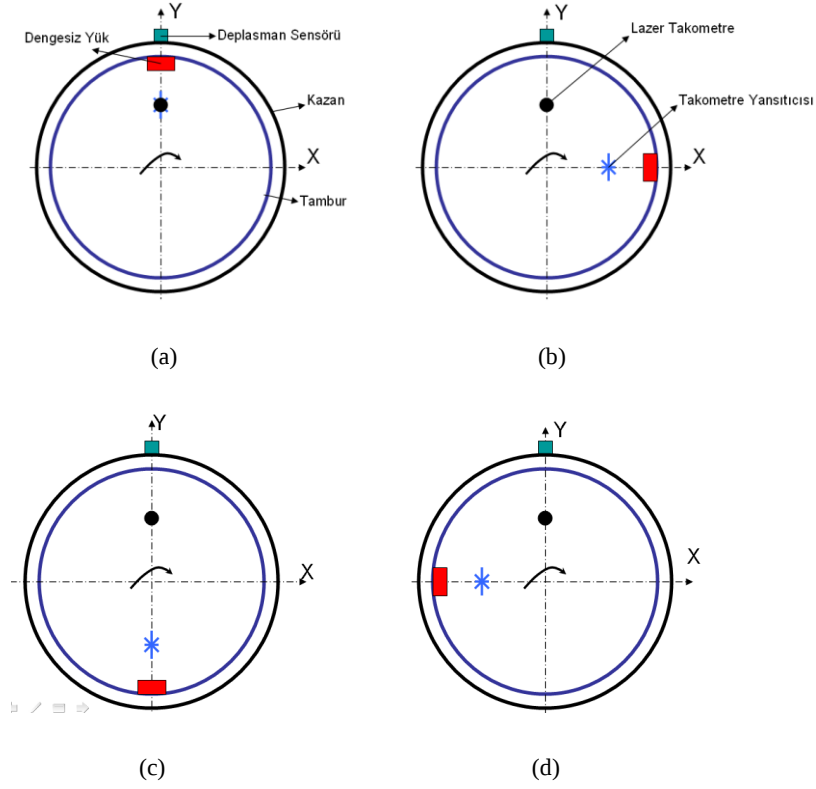
Şekil 4.6: Temsili çamaşır makinası ve dengesizliğin konum ve miktarının algılanması düzeni



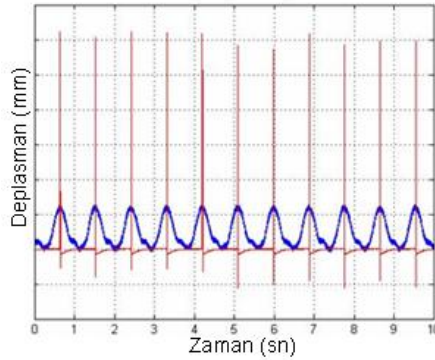
Şekil 4.7: Nyquist çizimi ile kuvvet ve deplasman arasındaki faz ilişkisinin gösterimi

Dengesizliğin konum ve miktarının algılanması işleminin 1-2 Hz arasında yapılması düşünülmektedir. Çamaşır makinasının doğal frekansının yaklaşık 3.5 Hz olduğu düşünülürse, bu dengesizlik algılama frekansının doğal frekanstan yeterince küçüktür. Bu sebeple deplasman sinyali ile, dengesiz yük sebebiyle oluşacak merkez kaç kuvveti arasında sıfır dereceye yakın faz farkı oluşacaktır.

Şekil 4.8 'de takometre yansıtıcısı ile dengesiz yük pozisyonu arasında sıfır derecelik fark olması durumu göz önüne alınmıştır. Dengesiz yük 1. pozisyondayken (Şekil 4.8 (a)), deplasman ile kuvvet arasındaki faz farkının sıfır olması sebebiyle, deplasman sensörün maksimum değeri aldığı anda takometre yansıtıcısı tako sensörünün önünden geçecek ve takometre bir sinyal verecektir. 2. pozisyona (Şekil 4.8 (b)) gelindiğinde deplasman sensörü çok küçük değerler verecek, 3. pozisyonda (Şekil 4.8 (c)) ise minimum negatif deplasman değerine ulaşacaktır. 4. Pozisyondan (Şekil 4.8 (d)) sonra tekrar deplasman değerleri artmaya başlayacak ve yeniden 1. pozisyona (Şekil 4.8 (a)) gelindiğinde maksimum değerini alacak ve aynı anda takometre bir sinyal daha verecektir. Bu durumda şekil 4.9 da verilen örnek de olduğu gibi, zamana göre değişen veriler toplanmış olacaktır. Burada kırmızı ile gösterilen veriler takometreye, mavi ile gösterilen veriler ise deplasman sensörüne aittir. Bu durumda, dengesiz yükün pozisyonunun verilmediği varsayılarak, şekil 4.9 'daki verilere bakılsaydı, direk olarak şu söylenebilecekti: *'Takometre yansıtıcısı ile dengesiz yükün pozisyonu arasında 0° lik fark vardır. '*



Şekil 4.8: Tako sinyali ile sensör sinyalinin arasında 0 derece faz farkı olması durumu

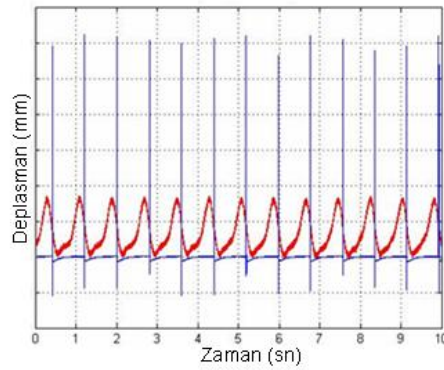


Şekil 4.9: Dengesiz yük ile takometre yansıtıcısı arasında 0 derecelik faz farkı olması halinde elde edilecek sinyaller

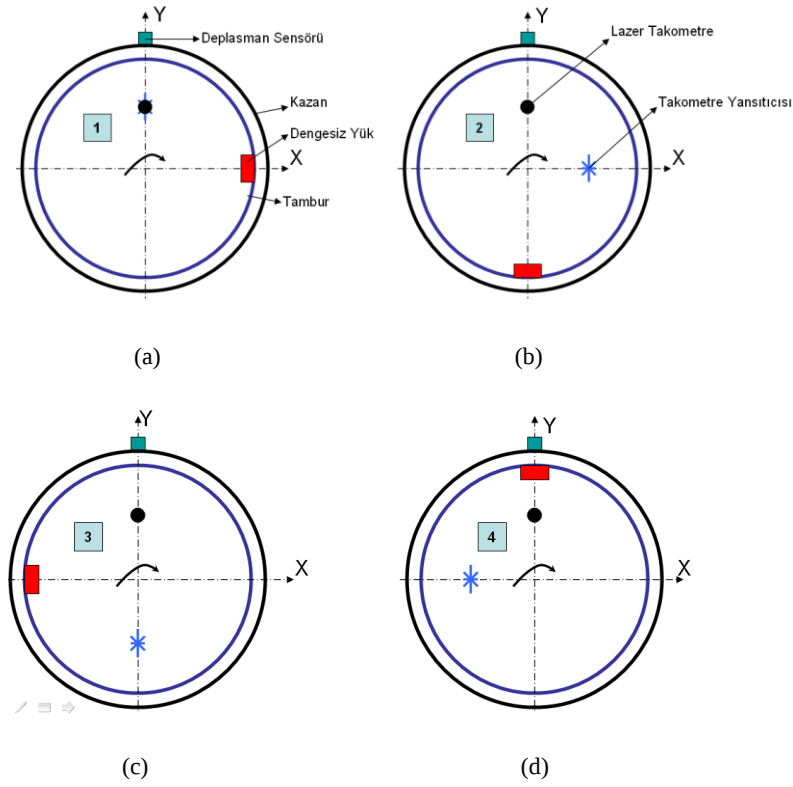
Deplasman ve takometre sensörünün konumu yukarıda açıklandığı gibi olduğu bir durumda dengesiz yükün pozisyonunun bilinmediği bir makinadan, şekil 4.10 daki verilerin toplandığını varsayalım. Takometre sinyaline göre dengesiz yükün pozisyonu tespit edilmeye çalışılırsa, yansıtıcı lazerin önünden geçtikten 270 derece (iki takometre sinyali arası 360 derece olduğu için deplasman sensörü 270 derecede maksimum değerine ulaşmıştır) sonra deplasman sensöründen maksimum deplasman verisi okunmuştur ve bundan 90 derece sonra yansıtıcı bir daha lazer önünden

geçmiştir. Bunun anlamı ise, yansıtıcının pozisyonuna göre dengesiz yükün, dönme yönünün tersine göre 270 derece konumunda, dönme yönüne göre ise 90 derece ileride olduğudur.

Bu olayın daha iyi anlaşılması için şekil 4.11 'e bakılabilir. Dengesiz yük, takometre yansıtıcısının, dönme yönünde 90 derece ilerisine yerleştirilmiştir. 1. pozisyondan (Şekil 4.11 (a)) 2. pozisyona (Şekil 4.11 (b)) geçildiğinde deplasman değeri alabileceği minimum (negatif) değeri almıştır. 3. Pozisyondan (Şekil 4.11 (c)) sonra deplasman değerleri artmaya başlamış ve 4. pozisyona (Şekil 4.11 (d)) geldiğinde maksimum değerini almıştır. Dengesiz yük 1. pozisyondan 4. pozisyona gelene kadar 270 derecelik bir açı taramıştır. Bunun anlamı ise dönme yönünün tersine göre takometre yansıtıcısıyla dengesiz yükün pozisyonu arasında 270 derecelik bir açı olduğudur. Şu da söylenebilecektir: *'Dengesiz yük, takometre yansıtıcısına göre dönme yönünde 90° öndedir. '*



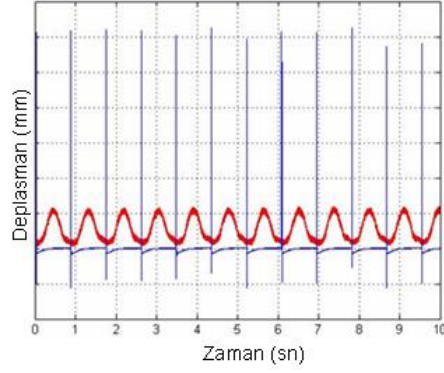
Şekil 4.10: Dengesiz yük ile takometre yansıtıcısı arasında, dönme yönünde, 90 derecelik faz farkı olması halinde elde edilecek sinyaller



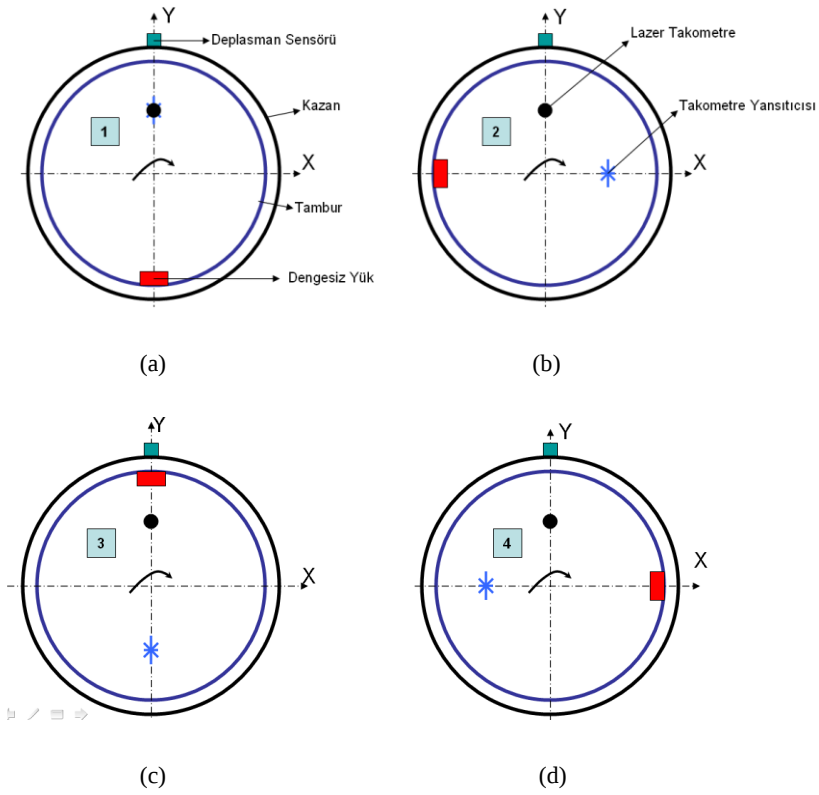
Şekil 4.11: Tako sinyali ile sensör sinyalinin arasında 90 derece faz farkı olması durumu

Dengesiz yükün pozisyonunun yine bilinmediği bir çamaşır makinasından, şekil 4.12 ‘deki veriler toplanmış olsun. Takometre yansıtıcısına göre dengesiz yükün pozisyonu tespit edilmeye çalışılırsa, yansıtıcı takometre önünden geçtikten 180 derece sonra deplasman sensöründen maksimum deplasman verisi okunmuştur ve bundan 180 derece sonra yansıtıcı bir daha lazer önünden geçmiştir. Bunun anlamı, yansıtıcının pozisyonuna göre dengesiz yükün, dönme yönünün tersine göre 180 derece konumunda, dönme yönüne göre yine 180 derece ileride olduğudur.

Bu olayın daha iyi anlaşılması için şekil 4.13 ‘e bakılmalıdır. Dengesiz yük, takometre yansıtıcısının, dönme yönünde, 180 derece ilerisine konumlandırılmıştır. 1. pozisyonda (Şekil 4.13 (a)) deplasman değeri alabileceği minimum(negatif) değeri almıştır. 2. Pozisyondan (Şekil 4.13 (b)) sonra deplasman değerleri artmaya başlamış ve 3. pozisyona (Şekil 4.13 (c)) geldiğinde maksimum değerini almıştır. Dengesiz yük 1. pozisyondan 3. pozisyona gelene kadar 180 derecelik bir açı taramıştır. Bunun anlamı ise dönme yönünün tersine göre takometre yansıtıcısıyla dengesiz yükün pozisyonu arasında 180 derecelik bir açı olduğudur. Bir başka deyişle: ‘*Dengesiz yük, takometre yansıtıcısına göre dönme yönünde 180° öndedir.*’



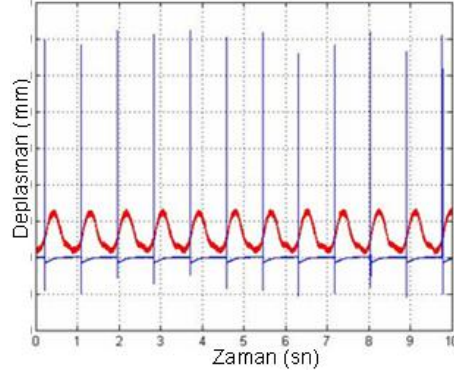
Şekil 4.12: Dengesiz yük ile takometre yansıtıcısı arasında,dönme yönünde, 180 derecelik faz farkı olması halinde elde edilecek sinyaller



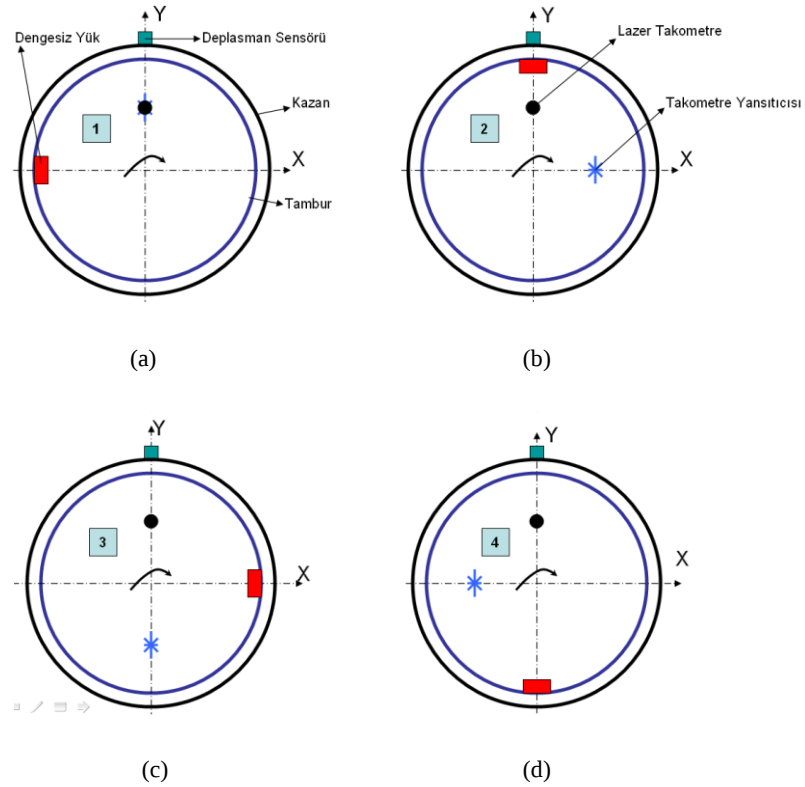
Şekil 4.13: Tako sinyali ile sensör sinyalinin arasında 180 derece faz farkı olması durumu

Dengesiz yükün pozisyonunun yine bilinmediği bir çamaşır makinasından, şekil 4.14 deki verilerin toplanmış olduğu düşünölsün. Takometre sinyaline göre dengesiz yükün pozisyonu tespit edilmeye çalışılırsa, yansıtıcı takometrenin önünden geçtikten 90 derece sonra deplasman sensöründen maksimum deplasman verisi

okunmuştur ve bundan 270 derece sonra yansıtıcı bir daha lazer önünden geçmiştir. Bunun anlamı ise, yansıtıcının pozisyonuna göre dengesiz yükün, dönme yönünün tersine göre 90 derece konumunda, dönme yönüne göre ise 270 derece ileride olduğudur. Bu durum şekil 4.15 'de görsel hale getirilmiştir. Görüldüğü gibi: *'Dengesiz yük, takometre yansıtıcısına göre dönme yönünde 270° öndedir. '*



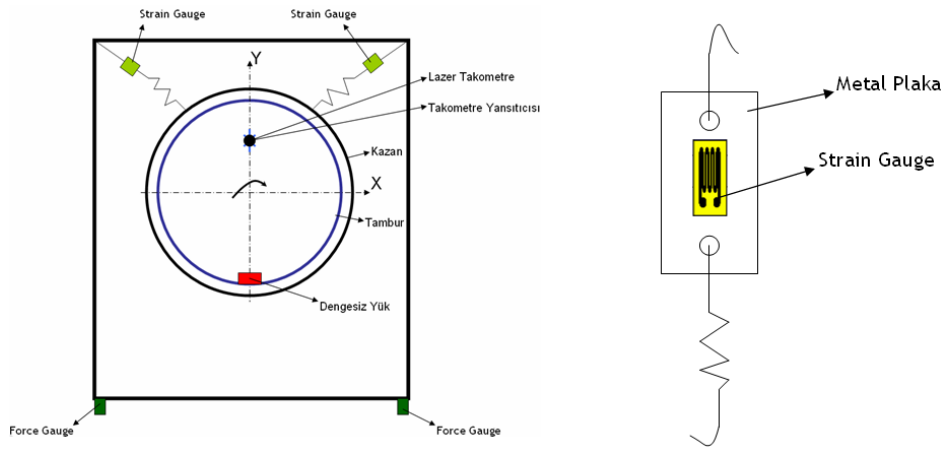
Şekil 4.14: Dengesiz yük ile takometre yansıtıcısı arasında, dönme yönünde, 270 derecelik faz farkı olması halinde elde edilecek sinyaller



Şekil 4.15: Tako sinyali ile sensör sinyalinin arasında 270 derece faz farkı olması durumu

Yukarıda açıklandığı gibi çamaşır makinalarında deneme kütlesi kullanılmadan, dengesiz yükün pozisyonunun bulunabileceği açık bir şekilde ortaya konmuştur. Fakat bu yöntemin kullanılabilmesi için düşük frekanslarda titreşim algılayabilen bir sensöre ihtiyaç vardır. İlk aşamada titreşim algılayıcı olarak kuvvet sensörü ve gerinim sensörü (strain gauge) denenmiştir.

Şekil 4.16 da görüldüğü gibi, çamaşır makinası ayaklarına 4 adet kuvvet sensörü bağlanmıştır. Ayrıca askı yayı ile gövde bağlantı noktası arasına bir metal plaka yerleştirilmesi ve bu plakanın üzerine gerinim sensörü yerleştirilmesine karar verilmiştir.

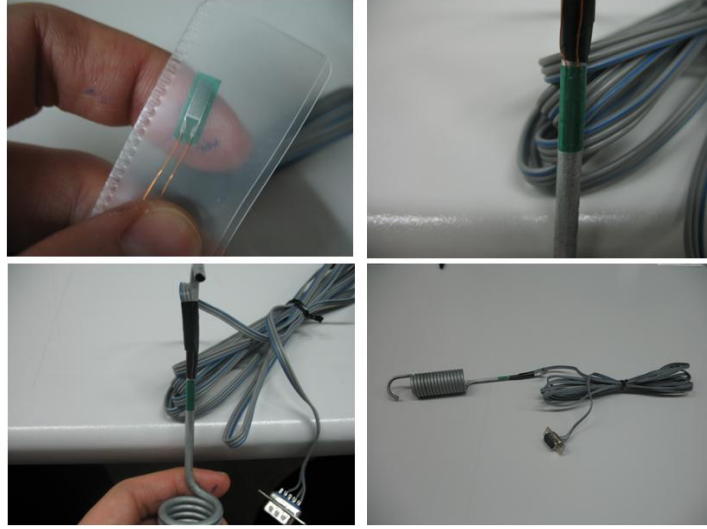


Şekil 4.16: Kuvvet sensörü ve gerinim sensörü in çamaşır makinasına uygulanması

İlk önce, gerinim sensörünün metal plaka üzerine yapıştırılması düşünülmüş olmasına rağmen, gerinim sensörünün direk olarak askı yayına yapıştırılması durumunda da dengesizliğin algılanabilirliğinin incelenmesine karar verilmiştir. Bunun için bir prototip ortaya konmuştur.

4.3.3. Dengesizliğin Algılanması ve Konumunun Belirlenmesi İçin Prototip Geliştirilmesi

Gerinim sensörü askı yayı üzerine uygun olarak yapıştırılmıştır. Yapıştırılan gerinim sensörü ve askı yayı üzerine yapıştırılmış hali, şekil 4.17’da gösterilmektedir.



Şekil 4.17: Gerinim sensörü ve askı yayı üzerine yapıştırılmış şekli

Hazırlanan bu prototip, dengesizliğin algılanması amacı için kullanılabileceği gibi, statik halde çamaşır makinası içerisindeki çamaşırın ağırlığını da belirlemek için kullanılabilir.

Gerinim sensörüne uygulanan gerilme, yaya etkiyen çekme kuvveti ve sensör konumunda oluşan momentten kaynaklanacaktır ve bu gerilme aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{I} x \quad (4.1)$$

Burada F kuvveti (N), A alanı (m^2), M momenti (Nm), I alan atalet momentini (m^4), x moment kolunu (m) ve σ ise gerilmeyi (N / m^2) ifade etmektedir.

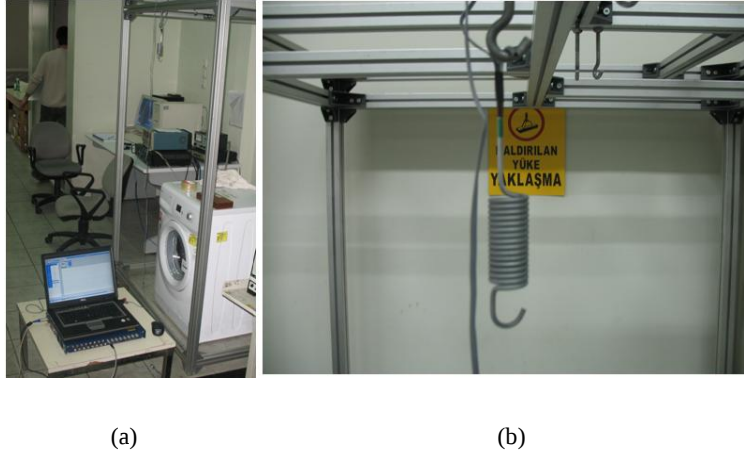
Yine σ ,

$$\sigma = E \varepsilon \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada E malzemenin elastisite modülünü (N / m^2), ε gerinimi (strain, birim uzama) göstermektedir [49]. Gerinimin ölçülmesi yayda oluşan

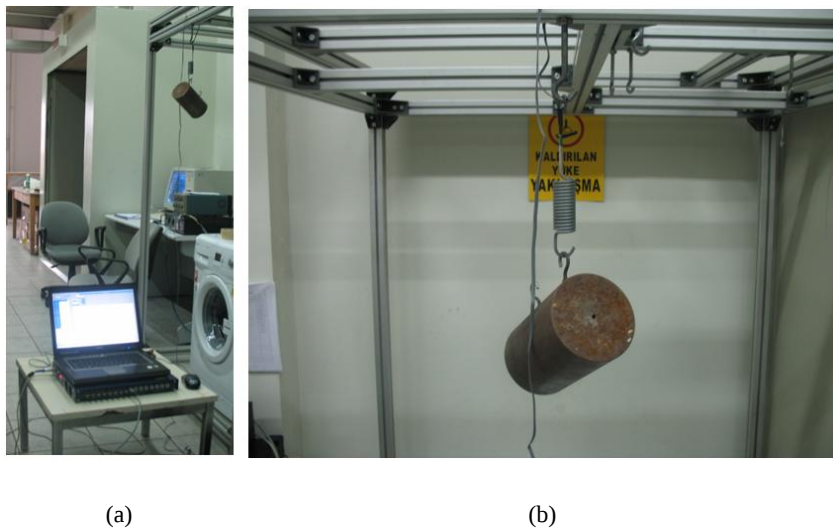
gerilmelerin, dolayısı ile yayda oluşan kuvvetlerin belirlenmesini sağlamaktadır. Gerinim sensörünün yay üzerinde kullanılması durumuna raporun bundan sonraki kısmında ‘yay sensörü’ denecektir.

Hazırlanan prototipin denenmesi için bir test düzeneği kurulmuştur. Test düzeneği şekil 4.18 (a) da gösterilmektedir. Test düzeneği, yay sensörü (şekil 4.18 (b)), yay sensöründen verilerin toplanması için kullanılacak analizör ve toplanan verileri saklamak ve işlemek için kullanılan bilgisayardan oluşmaktadır.

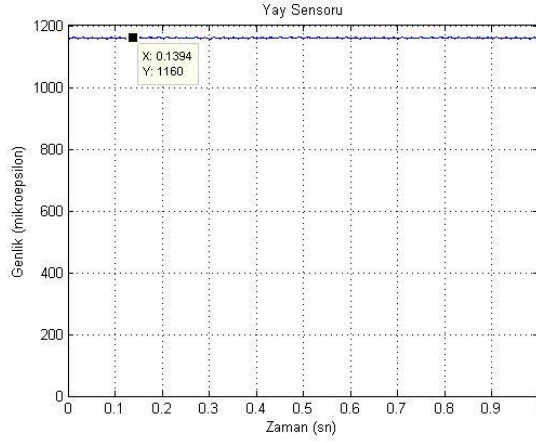


Şekil 4.18: (a) Prototipin denenmesi için hazırlanan test düzeneği, (b) prototip askı yayı

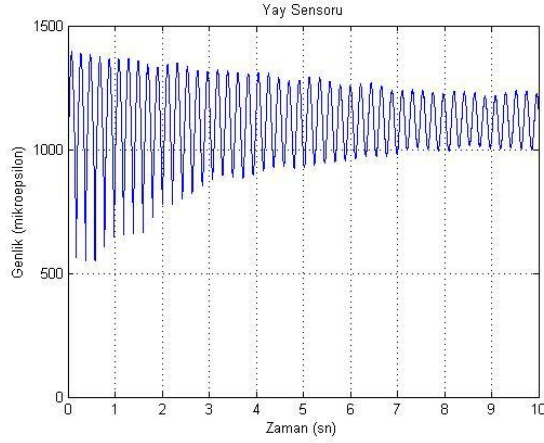
Şekil 4.19 (a) ve (b) ‘de görüldüğü gibi 10 kg lık bir kütle yaya asılırsa, statik durumda şekil 4.20 ‘deki, dinamik durumda ise şekil 4.21 ‘deki sonuçlar elde edilmiştir. Burada okunan değerler *microε* mertebesindedir.



Şekil 4.19: (a) Prototipin denenmesi için hazırlanan test düzeneği, (b) Yay sensörüne 10 kg ‘lık yükün uygulanması



Şekil 4.20: Yay sensöründen elde edilen statik veriler



Şekil 4.21: Yay sensöründen elde edilen dinamik veriler

Yukarıdaki sonuçlar, prototipi oluşturulan yay sensöründen veriler toplanabileceğini ve dengesizliğin algılanabileceğini göstermektedir. Yay sensörü, bu haliyle, çamaşır makinası üzerine uygulanmaya hazırdır.

4.3.4. Geliştirilen Yöntemin Makina Üzerinde Denenmesi ve Doğrulanması

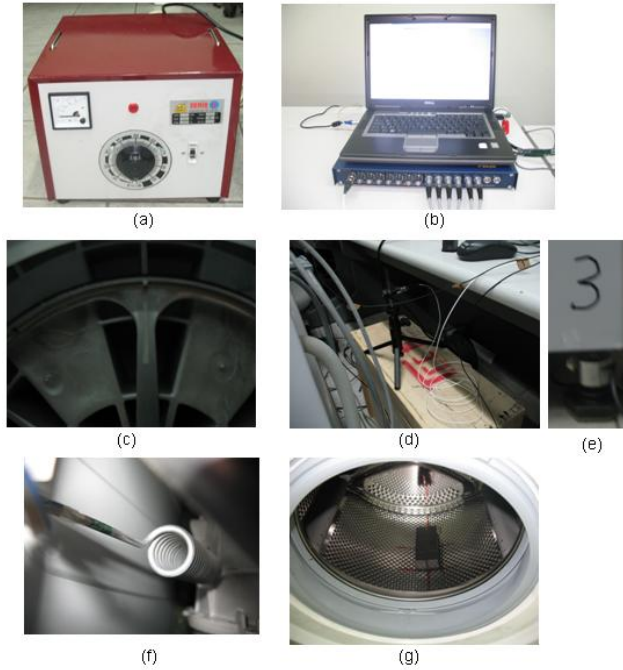
4.3.4.1. Giriş

Geliştirilen yöntemin çamaşır makinası üzerinde denenmesi ve doğrulanması için şekil 4.22 'de görülen deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu deney düzeneğinin elemanları şekil 4.23 'de gösterilmektedir. Burada (a) varyak, makinanın elektrik motorunu sabit devirde çevrilmesini ve tamburun sabit devirde dönmesini, (b) bilgisayar-analizör, yay sensörü ve takometreden gelen verilerin toplanması ve

bunların işlenmesini, (c) takometre yansıtıcısı (d) lazer takometrenin önünden her geçtiğinde takometrenin sinyal üretmesini sağlayacaktır. (d) Lazer takometre, (e) 2 adet yay sensörü ve (f) 4 adet kuvvet sensörü ile beraber dengesizliğin algılanması için kullanılacaktır. 2 Adet yay sensörü, askı yaylarının bulunduğu pozisyonlara, 4 adet kuvvet sensörü makina ayaklarının bulunduğu pozisyonlara yerleştirilmiştir. (g) Dengesiz yük, yay sensörlerinin bulunduğu düzleme yerleştirilmiştir.



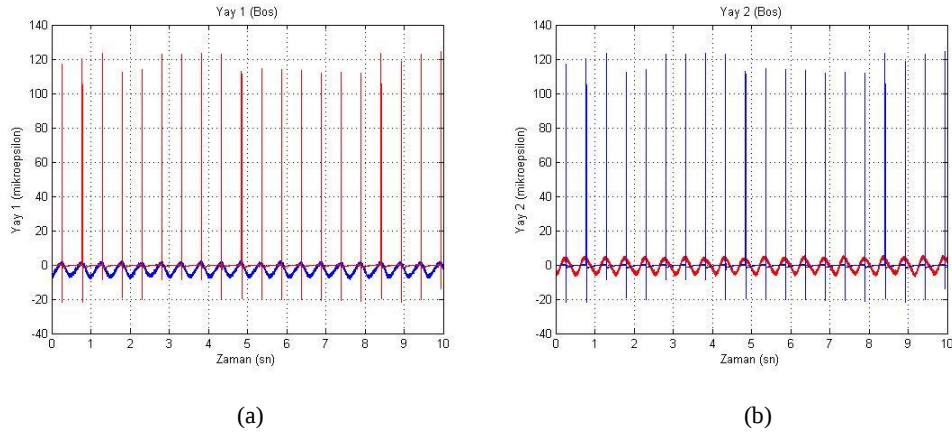
Şekil 4.22: Deney Düzeneği



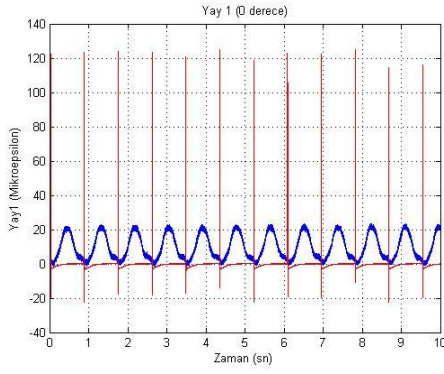
Şekil 4.23: Deney düzeneği elemanları, (a) varyak, (b) bilgisayar-analizör, (c) takometre yansıtıcısı, (d) lazer takometre, (e) kuvvet sensörü, (f) yay sensörü, (d) dengesiz yük ve pozisyonu

4.3.4.2. Yay Sensörü Kullanılarak Dengesizliğin Algılanması ve Konumunun Belirlenmesi

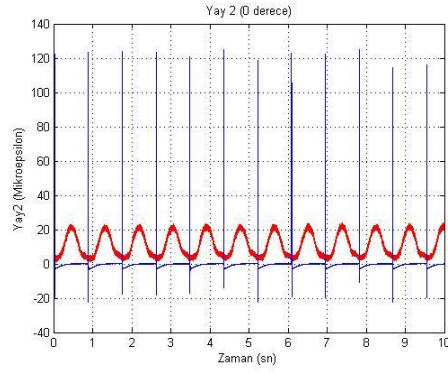
Bu kısımda, yay sensörleri kullanılarak dengesiz yük sebebiyle zaman sinyalindeki değişimler incelenecektir. Bu amaçla, çamaşır makinasına dengesiz yük bağlanmadan ve makinaya 300g dengesiz yük bağlanmışken, tambur 72 devir/dakika (1.2Hz) çevrilerek, ölçümler alınmıştır. 300g'lık dengesiz yük sırayla 0, 90, 180 ve 270 dereceye (karşıdan bakıldığında saat 12, 3, 6 ve 9 pozisyonları) bağlanmıştır. Şekil 4.24 de çamaşır makinası boşken 1. (a) ve 2. (b) yaydan alınan ölçümler görülmektedir. Şekil 4.25, 4.26, 4.27 ve 4.28 'de, dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında saat yönünde sırasıyla 0°, 90°, 180°, 270° olması durumunda elde edilen sinyaller gösterilmektedir.



Şekil 4.24: Çamaşır makinasına dengesiz yük bağlanmamışken yay sensörlerinden alınan ölçüm, (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler

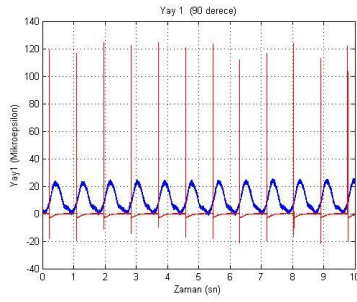


(a)

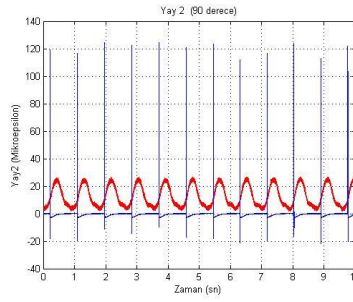


(b)

Şekil 4.25: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 0° olması durumunda elde edilen sinyal, (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler

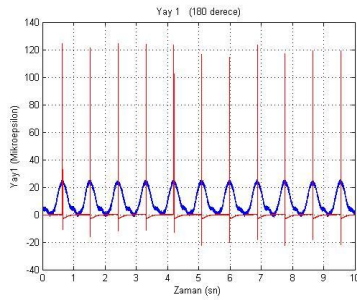


(a)

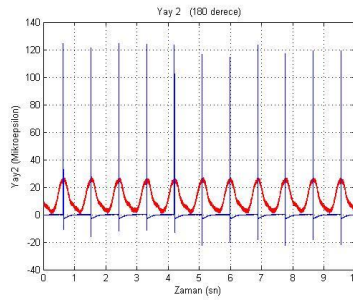


(b)

Şekil 4.26: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 90° olması durumunda elde edilen sinyal, (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler

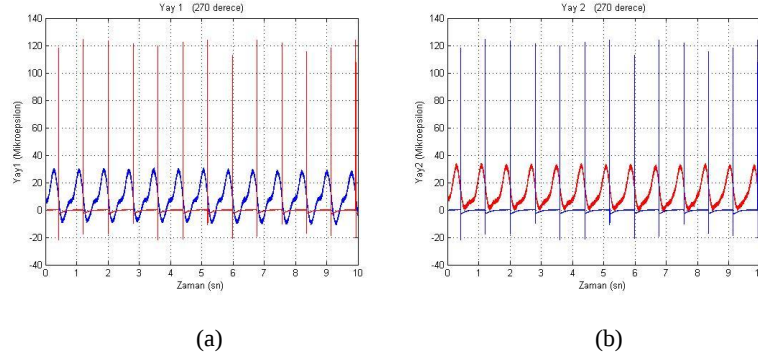


(a)



(b)

Şekil 4.27: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 180° olması durumunda elde edilen sinyal, (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler



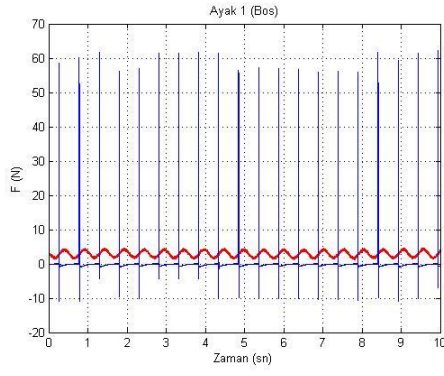
Şekil 4.28: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 270° olması durumunda elde edilen sinyal, (a) 1. yaydan toplanan veriler, (b) 2. yaydan toplanan veriler

Şekiller incelendiğinde dengesiz yükten dolayı, yay sensöründen alınan sinyallerin genlikleri artmakta ve farklı pozisyonlarda farklı faz açıları görülmektedir. Bu sonuçlara bakılarak şu sonuca varılabilir; tek düzlemde, *tek bir yay sensörü* kullanılarak dengesizlik düşük frekanslarda algılanabilir.

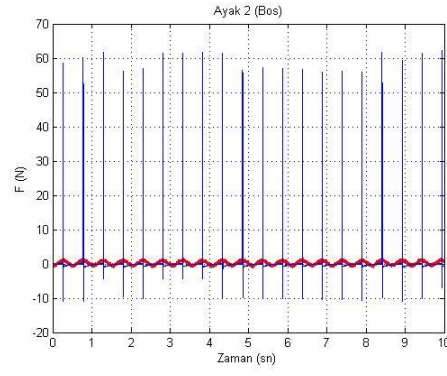
4.3.4.3. Kuvvet Sensörü Kullanılarak Dengesizliğin Algılanması ve Konumunun Belirlenmesi

Bu kısımda, kuvvet sensörleri kullanılarak dengesiz yük sebebiyle zaman sinyalindeki değişimler incelenmiştir. Çamaşır makinası ayaklarına yerleştirilen kuvvet sensörlerine numaralar verilmiştir. Çamaşır makinasına kapak tarafından bakıldığında, ön sol ayak 1, arka sol ayak 2, arka sağ ayak 3, ön sağ ayak 4 numara ile numaralandırılmıştır.

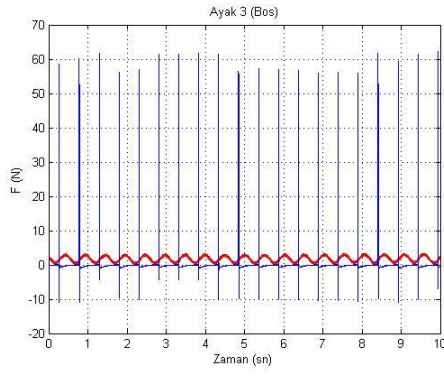
Yine burada da, çamaşır makinasına dengesiz yük bağlanmamışken ve makinaya 300g dengesiz yük bağlanmışken, tambur 72 devir/dakika çevrilerek, ölçümler alınmıştır. 300g'lık dengesiz yük sırayla 0° , 90° , 180° ve 270° dereceye bağlanmıştır. Şekil 4.29 (a), (b), (c) ve (d) de, çamaşır makinası boşken sırasıyla 1., 2., 3. ve 4. ayaktan alınan ölçümler görülmektedir. Şekil 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 (a), (b), (c) ve (d) de, dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında saat yönünde sırasıyla 0° , 90° , 180° , 270° olması durumunda elde edilen sinyaller gösterilmektedir. Bu ölçümlerde, çamaşır makinasının statik ağırlığından kaynaklanan kuvvetler ölçülen sinyallerden çıkarılmış, dinamik kuvvetler dikkate alınmıştır.



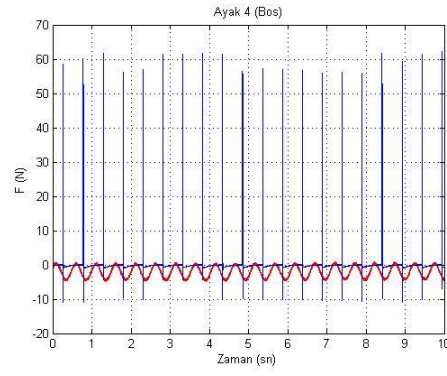
(a)



(b)

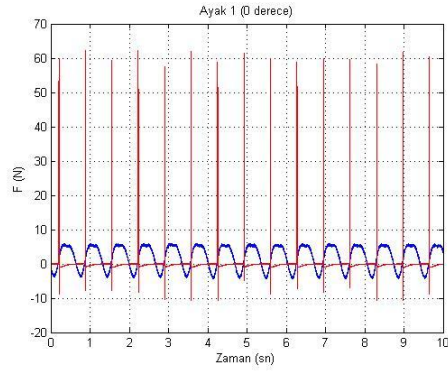


(c)

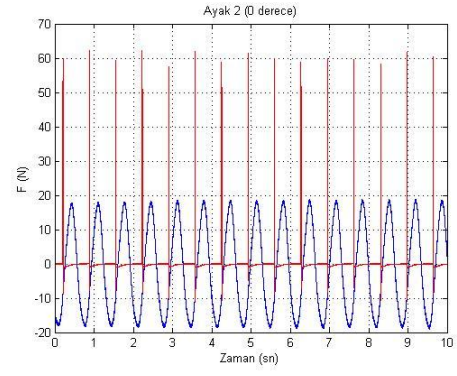


(d)

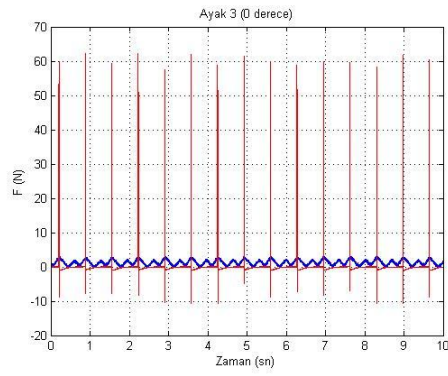
Şekil 4.29: Çamaşır makinasına dengesiz yük bağlanmamışken kuvvet sensörlerinden alınan ölçüm, (a) 1. ayaktan toplanan veriler , (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler



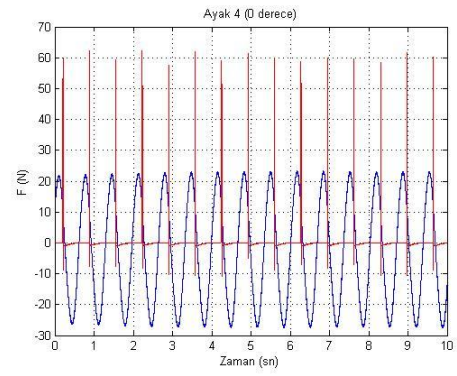
(a)



(b)

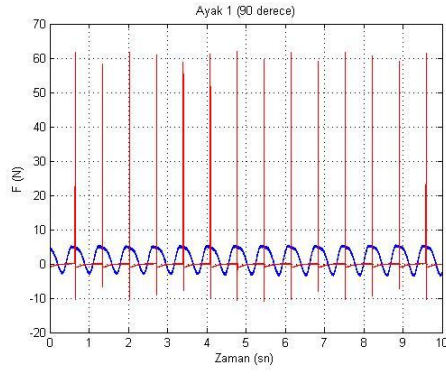


(c)

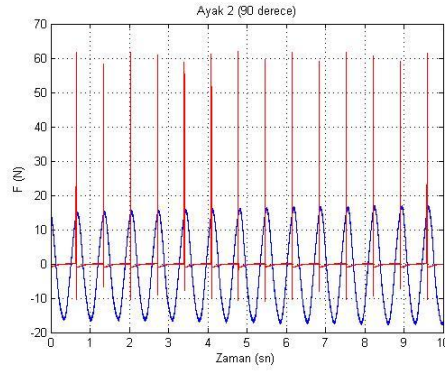


(d)

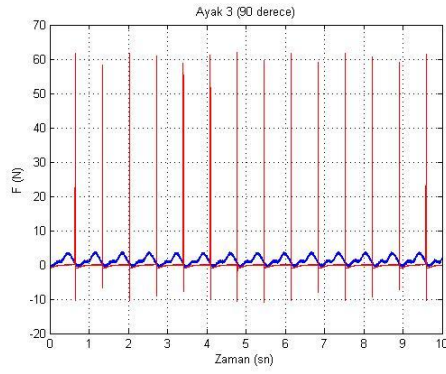
Şekil 4.30: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında 0° olması durumunda elde edilen sinyal (a) 1. ayaktan toplanan veriler , (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler



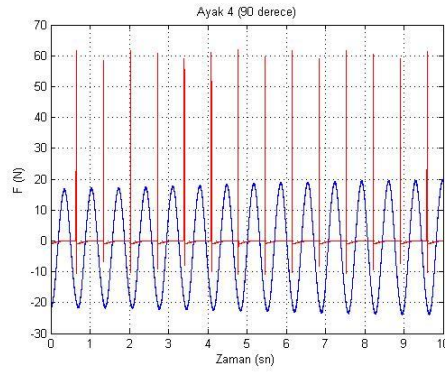
(a)



(b)

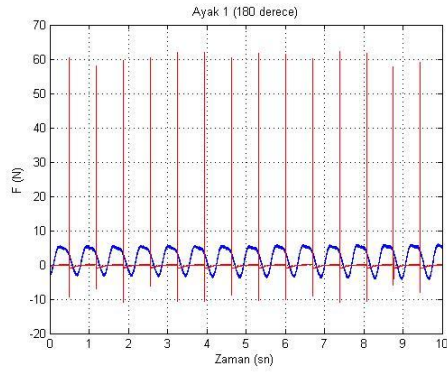


(c)

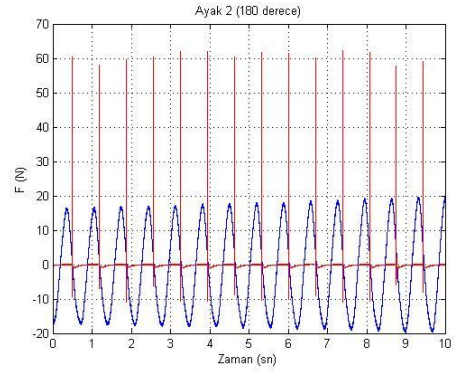


(d)

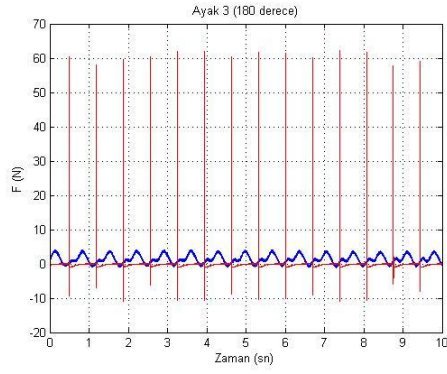
Şekil 4.31: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 90° olması durumunda elde edilen sinyal (a) 1. ayaktan toplanan veriler , (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler



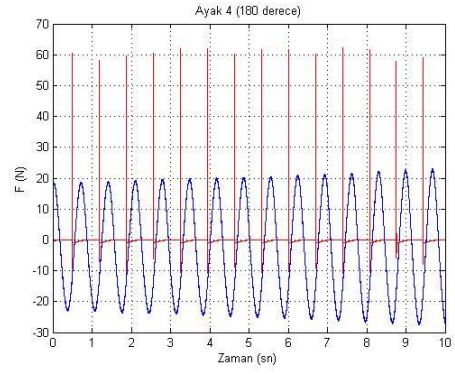
(a)



(b)

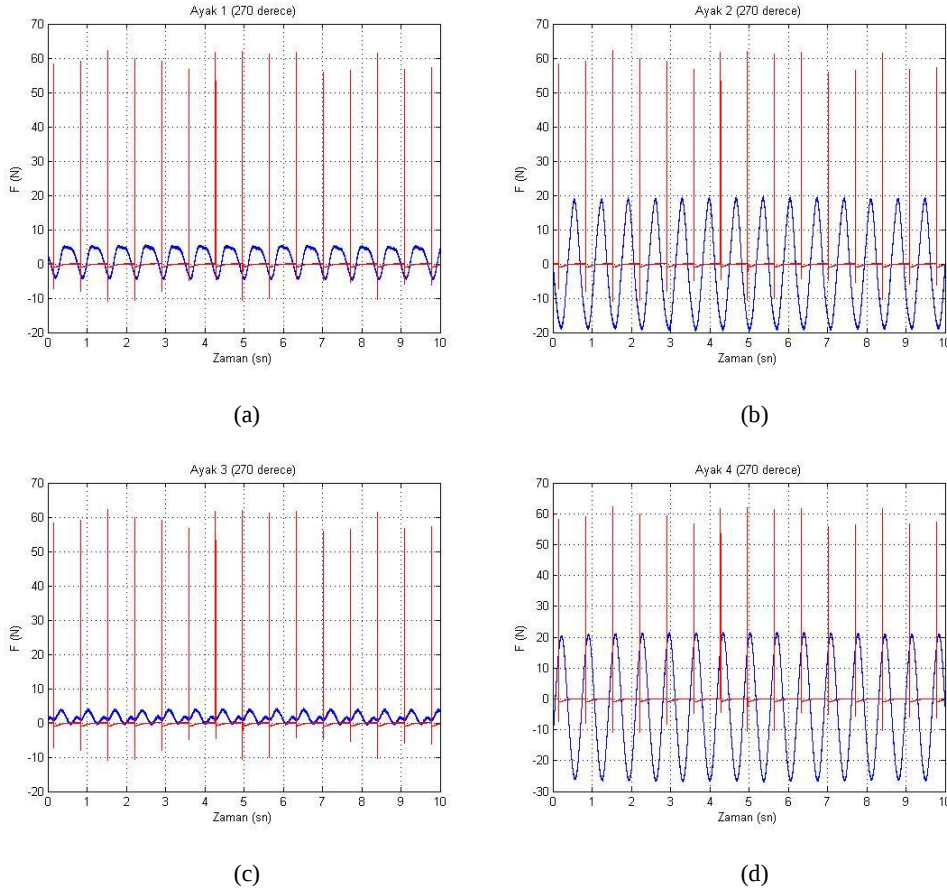


(c)



(d)

Şekil 4.32: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 180° olması durumunda elde edilen sinyal (a) 1. ayaktan toplanan veriler , (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler



Şekil 4.33: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 270° olması durumunda elde edilen sinyal (a) 1. ayaktan toplanan veriler , (b) 2. ayaktan toplanan veriler, (c) 3. ayaktan toplanan veriler, (d) 4. ayaktan toplanan veriler

Yukarıda sunulan sonuçlar incelendiğinde dengesiz yükten dolayı, kuvvet sensöründen alınan sinyallerin genlikleri artmakta ve farklı pozisyonlarda farklı faz farkları görülmektedir. Bu sonuçlara bakılarak, tek düzlemde, *tek bir kuvvet sensörü* kullanılarak dengesizliğin düşük frekanslarda algılanabileceği sonucu çıkarılabilir. Ancak, tez kapsamında ayaktan alınan sinyal ile dengesiz yükün algılamasının yapılması düşünülmemektedir. Bunun sebepleri şu şekilde açıklanabilir,

- Çamaşır makinasının yere çok iyi yerleştirilmesi ve sensörün bağlı olduğu ayakta herhangi bir boşluk oluşmaması gerekmektedir. Bu ölçümler yapılmadan önce, çamaşır makinası ayaklarının, su terazisi kullanarak, düzgün bir şekilde yere oturtulmasına rağmen 3. ayağa tüm ölçümlerde diğer ayaklara nazaran az kuvvet etki etmiştir.

- Kuvvet sensörü, eksenel kuvvetlere çok dayanıklı olmasına rağmen kesme kuvvetine fazla dayanıklı değildir. Çamaşır makinasının itilmesi/çekilmesi durumu sensörde bozukluklar yaratabilir. Buda kullanıcıların dilediği gibi çamaşır makinasının yerini değiştirememesine sebep olabilecek ve belki de bunun için servis ihtiyacı doğacaktır.
- Bu tür kuvvet sensörleri çamaşır makinalarında kullanılamayacak kadar pahalıdır.

Bu sebeplerden dolayı çamaşır makinaları için ayaktan alınan sinyal ile dengesizliğin algılanması avantajlı gözükmemektedir. Ancak, çok ekonomik sensörlerin geliştirilmesi olasılığı dikkate alınarak bu yaklaşım olası bir alternatif olarak algılanmalıdır.

4.3.4.4. Deplasman Sensörü Kullanılarak Dengesizliğin Algılanması ve Konumunun Belirlenmesi

Bu kısımda, deplasman sensörleri kullanılarak dengesiz yük sebebiyle zaman sinyalindeki değişimler ortaya konmuştur.

Deplasman sensörünün kolayca bağlanabilmesi için, yan paneli kesilmiş bir çamaşır makinası kullanılmıştır. Deplasman sensörü ile ölçüm alınması için hazırlanan düzenek şekil 4.34 da görülmektedir. Bu ölçüm düzeneğinde de diğer düzenekte olduğu gibi, deplasman sensörü haricinde, varyak, takometre, bilgisayar ve analizör bulunmaktadır.



(a)

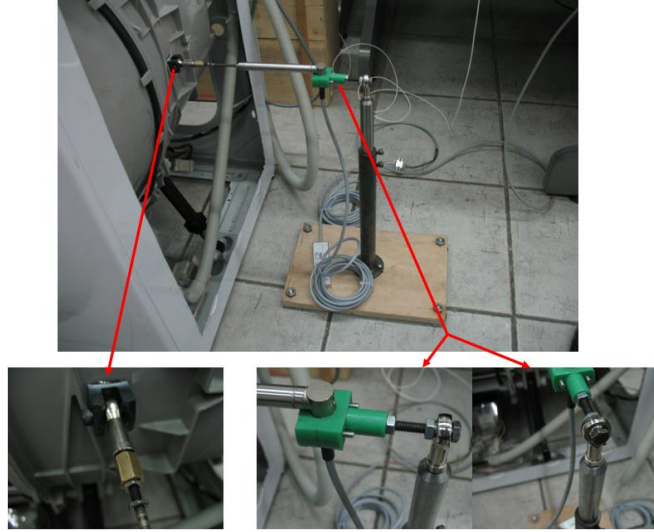


(b)

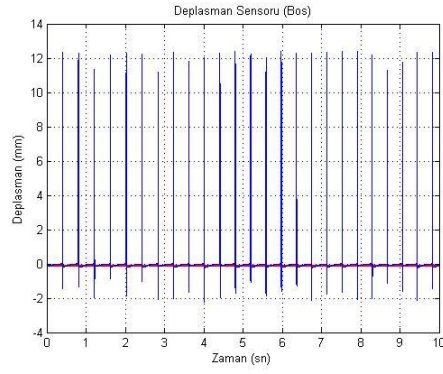
Şekil 4.34: (a) Deney düzeneği, (b) deplasman sensörü

Deplasman sensörünün bağlantı noktası askı yayı düzleminde ve kazan dönme eksenine dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deplasman ölçerin hareketli ucu bir küresel mafsallı vasıtası ile kazana, gövdesi de küresel mafsallı bir yatağa bağlanmıştır. Kullanılan küresel mafsallar sayesinde, deplasman ölçer dönme hareketlerinden etkilenmemekte ve sadece sensörün eksenine doğrultusundaki deplasman verilerini algılamaktadır. (Şekil 4.35)

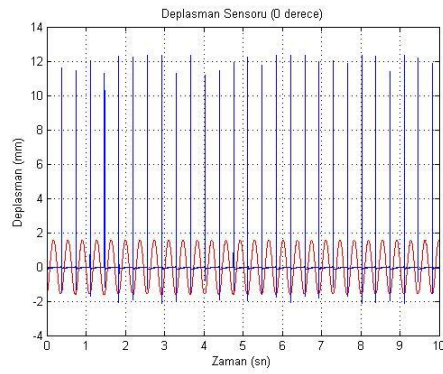
Burada da, çamaşır makinasında dengesiz yük bağlanmamışken ve makinaya 300g dengesiz yük bağlanmışken, tambur 120 devir/dakika (2Hz) hızda çevrilerek ölçümler alınmıştır. 300g'lık dengesiz yük sırayla 0, 90, 180 ve 270 dereceye bağlanmıştır. Şekil 4.36 de çamaşır makinası boşken deplasman sensöründen alınan ölçümler görülmektedir. Şekil 4.37, 4.38, 4.39, ve 4.40 sırasıyla, dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında saat yönünde 0°, 90°, 180°, 270° olması durumunda elde edilen sinyalleri göstermektedir.



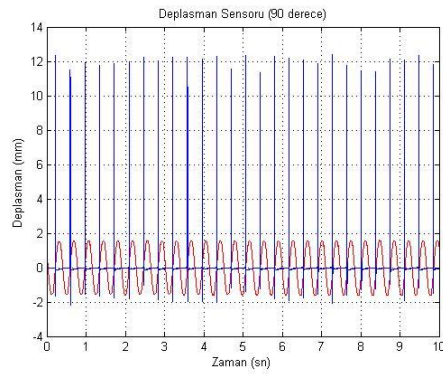
Şekil 4.35: Deplasman sensörünün bağlantı şekli



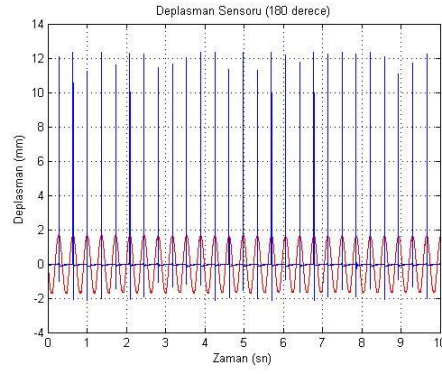
Şekil 4.36: Çamaşır makinasında dengesiz yük yokken deplasman sensörlerinden alınan ölçüm



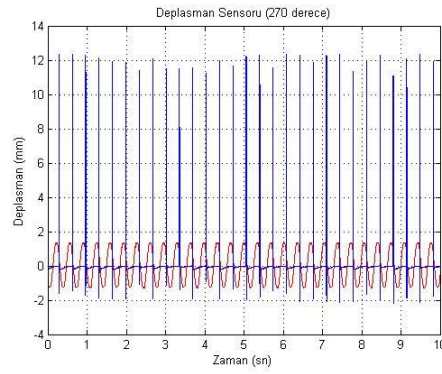
Şekil 4.37: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 0° olması durumunda elde edilen sinyal



Şekil 4.38: Dengesiz yük pozisyon ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 90° olması durumunda elde edilen sinyal



Şekil 4.39: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 180° olması durumunda elde edilen sinyal



Şekil 4.40: Dengesiz yük pozisyonu ile takometre yansıtıcısının arasında, dönme yönünde, 270° olması durumunda elde edilen sinyal

Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde dengesiz yükten dolayı, deplasman sensöründen alınan sinyallerin genlikleri artmakta ve farklı pozisyonlarda farklı faz açıları görülmektedir. Bu sonuçlar bakılarak şu sonuca varılabilir; tek düzlemde, *tek bir deplasman sensörü* kullanılarak dengesizlik düşük frekanslarda algılanabilir.

5. ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA DENGESİZLİĞİN KONUM VE MİKTARININ BELİRLENMESİ

5.1. Giriş

Çamaşır makinalarında dengesizliğin algılanması ve açısal konumunun belirlenmesi, '*Çamaşır makinalarında dengesizliğin algılanması*' başlıklı 3. bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve bu işlemler deplasman ölçer, kuvvet ölçer ve gerinim ölçer sensörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu bölümde, '*Çamaşır makinalarında dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi*' kapsamında yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Dengesizliğin konum ve miktarının belirlenebilmesi için geliştirilen metotlar açıklanmış dengesizliğin açısal konumunun belirlenmesi için kullanılacak olan 'açısal konum algılama sensörü' tanıtılmış ve mevcut lazer takometre ile bu sensörden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

5.2. Dengesizliğin Belirlenmesi ve Alternatiflerin Kıyaslanması

5.2.1. Giriş

Bu kısımda, çamaşır makinalarında dengesiz kütlenin miktarının belirlenebilmesi için kullanılabilecek olan metotlar açıklanmıştır.

Dengesizliğin miktarının çamaşır makinası kazanı üzerindeki bir düzlemde titreşim ölçümleri yapılarak belirlenmesi için üç farklı metot geliştirilmiş ve incelenmiştir. Bu metotlara , '*Sabit Frekans Metodu*', '*Sabit Genlik Metodu*' ve '*Teorik Model Metodu*' adı verilmiştir. Bu metotlar bu kısımda ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.

Tek düzlemde dengesizliğin belirlenmesi, genelde dengesiz kütlenin çamaşır makinası tamburunun ortasında veya ortaya yakın olduğu durumlarda etkin olarak kullanılabilir. Bu tip algılama, eğer dengesiz kütle tamburun ön veya arka kısmında ise doğru olmayan sonuçlar verebilir. Bu sebeple yine bu kısımda birden çok

düzlemde ölçüm alınarak dengesizliğin tambur derinliğinde hangi konumda olduğunu belirleyebilmek için uygulanabilecek yaklaşımlar da önerilecektir.

5.2.2. Tek Düzlemde Ölçüm Alınarak Dengesizliğin Belirlenmesi

5.2.2.1. Sabit Frekans Metodu ile Dengesizliğin Miktarının Belirlenmesi

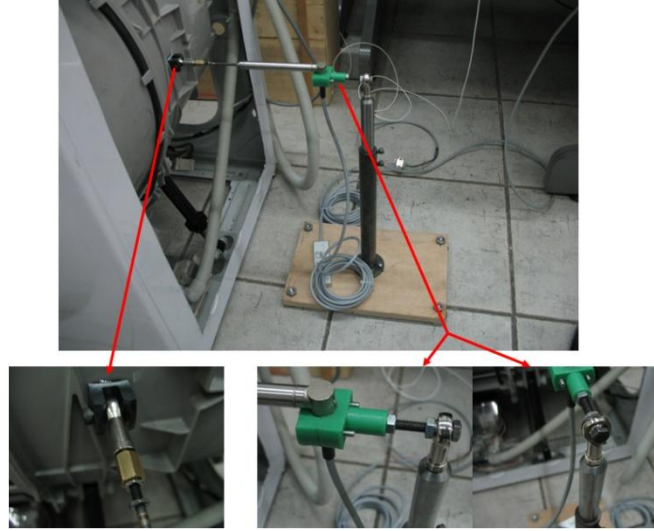
Sabit frekans metodu, adından da anlaşılacağı üzere, çamaşır makşnasının sabit bir devir hızında, makinasının içerisindeki dengesiz kütle miktarına göre değişen titreşim genlikleri kullanılarak dengesizliğin miktarının bulunması prensibine dayanmaktadır.

Bu metodun uygulaması için şekil 5.1 de görülen ölçüm düzeneği hazırlanmıştır. Deplasman sensörünün kolayca bağlanabilmesi için, yan paneli kesilmiş bir çamaşır makinası kullanılmıştır. Bu sensörün mafsallı bağlantısı şekil 5.2 de gösterilmektedir. Bu ölçüm düzeneğinde, deplasman sensörü, yay sensörü, varyak, takometre, bilgisayar ve analizör bulunmaktadır.



(a) (b)

Şekil 5.1: (a) Deney düzeneği, (b) deplasman sensörü



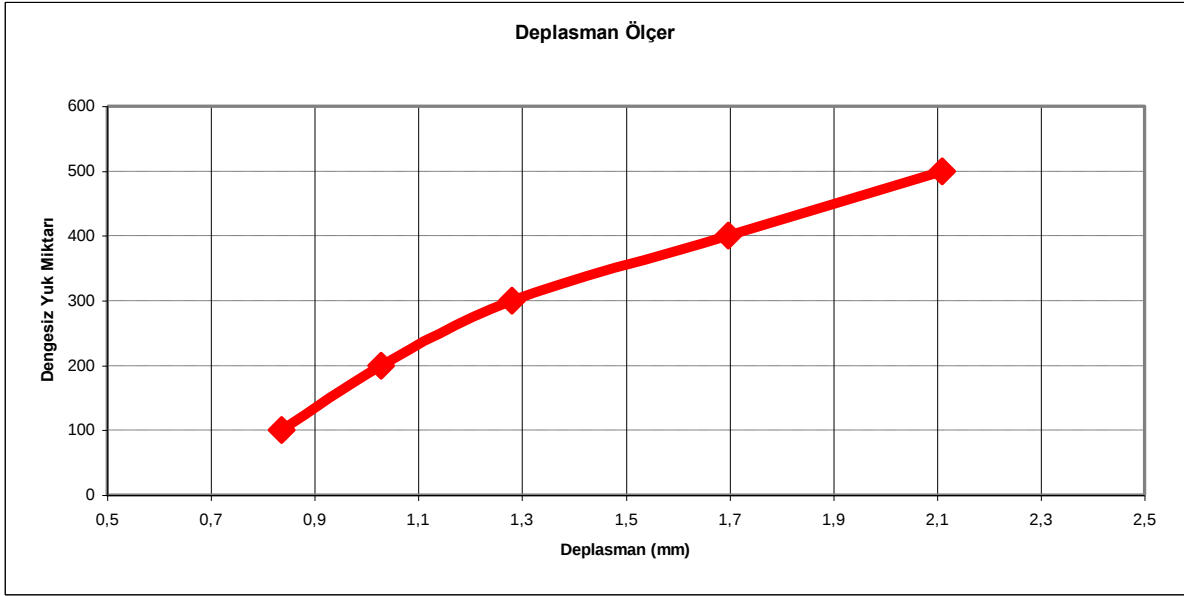
Şekil 5.2: Deplasman sensörünün bağlantı şekli

Bu metod, örnek bir çamaşır makinası için titreşim genliği – dengesiz kütle grafiklerinin oluşturulmasını gerektirmektedir. Bir başka deyişle, laboratuvar ortamında ilgilenilen makina için bir veritabanı oluşturulacaktır. Daha sonra makinanın titreşim genlikleri ölçülecek ve söz konusu titreşimleri yaratan dengesizlik miktarı bu veritabanından yararlanılarak belirlenecektir.

Bu amaçla, tez kapsamında alınan deplasman ölçerler kullanılarak Şekil 5.3 de verilen örnek bir sonuç elde edilmiştir. Bu eğrilerin oluşturulması için, çamaşır makinası tamburu sabit 240 dev/dak hızında çalıştırılmıştır. Bu frekans değeri, çamaşır makinasının kritik doğal frekansının bir miktar üzerindedir (söz konusu doğal frekans, tahrik grubunun rijid kütle olarak düzlem içerisindeki hareketine karşılık gelen modun frekansıdır). Çamaşır makinası içerisinde az miktarda dengesiz kütle olduğu durumlarda da hassas titreşim ölçümler yapabilmek için yukarıda belirtilen devirde ölçümler yapılmıştır. Gerekli hız kontrolü ve uygun sensörler kullanıldığı takdirde istenilen hızlarda bu ölçümleri yapmak mümkündür.

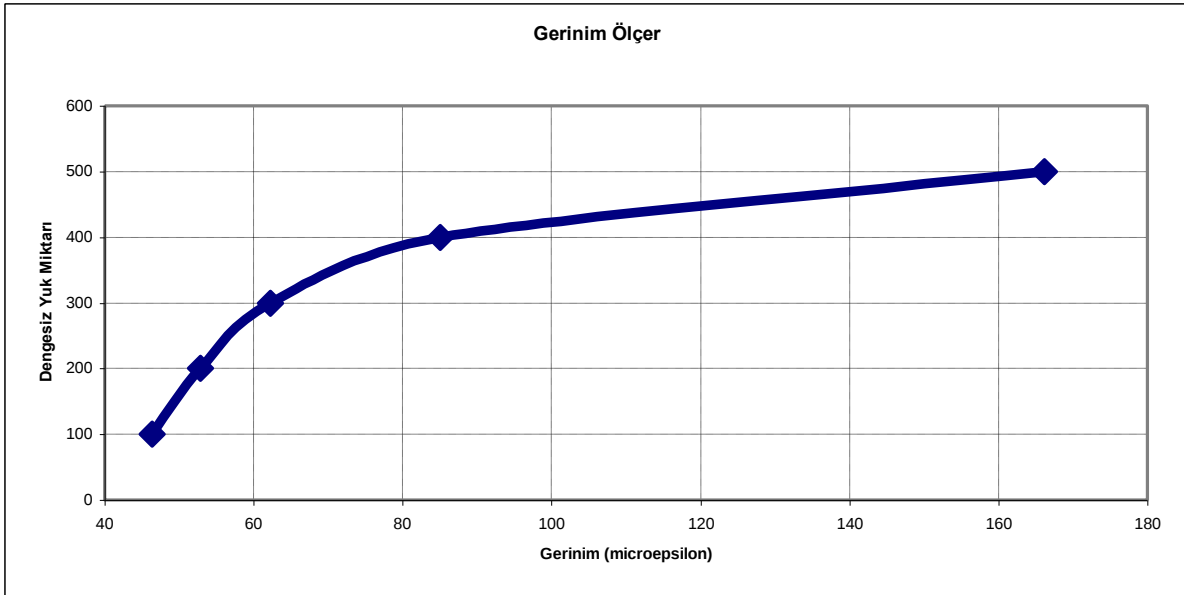
Çamaşır makinasına sırasıyla 100, 200, 300, 400 ve 500 g lık kütleler makinanın askı yayı düzlemine ve tambur üzerine bağlanmıştır. Yukarıda belirtilen frekans değerinde, bu dengesiz kütleler altında deplasman ölçerler tarafından algılanan deplasman genlik değerleri kaydedilmiştir. Bu deplasman genlikleri ilgili dengesiz

kütle miktarları ile ilişkilendirilerek Şekil 5.3 deki grafik oluşturulmuştur. Bu grafiğin hassasiyeti, dengesiz kütle miktarı aralıkları sıklaştırılarak arttırılabilir.



Şekil 5.3: Deplasman ölçer kullanılarak elde edilen dengesiz kütle – deplasman grafiği

Benzer bir sonuç, yukarıda belirtilen şekilde, Şekil 5.4 de de yay sensörü (gerinim ölçer) kullanılarak oluşturulmuştur. Görüldüğü gibi dengesiz kütle miktarı ile titreşim genliği arasında lineer olmayan bir ilişki söz konusudur.



Şekil 5.4: Yay sensörü kullanılarak oluşturulan dengesiz kütle – gerinim eğrisi

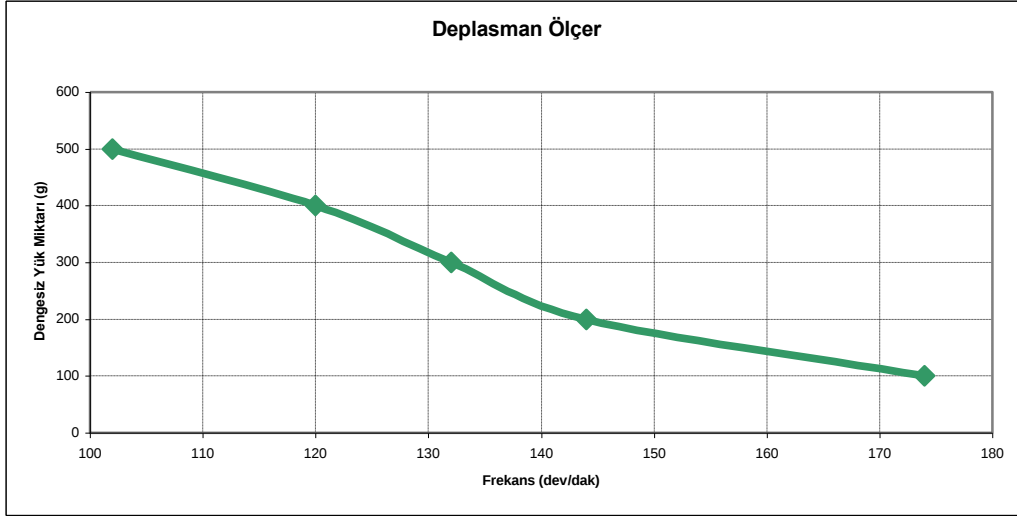
Yukarıdaki ölçümlerin yapıldığı frekans değeri, çamaşır makinasının ilk kritik doğal frekansının üzerinde olduğundan, deplasman sinyali ile dengesiz kütleden kaynaklanan kuvvet sinyali arasında 180° lik faz farkı bulunmaktadır. Eğer dengesizliğin konum ve miktarının bulunmasında Şekil 5.3 deki eğri kullanılacak ise, bu frekanstaki faz bilgisi, 4. bölümde de belirtildiği gibi, dengesizliğin pozisyonunun bulunması için önem arz etmektedir.

5.2.2.2. Sabit Genlik Metodu ile Dengesizliğin Miktarının Belirlenmesi

Bu tez kapsamında geliştirilen ve burada açıklanan metot, belli bir titreşim genliğine, makinanın hangi devir hızında ulaştığı bilgisini kullanarak dengesizliğin miktarının belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu metodun uygulanması için de Şekil 5.1 deki ölçüm düzeneği kullanılmıştır.

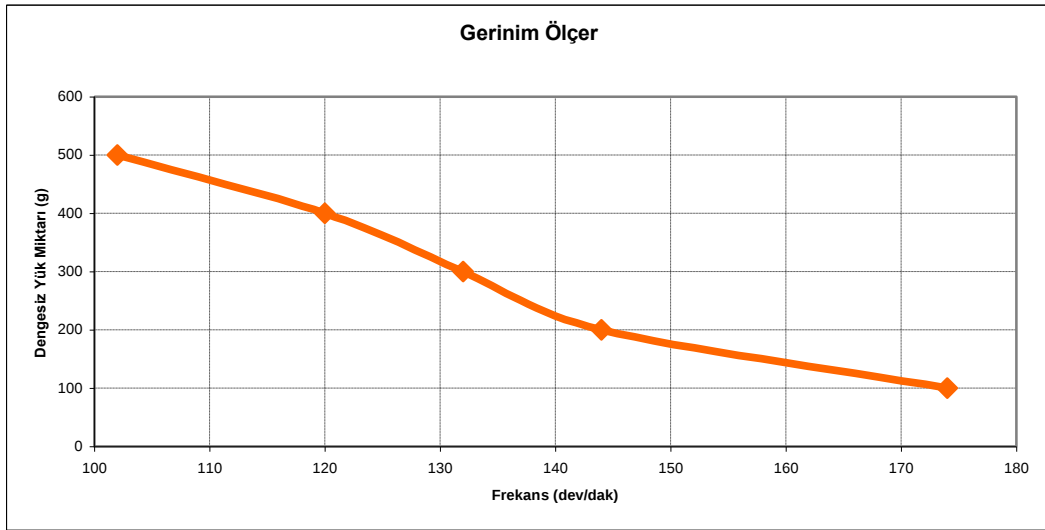
Bu metodun uygulanması için öncelikle çamaşır makinalarında dengesizlik miktarının hangi titreşim seviyesinde belirlenmesi gerektiğine karar verilmesi gerekmektedir. Bu genlik, çamaşır makinası için sorun oluşturmeyen uygun bir titreşim seviyesi olabilir. Buradaki örnek çalışmada söz konusu salınım değeri $\pm 0,5\text{mm}$, tepeden tepeye ise 1mm olarak kabul edilmiştir. Makinanın dinamik davranışı gereği, değişken dengesizlik miktarına göre (100, 200, 300, 400 ve 500g) bu genliğin farklı devir hızlarında oluşması gerekir. Örnek olarak 100g için 174 dev/dak da oluşan $\pm 0,5\text{mm}$ lik genlik, 200g için 144 dev/dak da oluşmuştur. *Bu durumda, belirli bir genliği sağlayacak devir hızı değeri izlenerek ve bir veri tabanı oluşturularak, kuru sürtünmeli amortisör kullanılması durumunda da dengesizliğin miktarını hesaplamak mümkündür.* Bu metot farklı amortisör kullanılması (örnek: çift etkili amortisör) durumunda da farklı veritabanları hazırlanarak kullanılabilir.

Şekil 5.5 te deplasman ölçer kullanılarak ve kazanda $\pm 0,5\text{mm}$ deplasman oluşması durumunda elde edilmiş dengesiz kütle – frekans eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 5.5: Deplasman ölçer kullanılarak +/- 0,5mm deplasman oluşturulan dengesiz kütle – frekans eğrisi

Şekil 5.6 da yay sensörü (gerinim ölçer) kullanılarak ve çamaşır makinasına önden bakıldığında sol askı yayında $30 \mu\epsilon$ gerinim (strain) oluşturularak elde edilmiş dengesiz kütle – frekans eğrisi gösterilmektedir.



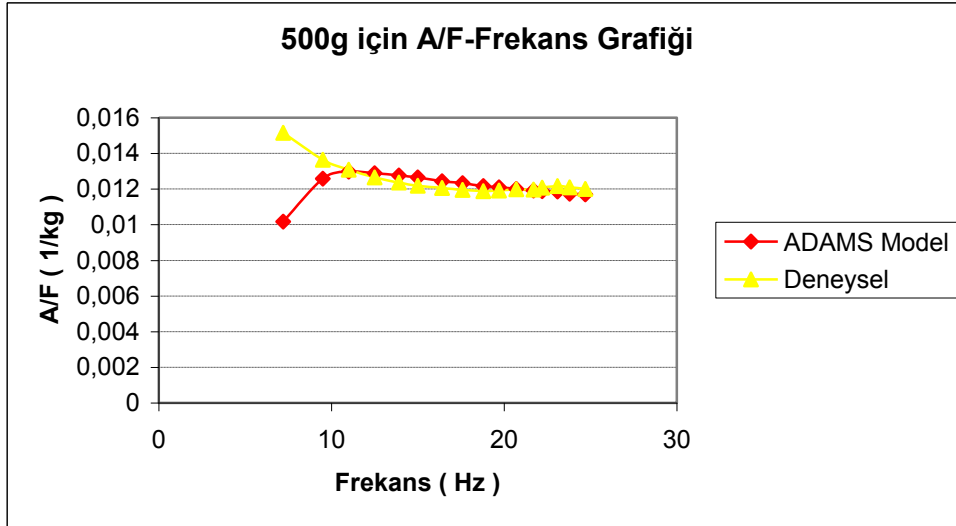
Şekil 5.6: Gerinim ölçer kullanılarak oluşturulan dengesiz kütle – frekans eğrisi

5.2.2.3. Teorik Model Kullanılarak Dengesizliğin Miktarının Belirlenmesi

Hatırlanacağı üzere, bu tezin 3. bölümünde ‘Rotor Modeli Geliştirilmesi’ çalışmalarına yer verilmişti. Bu kapsamda, çamaşır makinası için bir modelin ortaya konulması ve bu modeli kullanarak dengesiz kütleler nedeni ile sistemde oluşacak titreşimleri kabul edilebilir seviyede tahmin edebilmek amaçlanmıştır. Bu kapsamda ADAMS programı kullanılarak bir teorik model (şekil 2.48) ve çamaşır makinası toplu parametre modeli (şekil 3.67, 3.68 ve 3.69) elde edilmişti ve bu modeller kullanılarak titreşim seviyesine bağlı olarak dengesizlik miktarının düşük frekanslarda da başarılı bir şekilde belirlenebilmesi, eşdeğer lineer parametrelerin ilgilenilen frekansda doğru bir şekilde belirlenebilmesine bağlı olduğu sonucuna varılmıştı. *Bu çalışma , teorik modeller düşük frekanslarda deneysel veriler doğrultusunda henüz doğrulanamamıştır. Düşük frekanslarda da yeterince hassas bir modelin kurulabilmesi, özellikle körük ve amortisörlerin lineer olmayan davranışlarının modellenmesi ve deneysel veriler doğrultusunda güncellenmesi olarak belirtilmişti.*

Aşağıda yüksek frekanslarda dengesizliğin doğru bir şekilde nasıl hesaplanabileceği özetlenmiştir. Güvenilir teorik modellerin düşük frekanslarda da mevcut olması durumunda benzer yöntem izlenebilir.

Şekil 5.7 ‘de 500g dengesiz kütle durumunda deneysel verilerin ve ADAMS modelinin, karşılaştırmalı olarak, A/F(ivme/kuvvet) – Frekans (Hz) grafiği gösterilmektedir. Bu grafik, artan tambur devir hızına göre değişen titreşim genliğinin her seferinde yine devir hızına göre değişen merkez kaç kuvvetine oranı bulunarak elde edilmiştir. Belirtildiği gibi modelde kullanılan parametreler 10 Hz üzerindeki frekanslar için geçerlidir ve bu durum düşük frekanslarda teorik ve deneysel sonuçların ayrışmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.7: 500g için ivme/kuvvet – frekans grafiği

Şekil 5.7 de sunulan sonuçların nasıl elde edildiği denklem 5.1 ve 5.2 ile açıklanabilir.

$$F_k = mr\omega_k^2 \quad (5.1)$$

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F_k} \quad (5.2)$$

Burada, ω_k tambur devir hızını, m dengesiz kütle miktarını (Şekil 5.7 için bu 500g dır ve sabittir), r tambur yarıçapını, F_k dengesiz kütle sebebiyle oluşan merkez kaç kuvvetini, A_k ise frekansa göre değişen titreşim genliğini ivme cinsinden göstermektedir. Bu formüllerdeki değişkenler, tambur devir hızı ω_k ve buna bağlı olarak değişen, dengesiz kütle sebebiyle oluşan merkez kaç kuvveti F_k ve titreşim genliği A_k dır.

ADAMS modelinin istenilen bir frekans değerindeki sönüm ve direngenlik değerlerinin doğru olarak modellendiği düşünülürse, değişik dengesiz kütle miktarları içinde A/F(ivme/kuvvet) değerleri bu sabit frekans değerinde hesaplanabilir.. Hesaplanan Frekans Tepki Fonksiyonunun, A/F,belirlenen sabit bir frekansa lineer bir sistem için sabit olması beklenir. Bu noktadan hareketle şu

söylenebilir, bir ω_1 değeri ve değişken dengesiz kütleler için bir çok α_k değeri bu model kullanılarak çok hassas bir şekilde hesaplanabilir. Dengesiz kütlenin bilinmediği bir durumda, titreşim genliği A_1 ölçüldüğü takdirde bu A_1 değerini sağlayan α_1 değeri önceden hesaplandığı için formül 5.3 ve 5.4 kullanılarak dengesizliğin miktarı bulunabilir. Bir başka deyişle, eğer belli bir frekans için α değeri önceden biliniyorsa, titreşim genliği A ölçülerek merkezkaç kuvveti ve bu kuvveti yaratacak dengesiz kütle aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

$$F_1 = \frac{A_1}{\alpha_1} \quad (5.3)$$

$$m = \frac{F_1}{r\omega_k^2} \quad (5.4)$$

Sistemin lineer davranmadığı durumda verilen bir frekansda A/F değeri sabit olmayıp dengesiz kütle miktarına da bağlı olacaktır. Bu durumda, Çizelge 5.1 de gösterildiği gibi makinanın titreşim genliği ile dengesiz kütle miktarının direk olarak ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bir başka deyişle, değişik dengesiz kütle miktarları için beklenen ivme değerleri hesaplanıp bir aşağıdaki gibi bir çizelge oluşturulacak ve deneysel olarak titreşim genliği ölçüldüğü zaman direk olarak buna sebep olan dengesiz kütle miktarı belirlenebilecektir. Bu yaklaşımın güvenilir olabilmesi için kullanılan modelin yeterince doğrulanmış olması gerekir. (Bölüm 3 te anlatılan ve ADAMS modelinden bağımsız olarak geliştirilen 3 öteleme ve 3 dönme serbestliği olan toplam 6 serbestlik derecesine sahip bir çamaşır makinası modeli geliştirilmişti. Dengesizlik miktarını belirlemek için açıklanan yöntem, ADAMS modelinin kullanılması yerine geliştirilen 6 serbestlik dereceli çamaşır makinası modeli kullanılarak da yapılabilir).

Çizelge 5.1: ADAMS modeli kullanılarak dengesiz kütlein hesaplanması

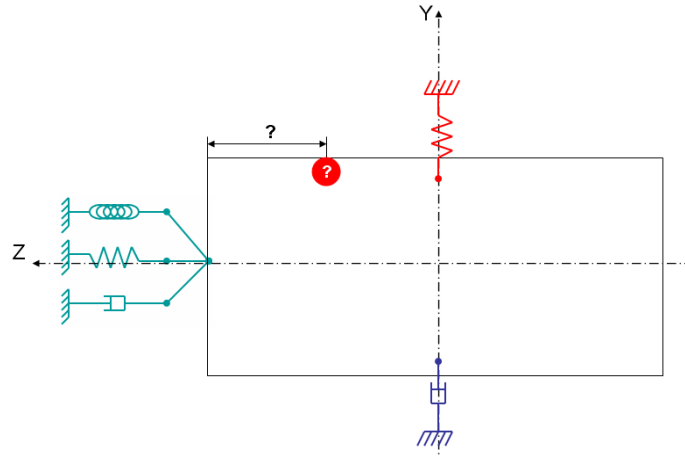
Dengesiz Kütle Miktarı (g)	α_k (İvme / kuvvet)	A_k (İvme Genliği)	ω_k (Devir hızı)
1	Hesaplanan değer	Ölçülen değer	Sabit
2	Hesaplanan değer	Ölçülen değer	Sabit
3	Hesaplanan değer	Ölçülen değer	Sabit
.			
.			
498	Hesaplanan değer	Ölçülen değer	Sabit
499	Hesaplanan değer	Ölçülen değer	Sabit
500	Hesaplanan değer	Ölçülen değer	Sabit
.			
.			
.			

5.2.3. Birden Çok Düzlemde Dengesizliğin Belirlenmesi

Bu metodun çözeceği problemin daha iyi anlaşılması için Şekil 5.8 hazırlanmıştır. Burada açıklanacak metod kullanılarak, bir dengesiz kütlein (Şekil 5.8 ‘de kırmızı daire ile gösterilmiştir) hem miktarı hem de z eksenindeki pozisyonu belirlenebilmektedir. (XY düzlemindeki açısal pozisyonu 4. bölümde anlatıldığı şekilde hesaplanmaktadır.)

Burada açıklanan metod, dengesizliğin sebep olduğu titreşimleri z-ekseni üzerinde birkaç konumda ölçümeye ve elde edilen verilerin analiz edilmesine dayanmaktadır. Bu metodun uygulanabilirliğini göstermek amacıyla Şekil 5.9 ‘daki ölçüm düzeneği hazırlanmıştır. Deney düzeneği, çamaşır makinasının ön, orta ve arka kısımlarına

mafsallarla bağlanmış olan deplasman ölçerler, lazer takometre, varyak, analizör ve bilgisayardan oluşmaktadır.



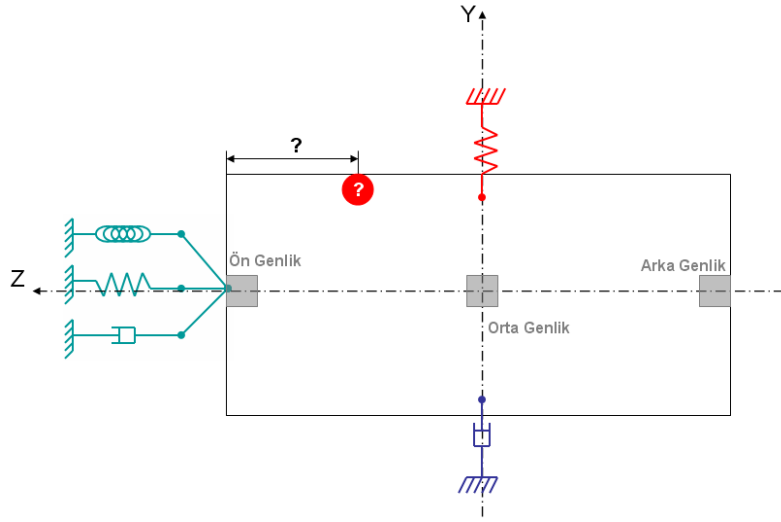
Şekil 5.8: Çamaşır makinasının teorik gösterilişi



Şekil 5.9: Z eksenı boyunca dengesizliğin belirlenebilmesi için hazırlanan ölçüm düzeneği

Ölçüm düzeneğine yerleştirilen deplasman ölçerlerin sembolik görünüşü Şekil 5.10 'da verilmiştir. Bu deplasman ölçerler kullanılarak Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4 hazırlanmıştır. Bu çizelgeler hazırlanırken Şekil 5.10 'da görölen kırmızı dengesiz kütle sırasıyla 100g, 200g, 300g, 400g ve 500g olarak seçilmiştir ve yine sırasıyla bu dengesiz kütleler 0 cm (tamburun kapağa en yakın kısmı), 5cm, 10 cm, 15 cm, 17,5 cm (çamaşır makinası yay düzlemi), 20 cm, 25 cm ve 30 cm koyularak ölçümler alınmıştır. Ölçümler sırasında çamaşır makinası tamburu sabit 120 dev/dak ile döndürölmüştür. Ön deplasman ölçerden ilgili gram ve pozisyonunda 120 dev/dak için

okunan değerler çizelge 5.2 ye ve yine orta ve arka deplasman ölçerlerden okunan genlik değerleri çizelge 5.3 ve 5.4 e verilmiştir.



Şekil 5.10: Deplasman ölçer pozisyonlarının sembolik görünüşü

Çizelge 5.2: Ön genlik çizelgesi (Titreşim genlikleri: mm)

Ön Genlik	100g	200g	300g	400g	500g
0 cm	0,1328	0,1727	0,2806	0,3667	0,6689
10 cm	0,1160	0,2485	0,4268	0,6263	0,7918
15 cm	0,0968	0,2205	0,3654	0,5553	0,6989
17,5 cm	0,0848	0,2065	0,3844	0,5641	0,8199
20 cm	0,0672	0,2470	0,5153	0,6336	0,9494
25 cm	0,0671	0,3060	0,6503	0,8271	1,1802
30 cm	0,0700	0,3682	0,6097	0,8425	1,0741

Çizelge 5.3: Orta genlik çizelgesi (Titreşim genlikleri: mm)

Orta Genlik	100g	200g	300g	400g	500g
0 cm	0,0402	0,0856	0,1609	0,2314	0,3767
10 cm	0,0671	0,2211	0,3502	0,4445	0,7181
15 cm	0,1150	0,4042	0,6844	1,1628	1,7009
17,5 cm	0,1648	0,5494	0,9534	1,6455	2,5765
20 cm	0,2645	0,8312	2,0138	2,2972	3,0952
25 cm	0,4213	1,6332	2,5175	2,9480	3,8233
30 cm	0,5760	1,9154	2,5321	3,0561	3,6774

Çizelge 5.4: Arka genlik çizelgesi (Titreşim genlikleri: mm)

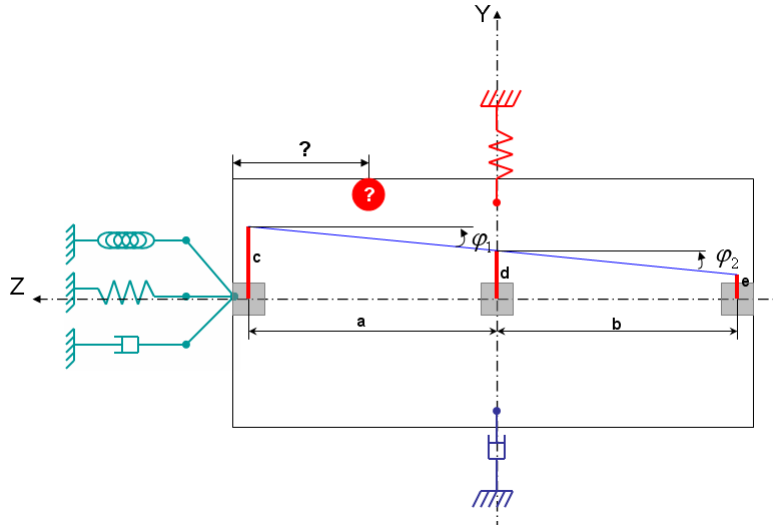
Arka Genlik	100g	200g	300g	400g	500g
0 cm	0,0115	0,0114	0,0664	0,1290	0,2370
10 cm	0,0358	0,1979	0,2983	0,2846	0,6410
15 cm	0,1395	0,5768	0,9731	1,7058	2,5647
17,5 cm	0,2135	0,8345	1,4654	2,5804	4,1293
20 cm	0,4110	1,3455	3,3498	3,8024	4,9887
25 cm	0,7409	2,8418	4,2961	4,9971	6,2675
30 cm	1,0674	3,3888	4,2137	5,0984	6,0324

Bu çizelgeler oluşturulduktan sonra, bu genlikleri ilişkilendirmek amacıyla Şekil 5.11 'de görülen φ_1 ve φ_2 açıları tanımlanmıştır. Şekil 5.11 'de 'a' ön deplasman ölçerle orta deplasman ölçer arasındaki mesafeyi, 'b' orta deplasman ölçerle arka deplasman ölçer arasındaki mesafeyi, 'c' değişken kütle nedeni ile ön deplasman ölçerden alınan titreşim genliğini, 'd' orta deplasman ölçerden alınan titreşim genliği ve 'e' arka deplasman ölçerden alınan genliğini göstermektedir. Bu durumda,

$$\varphi_1 = \arctan\left(\frac{c-d}{a}\right) \quad (5.5)$$

$$\varphi_2 = \arctan\left(\frac{d-e}{b}\right) \quad (5.6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu durumda Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4 kullanılarak çizelge 5.5 ve 5.6 hazırlanabilir. (İlgilenilen frekans aralığında çamaşır makinası kazanının rijid davranması durumunda bu 2 açısal değerın eşit olması beklenir. 3 adet sensör kullanılması durumunda böyle bir varsayım yapılırsa söz konusu açısal değerlerin ortalaması alınabilir.)



Şekil 5.11: Çamaşır makinasının teorik gösterilişi

Çizelge 5.5: φ_1 çizelgesi

φ_1	100g	200g	300g	400g	500g
0 cm	0,02868	0,02698	0,03707	0,04190	0,09050
10 cm	0,01514	0,00849	0,02372	0,05630	0,02283
15 cm	-0,00564	-0,05689	-0,09880	-0,18815	-0,31032
17,5 cm	-0,02478	-0,10620	-0,17622	-0,33491	-0,54401
20 cm	-0,06111	-0,18093	-0,46409	-0,51521	-0,66454
25 cm	-0,10970	-0,41104	-0,57827	-0,65683	-0,81853
30cm	-0,15671	-0,47917	-0,59536	-0,68553	-0,80621

Çizelge 5.6: φ_2 çizelgesi

φ_2	100g	200g	300g	400g	500g
0 cm	0,00997	0,02577	0,03281	0,03556	0,04851
10 cm	0,01087	0,00806	0,01802	0,05552	0,02677
15 cm	-0,00851	-0,05993	-0,10025	-0,18855	-0,29995
17,5 cm	-0,01691	-0,09900	-0,17779	-0,32464	-0,53919
20 cm	-0,05087	-0,17859	-0,46391	-0,52266	-0,65748
25 cm	-0,11098	-0,41968	-0,61759	-0,71151	-0,84868
30cm	-0,17064	-0,51162	-0,58391	-0,70915	-0,81771

Yukarıda özetlendiği şekilde deneysel (veya teorik) verilere dayalı bir veri tabanı oluşturulması durumunda dengesizliğin miktarı ve z eksenini boyunca konumunu belirlemek mümkündür. Bunun nasıl yapılabileceği örnek bir durum kullanılarak açıklanacaktır.

İlk adımda, dengesiz kütlelerin 100g, 200g ve 300g ve pozisyonu 0, 10, 15 ve 17,5 cm olmadığı anlaşılmıştır. İkinci adımda bu değerler çizelgeden silinmiş ve sonuç Şekil 5.12 'de gösterilmiştir.

On Genlik	100g	200g	300g	400g	500g	Orta Genlik	100g	200g	300g	400g	500g	Arka Genlik	100g	200g	300g	400g	500g
0	0,1328	0,1727	0,2806	0,3667	0,6689	0	0,0402	0,0856	0,1609	0,2314	0,3767	0	0,0115	0,0114	0,0664	0,1290	0,2370
10	0,1160	0,2485	0,4268	0,6263	0,7918	10	0,0671	0,2211	0,3502	0,4445	0,7181	10	0,0358	0,1979	0,2983	0,2846	0,6470
15	0,0968	0,2205	0,3654	0,5553	0,6989	15	0,1150	0,4042	0,6844	1,1628	1,7009	15	0,1395	0,5768	0,9731	1,7058	2,5243
17,5	0,0848	0,2068	0,3844	0,5641	0,8199	17,5	0,1648	0,5494	0,9534	1,6455	2,5765	17,5	0,2135	0,8345	1,4654	2,5804	4,1697
20	0,0672	0,2470	0,5153	0,6336	0,9494	20	0,2645	0,8312	2,0138	2,2972	3,0952	20	0,4110	1,3455	3,3498	3,8024	4,9887
25	0,0671	0,3060	0,6503	0,8271	1,1802	25	0,4213	1,6332	2,5175	2,9480	3,8233	25	0,7409	2,8418	4,2961	4,9717	6,2675
30	0,0700	0,3682	0,6097	0,8425	1,0741	30	0,5760	1,9154	2,5321	3,0561	3,6774	30	1,0674	3,3888	4,2137	5,0984	6,0324

f1	100g	200g	300g	400g	500g	f2	100g	200g	300g	400g	500g
0	0,02868	0,02698	0,03707	0,04190	0,09050	0	0,00997	0,02577	0,03281	0,03556	0,04851
10	0,01514	0,00849	0,02372	0,05630	0,02283	10	0,01087	0,00806	0,01802	0,05552	0,02677
15	-0,00564	-0,05689	-0,09880	-0,18815	-0,31032	15	-0,00851	-0,05993	-0,10025	-0,18855	-0,29995
17,5	-0,02478	-0,10620	-0,17622	-0,33491	-0,54401	17,5	-0,01691	-0,09900	-0,17779	-0,32464	-0,53919
20	-0,06410	-0,18093	-0,46409	-0,51521	-0,66454	20	-0,05087	-0,17859	-0,46391	-0,52266	-0,65748
25	-0,10970	-0,41104	-0,57827	-0,65683	-0,81853	25	-0,11098	-0,41968	-0,61759	-0,71151	-0,84868
30	-0,15671	-0,79717	-0,59536	-0,68553	-0,80621	30	-0,17064	-0,51162	-0,58391	-0,70915	-0,81771

Üçüncü adımda ϕ_2 (fi2) değeri dikkate alınmış (yaklaşık 0,71) Şekil 5.13 'de yapılmış ve bu değere yakın değerler mavi renk ile boyanmıştır.

On Genik	100g	200g	300g	400g	500g	Orta Genik	100g	200g	300g	400g	500g	Arka Genik	100g	200g	300g	400g	500g
0						0						0					
10						10						10					
15						15						15					
17,5						17,5						17,5					
20				0,6336	0,9494	20				2,2972	3,0952	20				3,8024	4,9887
25				0,8271	1,1802	25				2,9480	3,8233	25				4,9971	6,2675
30				0,8425	1,0741	30				3,0561	3,6774	30				5,0984	6,0324

fi1	100g	200g	300g	400g	500g	fi2	100g	200g	300g	400g	500g
0						0					
10						10					
15						15					
17,5						17,5					
20				-0,51521	-0,66454	20				-0,52266	-0,65748
25				-0,65683	-0,81853	25				-0,71151	-0,84868
30				-0,68553	-0,80621	30				-0,70915	-0,81771

165

Üçüncü adımdan, dengesiz kütleün 500g ve pozisyonun 20 cm olmadığı anlaşılmıştır. Dördüncü adımda bu değerler çizelgedan silinmiş ve sonuç Şekil 5.14 ‘de gösterilmiştir.

Ön Genlik	100g	200g	300g	400g	500g	Orta Genlik	100g	200g	300g	400g	500g	Arka Genlik	100g	200g	300g	400g	500g
0						0						0					
10						10						10					
15						15						15					
17,5						17,5						17,5					
20				0,6336	0,9494	20				2,2972	3,0952	20				3,8024	4,9887
25				0,8271	1,1802	25				2,9480	3,8233	25				4,9971	6,2675
30				0,8425	1,0741	30				3,0561	3,6774	30				5,0984	6,0324

f1	100g	200g	300g	400g	500g	f2	100g	200g	300g	400g	500g
0						0					
10						10					
15						15					
17,5						17,5					
20				-0,51521	-0,68454	20				-0,52266	-0,65748
25				-0,65683	-0,81853	25				-0,71151	-0,84868
30				-0,68553	-0,80621	30				-0,70915	-0,81771

Şekil 5.14: Üçüncü adım

Son adımda ise ön, orta ve arka konumdan alınan genlik değerleri incelenmiştir. Ön ve arka genlik değerleri birbirine çok yakın değerlerdir fakat orta genlik değerine bakıldığında, dengesiz kütleün 400g olduğu ve z ekseninde tamburun kapağa en yakın olan kısmından 25 cm ileride olduğu bu çizelgeler kullanılarak belirlenebilmiştir.(Şekil 5.15)

Ön Genlik	100g	200g	300g	400g	500g	Orta Genlik	100g	200g	300g	400g	500g	Arka Genlik	100g	200g	300g	400g	500g
0						0						0					
10						10						10					
15						15						15					
17,5						17,5						17,5					
20				0,8271		20				2,9480		20				4,9971	
25				0,8425		25				3,0561		25				5,0984	
30						30						30					

f1	100g	200g	300g	400g	500g	f2	100g	200g	300g	400g	500g
0						0					
10						10					
15						15					
17,5						17,5					
20				-0,65683		20				-0,71151	
25				-0,68553		25				-0,70915	
30						30					

Şekil 5.15: Dördüncü eleme

Burada deneysel verilere dayalı bir örnek ile de gösterildiği gibi, eğer çamaşır makinasının z eksenı boyunca birden fazla konumda titreşim ölçümü yapıldığı takdirde tamburun içinde herhangi bir yerdeki dengesiz bir kütleün konum ve miktarının burada önerilen yöntemle belirlenebilmesi mümkündür.

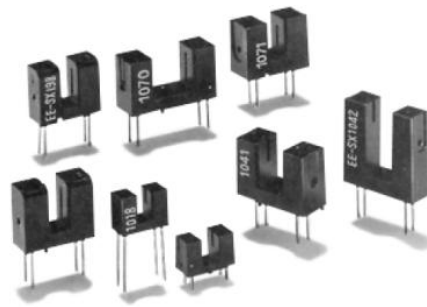
5.3. Çamaşır Makinalarına zel Açısal Konum Algılama Yönteminin Geliştirilmesi

5.3.1. Giriş

Bu bölümde, *dengesizliğin açısal konumunun* belirlenmesinde önemli bir yere sahip olan ve diğer bölümlerde sunulan çalışmalarda da sıklıkla kullandığımız Lazer Takometre ‘nin görevini yapabilecek, çamaşır makinalarına özel açısal konum algılama işlevini gerçekleştirebilecek *ekonomik sensör geliştirilmesi* amaçlanmıştır. Yapılan araştırmalar sonucu piyasada Photomicrosensor olarak ifade edilen sensörün bu amaca yönelik olarak adapte edilebileceği ve tako sensöründen alınan sinyale benzer sinyal elde edilebileceği öngörülmüştür. Öncelikle burada bu sensör ve özellikleri tanıtılacaktır. Daha sonra bu sensör mevcut Lazer Takometre ile karşılaştırılacak ve çamaşır makinası üzerine monte edilerek ölçümler alınacaktır.

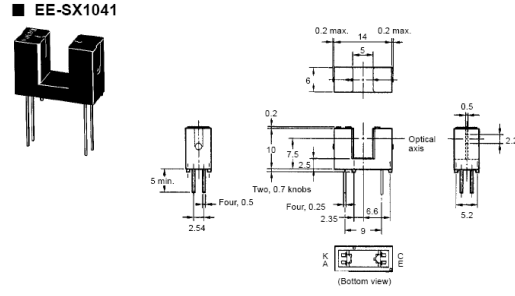
5.3.2. Özel Açısal Konum Algılama Sensörü ve zellikleri

Piyasa araştırması sonucu, açısal konum algılama işlemi için Omron firmasının ürettiği photomicrosensorlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu sensörlerin şekil 5.16’ da görüldüğü gibi farklı fiziksel özelliklere sahip tipleri bulunmaktadır. *Bu tez kapsamında alınan genel kullanım amaçlı lazer takometre, aşağıda gösterilen photomicrosensor sensörden 1300 kat daha pahalıdır.* (Photemicro sensorun fiyatı 1\$ ‘dır.)



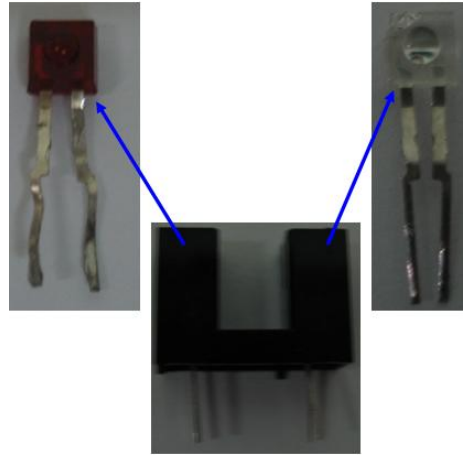
şekil 5.16: Photomicrosensor eşitleri

şekil 5.17 ‘de görülen Omron 1041 modelinin fiziksel özellikleri çamaşır makinasına montaj kolaylığı açısından uygun bulunmuştur. Bu sensörün ortadaki boşluk (slot) genişliği 5mm olup boşluk derinliği 8,2mm dir. Bu sensörün 5V ile beslenmesi gerekmektedir.

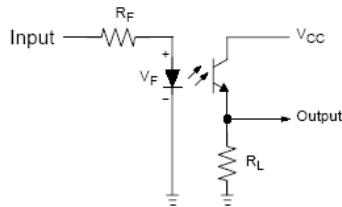


Şekil 5.17: Seçilen Photomicrosensor ve fiziksel özellikleri

Photomicrosensorün çalışma prensibi Şekil 5.18 ve 5.19 ‘da açıklanmıştır. Şekil 5.18 ‘de görüldüğü gibi sensörün içerisinde belirli bir mesafede karşılıklı olarak yerleştirilmiş bir ışık yayıcı (beyaz ile gösterilen) ve bir ışık alıcı (kırmızı ile gösterilen) bulunmaktadır. Kırmızı olan alıcı Şekil 5.19 ‘da görülen anahtar vazifesini görmektedir. Işık yayıcıdan yayılan ışık, kırmızı alıcıya eriştiği anda Şekil 5.19 ‘da görülen anahtar kapanmakta ve akım devreden geçmektedir. Bu da tako sinyali olarak kullanılabilen bir çıkış sinyalinin oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 5.18: Photomicrosensor ve iç yapısı

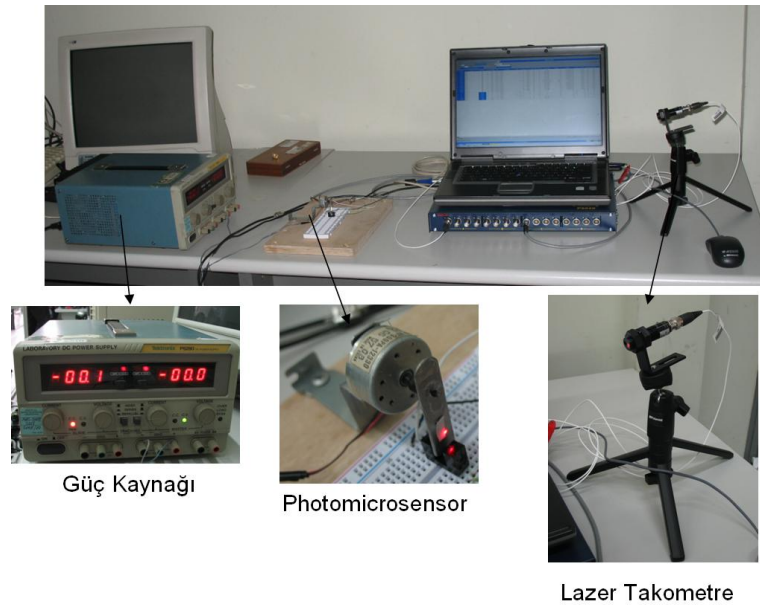


Şekil 5.19: Photomicrosensor çalışma prensibi

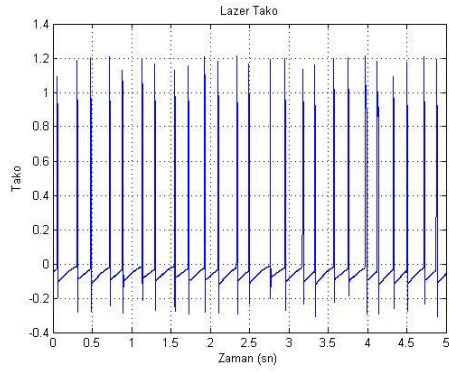
5.3.3.Özel Açısal Konum Algılama Sensörünün Mevcut Lazer Takometre ile Karşılaştırılması

Açısal konum algılama işleminin gerçekleştirilmesi için bir sensör seçimi yapıldıktan sonra seçilen bu sensörün tezde kullanılmak üzere gerekli tako sinyalinin çok ekonomik olarak gerçekleştirilmesi ve daha önceden alınan genel amaçlı Lazer Takometre ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Şekil 5.20 ‘de görülen ölçüm düzeneği hazırlanmıştır. Bu ölçüm düzeneği; photomicrosensor, lazer takometre, milinde bir pervane bulunan dc motor, güç kaynağı, verilerin toplanması için bir analizör ve toplanan verilerin saklanması ve işlenmesi için kullanılacak olan bir bilgisayardan oluşmaktadır. Şekil 5.20 ‘de de görüldüğü gibi, pervanenin üzerinde lazer takometre yansıtıcısı bulunmaktadır. Lazer takometre, pervane tam slot boşluğu aralığından geçerken, pervanenin üzerinde bulunan yansıtıcıya hedeflenmiş ve bu şekilde ölçümler yapılmıştır (bu kısımda, Photomicrosensore ‘Ucuz Tako’ olarak adlandırılmış ve şekillerde bu isim kullanılmıştır).

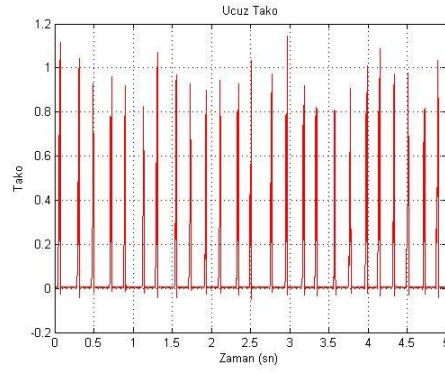
Şekil 5.21 ‘de, 300 dev/dak da dönen pervane için lazer ve ucuz takometreden toplanan veriler ve bunların karşılaştırılması görülmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere, ucuz takometre ile lazer takometre aynı işlevi görmektedir. Benzer sonuçlar Şekil 5.22 ‘de de sunulmuştur. Görüldüğü gibi, 108 ve 456 dev/dak hızlarında karşılaştırılmış ve iki takometrenin aynı işlevi gördüğü kanıtlanmıştır.



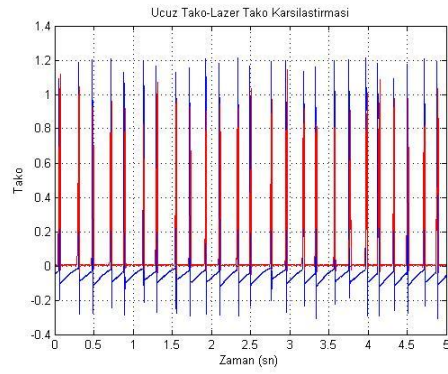
Şekil 5.20: Karşılaştırma için hazırlanan ölçüm düzeneği



(a)

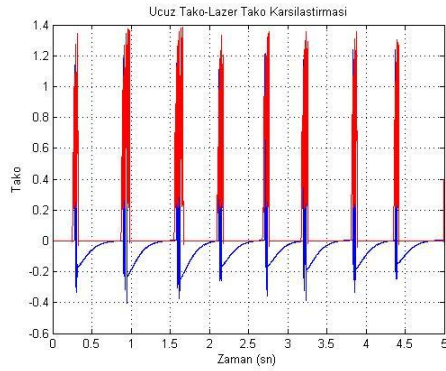


(b)

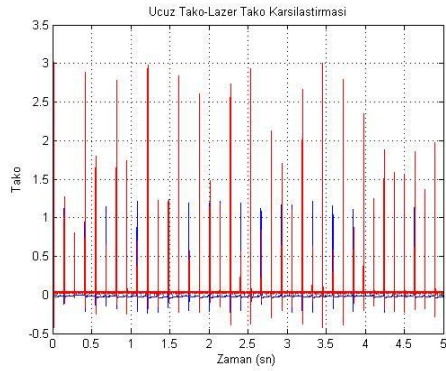


(c)

Şekil 5.21: (a) Lazer takometre sinyali, (b) photomicrosensor (ucuz tako) sinyali, (c) Ucuz tako-Lazer Tako karşılaştırılması



(a)



(b)

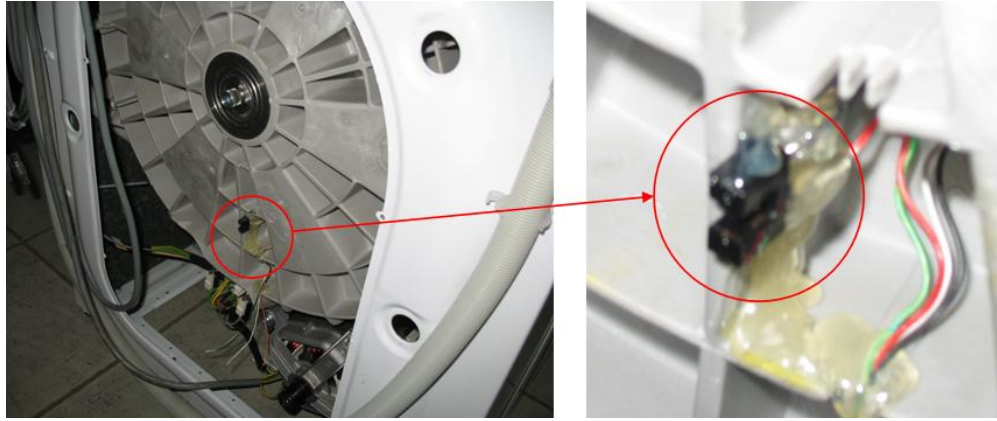
Şekil 5.22: (a) 108 dev/dak için, (b) 456 dev/dak için karşılaştırma

Yukarıdaki sonuçlar göz önüne alınarak ucuz tako sensörünün çamaşır makinasına uygulanmasına/monte edilmesine hazır olduğuna karar verilmiştir.

5.3.4. Geliştirilen Açısal Konum Algılama Sensörünün Çamaşır Makinasına Uygulanması

Bu kısımda ucuz takonun çamaşır makinasına uygulanış/montaj şeklinin nasıl olduğu açıklanmış ve çamaşır makinası üzerinde ucuz ve lazer takometreler karşılaştırılmıştır.

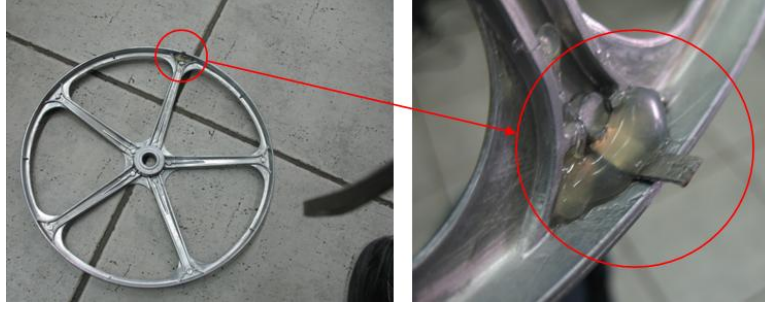
Öncelikle ucuz takometrenin kazana monte edilebileceği bölgeler incelenmiş ve inceleme sonucu kablolama ve kolay bağlantıya imkan vermesi açısından makinaya arkadan bakıldığında saat 6 pozisyonuna monte edilmesine karar verilmiştir. Şekil 5.23 'de görüldüğü gibi montaj işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.23: Ucuz takonun kazan üzerine bağlantı şekli

İkinci adımda, Şekil 5.24 'de gösterildiği gibi, kasnağın iç kısmına, ucuz takonun slot aralığından geçecek şekilde bir metal şerit monte edilmiştir. Bu sayede metal şerit her dönüşte ucuz takonun beyaz lamba ışığını kesecek ve elde edilecek sinyalde bir tepecik oluşmasına sebep olacaktır. Tepe sayısı devir sayısına eşit olacağından kasnağın devir hızını da bu sinyalden hesaplamak mümkündür..Bunun yanı sıra, herhangi bir titreşim ölçerden alınacak veriler kullanılarak faz bilgisi elde edilebilecek, bu sayede dengesiz kütlenin konumu belirlenebilecektir.

Şekil 5.25 'de ucuz takometre için hazırlanan ölçüm düzeneği görülmektedir. Bu ölçüm düzeneği, analizör, bilgisayar, varyak, çamaşır makinası, ucuz tako sensörü ve lazer takometreden oluşmaktadır. Lazer takometre makina üzerindeki ucuz takometre verilerinin kontrol edilmesi için ölçüm düzeneğine eklenmiştir.



Şekil 5.24: Ucuz takonun slot boşluğundan geçecek metal şeridin bağlantı şekli



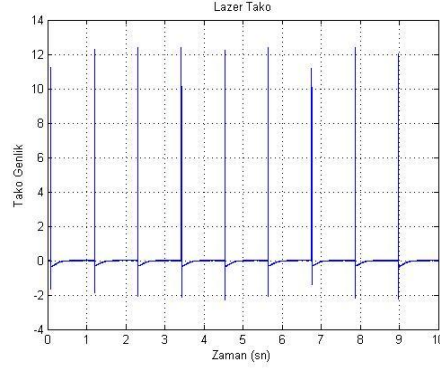
Şekil 5.25: Ucuz takonun denenmesi için hazırlanan ölçüm düzeni

Şekil 5.26 (a) ve (b) de 0.9 Hz (54 dev/dak) de lazer ve ucuz takodan alınan veriler, (c) 'de ise bu iki sinyalin karşılaştırılması görülmektedir. Karşılaştırmadan da algılanacağı üzere ucuz tako, bu devirde, lazer takometre ile aynı sonuçları vermektedir. Bu şekilde (d) ve (e) de lazer ve ucuz takoya ait spektrumlar görülmektedir. Her iki spectrumda da önemli olan ilk tepedir ve tako sensörlerinin beklendiği şekilde davrandığını göstermektedir.

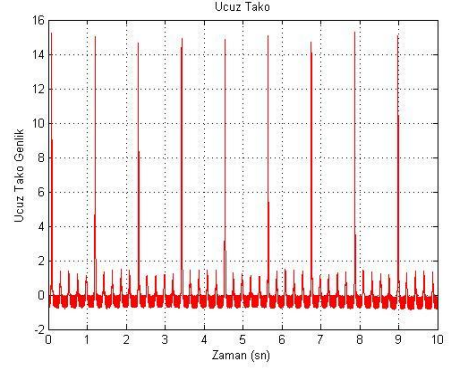
Şekil 5.27 (a) da 5 Hz (300 dev/dak) de lazer ve ucuz takonun karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 5.27 (b) de ise Şekil 5.27 (a) daki sonuç daha dar bir zaman aralığında verilmiştir. Burada da lazer tako tepecikleriyle, ucuz tako tepeciklerinin uyumlu olduğu görülmektedir.. Şekil 5.27 (c) ucuz takoya ait spektrum verilmiştir. Anlaşılabileceği üzere anlaşılabileceği üzere kasnak 5 Hz hızında dönmektedir.

Ucuz senörden alınan sinyallerde bir miktar gürültü (noise) olduğu gözükmemektedir. Çamaşır makinasının dengesizliği algıladığı devir hızlarında sinyaldeki bu gürültü herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Gerekirse, basit elektronik devrelerle bu gürültüyü ortadan kaldırmak mümkündür.

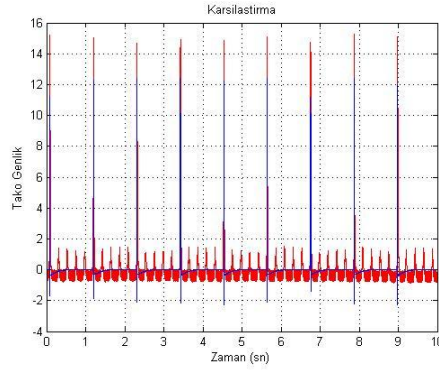
Yukarıdaki sonuçlarla da ortaya konulduğu üzere, *çamaşır makinaları için özel açılal konum belirleme işlemini gerçekleştirecek ekonomik bir takometre geliştirilmiştir.*



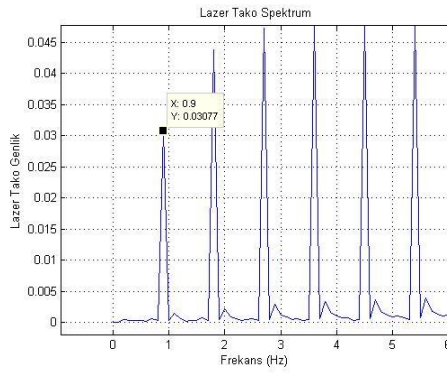
(a)



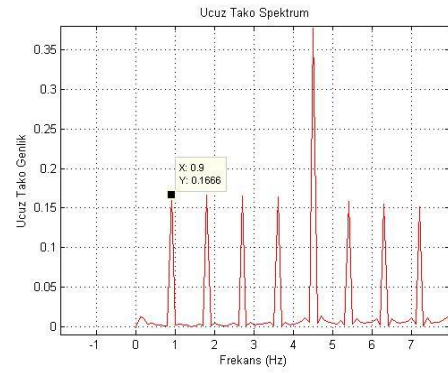
(b)



(c)

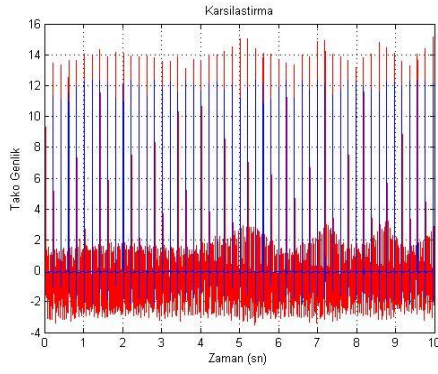


(d)

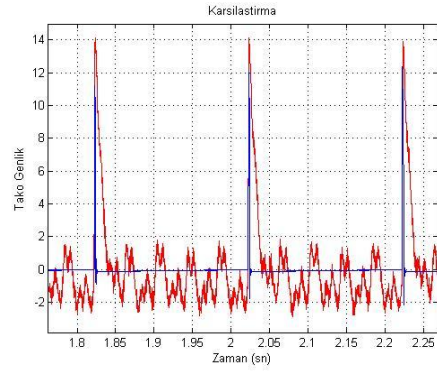


(e)

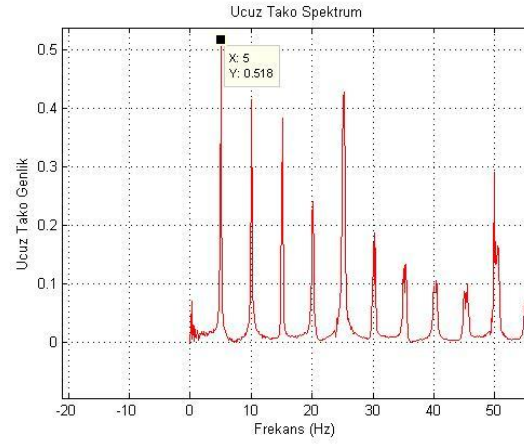
Şekil 5.26: (a) Lazer takometreden toplanan veriler, (b) ucuz takodan toplanan veriler, (c) lazer-ucuz tako karşılaştırılması, (d) lazer takometrenin spekturumu, (e) Lazer takonun spekturumu (d) ucuz takonun spekturumu



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.27: (a) Lazer-ucuz tako karşılaştırılması, (b) Kısa zaman aralığında karşılaştırma, (c) ucuz takonun spekturumu

6. GENEL DEĞERLENDİRME VE İLERİDE YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR

6.1. Genel Değerlendirme

Bu tez kapsamında öncelikli olarak detaylı bir literatür araştırması yapılmış, rotor sınıfları ve bunlarda oluşabilecek dengesizlik çeşitleri incelenmiştir. ISO 1940 standardı detaylı bir şekilde incelenmiş, rotor tipine göre kabul edilebilen dengesizlik sınırları ortaya konmuştur. Rijit rotorlar için, tek ve iki düzlemde dengeleme teorisi ve prosedürleri araştırılmıştır. Dengeleme kütesinin, miktarı ve pozisyonunun belirlenmesi için teorik ve pratik bilgiler irdelenmiştir. Dengeleme prosedürlerin yerine getirilmesi için, veri toplama ve sinyal işleme konuları hakkında detaylı araştırmalar yapılmıştır.

Yerli ve yabancı çamaşır makinası üreticilerine ait beş adet denek makina temin edilmiş, bu deneklerin üst ve arka kapakları sökülerek, denek elemanları detaylı bir şekilde incelenmiştir. ve fiziksel olarak farkları açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Denek çamaşır makinalarının dengesizliğe karşı performanslarının belirlenmesi için, bilgisayar, analizör, amplifier ve ivme ölçerlerden oluşan test düzeneği kurulmuştur. Çamaşır makinalarına belli miktarda artan dengesiz kütleler bağlanmış ve belirli bir devirde sıkma işleminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.. Deneklerin yatay ve dikey ekseninde yaptıkları deplasmanlar ölçülmüş ve titreşim orbitleri belirlenmiştir. Bu sayede her bir deneğin sıkma işlemini gerçekleştirebileceği maksimum dengesiz yük miktarı belirlenmiştir. Deneklerde dengesizliğin konum ve miktarını algılayabilecek bir sensör olup olmadığı araştırılmış ve dengesizlik algoritmasının varlığı incelenmiştir. Alınan tüm sonuçlar göz önünde bulundurularak bir karşılaştırma yapılmıştır.

Tez kapsamında bir çamaşır makinası için teorik modeller ortaya konmuştur. Geliştirilen modelin doğruluk derecesinin belirlenmesi için çamaşır makinası üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çamaşır makinası bilinen dengesiz yükler altında ve belirlenen hızlarda çalıştırılmış, oluşan titreşimler ivmeölçerler

kullanılarak ölçülmüştür. Bilinen dengesiz yükler altında yapılan ölçüm verileri işlenmiş ve Frekans Tepki Fonksiyonları elde edilmiştir. Bu fonksiyonlar çamaşır makinasının deneysel cevap modelini oluşturmaktadır. Çamaşır makinasının teorik modeli kullanılarak değişik dengesiz yükler altında makinanın teorik Frekans Tepki Fonksiyonları da elde edilmiştir. Dengesiz yükler kullanılarak elde edilen teorik ve deneysel veriler karşılaştırılmış, teorik ve deneysel modellerin iyileştirilmesi gereken yönleri belirlenmiş ve bazı düzeltmeler yapılmıştır. Yenilenen teorik model sonuçlarının, deneysel veriler ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Bu modeller kullanılarak titreşim seviyesine bağlı olarak dengesizlik miktarının düşük frekanslarda da başarılı bir şekilde belirlenebilmesi, eşdeğer lineer parametrelerin ilgilenilen frekansa doğru bir şekilde belirlenebilmesine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma , teorik modeller düşük frekanslarda deneysel veriler doğrultusunda henüz doğrulanamamıştır. Düşük frekanslarda da yeterince hassas bir modelin kurulabilmesi, özellikle körük ve amortisörlerin lineer olmayan davranışlarının modellenmesi ve deneysel veriler doğrultusunda güncellenmesi olarak belirtilmiştir.

Yukarıda belirtilen çalışmalardan sonra, araştırmalar çamaşır makinalarında dengesizliğin algılanması konusu üzerine yoğunlaştırılmıştır. Algılama metodları detaylı olarak irdelenmiş ve dengesizliğin algılanması için kullanılabilecek sensörler, bu sensörlerin sahip olması gereken özellikler ve tipleri ortaya konmuştur. Çamaşır makinaları için kullanılabilecek bir dengesizlik algılama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde dengesizliğin pozisyonunun belirlenmesi için deneme kütesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Geliştirilen yöntemin makinaya uygulanması ve dengesizliğin algılanabilmesi için kullanılabilecek ucuz bir sensör prototipi hazırlanmıştır. Yay sensörü adı verilen, askı yayının üzerine gerinim sensörü yapıştırılarak oluşturulan bu sensör için bir test düzeneği kurulmuş ve ölçüm yapma yeteneği araştırılmıştır. Dengesizliğin algılanması için geliştirilen yöntemin denenmesi için 2 farklı ölçüm düzeneği kurulmuştur. 1. ölçüm düzeneğinde ayaklara bağlanan 4 adet kuvvet sensörü ve 2 adet yay sensörü bulunmaktadır. 2. ölçüm düzeneğinde ise askı yayı düzleminde ve kazan dönme eksenine dik olacak şekilde yerleştirilmiş 1 adet deplasman sensörü bulunmaktadır. Bu ölçüm düzeneklerinden toplanan verilerle, 3 sensörün de düşük frekanslarda dengesizliği algılayabildiği gösterilmiştir. Bu

bölümde dengesizliğin açısal konumunun nasıl bulunacağı ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Çamaşır makinalarında dengesizlik başarılı bir şekilde algılanması sağlandıktan sonra dengesizliğin konum ve miktarının belirlenmesi için çalışmalar yapılmıştır. Dengesizliğin miktarının tek düzlemde belirlenebilmesi için iki metot önerilmiştir. ‘*Sabit Genlik Metodu*’, ve ‘*Sabit Frekans Metodu*’ olarak adlandırılan yöntemler bu tez kapsamında çamaşır makinalarına özel olarak geliştirilmiş metotlardır. Yine birden çok düzlemde ölçüm yapılarak çamaşır makinalarında dengesizliğin miktarının ve makinanın hem açısal hem de z-ekseni boyunda dengesizliğin konumunun belirlenebilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin geçerliliği ve uygulanabilirliği örnek olabilecek deneysel bir çalışma ile kanıtlanmıştır. Çamaşır makinalarına özel ekonomik bir açısal konum algılama sensörü geliştirilmiştir. Geliştirilen sensör çamaşır makinasına uygulanmıştır. Bu sensör tez kapsamında alınan genel amaçlı lazer takometre ile karşılaştırılmıştır.

6.2. Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar

Bu çalışma çamaşır makinalarına özel bir dengeleme sistemi geliştirilmesi için bir ön çalışma niteliğindedir. Bu çalışmadan sonra ‘ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA DENGELEME’ başlıklı bir araştırma yapılabilir.

Çamaşır makinasını temsilen hazırlanan toplu parametre modeli ile çamaşır makinasının dinamiğinin ifade edilebileceği ortaya konmuş ve bu konuda yapılabilecek çalışmaların önü açılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Appliance Magazine**, November 2008
- [2] **Wowk V**, 1995. “Machinery Vibration Balancing”, *McGraw Hill*, USA.
- [3] **Pasin F.**, 2000. “Makina Dinamiği”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- [4] **Pasin F.**, 2000. “Mekanik Sistemler Dinamiği”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul.
- [5] **Darlow M .S.**, 1989. “Balancing of High-Speed Machinery”, *Springer-Verlag*, New York.
- [6] **Belek H.T**, 2002. “Experimental Method, Balancing Experiment Report”.
- [7] **Ehrich F.F.**, 1992. “Handbook Of Rotordynamics”, *McGraw-Hill,Inc.*, New York.
- [8] **Park J, Mackay S**, 2003. “Practical Data Acquisition For Intrumentation And Control Systems”, *Elsevier*, Burlington.
- [9] **Jackson C**, 1994. “Balancing of Rotating Machinery Course”, *Vibration Institute*, Texas City.
- [10] **Derek N.**, 2006. “Practical Balancing of Rotating Machinery”, *Elsevier*, New York.
- [11] **Çelikel S.**, 2007, “Balancing in Rotating Machinery”, *ITU Term Project*, İstanbul.
- [12] **Yamamoto T. & Ishida Y.**, 1991. “Linear and Nonlinear Rotordynamics”, *JohnWiley&Sons Inc.*, New York.
- [13] **Goodwin M. J. ,** 1989. “Dynamics of Rotor-Bearing Systems”, *Unwin Hyman Inc.*, London .
- [14] **EP1243686**, 2002. “Control device for oscillations of tub-drum assembly for household washing machines” .
- [15] **EP0531917A1**, 1992. “Washing machine, washing-drying machine or the like comprising magnetic dampers”.
- [16] **WO03-046271**, 2003., “Method For Determining Unbalanced Load”, ARÇELİK.
- [17] **JP2004-353749**, 2004. “Damper With Load Detection Function”.

- [18] **DE10235180**, 2004. "Domestic washing machine with rotary laundry drum provided with sensors for detecting oscillation characteristics of machine chassis and rotary laundry drum", AWECO.
- [19] **JP2002-292186**, 2002. "Imbalance Detector Of Washing Machine", NIPPON KENTETSU CO. LTD.
- [20] **EP1167611**, 2002. "Method and apparatus for detecting load unbalance in an appliance", WHIRLPOOL.
- [21] **DE10122749**, 2002. "Washing machine with a device and a process for determining the laundry weight", MIELE.
- [22] **ITPN990075/EP1087052**, 2001. "Washing machine provided with regulation and control means", ELECTROLUX.
- [23] **EP0984092** 2000. "Washing machine with device for determining the laundry weight", MIELE.
- [24] **JP2000288289**, 2000. "Washing Machine And Device Provided With Rotating Container", SANYO.
- [25] **DE19610189**, 1999. "Determining the Spinning Speed According to Unbalanced load".
- [26] **WO02-063089**, 2002. "Arrangement For Balancing Of Rotating Bodies", ELECTROLUX.
- [27] **WO02-063089**, 2002. "Arrangement For Balancing Of Rotating Bodies", ELECTROLUX.
- [28] **DE20100354/TR200400905T**, 2004. "T Counterweight", Turban Beton.
- [29] **JP2001-276474**, 2001. "Drum Type Washing Machine", SANYO.
- [30] **JP2001-293289**, 2001. "Washing Machine", SANYO.
- [31] **JP2001-259285**, 2001. "Washing Machine With Balancer", LG.
- [32] **JP2001-259284**, 2001. "WASHING MACHINE", SANYO.
- [33] **US6651527/ EP1174537**, 2002. "Automatic balancing device".
- [34] **US6029300A1**, 2000 "Spin extractor".
- [35] **EP0347883**, 1991. "Process and device for balancing rotating parts".
- [36] **US6023854A1**, 1998 "Spin extractor".
- [37] **EP0704567**, 1996 "Improvement in an unbalance preventing arrangement for clothes washing machines".
- [38] **JP2002-200393**, 2002. "Vibration Control Device For Washing Machine".
- [39] **JP2002-200392**, 2002. "Vibration Control Device For Washing Machine".
- [40] **EP1167610**, 2002. "Load unbalance prediction method and apparatus in an appliance".

- [41] **EP1243686**, 2002. "Control device for oscillations of tub-drum assembly for household washing machines".
- [42] **EP1167609**, 2002. "Method for detecting and controlling the dynamic unbalance in a drum of a washing machine and washing machine that uses such method".
- [43] **US6477867B1**, 2002. "Laundry Appliance".
- [44] **Ewins D.J.**, 2000. "Model Testing: Theory, Practice and Application – Second Edition", *RSP*, England.
- [45] <http://www.mscsoftware.com/products/adams.cfm?Q=131&Z=396&Y=397>
- [46] **Yüksel İ.**, 2001. „Otomotik Kontrol, Sistem Dinamiği ve Kontrol Sistemleri“, *Vipaş Yayınevi*, Bursa.
- [47] **Gürgöze M.**, 1984. "Analitik Mototlarla Titreşimlerin Etüdü", *İTÜ Baskı Atölyesi*, İstanbul.
- [48] http://tr.wikipedia.org/wiki/Wheatstone_koprusu
- [49] **Sayman O.**, 1995. "Mukavemet 1", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi*, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Selçuk Çelikel

Doğum Yeri ve Tarihi: İSTANBUL-11/03/1983

Lisans Üniversitesi: Uludağ Üniversitesi

Yayın Listesi:

Şanlıtürk K.Y., Çelikel S., 2009: “Çamaşır Makinası Dinamik Modeli: Serbest ve Zorlanmış Titreşimler”. *Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu*, 2-4 Temmuz 2009, ODTÜ Kıbrıs Kampüsü, K.K.T.C.