

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNESİ YATAKLAMA
SİSTEMİ PROBLEMLERİNİN İNCELENMESİ VE
İYİLESTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Canyigit ATAY**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Programı : Konstrüksiyon

Tez Danışmanı: Yrd.Doc.Dr. Vedat TEMİZ

HAZİRAN 2009

**ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNESİ YATAKLAMA
SİSTEMİ PROBLEMLERİNİN İNCELENMESİ VE
İYİLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Canyigit ATAY
503061213**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Haziran 2009**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doc.Dr. Vedat TEMİZ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erdem İMRAK (İTÜ)
Doç. Dr. Özgen Ü. ÇOLAK (YTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Arçelik A.Ş. Kurutma Makinası İşletmesi Araştırma ve Geliştirme Departmanı tarafından oluşturulan ve desteklenen bir projedir.

Yüksek lisans tez çalışmama danışmanlık yapan, olumlu eleştiri ve önerileri ile yol gösteren değerli hocam Sn. Yrd. Doc. Dr. Vedat TEMİZ'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve her zaman destek olan Arçelik A.Ş. Kurutma Makinesi İşletmesine, Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Ertan ÇETİNKAYA, Sn. Mehmet DURMAZ , Sn. Ümit GÜLBAY ve Sn. Cemil İNAN'ın, şahsında teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen proje liderim Sn. Murat GÖKTAŞ, değerli fikir ve çalışmalarından dolayı Sn. Ufuk AŞKIN, Sn. Levent ÇINAR ve Burak HARAÇ'a ve tüm Arçelik ARGE Yapısal Tasarım Bölümü ve Kurutma Makinesi Araştırma ve Geliştirme Bölümü çalışanlarına teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım boyunca verdikleri yardımlar ve takım çalışmalarından dolayı Alper BATUR, Celal VATANSEVER ve desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2009

Canyigit Atay
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
1.3 Çamaşır Kurutma Makinesi	3
1.4 Literatür Araştırması.....	9
1.4.1 Sürtünme	9
1.4.1.1 Kayma sürtünmesi	11
1.4.1.2 Yuvarlanma sürtünmesi	12
1.4.2 Aşınma	14
1.4.3 Kaymalı yataklar ve malzeme seçimi	15
1.4.4 Rulmanlı yataklar	17
1.4.4.1 Kaymalı ve rulmanlı yatakların karşılaştırılması.....	18
1.4.4.2 Bilyalı rulmanlar.....	19
1.4.4.3 Boyut planları	22
1.4.5 Termoplastik malzemelerin genel özellikleri	24
2 MEVCUT YATAKLAMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ.....	27
2.1 Mevcut Yataklama Sistemine Genel Bakış	27
2.2 Yataklama Sistemi Elemanlarının İncelenmesi.....	27
2.2.1 Ön yataklama grubu	27
2.2.2 Tambur grubu	29
2.2.3 Radyal sürtünmeli yataklar	32
2.2.4 Arka yataklama.....	33
2.3 Yatak Kuvvetlerinin Hesabı	34
2.4 Mevcut Sistem Testleri.....	37
2.4.1 Performans testi	38
2.4.2 Motor kalkış ve kayma testi testi.....	41
2.5 Mevcut Yataklama Sisteminin Değerlendirilmesi	44
3 UYGULANACAK YENİ SİSTEMİN BELİRLENMESİ	47
3.1 Yeni Yataklama Sisteminin Genel Yapısının Belirlenmesi.....	47
3.2 Yeni Yataklama Sistemi Elemanlarının Belirlenmesi.....	48
3.2.1 Tekerlek grubu.....	49
3.2.1.1 Tekerlek mili	49
3.2.1.2 Tekerlek gövdesi	50
3.2.1.3 Tekerlek dış lastiği	51
3.2.1.3.1 Kritik malzeme özelliklerinin belirlenmesi	52

3.2.1.3.2 Malzeme opsiyonlarının seçimi	52
3.2.1.3.3 Farklı malzeme analizlerinin yapılması	53
3.2.1.4 Tekerlek rulmanı	55
3.2.1.5 Tekerlek bağlantı elemanları	57
3.2.2 Tambur grubu.....	57
3.2.3 Radyal sürtünmeli yatakların iptali.....	59
3.2.4 Ön yataklama grubu.....	60
3.3 Tekerlek Yataklama Kuvvetlerinin Hesaplanması	61
3.4 Tekerlek Pozisyonlarının Belirlenmesi	65
3.4.1 Hesap yöntemi ile optimum pozisyonun belirlenmesi	65
3.4.2 Ön yataklama tasarımına uygun pozisyonun belirlenmesi	66
3.4.3 En iyi konum opsiyonunun belirlenmesi	67
4 YENİ YATAKLAMA SİSTEMİNİN KONSTRÜKSİYONU	71
4.1 Sistem Elemanlarının Konstrüksiyonu	71
4.1.1 Tekerlek grubu konstrüksiyonu	71
4.1.1.1 Tekerlek üretim yönteminin belirlenmesi.....	72
4.1.1.2 Tekerlek gövde konstrüksiyonu	73
4.1.1.3 Tekerlek lastik konstrüksiyonu	77
4.1.1.4 Tekerlek mili konstrüksiyonu	78
4.1.2 Ön yataklama grubu konstrüksiyonu	81
4.1.2.1 Rijit bağlantı modelinin belirlenmesi	81
4.1.2.2 Ön yataklama konstrüksiyonu	83
4.1.2.3 Ön yataklama kapak konstrüksiyonu.....	86
4.1.3 Tekerlek grubu – ön yataklama montajı	89
4.1.4 Tambur grubu konstrüksiyonu.....	91
4.1.4.1 Yapılacak olan iyileştirmelerin belirlenmesi	91
4.1.4.2 Tambur ön sacı mukavemet analizleri	92
4.1.4.3 Tambur ön ve çevre saclarının konstrüksiyonu	95
4.1.5 Radyal tapa konstrüksiyonu	96
4.2 Genel sistem modelinin oluşturulması	98
5 YENİ SİSTEM TESTLERİNİN UYGULANMASI VE MEVCUT SONUÇLAR İLE MUKAYESESİ.....	101
5.1 Çalışma Sonrası Test Planının Oluşturulması	101
5.1.1 Performans testi	102
5.1.2 Motor kalkış ve kayma testi.....	104
5.1.3 Tekerlek ömür testi	106
5.1.4 Tekerlek ezilme testi.....	109
5.1.5 Sistem ömür testi	111
5.2 Test Sonuçlarının Mevcut Sonuçlar ile Karşılaştırılması	112
6 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	117
6.1 Yeni Konstrüksiyonun Genel Değerlendirmesi	117
6.2 Sonuç	118
7 KAYNAKLAR.....	121
8 ÖZGEÇMİŞ.....	123

KISALTMALAR

HB	: Brinell sertlik değeri
HRA	: Rockwell A tipi sertlik değeri
Hz	: Hertz
ISO	: Uluslararası standardizasyon organizasyonu
N	: Newton
PA	: Poliamid
PC	: Polikarbon
PE	: Polietilen
PMMA	: Polimetilmetakrilot
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PPGF	: Cam elyaf katkılı polipropilen
PS	: Polistren
PTFE	: Politetrafloretilen
PVC	: Polivinilklorür
ShA	: A tipi shore sertliği
TPE	: Termoplastik poliester
TS	: Türk standartları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Mevcut durum performans testi öncesi ölçüm değerleri.....	39
Çizelge 2.2 : Mevcut durum performans testi sonrası ölçüm değerleri.....	39
Çizelge 2.3 : Mevcut durum performans testi sonuç tablosu.....	40
Çizelge 2.4 : Mevcut sistem 7,7 kg sabit yük ile kalkış testi.....	41
Çizelge 2.5 : Mevcut sistem çamaşırli ve dengeli kalkış testi.....	42
Çizelge 2.6 : Mevcut sistem çamaşırli ve dengesiz kalkış testi.....	42
Çizelge 2.7 : Mevcut sistem çamaşırli kayma testi ölçümleri.....	43
Çizelge 2.8 : Mevcut sistem çamaşırli kayma testi sonuçları.....	43
Çizelge 2.9 : 7 kg makine için standart enerji tüketim katsayıları.....	44
Çizelge 3.1 : Farklı TPE malzeme analiz sonuçlarının mukayesesi.....	54
Çizelge 4.1 : Farklı tekerlek gövdeleri analiz sonuçlarının mukayesesi.....	76
Çizelge 4.2 : Farklı tekerlek millerinin mukayesesi.....	79
Çizelge 4.3 : Farklı tambur ön sacı formları için analiz sonuçları.....	94
Çizelge 5.1 : Yeni sistem performans testi öncesi ölçüm değerleri.....	102
Çizelge 5.2 : Yeni sistem performans testi sonrası ölçüm değerleri.....	103
Çizelge 5.3 : Yeni sistem performans testi sonuç tablosu.....	104
Çizelge 5.4 : Yeni sistem 7,7 kg sabit yük ile kalkış testi.....	104
Çizelge 5.5 : Yeni sistem çamaşırli ve dengeli kalkış testi.....	105
Çizelge 5.6 : Yeni sistem çamaşırli ve dengesiz kalkış testi.....	105
Çizelge 5.7 : Yeni sistem çamaşırli kayma testi ölçümleri.....	105
Çizelge 5.8 : Yeni sistem çamaşırli kayma testi sonuçları.....	106
Çizelge 5.9 : Farklı TPE malzemeli tekerlek ezilme testi sonuçları.....	110
Çizelge 5.10 : Mevcut – yeni sistem performans testi sonuç mukayesesi.....	113
Çizelge 5.11 : Mevcut – yeni sistem 7,7 kg sabit yük ile kalkış testi mukayesesi ..	113
Çizelge 5.12 : Mevcut – yeni sistem çamaşırli ve dengeli kalkış testi mukayesesi.	114
Çizelge 5.13 : Mevcut – yeni sistem çamaşırli dengesiz kalkış testi mukayesesi...	114
Çizelge 5.14 : Mevcut – yeni sistem çamaşırli kayma testi ölçüm mukayesesi.....	115
Çizelge 5.15 : Mevcut – yeni sistem çamaşırli kayma testi sonuç mukayesesi.....	115

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Çamaşır kurutma makinesi genel görünüşü	4
Şekil 1.2 : Çamaşır kurutma makinesi genel yapısı.....	5
Şekil 1.3 : Çamaşır kurutma makinesi çevrimi.....	6
Şekil 1.4 : Statik sürtünme	10
Şekil 1.5 : Dinamik sürtünme	10
Şekil 1.6 : Sürtünme katsayısının tanımı	12
Şekil 1.7 : Tek sıra bilyalı, derin yivli rulman	19
Şekil 1.8 : Tek sıra bilyalı, eğil rulman	20
Şekil 1.9 : İki sıra bilyalı, eğik rulman	20
Şekil 1.10 : Bilyalı, oynak rulman	21
Şekil 1.11 : Tek yönlü, bilyalı eksenel rulman	21
Şekil 1.12 : Aynı iç veya dış çapa sahip farklı büyüklüklerdeki rulmanlar.....	23
Şekil 1.13 : Plastik malzemelerin sınıflandırılması	24
Şekil 1.14 : Termoplastik ve termoset malzemelerin erime karakteristikleri.....	25
Şekil 2.1 : Mevcut ön yataklama grubu önden görünüşü	28
Şekil 2.2 : Mevcut ön yataklama grubu arkadan görünüşü	29
Şekil 2.3 : Mevcut tambur grubu kesit görünüşü.....	30
Şekil 2.4 : Mevcut tambur grubu genel görünüşü	31
Şekil 2.5 : Radyal sürtünmeli yatak grubu görünüşleri	32
Şekil 2.6 : Arka yataklama kesit görünüşü	33
Şekil 2.7 : Arka yataklama montajlı görünüşü	34
Şekil 2.8 : Kayış kuvvetlerinin şematik görünüşü	35
Şekil 3.1 : Mevcut tambur ön sacı kesiti	58
Şekil 3.2 : Mevcut tambur ön sacı – ön yataklama kesiti	58
Şekil 3.3 : Radyal sürtünmeli yatak montajlı görünüşü.....	60
Şekil 3.4 : Tekerlek pozisyonlarının şematik görünüşü	62
Şekil 4.1 : Tekerlek grubu elemanlarının yerleşimi.....	72
Şekil 4.2 : Tekerlek grubu konsept kesiti	73
Şekil 4.3 : Tekerlek gövdesi rulman yuvası kesiti	74
Şekil 4.4 : Tekerlek gövdesi lastik birleşme kesiti	75
Şekil 4.5 : Final tekerlek grup konstrüksiyonu.....	77
Şekil 4.6 : Final tekerlek grubu kesiti	78
Şekil 4.7 : Final mil tasarımı görünüşleri	80
Şekil 4.8 : Mil çakma tezgahı genel görünüşü.....	82
Şekil 4.9 : Mil çakma tezgahı kesit görünüşü.....	82
Şekil 4.10 : Prototip mil çakma aparatı	83
Şekil 4.11 : Mevcut ön yataklama görünüşleri	83
Şekil 4.12 : Yeni ön yataklama görünüşleri.....	84
Şekil 4.13 : Mevcut – yeni ön yataklama dış yüzeylerinin karşılaştırılması	85
Şekil 4.14 : Mevcut – yeni ön yataklama iç yüzeylerinin karşılaştırılması	85

Şekil 4.15 : Eski ön yataklama kapağı görüşleri.....	86
Şekil 4.16 : Yeni ön yataklama kapağı görüşleri	87
Şekil 4.17 : Mevcut – yeni ön yataklama kapak dış yüzeylerinin karşılaştırılması...	88
Şekil 4.18 : Mevcut – yeni ön yataklama kapak iç yüzeylerinin karşılaştırılması.....	88
Şekil 4.19 : Tekerlek grubu – ön yataklama montaj yapısı	89
Şekil 4.20 : Tekerlek grubu – ön yataklama montaj kesiti	90
Şekil 4.21 : Sonlu eleman genel modeli	92
Şekil 4.22 : Sonlu eleman detay modeli	92
Şekil 4.23 : Tambur ön sacı analizi sınır koşulları	93
Şekil 4.24 : Sistem modelinin genel davranışı.....	95
Şekil 4.25 : Mevcut – yeni tambur ön sacı profillerinin karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.26 : Tambur radyal tapası izometrik görüşü.....	97
Şekil 4.27 : Tambur radyal tapası – tambur ön sacı kesiti.....	97
Şekil 4.28 : Yeni yataklama sistemi genel kesiti	98
Şekil 4.29 : Yeni yataklama sistemi detay görüşleri.....	99
Şekil 4.30 : Yeni yataklama grubu parçaları.....	100
Şekil 4.31 : Yeni yataklama grubu parçaları detay görüşler.....	100
Şekil 5.1 : Tekerlek ömür testi düzeneği genel görüşü.....	107
Şekil 5.2 : Tekerlek ömür testi baskı kuvveti kontrolü.....	107
Şekil 5.3 : Tekerlek baskı kuvvetinin ayarlanması	108
Şekil 5.4 : Tekerlek ezilme testi ölçüm düzeneği	109
Şekil 5.5 : Sistem ömür testi laboratuvarı.....	112
Şekil 6.1 : Final değerlendirmesi yapılan demonte edilmiş kurutma makinesi	120

SEMBOL LİSTESİ

μ	: Sürtünme katsayısı
α, β	: Açı değerleri
i	: Çevrim oranı
F	: Kuvvet
F_S	: Sürtünme kuvveti
F_N	: Normal kuvveti
V	: Hız
ν	: Poisson oranı
M	: Moment
D	: Çap
R	: Yarıçap
I	: İş
k	: Histerisiz kayıp faktörü
H	: Sertlik
B	: Genişlik
L	: Uzunluk
m	: Ağırlık
A	: Kesit alanı
P	: Basınç

ÇAMAŞIR KURUTMA MAKİNESİ YATAKLAMA SİSTEMİNİN PROBLEMLERİNİN İNCELENMESİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde özellikle büyük şehirlerde nüfus artışı beraberinde gelen küçük arazilere yüksek katlı bina yapımı, balkonsuz ve dar alanlı daire tiplerine yönelmeye sebep olmuştur. Çamaşır yıkama sonrasında, geçmişten gelen ıslak çamaşırları asarak kurutma yönteminin özellikle yeni yapılaşmalar ile birlikte zor bir hale gelmesi ve geliri yüksek kesimin gerek görsel gerekse konfor açısından bu yöntemden uzaklaşması ile çamaşır kurutma makineleri geliştirilmiştir.

Çamaşır kurutma makineleri görsel ve teknik olarak çamaşır makinelerine benzemektedir. Özetle çamaşır yıkama işlemi sonrası ıslak çamaşırlar kurutma makinesinin yükleme ağzından tambur içine yerleştirilir. Sonrasında gerekli programın başlatılması ile bir fan tarafından ortamdan emilen havanın bir ısıtıcı vasıtası ile sıcaklığı yükseltilerek tambur içine verilir. Elektrik motoruna bağlı kayışlı bir tahrik mekanizması tarafından döndürülen tambur içindeki çamaşır kütlesi üzerinden geçirilen sıcak hava kurutma işlemini gerçekleştirir. Kondenserli kurutma makinelerinde kurutma sonrası hava, kondenser ve ikinci bir hava emiş fanının yardımı ile kapalı çevrime tabi tutulur. Bacalı kurutma makinelerinde ise kullanılan hava bir baca ile direkt olarak dışarıya atılır.

Çamaşır kurutma makinelerinde tambur devri düşük seviyelerdedir ve genel yataklama prensibi kuru sürtünmeye dayanmaktadır. Kurutma makinesi ön platformunu oluşturan ön yataklama adındaki büyük plastik parça üzerine yerleştirilen sürtünme direnci düşük, aşınma dayanımı yüksek plastik parçalar yardımıyla tamburun yataklanması sağlanmaktadır.

Her ne kadar düşük devirli bir çalışma söz konusu olsa da, kuru sürtünmeli yataklama belli bir direnç oluşturmaktadır. Bu direnç özellikle çamaşır yükünün artması ile daha yüksek mertebelere ulaşmaktadır. Sürtünme direncinin yüksek olması dolayısı ile tahrik mekanizmasının gerektirdiği gücü arttırmaktadır. Bu nedenle motor tarafından çekilen güç artmakta, enerji tüketimi yükselmekte ve tahrik kayışı zorlanmaktadır. Aynı zamanda sürtünmeli yataklamanın aşınma direncine bağlı belli bir ömrü bulunmakta, zamanla verimi düşmektedir.

Özellikle günümüzde enerji kaynaklarının kısıtlılığına bağlı olarak her ülke belli enerji standartları uygulamakta, hatta belli enerji tüketimine sahip olmayan beyaz eşyaların satışını yasaklamaktadır.

Bu çalışmanın hedefi; mevcut yataklama sisteminin çeşitli test ve hesaplar ile incelenmesini, sonrasında daha iyi bir yataklama sisteminin araştırılmasını, analizini ve testleri sonucunda uzun ömürlü, kayış problemlerini önleyici ve kurutma makinesi enerji performansını iyileştirici bir yataklama sistemi tasarımını içermektedir.

EXAMINE OF THE PROBLEMS AND DEVELOPMENT OF THE BEARING SYSTEM OF A CLOTHES DRYER MACHINE

SUMMARY

Nowadays, especially in big cities, high floored buildings like skyscrepers which came along with the limit of big areas for buildings resulted in apartments with little living area and no balconies. With these new types of apartments and also the choice of people with higher incomes about the functionality and visuality of drying clothes by hanging, made the clothes dryer machines to be developed.

Clothes dryer machines looks like washing machines in visuality and technical properties. Briefly after washing the clothes, they are taken from the washing machine and inserted in a dryer through a large front loading. Later with the start of the drying program, air from outside is taken in the dryer and then after being heated by a heater, the hot air is given through the drum. The hot air dries clothes in the drum which is driven by a drum belt driven by an electric motor. In the dryers with condenser, the air is kept inside the machine with a cycle by two fans. In vented type dryers, the used air is given outside of the machine after a cycle.

Rpm of the dryer machines is low and they are using dry friction based bearings generally. Plastic parts with high abrasion resistance and low friction resistance are used on the big plastic front bearing part in order to the bearing of the drum of the dryer machine.

In spite of the lower rpm, dry friction based bearing systems cause a resistance force along the drum face. Also this resistance gets higher with more and more loading of clothes. Higher friction resistance also results in higher need of driving mechanism power. So the power taken by the electric motor increases, energy consumption increases and driving belt is much more sweated. Besides, the dry friction based bearings with high abrasion resistance acts a limited life cycle, so the performance of the bearing is decreases during a machines life cycle.

Especially, nowadays all over the world the consumption of energy is a big problem and some countries also banned the inlet of dryer machines with high energy classes like C,D and E.

The aim of this project is summarized as the examine of existing bearing system with some tests and calculations, research, analyse, calculations of a better bearing system with longer life cycle without driving belt problems and beter energy class performance.

1 GİRİŞ

Bu tez genel anlamı ile günümüz yaşantısında önemi gittikçe artmakta olan yeni nesil çamaşır kurutma makineleri ve bunların yataklama sistemleri ile ilgilidir.

Aslen temeli 20. yüzyıl başlarına dayansada çamaşır kurutma makineleri ülkemizde son yıllarda yaygınlaşmaya başlamış ve yeni bir sektör oluşturmuştur. Çamaşır kurutma makineleri, özellikle kırsal yerleşim sisteminden şehir yerleşimine geçiş ve buna bağlı küçük ya da balkonsuz apartman dairelerinde yaşamı beraberinde getirmesiyle önemini arttırmıştır.

Çamaşır kurutma makineleri genel fonksiyonları olarak; yıkama sonrası nemli çamaşırları düşük devirle dönen bir tambur içerisinde sıcak hava yardımı ile kurutmaktadır. Kurutma sonrası bazen ütüleme dahi gerektirmemesi sebebi ile bu makineler yeni apartman yaşamına uyum sağlamakla birlikte aynı zamanda ciddi bir zaman kazancı da oluşturmaktadır.

Son yıllarda dünyada enerji kaynakları ile ilgili yaşanan sıkıntı birçok sektörde olduğu gibi beyaz eşya sektöründe de belirli enerji tüketim kısıtlarını birlikte getirmiştir. Belirli standartlar doğrultusunda beyaz eşyalar enerji tüketim sınıfına ayrılmakta ve bu sınıfları ülke pazarlarına giriş niteliği dahi taşımaktadır. Bu nedenle bir makinenin enerji tüketimi miktarı sadece ekonomik ve küresel avantaj değil aynı zamanda ülke pazarlarına girişte önem taşımaktadır.

1.1 Giriş

Söz konusu çalışma bir “kondenserli çamaşır kurutma makinesi” nin tahrik grubuna bağlı yataklama sisteminin incelenmesini, problemlerinin belirlenmesini ve giderilmesini içermektedir.

Öncelikli olarak örnek bir çamaşır kurutma makinesi baz alınarak inceleme yapıldığında şu özellikler ve problemler gözlenmiştir ;

- Ana tahrik elemanını 2850 d/d kapasiteli bir elektrik motoru oluşturmakta ve $i=51$ gibi yüksek bir döndürme oranı ile 55 d/d'lık tambur hareketini sağlamaktadır.
- Tambur grubu arka tarafında bir mil vasıtası ile ön tarafında ise ön yataklama adı verilen büyük plastik yapıya monte edilen radyal yataklama adı verilen 3 ila 4 parçanın üzerinde kuru sürtünmeli olarak yataklanmaktadır.
- Ön kısımda bulunan radyal yataklar plastik birer parça olup zamanla aşınmakta ve makine ömrünü kısıtlamaktadır.
- Ön taraftaki bu kuru sürtünmeli yataklama ciddi bir direnç oluşturmakta ve motor tarafından verilmesi gereken tork gücünü ve buna bağlı enerji tüketimini arttırmaktadır.
- Kuru sürtünmenin oluşturduğu direnç artan çamaşır yükü ile paralel olarak artmaktadır.
- Yine bu kuru sürtünme kaynaklı yüksek direnç motor ile tambur arasında tahriki sağlayan kayışın patinaj etkisi yapmasına ve kayış ömrünü kısaltmasına yol açmaktadır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Yapılacak çalışmanın genel olarak amacı çamaşır kurutma makinesi yataklama sisteminin iyileştirilmesini içermektedir. Bunu yaparken de öncelikle mevcut durum incelenecek ve problemler detaylı olarak belirlenecektir. Sonrasında ise iyileştirilmiş yeni yataklama sisteminin konstrüksiyonu yapılacaktır. Son olarak bu yeni sistemin testleri yapılacak ve testler sonrası mevcut ile mukayesesi gerçekleştirilecektir.

Çalışmanın ilk aşaması olan mevcut durumun incelenmesine tek tek parçaların etüdü ile başlanacak ve sorunlu özelliklerin testleri yapılarak problemin boyutları gözlenecektir.

Makinenin ilk genel gözlemlenmesinde kuru sürtünmeli radyal yatak parçalarının problem oluşturduğu saptanmaktadır.

Bu nedenle kuru sürtünme sonucu oluşan direnci azaltmak ve kısıtlı ömür gibi sorunları ortadan kaldırmak için öncelikli yeni bir yataklama sistem modeli geliştirilmelidir. Dolayısı ile yeni model saptanarak bu yeni sistemin parçalarının konstrüksiyonu yapılacak ve yine çeşitli hesap ve etüdler ile uygunluğu kontrol edilecektir.

Çalışmanın son iki bölümünde geline yeni noktada oluşturulan prototipler ile makine sistemi mevcut durumunkine benzer ve yeni testlere tabi tutularak sonuçlar gözlemlenecektir. Sonuçların mevcut ile mukayesesi ile nihai değişiklikler belirlenecek ve bu yeni sistemin uygulanabilirliğine geçilecektir.

1.3 Çamaşır Kurutma Makinesi

Çamaşırların kurutulması yüzyıllardan beri en doğal yöntem olan ve enerji harcanmadan atmosferdeki hava olaylarının bir sonucu olarak gerçekleşen rüzgarla yapılmaktadır. Bu yöntemin kısıtları ise uzun sürede gerçekleşmesi, havanın yağışlı olmaması gibi nedenler şeklinde sıralanabilir. Şehirleşmenin gelişmesine paralel olarak şehirlerde yaşayan nüfusun artması ve teknolojinin hayatımızı kolaylaştırmasının yanı sıra hızlandırması özellikle gelişmiş ülkelerdeki kentlerde yıkanan çamaşırların kurutulması için geleneksel yöntemler dışında bir teknik geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Çamaşır kurutma makinesi genel tanım olarak ıslak çamaşırların üstündeki nemi istenilen seviyeye kadar azaltan bir makinedir. Çamaşır kurutma makinesi de yaklaşık 20 yıllık bir gelişmenin ardından bugün beyaz eşya sektöründe kendine ayrılan payı arttırmaktadır. Gelişmeler ülkemize de yansımaktadır.

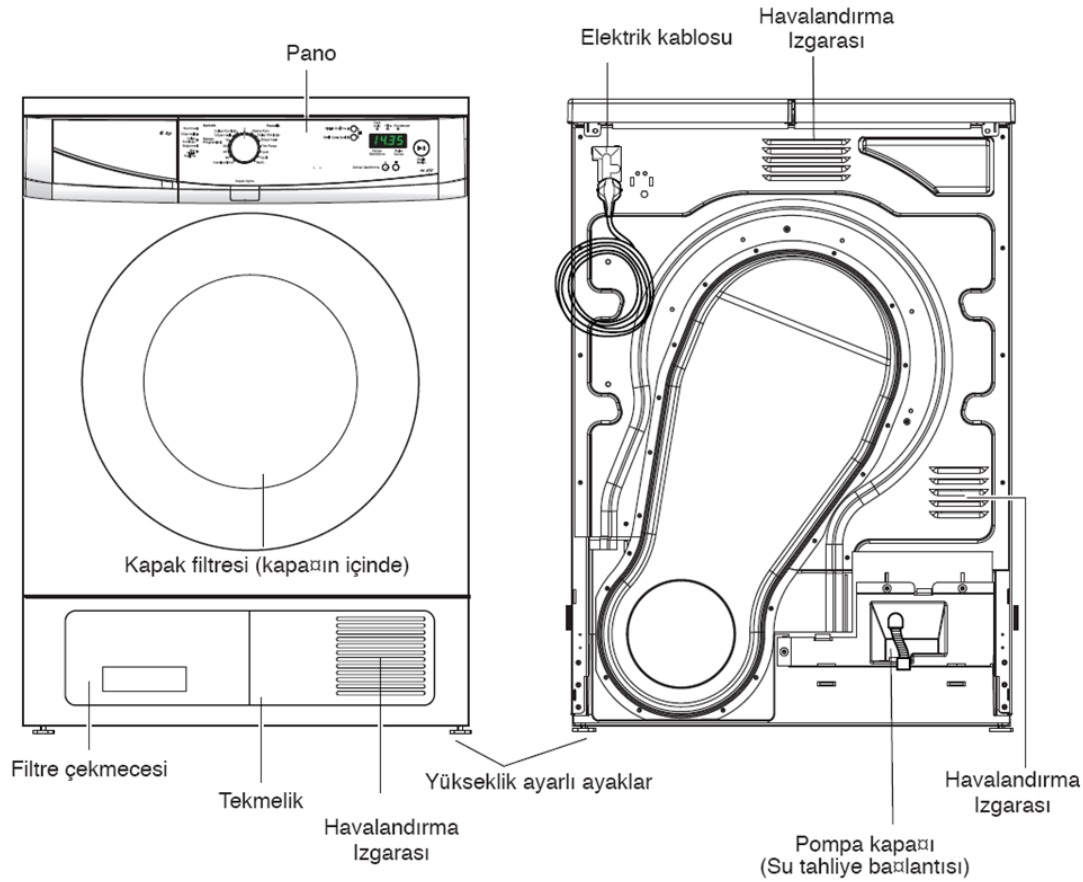
Günümüzde ev kullanıcıları için üretilmekte olan çamaşır kurutucuları nemi alma şekillerine göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar; ısı pompalı, bacalı ve kondenserli olanlardır.

Isı pompalı olanlar ortam havasını elektrik enerjisi kullanmadan bir pompa yardımıyla ısıtarak kurutma gerçekleştirirler. Böylece diğer türlerden daha az enerji harcarlar. Ama satış fiyatlarının yüksek oluşu kullanıcı sayısındaki artışa engel teşkil etmektedir.

Bacalı diye tarif edilen tip ise ortam havasının elektrik enerjisi ile ısıtılıp çamaşırların kurutulmasına ve sonrasında nemlenen havanın ortam dışına atılmasına dayanır. Havanın dışarı atılması için bir tahliye kanalı kurulmalıdır. Verimi kondenserli olandan yüksek olmakla birlikte nemli havanın dışarı atılmasının getirdiği sağlık ve konfor problemleri nedeniyle giderek daha az tercih edilir olmuştur.

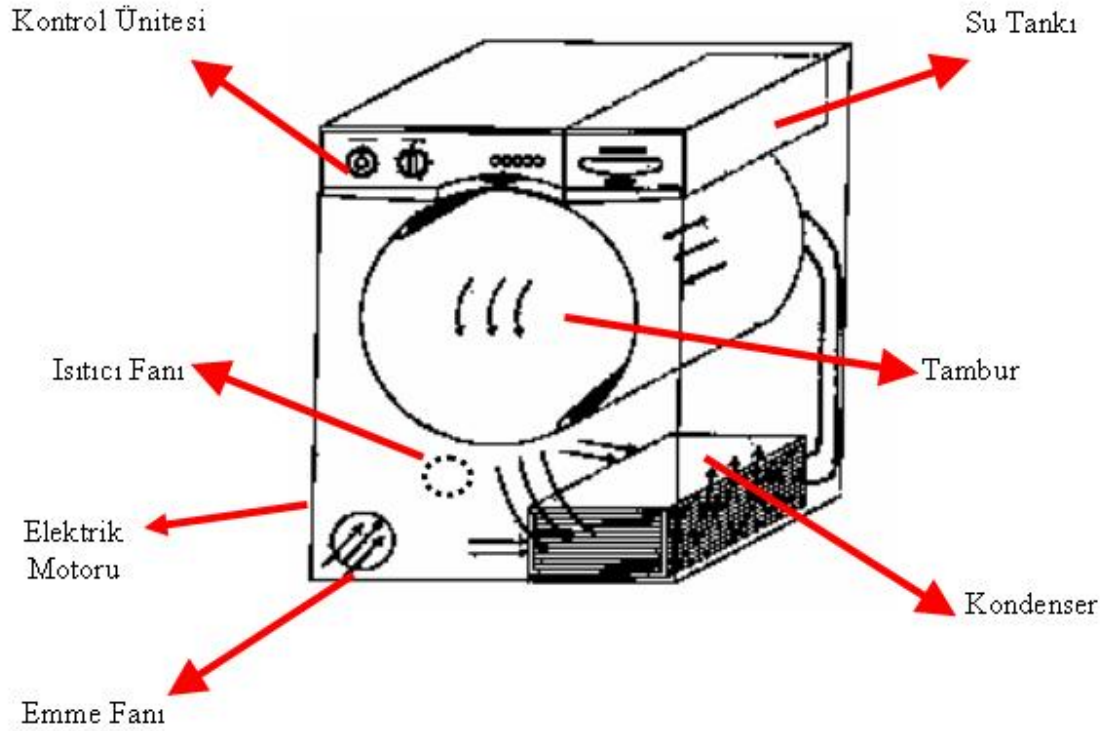
Kondenserli olanlar ise piyasada en çok tercih edilen türdür. Bunun nedenleri ise ısı pompalıya göre daha ucuz olması, bacalı gibi dışarı nemli havayı bırakmayıp sağlık ve konfor problemlerine yol açmamasıdır. Yapısı bacalıya çok benzer ikisi de kurutma için kullanılan havayı elektrik enerjisi kullanarak ısıtır. Ama kondenserli kurutucuda aynı kurutma havasını tüm işlem boyunca kullanmak için bir ısı değiştirici bulunmaktadır. Kondenserli bir kurutma makinası Şekil 1.1’de görülmektedir.

Projenin uygulanması için kondenserli tür kurutucu seçilmiştir ve bundan sonraki aşamalar kondanserli kurutucu için yapılmıştır.



Şekil 1.1 : Çamaşır kurutma makinesi genel görünüşü

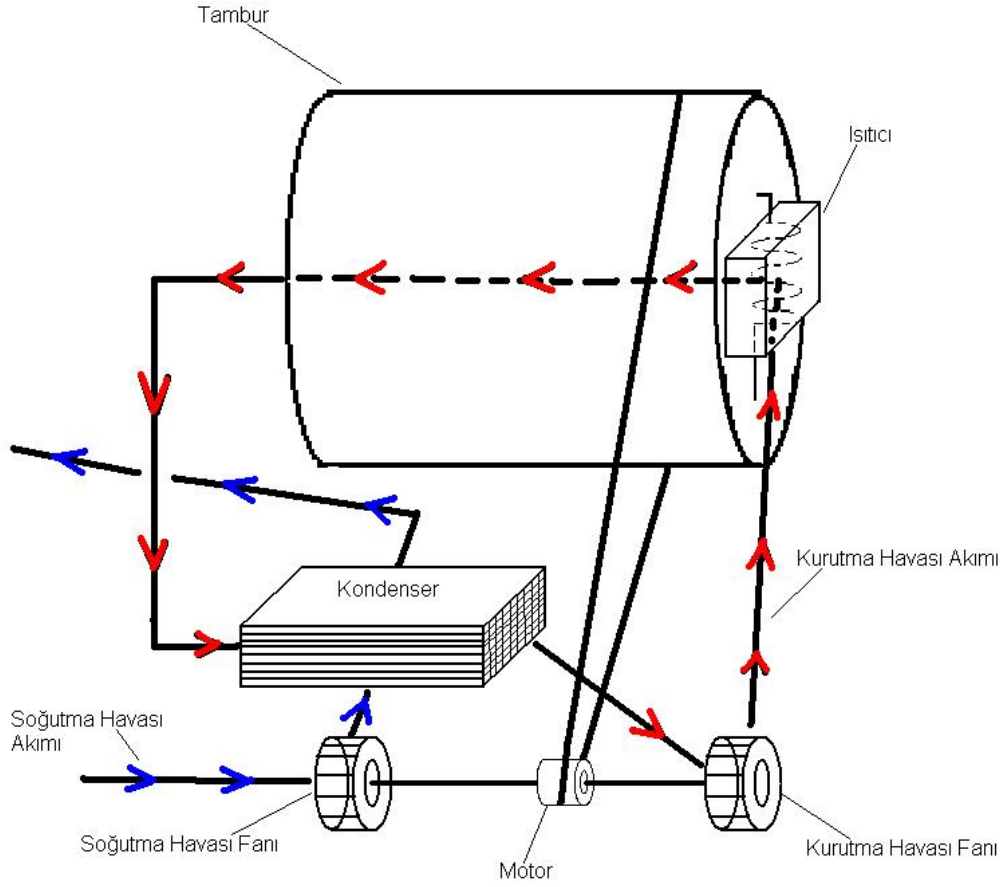
Kondenserli kurutucu, temel olarak; tambur, kondenser, elektrikli ısıtıcı, elektrik motoru, ısıtıcı ile emme fanları, pompa, hav filtresi, su tankı ve kontrol ünitesinden oluşur. Üniteler ve yerleşim planı Şekil 1.2’ de görülmektedir.



Şekil 1.2 : Çamaşır kurutma makinesi genel yapısı

Çamaşır kurutma makinelerini temel fonksiyonu açısından da anlaşılabilirdiği gibi nemli yani yeni yıkanmış olan çamaşırları kullanıcının isteği doğrultusunda istenilen kuruluk derecesine ulaştırmaktır. Bunu yaparken kullanıcının kontrol ünitesi yardımıyla kendisine ulaştırdığı komutları algılar ve böylece işlem süresini, çamaşırların nem derecesini, kurutma sıcaklığını, tambur dönüş hızını, dönüş programını, pompanın çalışma programını ayarlayarak istenilen kuruluk derecesine ulaşılmasını sağlar.

Çamaşır kurutma makinesi kendinden beklenen bu fonksiyonu gerçekleştirmek için birbiri ile doğrudan temas etmeyen iki adet hava akımının birbirleri ile etkileşiminden yararlanmaktadır. Bu yararlanma bir ısı geçişi olarak tanımlanır. Bu ısı geçişini soğutma havası akımı ve kurutma havası akımı diye tanımlanabilecek iki akış gerçekleştirir. Bir konserli makine çevrim şeması Şekil 1.3’te gösterilmiştir.



Şekil 1.3 : Çamaşır kurutma makinesi çevrimi

Soğutma havası akımı, makinanın arkasından elektirik motoru ile tahrik edilen bir fan yardımıyla ortamdan çekilen hava ile başlar. Çekilen ortam havası, tamburdan geçen nem yüklü kurutma havasını soğutmak için, kondensere doğru yönlendirilir. Kondenserin kanallarından geçen soğutma havası, ısı taşınımı sayesinde kurutma havasını soğutarak nemini bırakmasını sağlar ve kondenserden geçerek tekrar ortama verilir.

Kurutma havası, soğutma havasında farklı olarak işlem boyunca kapalı bir çevrim boyunca döner ve kayıplar ihmal edilirse aynı hava kurutma boyunca kullanılır. Kurutma havası, ortamdan makine içine alınır. Elektirikli ısıtıcı üzerinden geçen kurutma havası böylece ısınır. Isıtıcıdan geçen kurutma havası, tamburun arka duvarına açılmış çevresel deliklerden geçerek elektirik motoru ile tahrik edilen dönen tambur içine ulaşır. Islak çamaşırların üzerinden geçen kurutma havası nemce zenginleşip, doyma noktasına ulaşır. Nemle yüklü kurutma havası, tambur önündeki filtereden geçerek tamburdan çıkar ve kondensere doğru yönlenir.

Kondenserden geçen nem yüklü kurutma havası, aynı anda kendisine dik doğrultuda kondenserden geçen soğutma havası ile iletken kanal duvarları sayesinde ısı alışverişinde bulunarak nemini kondenserin kanatlarında bırakarak kondenserden ayrılır. Nem, kanatlar boyunca yoğunlaşır ve kondenserin altında bulunan bir haznede birikir. Bu haznede, su belirli bir seviyeye ulaşınca bir şamandıra aracılığıyla su pompası uyarılır ve suyun pompa ile makinenin üstünde bulunan bir depoda toplanması sağlanır. Depo, her kurutma sonrasında boşaltılır. Kondenserden ayrılan nemini bırakmış kurutma havası elektirik motoru ile tahrik edilen bir fan ile çekilerek tekrar ısıtıcıya yönlendirilerek çevrimin başına dönülür ve bu çevrim, kurutma işlemi boyunca tekrarlanır.

Söz edilen bu çevrimlerin kullanıcının tercihlerine uygun sonuç verecek şekilde gerçekleşmesini sağlamak için istenen seçeneklere karşılık gelecek ve de optimum enerji harcanacak şekilde makine bünyesindeki elemanların çalışmasını kontrol bir program profili oluşturulmaktadır. Yani; program profili; nem düzeyinin, kurutma verimini ve harcanan enerji düzeyini etkileyen önemli bir kontrol ünitesidir. Tambur içine yerleştirilen giysilerin cinsine ve istenen kuruluk derecesine göre farklı alternatifler sunmalı ve aynı zamanda gücün de etkin bir şekilde kullanılmasını düzenlemelidir. Program profili kavramını şu şekilde açıklayabiliriz:

Kurutma işlemi boyunca ısıtıcı, tambur ve pompada farklı zamanlarda farklı oranlarda enerji harcanmaktadır. Söz edilen elemanlar, optimum enerji harcanması için kurutma işlemi boyunca kesintili olarak çalışmaktadır. Isıtıcı, tambur ve pompanın çalışma alternatifleri farklı kumaş türleri ve kuruluk derecelerine göre sınıflandırılmaktadır. Mesela; pamuklular için ekstra kuru, giyilebilir kuruluk veya ütü kuruluğu gibi ayrımlar yapılabilmektedir. Kullanıcı tarafından seçilen her program için farklı kurutma süreleri ve farklı çevrimler uygulanarak kurutma gerçekleştirilmektedir.

Motor, tamburun içindeki giysilerin kurutma esnasında birbirlerine yapışmalarını engellemek ve tamburun içinden geçen kurutma havasının daha etkin biçimde giysilerin yüzeyine nüfuz etmesini sağlamak amacıyla belirli bir süre bir yöne dönmekte sonra kısa bir süre için durduktan sonra aksi istikamette önceden belirlenen süre zarfında dönüş yapmakta ve sonra tekrar kısa bir süre durup hareket çevrimini tamamlamaktadır. Tamburun bu dönüşü seçilen program boyunca havalandırma, ısıtma ve buruşukluk giderme gibi alt kademelerde farklı dönüş ve duruş zamanlarını takip etmektedir.

Pompa, işlem boyunca kurutma havasının nemi alındıkça kondenserin alt haznesinde toplanan suyu tamburun üzerinde bulunan bir depoya göndermekle görevlidir. Suyun nem halinden sıvı hale geçip birikmesi kısa sürede gerçekleşmediği için pompa belirli aralıklarla çalıştırılmaktadır. Mesela; bir çevrim içinde 30 saniye çalışıp sonra 20 saniye durabilir. Sonra tekrar 30 saniye kadar daha çalışıp 25 saniye kadar durup tekrar çalışmaya başlayarak çevrimini tamamlamış olur. Pompanın çalışma ve bekleme zamanları doğrudan kurutma programıyla yani; ısıtıcı gücüyle proses havasının dolanma hızıyla bir başka deyişle nemin toplanma hızından etkilenecek şekilde düzenlenmektedir.

Kurutucuların en fazla güç çeken elemanı olan ısıtıcı da seçilen kurutma programına göre çeşitli koşullarda görev yapmaktadır. Kurutma boyunca bazen çalışıp bazen durmakta ayrıca çalışırken de çamaşırların kuruluk derecelerine göre ve çamaşırlara zarar vermemek için farklı güç modlarında çalışabilmektedir. Genelde kurutma profillerinde program başlangıcında havalandırma devresi denilen bir aralıkta çalışmamaktadır. Ardından 3 aşamalı bir ısıtma sürecine girilmekte bu aşamalarda farklı zaman aralıklarında farklı güçler çekmektedir. Son kademe olan kırıyık giderme kademesinde ise ısıdan dolayı birbirine yapışan giysileri ayırmak ve kırıyıklıkları azaltmak için ısıtıcı kapatılmaktadır.

Açıklanan tüm koşullar istenen nem seviyesini en az enerji ve zaman harcayacak şekilde üreticiler tarafından belirlenmektedir.

1.4 Literatür Araştırması

Bu başlık altında çeşitli kaynaklardan elde edilen ve tez konusunun hedeflediği doğrultuda bilgi kaynağı sağlayacak yazılı dökümanlara yer verilecektir.

Kullanılacak bu dökümanların her birine ileriki bölümlerde atıflar yapılacaktır.

1.4.1 Sürtünme

Genel olarak sürtünme, aralarında görece hız farkı bulunan cisimlerin birbirine sürtünen yüzeylerinde harekete karşı ortaya çıkan dirençtir. Bu dış sürtünmedir. Malzemenin bünyesi içinde birbirini kuvvetli bağlarla tutan moleküllerin yer değiştirmeye karşı direnmeleri esnasında kaybolan enerji ise iç sürtünmedir. Örneğin viskozite sıvılarda iç sürtünmedir. Sürtünme kuvvetinin yönü hareket yönüne terstir. Frenlerde ve bazı kavramalarda kendisinden yararlanan sürtünme direnci yataklarda istenmeyen, olabildiğince küçültmek için çalışılan bir etkidir. [1]

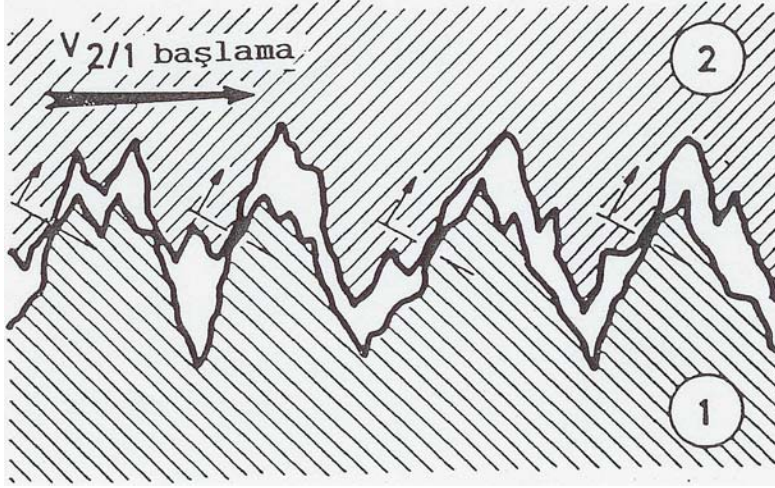
Bütün metallerin yüzeyleri ne kadar parlak ve düz bir görünüşe sahip olsa da mikroskopik olarak pürüzlüdür. İki yüzey sürtündüğü takdirde, temas, asperitiler (pürüz uçları) arasında gerçekleşir. İki pürüzlü yüzeyi ele alalım; statik ortamda, durgun halde her iki zıt yüzlerin birbirlerine göre hareketine statik sürtünme adı verilir. Aralarında yağlayıcı bulunmaması nedeniyle sürtünme katsayısı en yüksek değerindedir. Düşük kayma hızlarında ise sürtünme süreksizdir. Hareket yapışma-kayma şeklinde devam eder ve hızdaki artış sonucu sürtünme sadece pürüzlerin en uç kısımlarında gerçekleşir. Dolayısı ile sürtünme katsayısı azalır. Bu son duruma dinamik sürtünme adı verilir.

Pürüz temasının değişmesi sebebiyle yüzeylerdeki gerçek temas alanı ile gizli temas alanları arasında farklar mevcuttur. Bu oran 1/103 ila 1/104 arasındadır. Bu da temas basıncını değiştirmektedir.

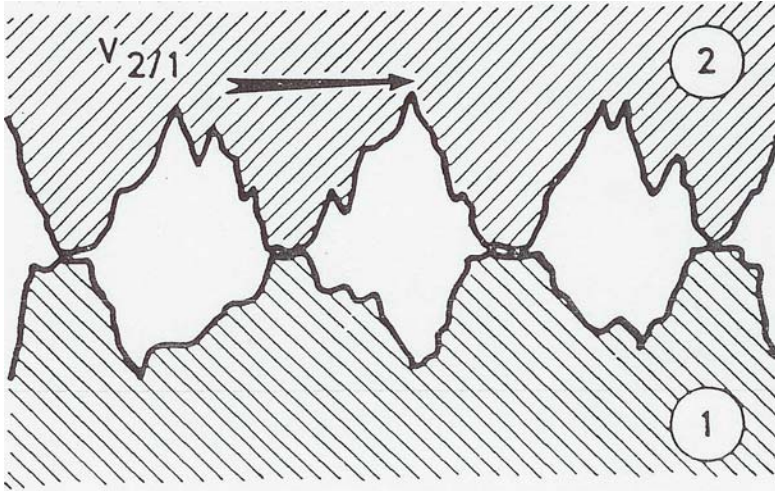
İki yüzey birbirine göre hareket halinde iken sürtünme etkisi ile yüksek basınçlara bağlı olarak ısı enerjisi oluşur ve temas eden pürüz uçları plastik deformasyon sonucu birbirlerine kaynarlar. Kaynama; soğuk kaynama veya sıcak kaynama şeklindedir. Sıcak kaynama malzemenin yeniden kristalleşmesi ve iç difüzyonu ile ilgilidir. Soğuk kaynama ise düşük sıcaklıklarda metal yapışması şeklindedir. [2]

$$\text{Sürtünme katsayısı} = \frac{\text{Sürtünme Kuvveti}}{\text{Uygulanan Kuvvet}} = \mu = \frac{F_s}{F_N} \quad \text{olarak tanımlanır.}$$

[2] (1.1)



Şekil 1.4 : Statik sürtünme



Şekil 1.5 : Dinamik sürtünme [2]

Plastiklerin sürtünme ve aşınma özellikleri dişli çarklar, kaymalı ve yuvarlanmalı yataklar, kızaklar gibi elemanlarda büyük önem taşımaktadır.[3]

- Sürtünme katsayısı kuru (esas olan), sınır ve sıvı sürtünme koşullarında tayin edilebilir.
- Plastikler kuru sürtünme haline metallere göre çok iyi davranmaktadırlar.
- Sürtünme katsayısı deneyler ile tayin edilmektedir.

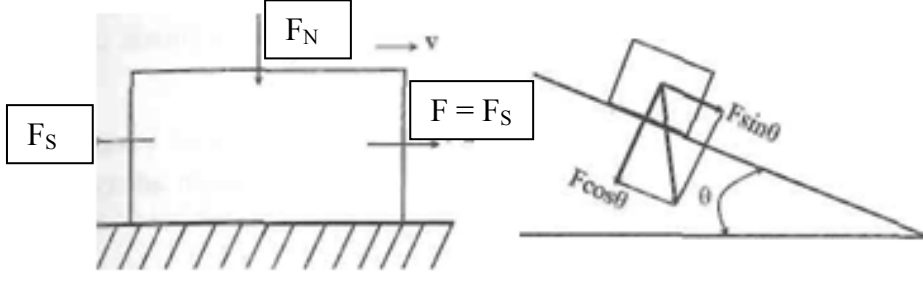
- Plastiklerin statik ve kinematik sürtünme katsayıları arasında farklar vardır.
- Plastiklerin sürtünme katsayıları polimer veya metal temas durumunda kayma hareketi sırasında 0,1 - 0,5 arasında değişir, bu aralığın dışında da değerler görebilir.
- Sürtünme katsayısı normal yük, kayma hızı ve sıcaklıkla belirli bir miktar değişir.[3]

1.4.1.1 Kayma sürtünmesi

Tribolojide kuru ve temiz yüzey ile metalik temiz yüzey kavramlarını birbirinden ayırmak önemlidir. İmalat süreci esnasında metalik yüzeylerde ezilme ve en dıştaki moleküllerin eriyip donması sonucu çok ince bir kristal tabaka oluşur. Çoğu metallerde bu tabaka havanın oksijeni ile reaksiyona girerek oksit tabakasına dönüşür. Oksit tabakasının dışında toz, kir, nem ve yağ moleküllerinden oluşan bir örtü bulunur. Deterjan ve benzeri maddelerle yıkanmış ve kurutulmuş bir yüzeyde en dıştaki örtü temizlenmiş olmaktadır. Ancak bazan asıl metalden daha dayanıklı olabilen oksit tabakası ise yüzeyde kalmaktadır. Bu kuru ve temiz yüzeydir. Metalik temiz olabilmesi için oksit tabakasının da yüzeyden kaldırılması gerekir. Bu ancak yüzeyin taşlanması veya alüminyum oksit için kullanılan dekapan gibi özel kimyasal maddelerle oksit tabakasının yırtılması sonucu mümkün olabilir. Eğer bazı tribolojik deneyler yapılacaksa yüzeyin oksitlenmesine fırsat verilmeden hemen vakuma alınması ve deneylerin vakumda yapılması gerekir. Çünkü metalik yüzeylerin görünürdeki değmelerinin çoğu oksit tabakaları arasında olmaktadır. Bu durum sürtünme direncini önemli ölçüde azalttığı ve bazı metallerde koruyucu rol oynadığı için yararlı bulunduğu da olmaktadır. Ancak demir esaslı metallerde zayıf olan oksit tabakası kolayca düşmekte ve bu olgu bir aşınma prosesine dönüşebilmektedir.

Yüzeyler arasında kaymayı başlatan kuvvete, statik sürtünme kuvveti, kararlı bir kaymayı sürdüren kuvvete ise dinamik sürtünme kuvveti denmektedir. Sürtünmeye ilişkin yasa niteliğinde sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.[1]

1. Sürtünme direnci görünen geometrik alandan bağımsızdır. Değme her iki yüzeydeki pürüz tepeleri üzerinde olmakta ve bu gerçek değme alanı görünen geometrik alandan küçük olup yüke bağlıdır. Yük arttıkça pürüz tepelerindeki deformasyonlar büyüyeceğinden gerçek değme alanı büyür.



Şekil 1.6 : Sürtünme katsayısının tanımı [1]

2. Sürtünme kuvveti (F_s) normal kuvvetle (F_n) dolaysız olarak orantılıdır. Bu oran tanım olarak sürtünme katsayısıdır. Coulomb'un önerdiği, Amontons'un desteklediği bu kuru sürtünme kanunu kuru iki katı yüzeyi arasında düşünülebilir. Mühendislik problemlerine pratik çözüm getirdiği için geniş kabul görmektedir. Gerçekte μ' i etkileyen (F_s yi büyüten veya küçülten) pek çok faktör vardır. Örneğin temiz ve kuru çelik/çelik sürtünmesinde $\mu=0,5$ olurken vakumda, metalik temiz çelik/çelik sürtünmesinde bu değer 10 kat büyüebilmektedir.
3. Dinamik sürtünme kayma hızından bağımsızdır. Ancak bu teori düşük hızlarda bazı katılar dışında geçerli bulunmamaktadır.
4. Statik sürtünme katsayısı dinamik sürtünme katsayısından daha büyüktür (viskoelastik malzemeler bu yasaya uymaz).[1]

1.4.1.2 Yuvarlanma sürtünmesi

Serbest yuvarlanma: Küre-düzlem arasındaki noktasal değme ve silindir-düzlem arasındaki çizgisel değme ideal anlamda gerçekleşmez. Deformasyonlardan ötürü değme alanları sırasıyla daire ve dikdörtgen şeklinde oluşur. Küre-silindir arasında ise değme alanı eliptiktir. Yük altında serbestçe yuvarlanma devam ederken değme alanının ön yarısında bir sıkışma, arka yarısında bir genişleme olur. Diğer bir deyişle değme alanının ön yarısında deformasyona uğrayan yüzeyler arka yanda düzelirler (deformasyon halinden çıkış). Ancak sıkışma sürecinde alınan enerji düzelme sürecinde aynen iade edilmez. [1]

Bu olgu elastik histerizis yüzünden bir enerji yutuşu şeklinde açıklanmakta ve yuvarlanma sürtünmesinin mekanizması olarak kabul edilmektedir. Çünkü son tahlilde sürtünme bir enerji kaybı olayıdır. Ön yandaki basınç artışı, değme alanının ortasına göre bir direnç momentinin (M) doğmasına sebep olmaktadır.

Silindir-düzlem arasındaki yuvarlanmada R yarıçaplı silindir x yolu kadar yuvarlandığında sıkışmaya karşı yapılan iş $\dot{I} = M.x/R$ kadar olacaktır. Arka yarıdaki düzelme esnasında bu işin bir kısmı iade edilirken k kesri kadarı (k.İ) yutulmaktadır. Bu tanımlamada k ya histerizis kayıp faktörü denmektedir. F_s sürtünme direnç kuvveti ise ; $F_s.x=k.\dot{I}$ yazılabilir. Diğer taraftan bir integrasyon işlemiyle $M=2.F.a/(37t)$ bulunur. Sürtünme katsayısının tanımından hareketle yuvarlanma sürtünmesi katsayısı ;

$$\mu_y = \frac{F_s}{F} = \frac{2.k.a}{3.\pi.R} \quad (1.2)$$

bulunur. Burada k histerizis kayıp çarpanı (basit çekmedeki kayıp çarpanının üç katı kadar), a değme alanının yarı genişliği (Hertz bağıntılarından bulunabilir), R silindirin yarıçapıdır.

Zorunlu yuvarlanma: Yuvarlanan cismin bir döndürme momenti tarafından yuvarlanmaya zorlanması durumudur. Otomobillerde canlı tekerlekle yol arasındaki yuvarlanma ve sürtünme bu duruma örnek gösterilebilir. Momentten doğan çevre kuvveti sürtünme kuvvetinden büyük olursa gözle görülür (makro) kaymalar olur (patinaj). Kayma olmaması için iki yüzey arasındaki sürtünme kuvveti çevre kuvvetinden daha büyük olmalıdır. Ancak bu koşul sağlansa bile, yuvarlanmanın doğası gereği, değme alanı içinde deformasyonlardan kaynaklanan mikro düzeyde kaymalar olur. Zorunlu yuvarlanmada da değme alanının ön yarısında (alana giren bölge) basınç artışı olurken arka yarısında (alandan çıkmaya hazırlanan bölge) oturma basıncında giderek azalma olmaktadır. Cismi dönmeye zorlayan çevre kuvveti ise her noktada aynı büyüklüktedir. Değme alanının ön yarısında yüksek basınçtan ötürü çevre kuvvetinden daha büyük bir sürtünme kuvveti doğabilmekte ve kaymanın olmadığı bir tutunma alanı oluşabilmektedir. Ancak oturma basıncının giderek sıfıra yaklaştığı arka yarıda sürtünme bağının çevre kuvvetine yenilmesi ve bir kayma alanının oluşması kaçınılmazdır. Bu mikro kayma dışarıdan gözle görülemez. Tutunma-kayma adını vermeyi uygun gördüğümüz bu olgu oldukça karmaşık olup triboloji derslerinde inceleme konusu olmaktadır.[1]

1.4.2 Aşınma

Aşınma kısaca sürtünen yüzeylerde malzeme kaybı olarak tanımlanabilir. Aşınma olgusuna ilişkin teorilerle kesin, ve genelleştirilebilir yargılara tam olarak varılamamış olsada belli başlı aşınma mekanizmalarına ilişkin açıklayıcı çalışmalar yapılmıştır. Belli başlı aşınma mekanizmaları; adeziv aşınma, abrasiv aşınma, yorulma aşınması, erozyon ve korozyon aşınmalarıdır.[1]

Adeziv aşınma : Pürüz tepelikleri boyunca birbirine değen yüzeylerde yüksek basınç ve hızdan ötürü yerel erime ve kaynamaların meydana geldiği bir sürtünme direnci mekanizması olarak daha önce incelendi. Hareketin devamı esnasında, birbirine kaynamış olan pürüzler (bağcıklar) kırılmaktadır. Pürüz kırılması çoğunlukla mukavemeti düşük malzeme tarafında olmakta ve ortaya aşınma ürünü parçacıklar çıkmaktadır. Bu durum zayıf malzeme tarafında bir malzeme kaybı (aşınma) olduğunu ortaya koyar.[1]

Yüzeyden kaldırılan malzeme miktarı yük (F) ve kayma yolu (L) ile doğru orantılı, malzemenin sertliğiyle (H) ters orantılıdır. Adeziv aşınma kanunu ile hacimsel aşınma miktarı;

$$V = k_1 \frac{F.L}{3H} \quad (1.3)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada k_1 adeziv aşınma katsayısı olup eş çalışan malzeme çiftlerine göre değişir. Sünek çelik çiftlerde $k_1 = 10^{-2}$, sert çelik çiftlerde $k_1=2.10^{-5}$ dolayındadır.[1]

Abrasiv aşınma : Eş çalışan yüzeylerden sert olan tarafın pürüzleri görece yumuşak olan yüzeye gömülür. Plastik deformasyonlar oluşur. Hareket esnasında sert pürüzler yumuşak tarafı kazıyarak (iz süpürme) malzeme kaldırır. Bir malzeme kaybının olması bunun aynı zamanda bir aşınma mekanizması olduğunu ortaya koyar. Sürtünmede olduğu gibi pürüzlerin bilinen belli geometrik şekillere sahip olduğu varsayılarak bazı aşınma bağıntıları geliştirilmiştir. [1]

Yorulma aşınması : Değişken gerilmelerin eş çalışan yüzeylerde yorulma sonucu yol açtığı kılcal çatlaklar ve bu çatlakların ilerleyerek kuşattıkları bir malzeme adacığının koparak yüzeyden uzaklaşmasıdır. Özellikle rulmanlı yataklar, dişliler yürek mekanizmaları gibi sırt sırta çalışan yüzeylerde sık görülür. Buna yüzeyde çukurcuk (pitting) oluşumu denmektedir. [1]

Kimyasal etkilere bağı aşınmalar : Yüzeyin, bulunduğu ortamda çevresini kuşatan maddelerle reaksiyona girmesi sonucu sert ve kırılğan yüzey tabakalarının oluşması ve daha sonra bu tabakaların parçalanarak yüzeyden düşmesi bir malzeme kaybıdır. Bu olayın ardarda tekrarlanması aşınmayı sürekli hale getirir. Üstelik bu sert parçacıklar yüzeylerin arasına sıkışarak aşınmayı dahada hızlandırabilirler. Metallerin havayla reaksiyona girerek oluşturdukları oksit tabakaları aşınmalara karşı koruyucu olabilmektedirler. Ancak küçük kaymalarda değme noktalarında oksitlenmeler (sürtünme oksidasyonu) olmakta ve daha sonra bu oksit tabakaları kırılarak düşmektedir. Bu tür aşınmalara karşı yüzeylerin katı yağlayıcılarla korunması iyi sonuç vermektedir. [1]

Elektro-kimyasal korozyon : Değme yüzeyleri arasında bir elektrikli potansiyel ve buna bağı olarak da yüzeyler arası malzeme alışverişi olmasıdır (pil teşekkülü). Uygun malzeme seçimi, yüzey kaplama malzemeleriyle yalıtma veya makinaları topraklama yollarıyla bunların önüne geçilebilir. [1]

Erozyon : İçinde gaz ve sıvı akımı olan makinalarda görülür. Akışkanın taşıdığı parçacıklar geçiş yollarında malzeme kaldırırlar. Bu tür yüzeylerde kavitasyona bağı erozyon da görülebilir. Sıyırma, yatak sarması, kenar oturması özellikle kaymalı yataklarda sıkça görülen diğr hasar türleridir.[1]

1.4.3 Kaymalı yataklar ve malzeme seçimi

Kaymalı yataklarda harekete geçme ve durma geçiş aşamalarında metal/metal değmesi kaçınılmaz olduğundan en kötü yağlama ve en ağır çalışma koşullarında dahi yatak malzemesinin mil yüzeyine zarar vermemesi arzu edilir. Çünkü mil pahalı bir elemandır. Yatağa ise tüketim malzemesi gözüyle bakılır. Görev yapamaz duruma geldiği zaman yenisiyle değiştirilir. Bu nedenle özel uygulamalar dışında, en sert yatak malzemesi bile mil yüzeyine nazaran çok daha yumuşaktır. Bundan ötürü özellikle yatak alaşımları tek başlarına yeterli mukavemete sahip olmadıklarından daha sert ve dayanıklı bir zarf üzerine serilerek mil yüzeyine karşı çalıştırılırlar.

Yatak malzemelerinden aşağıdaki özelliklere sahip olması istenir:

- 1- Yağ tarafından iyi ıslatılabilmelidir (ıslanma yeteneği). Sınır ve yarı sıvı sürtünme koşullarında büyük önem taşır.[1]

- 2- Yüzey yorulmasına ve bası yüküne karşı yeterli mukavemete sahip olmalıdır. Çoğu kez yataklardaki zorlanma değişken olmaktadır. Yorulmaya bağlı olarak yüzeylerde çatlaklar oluşabilmektedir. Bu nedenle alaşımın sürekli mukavemet durumuna erişmesi ve buna uygun değerlere sahip olması gerekir.
- 3- Isıl özellikleri iyi olmalıdır (ısıyı iyi iletmeli, az genleşmeli, sıcaklıkla yapısı değişmemeli).
- 4- Yağsız bir süre çalışabilmeli (yağ kesilmesi durumunda mile hemen kaynamamak, kısa bir süre için de olsa, film teşkil etme özelliğine sahip olmalı).
- 5- Ağır olmamalı (hafif yapı), döküm ve talaş alma işçiliği kolay olmalı, düzgün bir yüzey vermeli.
- 6- Korozyona karşı dayanıklı olmalı.
- 7- Sert yabancı parçacıkları yutarak (bünyesine gömüp yok ederek), yüzeylerin abrasiv aşınmalardan zarar görmesini önlemelidir.
- 8- Hafif olmalı, ucuz ve bol bulunabilir olmalı.

Yatak malzemeleri genel olarak ;

I – Metalik yatak malzemeleri

II – Metalik olmayan yatak malzemeleri

III – Sentetik yatak malzemeleri

olmak üzere 3 grubu ayrılır.

Bu 3 grup malzemeden tez konusu ile ilgili olarak sentetik yatak malzemeleri, plastikler incelenecektir. [1]

Plastikler yatak malzemesi olarak denenmiş, özellikle PTFE (politetrafloretillen veya kısaca teflon) ve naylon (poliamid) dan iyi sonuç alınmıştır.

PTFE kuru şartlarda küçük bir sürtünme direnci göstermesi, -200°C ... $+200^{\circ}\text{C}$ arasında kararlılığını koruyabilmesi, sudan ve asitlerden etkilenmemesi, korozyona karşı dayanıklı olması gibi üstün özelliklere sahiptir. Elektrik akımını iletmezler. Mukavemetleri düşük olduğundan cam yünü, grafit, MoS_2 , bronz, kurşun gibi dolgu maddeleriyle kuvvetlendirilebilirler. Dolgusuz PTFE' nin sürtünme katsayısı 0,02 dolayında iken dolgulularda bu 0,1 e kadar büyüyebilir. Epoxid-sentetik reçinelere PTFE katılarak hazırlanan malzemeler de kullanılmaktadır.

Her durumda iskelet görevi yapan çelik veya bronz bir zarfın üzerine serilerek kullanılmaları gerekir.

Naylon korozyona karşı büyük direnç gösterir. Suyla temas ederse belli oranda emer ve şişerek boyutları değişir. Havanın neminden de etkilenir. Çalışma sıcaklığı 60°C ' ı geçmemelidir. Yatağın yük taşıma kabiliyetini gösteren bir ölçüt olan pv (basınç.hız) değeri dolgu PTFE ye yakındır.

Lastik ve benzer elastomerler sulu ortamlarda iyi yataklama özelliği gösterirler.[1]

1.4.4 Rulmanlı yataklar

Kayma hareketi ve kayma sürtünmesinin söz konusu olduğu kaymalı yataklardan sonra sürtünme durumunun ağırlıklı olarak "yuvarlanma sürtünmesi" şeklinde olduğu rulmanlı veya yuvarlanmalı yataklar ele alınacaktır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli farklılık da eş yüzeylerin birbirlerine göre durumudur. Kaymalı yataklarda kayma, düzlemsel veya uyumlu yüzeyler arasında olurken rulmanlı yataklarda yuvarlanma uyumsuz yüzeyler arasında olmaktadır. Tribolojide iç içe çalışan yani biri içbükeyse karşısındaki dışbükey olan yüzeylere uyumlu, sırtırtı çalışan yani ikiside dışbükey olan eğrisel yüzeylere de uyumsuz diyoruz. Uyumsuz yüzeylerde Hertz bağıntıları geçerli olmaktadır.

İdeal yuvarlanma esnemez katı cisimler arasında olur. Elastik deformasyonlar ideal bir yuvarlanmadan uzaklaşılmasına yol açar. Bu nedenle bu tür yataklarda yuvarlanmanın yanında kayma sürtünmesi de bulunabilir.[1]

1.4.4.1 Kaymalı ve rulmanlı yatakların karşılaştırılması

Rulmanlı yatakların kaymalılara nazaran üstünlükleri:

*Hızı düşük olduğu geçiş dönemlerinde (harekete geçme ve durma konumuna geçme) süreme direnci çok daha düşüktür. Yatak tipi ve yağlama koşullarına bağlı olarak $\mu=0,001...0,002$ olmakta (makaralı ve iğneli eksenel yataklarda $\mu=0,005$) ve normal çalışma koşullarında da pek değişmemektedir.

*Eksenel doğrultuda az yer işgal ederler (dar yatak).

*Aynı yatak içinde hem eksenel hemde radyal yükleri karşılamak çok daha kolaydır.

*Yağ tüketimi çok azdır. Bakım masrafları düşüktür.

*Uluslararası standartlara uygun seriler halinde üretildiklerinden her an hazır bulunabilirler.

Rulmanlı yatakların kaymalılara nazaran sakıncalı yanları:

*Sönümleyici özellikleri kaymalılar gibi iyi olmadığından darbeli yüklere karşı duyarlıdırlar.

*Konstrüktif olarak çok daha karmaşık ve ileri teknoloji gerektirdiklerinden konstrüktörün kendi ihtiyacını kendisinin imal etmesi düşünülemez.

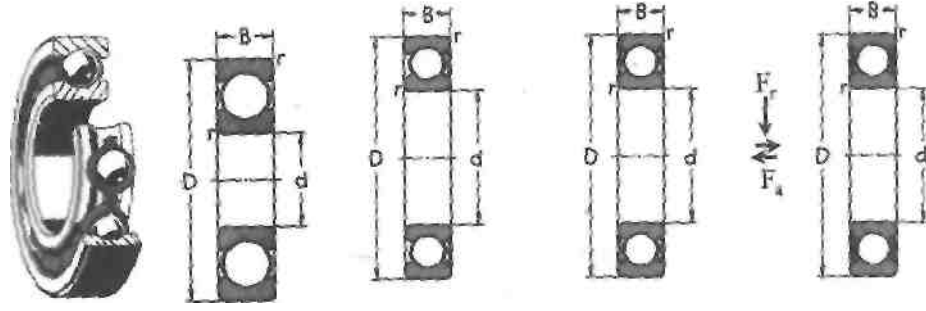
*Takma ve sökme işlemleri titizlik ister.

*Radyal doğrultuda kaymalıya nazaran çok daha fazla yer işgal ederler.

*Her türlü hız koşullarında gürültülü çalışırlar.[1]

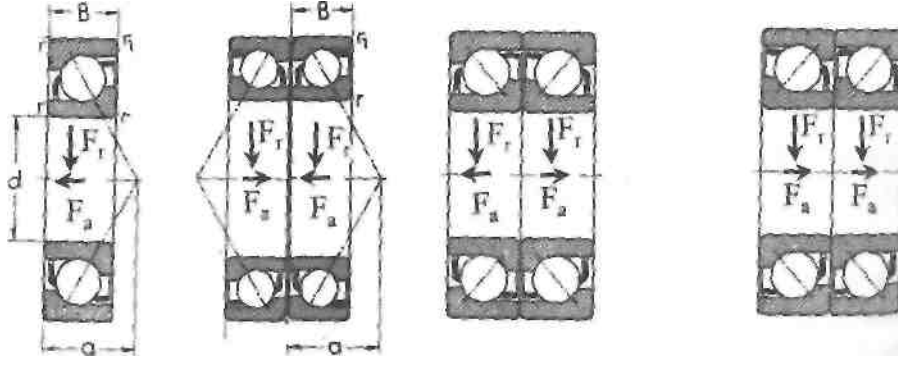
1.4.4.2 Bilyalı rulmanlar

- 1- Tek sıra bilyalı derin yivli rulmanlarda bilyalar, bileziklere açılmış derin oluklar (yivler) içinde yuvarlandıklarından ve yatağa kazandırılmış bulunan radyal boşluktan ötürü bilyalarla hareket yüzeyleri arasındaki yaslanma iyi sağlanır. Bu nedenle büyük radyal yüklerle birlikte önemli ölçüde ve iki yönde eksenel yükler de taşınabilmektedir. En çok kullanılan, çok üretilen bu nedenle de ucuz ve bakımı kolay olan yataklardır. Eksenel yükler yüksek devir sayılarında dahi taşınabilmektedir. Oluk yarıçapı bilya yarı çapından biraz daha büyüktür. Bu yataklar ayrıca bir yanı kapaklı, iki yanı kapaklı ve iki yanı conta kapaklı olarak da üretilmektedir. Kapaklılar imalat aşamasının sonunda üretici firmaca bir kez greslenerek kapatılmakta, artık yatak ömrünün sonuna kadar bir daha yağ gerektirmemektedir. Conta kapaklılar dışardan içeriye veya içerden dışarıya sıvı yağ sızmasının istenmediği durumlarda tercih edilir.[1]



Şekil 1.7 : Tek sıra bilyalı, derin yivli rulman [1]

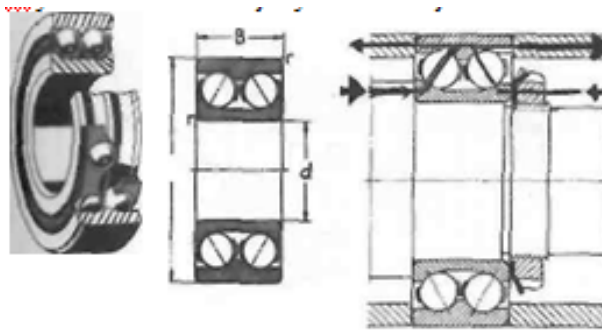
- 2- Bilyalı eğik rulmanlarda bileziklerin bir tarafı faturalı diğer tarafı açık olup yuvarlanma elemanı fatura omuzları arasında yaslanma yapmaktadır. Yuvarlanma yüzeyleri birbirine nazaran çarpık olduğundan bilyalara gelen kuvvetler de radyal doğrultuda olmayıp eksene eğik durumdadırlar. Yani yaslanma eksenine eğik oluşur. Bu konstrüksiyon rulmana radyal yüklerle birlikte bir yönde büyük eksenel yükler alabilme özelliği kazandırmaktadır.



Şekil 1.8 : Tek sıra bilyalı, eğik rulman [1]

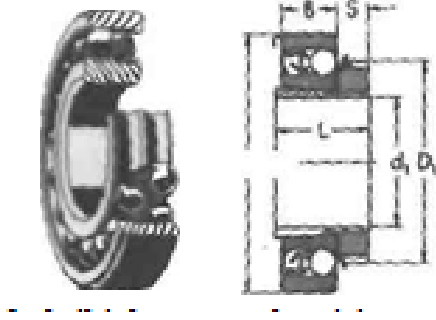
Her rulman yalnız bir yönden eksenel yük alabildiğinden ve diğer yönde yaslanma olmadığı için eksenel yük alamayacağından gerektiğinde her iki yönden gelecek eksenel yükü alabilmek için ikinci bir rulmanla birlikte monte edilmesi uygun olur.[1]

- 3- İki sıra bilyalı, eğik rulmanlarda yuvarlanma yüzeylerinin birbirini şekildeki gibi karşılar tarzda oluşunun sonucu olarak bilyalara etki eden kuvvetler eksene göre eğik durumdadırlar. Bir birine karşı iki yaslanma eksenini oluşturur. Bu nedenle bu rulmanlar radyal yüklerin yanı sıra her iki yönden gelecek eksenel yükleri de alabilirler. Tek sıralı iki yatağa göre daha az yer tutacaklarından dar yerler için elverişlidirler. Tek sıra bilyalılarda yaslanma açısı (yaslanma ekseninin düşeyle yaptığı açı) 15° ve 25° olmaktadır. Çift sıra bilyalılarda çoğunlukla 32° dir. Daha büyük eksenel yükler alabilmek için yaslanma açısı 40° olan seriler mevcuttur.



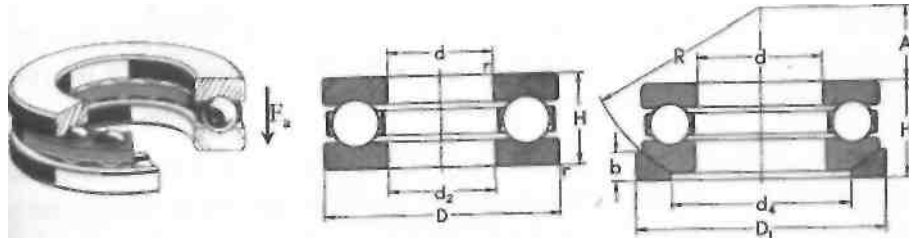
Şekil 1.9 : İki sıra bilyalı, eğik rulman [1]

- 4- Bilyalı oynak rulmanlarda dış bilezik üzerindeki hareket yüzeyi bir iç küredir. İki sıra bilya vardır. Küresel yüzey bir mafsal gibi belli sınırlar içinde oynaklık sağladığından rulman kendi kendini montaj hatalarına, mil eğikliğine ve yaylanmasına karşı ayarlayabilir. Sıkışma ve kasılmaları önler. Küresel bir mafsal gibi dönme serbestisine sahip olanları vardır.



Şekil 1.10 : Bilyalı, oynak rulman [1]

- 5- Dört nokta (değmeli) bilyalı yataklar iki yönde aksel yük alabilen tek sıra bilyalı bir yataktır. Dış bilezikte her iki yönde 35° lik yaslanma eksenini oluşabilecek derinlikte yiv açılmıştır. Hem montaj kolaylığı hemde yaslanma eksenlerini içten daha iyi karşılayabilmek için iç bilezikler iki parça halinde yapılmıştır. Bu yatakların boşluksuz olmaları diğerlerine göre bir farklılıktır.
- 6- Bilyalı aksel rulmanlar (tablalı rulmanlar): Oluklu iki tabla arasında yuvalanan tek sıra bilya vardır. Sadece bir yönde gelen aksel kuvvetleri alır. Büyük hızlarda atalet kuvvetleri doğar. Alt tablanın küre kapağı şeklinde bir zemine oturtulmak suretiyle oynaklık kazandırılmış olan tipleri vardır.[1]



Şekil 1.11 : Tek yönlü, bilyalı aksel rulman [1]

1.4.4.3 Boyut planları

Boyut çeşitliliğini disiplin altına almak, kullanıcı ve üretici arasında belli bir anlaşma zemini sağlamak amacıyla ISO (Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu) tarafından boyut planları konmuştur. ISO 15 de konik makaralı dışındaki tüm radyal yataklar, ISO 355 de konik makaralı yataklar ve ISO 104 de eksenel yataklar için standart boyutlar belirlenmiştir. Rulmanlı yataklarda seriler şeklinde düzenlenen standart boyutlar; d delik çapı, D dış çap ve B genişliktir. Örneğin aynı delik (mil) çapı için, farklı yük ve hız koşullarına bağlı olarak, farklı dış çap (D) ve genişlik (B) ölçülerine sahip rulmanlar imal edilmektedir. Bu boyutlar gelişigüzel olmayıp çap serileri ve genişlik serileri disiplini içinde değişmektedirler.

Çap serileri: Her bir standart delik çapı (d) için dış çap (D) serileri, küçükten büyüğe doğru,

7,8,9,0,1,2,3 ve 4

şeklinde sıralanır. Her çap serisi için farklı genişlik serileri koyulmuştur. Genişlik serileri, küçükten büyüğe doğru;

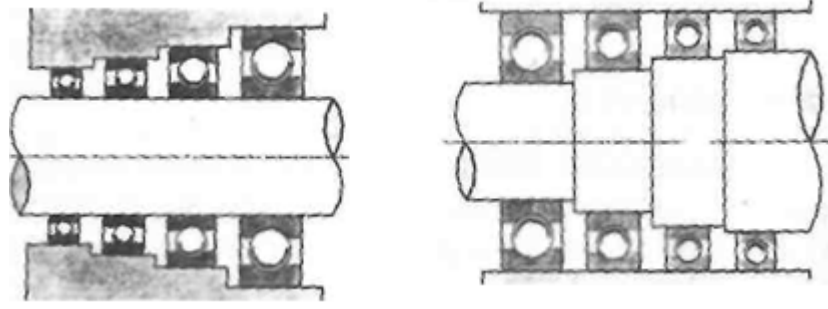
8,0,1,2,3,4,5,6 ve 7

radyal yataklar için genişlik serisi tablalı (eksenel) yataklar için yükseklik serilerine karşılık gelmektedir. Çap serisini gösteren rakkamın Önüne genişlik serisini gösteren rakkam konarak boyut (ölçü) serileri üretilmiştir, (örneğin 00, 10, 22 gibi)

Konik makaralı rulmanlar için ISO boyut planında ölçüler belli yaslanma açısı değerleri için gruplandırılmıştır. Bunlara açısı serileri denmektedir. Küçükten büyük açısı doğru

2,3,4,5,6 ve 7

serileri vardır. Açısı serileri çap ve genişlik serileriyle bir araya getirilerek boyut serileri meydana getirilmiştir. Bu seriler bir rakam (açısı serisi) ve iki harf (çap ve genişlik serileri) den oluşmaktadır (2FA gibi).[1]



Şekil 1.12 : Aynı iç veya dış çapa sahip farklı büyüklüklerdeki rulmanlar [1]

Seri numaraları sayılarla ifade edilen rulmanlarda ilk rakam yatak tipim ikinci rakam genişlik, üçüncü rakam (dış) çap serilerini gösterir. Geniş serisi 0 ise yazılmamaktadır. Son rakam veya son iki rakam delik çapını simgeler. Örneğin 627 ile simgelenen bir teksıra bilyalı derin yivli rulmanda 6 yatağın tipini (tek sıra, derin yivli olduğunu) gösterir. Bu ilk rakam bilyalı oynak rulmanlar için 1 ve 2, teksıra bilyalı omuzlular için 7, iki sıralı omuzlular ve konik makaralılar için 3 dür. Örnek, genişlik serisi 0 olduğu için yazılmadığını ve çap serisinin 2 olduğunu göstermektedir. Sondaki 7 ise doğrudan mm olarak delik çapını göstermektedir. Delik çapı 9 mm ye kadar olan rulmanlarda son rakam doğrudan delik çapını gösterir. Son iki rakam 00 olunca delik çapı $d=10$ mm , 01 olunca $d=12$ mm , 02 olunca $d=15$ mm ve 03 olunca $d=17$ mm olduğu anlaşılır. Delik çapı 20 mm ve daha büyük olan rulmanlarda son iki rakkam delik çapının 1/5 ini gösterir. Örneğin genişlik serisi 0 çap serisi 3 ve çapı 20 mm olan bir derin yivli rulman 6304 şeklinde simgelenir. Benzer şekilde genişlik serisi 1, çap serisi 8 ve delik çapı 50 mm olan derin yivli rulman 61810 olarak gösterilir ($10 \times 5 = 50$ mm).

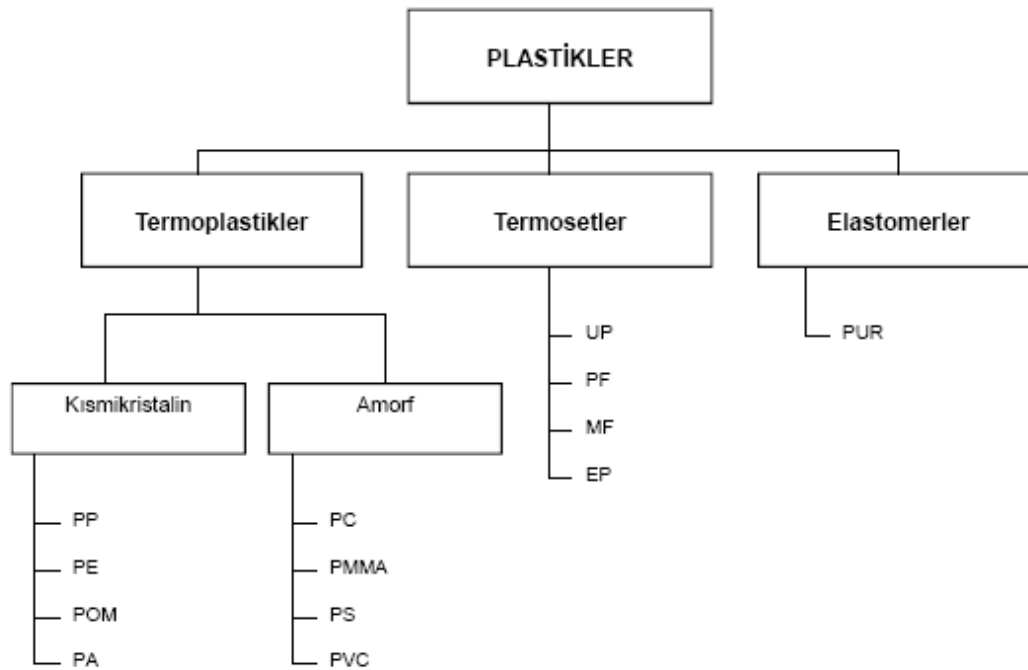
Silindirik makaralı rulmanlarda NU iç bileziğin serbest dış bileziğin faturalı, N dış bileziğin serbest, NJ iç bileziğin bir tarafı açık, NUP açık tarafın halka ile kapatılmış olduğunu gösterir. Bu yatakların iki sıralıları NN ve NNU harfleriyle simgelenirler. Dört nokta yataklarda başa QJ harfleri gelmektedir.

Kataloglarda daha detaylı ilave simgeleme işaretleri ile ilgili açıklamalar mevcuttur. Belli başlıları şöyle özetlenebilir. Rulman seri numarasının sonunda yer alan Z bir tarafı kapaklı, 2Z iki tarafı kapaklı, RZ tek tarafı düşük sürtünmeli sızdırmaz halka kapaklı, 2RZ iki taraflı sızdırmaz halka kapaklı. RS ve 2RS lastik conta kapaklı olduğunu gösterir.

Ayrıca Türk Standardları' nın rulmanlı yataklarda yük değerleri, ana ölçüler, radyal boşluklar, montaj ve toleranslar konularındaki belirlemeleri TS 371, 510, 513, 527, 941, 942, 966 numaralı standartlarda bulunabilir. [1]

1.4.5 Termoplastik malzemelerin genel özellikleri

Moleküller arası kuvvetler ile birbirine bağlanmış dallı veya lineer (düzgün) makromolekül zincirlerinin oluşturduğu plastiklere termoplastik denir. Moleküllerarası çekim kuvvetinin büyüklüğü diğer başka faktörlerin yanında esas olarak zincirdeki dallanmaların şekline ve sayısına bağlıdır.



Şekil 1.13 : Plastik malzemelerin sınıflandırılması [4]

Termoplastikler ısıtıldıklarında moleküllerarası kuvvetler zayıflar ve malzeme tekrar şekillendirilebilecek hale kadar yumuşar. Diğer bir deyişle, termoplastik bir ürün ısı etkisi ile tekrar başka bir ürün için hammadde haline dönüştürülebilir.[4]

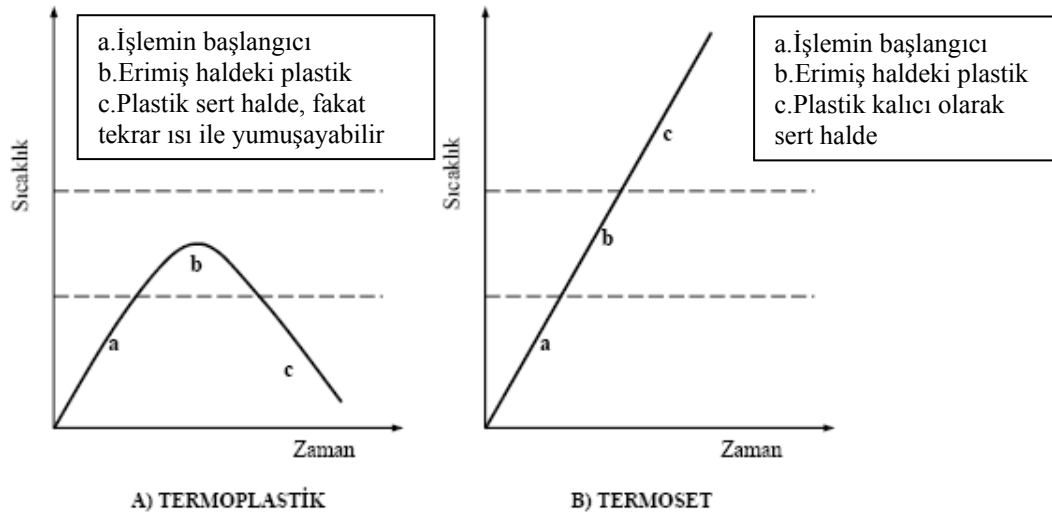
Molekül zincirlerinin ancak belli bir kısmı yoğun bir yapıda düzgün olarak düzenlenir, bunun yanında artı kalan diğer kısım düzensiz ve karmaşık bir yapıdadır. Düzensiz yapı gösteren bu kısımlara “amorf bölge” denir. Hem kristalin hem de amorf bölge içeren termoplastikler “kısmikristalin” olarak da adlandırılır. Hangi yapı çoğunlukta ise polimer o yapı ile belirlenebilir.

-Kristalin yapı: PE, PA, POM, PP....

-Amorf yapı: PC, PS, PVC, PMMA....

Kristalin yapıda bulunan polimerler kimyasallara karşı mükemmel direnç gösterirler. Erime sıcaklıkları belirgindir.

Amorf yapıya sahip polimerlerin boyutsal stabiliteleri yüksektir, yoğunlukları düşüktür, darbeye karşı dirençlidirler, geniş bir erime sıcaklık aralığına sahiptirler.[4]



Şekil 1.14 : Termoplastik ve termoset malzemelerin erime karakteristikleri [4]

2 MEVCUT YATAKLAMA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

2.1 Mevcut Yataklama Sistemine Genel Bakış

Tezin ilk aşamasında mevcut yataklama sistemi incelenecek, çeşitli hesaplamalar yapılacak ve değerlendirmesi sunulacaktır.

Mevcut yataklama sistemi en genel hali ile kuru sürtünme tabanlı bir yataklama sistemidir. Kurutma makinesindeki yataklama bölümleri ön ve arka olarak iki ana bölgeye ayrılabilir ve bu iki bölge arasında hareketli bir tambur ele alınacaktır.

Makinanın ön panelinde bulunan büyük plastik bir parça ve arka paneli arasında, içerisinde çamaşırların bulunduğu bir tambur sürekli dönme hareketi yapmaktadır. Tambur içinden sürekli hava akışı olmakta ve söz konusu tambur ön ve arka kısımlardan ömür dayanımına uygun, direnci minimum indirecek şekilde yataklanmalıdır. Bu nedenle arka kısımda klasik bir mil yataklama sistemi kullanılırken, yükleme tarafı olan ön kısımda ağız çapı geniş olacağından farklı bir yataklama gereği duyulmakta ve kuru sürünmeli parçalar kullanılmaktadır.

Söz konusu tambur bu iki yataklama elemanı arasında motordan gelen tahrik ile çevrimlerini gerçekleştirmektedir.

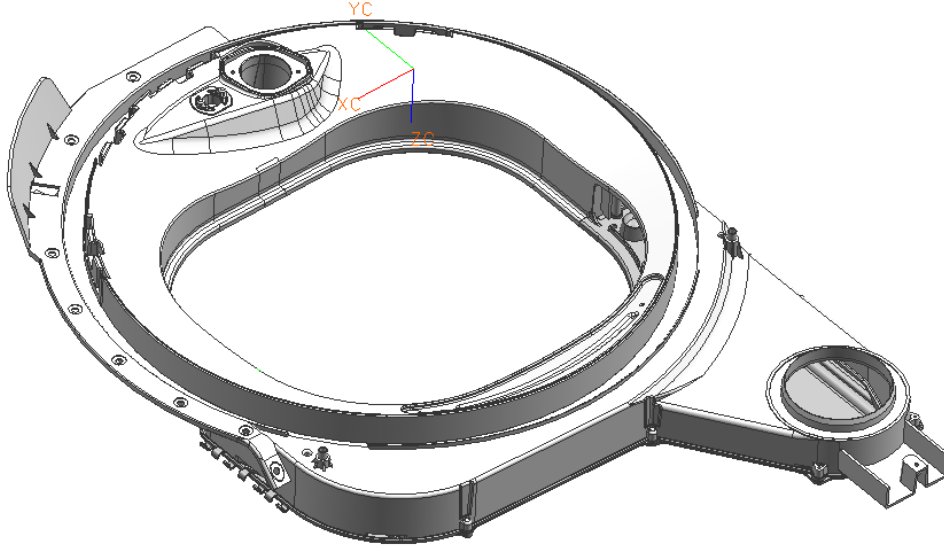
2.2 Yataklama Sistemi Elemanlarının İncelenmesi

Bu bölümde mevcut çamaşır kurutma makinesine ait yataklama sistemi elemanları incelenecektir.

2.2.1 Ön yataklama grubu

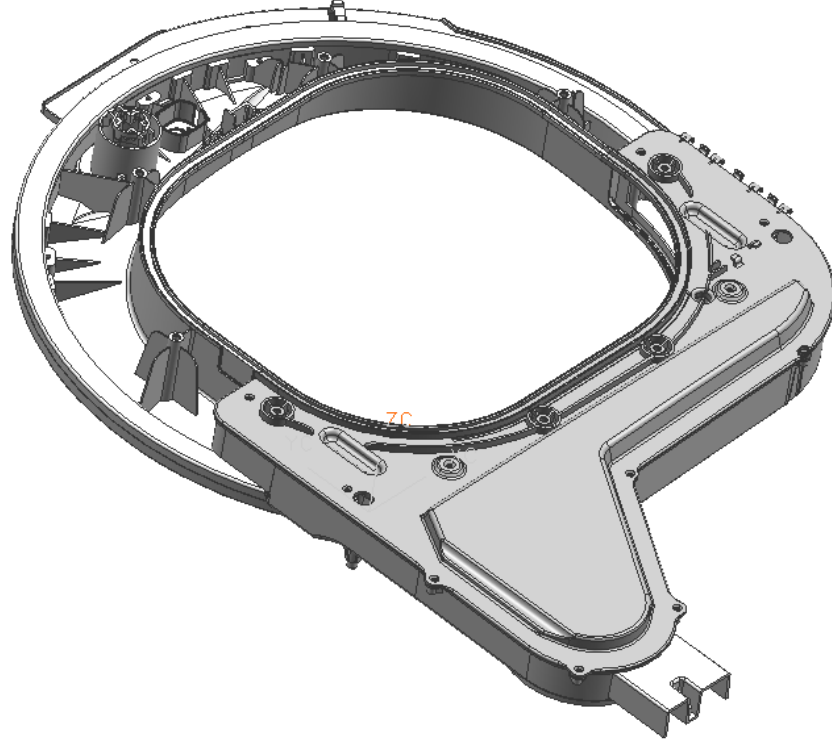
İlk olarak makinanın ön kısmını incelemek gerekirse, burasının dış ortama büyük bir yükleme ağız ve kapak ile açılan bölge olduğu görülür. Müşteri çamaşırları bu kapağı açarak yükleyecektir. Dolayısı ile ön panel ve kapağa bağlı olan büyük bir plastik parça göze çarpmaktadır. Ön yataklama grubu olarak adlandırılacak grup iki ayrı parçadan oluşmaktadır, ön yataklama ve ön yataklama kapağı.

Yükleme kolaylığı sağlamak açısından ön tarafa açılan bu ağız plastik parçada olabildiğinde ergonomik ve geniş olmalıdır. Bu nedenle plastik parçaya geçen ve üzerinde dönecek olan tambur grubunun yataklanması işlemi biraz kompleks hale dönüşmektedir. Mevcut sisteme ait ön yataklama grubu parçasının önden görünüşü Şekil 2.1’ deki gibidir.



Şekil 2.1 : Mevcut ön yataklama grubu önden görünüşü

Ön yataklama parçası genel olarak bahsetmek gerekir ise, kurutma makinesinin ön paneline montajı yapılan, üzerinde filtre, lamba, sensörler gibi birçok parçayı taşıyan, orta kısmında geniş bir yükleme ağızına sahip, dış kontörü tambur grubunun ön sacına uygun şekillendirilmiş büyük bir plastik taşıyıcı parçadır. Mevcut yataklama sisteminde 4 adet kuru sürtünmeli yataklama elemanı, ön yataklama parçasının tambur ile temasta olan dış kontürüne yerleştirilmiştir ve tambur bu bölgede çevresel olarak ön yataklamanın etrafına geçmektedir. Makinanın arka kısmından tambur içine alınan kurutucu hava çamaşırların üzerinden geçirildikten sonra ön yataklama grubunun içinden filtrelenerek geçmekte ve yoluna devam etmektedir. Bu nedenle bir diğer önemli husus olan havanın sızdırmazlığı yine ön yataklama parçasına yerleştirilen sızdırmazlık elemanı ve buna yüzeyden sürekli döner hareketle basan tambur ile sağlanmaktadır. Ön yataklama grubunun ön duvara bağlantısının yapıldığı arka kısmı Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2 : Mevcut ön yataklama grubu arkadan görünüşü

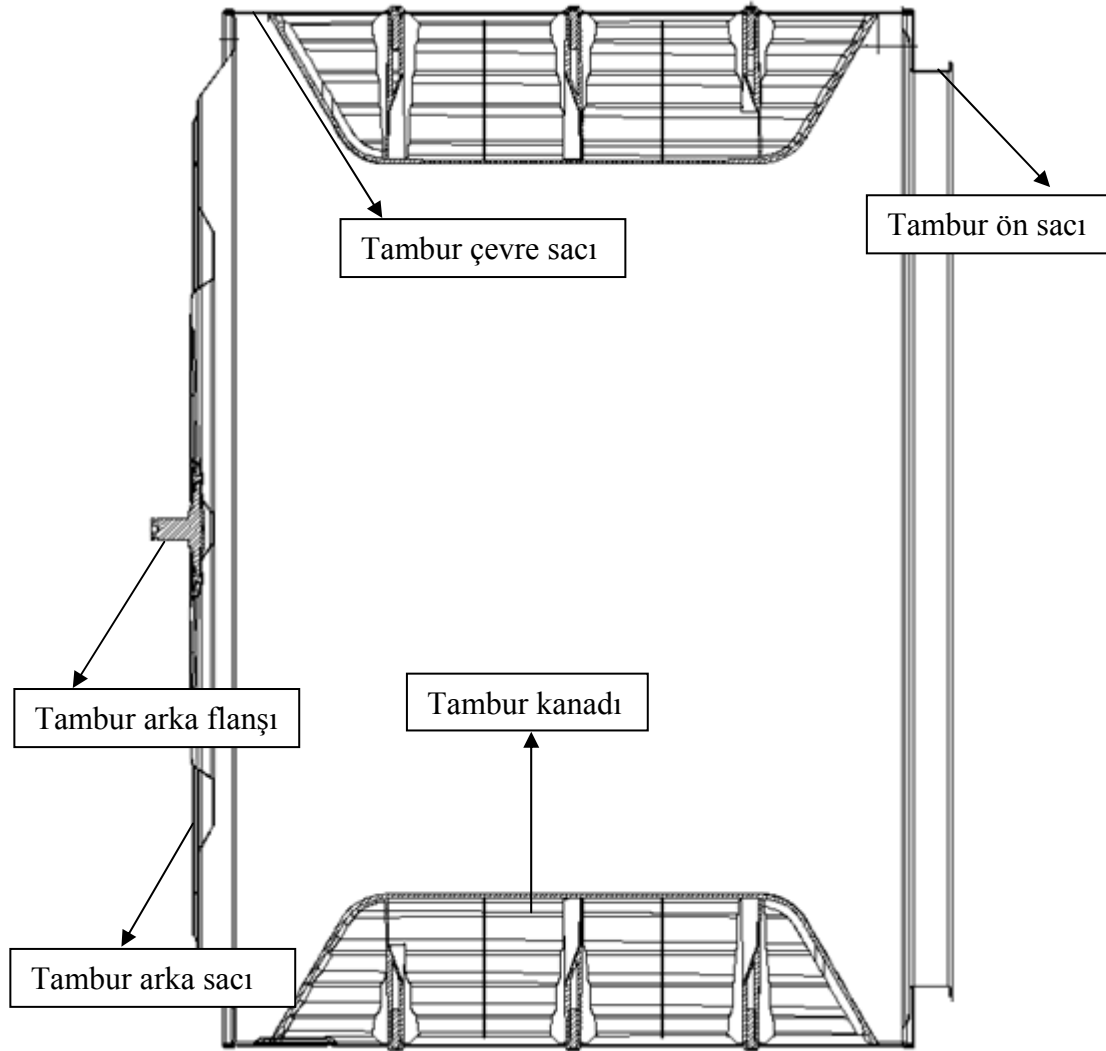
Grubun diğer parçası olan ön yataklama kapağı ise büyük ön yataklama parçasının alt bölgesini arkadan monte edilerek kapatmakta ve bu sayede filtreden geçen havanın içinden yol alabileceği bir yol oluşturmaktadır.

2.2.2 Tambur grubu

Genel yataklama sisteminin “yataklanan elemanı” olan parça tambur grubudur. Tambur grubu 4 ayrı parçadan oluşur, bunlar, tambur ön sacı, tambur çevre sacı, tambur arka sacı ve tambur arka flanşıdır.

Tambur grubu çamaşırların içine yerleştirildiği bölümdür ve kurutma esnasında makinanın alt bölümünde bulunan bir motor tarafından uzun bir kayış vasıtası ile sağa ve sola ayrı ayrı sürekli olarak döndürülmektedir. Bu sürekli dönüş ve ters yöne dönme geçişleri esnasında tambur grubu ön tarafından tambur ön sacı iç yüzeyi ve arka tarafından tambur arka flanşı üzerinden yataklanmaktadır. Tambur grubuna ait genel görünüş kesiti Şekil 2.3’te verilmiştir.

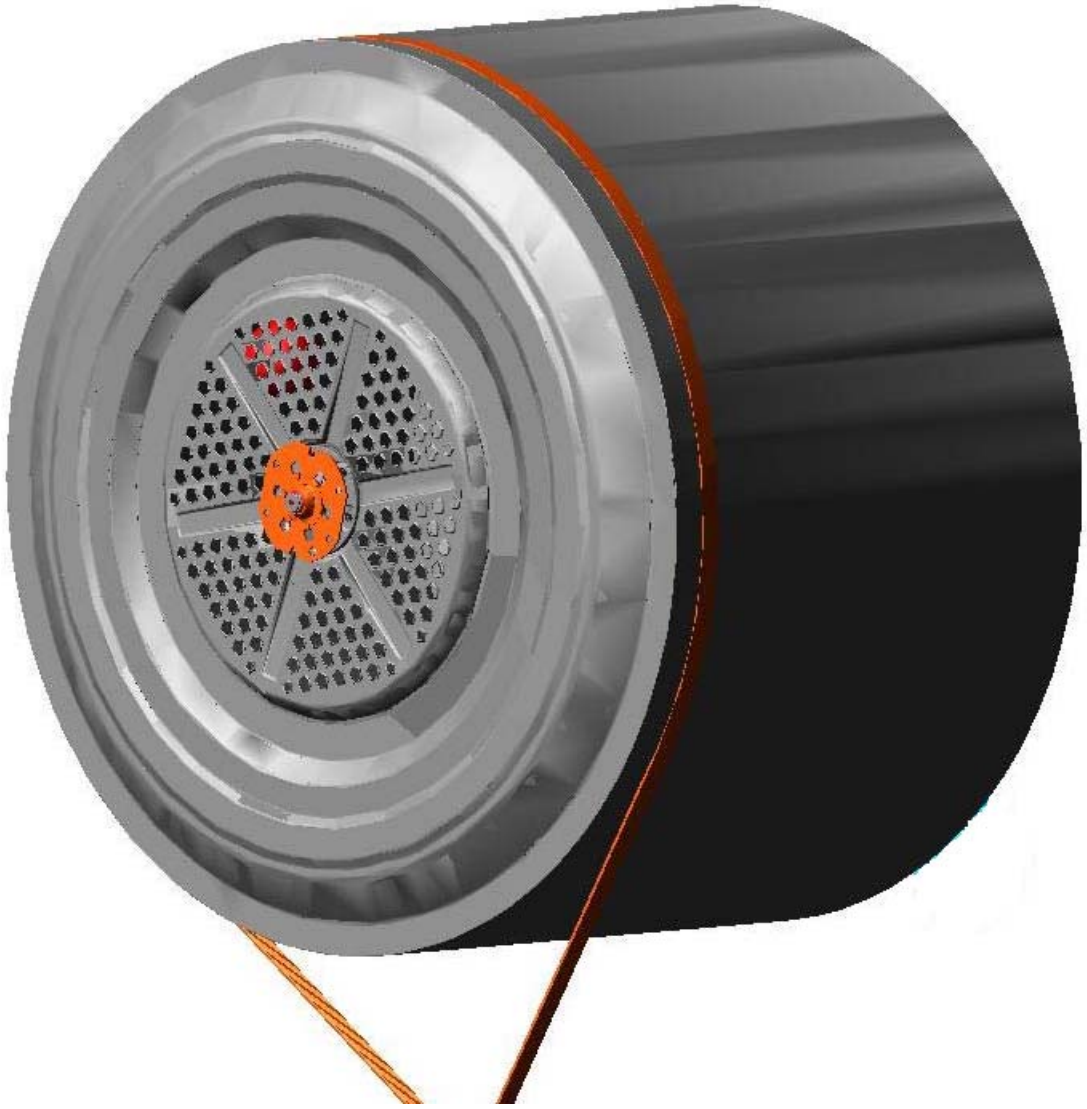
Tambur ön sacı mevcut yataklama sisteminde dar bir boğaza sahip, düz formu ve sızdırmazlık elemanına baskı yapan yüzeyi geniş bir ovalliğe sahip sac bir parçadan oluşmaktadır. Parçanın iç yüzeyi sürtünlemleri yataklama parçaları ile sürekli temas halinde bulunmakta ve tambur grubunun önden yataklamasını sağlamaktadır.



Şekil 2.3 : Mevcut tambur grubu kesit görünüşü

Tambur arka sacı, üzerinde havanın geçişini sağlayan belli çapta deliklere sahip olan bir nevi tambur grubunun arka duvarını oluşturmaktadır.

Tambur çevre sacı ise tambur arka ve ön sacları arasında rulo sacların bükülmesi ile oluşturulan, bu bölgede kapalı bir tambur hacminin oluşmasını sağlayan parçadır. Bu şekilde makinanın çamaşırları barındıracağı hazne oluşturulmuş olur.



Şekil 2.4 : Mevcut tambur grubu genel görünüşü

Arka flanş parçası tambur arka sacında monte edilmiş olup makinanın arka panelinde bunun bir burç yataklaması sistemi içinde tambur grubunun arkadan yataklamasını sağlayan elemandır. Üzerinde mil sıkıştırılmış bir döküm/sac parçadan oluşur.

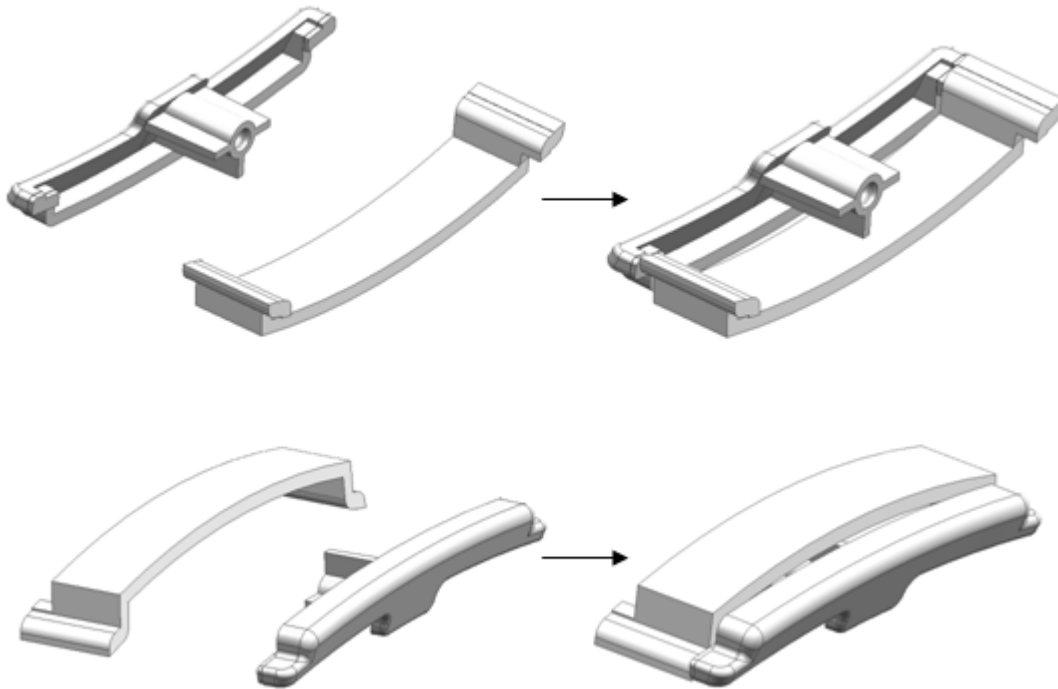
Mevcut tambur grubunun tez konusunda değinileceği en önemli bölgesini tambur ön sacı oluşturmaktadır. İlk bakışta mevcut tambur ön sacı kısa ve sürtünmeli yataklamaya uygun, iç yüzeyinden yataklanan, sızdırmazlık elemanına baskı yüzeyi geniş ve bu nedenle enerji gereksinimizi arttıran yapıya sahip bir yapıdadır.

2.2.3 Radyal sürtünmeli yataklar

Mevcut kurutma makinasının yataklama sisteminde geliştirilmesi ön görülen ana parçalar radyal sürtünmeli yataklardır. İsminden de anlaşılacağı gibi bu parçalar kuru sürtünmeli bir yataklama sistemi ile sürekli dönme halinde olan tambur grubunu taşımakta ve yataklamaktadırlar.

Hassas ve kaygan yüzeye sahip plastik malzemeden (Örn:POM) imal edilen bu parçalar ön yataklama parçasının üzerindeki yuvalarına takılmaktadırlar ve tambur-kayış ilişkisine göre pozisyonlandırılmış durumda 4 adettirler. Her bir parça içerisinde gövde ve yatak olmak üzere iki alt parçadan oluşmaktadır.

Yatak parçası üst yüzeyi yataklamanın sağlandığı hassas bölgedir, gövde içerisine radyal doğrultuda boşluklu olarak monte edilirler, bu sayede tambur ve içindeki çamaşırın ağırlığı ile yuvalarında esneyerek bir ön gerilme ve sürtünme yüzeyi oluştururlar.



Şekil 2.5 : Radyal sürtünmeli yatak grubu görünüşleri

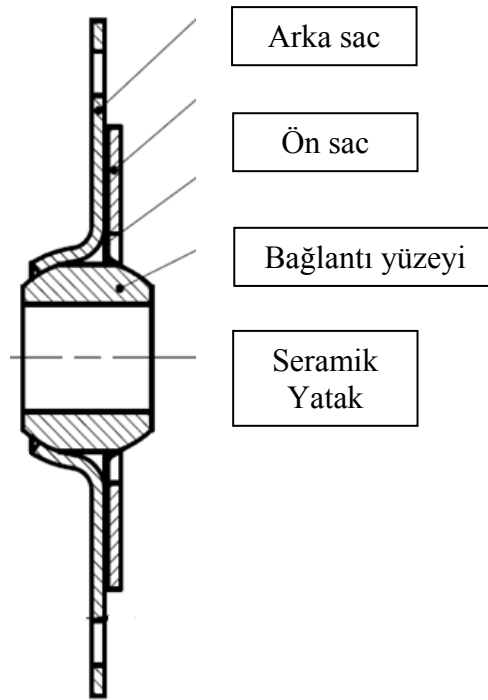
Gövde parçası ise ön yataklama üzerine montajı sağlayan yapıya sahip yüzey hassasiyeti önemsiz olan parçadır.

Tezin amacı olan yataklama sistemi problemlerinin giderilmesine radyal sürtünmeli yatakların kaldırılması ve bu sayede sürtünme kuvvetinin azaltılması hedeflenerek başlanacaktır. Bu doğrultuda enerji gereksinimi ve aşınma azalmasına bağlı ömür uzamaları beklenmektedir.

2.2.4 Arka yataklama

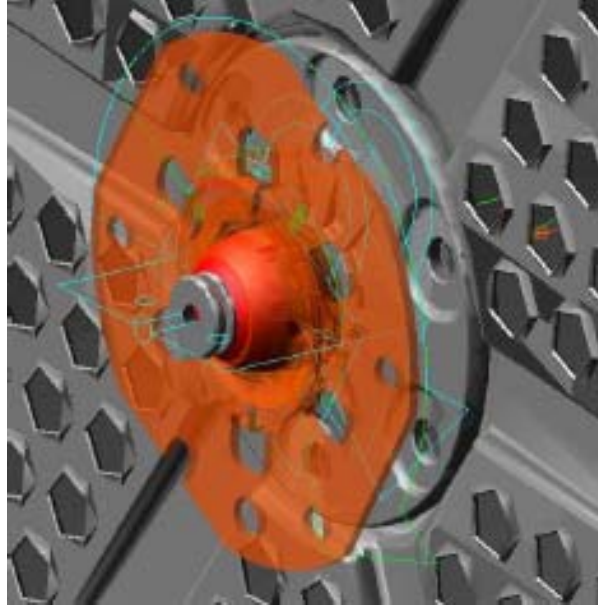
Arka yataklama elemanı kurutma makinasının arka panelinin ortasına yerleştirilmiş, küresel mafsallı seramik türevi malzemeden oluşan bir burç yapısıdır.

Tambur arka flanşı üzerinde bulunan mil bu burcun içerisinde dönmek hareketini yapmaktadır. Mil yataklaması olarak kullanılan bu yapı mevcut sistemin güvenilir bir yataklama yöntemini içermektedir, fakat ön tarafta gerekli olan yükleme ağzı ve geniş bir alından yataklama gereksinimi aynı yöntemin ön tarafta uygulanmasını olanaksız kılmaktadır.



Şekil 2.6 : Arka yataklama kesit görünüşü

Arka yataklama sisteminin kullanımı basitçe tambur ile birlikte burcun içerisinden geçirilen milin makine arka yüzeyinden bir segman ile sabitlenmesi şeklindedir. Bundan sonra uzun ömürlü seramik türevi malzemeden oluşan burç içerisinde tambur dönme hareketini gerçekleştirir.



Şekil 2.7 : Arka yataklama montajlı görünüşü

Çeşitli ölçüsel problemler, beklenmeyen montaj hataları yada eksenel kaçıklık gibi durumlarda tamburun bir miktar hareket etmesini sağlamak amacı ile arka yataklama üzerindeki burç küresel olarak mafsallanmıştır.

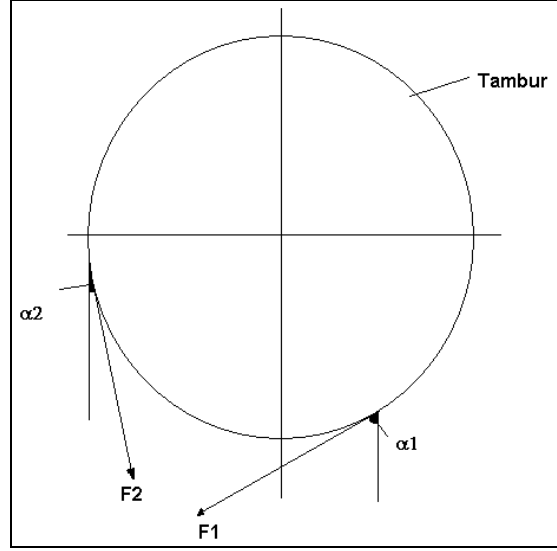
2.3 Yatak Kuvvetlerinin Hesabı

Mevcut sistemi geliştirmek için öncelikli yapılacak işlem sürtünmeyi azaltmak yönünde olmalıdır. Bu nedenle hesaplanması gereken önemli bir husus radyal yataklama elemanlarına ve arka yataklama elamanına gelen kuvvetlerin hesaplanması olacaktır.

Yataklama elemanlarına gelen kuvvetler hesaplanırken ele alınacak olan kuvvet merkezleri; kayış gerginliği ile oluşan öngerilme kuvveti, motorun sağa ve sola dönüşleri sırasında kayış sarılma yönüne bağlı oluşan döndürme kuvveti, tambur ağırlığı ve çamaşır ağırlığı olacaktır.

4 kuvvetin bileşkesi 2 ayrı yataklamaya mesafelerinin fonksiyonu olarak yansıtılacaktır. Mevcut yataklama sisteminde geliştirilmesi öngörülen ön yataklama sistemin radyal yatak elemanlarına gelen kuvvetler detaylı ele alınacak, sorunsuz arka yataklama elamanına gelen kuvvet ise göz önünde buludurulacaktır.

Belirtilen ön koşullar dikkate alınarak radyal yataklama elamanına gelen kuvvetin hesabı aşağıdaki gibi olacaktır ;



Şekil 2.8 : Kayış kuvvetlerinin şematik görünüşü

(L)Sağ Kayış Kuvveti F_1 : 148N

(K)Sol Kayış Kuvveti F_2 : 64N

Çamaşır Ağırlığı m_c : 13 kg

Tambur Ağırlığı m_t : 4 kg

F_1 kolunun düşeyle açısı α_1 : $68,34^\circ$

F_1 kolunun yatayla toplam açısı $F_1(t)$: $201,66^\circ$

F_2 kolunun düşeyle açısı α_2 : $16,34^\circ$

F_2 kolunun yatayla toplam açısı $F_2(t)$: $286,34^\circ$

Tambur Yarıçapı (R_T) : 289,95mm

Çamaşırın Önyataklamaya Uzaklığı L_1 : 210,88mm

Kayışın Ön Yataklamaya Uzaklığı L_2 : 370,28mm

Ön Yatak – Arka Yatak Uzaklığı L : 435,05mm

$$F1(x) = F1.Cos\left(\frac{F1(t).\pi}{180}\right) = 148.Cos\left(\frac{201,66.\pi}{180}\right) = -137,5498N \quad (2.1a)$$

$$F1(y) = F1.Sin\left(\frac{F1(t).\pi}{180}\right) = 148.Sin\left(\frac{201,66.\pi}{180}\right) = -54,62651N \quad (2.1b)$$

$$F2(x) = F2.Cos\left(\frac{F2(t).\pi}{180}\right) = 64.Cos\left(\frac{286,34.\pi}{180}\right) = 18,0055N \quad (2.2a)$$

$$F2(y) = F1.Sin\left(\frac{F2(t).\pi}{180}\right) = 64.Sin\left(\frac{286,34.\pi}{180}\right) = -61,41498N \quad (2.2b)$$

$$F(x)T = F1(x) + F2(x) = -119,5442N \quad (2.3a)$$

$$F(y)T = F1(y) + F2(y) = -116,0415N \quad (2.3b)$$

$$F(T) = \sqrt{F(x)T^2 + F(y)T^2} = 166,6027N \quad (2.4)$$

$$M_d(T) = F2.R_T - F1.R_T = -24355,8Nmm \quad (2.5)$$

Y - Z Düzleminde Kuvvet Hesabı

$$F_{\zeta+t} = F_{\zeta+maşır} + F_{tambur} = (m_{\zeta} + m_t).(-9,81) = -166,77N \quad (2.6)$$

F_a = Arka Yataklamaya Gelen Kuvvet

F_b = Ön Yataklamaya Gelen Kuvvet

$$F_{ay} = \frac{F_{\zeta+t}.L1 + F(y)T.L2}{L} = -179,603N \quad (2.7a)$$

$$F_{by} = \frac{F_{\zeta+t}.(L - L1) + F(y)T.(L - L2)}{L} = -103,2085N \quad (2.7b)$$

Z - X Düzleminde Kuvvet Hesabı

$$F_{ax} = \frac{F(x)T.L2}{L} = -101,7466N \quad (2.8a)$$

$$F_{bx} = \frac{F(x)T.(L - L2)}{L} = -17,79768N \quad (2.8b)$$

$$\text{Arka Yatak Bileşke Kuvveti} = F_a = \sqrt{F_{ax}^2 + F_{ay}^2} = 206,421N \quad (2.9a)$$

$$\text{Ön Yatak Bileşke Kuvveti} = F_b = \sqrt{F_{bx}^2 + F_{by}^2} = 104,7318N \quad (2.9b)$$

$$\text{Ön Yatak Bileşke Kuvvetin Yatayla Açısı} = \phi = \arctan \frac{F_{by}}{F_{bx}} = 1,4rad = 80,21591^0 \quad (2.10)$$

Hesaplamalar sonucu ön yataklamaya gelen bileşke kuvvete ve bu kuvvetin açısına ulaşılmıştır. Bu bileşke kuvvet 4 ayrı pom yatağa belirli oranlar ile dağılacaktır. Bu oranları belirlemem için bileşke kuvvetin açısı doğrultusunda her bir pom yatağın bu vektöre dik izdüşüm alanları hesaplanmıştır. Pom yatakları 1' den 4' e kadar numaralandırırsak bu alanlar ;

$$A_1 = 402,7682 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 859,0946 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = 648,4952 \text{ mm}^2$$

$$A_4 = 380,1240 \text{ mm}^2$$

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 2290,482 \text{ mm}^2$$

Hesaplanan bileşke kuvvet ve toplam izdüşüm alanından yola çıkarak pom yataklara etkiyen basıncı hesaplırsak ;

$$\text{izdüşüm basıncı} = P = \frac{\text{bileşke kuvvet (F}_b\text{)}}{\text{Toplam izdüşüm alanı}} = \frac{104,7318}{2290,482} \quad (2.11)$$

$$\Rightarrow P = 0,04572 \text{ N/mm}^2$$

olarak elde edilmiştir.

2.4 Mevcut Sistem Testleri

Yatak kuvvetlerinin hesabının ardından mevcut sistemin ön görülen yükleme koşulları altında testleri planlanmıştır. Testler belirlenirken yataklama sisteminin etkili olacağı koşullara öncelik verilmiştir.

Bu nedenle ilk olarak ele alınan numune kurutma makinalarına performans testi uygulanmıştır. Performans testinin amacı, belirli yükleme koşullarında, ortam ve çamaşır özelliklerine bağlı olarak makinanın enerji tüketiminin belirlenmesidir. Enerji tüketimi belirlenirken motorun harcadığı güç önemli bir faktör olmaktadır ve yataklama sisteminde hesaplanan kuvvetlerin fonksiyonu olarak ortaya çıkan sürtünme sonucu oluşan karşı direnç motorun harcadığı enerjiyi, dolayısı ile toplam enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir.

Numune makinalara uygulanan ikinci test ise motor kalkış ve kayma testidir. Bu testin amacı, kurutuma makinasının ilk çalıştırılmasında ve çalışma esnasında tambur dönme yönünün tersine döndüğü anlarda motorun kalkış kuvvetini ve bu anlardaki kayışın tambur üzerindeki kayma miktarını ölçmektedir. Motor kalkış voltajı yine doğrudan sürtünme sonucu oluşan karşı direnç ile doğrudan etkilenirken, motorun gücünü belirlemekte ve motorun gücüne bağlı olarak motor maliyetine yansımaktadır. Kayış kayması ise mevcut tahrik sisteminin önemli problemlerinden olup kayış ömrüne doğrudan etki etmektedir.

Tez içeriğinde her test 3 ila 5 numune makine üzerinde uygulanmıştır, ancak değerlendirme ve karşılaştırmaların doğru bir şekilde yapılabilmesi için referans tek bir makine örnek alınacak ve sonuçları incelenecektir.

Bu bölümde sırası ile uygulanan testlerden bahsedilecek ve sonuçları incelenecektir.

2.4.1 Performans testi

Referans kurutma makinamız ilk olarak mevcut durumda ve üretim bandından çıktığı hali ile laboratuvar ortamına alınmış ve performans testine tabi tutulmuştur.

Performans testinde 2 farklı ölçüm istasyonuna bağlanan kurutma makinası bir çevrim süresince “dolap kuruluğu” programında çalıştırılmıştır. Standart ölçüm yöntemi olan bu metod ile test başında 7 kg %60 nem oranına sahip çamaşırlar ağırlıkları alınarak yüklenmektedir, test esnasında makineye ait çeşitli noktalardan alınan sıcaklık değerleri, motor tarafından çekilen güç değeri, çamaşır nem oranı sürekli olarak ölçülürken testin tamamlanması ile su tankında toplanan su miktarı ve kuruyan çamaşırların bir kez daha ağırlığı ölçülmekte ilk çamaşır ağırlığından çıkarılarak toplanan su miktarına oranı hesaplanmaktadır. Bu şekilde elde edilen su toplama verimi test esnasında ölçülen sıcaklık, test sonu kuruluk, ısıtıcı, elektronik kart, pompa gücü ve motor ortalama gücü ile birlikte standart enerji denkleminde yerine koyulur ve makinanın enerji tüketimi ölçülmüş olur.

Aşağıda mevcut durumdaki referans kurutma makinesine ait performans testi ölçüm sonuçları yer almaktadır,

Test Makinası : Kondenserli 7 Kg Kurutma Makinası

Uygulanacak Test Sayısı : 3

Test Öncesi Ölçülen Değerler ;

Çizelge 2.1 : Mevcut durum performans testi öncesi ölçüm değerleri

	Test 1	Test 2	Test 3
Kapasite (kg)	7	7	7
Kuru Yük (g)	7.010	7.010	7.010
Islak Yük (g)	11216	11216	11216
Nem Oranı	%60	%60	%60
Gerilim (V)	230	230	230
Program	Pamuklu Dolap	Pamuklu Dolap	Pamuklu Dolap

Test Sonrası Ölçülen Değerler :

Çizelge 2.2 : Mevcut durum performans testi sonrası ölçüm değerleri

	Test 1	Test 2	Test 3
Motor Gücü (W)	216	219	222
Isıtıcı + ElektronikKart + Pompa Gücü (W)	2506	2525	2508
Motor Enerjisi (Wh)	448	453	453
Isıtıcı + ElektronikKart + Pompa Enerjisi (Wh)	3806	3809	3818
Test Sonu Yük (g)	7162	7122	7138
Tank Su Miktarı (g)	2370	2576	2596
Süre (dk)	128	128	128

Ölçülen değerler her bir test için aşağıda verilen formüllerde yerlerine koyulursa;

$$\text{ToplamGüç} = \text{MotorGücü} + \text{IsıtıcıGücü}$$

$$\text{ToplamEnerji} = \text{MotorEnerjisi} + \text{IsıtıcıEnerjisi}$$

$$\text{DüzeltilmişEnerji} = \text{ToplamEnerji} \cdot \frac{(\text{İdealNemOranı} - \text{HedefNem}).\text{Kapasite}}{(\text{ÖlçülenNemOranı} - \text{TestSonuNem}).\text{KuruYük}}$$

$$\text{SpesifikEnerji} = \frac{\text{DüzeltilmişEnerji} \cdot 1,14}{\text{Kapasite}}$$

$$\text{NemOranı} = \frac{(\text{TestSonuYük} - \text{KuruYük}).100}{\text{KuruYük}}$$

$$\text{KurutmaFarkı} = \text{IslakYük} - \text{TestSonuYük}$$

$$\text{SuToplamaVerimi} = \frac{\text{TestSonuTankSuMiktarı}}{\text{KurutmaFarkı}}$$

Elde edilecek performans testi sonuç tablosu aşağıdaki gibi olacaktır;

Çizelge 2.3 : Mevcut durum performans testi sonuç tablosu

	Test 1	Test 2	Test 3
Toplam Güç (W)	2722	2744	2730
Toplam Enerji (Wh)	4254	4262	4271
Düzeltilmiş Enerji (Wh)	4407	4372	4399
Spesifik Enerji (Wh)	0,718	0,712	0,716
Test Sonu Nem Oranı	2,17	1,60	1,83
Kurutma Farkı (g)	4054	4094	4078
Su Toplama Verimi	%58	%63	%64

2.4.2 Motor kalkış ve kayma testi

Performans testini tamamlayan makine sonrasında kalkış ve kayma testine alınmıştır.

Motor kalkış testinde makine içerisine belirli yükler sırası ile yüklenerek motorun her çalıştırılmada çektiği güç ölçülmektedir. Bu işlem yapılırken motora en düşük değerden başlanarak güç verilmekte ve ilk kalkış sağlanana dek bu sürdürülmektedir. Motor tamburu döndürmeyi başardığı an test tamamlanmakta ve çektiği güç değeri okunmaktadır. Sonrasında tambur yükü değiştirilmekte ve aynı işlem tekrarlanmaktadır. Bu test ile hedeflenen mevcut yataklama sistemine sahip bir makine motorunun kalkış esnasında kuru sürtünme direncine karşıladığı ihtiyaç duyduğu gücü ölçmektir.

Mevcut koşullardaki referans makinamıza ait motor kalkışı ölçümü 3 farklı yöntemle yapılmıştır; ilk ölçüm metodu standart 7,7 kg sabit yük ile kalkış, ikinci olarak dengeli yüklenmiş 12-14-16 kg çamaşır ağırlıklı, üçüncü olarak ise dengesiz yüklenmiş 12-14-16 kg çamaşır ağırlıklı kalkış olarak belirlenmiştir.

İlk olarak 7,7 kg sabit yüklenen referans makinanın 3 farklı ölçüm sonuçları aşağıdaki gibidir;

Çizelge 2.4 : Mevcut sistem 7,7 kg sabit yük ile kalkış testi

	Test 1	Test 2	Test 3
Saat Yönünde Kalkış	187	188	186
Saat Yönü Aksine Kalkış	190	187	188
Kayış Gerginliği (Hz)	98	91	88

İkinci olarak, bu kez 3 farklı dengeli çamaşır yükü ile kalkış testleri yapılmıştır. Sırası ile 12, 14 ve 16 kg yükler ile yapılan testler sonrası elde edilen değerler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 2.5 : Mevcut sistem çamaşır ve dengeli kalkış testi

	12 kg	14 kg	16 kg
Saat Yönünde Kalkış	175	180	180
Saat Yönü Aksine Kalkış	175	180	185
Kayış Gerginliği (Hz)	93	92	92

Son olarak aynı makine üzerine 3 farklı dengesiz çamaşır yüklenmiş ve aynı ölçüm metodu uygulanmıştır.

Çizelge 2.6 : Mevcut sistem çamaşır ve dengesiz kalkış testi

	12 kg	14 kg	16 kg
Saat Yönünde Kalkış	190	190	190
Saat Yönü Aksine Kalkış	190	190	195
Kayış Gerginliği (Hz)	92	93	92

Motor kalkış değerlerinin ölçümünün hemen ardından düzenek çok fazla değiştirilmeden bu kez kayış kayma miktarı ölçülmüştür. Bu testin yapılışı yine motorun ilk hareketi (makine ilk çalıştırılması yada tambur dönüş yönü değişmesi) esnasında motordan tahrik alan kayışın tambura ilk hareketi verirken kayma miktarının ölçülmesi şeklindedir.

Bu testin tez içeriğinde ki uygulanma nedeni ise yine yataklama sisteminin geliştirilmesi ile iyileştirilebileceği düşünülen kayış ömrünün yada olası kayış kopma problemlerinin giderilesidir. Bu koşulda kuru sürtünmeli mevcut yataklama sisteminin uyguladığı karşı direncin neden olduğu kayma miktarları ölçülmüştür.

Testlere başlanmadan önce makinanın tambur çapı ve mil çapı ayrı ayrı hassas olarak 3 boyutlu ölçüm cihazında ölçülmüştür. Uygulanan test yöntemi 4 ayrı yükleme koşuluna dayanmaktadır. Öncelikle yüksüz “0” kg sonrasında sırası ile 14-18-24 kg yüklenerek referans makinanın tambur devri, motor devri ve kayış gerginliği ölçülmüştür. Sonuçlar aşağıdaki gibidir ;

Çizelge 2.7 : Mevcut sistem çamaşırli kayma testi ölçümleri

	0 kg	14 kg	18 kg	24 kg
Tambur Devri (d/d)	54	51	51	49
Motor Devri (d/d)	2855	2779	2745	2721
Kayış Gerginliği (Hz)	98	98	97	97

Ölçülen değerler sonrası aşağıdaki hesaplamalar yapılarak tambur/motor devir oranı, gerçekleşmesi gereken çevrim oranı ve bunlara bağlı kayma oranı değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Tambur/MotorDevri} = \frac{\text{TamburDevri}}{\text{MotorDevri}}$$

$$\text{ÇevrimOranı} = \frac{\text{TamburÇapı}}{\text{MilÇapı}}$$

$$\text{KaymaMiktarı} = \frac{\text{Tambur/MotorDevri}}{\text{ÇevrimOranı}} - 1$$

Çizelge 2.8 : Mevcut sistem çamaşırli kayma testi sonuçları

	0 kg	14 kg	18 kg	24 kg
Tambur/Motor Devri	52,8	54,5	55,5	55,5
Çevrim Oranı		47,14		
Kayma (%)	12%	15,61%	17,73%	17,73%

2.5 Mevcut Yataklama Sisteminin Değerlendirilmesi

İkinci bölümde incelenen mevcut yataklama sistemi en genel hali ile kuru sürtünme tabanlı bir konstrüksiyonu yansıtmaktadır.

Ön yataklama grubu üzerinde bulunan kuru sürtünmeli yataklama elemanlarının yapılan hesaplar sonrasında ortalama 100N yük altında kaldığı hesaplanmıştır. Bu değer yüzey alanına oranla sürtünmesi hesaplandığında çamaşır ve tambur ağırlığı ile birlikte ciddi bir enerji kaybına yol açacağı öngörülmüştür. Ayrıca bu derecede sürtünmeye maruz kalan sistemin birinci bölümde açıklanan abresiv aşınmaya maruz kalacağı görülmekte, bu da sistemin genel ömrünü kısaltmaktadır.

Yataklama elemanları dışında sistemi iyileştirebilecek diğer bir elemanın tambur ön sacı olduğu öngörülmüştür. Bunun başlıca nedeni sızdırmazlık elemanına alından basan bu parçanın sürtünme ile kaybettiği enerji miktarının doğrudan baskı yüzeyi ile alakalı olmasıdır. Dolayısı ile mevcut sistemdeki bu konstrüksiyon iyileştirilmedi.

Günümüz standartlarında çeşitli Avrupa ülkelerinde şart koşulan minimum “B” enerji seviyesi sahip olan makine ithalatı kanunları doğrultusunda hesaplanan enerji tüketimi azaltılmalıdır. 0,718 , 0,712 ve 0,716 olarak hesaplanan 3 test sonundaki spesifik enerji tüketimi “B” sınıfına girmek doğrultusunda Tablo 1.10 daki standart enerji tüketim katsayılarına göre %10 tolerans ile 0,704 ve altı değerlere çekilmelidir. Bu doğrultuda yataklama sistemi konstrüksiyonunda iyileştirmeye gidilerek sürtünme ve buna bağlı direncin azaltılması için yöntemler geliştirilmelidir.

Çizelge 2.9 : 7 kg makine için standart enerji tüketim katsayıları

	Spesifik Enerji (kWh/kg)		Enerji Tüketimi (Wh)	
	limit	%10 Tolerans	limit	%10 Tolerans
A	0,55	0,605	3377	3715
B	0,64	<u>0,704</u>	3930	4323
C	0,73	0,803	4482	4931
B-C Farkı		0,099		608

Performans testi ardından görülmüştür ki; motor enerjisi, ısıtıcı, elektronik kart, pompa enerjisi ve çamaşır kurutuma miktarı ile doğrudan ilişkili olan enerji tüketimi azaltılmalıdır. Bu hedef ile sabit ısıtıcı, elektronik kart, pompa enerji tüketimleri ve sağlanan maksimum sızdırmazlık ile kurutma miktarına nazaran motor enerji tüketimi azaltılması doğru bir hedef olacaktır.

Motor enerjisinin azaltılması çalışmalarına başlamadan önce mevcut sistem üzerindeki motorun enerji tüketimi ilişkisini görmek için çeşitli koşullarda motorun kalkış için çektiği güç değerleri test edilmiştir. Bu testler sonrasında görülmektedir ki ağırlığın artması ile birlikte net bir şekilde sürtünme yüzeyi ve ağırlığa bağlı sürtünme miktarı ciddi oranda artmakta ve enerji tüketimini yükseltmektedir. Mevcut sistemin ağırlık ile doğrudan bir artış içinde olduğu görülmektedir ki 7 kg kapasiteli örnek makinamızın yaklaşık 11,2 kg yüklenmesi ile tambur ağırlığıda eklenince sürtünme kuvvetinin artışı ve buna paralel enerji tüketiminin yükselmesi söz konusudur.

Son olarak motorun kalkış ve çevrim esnalarında uyguladığı güç ve aldığı verim doğrultusunda kayışa gelen kuvvetin değiştiği görülmüştür. Kalkış ve yön değiştirme esnalarında bu kuvvetin yine yataklama sistemindeki sürtünmeye karşı olan direnç ile arttığı ve kayışı zorladığı saptanmaktadır. Bu tespit ile yapılan kayış kayma testi neticesinde görülmektedir ki bir kez daha ağırlığın artışı ve kuru sürtünmenin yüksek direnci motordan gelen tahriğin sağlayacağı çevrim oranının geometrik orandan farklı olmasına ve bu fark kadar kayışın kaymasına yani aşınmasına neden olmaktadır. Bu sonuç ise doğrudan kayış ve buna bağlı makine ömrüne etki etmektedir.

3 UYGULANACAK YENİ SİSTEMİN BELİRLENMESİ

3.1 Yeni Yataklama Sisteminin Genel Yapısının Belirlenmesi

İkinci bölümde mevcut sistemin incelenmesinin ardından, sistemin genel problemleri saptanmıştır. Bu bölümde, elde edilen sonuçlar doğrultusunda problemlere çözüm oluşturabilecek sistem belirlenmelidir.

Yeni sistem belirlenirken ilk olarak danışılacak doküman yataklama çeşitleri ve sürtünme yapıları olmalıdır. Bu nedenle birinci bölümde yapılan literatür araştırmasına dönülmelidir.

Birinci bölümde ilk olarak sürtünme tipleri incelenmiştir. Bu araştırmalar sonucunda açık ifadelerle yuvarlanma sürtünmesinin, kayma sürtünmesine oranla daha düşük değerlerde gerçekleştiği, yani daha az kuvvet ile daha yüksek verim sağlanabilecek bir yapı oluşturduğu görülmektedir.

İkinci olarak incelenen kaymalı ve rulmanlı yatak tiplerine bakıldığında ise, bu kez rulmanlı yataklama yönteminin hedeflenen doğrultuda projeye destekte bulunabilecek bir sistem oluşturabileceği görülmüştür.

Literatür araştırmaları ve test sonuçlarının incelenmesi neticesinde varılan sonuç, mevcut kayma sürtünmeli ve kayma yataklamalı, yüksek kuvvet ve buna bağlı enerji gerektiren, yüksek kuvvet gereksinimi neticesinde sistemi zorlayarak çeşitli komponentlerin sürtünme ve aşınmasına neden olan sistemin yerine “yuvarlanma sürtünmesi temeline dayanan rulman yataklamalı bir sistem” geliştirilmesi gerekliliğidir.

Yuvarlanma sürtünmeli sistem ile hedeflenen sonuç, döner yapıları elemanlar kullanarak dairesel tambur yapısı üzerinde çizgisel temas yaratmak ve azalan direnç sayesinde daha az güç ve buna bağlı enerji harcayarak tamburun tahriğini sağlamak olacaktır.

Rulmanlı yataklama sistemi kullanan desteklenecek olan yuvarlanma sürtünmeli bu sistem aynı zamanda oluşturacağı düşük direnç ile motoru rahatlatarak, motor dışındaki sistem komponentlerinde zorlanma ve aşınmalarını daha az seviyeye indirgeyerek sistem ömrünü uzatacaktır.

Konsept olarak belirlenen sistem bundan sonraki bölümlerde geliştirilecektir.

3.2 Yeni Yataklama Sistemi Elemanlarının Belirlenmesi

Konsept genel yapısı olarak belirlenen yuvarlanma sürtünmeli ve rulman yataklı yeni yataklama sisteminin elemanları belirlenirken öncelik sırasına göre;

- Montaj yöntemi
- Mukavemet
- Ömür
- Az parça gereksinimi
- Maliyet
- Mevcut sisteme entegre etme

başlıkları üzerinde çalışılacaktır.

Tambur ile oluşturulacak bir yuvarlanma sürtünmesi yöntemi düşünüldüğünde akla ilk gelen yapı “tekerlek yapısı” şeklindedir.

Sonrasında bu tekerlek yapısının ön yataklama grubuna montajı için gerekli bir bağlantı/aktarma elemanı olarak görev yapacak bir çeşit “mil” çalışılmalıdır.

Tambur ve çamaşır ağırlığını taşıyacak olan bu tekerlek sisteminin mukavemetini sağlayacak rijit bir gövde yapısı gerekliliğinin yanı sıra tambur ile temas yüzeyinde sac parça üzerindeki zorlamayı azaltacak ve kaymayı azaltacak uzun ömürlü elastik bir yapı gerekmektedir.

Makine ömrü boyunca belirli kuvvet altında çalışacak sistemin ömrü düşünülerek bir yuvarlanma yataklama elemanı tekerlek grubuna dahil edilmelidir.

Diğer taraftan tekerleğe çalışabilecek bir yüzeye sahip ve mukavemeti yüksek yeni bir tambur yapısı çizgisel yük birikimine karşı geliştirilmelidir.

Yeni sistemin elemanları tek tek belirlendikten sonra mevcut sisteme entegre edilmesi çalışılmalıdır. Ön yataklama grubunda montaj konumları optimum hesaplama ile yola çıkılarak, sisteme uygun bir yapı ile devam ettirilecek, mevcut kuru sürtünme elemanları iptal edilecektir.

3.2.1 Tekerlek grubu

Uygulanacak yeni sistemin temel elemanı tekerlek grubu olacaktır. Silindirik yapıya sahip tambur grubunu ön yataklama bölgesinden yataklayacak bu elemandan konstrüktif nedenlerden ve dengeli bir yapı elde edilmesi gerekliliğinden ötürü en az 2 adet bulunması gerekir.

2 adet olarak kullanılacak tekerlek grubundan istenen belli özellikler ;

- Ön yataklama grubuna tamamen rijit olarak bağlanabilmeli,
- Bu eleman üzerinde dönme hareketini sürekli olarak gerçekleştirebilmeli,
- Mukavemeti yüksek bir yapıya ve yük altında uzun süreli ömre sahip olmalı,
- Sürekli yuvarlanma sürtünmesi gerçekleştireceği sac tambur elemanı yüzeyinde herhangi bir deformasyon, aşınma veya yırtılmaya neden olmamalı,
- Montajı yapılan grup makine ömrü boyunca esnemeyecek veya herhangi bir koşulda pozisyon değiştiremeyecek şekilde sabitlenmelidir.

Belirlenen bu kritik özellikler doğrultusunda; “bir mil ile ön yataklama grubuna bağlantısı yapılacak, yüksek mukavemetli bir gövdeye fakat elastik bir temas dış yüzeyine sahip rulman yataklamalı, güvenilir bir montaja sahip tekerlek grubu” oluşturulmalıdır.

3.2.1.1 Tekerlek mili

Tekerlek grubunun ilk elemanı tekerlek mili olacaktır. Bu elemanın esas görevi büyük plastik bir yapı olan ve kurutma makinası gövdesine rijit olarak bağlanan ön yataklama grubuna tekerleklerin aynı şekilde bağlantısını sağlamaktır.

Bu kapsamda tekerlek milinde beklenen genel özellikler;

- Yük altında, tekerlek gövdesi üzerinden gelebilecek herhangi bir kuvvet doğrultusunda eğilme direnci göstermeli ve mukavemeti yüksek bir yapıya sahip olmalı,
- Montajının yapılacağı yatay doğrultuda sonradan yatay bir harekete izin vermemeli, yani bir çeşitli geri dönüşü olmayan kilitlemeli bir montaja sahip olmalı,
- Üzerinde sürekli dönme hareketi yapacak olan yüksek devirli tekerlek gövdesine rağmen dönme yönünde hareket etmeyecek bir yapıya sahip olmalı,
- Montajını kolaylaştıracak bir ağızlama yapısı ve montaj sonrası uzun ömürlü rijitliğini sağlayacak bağlantı elemanlarına uygun olmalı
- Üzerine monte edilecek olan tekerlek gövdesinin makinede uygun pozisyonlanmasını sağlamalı, makine ömrü boyunca herhangi bir kaçıklığa izin vermemelidir.

Belirlenen özellikler doğrultusunda tekerlek milinin yüksek mukavemetli, sıkı geçmeli, dönme yönünde engelleyici, bağlantı yuvaları bulunan, hassas boyutlarda ve tekerlek gövdesini bir çeşit yuva yapısı ile sabitleyecek yapıda olması gerektiği öngörülmüştür.

3.2.1.2 Tekerlek gövdesi

Tekerlek grubu için belirlenen “mukavemeti yüksek rijit bir yapıya fakat aynı zamanda elastik bir dış yüzeye sahip yapı” için düşünülen yöntem adeta otomobil bir otomobil tekerleği gibi rijit bir gövde ve elastik bir dış lastikten oluşan çift malzemeli tekerlek yapısı olacaktır.

Bu doğrultuda belirlenen kritik gereksinimlere göre tekerlek gövdesinden beklenen özellikler;

- Dönme hareketi yapacağı için herhangi bir dengesiz yapı oluşturmayacak simetrik yapıya sahip olmalı,
- Seçilecek malzemesi doğrultusunda öngörülen 90 derece sıcaklığa ve yük altında çalışma koşullarına uygun olmalı,
- Nemli ortamdan etkilenmemeli,

- Az malzeme ve maliyet ile yüksek mukavemet sağlayacak bir konstrüksiyondan oluşmalı,
- İç yüzeyinden rulmanlı yataklamaya uygun, dış yüzeyinden ise lastik yapısına uygun bir kesite sahip olmalı, her iki yönde çalışma koşullarında herhangi bir kaçıklığa yada ayrılmaya olasılık vermemelidir.

Bir otomobil jantı gibi görev yapacak olan tekerlek gövdesi simetrik, dayanıklı plastik malzemeden, rijit ve mukavemeti yüksek konstrüksiyon içeren rulman ve lastik malzemeye uyumlu yapıda olacağına karar verilmiştir.

3.2.1.3 Tekerlek dış lastiği

Daha önce belirlediğimiz otomobil tekerleği tipine uygun dış lastik yapısını belirlerken bir takım kriter çakışmaları görülmüştür. Tekerlek dış lastiğinden istenilen özelliklere bakıldığında;

- Sac tambur ön sacı parçasında ömür boyunca herhangi bir deformasyon, aşınma veya yırtılmaya neden olmamalı,
- Makine ömrü boyunca (özellikle yüklü makinanın beklemesi ile aynı noktaya uzun süre yük binmesi) tekerlek dış yüzeyinde bölgesel çöküntü ve deformasyonlara izin vermemeli,
- Zamanla yıpranmayan uzun ömürlü yapıda olmalı,
- Belirlenen bölgede 90~95 derece sıcaklık ve nem altında belirli bir süre çalıştırılan dış lastiğin mekanik özellik değerlerinin minimum mertebede değişiklik göstermesi gerekmektedir,
- Tekerlek gövde malzemesi ile uyumlu olmalı yüzeyine tutunabilmelidir,
- Tambur ile tekerlek gövdesi arasında sönümleme elemanı gibi çalışmalıdır.

Tekerlek dış lastiğinden beklenen özellikler incelendiğinde, ilk iki madde arasında ciddi bir problem olduğu görülmektedir ki; tekerlek dış lastik malzemesi hem yüksek sertlik derecesine sahip kalıcı deformasyonu az bir yapıya sahip olmalı hemde düşük sertlik derecesine sahip tambura zarar vermeyecek yapıda olmalıdır. Bu durumda malzeme seçiminde birden çok tipte malzeme denenmeli ve testlere tabii tutulmalıdır.

Bu nedenle tekerlek malzemesinden istenilen kritik özellikler belirlenmeli, malzeme opsiyonları seçilmeli ve her bir malzeme için test ve analizler yapılmalıdır.

3.2.1.3.1 Kritik malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Tekerlek lastiği bölgesinden beklenen genel özellikler incelendiği zaman ilk olarak malzemenin sertliğinin kritik olduğu ve optimum bir değerde yakalanması gerektiği görülmektedir. Bu da malzemenin hem kalıcı deformasyona karşı direnç sağlayacak derece yüksek sertlikte hem de birlikte çalıştığı tambura zarar vermeyecek derecede düşük bir sertlikte olmasını gerektirir. Aynı zamanda eş sertlik değerlerinde değişiklik gösterebilen kalıcı deformasyon direnci önem taşımaktadır.

Makine ömrü boyunca tekerlek yüzeyinin zamanla tahribata uğramaması istenmektedir ve bu da malzemenin aşınma dayanımının yüksek olması ile gerçekleşecektir.

Makinanın belirlenen çalışma koşullarına uygun ortamda bekletilecek malzemelerin belli süreler sonunda çekme dayanımı, yırtılma dayanımı, kopma uzaması gibi mekanik değerlerinin minimum mertebede değişiklik göstermesi gerekecektir.

Kritik malzeme özelliklerini özetlemek gerekir ise bunlar ;

- Değişik sertliklerde optimum sertlik değeri belirlenmeli
- Kalıcı deformasyon direnci yüksek olmalı
- Aşınma dayanımı yüksek olmalı
- Baskı altında ve çalışma koşullarında bekleyen malzemenin mekanik özellikleri minimum mertebede değişiklik göstermelidir.

Belirlenen kritik lastik malzeme özellikleri incelendiğinde ve gövde malzemesi ile uygun yüzey tutunmasına sahip bir malzeme düşünüldüğünde yapılan literatür araştırmaları sonucu “termoplastik poliester (TPE)” yapıda bir malzeme kullanımına karar verilmiştir ve opsiyon seçimleri bu malzeme sınıfı üzerinden devam edecektir.

3.2.1.3.2 Malzeme opsiyonlarının seçimi

Malzeme sınıfı olarak seçilen TPE örnekleri için birden fazla tip ile çalışmak gerekmektedir. Bunun nedeni tekerlek dış lastiğinde sertlik değerinin optimum bir noktada saptanması gerekliliğidir.

Bu nedenle ilk olarak hedef/referans oluşturacak bir hayali TPE malzeme ve kritik özellikleri belirlenmeli, çalışma koşullarına ve beklenen kriti özelliklere uygun olarak seçilen bu referans malzeme özelliklerine ulaşılabilecek farklı tipte malzemeler ile çalışılmalıdır.

Bir nceki başlıkta belirlenen kritik özellikler doğrultusunda, literatürden yapılan araştırmalar ve benzer örnekler incelendikten sonra referans malzeme özellikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir ;

- Sertlik : 80~85 ShA
- Çekme Dayanımı (dikey) : 12 N/mm²
- Çekme Dayanımı (yatay) : 8,8 N/ mm²
- Kopma Uzaması (dikey) : 700 %
- Kopma Uzaması (paralel) : 300 %
- Yırtılma Dayanımı (dikey) : 45 N/mm
- Yırtılma Dayanımı (yatay) : 45 N/mm
- Aşınma : 49 mm³
- Baskı altında kalıcı deformasyon
 - o %25, 80⁰, 72 saatte : 43%
 - o %25, 100⁰, 72 saatte : 52%

Belirlenen referans malzeme özellikleri doğrultusunda en az 2 çeşit malzeme ile çalışılacak ve her bir malzeme çeşitli standartlarda testlere tabii tutularak kritik özellik değerleri ölçülecektir.

Sonrasında alınan sonuçlar neticesinde eleme yöntemi ile final malzeme seçimine ynelinecektir. Ancak malzeme analizi sonucu elde edilen değerler gerçek çalışma koşullarında farklı olabileceğinden, makine üzerinde yada özel bir düzenek ile de test edilmesi gerekecektir.

3.2.1.3.3 Farklı malzeme analizlerinin yapılması

Referans malzeme ve özelliklerinin seçilmesinin ardından, istenen sertlik değeri baz alınarak referans değere uygun alt ve st sınırlarda 2 farklı sertlikte 4 tip malzeme belirlenmiştir.

Çeşitli firmalar ile yapılan görüşmeler sonrası belirlenen malzemelerin her biri sırası ile malzeme testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan testler bölümün başında belirlenen kritik özellikleri ve bunları etkileyecek diğer mekanik malzeme özellikleri başlık olarak seçilerek yapılmıştır.

Seçilen 4 tip malzeme A-D arası isimlendirilmiştir ve yapılan testler sonucu aşağıdaki tabloda değerler özetlenmiştir;

Çizelge 3.1 : Farklı TPE malzeme analiz sonuçlarının mukayesesi

	A	B	C	D	Referans
Özgül Ağırlık (g/cm³)	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Kül Miktarı (%)	9,80	10,2	10,16	9,40	10
Sertlik (ShA)	79	87	82	90	80-85
Çekme Dayanımı (dikey) (N/mm²)	11,8	12	12,4	13,6	12
Çekme Dayanımı (yatay) (N/mm²)	9	9,2	8,8	8,80	9
Kopma Uzaması (dikey) (%)	708	690	698	659,2	700
Kopma Uzaması (yatay) (%)	434	489	280	267	350
Yırtılma Dayanımı (dikey) (N/mm)	47	49	48	49	45
Yırtılma Dayanımı (yatay) (N/mm)	43	44	44	50	45
Aşınma (mm³)	56	71	52	67,5	49
Baskı Altında Kalıcı Deformasyon (%) %25, 80⁰, 72 saat	53	51	47,2	45	43
Baskı Altında Kalıcı Deformasyon (%) %25, 100⁰, 72 saat	56	52	55,6	47	48

95⁰, 300 saat Sonrası Ölçüm Farkları

Sertlik (ShA)	-	-1	-	-	-
Çekme Dayanımı (dikey) (N/mm ²)	-	-7,6	-	-2,6	-
Kopma Uzaması (dikey) (%)	-1,3	-9,7	-2,4	-5,7	-
Yırtılma Dayanımı (dikey) (N/mm)	-5,3	-4	-8,5	-2	-
Hacimsel Genleşme	0,7	0,2	0,5	-	-

Yapılan analizler sonrası değerlendirme yapılmış, A ve C tipi nispeten daha düşük sertlikte olan malzemeler seçilerek diğer 2 malzeme elenmiştir.

Neticede kalan 2 farklı tip malzemedan birinin seçimine yapılacak mekanik test ve makine üzerinde, çalışma koşullundaki deneyler ile karar verilecektir.

3.2.1.4 Tekerlek rulmanı

Tekerlek grubunun göbek elemanı olarak seçilen rulmanın çok çeşitte tipleri ve özellikleri bulunmaktadır. Çalışma koşullarına ve konstruksiyonuna en uygun, aynı zamanda maliyeti düşük bir rulmanın seçilmesi gerekmektedir.

Rulman seçimi için dikkat edilmesi gerek önemli bir husus tamburun sadece dikey değil, dönüş esnasında azda olsa yatay yönde de hareket edebilmesi olasılığıdır. Bu nedenle rulman seçiminin dikey yönde temel olmak üzere aynı zamanda yatayda da belirli kuvvetlere kadar direnç gösterebilmesi gerekmektedir. Bu kriter göz önünde bulundurulduğunda küresel tip rulmanlar, bulunabilirlik ve maliyet bakımından da incelendiğinde seçimimiz olacaktır.

Rulmanın seçiminde göz önünde bulundurulacak diğer koşullar ;

- 95⁰ ortam sıcaklığı
- Nemli ortam özelliği
- Ortalama 450 d/d dönme hızı
- Tekerlek başına ~100 N kuvvet olarak alınabilir.

Bu kořullar incelendiđinde dűřűk kuvvet ve dűnme hızı iđin minimum gereksinimli bir standart rulman tipi seđilebilir. Literatűr ęalıřmalarında incelenen rulman tipleri dođrultusunda bilyalı tip rulmanlar eksenel ve radyal yűnde kuvvet tařıyabilmektedir. Sűz konusu yataklama tasarımında kuvvet yođuluđu tek yűnde fakat 100N gibi dűřűk mertebelerdedir.

Bu nedenle maliyet ve kontrűktif detaylar gűz űnűnde bulundurulursa mil ęapı ile uyumlu 8 ęaplık bir tek sıra bilyalı rulman tercihi uygun olacaktır. ęeřitli katalog ve firmalar ile gűrűřmeler yapılmıř, basit rulman hesabı uygulanarak 608 tipi rulmanın kullanımı uygun bulunmuřtur. ęalıřma kořullarına gűre rulmanın kapak ve yapı tipine karar vermek gereklidir.

Ortam sıcaklıđı ve nem gűz űnűne alındıđında rulman űzellikleri űnem kazanmaktadır. Kriterler dođrultusunda nem ve sıcaklık nedeni ile kapaklı tip rulmanlardan űncelik kazanan 608Z ve 608D tipi rulmanlar arasında seđim yapmak gerekecektir. Bu rulmanlar arasındaki farklar incelendiđinde ise Z tipi rulmanlarda klasik metal, D tipi rulmanlarda ise kauęuk kapaklar olduđu gűrűlmektedir.

Benzer tip uygulamaların incelenmesi ve rulman űretici firmalar ile yapılan ortak ęalıřmalar sonucu D tipi rulman ufak bir maliyet artıřı ile daha garantili bir ęalıřma ortamı sađlamakta, rulman iđinde zamanla meydana gelebilecek herhangi bir paslanmayı űnlemekte olduđu gűrűlműřtűr. Fakat yinede Z tipi rulmanların ęalıřma ortamında test edilmesi gerekecektir.

İlk bařta bahsetmiř olduđumuz tamburun nispeten yatayda da yapabileceđi hareket dűřűnűldűđűnde rulmanın bu hareketin neden olabileceđi kűrűsel deplasmanları sűnűmleyecek űzel bir yapıda olması gerekmektedir. Bu űzellik űzerine yapılan ęalıřmalar sonucu, űretici firma ile 608 DW tipi bir rulman ęalıřılmıř ve bu űzel rulman sayesinde yűksek sıcaklıđa dayanıklı, kauęuk kapaklı ve kűresel harekete kısıtlı olsada imkan sađlayan bir rulman elde edilmiřtir.

ęalıřmanın sonraki kısımlarında 608 DW tipi rulman ile devam edileceđi űngűrűlecek fakat hazırlanacak űzel bir dűzenek ile ucuzlatma amacı gűdűlerek 608Z tipi rulmanlar makine ęalıřma ortamında teste tabi tutulacaktır.

3.2.1.5 Tekerlek bağlantı elemanları

Tekerlek grubunun son elemanları, grubun kendi içinde ve diğer parçalara sabitlenmesini sağlayacak bağlantı elemanlarıdır.

Bunlardan ilki tekerlek mili üzerine yerleştirilecek rulmanlı tekerlek gövdesinin mile sabitlenmesini sağlayacak bir bağlantı elemanı olacaktır.

Bir diğer eleman ile ön yataklama grubuna montajı yapılan tekerlek grubunun sabitlenmesini sağlayacak bir eleman ve yine bu elemanın çalışma koşullarındaki titreşim, sıcaklık ve yüke bağlı olarak zamanda gevşemesini önleyecek bir kilitleme elemanı olmalıdır.

Öngörülen bu elemanların seçimi ve konstrüktif özelliklerine bir sonraki bölümde mil, ön yataklama ve tekerlek konstrüksiyonuna bağlı olarak karar verilecektir.

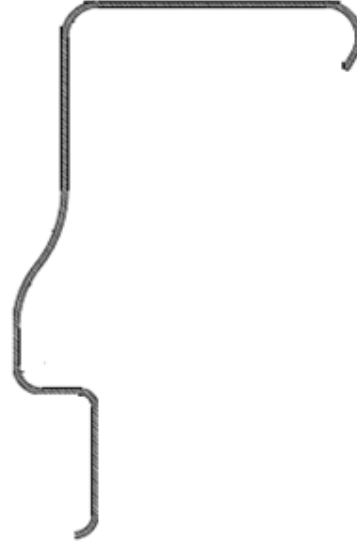
3.2.2 Tambur grubu

Tekerlek grubunun genel konseptinin oluşturulmasının ardından mevcut parçalar ve bunlarda yeni sisteme uyumlu hale getirmek için yapılacak değişiklikler belirlenecektir.

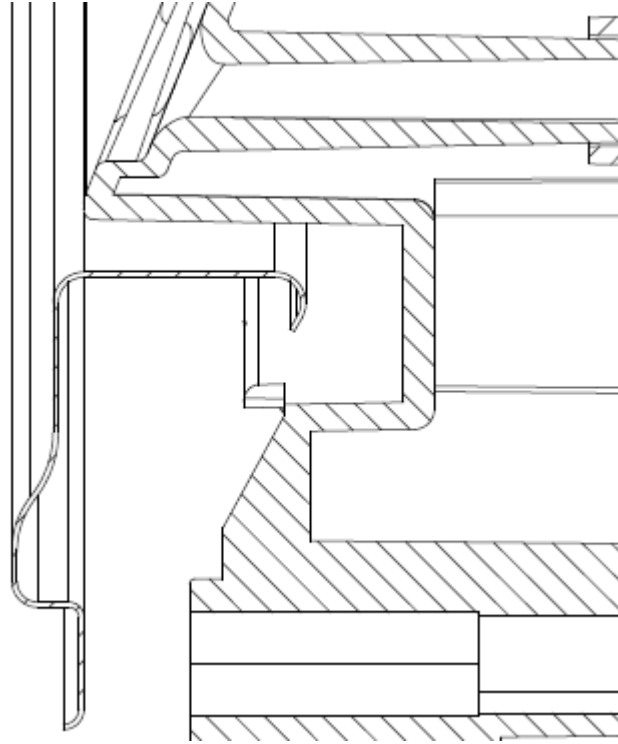
Mevcut sistemin yataklanan elemanı olan tambur grubu incelenecek ilk revizyon olacaktır. Sistemin genel değişimi gözleendiğinde, yataklama sisteminin makine arka tarafındaki yapısı değişmemekte ve aynı kalmaktadır bu nedenle tambur grubu dahilindeki tambur arka sacı ve arka yataklama elemanlarında değişiklik yapılmayacağı belirlenmektedir.

Ön taraf yataklamasındaki değişiklik dolayısı ile direkt olarak tambur ön sacını etkileyecektir.

Aşağıda mevcut tambur ön sacı kesiti ve mevcut yataklama sistem ile ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3.1 : Mevcut tambur ön sacı kesiti



Şekil 3.2 : Mevcut tambur ön sacı – ön yataklama kesiti

Mevcut görünüş incelendiğinde daha öncede belirtilmiş olan tambur ağzını “içten” yataklama methodu açıkça görülmektedir. Aynı zamanda az genişlikte bir yataklama elemanı basma yüzeyi ile 2 tarafı açık bir tambur ön sacı görülmektedir.

Yeni sistem düşünöldüğünde ise tekerleklerin tambur ön sacını “dıştan” taşıyan bir method uyguladığı ve tamburun bu tekerlekler üzerine yerleştirileceğı görölmekte, buda paralelinde geniş bir temas yüzeyi , tekerleğın az miktarda küresel hareketlerini getirmekte, tambur ön sacının kesatine bakıldığında dış yüzeyinin iki tarafının formlar ile kapalı olduğı görölmektedir.

Dolayısı ile mevcut durum ve yeni konsept ele alınırda tambur grubunda aşğıdaki 2 temel kritik özelliğı yerine getirecek değışiklikler yapılmalıdır,

- Tekerlek grubunun temas yüzeyini sağlayacak, küresel ve yatak hareketine kısmen izin verecek ve montajına imkan verecek daha uzun boğza sahip bir tambur ön sacı,
- 2 ana eleman üzerine dağıtılacak ve teorik olarak çizgisel bir kuvvet dağılımı sergileyecek ağırlığı karşılayacak mukavim bir yapıya sahip tambur önce sacı konstrüksiyonu ele alınmalıdır.

Tambur ön sacında belirlenen kriterleri karşılayacak değışikliklerin yapılmasına bağı olarak tambur çevre sacı uzunluğunda da değışiklik yapılması söz konusu olacaktır.

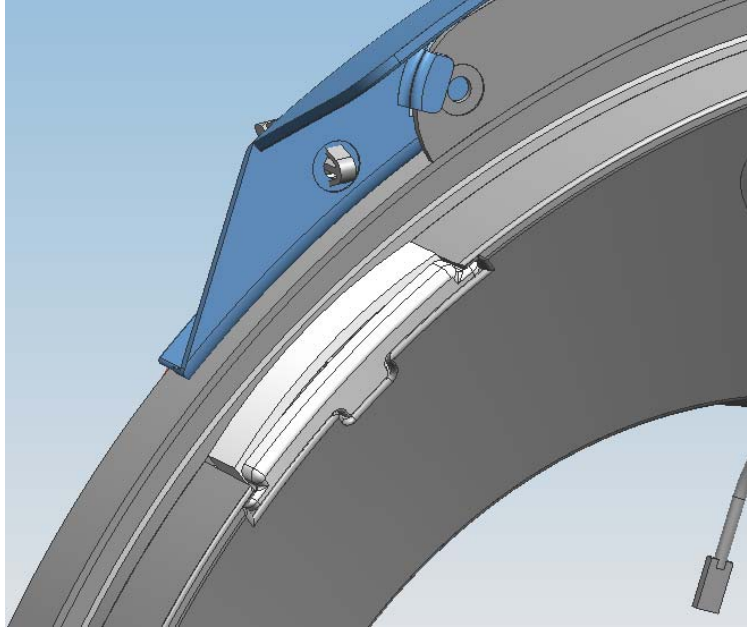
Tambur hacminin kurutma makinelerinde kritik olmasından ötürü tambur çevre sacı kısılması sonucu tambur hacmide mutlaka tekrar hesaplanmalıdır.

3.2.3 Radyal sürtünmeli yatakların iptali

Tekerlek konseptinin gözden geçirilmesinin ardından ilişkili mevcut parçalardan revizyona gidilecek diğeri bir parça radyal sürtünmeli yatak elemanları olacaktır.

Mevcut sisteme tamburun yataklamasını sağlayan bu elemanlara yeni tekerlek grubunun oluşturulması ile artık gerek duyulmamaktadır. Yeni oluşturulacak sistemin çalışmasına engel olacağından vede maliyeti yüksek POM malzemeden oluşan bu parçaların sistemden çıkarılması gereklidir.

Aşğıda gruplu halde daha önce incelediğimiz sürtünmeli yataklardan bir tanesinin monte edilmemiş haldeki konumu görölmektedir.



Şekil 3.3 : Radyal sürtünmeli yatak montajlı görünüşü

Görünüşler incelendiğinde parçaların iptali ile ön yataklama parçası üzerinde 4 adet büyük yuvarın açıklığının kalacağı görülmektedir. Mevcut ön yataklama parçasında bu yuvaların iptalini gerçekleştirmek bir seçenek olsada üretim açısından paralelde mevcut kuru sürtünmeli yataklama sisteminin devai ve stok durumu göz önüne alındığında bu değişiklik yapılamamaktadır. Yine kalıpta bu bölgenin lokmalı çalışılması bir çözüm olsada mevcut üretimi aksatacaktır.

Açıkta kalan bu yuvalara makine çalışma esnasında çamaşırların girmesi, dolanması ve zarar görmeleri ciddi bir tehlikedir, aynı zamanda sıcak havanın bu bölgeden sızarak kayıp oluşturmasıda muhakkaktır.

Bu nedenle iptal edilen kuru sürtünmeli yataklama elemanlarının açıkta kalan yuvalarını kapatacak, basit, maliyeti düşük ve yeni sistemin çalışma konseptine uygun yeni bir parçanın konstrüksiyonu gözden geçirilmeli ve bu bölgelerde adeta bir “tapa” görevini üstlenmelidir.

3.2.4 Ön yataklama grubu

Yeni sisteme geçilmesi ile yapılacak değişikliklerin büyük bölümünü ön yataklama grubunda yapılacak olan değişiklikler oluşturacaktır. Bunun nedeni yeni yataklama elemanı olan 2 adet tekerlek grubunun bu parçalar üzerine monte edilecek olmasıdır.

Mevcut ön yataklama önceden öngörölmüş tekerlek pozisyonları mevcuttur fakat kullanılmamıştır. Bunun nedenleri sonraki bölümde yapılacak olan tekerlek optimum pozisyonlarının hesaplanması ile açıkça görölecektir ki ön yataklama grubu üzerine yerleştirilecek montaj yapılarının pozisyonları sistem çalışması ve ömrü açısından son derece kritik olacaktır.

Ön yataklama parçası ana montaj elemanı olarak kabul edilecek ve tekerlek mili vasıtası ile tekerlek grubu bu parçaya bağlanacaktır. Sonrasında grubu dışarıdan kaptacak olan ön yataklama kapağı ise bu montaja dahil olacak ve sistemi destekleyecektir.

Yapılacak değişiklikler sonra ön yataklama grubundan beklenen özellikler,

- Tekerlek grubunun ritij bir şekilde montajına imkan sağlamalı ve çalışma ömrü boyunca herhangi bir plastik deformasyonu, ezilme ve esnemeye izin vermemeli,
- Mil yapısına uygun bir yapı oluşturmalı tekerlek ile birlikte grubun dönmesini engelleyecek bir kontrüksiyona sahip olmalı,
- Kurutuma makinesi performansına doğrudan etkili olan hava akış debisini oluşturulacak yeni bağlantı yapısı ile etkilememeli,
- Tekerlekler ve mil üzerinden iletilecek tambur ve çamaşır ağırlığı ile kayışlardan gelen kuvvetler doğrusunda oluşacak bileşke kuvveti karşılayacak optimum pozilyonda ve mukavim konstrükyonda olmalıdır.

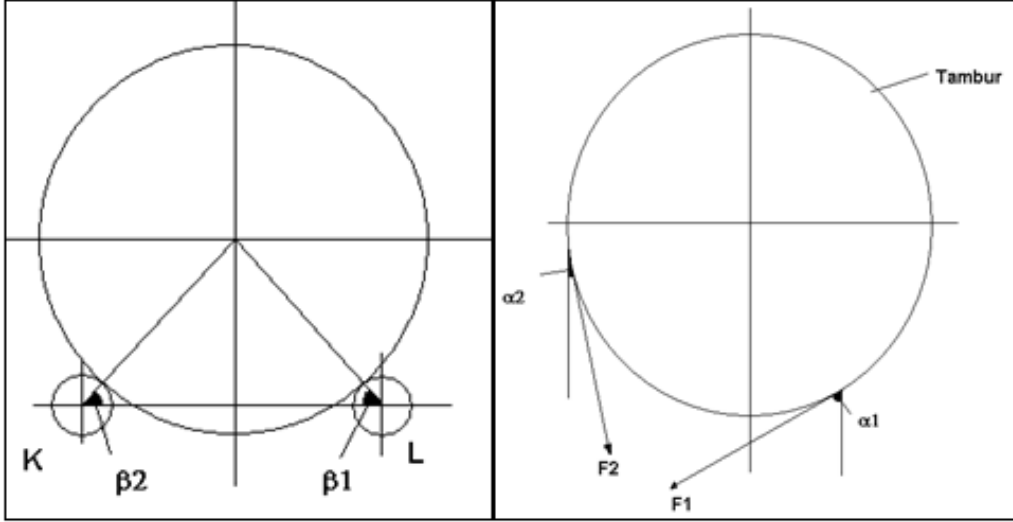
Bu değişiklikler yapılırken kalıpta yapılacak tadilat dolayısı ile tadilata uygunluk kalıp dataları üzerinden sürekli kontrol edilmelidir.

3.3 Tekerlek Yataklama Kuvvetlerinin Hesaplanması

Daha önce rulman hesabı dahil tekerlek başına gelen kuvvet ölçümler sonucu yaklaşık 100N kabul edilmiştir. Ancak doğru olarak yapılması gereken bu kuvvet değerlerinin her iki tekerlek için ayrı ayrı hesaplanmasıdır. Mevcut yataklamada öngörölen ve kullarılayan tekerlek yerleri ön yataklama yatay ekseninden eşit 40⁰'lık açılarla pozisyonlandırılmıştır. İlk hesaplamada referans olarak bu açılar kullanılacak ve daha önce belirttiğimiz bu pozisyonların neden verimli olmadıkları açıklanacaktır.

Tekerleklerin her birine gelen kuvvetler hesaplanırken bir hesap tablosu oluşturulmuş ve değişkenlere bağlı olarak formüller tanımlanmıştır, bu sayede değişik tekerlek montaj açıları girilerek optimum değerler elde edilmiştir.

Hesaplamaların yapımında makine üzerinde çeşitli ölçümler alınmış ve aşağıdaki değerler kabul edilmiştir;



Şekil 3.4 : Tekerlek pozisyonlarının şematik görünüşü

(L)Sağ Kayış Kuvveti F_1 : 148N

(K)Sol Kayış Kuvveti F_2 : 64N

Çamaşır Ağırlığı m_c : 13 kg

Tambur Ağırlığı m_t : 4 kg

F_1 kolunun düşeyle açısı α_1 : $68,34^\circ$

F_1 kolunun yatayla toplam açısı $F_1(t)$: $201,66^\circ$

F_2 kolunun düşeyle açısı α_2 : $16,34^\circ$

F_2 kolunun yatayla toplam açısı $F_2(t)$: $286,34^\circ$

Tambur Yarıçapı (R_T) : 289,95mm

Çamaşırın Önyataklamaya Uzaklığı L_1 : 210,88mm

Kayışın Ön Yataklamaya Uzaklığı L_2 : 370,28mm

Ön Yatak – Arka Yatak Uzaklığı L : 435,05mm

(L)Sağ Tekerin Açısı $\beta_1 : 40^0$

(K)Sol Tekerin Açısı $\beta_2 : 40^0$

$$F1(x) = F1.Cos\left(\frac{F1(t).\pi}{180}\right) = 148.Cos\left(\frac{201,66.\pi}{180}\right) = -137,5498N$$

$$F1(y) = F1.Sin\left(\frac{F1(t).\pi}{180}\right) = 148.Sin\left(\frac{201,66.\pi}{180}\right) = -54,62651N$$

$$F2(x) = F2.Cos\left(\frac{F2(t).\pi}{180}\right) = 64.Cos\left(\frac{286,34.\pi}{180}\right) = 18,0055N$$

$$F2(y) = F1.Sin\left(\frac{F2(t).\pi}{180}\right) = 64.Sin\left(\frac{286,34.\pi}{180}\right) = -61,41498N$$

$$F(x)T = F1(x) + F2(x) = -119,5442N$$

$$F(y)T = F1(y) + F2(y) = -116,0415N$$

$$F(T) = \sqrt{F(x)T^2 + F(y)T^2} = 166,6027N$$

$$M_d(T) = F2.R_T - F1.R_T = -24355,8Nmm$$

Y - Z Düzleminde Kuvvet Hesabı

$$F_{\zeta+t} = F_{\zetaamaşur} + F_{tambur} = (m_{\zeta} + m_t).(-9,81) = -166,77N$$

F_a = Arka Yataklamaya Gelen Kuvvet

F_b = Ön Yataklamaya Gelen Kuvvet

$$F_{ay} = \frac{F_{\zeta+t}.L1 + F(y)T.L2}{L} = -179,603N$$

$$F_{by} = \frac{F_{\zeta+t}.(L - L1) + F(y)T.(L - L2)}{L} = -103,2085N$$

Z - X Düzleminde Kuvvet Hesabı

$$F_{ax} = \frac{F(x)T.L2}{L} = -101,7466N$$

$$F_{bx} = \frac{F(x)T.(L - L2)}{L} = -17,79768N$$

$$\text{Arka Yatak Bileşke Kuvveti} = F_a = \sqrt{F_{ax}^2 + F_{ay}^2} = 206,421N$$

$$\text{Ön Yatak Bileşke Kuvveti} = F_b = \sqrt{F_{bx}^2 + F_{by}^2} = 104,7318N$$

$$\text{Ön Yatak Bileşke Kuvvetin Yatayla Açısı} = \phi = \arctan \frac{F_{by}}{F_{bx}} = 1,4rad = 80,21591^0$$

$$F_K = \text{Sol Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{\frac{F_b \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + F_b \cdot \sin\phi}{\frac{\cos\beta_2 \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + \sin\beta_2} = 91,89854N \quad (3.1)$$

$$F_{Kx} = F_K \cdot \cos\beta_2 = -70,39826N \quad (3.2a)$$

$$F_{Ky} = F_K \cdot \sin\beta_2 = -59,07124N \quad (3.2b)$$

$$F_L = \text{Sag Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{F_b \cdot \sin\phi - F_K \cdot \sin\beta_2}{\sin\beta_1} = 68,66532N \quad (3.3)$$

$$F_{Lx} = F_L \cdot \cos\beta_1 = 52,60068N \quad (3.4a)$$

$$F_{Ly} = F_L \cdot \sin\beta_1 = -44,13721N \quad (3.4b)$$

Hesaplamalar sonrasında sağ ve sol tekere gelen kuvvetlerin değerlerine ulaşılmıştır.

Bu hesaplamalar yapılırken kurutma makinesinin sürekli olarak saat yönünde döndüğü ön görülmüştür fakat kurutma makinası belirli aralıklarla çamışırın toparlanmasını önlemek ve yüzey verimi arttırmak üzere çamaşırları karıştırmak için ters yöne dönüş gerçekleştirmektedir. Bu nedenle aynı hesaplamalar bir kez de saat yönü tersinde dönüş için yapılmalıdır.

Bu hesaplama yapılırken kayış kuvvetleri tam ters olarak alınacaktır ;

(L)Sağ Kayış Kuvveti F1 : 64N

(K)Sol Kayış Kuvveti F2 : 148N

$$F_K = \text{Sol Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{\frac{F_b \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + F_b \cdot \sin\phi}{\frac{\cos\beta_2 \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + \sin\beta_2} = 87,76022N$$

$$F_{Kx} = F_K \cdot \cos\beta_2 = -67,22823N$$

$$F_{Ky} = F_K \cdot \sin\beta_2 = -56,41118N$$

$$F_L = \text{Sag Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{F_b \cdot \sin\phi - F_K \cdot \sin\beta_2}{\sin\beta_1} = 84,29243N$$

$$F_{Lx} = F_L \cdot \cos\beta_1 = 64,57175N$$

$$F_{Ly} = F_L \cdot \sin\beta_1 = -54,18213N$$

Tambur dönüş yönünün değişmesi ile tekerleklerle gelen kuvvetlerin değişimi açıkça görülmektedir.

3.4 Tekerlek Pozisyonlarının Belirlenmesi

Geliştirilen hesap yönteminin ardından, uygulanacak yeni sistemin her iki tekerleğinin pozisyonlarının belirlenmesi gerekecektir.

Tekerlek pozisyonları belirlenirken ilk olarak tekerleklerle gelen yükler çeşitli deneme yanılma ve yakınsama yöntemleri ile minimuma indirecek şekilde bir pozisyon seçilecektir. Bu şekilde tekerlek grubu ve tambur ön sacı deformasyon ve aşınmaları minimuma indirilmiş ve yataklama ömrü uzatılmış olacaktır. Bu hesaplamalar yapılırken tamburun her iki yöne dönüşü için ayrı ayrı uygulanacaktır.

Fakat mevcut bir sisteme uygulanacak bu değişikliğin etkileyeceği başka hususlarda vardır ki bunların başında ön yataklama parçası konstrüksiyonuna, tadilata uygunluğuna ve hava akışına, dolayısı ile debiye etkisine bakılmalıdır. Bu nedenle ikinci olarak mevcut sisteme entegre edilebilecek en verimli konum konstrüktif olarak ve hava akış kesitleri çıkarılarak belirlenmelidir.

Her iki koşulda tekerlekler için uygun pozisyonların belirlenmesinin ardından, her iki koşula uygun optimum bir pozisyon formatı belirlenecektir.

3.4.1 Hesap yöntemi ile optimum pozisyonun belirlenmesi

Belirlenen hesap yöntemi ile tekerleklerin etkiyecek kuvvet bakımından en uygun pozisyonları belirlenecektir. Burada dikkat edilecek 2 önemli husus tekerleklerle ve buna bağlı tambur ön sacına minimum mertebede kuvvetin etkimesi, diğer yandan ise her iki tekerleğe etkiyen kuvvetler arasındaki farkın tamburun her iki yöne dönüşü bakımından da incelenerek minimum olmasıdır.

2 tekerleğe etkiyen kuvvetler arasındaki fark özellikle tambur ön sacında dönme hareketi ile sürekli bir inişli çıkışlı kuvvet etkime eğrisine neden olacağından minimum mertebede tutulmalıdır.

Hesap yöntemi ile tekerleklerin en uygun konumu belirlenirken deneme-yanılma ve yakınsama sonucu optimum pozisyon aşağıdaki hesaplama ile sağlanarak sol tekerlek için 42^0 , sağ tekerlek için 58^0 olarak saptanmıştır.

(L)Sağ Tekerin Açısı β_1 : 58^0

(K)Sol Tekerin Açısı β_2 : 42^0

Saat yönünde dönüş için ;

$$F_K = \text{Sol Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{\frac{F_b \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + F_b \cdot \sin\phi}{\frac{\cos\beta_2 \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + \sin\beta_2} = 70,862N$$

$$F_{Kx} = F_K \cdot \cos\beta_2 = -52,66N$$

$$F_{Ky} = F_K \cdot \sin\beta_2 = -47,416N$$

$$F_L = \text{Sag Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{F_b \cdot \sin\phi - F_K \cdot \sin\beta_2}{\sin\beta_1} = 65,79N$$

$$F_{Lx} = F_L \cdot \cos\beta_1 = 34,863N$$

$$F_{Ly} = F_L \cdot \sin\beta_1 = -55,792N$$

Saat yönünün tersine dönüş için ;

$$F_K = \text{Sol Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{\frac{F_b \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + F_b \cdot \sin\phi}{\frac{\cos\beta_2 \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + \sin\beta_2} = 61,797N$$

$$F_{Kx} = F_K \cdot \cos\beta_2 = -45,924N$$

$$F_{Ky} = F_K \cdot \sin\beta_2 = -41,35N$$

$$F_L = \text{Sag Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{F_b \cdot \sin\phi - F_K \cdot \sin\beta_2}{\sin\beta_1} = 81,649N$$

$$F_{Lx} = F_L \cdot \cos\beta_1 = 43,267N$$

$$F_{Ly} = F_L \cdot \sin\beta_1 = -69,243N$$

Belirlenen bu pozisyonlar mevcut 40°-40° kombinasyonu ile karşılaştırılırsa ;

Her iki dönüş yönü için bir tekerleğe gelen maksimum kuvvet 91,89N ‘dan 81,65N ‘a düşürülmüş, tekerleklerle gelen kuvvetler arası fark genel dönüş yönü olan saat yönünde dönüş için 23,23N ‘dan 5,072N ‘a düşürülmüş, saat yönünün tersine kısa süreli dönüş için ise 3,47N ‘dan 19,86 N’ a yükseltilmiş, yani bir bakıma tamburun genel dönüş yönündeki fark kısmı kısa süreli ters yöne dönüşe aktarılmıştır.

3.4.2 Ön yataklama tasarımına uygun pozisyonun belirlenmesi

Hesap yöntemi ile en uygun pozisyonların belirlenmesinin ardından mevcut sisteme entegre etmek üzere ön yataklama tasarımına uygun pozisyonları belirlemek gerekecektir.

Daha öncede bahsedildiği gibi kurutma makinalarında hava akış debisi makinanın genel davranış karakterini ve buna bağlı performansını doğrudan etkilemektedir. Dolayısı ile debiyi etkileyebilecek en önemli husus hava akış kesiti olmaktadır. Ön yataklama parçası pozisyon ve görevi itibari ile hava akışının en kritik olduğu bölgelerdendir, dolayısı ile mevcut tasarımda elde edilen hava akış kesiti yapılacak tadilat ile minimum mertebede değişikliğe uğramalı, eldeki performans ve verim değerleri bozulmadan debi korunmalıdır.

Kesit hesabı yapılırken mevcut montaj bölgesi alanı aynı şekilde kabul edilerek kaydırılmış ve kesitler tekrar hesaplanmıştır. Kesitlerin hesabında minimum genişlik ve yüksekliğe sahip yani minimum alana sahip bölgeler baz alınmıştır.

Mevcut 40^0-40^0 kombinasyonu için yapılan hesaplamalar sonucu en kritik kesitteki akış alanı 1980mm^2 olarak elde edilmiştir.

Hesap yöntemi ile kuvvet bakımından elde edilen optimum pozisyon olan 58^0-42^0 kombinasyonu için ise en kritik kesitteki akış alanı 1239mm^2 olarak elde edilmiştir.

Kesit hesapları sonucunda kuvvet bakımından en iyi konumda olmalarına rağmen tekerlek pozisyonlarının akışı olumsuz etkilediği görülmektedir. Çeşitli açılardaki konumlandırmalar ile kesit alanı hesapları yapılmış ve elde edilen sonuçlarda 40^0-32^0 kombinasyonu ile elde edilen 2120mm^2 'li kesit alanı mevcut tasarıma uygun hava akışı bakımından en uygun pozisyonları vermiştir.

3.4.3 En iyi konum opsiyonunun belirlenmesi

Sayısal hesap yöntemi ile belirlenen kuvvet bakımından en iyi konumların ve hava akış kesiti bakımından belirlenen en verimli tekerlek pozisyonlarının ardından yapılması gereken işlem her iki özelliğinde iyi bir şekilde sağlanacağı optimum bir final pozisyonun belirlenmesidir.

Bunun için her iki koşulda belirlenen pozisyonların birbirlerine yakınsamaları ile tekrarlanan hesaplamalar sonucu optimum pozisyon olarak 40^0-55^0 kombinasyonu belirlenmiştir.

Bu kombinasyon ile yapılan kuvvet hesapları sonucu ;

(L)Sağ Tekerin Açısı β_1 : 55^0

(K)Sol Tekerin Açısı β_2 : 40^0

Saat yönünde dönüş için;

$$F_K = \text{Sol Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{\frac{F_b \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + F_b \cdot \sin\phi}{\frac{\cos\beta_2 \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + \sin\beta_2} = 74,058N$$

$$F_{Kx} = F_K \cdot \cos\beta_2 = -56,7323N$$

$$F_{Ky} = F_K \cdot \sin\beta_2 = -47,604N$$

$$F_L = \text{Sag Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{F_b \cdot \sin\phi - F_K \cdot \sin\beta_2}{\sin\beta_1} = 67,88N$$

$$F_{Lx} = F_L \cdot \cos\beta_1 = 38,934N$$

$$F_{Ly} = F_L \cdot \sin\beta_1 = -55,6044N$$

Saat yönünün tersine dönüş için;

$$F_K = \text{Sol Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{\frac{F_b \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + F_b \cdot \sin\phi}{\frac{\cos\beta_2 \cdot \sin\beta_1}{\cos\beta_1} + \sin\beta_2} = 65,86N$$

$$F_{Kx} = F_K \cdot \cos\beta_2 = -50,45N$$

$$F_{Ky} = F_K \cdot \sin\beta_2 = -42,334N$$

$$F_L = \text{Sag Tekere Gelen Kuvvet} = \frac{F_b \cdot \sin\phi - F_K \cdot \sin\beta_2}{\sin\beta_1} = 83,329N$$

$$F_{Lx} = F_L \cdot \cos\beta_1 = 47,795N$$

$$F_{Ly} = F_L \cdot \sin\beta_1 = -68,259N$$

olarak belirlenmiştir.

Bir önceki bölümde yapılan akış kesit hesabı yöntemi tekrarlanmış ve hava akış kesitinin en kritik bölgede 1516mm^2 olduğu görülmüştür.

Final olarak belirlenen pozisyonların mevcut ile mukayesesi yapılırsa ;

Her iki dönüş yönü için bir tekerleğe gelen maksimum kuvvet 91,89N ‘dan 83,329N ‘a düşürülmüş, tekerleklere gelen kuvvetler arası fark genel dönüş yönü olan saat yönünde dönüş için 23,23N ‘dan 6,178N ‘a düşürülmüş, saat yönünün tersine kısa süreli dönüş için ise 3,47N ‘dan 17,469 N’ a yükseltilmiş, daha önceden de bahsedilen yöntem ile benzer olarak tamburun genel dönüş yönündeki fark kısmı kısa süreli ters yöne dönüşü aktarılmıştır.

Hava akış kesiti ise 1980mm^2 ‘den 1516mm^2 ’ ye düşmektedir ki bu değişim debiyi ciddi bir miktarda etkilememekte yapılan denemeler sonucu performansa minör etkilerde bulunmaktadır.

Tekerlek pozisyonlarının belirlenmesinin ardından yeni sistemin genel hatları artık belirgin hale gelmiştir. Bu aşamadan sonra artık detaylı konstrüksiyona geçilecektir.

4 YENİ YATAKLAMA SİSTEMİNİN KONSTRÜKSİYONU

Bu bölüm itibari ile yeni yataklama sisteminin detaylı konstrüksiyonuna geçilecek ve her bir sistem elemanı tek tek finalize edilerek, son olarak sistemin genel konstrüksiyonu ve montaj şekli belirlenecektir.

4.1 Sistem Elemanlarının Konstrüksiyonu

Sistemin genel konstrüksiyonuna tüme varım şeklinde ulaşılmalıdır. Bu nedenle ilk olarak bir önceki bölümde özellikleri, kritik özellikleri ve kısıtları ile genel hatları belirgin hale gelen konsept niteliğindeki sistem elemanları tek tek kaleme alınmalıdır.

Tek tek konstrüksiyonları finalize edilecek parçalarda gerektiğinde kritik analizlerde yapılacaktır.

4.1.1 Tekerlek grubu konstrüksiyonu

Bir önceki bölümde tekerlek grubunun elemanları ;

- Tekerlek gövdesi
- Tekerlek dış lastiği
- Tekerlek mili
- Tekerlek rulmanı
- Tekerlek bağlantı elemanları

olarak belirlenmişti.

Belirlenen bu sistem elemanlarından tekerlek rulmanı ve bağlantı elemanları standart komponentler olup herhangi bir konstrüksiyon çalışmasını içermeyecektir. Ancak üretici firmalar ile anlaşarak komponentlerin detaylı teknik resim ve 3 boyutlu dataları temin edilmiştir. Bunun nedeni ise konstrüksiyonu yapılacak diğer sistem elemanlarının bu standart elemanlara uygun olarak tasarlanması gereğidir.

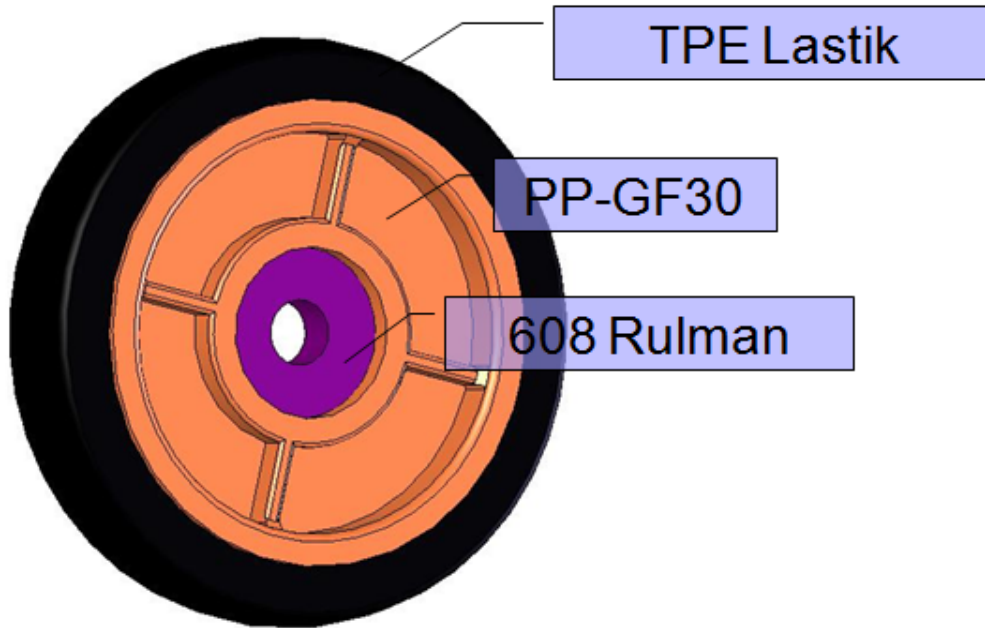
Grubun her bir elemanının ilişkili olduğu parçalara ve önceki bölümde belirtilen gereksinim kriterlerine uygun konstrüksiyonu yapılacaktır.

4.1.1.1 Tekerlek üretim yönteminin belirlenmesi

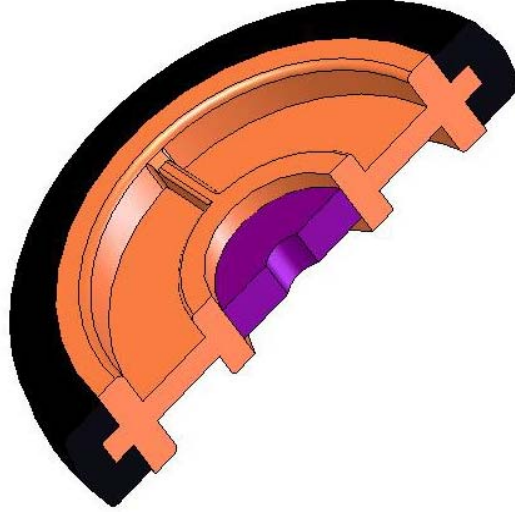
Sistem elemanlarının konstrüksiyonuna başlamadan önce ilk olarak üretilecek olan tekerlek grubunun üretim methodunun belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü her bir elemanın konstrüksiyonu yapılırken mutlaka üretim yöntemi göz önünde bulundurulmalı, tasarım buna göre yapılmalıdır.

Tekerlek grubunun üretimi düşünüldüğünde, herhangi bir bağlantı elemanı olmaksızın birbirine rijit bağlı 3 eleman gereksinimi vardır. Bir rulman ve bunu çevresel saran bir gövde yapısı ve de tekerlek gövdesini dıştan saracak olan bir tekerlek dış lastiği.

Dolayısı ile bu grubun üretimi düşünüldüğünde tek bir operasyon ile aynı kalıpta bu 3 sistem elemanı birlikte üretilmelidir. Bunun için ise kullanılacak yöntem kalıp içine önceden yerleştirilecek (insert) bir rulman, bunun üzerine enjekte edilecek PPGF30 tekerlek gövdesi ve son olarak bununda üzerine overmolding yöntemi ile sıcak enjekte edilecek bir TPE lastik malzeme şeklinde kademeli bir enjeksiyon methodu olacaktır.



Şekil 4.1 : Tekerlek grubu elemanlarının yerleşimi



Şekil 4.2 : Tekerlek grubu konsept kesiti

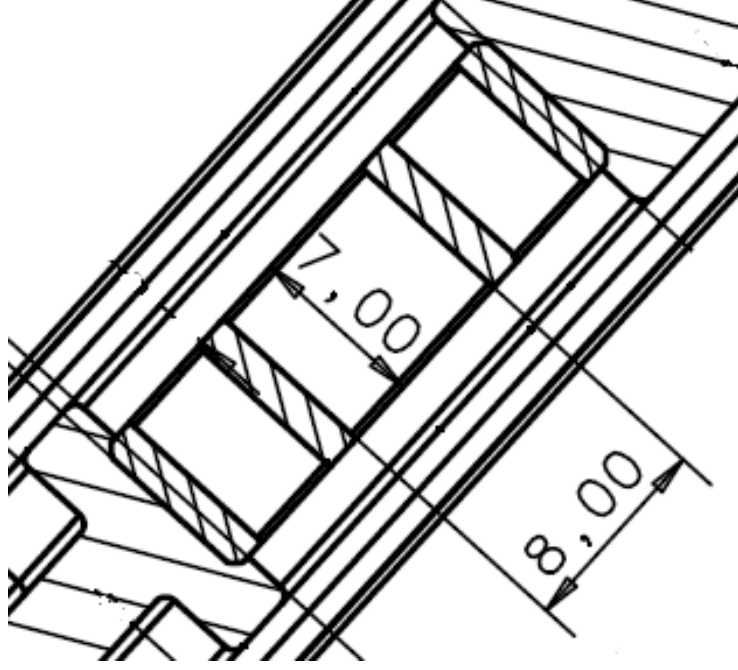
Şekillerde de görüldüğü gibi bir rulman üzerine enjeksiyon bir PPGF30 yapısı ve bununda üzerine enjeksiyon TPE lastik yapısı belirtilmiştir.

Tekerlek gövde ve dış lastik konstrüksiyonları yapılırken özellikle birbirleri ile ilişkilerinin bağlantı yüzeyi tasarımlarında bu üretim methodu göz önünde bulundurulmalıdır.

4.1.1.2 Tekerlek gövde konstrüksiyonu

Detaylı konstrüksiyonu yapılacak ilk sistem elemanı tekerlek gövdesi olacaktır. Önceki bölümde genel özellikleri belirlenen tekerlek gövdesinin final konstrüksiyonuna karar verilmeden önce 6 farklı alternatif çalışılmıştır. Her bir alternatif için belirlenen kriterlere farklı methodlar ile dikkat edilmiştir.

Malzeme olarak, çalışma koşullarındaki nem, sıcaklık ve kuvvete uygun olarak PPGF30 seçilmişti. Bu nedenle tasarımda dikkat edilecek 3 önemli husustan ilki mevcut komponent olan rulmanın dışını kaplayacak olan tekerlek gövdesinin rulmanı tam olarak sarması ve herhangi bir bağlantı elemanı olmaksızın her yönde hareketini rijit olarak engellemesi olacaktır. Aşağıda tekerlek gövdesi ve 608 tip rulmanın standart boyutlarına uygun yuvasının kesiti görülmektedir;

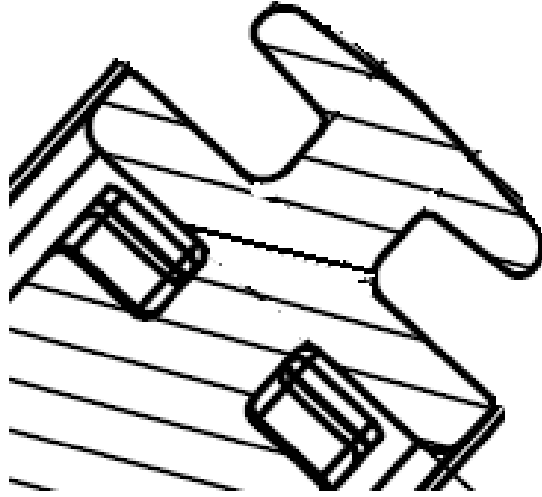


Şekil 4.3 : Tekerlek gövdesi rulman yuvası kesiti

Şekildeki kesitte görüldüğü gibi rulman çevresel bir kanal içerisinde sabitlenmiştir. Diğer bir bölge ise tekerlek lastiğinin sarılacağı bölge olacaktır. Bunun için lastik malzemenin gövde malzemesini tam olarak saracağı ve tutunacağı yapıda bir konstrüksiyon çalışılmıştır.

Uyumlu malzeme olarak seçilen PPGF30-TPE çiftine rağmen yüksek kuvvet ve sıcaklık etkisi altında malzemelerin birbirlerinde ayrılma ihtimali önlenmelidir. Aynı zamanda lastik üzerinden gelecek kuvvet lastik üzerinde fazla deformasyona neden olmadan daha ince bir kesitte plastik hammaddeye etkimeli bu sayede rijit bir yapı elde edilmelidir.

Şekil 4.4' te tekerlek gövdesinin lastik malzeme ile temas yüzeyi ve verilen profili kesitten açıkça görülmektedir.



Şekil 4.4 : Tekerlek gövdesi lastik birleşme kesiti

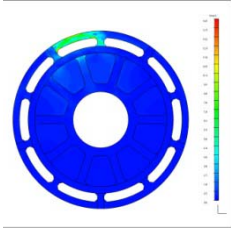
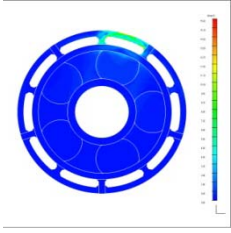
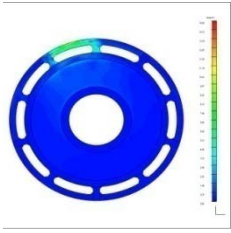
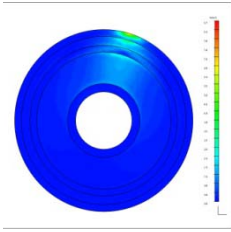
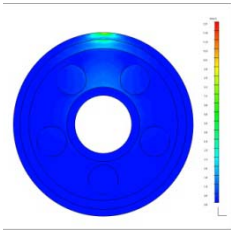
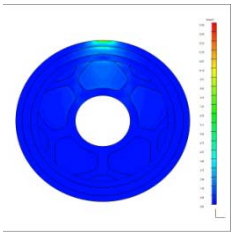
Belirlenen bu birleşme kesiti ile lastik malzeme çevresel olarak plastik gövdeyi sarmakta ve herhangi bir şekilde yüzeyden ayrılması önlenmektedir.

Gövde konstrüksiyonunda belirlenen bağlantı yüzeyi modellerinin ardından son olarak mukavim genel gövde yapısına karar verilecektir. Bunun için 6 farklı model çalışılmış, malzemeye bağlı olarak verilen sınır şartlarına göre 100N kuvvet altında her bir alternatif için sonlu elemanlar yöntemi ile analizler yapılmıştır. Aynı zamanda her bir alternatifin malzeme hacmide hesaplanmış ve bu yöntem ile az malzeme sarfiyatına sahip mukavim bir optimum konstrüksiyon hedeflenmiştir.

Analizler yapılırken tekerlek döndüğünden dolayı, tekerleğin tekrarlayan göbek profili üzerinde 3 noktada 100 N yük sıra ile etki ettirilmiş, en yüksek gerilmeyi veren yükleme hali kritik kabul edilmiştir. Göbek merkezi tamamen tutuludur.

- PPGF30 Elastisite modülü : 2600 MPa
- PPGF30 Akma gerilmesi : 29 MPa
- Uygulanan Kuvvet : 100 N

Çizelge 4.1 : Farklı tekerlek gövdeleri analiz sonuçlarının mukayesesi

	Tasarım	Max. Gerilme (N)	Hacim (mm³)
Alternatif-1		14,5	20225,9
Alternatif-2		16	19312
Alternatif-3		15	17542
Alternatif-4		12	19612,2
Alternatif-5		13,5	23675,1
Alternatif-6		12,5	20112,7

Yapılan analizler sonrası hacim ve mukavemet değerlendirmeleri yapılmış ve 6 numaralı alternatif seçilmiştir. Tekerlek gövdesinin final tasarımı aşağıdaki gibidir;

4.1.1.3 Tekerlek lastik konstrüksiyonu

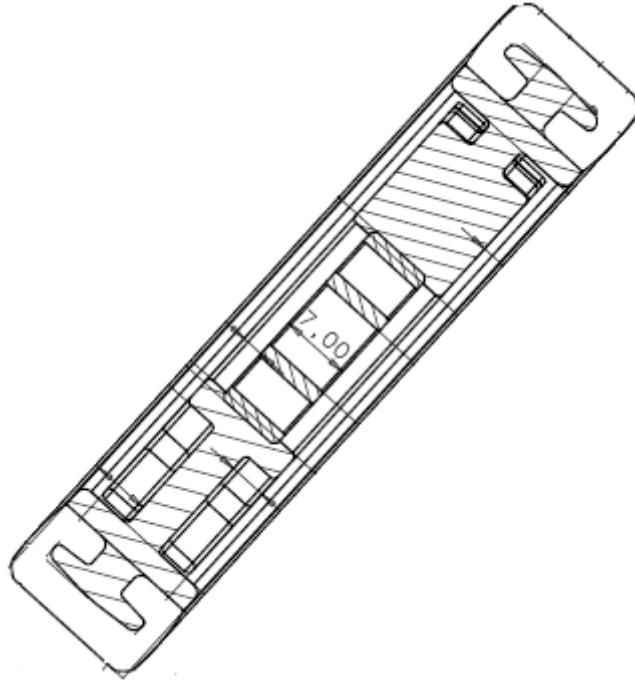
Tekerlek grubunun diğer bir elemanı olan tekerlek lastiğinin konstrüksiyonundan en kritik husus tekerlek ile tambur ön sacı arasında oluşacak temas kesitini belirlemek olacaktır. Bu nedenle çeşitli analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu analiz çalışmalarında tekerlek lastiğinin temas bölgesindeki profili değiştirilerek etkiyen kuvvetler incelenmiştir, aynı zamanda tamburun az miktarda neden olabileceği küresel dönme hareketinine karşılayacak, noktasal noktalara müsaade etmeyecek bir tasarım geliştirilmelidir.

Analizler sonucu beklenildiği üzere görülmektedir ki temas yüzeyinin arttırılması basıncın yayılması ile dolaylı olarak etkiyen kuvveti yaymaktadır.

Tekerlek gövdesi konstrüksiyonu yapılırken lastik bölgesi ile ilişkisi belirlendiğinden ötürü geriye detaylı tasarım kalmaktadır ve çalışma sonucu rulman üzerine enjekte edilen tekerlek gövdesi ve bununda üzerine enjeksiyonu yapılmış tekerlek dış lastiğini içeren final grup resmi aşağıdaki gibi oluşmuştur.



Şekil 4.5 : Final tekerlek grup konstrüksiyonu



Şekil 4.6 : Final tekerlek grubu kesiti

4.1.1.4 Tekerlek mili konstrüksiyonu

Tekerlek grubunda son olarak tekerlek milinin konstrüksiyonu tamamlanacaktır. Tekerlek mili hammaddeden tezgahlarda işlenerek imal edilecektir. Hammadde olarak Ck45 yada otomat çeliği kullanılacaktır. Her iki malzeme için kritik sertlik ölçümü sonuçları aşağıdaki gibidir;

Otomat HRA= 83 ± 1

CK45 HRA= 84 ± 1

Otomat HB62.5/2.5= 219 ± 3

CK45 HB62.5/2.5= 228 ± 4

Tekerlek milinin tek tek kriterlerine uygun tasarımı düşünülürse;

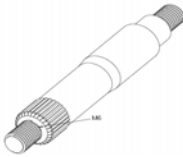
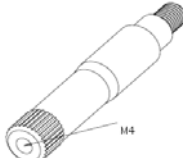
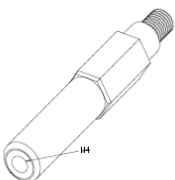
Tekerlek milinin boyutlarını belirleyecek olan kısıtlar rulman çapı ve ön yataklama derinliği olacaktır. Seçilen standart rulman için montaj çapı 8mm olmalıdır ve hareketini engellemek üzere bir miktar rulman arkasında kademe olmalıdır, bu ölçü işlenecek olan milin çapını yada bir köşegeninin minimum uzunluğunu verecektir. Ön yataklama derinliğine bağlı olarak ise milin toplam boyu hesaplanmıştır. Bu şekilde hammaddenin işlem öncesi özellikleri ortaya çıkmaktadır.

Mil için diğerk bir kritik unsur montaj sonrası kendi ekseninde dönmesinin tamamen engellenmesidir. Bunun için birçok yöntem olmasına karşın 3 temel method belirlenmiştir. Bunlar tırtıl çekme, D formu verme ve köşeli hammadde kullanımıdır.

Son olarak milin ön yataklama ile montajı düşünülürse sıkı bir geçme gereklidir ve bu geçmenin mil boyunca yapılması plastik deformasyona neden olacağından, mil üzerinde genel bir kademe geçişi bulunmalıdır. Montaj sonra milin ön yataklamaya ve tekerlek grubunda mile sabitlenmesi için bağlantı elemanları kullanılacaktır. Bunun için milin her iki ucunda somun yada vida kullanımına karar verilmelidir. Milin ön yataklamaya montajının ardından milin içine işlenecek dişli deliğe vida atılması yada daha uzun bir milin dışına işlenecek dişlere atılacak bir somun olabileceken tekerlek tarafından rulmanın önüne takılacak ve sıkıldığı zaman rulman hareketsin iç bileziğine basarak sabitleyecek tırtıllı somun gerekecektir.

Belirlenen opsiyonlar doğrultusunda aşağıdaki 4 alternatif çalışılmıştır;

Çizelge 4.2 : Farklı tekerlek millerinin mukayesesi

	Tasarım	Bağlantı Tipi	Form
Alternatif-1		2 Somun	tırtıllı
Alternatif-2		Somun ve vida	tırtıllı
Alternatif-3		Somun ve vida	altıgen
Alternatif-4		Somun ve vida	D form

Belirlenen alternatifler tek tek değerlendirildiğinde;

1.Alternatif için her iki tarafta somun kullanılması mil boyunu uzatmış ve dolayısı ile maliyeti arttırmıştır. Ayrıca tırtıl çekme işlemi tezgah açısından maliyetli bir işlemdir. Hammadesi Ck45 olacaktır.

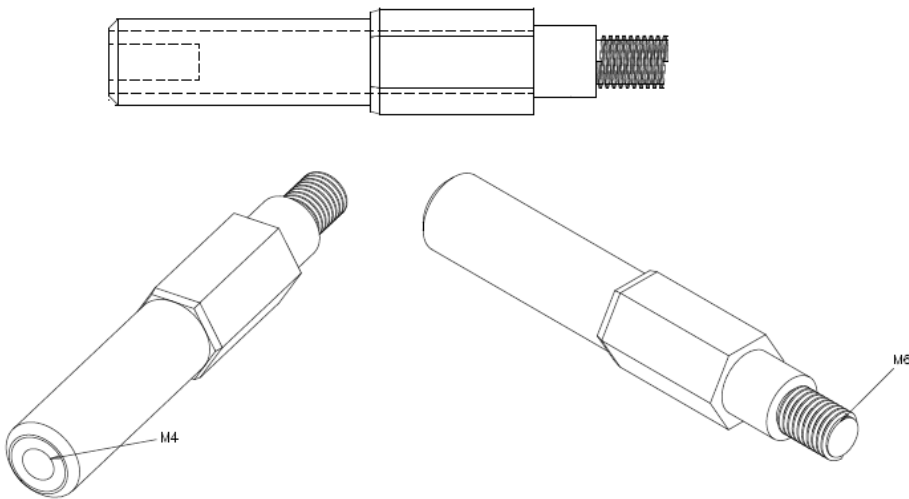
2.Alternatif ise 1. Alternatifin vida kullanılarak boyunun kısaltılması ile elde edilmiştir ancak tırtıl çekme işlemi halen maliyeti arttırmaktadır. Hammadde Ck45 tir.

3.Alternatif altıgen otomat çeliğinden işlenmiştir. Tekerlek tarafından somun, ön yataklama tarafından vida ile sabitlenmektedir. Dönme hareketi altıgen form ile önlenmektedir.

4.Alternatifte ise montaj yöntemi aynı fakat CK45 malzemeye D formu işlenmesi ile elde edilmektedir.

Tüm alternatifler incelendiğinde 3 numaralı alternatifin otomat çeliğinden işlenecek olması, tırtıl yada D formu maliyetinin olmaması maliyet açısından avantaj sağlamakta ve altıgen yapısı ile tekerlek rulmanı ve sıkı geçme bölgelerindeki kademeler daha başarılı verilebilmektedir.

Tekerlek mili için final tasarım altıgen formlu otomat çeliğinden işlenen, montajında bir adet somun ve bir adet metrik vida kullanılacak bir mil şeklinde belirlenmiştir ve final konstrüksiyonu aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.7 : Final mil tasarımı görüşleri

4.1.2 Ön yataklama grubu konstrüksiyonu

Tekerlek grubunun konstrüksiyonu finalize edildikten sonra yeni mil tasarımına ve tekerlek çalışmasına uygun olarak önceki bölümde belirtilen kriterlere uygun olarak ön yataklama grubunda değişikliklerin yapılması gereklidir.

Tekerlek grubu ön yataklama grubuna tekerlek mili aracılığı ile monte edilerek 2 adet bağlantı elemanı (vida ve somun) ile sabitlenecektir.

Ön yataklama grubu konstrüksiyonunda istenen en önemli özellik şüphesiz yüksek dayanıma sahip, plastik deformasyonun zamanla artarak kalıcı deformasyonun oluşmasına izin vermeyecek bir yapı oluşturmaktır. Bu nedenle yüksek mukavemetli rijit bir bağlantı yüzey alanı oluşturmak gereklidir.

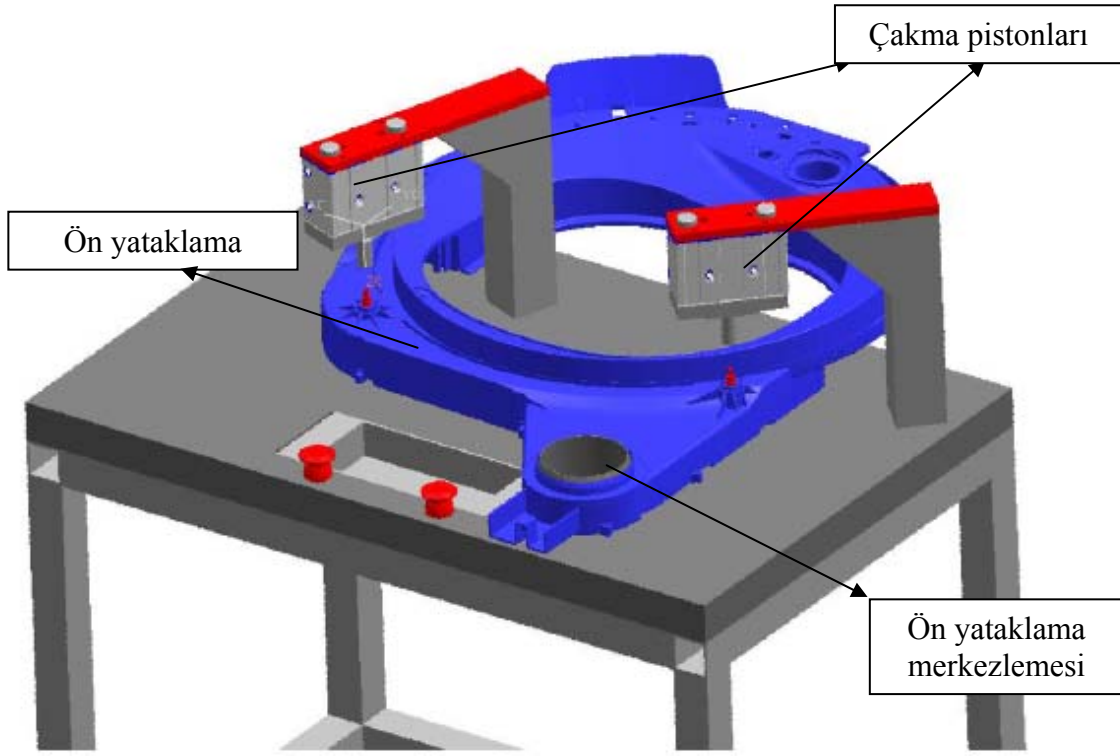
4.1.2.1 Rijit bağlantı modelinin belirlenmesi

Bu bölümde ön yataklama grubunda yapılacak tadilatlar sonrası tekerlek mili için rijit bir bağlantı modelinin nasıl oluşturulabileceğine karar verilmiştir.

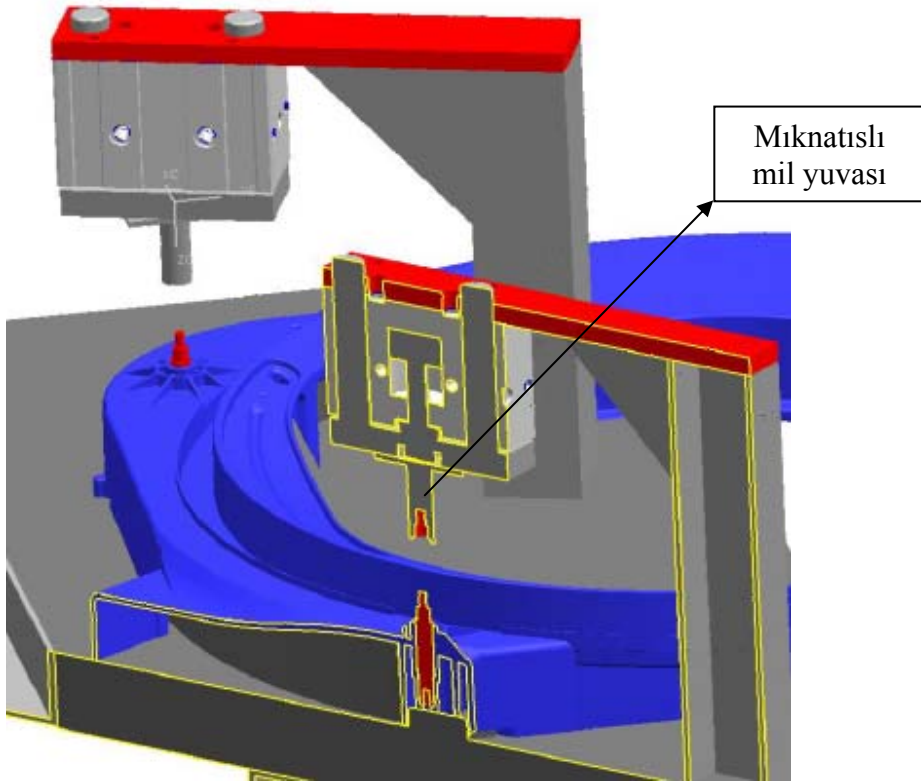
Tekerlek miline etkiyecek kuvvet düşünüldüğünde, bu kuvvet mil uç noktasına monte edilecek tekerlek grubu üzerinden olacaktır. Dolayısı ile dönme eğilimi gösterecek milin ön yataklama grubuna rijit bir montajı gerekmekte, herhangi bir şekilde bu yapı milin eğilmesine izin vermemeli ve zamanla deformasyona uğramamalıdır.

Milin montajı için temel eleman ön yataklama parçası olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni ise kurutma makinası gövdesine ana bağlantının bu parça üzerinden gerçekleştirilmesidir. Mevcut ön yataklamada benzer bir yapı mevcuttur, fakat yeterince rijit bir yapı sağlanmamış ve aşınmaya müsaittir. Ön yataklama kapağı ise mevcut tasarımda tamamen bir kapak görevi görmekte montaja herhangi bir şekilde girmemektedir.

Yeni sistem ile birlikte geliştirilecek modelde ön yataklama ana montaj alanı olarak kullanılacak, ön yataklama parçası üretiminde büyük plastik parçanın enjeksiyonunun hemen sonrasında aşağıdaki gibi pistonlu özel bir aparat ile, plastik parça henüz sıcak iken mil çıkılacaktır. Bu sayede parça henüz sıcak iken kolay bir çakma işlemi gerçekleştirilmiş olacak ve parçanın soğuması ile çekme eğilimi gösteren plastik mil etrafını daha iyi bir şekilde saracaktır.

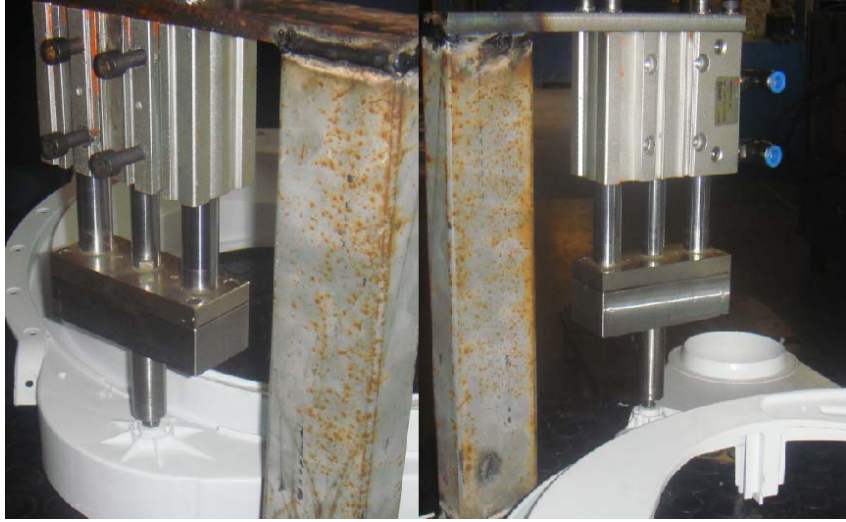


Şekil 4.8 : Mil akma tezgahı genel görünüşü



Şekil 4.9 : Mil akma tezgahı kesit görünüşü

Aynı zamanda yeni sistem ile birlikte tekerlekten gelen kuvvetin döndürme kuvvetine ters yönde direnç gösterecek bir başka method olarak ön yataklama kapağı kullanılacaktır. Bunun için ise ön yataklama kapağında, ön yataklama ile birlikte tekerlek montajına katılması gereklidir. Özetle belirlenen yeni rijit montaj yapısında ön yataklama parçasına sıcak çakılan bir mil ve ön yataklama ile iç içe geçerek mile bağlantısı sağlanan, rijit bir kafes yapısı oluşturucak ön yataklama kapağı kullanılacaktır.

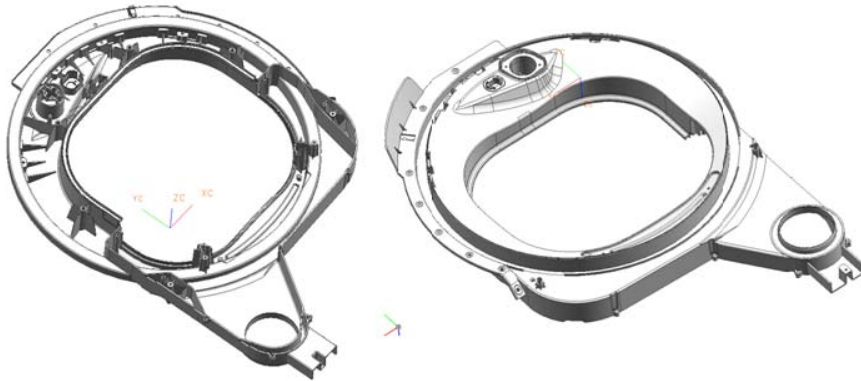


Şekil 4.10 : Prototip mil çakma aparatı

Tezgaah yapım süreci seri üretim için tamamlanacağından ötürü mevcut prototip test makinaları için yukarıdaki şekilde görülen prototip mil çakma aparatı yapılmıştır.

4.1.2.2 Ön yataklama konstrüksiyonu

Genel konsept olarak belirlenen rijit bağlantı modeline göre, tekerlek grubunun mil aracılığı ile monte edileceği ana eleman ön yataklama parçası olacaktır.



Şekil 4.11 : Mevcut ön yataklama görünüşleri

Mevcut ön yataklama incelendiğinde her iki yüzeyde tekerlek milini taşıyıcı boss-feder yapıları görülmektedir. Ancak yeterli mukavim yapıyı sağlam üzere iyileştirilmeleri gereklidir. Ayrıca ön yataklama tekerlek dış bağlantı yüzeyinde herhangi bir güçlendirme bulunmamakta, dolayısı ile rulman oturma yüzeyinde çatlama ihtimali öngörülmektedir.

Yeni ön yataklama konstrüksiyonunda mevcuta göre kuvvetlendirici feder sayısı arttırılmıştır. Ayrıca iç içe geçecek ön yataklama kapağı ile konstrüksiyonu düşünülerek feder yükseklikleri ayarlanmıştır. Rulman oturma yüzey alanına kuvvetlendirici federler atılmıştır.

Ön yataklama mil montajında uygulanacak sıcak paçaya çakma ile sıkı geçme bağlantı oluşturma konseptine göre mil formuna uygun bir yuva oluşturulmuştur. Buna göre yuva belli bir bölüme kadar altıgen bir form ile devam etmekte sonrasında ile dairesel bir yuvaya geçiş yapmaktadır. Mil boyunca sıkı geçme parçayı zorlayacağından ötürü ve altıgen formda sıkı geçme sağlıklı olmayacağından toleranslar verilirken sadece dairesel form boyunca sıkı geçme öngörülmüştür.

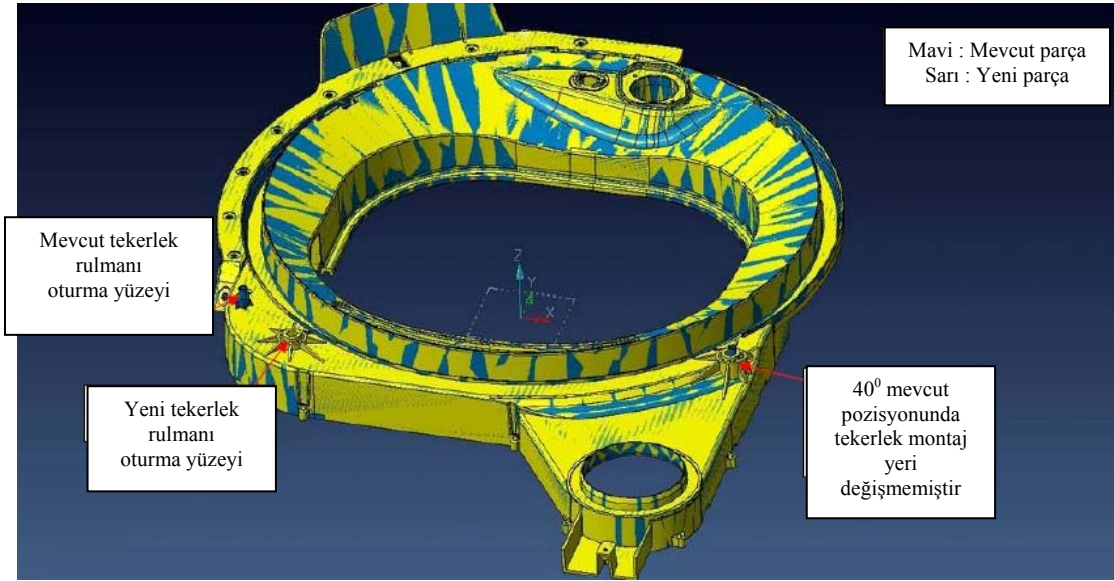
Ön yataklama üzerindeki mil yuvası milin rulman bağlantı yüzeyine kadar olan uzunluğundan bir miktar kısa bırakılmış bu sayede tekerleğin dönüş esnasında herhangi bir teması önlenmiştir.

Bahsi geçen kararlar göz önünde bulundurularak oluşturulan yeni ön yataklama modeli aşağıdaki gibi oluşmuştur ;

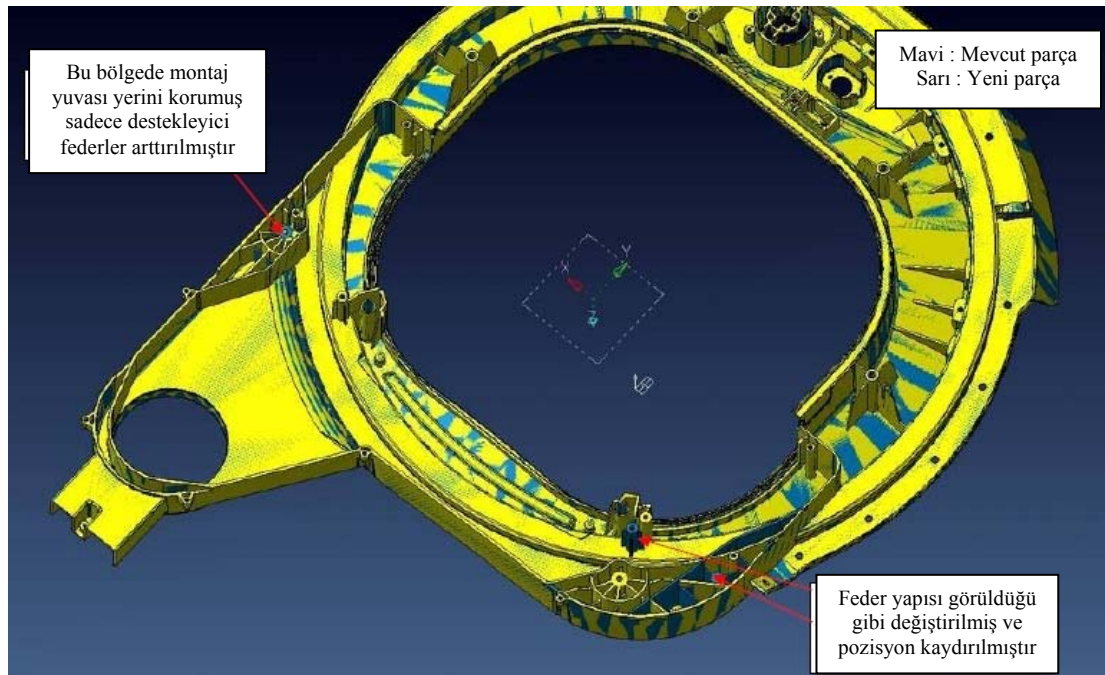


Şekil 4.12 : Yeni ön yataklama görünüşleri

Mevcut ön yataklama parçası ile yeni ön yataklama parçası üst üste koyulursa ;



Şekil 4.13 : Mevcut – yeni ön yataklama dış yüzeylerinin karşılaştırılması



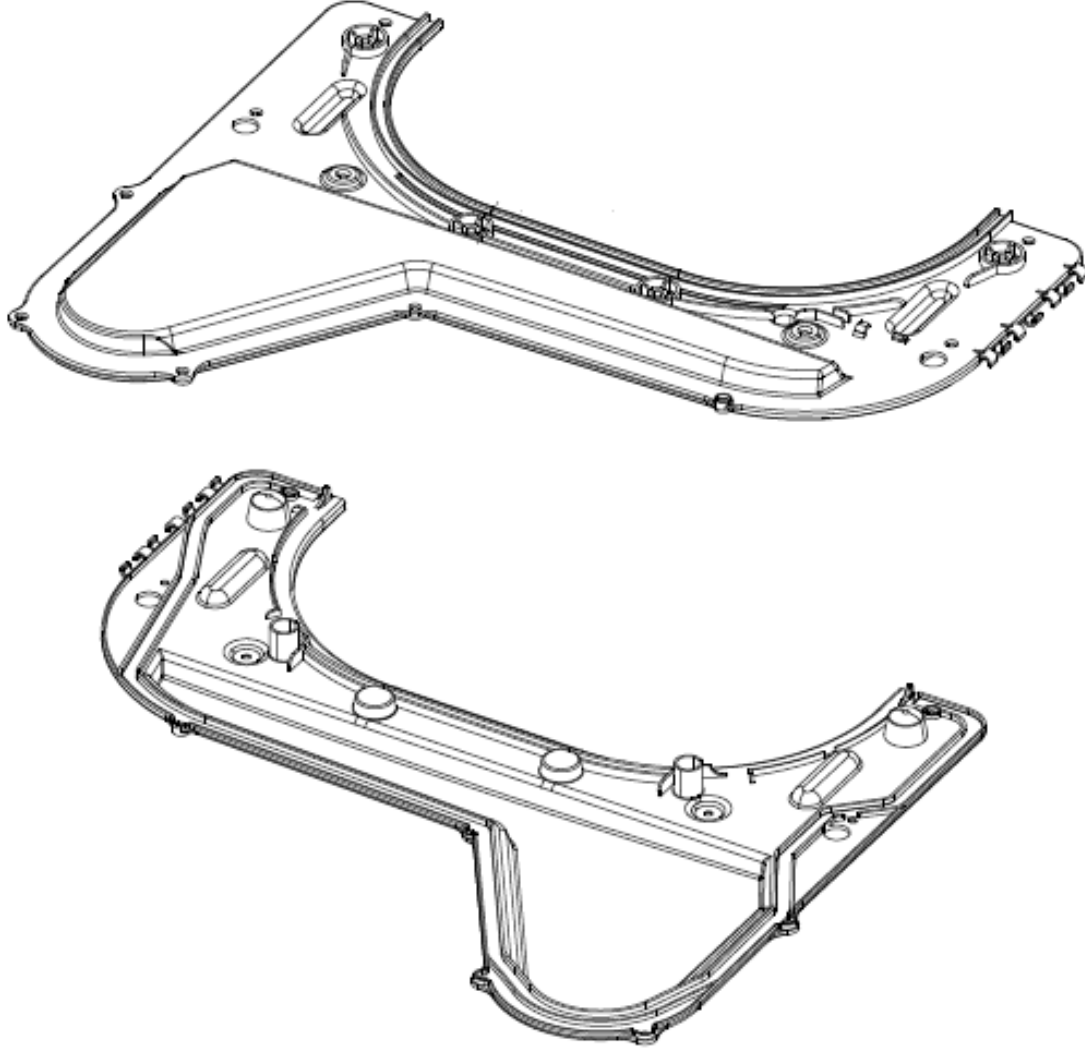
Şekil 4.14 : Mevcut – yeni ön yataklama iç yüzeylerinin karşılaştırılması

Mil yuvasının iç yüzeyinde kalan çevresel daire profilli feder yapısı iç içe geçecek olan kapak ve ön yataklama montaj için yapılmıştır.

4.1.2.3 Ön yataklama kapak konstrüksiyonu

Ön yataklama final konstrüksiyonunun tamamlanmasının ardından ön yataklamada grubunun diğer elemanı olan ön yataklama kapağı tasarımı finalize edilecektir.

Mevcut ön yataklama kapağı tasarımı aşağıdaki gibidir ;



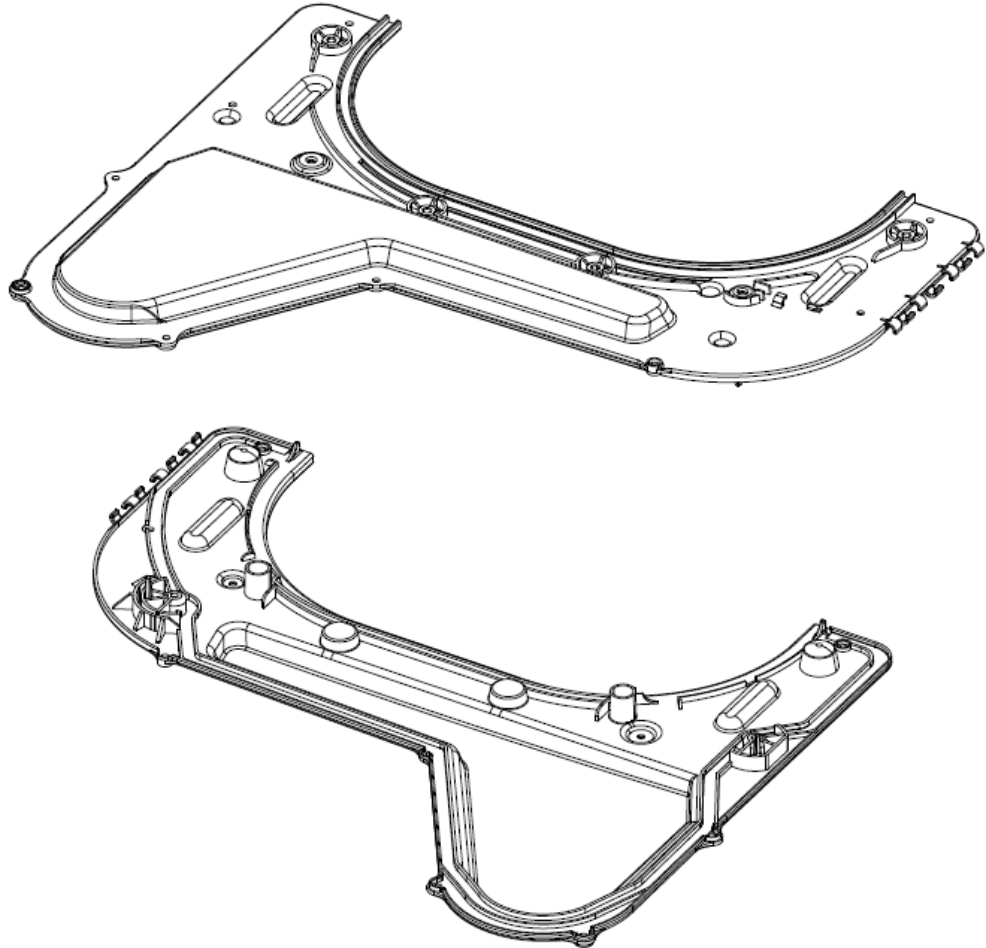
Şekil 4.15 : Eski ön yataklama kapağı görüşleri

Ön yataklama kapağı mevcut tasarımında ön yataklamada olduğu gibi tekerlek pozisyonlarından birisi mevcut yerinde kalırken diğer pozisyon değişecektir. Ayrıca mevcutta sadece kapak olarak kullanılan bu parça yeni tasarımı ile ön yataklama feder yapısının içine girecek yine federler ile güçlendirilmiş bir yapıya sahip montaj elemanı olarak kullanılacaktır.

Bu nedenle ön yataklama kapağına tekerlek pozisyonlarına uygun yuvalar ve etrafına federler yerleştirilmiştir. Montaj sırasında kolaylık sağlaması amacı ile kapağı her iki pozisyon için de konik yapıda çıkıntılar eklenmiş, bu sayede merkezleme sağlanmıştır.

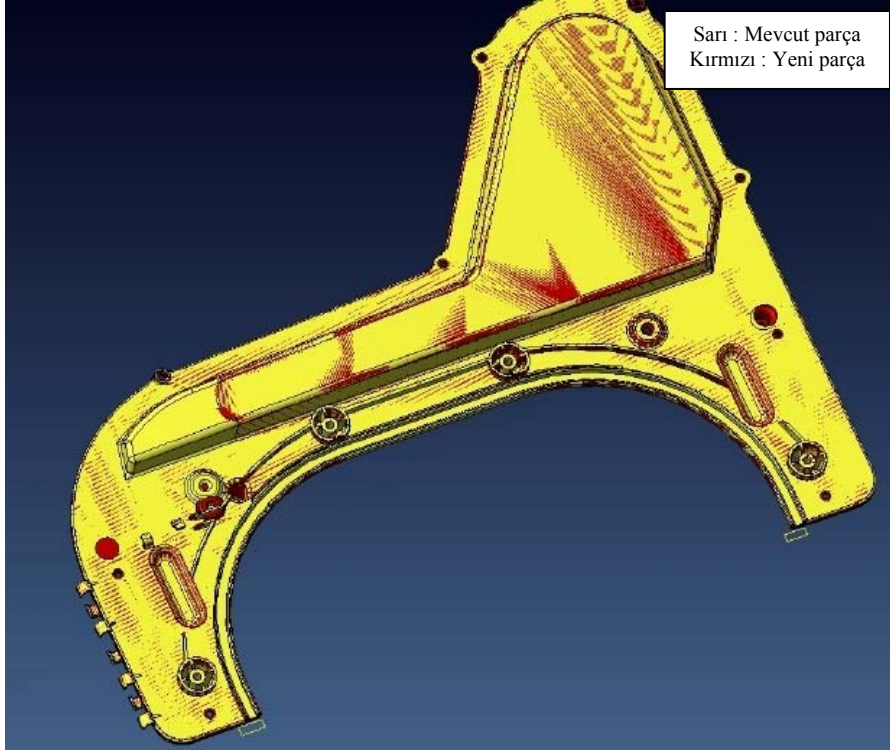
Ayrıca iç içe geçecek olan yataklama grubu bir kafes yapısı oluşturacaktır ve son olarak milin içine atılacak metrik vida ön yataklama kapağına yerleştirilen bir yuvadan atılacak, böylece 3 elemanın birbirine tamamen ilişkili montajı sağlanmış olacaktır. Parçalar tamamen soğumadan atılacak olan bu vida aynı zamanda milin yuvasına tamamen oturarak pozisyonlanmasını sağlayacaktır. Vida ile birlikte yerleştirilecek bir adet tırtıl rondela ile vidada oluşabilecek herhangi bir gevşeme önlenmiş olacaktır.

Ön yataklama kapağına ait final tasarım aşağıdaki gibi olmuştur;

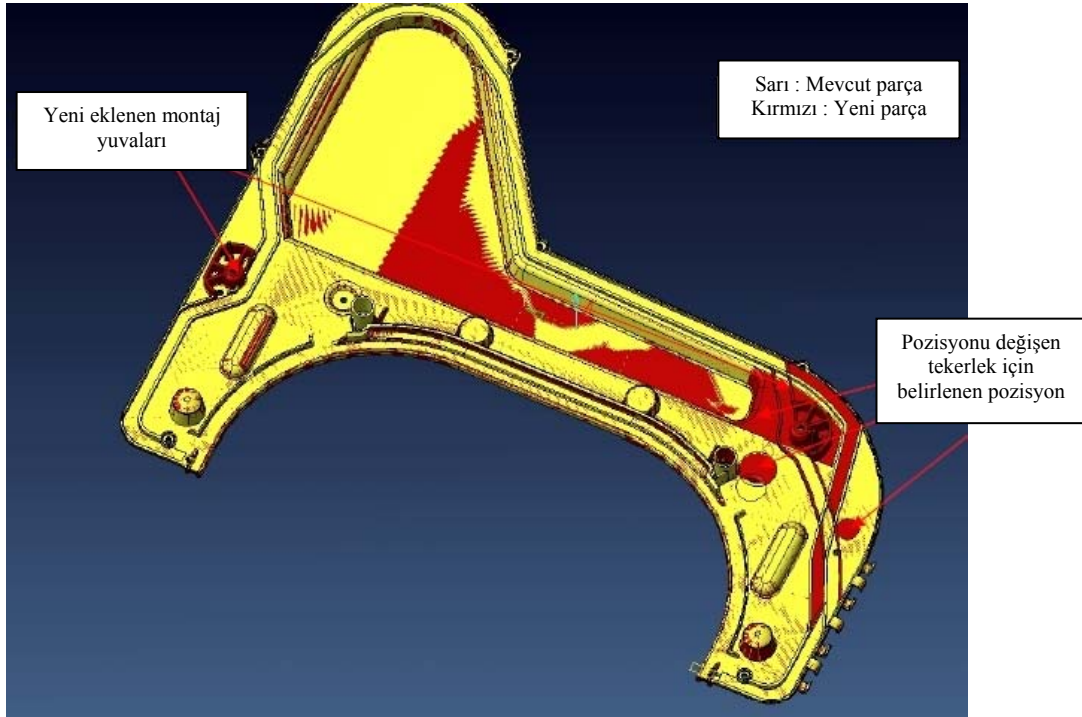


Şekil 4.16 : Yeni ön yataklama kapağı görünüşleri

Yapılan değişiklikler sonrası her iki parça üşt üşte koyulduğunda değişiklikler daha rahat görülebilmektedir ;



şekil 4.17 : Mevcut – yeni ön yataklama kapak dış yüzeylerinin karşılaştırılması

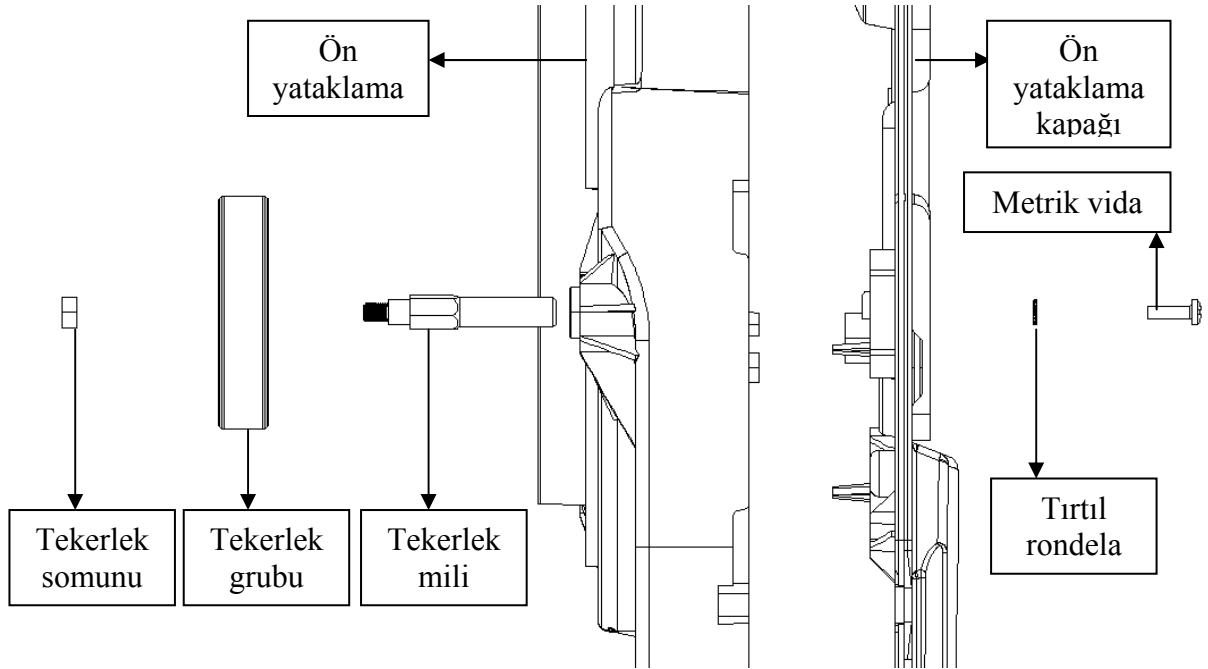


şekil 4.18 : Mevcut – yeni ön yataklama kapak iç yüzeylerinin karşılaştırılması

4.1.3 Tekerlek grubu – ön yataklama montajı

Konstrüksiyonu tamamlanan tekerlek grubu ve ön yataklama grubunun birbirine montajı tamamen ayrı çalışılması gereken bir konudur, çünkü her ne kadar parça bazında konstrüksiyonlar finalize edilmiş ve kriterlere uygun olsada parçaların birbirleri ile uyumu ve çalışma sırasındaki ilişkisi apayrı bir önem taşımaktadır.

Önceki bölümlerde parçaların tasarımları yapılırken kabaca montaj yönteminden bahsedilmişti. Bu doğrultuda tekerlek grubu mil vasıtası ile ön yataklamaya sıcakta sıkı geçme ile çakılmaktadır. Fakat üretimde belirli bir sıra ve montaj yöntemi belirlenmesi gerekmektedir. Ön yataklama ve tekerlek grubunun montajını kademe kademe yazmak gerekirse, aşağıdaki şekilde patlatılmış hali ile verilen sistem montajı sırasıyla şöyledir;

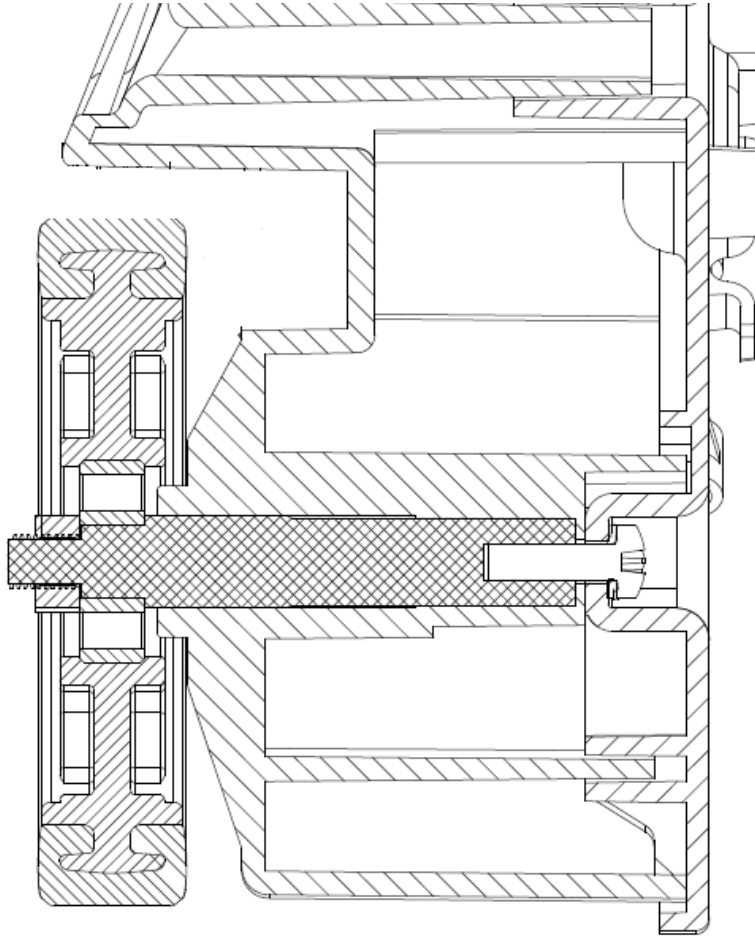


Şekil 4.19 : Tekerlek grubu – ön yataklama montaj yapısı

1. Ön yataklama enjeksiyonu yapılarak sıcak parça kalıptan alınır.
2. Sıcak ön yataklama parçası mil çakma aparatına yerleştirilerek 2 adet mil belirlenen pozisyonlara pistonlu mekanizma vasıtası ile çakılır. Bu sırada mil profilinin dairesel kesiti sıkı geçerken altıgen form serbesttir.

3. Diğer taraftan sızdırmazlık elemanları ve komponentlerin yerleştirildiği ön yataklama kapağı, ön yataklama ile feder yapıları iç içe geçecek şekilde bağlanır. İlk olarak kapakta bulunan yuvalara birer adet tırtıl rondela yerleştirilir ve ardında metrik 4 vidalar atılır. Bu vidalar kapak ve ön yataklamadan boş geçerek mil içerisinde dış açılmış yuvaya girer ve son olarak iyice sıkılarak boşluk kalması ihtimaline karşı mili sabitler.
4. Ön yataklama üzerine tambur radyal tapası dahil diğer komponentler takılır ve son olarak 2 adet tekerlek grubu (rulman,gövde,lastik) mil üzerindeki pozisyonlarına geçirilir. Tekerleklerin takılmasının ardından tırtıllı 2 adet somun belirli torklar ile rulman iç bileziğine basacak şekilde takılır ve tekerlek sabitlenmiş olur.

Bu şekilde tekerlek grubu, mil, ön yataklama ve kapağı arasında son derece rijit bir yapı elde edilmiş olacaktır ve kesit aşağıda görüldüğü gibidir.



Şekil 4.20 : Tekerlek grubu – ön yataklama montaj kesiti

4.1.4 Tambur grubu konstrüksiyonu

Yeni sistem ile birlikte değişen diğer bir grup tambur grubu olacaktır. Tambur grubunun değişimi aslen tambur ön sacına gelecek olan revizyondan kaynaklanmaktadır.

4.1.4.1 Yapılacak olan iyileştirmelerin belirlenmesi

Tambur grubunda yapılacak değişiklikler tambur çevre sacının kısaltılması dışında tamamen tambur ön sacı üzerinde olacaktır. Bu nedenle iyileştirmelerden bahsederken tambur ön sacı esas alınacaktır.

Mevcut durumda daha öncedende incelendiği üzere tambur ön sacına iç yüzeyinden basan 4 adet POM tambur radyal yataklama parçası bulunmaktadır. Dolayısı ile tambur ön sacına iç yüzeyindeki çıkıntısız ve dar alanda temas etmektedir. Yeni sistem ile birlikte tambur artık üst kısım yerine tambur ön sacının makineye göre alt kısmında yataklanacaktır, bu nedenle tekerleklerin tambur ön sacı dış yüzeyine teması söz konusudur. Çeşitli montaj problemleri yada tolerans dahilindeki sapmalarda öngörülerek tambur ön sacında boğaz genişliği arttırılmıştır. Bu sayede tekerler dış lastiği tambur ön sacında daha geniş bir alanda baskı yüzeyi yaratabilmektedir.

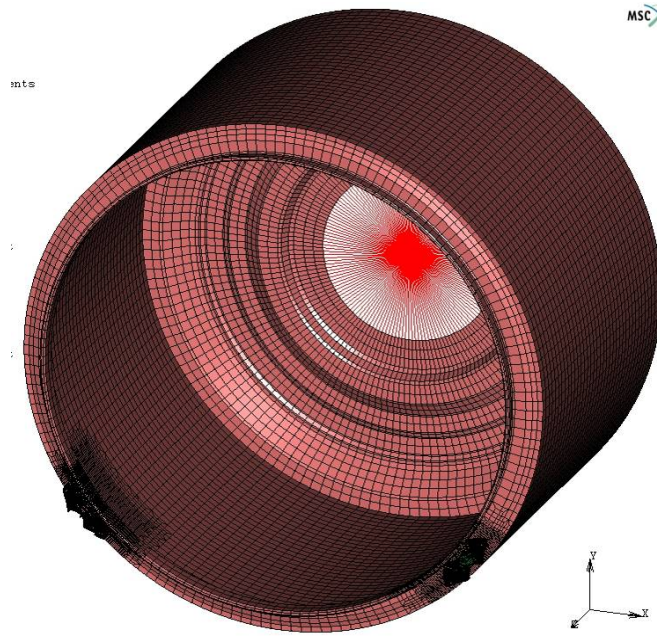
Diğer bir konu ise 0,5 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik tambur ön sacının yorulma ve aşınma ile ömür boyunca yırtılma riskine karşı mukavemetinin arttırılması gerekliliğidir. Bunun için kuvvet bazlı analizler yapılmalıdır.

Yapılacak üçüncü ve son iyileştirme ise tambur grubunun montajı ve sızdırmazlık elemanı olarak kullanılacak keçe ömrü düşünülerek yapılacak tambur ön sacı uç formunda olacaktır. Tekerlek montajı ile ön yataklama ve tekerlek dış lastiği arasında az bir boşluk kalmaktadır ve mevcut tambur ön sacının bu bölgeden geçebilmesi mümkün değildir. Aynı zamanda mevcut tambur ön sacının uç formunun açık uçlu yapısı tekerleğe temas etme durumunda hasara neden olabilmektedir. Keçe basma yüzeyinde alanın azaltılmasında bu şekilde mümkün olacak, bu sayede keçe ömrü uzayacak ve motordan çekilen güç miktarı sürtünmenin azalması ile paralel olarak azalacaktır.

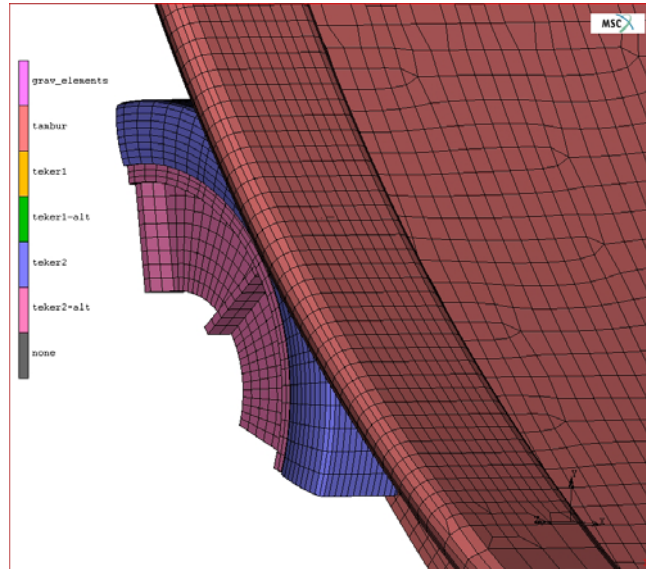
4.1.4.2 Tambur ön sacı mukavemet analizleri

Tambur ön sacında yapılacak en kritik iyileştirme artacak temas kuvveti ve azalan temas yüzeyine bağlı olarak mukavemeti arttırmak olacaktır. Bu neden çeşitli alternatif tasarımlar yapılmış ve eşit koşullarda çalışma öngörülerek analizleri tekrarlanmıştır.

Yapılan analizlerin sonucunda alternatif tambur ön sacı tasarımlarının gösterdikleri mukavim konstrüksiyonlar aşağıdaki gibi olmuştur;



Şekil 4.21 : Sonlu eleman genel modeli



Şekil 4.22 : Sonlu eleman detay modeli

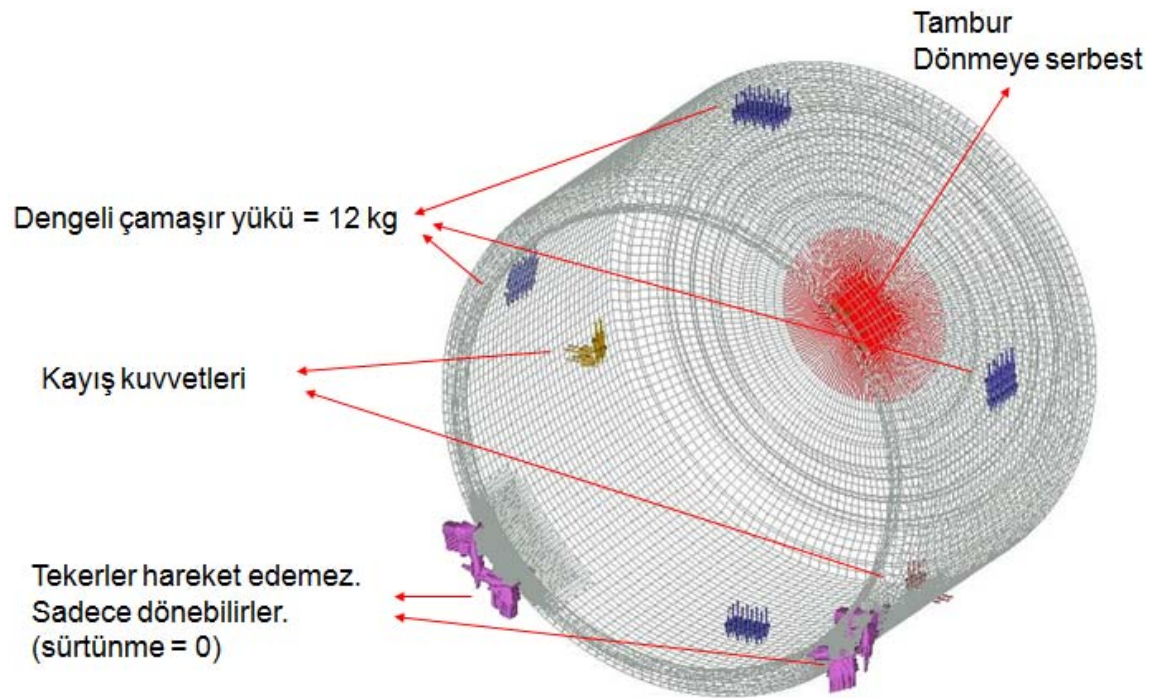
Sonlu eleman modeli hazırlanan sistem için analizi yapılacak olan parçaların malzemeleri ve malzeme özellikler aşağıdaki şekilde tanımlanmış ve analiz boyunca bu değerler kullanılmıştır;

Tambur ön sacı için ;

- $E = 200\text{GPa}$
- $\nu = 0,28$

Tekerlek malzemesi için ;

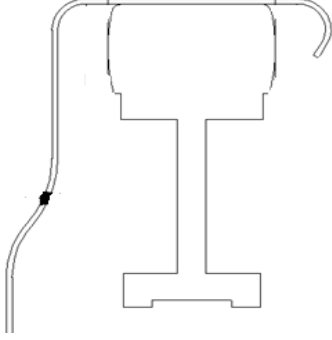
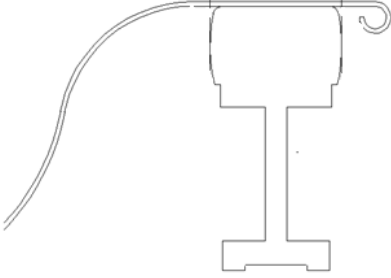
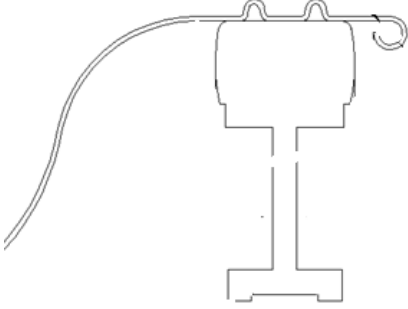
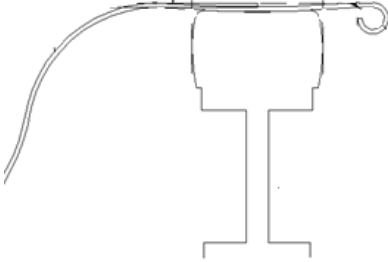
- $C_{10} = 0,806\text{ MPa}$
- $C_{01} = 1,805\text{ MPa}$



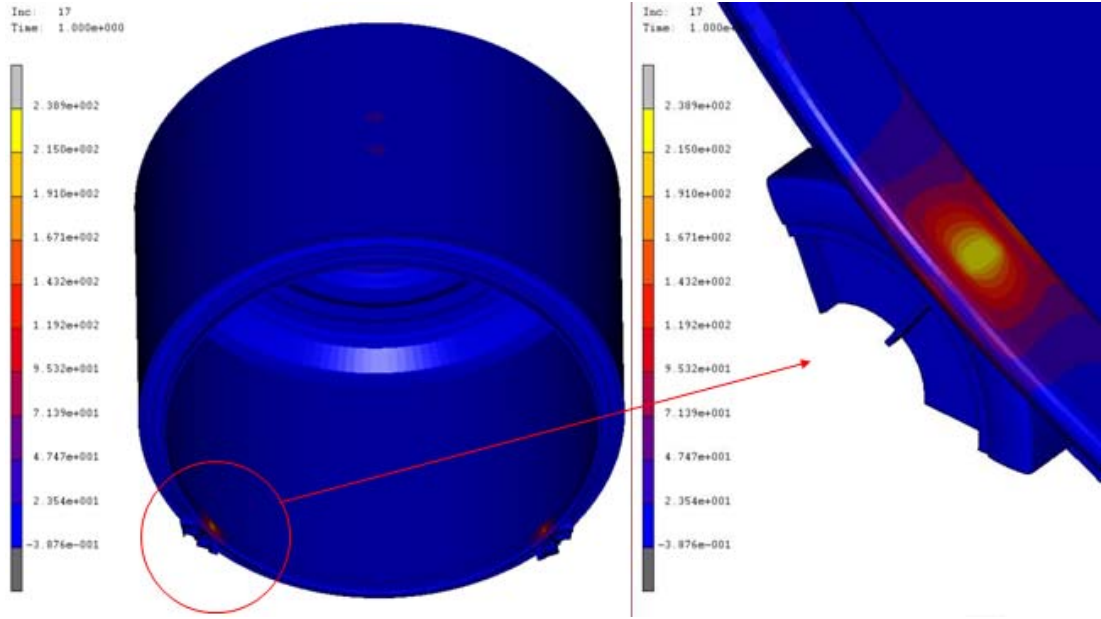
Şekil 4.23 : Tambur ön sacı analizi sınır koşulları

Sınır koşullarının belirlenmesinin ardından tek tek her bir alternatif için modellemeler yapılmış ve analizler tekrar koşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir;

Çizelge 4.3 : Farklı tambur ön sacı formları için analiz sonuçları

	Tasarım	Max. Gerilme (MPa)	Max. Deplasman (mm)
FEM-1		253	1,98
FEM-2		240	1,80
FEM-3		189	1,28
FEM-4		232	1,87

Sonuçlar incelendiğinde ve üretim koşulları düşünüldüğünde 3 numaralı alternatif seçilmiştir.



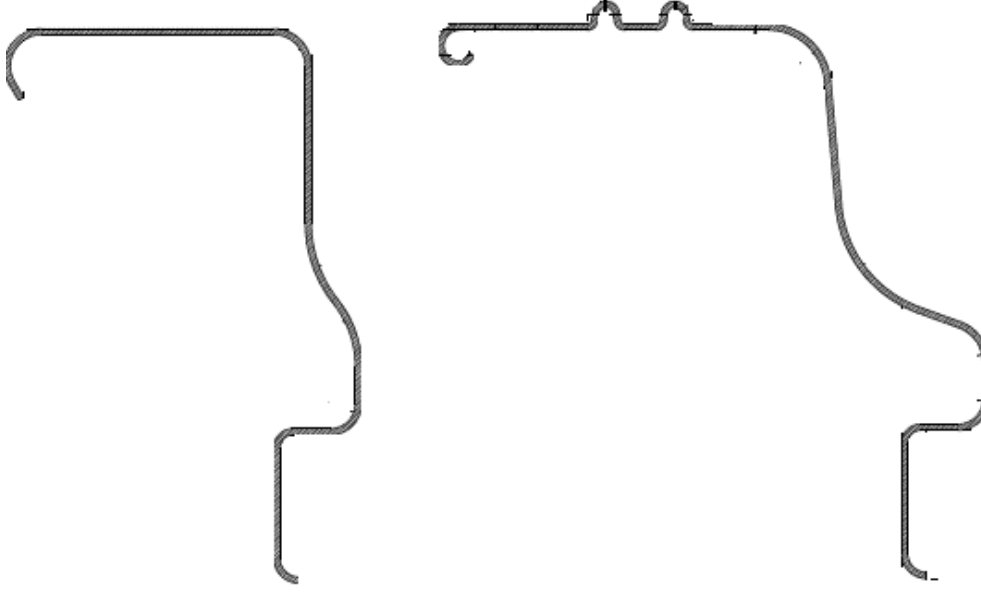
Şekil 4.24 : Sistem modelinin genel davranışı

4.1.4.3 Tambur ön ve çevre saclarının konstrüksiyonu

Belirlenen iyileştirmeler neticesinde yeni sistem için revize edilen tambur ön sacında;

- Boğaz genişliği 15 mm arttırılmıştır.
- Boğaz yüzeyinde tekerlek yüzeyinin etkiyeceği bölgede 2 adet çevresel form verilmiş ve bu şekilde mukavemet arttırılmıştır.
- Tambur ön sacının ucu tamamen kıvrılarak yüksekliği azaltılmış, keskin ucun içe dönük olması ile tekerleğe verebileceği zarar önlenmiş ve keçe ömrüne fayda sağlanmıştır.
- Bazı dönüş açıları büyütülerek parçanın kalıbında kolaylık ve mukavemetinde iyileşme sağlanmıştır.

Yapılan bu iyileştirmelerin ardından yeni sistem tambur ön sacının tasarımı ve mevcut tambur ön sacı ile mukayesesi aşağıdaki gibi olmuştur ;



Şekil 4.25 : Mevcut – yeni tambur ön sacı profillerinin karşılaştırılması

Ön yataklama boğaz genişliğinin 15 mm arttırılmasına paralel olarak tambur çevre sacı 15 mm kısaltılmıştır. Dolayısı ile sac malzeme sarfiyatı ve maliyette azalma sağlanmıştır.

4.1.5 Radyal tapa konstrüksiyonu

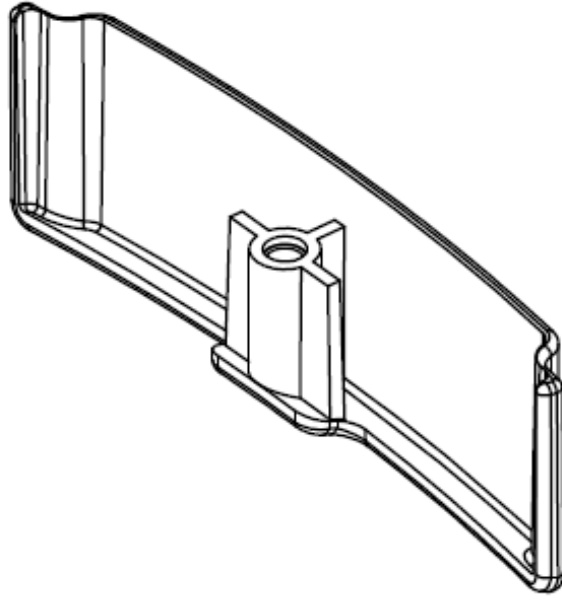
Yeni sistem ile birlikte konstrüksiyonu yapılacak olan son parça radyal yatak tapasıdır. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere tekerleklerin gelmesi ile birlikte yataklama işleminde mevcutta kullanılan POM radyal yataklarına artık gereksinim kalmamıştır. 2 parçalı gruplar halinde 4 gruptan oluşan radyal yatakların iptal edilmesi ile maliyette ucuzlatılma sağlanmış olacaktır. Özellikle grubun tambur ön sacı ile temas halinde olan yatak parçası tamamen POM malzemeden oluşması nedeni ile maliyet olarak yüksektir.

Dolayısı ile bu bölgelere tek parçadan oluşan 4 adet tapa görevi görecektir. Kritik özellikleri daha önce belirlenen bu radyal yatak tapasının konstrüksiyonunda dikkat edilenler ;

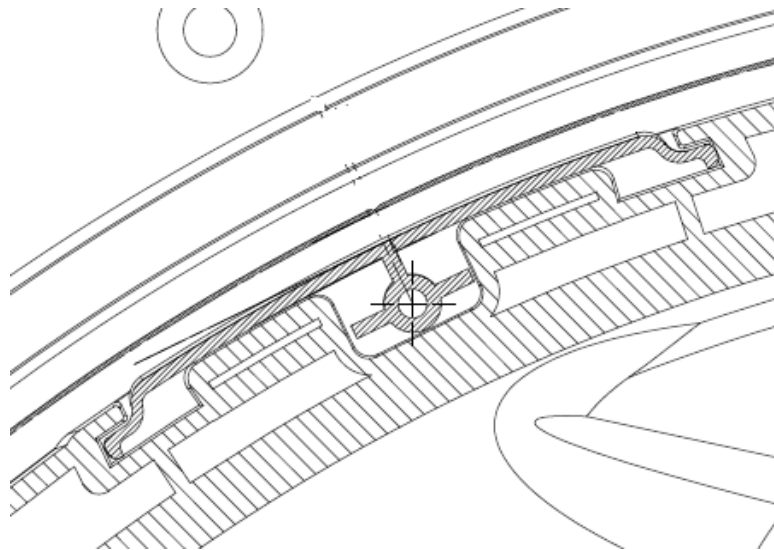
- Minimum maliyet üzerine çalışılmıştır, et kalınlığı ve malzeme sarfiyatı düşük tutulmuştur.
- Ön yataklamaya sıkı geçmeli, herhangi bir boşluk oluşturmamalıdır.

- Mevcut POM yataklarının yerine takılacak ve buna rağmen tambur ön sacına kesinle temas etmeyecek olması gerekliliği ile yüksekliği mümkün olan en düşük seviyede tutulmalıdır.
- Dış kozmetik yüzeyi ön yataklama yüzeyini takip edecek pürüzsüz ve fazla boşluk oluşturmayacak bir yüzey olmalıdır.

Konsepti oluşturulan parçanın final tasarımı ve tambur ön sacı ile ilişkisi aşağıdaki gibi olmuştur ;



Şekil 4.26 : Tambur radyal tapası izometrik görünüşü

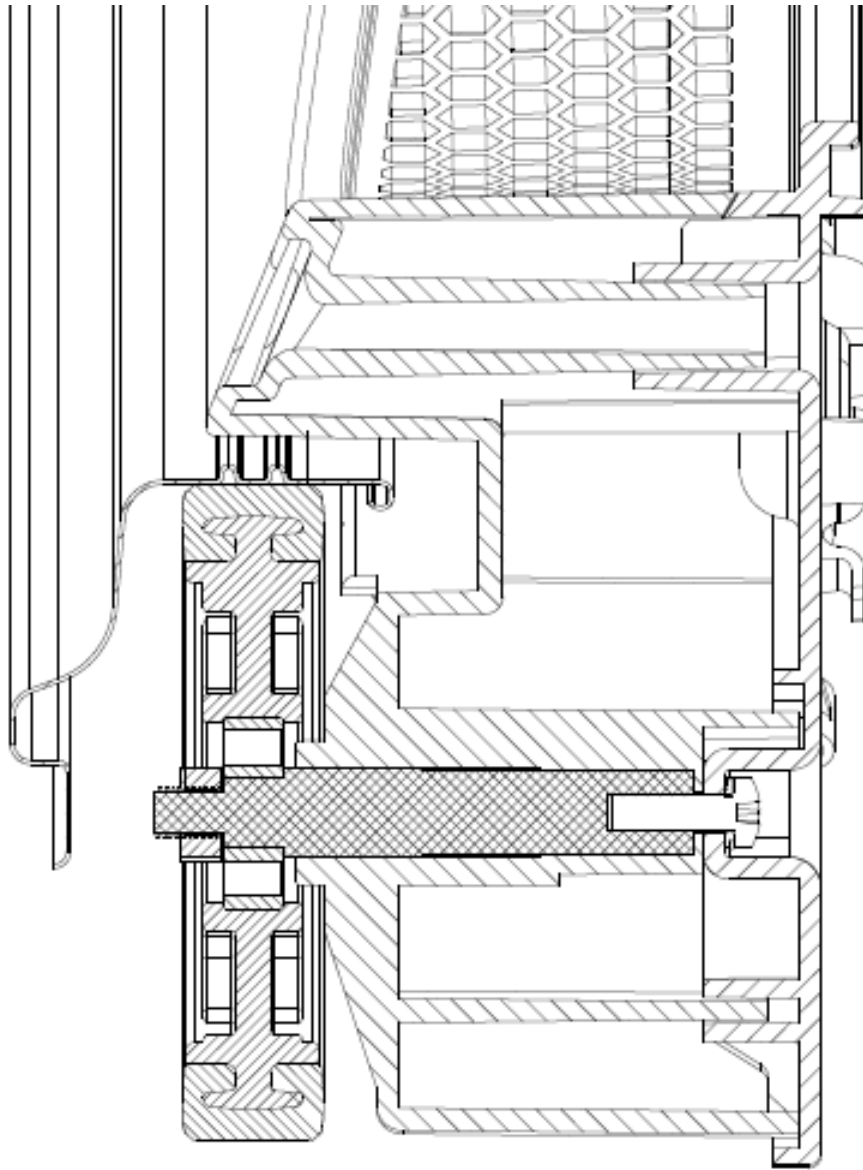


Şekil 4.27 : Tambur radyal tapası – tambur ön sacı kesiti

4.2 Genel sistem modelinin oluşturulması

Yeni sistem elemanlarının tek tek konstrüksiyonlarının ve kendi aralarındaki montajlarının tamamlanmasının ardından son olarak sisteme genel bir bakış ve kontrollerini yapılması gereklidir.

Tekerlek mili, gövdesi, lastiği, rulmanı ve bağlantı elemanları, tambur radyal yatak tapası parçalarının tasarımı, ön yataklama ve kapağı, tambur ön sacı ve öevre sacı revizyon çalışmaları ile finalize edilen yeni “tekerlek yataklamalı” sistemin detayları ve sistem çalışma prensibinin tek tek parçalar arası ilişkileri ile incelenebileceği kesit görünüşü aşağıdaki gibi oluşmuştur ;

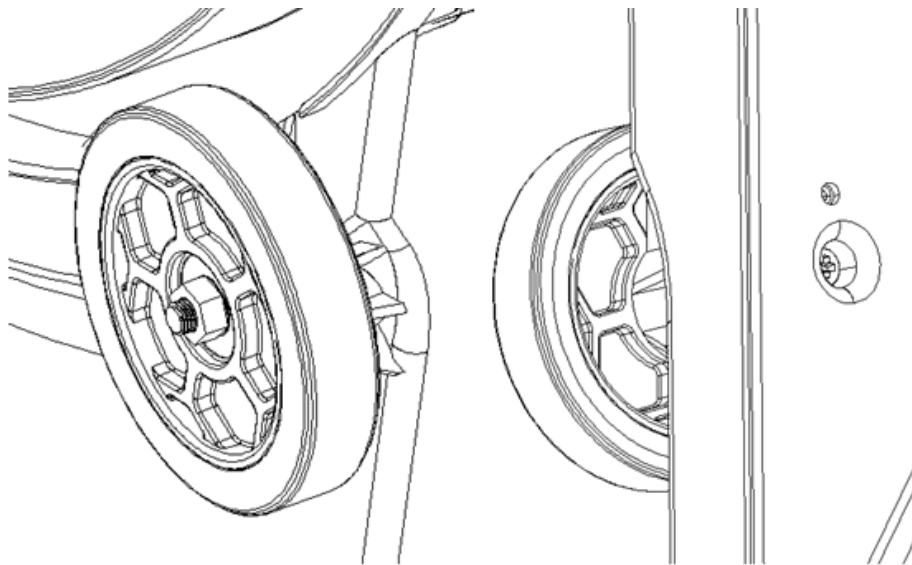


şekil 4.28 : Yeni yataklama sistemi genel kesiti

Kesit üzerinden sistem genel modeli incelendiğinde ;

- Tekerlek mili ön yataklama ve kapağına rijit, iç içe geçen bir yapı ile bağlanmış, bir vida ile sabitlenmiştir.
- Tekerlek gubu mil vasıtası ile ön yataklama grubuna monte edilmiş ve tambur grubunu 2 noktadan taşımaktadır.
- Tambur ön sacı oluşturulan 2 adet çevresel form ile tekerlek lastiğine temasta bulunmakta, mukavim ve her iki uçtan çalışma boşluğu sağlayacak bir yapı sağlamaktadır.
- Tambur ön sacı uç formu “curling” yapısı ile montajı kolaylaştırmakta, tekerlek ve sızdırmazlık elemanı ömrünü uzatmaktadır.
- Tambur çevre sacı, tambur ön sacının uzaması miktarında kısalmıştır.
- Tekerlek grubu ilk başta karar verilen bir otomobil lastiği konseptinde olduğu gibi bilyalı bir rulman ile tekerlek mili aracılığıyla makine gövdesi sabitlenmiş, PPGF30 gövdesi ile rijit bir yapı sağlarken, TPE dış lastiği ile tamburu hasarsız ve kuvvet sönümleyici bir şekilde yataklamaktadır.

Hedeflenen tüm konstrüksiyonlar tamamlanmış ve sistem yapısı oturtulmuştur. Bundan sonra yapılması gereken işlem bu yeni sistemin ömür ve mukavemet testlerinin makine üzerinde birebir yapılması, sonrasında ise mevcut sisteme yapılan testlerin yeni sistemde de tekrarlanarak test sonuçlarının karşılaştırılması olacaktır.



Şekil 4.29 : Yeni yataklama sistemi detay görünüşleri



Şekil 4.30 : Yeni yataklama grubu parçaları



Şekil 4.31 : Yeni yataklama grubu parçaları detay görüşler

5 YENİ SİSTEM TESTLERİNİN UYGULANMASI VE MEVCUT SONUÇLAR İLE MUKAYESESİ

5.1 Çalışma Sonrası Test Planının Oluşturulması

Tasarımları tamamlanan parçaların ilk baskı ve prototipleri ile birlikte test sürecine alınması gereklidir. Mevcut sistemin karakteristikleri belirlenirken belirlenen 3 farklı test modu uygulanmıştı, bunlar ;

- Sistem genel performansını ve enerji sınıfını belirleyen performans testi
- Motor gücüne yataklama etkisini ölçebildiğimiz motor kalkış testi
- Motor ve yataklama sistemi özelliklerine bağlı olarak kayış ömrünü etkileyen kayış kayma testi

olarak seçilmişti.

Mevcut sistem ile uygulanan yeni yataklama sisteminin karşılaştırmasını yapabilmek üzere daha önce standartları belirlenen 3 test aynı şekilde yeni sisteme uygulanacak, bu şekilde hangi durumlarda iyileştirmelerin sağlandığı gözlemlenebilecektir.

Bu testler dışında ise tamamen yeni bir yataklama sistemine geçilmesinden ötürü sistem her yeni elemanının bir makine ömrü boyunca tavırlarını gözlemleyebileceğimiz bir makine ömür testi uygulanmalıdır.

Tekerlek malzemesinde 2 opsiyon ile ilerlenmesinden ötürü ve 2 farklı rulman tipindenbiri seçilmesine karşın alternetifin gözlenmesi gerekliliğinden ötürü bir tekerlek ömür testi uygulanacaktır.

Bunların dışında ise son olarak genel sistem toleranslarını ve tekerlek lastik malzemesinin final kararını vermek üzere bir tekerlek ezilme testi yapılacaktır.

5.1.1 Performans testi

Performans testi için daha önce mevcut sistem testlerinde kullanmış olduğumuz referans kurutma makinesi olduğu şekilde alınmıştır. Bu makine sökülerek ön yataklama grubu, yeni ön yataklama grubu ile değiştirilmiş, POM radyal yataklar yerine radyal tapalar kullanılmış, 2 adet tekerlek grubu yeni ön yataklama grubuna monte edilmiş ve yeni tambur grubu ile makine tekrar toplanmıştır.

Bu sayede herhangi bir genel değişiklik yapılmadan, aynı makine içerisinde sadece yataklama sistemi revize edilerek tamamen yeni bir makine elde edilmiştir ve mevcut ile yeni hal tamamen farksız kıyaslanabilir duruma gelmiştir.

Yine mevcut sisteme uygulandığı gibi dolap kuruluğu modunda 7 kg ile çalıştırılan kurutma makinesi %60 nemli çamaşırlar ile teste alınmıştır. Her ölçüm 3 kez tekrarlanan testler ile yapılmıştır.

Test öncesi ölçülen değerler ;

Çizelge 5.1 : Yeni sistem performans testi öncesi ölçüm değerleri

	Test 1	Test 2	Test 3
Kapasite (kg)	7	7	7
Kuru Yük (g)	6.980	6.992	6.992
Islak Yük (g)	11168	11188	11188
Nem Oranı	%60	%60	%60
Gerilim (V)	230	230	230
Program	Pamuklu Dolap	Pamuklu Dolap	Pamuklu Dolap

Test sonrası ölçülen değerler :

Çizelge 5.2 : Yeni sistem performans testi sonrası ölçüm değerleri

	Test 1	Test 2	Test 3
Motor Gücü (W)	164	169	165
Isıtıcı + ElektronikKart + Pompa Gücü (W)	2660	2667	2672
Motor Enerjisi (Wh)	337	338	337
Isıtıcı + ElektronikKart + Pompa Enerjisi (Wh)	3775	3775	3787
Test Sonu Yük (g)	7050	7092	7038
Tank Su Miktarı (g)	2630	2636	2674
Süre (dk)	128	128	128

Ölçülen değerler bu kez yeni sistem için aşağıda verilen formüllerde yerlerine koyulursa;

$$\text{ToplamGüç} = \text{MotorGücü} + \text{IsıtıcıGücü}$$

$$\text{ToplamEnerji} = \text{MotorEnerjisi} + \text{IsıtıcıEnerjisi}$$

$$\text{DüzeltilmişEnerji} = \text{ToplamEnerji} \cdot \frac{(\text{İdealNemOranı} - \text{HedefNem}) \cdot \text{Kapasite}}{(\text{ÖlçülenNemOranı} - \text{TestSonuNem}) \cdot \text{KuruYük}}$$

$$\text{SpesifikEnerji} = \frac{\text{DüzeltilmişEnerji} \cdot 1,14}{\text{Kapasite}}$$

$$\text{NemOranı} = \frac{(\text{TestSonuYük} - \text{KuruYük}) \cdot 100}{\text{KuruYük}}$$

$$\text{KurutmaFarkı} = \text{IslakYük} - \text{TestSonuYük}$$

$$\text{SuToplamaVerimi} = \frac{\text{TestSonuTankSuMiktarı}}{\text{KurutmaFarkı}}$$

Performans testi sonuç tablosu aşağıdaki gibi olacaktır;

Çizelge 5.3 : Yeni sistem performans testi sonuç tablosu

	Test 1	Test 2	Test 3
Toplam Güç (W)	2660	2667	2672
Toplam Enerji (Wh)	4112	4112	4124
Düzeltilmiş Enerji (Wh)	4194	4216	4174
Spesifik Enerji (Wh)	0,683	0,687	0,680
Test Sonu Nem Oranı	1,00	1,43	0,66
Kurutma Farkı (g)	4118	4096	4150
Su Toplama Verimi	%64	%63	%64

5.1.2 Motor kalkış ve kayma testi

İkinci olarak mevcut sisteme uygulandığı şekilde motor kalkış testleri uygulanmıştır. Motor kalkış testleri daha öncede yapıldığı şekilde 3 farklı yöntem ile; 7,7 kg standart yük ile, dengeli yüklü 12-14-16 kg ve son olarak dengesiz yüklenmiş 12-14-16 kg olarak yapılmıştır.

Elde edilen değerler aşağıdaki gibidir;

Çizelge 5.4 : Yeni sistem 7,7 kg sabit yük ile kalkış testi

	Test 1	Test 2	Test 3
Saat Yönünde Kalkış	166	167	165
Saat Yönü Aksine Kalkış	167	164	163
Kayış Gerginliği (Hz)	97	92	93

Çizelge 5.5 : Yeni sistem çamaşırılı ve dengeli kalkış testi

	12 kg	14 kg	16 kg
Saat Yönünde Kalkış	150	155	155
Saat Yönü Aksine Kalkış	155	155	155
Kayış Gerginliği (Hz)	93	89	91

Çizelge 5.6 : Yeni sistem çamaşırılı ve dengesiz kalkış testi

	12 kg	14 kg	16 kg
Saat Yönünde Kalkış	165	170	165
Saat Yönü Aksine Kalkış	165	165	160
Kayış Gerginliği (Hz)	92	89	91

Motor kalkış testlerinin tamamlanmasının ardından mevcut sistemde yapılan aynı method ile 0-14-18-24 kg yükler kullanılarak bu kez kayış kayma değerini hesaplamak üzere ölçümler yapılmıştır.

Bu testlerin sonuçları aşağıdaki tablolar ile özetlenmiştir ;

Çizelge 5.7 : Yeni sistem çamaşırılı kayma testi ölçümleri

	0 kg	14 kg	18 kg	24 kg
Tambur Devri (d/d)	56	54	54	53
Motor Devri (d/d)	2874	2818	2806	2798
Kayış Gerginliği (Hz)	98	99	97	99

Ölçülen değerler sonrası aşağıdaki hesaplamalar yapılarak tambur/motor devir oranı, gerçekleşmesi gereken çevrim oranı ve bunlara bağlı kayma oranı değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Tambur/MotorDevri} = \frac{\text{TamburDevri}}{\text{MotorDevri}}$$

$$\text{ÇevrimOranı} = \frac{\text{TamburÇapı}}{\text{MilÇapı}}$$

$$\text{KaymaMiktarı} = \frac{\text{Tambur/MotorDevri}}{\text{ÇevrimOranı}} - 1$$

Çizelge 5.8 : Yeni sistem çamaşırli kayma testi sonuçları

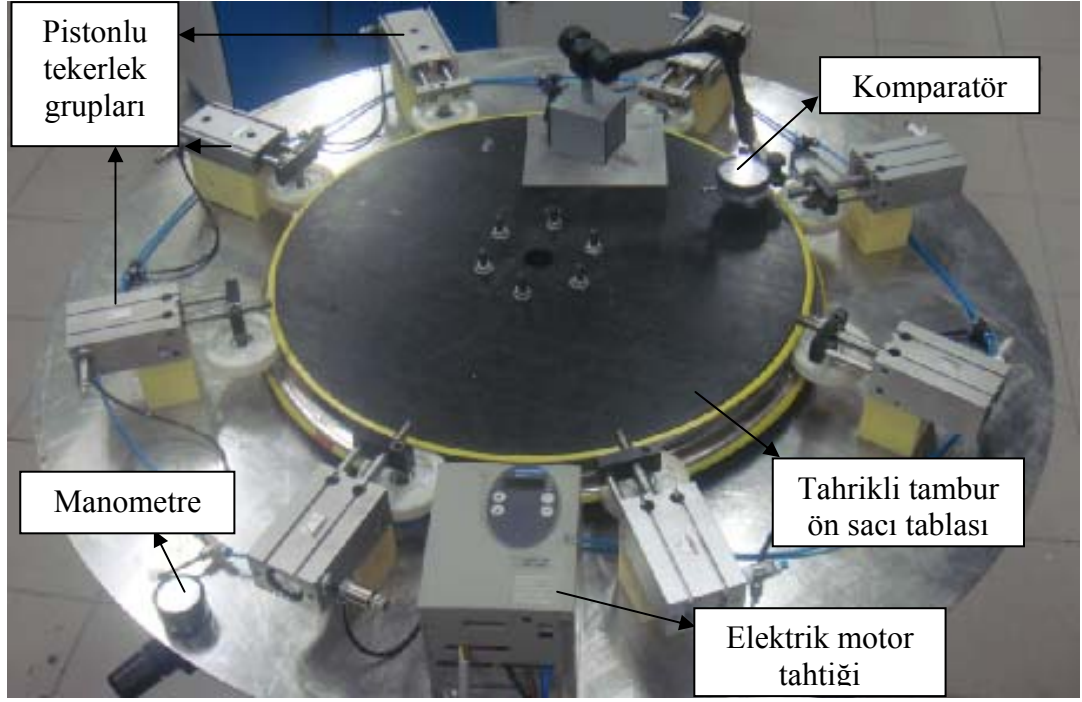
	0 kg	14 kg	18 kg	24 kg
Tambur/Motor Devri	51,32	52,19	51,96	52,79
Çevrim Oranı	47,14			
Kayma (%)	8,87%	10,7%	10,23%	11,99%

5.1.3 Tekerlek ömür testi

Mevcut sistem testlerinin ardından yeni uygulanacak olan sistemin tam olarak finalize edilerek, kabulünün yapılması için ömür bakımından bazı testlere tabi tutulması gerekmektedir.

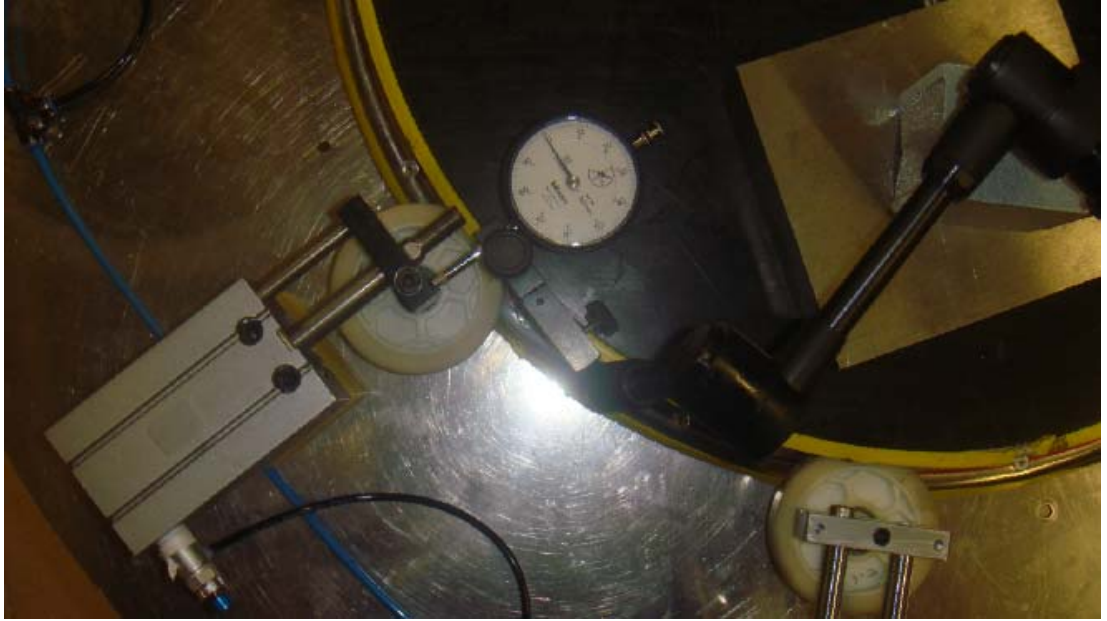
Bu testlerden ilki tekerlek ömür testi olacaktır. Tekerlek ömür testinde özel hazırlanan bir düzenek yardımı ile hızlandırılmış bir test aynı anda çok sayıda tekerleğe uygulanacaktır. Bu testin amacı farklı rulman ve ladstik malzemeye sahip 4 farklı tip tekerleğin çoklu sayıda testinin aynı anda hızlandırılmış bir şekilde yapılması ve bunun neticesinde alınan sonuçlara göre tekerlek kombinasyon seçiminin yapılmasıdır.

Hazırlanan düzende dikkat edilmesi gerekenler tekerleğin aynen makine içerisinde olduğu gibi belirli kuvvet altında sürekli baskı halinde ve aynı devir ile dönüyor olmasıdır. Bunun için hazırlanan düzenek aşağıda görülmektedir;



Şekil 5.1 : Tekerlek ömür testi düzeneği genel görünüşü

Test düzeneğinin genel çalışma mantığına göre; 8 adet tekerlek birer piston yardımı ile sabit tezgaha bağlanmıştır. Bu tezgahın ortasında bulunan, çevresine tambur ön sacı geçirilmiş aparat bir elektrik motoru ve buna bağlı kontrol ünitesi ile döndürülmekte, deviri kontrol edilebilmektedir. Pistonların her biri çift etkili olup aynı hatta bağlıdır ve bir manometre ile hat basıncı kontrol altında tutulmaktadır.



Şekil 5.2 : Tekerlek ömür testi baskı kuvveti kontrolü

Test için ilk olarak komparatör her bir tekerlek için ayarlanmaktadır. Tekerlekler tambur ön sacı yüzeyine sıfır temas ettirilmekte ve bu noktada komparatör değeri “0”a ayarlanmaktadır. Sonrasında aşağıda görüldüğü gibi hatta giriş verilerek basıncı yavaşça arttırılmakta ve komparatör değeri ölçülmektedir.



Şekil 5.3 : Tekerlek baskı kuvvetinin ayarlanması

Komparatörden okunan değer 200N için tekerlek malzemelerinde oluşan ezilme ortalama değerine denk geldiği anca hat basıncı sabitlenmelidir. Bu değer için bir sonraki başlık altındaki test düzeneği kurulmuştur.

Bu şekilde çalışma koşullarındaki kuvvetler altında her bir tekerlek tambur ön sacı yüzeyine basmaktadır. Elektrik motoruna verilen tahrik ile devir ayarlanır ve test bu şekilde başlatılmış olur.

Yapılan testler sonucunda 608Z tipi rulmanlarda genel olarak bir yağlanma ve tahribat gözlemlenmiştir ve bunun neticesinde 608DW tipi rulman seçiminin doğru olduğuna karar verilmiştir.

Tekerlek lastik malzemelerinde ise herhangi bir farklılık gözlenmemiş fakat tekerlek ömrü boyunca herhangi bir problem çıkarmadıkları için sisteme olumlu yönde bir girdi sağlamışlardır.

Sonuç olarak tekerlek tipi hızlı bir test yardımı ile 2’ ye indirilmiş böylece uzun süreçli olan makine ömür testlerinde sadece 2 tip tekerlek ile daha çok sayıda makinenin testi yapılabilecektir.

5.1.4 Tekerlek ezilme testi

Tekerlek ömür testi ile rulman alternatifinin teke indirilmesinin ardından TPE malzeme seçimi için testlere devam edilmiştir. Uygulanan bir diğer test olan tekerlek ezilme testinde esas amaç her iki malzeme içinde tekerleklerin belirli süre ve belirli yükler altında anlık deformasyonlarını ölçmektir. Bu anlık deformasyona bağlı olarak tekerlek lastiği ile tambur ön sacı arasında tasarım yapılırken hesaplanacak girişim miktarı elde edilecek ve yerleşim bu doğrultuda devam edecektir.

Uygulanacak bu test için basit bir düzenek aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;



Şekil 5.4 : Tekerlek ezilme testi ölçüm düzeneği

Düzenek incelendiğinde düz bir plaka ile tekerlek yüzeyine çizgisel hat oluşturacak şekilde basılmaktadır. Ölçüm sırasında ilk olarak tekerlek yüzeyine temas ettirilen bu düzenek komparatör yardımı ile sıfırlanmakta, sonrasında uygulanan kuvvetler ile sırasıyla bu kuvvetlere denk gelen deformasyon miktarları komparatör yardımı ile ölçülmektedir.

Asıl çalışma kuvveti 100N olmasına karşın hedef olarak 200N baz alınmış ve girişim bu doğrultuda hesaplanmıştır. Aynı zamanda eşit kuvvetler ile farklı malzemele uygulanan bu test sonucu lastik malzemelerin davranışları da gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.9 : Farklı TPE malzemeli tekerlek ezilme testi sonuçları

Uygulanan Kuvvet (N)	A	B
40	0,12	0,11
60	0,14	0,14
80	0,17	0,18
100	0,20	0,22
120	0,24	0,26
140	0,28	0,28
160	0,33	0,33
180	0,34	0,35
200	0,38	0,39
220	0,43	0,43
240	0,46	0,45
260	0,49	0,49
280	0,53	0,52
300	0,56	0,55

5.1.5 Sistem ömür testi

Sistem ömür testi için önceki test ve deneyler sonrası eliminasyon ile elde kalan 2 tip tekerlek; A tipi malzeme 608DW rulman ve C tipi malzeme 608DW rulman, kullanılmıştır.

2 farklı tip tekerleğe ait her tipten 4 adet olmak üzere toplam 8 adet makine yeni yataklama sistemi ile toplatılmış ve ömür testine alınmıştır. Ömür testinde bu 8 makine ilk kararı vermek amacı ile 300 çevrimlik bir çalışma süresine tabi tutulmuştur. Yaklaşık 2.5 ay süren bu ömür testinin ilk aşaması sonrasında 8 makine test ortamından çekilmiş ve demontajı yapılarak yataklama sistemi komple gözden geçirilmiştir.

Gözden geçirme sırasında ;

- Tambur ve tambur ön sacında herhangi bir çatlama, iz vb. var mıdır
- Ön yataklamada herhangi bir kaçır, enjeksiyon problemi, sızdırmazlık elemanında uyumsuzluk görülmektedir
- Radyal tapa parçaları ve ön yataklama çevresi boyunca herhangi bir sürtm, aşınma vb. olmuş mudur,
- Kayışta herhangi bir esneme, aşınma var mıdır,
- Son olarak 2 tip tekerlek arasında gözle görülür bir fark var mıdır, ölçümleri yapılarak karşılaştırıldığında hangisini kullanmak daha avantajlı olacaktır,

sorularına yanıt aranmıştır. Bu hususta demontajı yapılan 8 makine detaylı olarak incelenmiştir. 0,5mm paslanmaz çelik malzeme kullanılan tambur ön saclarında hiçbir makinede problem oluşmadığı görülmüştür. Tamburlarda iz yoktur. Ön yataklama grubu herhangi bir aşınmaya uğramamış, deformasyon görülmemiş ve yataklama sistemindeki yapısını korumaktadır.

Kayış gerginliğinde herhangi ciddi bir değişim oluşmaması kayış dişlerine problem görülmemiştir. Sistem testi sonrası final kararı vererek üzere son olarak tekerlekler detaylı olarak incelenmiş ve 3 boyutlu ölçümleri yapılmıştır. Yapılan bu ölçüm ve gözlemler sonucu şekillerde de görüldüğü üzere siyah renkli olan “A” tipi tekerlek malzemesinin “C” tipi beyaz malzemenin kullanıldığı tekerlek grubuna göre boyutsal özelliklerini daha iyi koruduğu ve aşınmaya daha ciddi bir direnç gösterdiği gözlemlenmiştir.

Yapılan sistem ömür testi sonrası istanilen amaca ulaşılmış ve final tekerlek opsiyon kararı verilmiştir. Kullanılacak tekerlek tipi “A” tipi TPE tekerlek dış lastiği, 608DW tipi rulman ve %30 cam elyaf katkılı polipropilen gövdeye sahip olacak şekilde belirlenmiştir.



şekil 5.5 : Sistem  m r testi laboratuvarı

5.2 Test Sonuçlarının Mevcut Sonuçlar ile Karşılaştırılması

Yeni sistem teslerinin tamamlanması ile birlikte sonuçları bir  zet şeklinde görmek gereklidir. Bunun için ise yeni sistemin getirdiklerini ve götürdüklerini görmek üzere mevcut sistem ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken en basit şekilde sayısal değerler yan yana koyulara incelenirse, sonuçlar açıkça kendini gösterecektir.

Bu karşılaştırma yapılırken her bir test ayrı ayrı yeni tablolar ile ifade edilmelidir. Böylece her bir test için sonuç değerler mevcut ve yeni sistem değerleri yan yana koyularak fark gözlenebilir.

Yapılan ilk test performans testi olmuştur ve enerji düşürme hedefi. Yapılan 3’ er adet test için ortalama değerler karşılaştırılırsa,

Çizelge 5.10 : Mevcut – yeni sistem performans testi sonuç mukayesesi

	Mevcut Sistem	Yeni Sistem
Toplam Güç (W)	2732	2666,3
Toplam Enerji (Wh)	4262,3	4116
Düzeltilmiş Enerji (Wh)	4392,6	4194,6
Spesifik Enerji (Wh)	0,715	0,683
Test Sonu Nem Oranı	1,86	1,03
Kurutma Farkı (g)	4075,3	4121,3
Su Toplama Verimi	%61,6	%63,6

Değerler yanyana koyulduğunda açıkça görülmektedir ki, performans testleri sonucunda makine tarafından çekilen gücün düştüğü buna bağlı toplam enerji tüketiminin azalıp su toplama veriminin arttığı görülmektedir. Bunları neticesinde ise kritik spesifik enerji düzeyi 0,715 Wh'ten, 0,683 Wh deperlerine düşmüştür.

Sonraki testler kalkış testlerinin sırası ile standar 7,7kg yük, dengeli 12-14-16Kg ve dengesiz 12-14-16 kg tesleri olmuştur. Aynı yöntem ile mevcut ve yeni sistem sonuç değerleri yanyana koyulursa;

Çizelge 5.11 : Mevcut – yeni sistem 7,7 kg sabit yük ile kalkış testi mukayesesi

	Mevcut Sistem	Yeni Sistem
Saat Yönünde Kalkış	187	166
Saat Yönü Aksine Kalkış	188,3	164,6
Kayıp Gerginliği (Hz)	92,3	94

Çizelge 5.12 : Mevcut – yeni sistem çamaşırli ve dengeli kalkış testi mukayesesi

		12 kg		14 kg		16 kg	
		Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem
Saat Yönünde Kalkış		175	150	180	155	180	155
Saat Yönü Aksine Kalkış		175	155	180	155	185	155
Kayış Gerginliği (Hz)		93	93	92	89	92	91

Çizelge 5.13 : Mevcut – yeni sistem çamaşırli dengesiz kalkış testi mukayesesi

		12 kg		14 kg		16 kg	
		Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem
Saat Yönü Kalkış		175	165	180	170	180	165
Saat Yönü Aksine Kalkış		175	165	180	165	185	160
Kayış Gerginliği (Hz)		93	92	92	89	92	91

Kalkış testleri sonuçları yanyana koyulduğunda ise ilk olarak açıkça görülmektedir ki motor tarafından sarfedilen güç her yük kademesi için ciddi ölçüde azalmaktadır. Buna istinaden yük artışı ile birlikte motorun gerektirdiği güç miktarı belirgin bir artış göstermemekte yani sistem yük artışından etkilenmemektedir.

Son olarak uygulanan kayış kayma miktarı ölçüm testlerinin değerleri her iki sistem için yanyana koyulursa;

Çizelge 5.14 : Mevcut – yeni sistem çamaşırılı kayma testi ölçüm mukayesesi

	0 kg		14 kg		18 kg		24 kg	
	Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem
Tambur Devri (d/d)	54	56	51	54	51	54	49	53
Motor Devri (d/d)	2855	2874	2779	2818	2745	2806	2721	2798
Kayış Gerginliği (Hz)	98	98	98	99	97	97	97	99

Çizelge 5.15 : Mevcut – yeni sistem çamaşırılı kayma testi sonuç mukayesesi

	0 kg		14 kg		18 kg		24 kg	
	Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem	Mevcut Sistem	Yeni Sistem
Tambur/Motor Devri	52,8	51,32	54,5	52,19	55,5	51,96	55,5	52,79
Çevrim Oranı	47,14							
Kayma (%)	12%	8,87%	15,61%	10,7%	17,73%	10,23%	17,73%	11,99%

Kayış kayma testleri sonucunda ise yeni sistem ile birlikte tambur devrinin yük ağırlaşması ile değişmediği açıkça görülmektedir. Motor devrinde değişim miktarlarının birbirine yakın olmasına karşın tambur devri incelendiğinde yeni sistem ile değişimin daha az olduğu görülmektedir ve bunun neticesinde de kayış kayma miktarları genel anlamı ile düşmüş ve yük artışından daha az etkilenir hale gelmiştir.

6 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Yeni Konstrüksiyonun Genel Değerlendirmesi

Yeni konstrüksiyonu genel hatları ile değerlendirirken, proje aşaması boyunca yapılan tüm çalışma ve konstrüksiyonları, bunların yarattığı değişiklikleri madde madde incelemek en verimli olacaktır.

İlk aşamada yapılan çalışmaları ve değişiklikleri özetlemek gerekirse ;

- Sistem yapısı olarak “kayma sürtünmesine sahip, kaymalı yataklamalı” bir sistemden “yuvarlanma sürtünmesine sahip, rulmanlı yataklamalı” bir sisteme geçilmiştir.
- Eski sistemde kaymalı yataklamayı sağlayan pom malzemeden oluşan radyal yataklamalar iptal edilmiş, bunların yerine yataklama sistemi olarak “608DW tipi rulman, PPGF30 hammleden oluşan rijit ve mukavim bir gövde, TPE malzemeden oluşan elastik ve dayanıklı bir dış lastikten oluşan tekerlek elemanı” 2 adet kullanılmıştır. İptal edilen radyal pom yataklamaların yuvaları yeni tasarlanan radyal tapalar ile kapatılmıştır.
- Tekerlek elemanlarının ön yataklama grubuna montajı için gerekli olan “mukavim, dönme hareketini önleyici ve maliyeti düşük bir mil” konstrüksiyonu yapılmış ve bağlantı elemanları ile her iki gruba sabitlenmesi sağlanmıştır.
- Tekerlek elemanlarının gelmesi ile birlikte ön yataklama grubunda yeni bir alan oluşumu gerekmiş ve ön yataklama ve kapağını içeren özel bir montaj yöntemi belirlenerek gerekli değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler yapılırken mevcut ön yataklama grubuna göre hava akış kesitinin azalmamasına dikkat edilmiş ve özel hesaplamalar ile tambur ağırlığı, kayış kuvvetleri, çamaşır yüküne bağlı ön yataklamaya gelen kuvvetleri optimum şekilde karşılayacak tekerlek pozisyonlarında yuvalar işlenmiştir.

- Tekerlek lastik malzemesinin seçiminde birçok arge çalışması yapılmış ve ömür testleri ile final seçime yönelinmiştir.
- Tekerlek elemanın gelmesi ile yine bu kez tambur ön sacı parçasında daha geniş bir basma yüzeyi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda 2 adet tekerlekten gelecek kuvvetlere karşılık mukavim bir tambur ön sacı gerekmektedir. Bu hususta mevcut tambur ön sacına nazaran daha geniş bir boğaza sahip, analizler sonrası eliminasyon yöntemi ile belirlenen mukavim formlu yapısı olan ve sürtünme azaltarak montaj kolaylığında sağlayacak daha dar baskı yüzeyine sahip yeni bir tambur ön sacı konstrüksiyonu yapılmıştır. Tambur ön sacının uzaması ile doğru orantılı olarak tambur çevre sacı kısalmıştır.
- Yeni yataklama sistemi monajında enjeksiyon sonrası sıcak ön yataklama parçasına çakılan mile, montaj sonrası ön yataklama kapağından vida atılmakta, tekerlek grubunun yerleştirilmesi ile grup bir somun ile sabitlenmektedir.
- Yapılan değişiklikler öncesinde ve sonrasında her iki yataklama sistemine sahip makinalar ; “performans, motor kalkış ve kayış kayma testlerine” tabi tutulmuştur. Bu testler dışında yeni bir sistemin gelmesi ve tekerleklerin özelliklerini irdelemek amacı ile ezilme testi, tekerlek ömür testi ve komple makinalara sistem ömür testleri uygulanmıştır.

Yapılan tüm bu çalışmalar ve değişiklikler ile yeni bir yataklama sistemi modeli oluşturulmuştur.

6.2 Sonuç

Mevcut kurutma makinesine ait yataklama sisteminin ve problemlerinin incelenmesinin, bunun ardından saptanana problemleri giderecek yeni yataklama sisteminin konstrüksiyonunun yapılması ile eski ve yeni yataklama sistemine sahip 2 tip kurutma makinesi oluşmuştur.

Her iki tip yataklama sistemine sahip makinelere uygulanan testler sonrası elde edilen değerlerin yorumlanması ile projenin sonuçları madde madde ortaya çıkmıştır.

Yeni yataklama sisteminin konstrüksiyonu ile tamamlanan projenin ardından, çalışmanın sonuçlarını özetlemek gerekirse ;

1. Kayma sürtünmesi tabanlı bir sistemden yuvarlanma sürtünmesi tabanlı yeni bir sisteme geçilmiştir.
2. Kaymalı yataklama yapısına dayanan yataklama sisteminin yerini rulmanlı yataklama yapısına dayanan yeni bir yataklama sistemi almıştır.
3. Yataklama sisteminde genel sürtünme miktarı azalmış ve buna doğru orantılı olarak sistemin güç gereksiniminde düşüş olmuştur. Yani motor daha rahat bir dönüş hareketi sağlamakta ve çok daha az güç çekerek sisteme tahrik verebilmektedir.
4. Motor tarafından çekilen gücün azalması ile doğru orantılı olarak spesifik enerji tüketimi miktarında düşüş olmuştur. Performans testleri sonrası elde edilen değerler “C” sınıfı enerji tüketimine sahip eski tip kurutma makinesinin, yeni yataklama sistemi ile birlikte “B” sınıfı enerji tüketimine sahip bir kurutma makinesi olarak geliştiğini göstermiştir. Bu önemli sonuç Avrupa’ da birçok ülke tarafından sınırlanan enerji tüketim sınıfı problemini çözmektedir.
5. Kuru sürtünmeli eski sistemde zamanla aşınan bir yapının yerini daha uzun ömürlü yuvarlanma sürtünmeli lastik malzemeden oluşan bir tekerlek yapısı almıştır.
6. Mevcut motorun daha az dirence maruz kalması ve daha az güç ile çalışabilmesi ile motorun daha düşük kapasiteli bir motor ile değiştirilebilmesi imkanı ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda kullanılan kapasitörde motor gibi ucuzlatılabilir duruma gelmiştir.
7. Yeni yataklama sistemine sahip kurutma makinelerinde sürtünme yapısının değişmesi ile birlikte gürültü ve titreşim düzeylerinde düşüş gözlemlenmiştir.
8. Yapılan motor kalkış ve kayış kayma testleri açıkça göstermiştir ki motor çok daha rahat bir şekilde dönebilmekte ve tahriği kayış vasıtası ile problemsiz iletmektedir.

Aynı zamanda mevcut sistemde ağırlık ile sürtünme miktarında ciddi bir artış olmakta iken yeni sistemde bu oran çok daha düşüktür. Bu değişim ile birlikte çamaşır ağırlığının artışı yataklama sisteminin çalışmasını daha az etkiler duruma gelmiştir.

9. Motorun tahrik sisteminin rahatlaması ile kayışın kayma miktarında düşüş görülmüştür. Aynı zamanda çamaşır ağırlığından daha az etkilenen kayma miktarındaki düşüş kayış ömrünü uzatmıştır.
10. Makine ömrü boyunca zamanla aşınan eski tip pom radyal yataklamalı sistemde yataklama veriminin düşmesi söz konusu olabilecek iken yeni sistem ile birlikte zaman içinde yataklama veriminin düşmesi olasılığı ortadan kaldırılmıştır.

Belirtilen tüm bu sonuçları özetlemek gerekirse; mevcut kurutma makinesi yataklama sistemi prensibi değiştirilerek daha iyi yeni bir yataklama sistemi elde edilmiştir.

Bu yataklama sisteminin elde edilmesi için 2 adet tekerlek elemanının eklenmesi ile ek bir maliyet ortaya çıkmıştır. Bir sonraki hedef motor ve kapasitör maliyetinin düşürülmesi ve hatta daha düşük maliyette bir kayış kullanılması ile bu maliyet dezavantajının terse döndürülmesi olacaktır. Bu çalışma ile “Maliyeti düşürülerek iyileştirilen yeni bir yataklama sistemi konstrüksiyonu” elde edilmiş olacaktır.



Şekil 6.1 : Final değerlendirmesi yapılan demonte edilmiş kurutma makinesi

7 KAYNAKLAR

- [1] **BOZACI A.** , 2005, “Makine Elemanları Cilt2”, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 2-3,13-14
- [2] **KALELİ H.** , 1995, “Motorların değişik işletme şartlarında yağların yapısal değişimlerinin aşınmalara etkilerinin incelenmesi ve optimum yağ değiştirme süreçlerinin araştırılması”, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul, 6-17,70-76
- [3] **BOZACI A. , KOÇAŞ İ. , ÇOLAK Ö. Ü.** , 2001, “Makine Elemanlarının Projelendirilmesi”, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 11.1-19
- [4] **PALABIYIK M.** , 2008, “Polimer Esaslı Kompozit Malzemelerin Konstrüksiyonu”, Ders Notları, İTÜ, İstanbul

8 ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Canyigit ATAY

Doğum Yeri ve Tarihi: İZMİR - Konak / 22.07.1984

Yüksek Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon Anabilim Dalı, 2007 - devam

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2002-2006, Mezuniyet derecesi : 3,78/4,00, **Bölüm Birinciliği – Yüksek Onur Belgesi**

Lise: Maltepe Anadolu Lisesi, İstanbul, Mezuniyet derecesi : 4,58/5,00

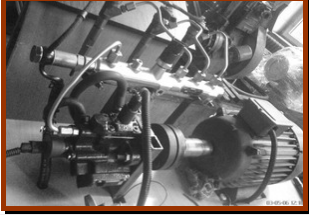
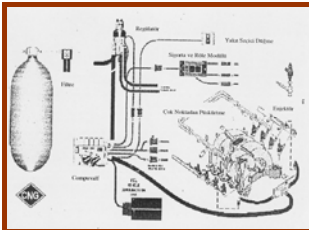
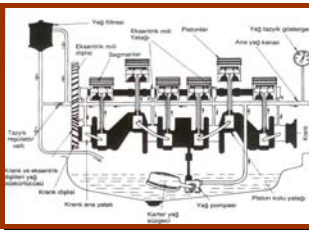
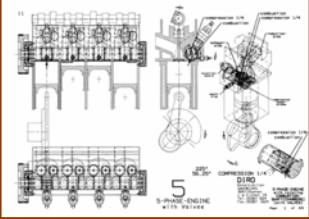
Mail: canyigitatay@yahoo.com, canyigit.atay@arcelik.com

Gsm: +90530 411 10 63

Mesleki Deneyimler:

Görev Yeri	Süre	Görev Tanımı
ARÇELİK A.Ş.	09.2006/ -	Araştırma ve Geliştirme Merkezi Yapısal Tasarım Yöneticiliği ARGE Mühendisi
ABB Elektrik Sanayi A.Ş.	02.2006/ 04.2006	ABB Türkiye Kartal üretim fabrikası 25 işgünü Fabrika Organizasyonu Stajı
Honda Türkiye A.Ş.	08.2005/ 10.2005	Honda Türkiye Gebze üretim fabrikası 25 işgünü Fabrika Enerji İşletmesi sistemleri stajı
ElektroAK Döküm	01.2005/ 02.2005	ElektroAK Döküm Dudulu İMES 10 işgünü Döküm teknik ve yöntemleri üzerine Staj
Toyota (TMMT)	07.2004/ 09.2004	Toyota Adapazarı üretim fabrikası imalat bölümünde 30 işgünü stajyerlik

Yayın Listesi:

Diesel motorlarda yüksek basınçlı püskürtme sistemlerinin dizaynı ve uygulaması : “Common-Rail Sistemi” Dizaynı, Düzenegin oluşturulması, 1600 bar basıncın elde edilmesi.	
Alternatif yakıt olarak doğal gazın benzinli motorlarda kullanılması, Türkiye ve Dünya’da kullanımının araştırılması ve motor performansına etkilerinin gözlenmesi	
Yeni nesil motorlarda kullanılan sentetik motor yağları ve motor performansına etkilerinin gözlenmesi	
Aşırı besleme sistemleri : Supersaj, Turbosarj ve Eta-booster düzeneklerinin kurulumu ve performans etkileri.	
Kompresörler : Vidalı kompresörlerin kullanımı, boyutlandırılması ve tasarımı	